



Sterrenkunde

<https://hdl.handle.net/1874/233738>

mm 10192

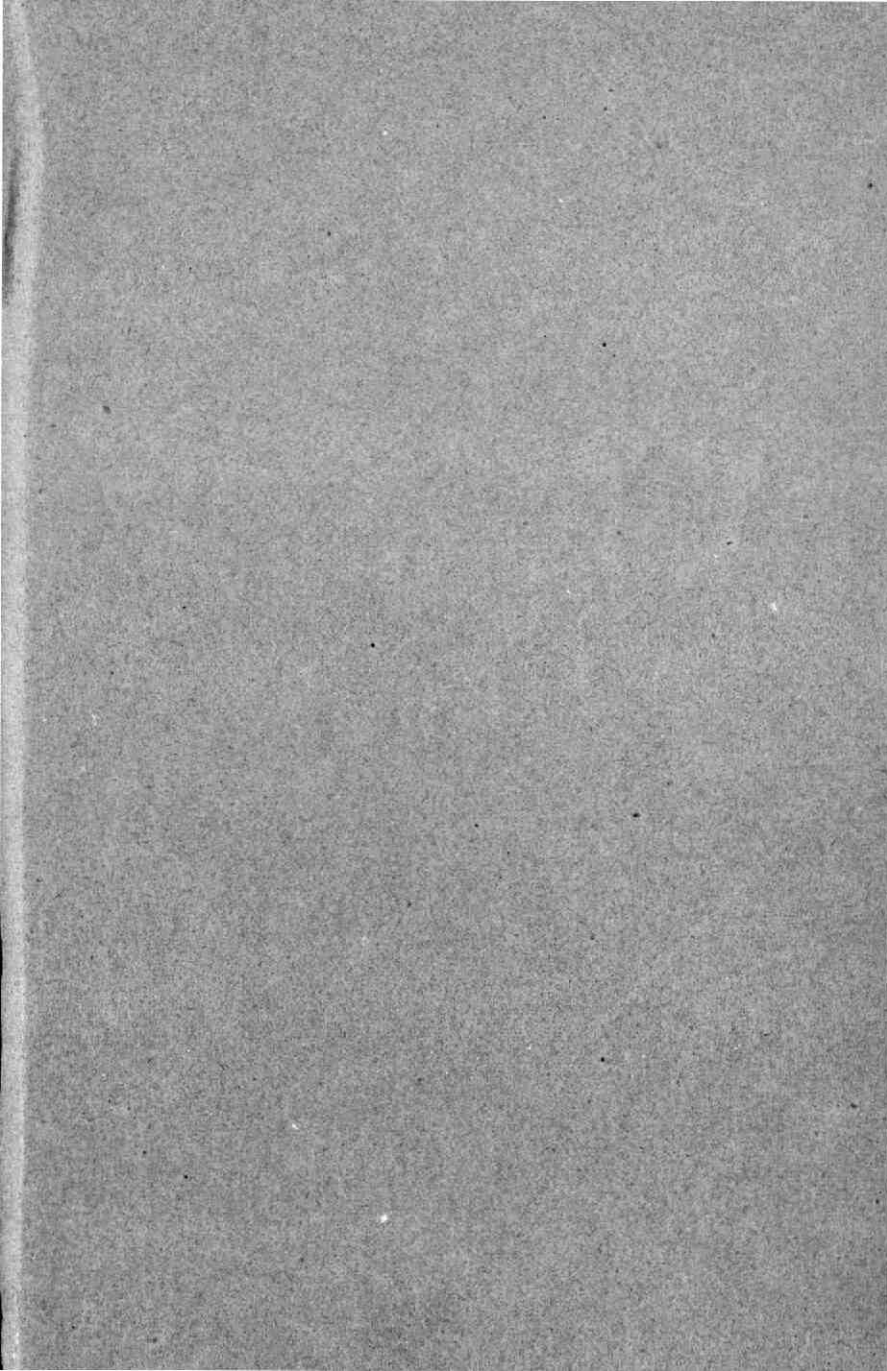
Kast 180

Pl. E N^o.14

GESCHENK

VAN *wijlen*

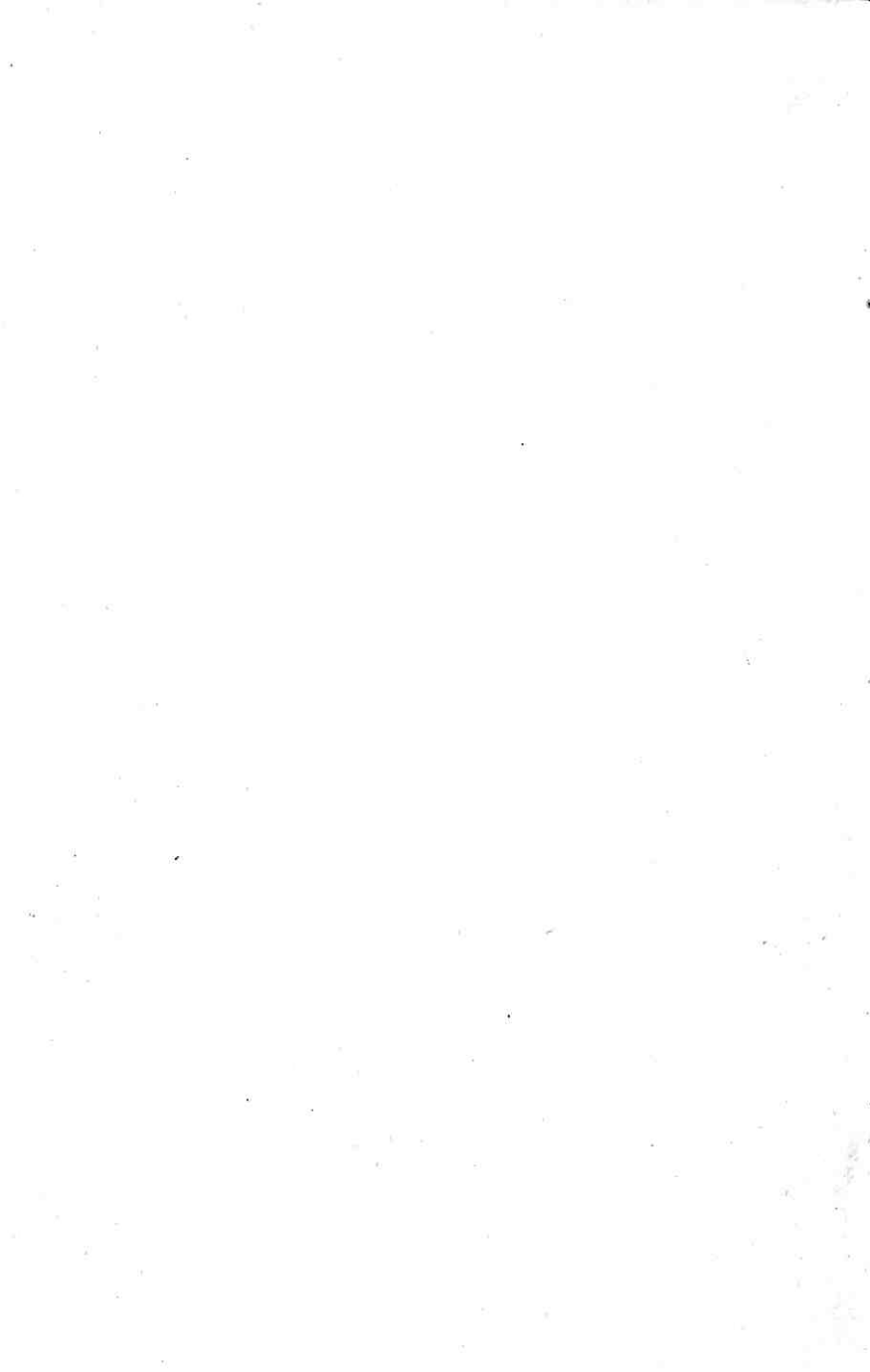
Dr. S. R. Hermanides





STERRENKUNDE

VOOR DEN BESCHAAFDEN STAND.



100. E. 14

STERRENKUNDE

VOOR DEN

BESCHAAFDEN STAND

NAAR HET FRANSCH VAN

Prof. P E T I T.

Directeur van het Observatorium en Hoogleraar der Sterrenkunde te Alouste



Met 286 Figuren in den tekst en 2 Platen als Planiglobes.

EERSTE DEEL.



Leiden,

D. NOOTHOVEN VAN GOOR.

Uitgever.

VOORBERICHT

DES SCHRIVERS.

Wanneer ik er toe overga om, na zooveel goede Geschriften over de Sterrenkunde als wij reeds bezitten, de Lessen in 't licht te geven, die ik gedurende een tijdsverloop van zeven en twintig jaren voor het beschaafd publiek aan het Observatorium van Toulouse heb gegeven, zoo kan ik daarmede wel niets anders ten oogmerk hebben, dan gevolg te geven aan de welwillende aanvragen, welke mij dienaangaande dagelijks gedaan werden. Ik zal het daarom niet ondernemen, hier ter aanbeveling van mijn Werk het een of ander in 't midden te brengen, en er niets meer van zeggen, dan dat het een uitloeijsel is eener langdurige ervaring, door welke de tegenwoordige uitgave mij gerechtvaardigd schijnt, daar zij een blijk geeft van die overeenstemming tusschen de Toehoorders en den Directeur van het Observatorium, van die sympathie, waaraan de Professor doorgaans al de verdiensten, die hij hebben mocht, moet dank weten.

Ofschoon ik aanvankelijk geen ander doel had, dan alleen voor de Liefhebbers der Sterrenkunde te schrijven, ben ik allengs en als ongemerkt verlokt om meer uitbreiding aan deze Lessen te geven, dan eerst in mijn plan lag. Zoo als het thans daar ligt, zal dan mijn Werk, bedrieg ik mij niet, te gelijker tijd kunnen beantwoorden zoowel aan het verlangen van het beschaafd publiek, als aan de behoeften van de jongelingen, die, met mathematische kennis toegerust, bij hunne hoogere studiën ook de Astronomie willen of

moeten beoefenen. Ten einde evenwel getrouw te blijven aan het oorspronkelijke plan, en aan de bedoeling, die de beslissende beoogredenen tot deze uitgave mijner Lessen is geworden, heb ik de diepzinnige en afgetrokkene bijzonderheden bijeengezameld in aanvullende Noten, die achter meer dan de helft der Lessen, waarin ik mijn Werk verdeeld heb, hare plaats kregen; terwijl de tekst zelve nu nagenoeg geenerlei mathematische moeielijkheden bevat. Ik heb mij beijverd dien tekst zoodanig te schrijven, als ik voor mijne Toehoorders zou gesproken hebben. Daarom moet ik ook tot allen die mij mochten willen lezen zonder mij gehoord te hebben, het verzoek richten, dat zij een toegeeflijk oog slaan op den lossen trant, de uitweidingen, die ik mij hier en daar heb veroorloofd. Mij is het voorgekomen, dat een zoodanige behandeling mijn onderwerp het best ingang deed vinden bij de talrijke en beschaafde Toehoorders, die het verlangen naar kennismaking met de verschijnselen des hemels naar het Observatorium lokte: zij bracht hun leering aan, zonder hen te vermoeien, en is zóó de bron geworden van eene langdurige wisseling van hartelijke vriendschapsblijken, onder welke hoede ik reeds bij voorraad mijn thans in het licht tredend Werk meen te kunnen stellen.

Zoo durf ik dan, vertrouwende op de welwillendheid der „goedgezinde” lezers (zooals zich een der meest gezaghebbende vertegenwoordigers onzer litteratuur uitdrukt), lezers, die ik inzonderheid bij deze mijne uitgave op het oog heb, — zoo durf ik dan voor mij eene uitzondering hopen op den door onzen beroemden criticus der 17de eeuw gestelden regel, en mij vleien, dat

*Dit werk, nu het in druk durft treden voor elks oogen,
Des kenners scherpen blik ook zal verduren mogen.*



I N H O U D.



E E R S T E L E S.

Over Uurwerken.

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
Vluchtig historisch overzicht	1	Klepsydren of Wateruurwerken.	7
Plan van het werk	6	Eerste proeven van uurwerken met gewichten.	8
Uurwerken d. Ouden.—Zandloopers.	6		

T W E E D E L E S.

Vervolg over Uurwerken.

Kroonrads- of Schakelrads-echappement voor gewichtuurwerken	10	Ophangpunt met veer en met mes. — Staven van vernist dennenhout.	17
Spiraalveer van de onrust	11	Uurwerken met drijfveer	17
Slinger van Galileï	12	Snek	18
Toepassing van den slinger op de uurwerken, door Huygens	13	Cilinder-echappement	20
Anker-echappement	13	Isochronische spiralen	21
Compensatie of Vereffening van den slinger. — 1° Kwik-compensatie.	14	Vrij echappement	22
2° Rooster- of Raam-compensatie	15	Compensatie van de onrust	23
		Slagwerk	24

D E R D E L E S.

Over Straalbreking.

Gebruik en bezwaren der vizier- of diopter-linialen	26	Duidelijk-zien	36
Voorloopige kennis ter beoefening der optische werktuigen	27	Onduidelijk-zien	36
Straalbreking	28	Afstand van het duidelijk-zien. — Bijzandheid en Verziendheid	37
Wetten der enkelvoudige straalbreking in de lenzen	30	Tijdduur van den indruk op het netvlies.	38
Toevallige of koppel-brandpunten	31	Accidenteele of toevallige beelden, nabebelden, nakleuren	38
Virtueel of schijnbaar brandpunt	31	Daltonismus of Achromatopsie	39
Hoofdbrandpunt	32	Samentrekbaarheid van het regenboogsvlies. — Ongevoeligheid van de gezichtszenuw	39
Optisch middelpunt	33	Verklaring van Kepler, door Descar-	
Beschrijving van het oog en theorie van het zien.	35		

tes herhaald, van de oorzaak, die de voorwerpen recht op of in hun rechten stand doet zien, ondanks	<i>Bladz.</i>	de omkeering der beelden in het oog	<i>Bladz.</i> 40
---	---------------	---	---------------------

VIERDELES.

Over Verrekijkers.

Middelen ter verbetering van het gezicht	43	Telescopen	53
Glazen voor bijzienden	44	Proef van Dollond	54
Glazen voor verzienden	45	Achromatische kijkers. — Diaphragmen	55
Astronomische verrekijkers	46	Draden in het brandpunt der lenzen geplaatst om hoeken te meten	56
Kijker van Galilei	47	Zichtbaarheid der sterren gedurende den dag met behulp der verrekijkers	57
Kijker van Kepler	49		
Vergrooting	50		
Irisatie- of kleurschifting der beelden	51		

VIJFDELES.

Sterrenkunde.

Voorloopige kundigheden	59	Methode der betrekkelijke parallaxen	67
Hoeken en Driehoeken	60	Uitkomsten in getallen	68
Maat der hoeken	60	Photometrische gevolgtrekkingen	69
Som der drie hoeken van eenen driehoek	61	Eerste opgaven betreffende het aantal der Sterren, de gesteldheid, het getal en den afstand der Nevelvlekken.	71
Algemeene begrooting van den afstand der Sterren tot de Aarde	62	De zon zelve is niets anders dan eene Ster	72
Juister afstandsbepalingen	64		
Methode der volstrekte parallaxen	65		

ZESDELES.

Vervolg van de Leer des Sterrenhemels.

Eigen bewegingen der Sterren	74	Toepassing op het bepalen der parallaxen	84
Snelheden van eenige Sterren	75	Mechanische beginselen, waarop de bepaling van de massa's der dubbele Sterren berust	85
Eigen beweging der Zon, beschouwd als eene Ster. — Historisch gedeelte der ontdekking	77	Parallelogram der krachten	86
Dubbele en veelvoudige Sterren	78	Gravitatie of wederzijdsche aantrekking der hemellichamen	87
Voornaamste eigenschappen der veelvoudige Sterren. — Kleuring	79	Massa's der dubbele Sterren	88
Veranderingen van voorkomen	80	Toepassingen in getallen	88
Getal der dubbele Sterren	80	Getal der veelvoudige Sterren	90
Aard der loopbanen	83	Merkwaardige bijzonderheden, die Sirius en Procyon opleveren	91
Toepassing op het beproeven der verrekijkers	83		

Z E V E N D E L E S.

Vervolg van de Leer des Sterrenhemels.

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
Classificatie der Sterren volgens		Schatting door den lamp-micrometer	
Bayer	93	van Herschel	101
Gevolgen uit deze classificatie afge-		Schatting naar het licht, vergeleken	
leid door Herschel, aangaande de		bij dat der Zon	102
lichtveranderingen, die de Sterren		Nevelsterren. — Hare afmetingen .	104
ondergaan	94	Planeetvormige Nevelvlekken —	
Periodische of veranderlijke Sterren	94	Theorie van Arago	105
Uitgedoofde Sterren.	96	Theorie van Herschel	106
Nieuwe Sterren	98	Nevelvlekken	106
Diameters der Sterren.	100	Sterrenhoopen of ontbindbare Nevel-	
Kleinte der hoek-diameters, opge-		vlekken.	107
maakt uit de bedekkingen door		Melkweg	109
de Maan	101	Wolken van Magellaan	110

A C H T S T E L E S.

Vervolg van de Leer des Sterrenhemels.

Sterrenbeelden	112	Twijfelachtige Sterrenbeelden.	121
Oude Sterrenbeelden, eerst ten ge-		Dagelijksche Beweging van het Ster-	
tale van 48, later van 50, voor		rengewelf.	122
1022 Sterren, wier plaats door Hip-		Gebruik van den theodoliet	122
parchus is bepaald	113	Meridiaan-vlak, bepaald door de	
Oude Sterrenbeelden, als aanvulling	117	hoogste en laagste punten der dag-	
Zoogenaamde vormelooze Gestern-		bogen, die de Sterren beschrijven.	123
ten. — Nieuwere Sterrenbeelden.	118	Hoofdstreken van den horizon.	123
Zuidelijke Sterrenbeelden, door Bayer		Azimuth. — Horizon	124
in 1603 aan de vorige toegevoegd		Zenith en Nadir	124
naar de beschrijvingen van Peter		Zichtbare en Onzichtbare Horizon.	
Theodori	118	— Tegenvoeters	125
6 Sterrenbeelden, door Bartsch in		De dagelijksche beweging des Heme-	
1624 aan de andere toegevoegd.	119	lens is cirkelvormig en gelijkma-	
2 Nieuwe Sterrenbeelden, door Royer		tig. — Æquatoriaal-werktuig	126
gevormd	119	As der wereld.	126
7 Sterrenbeelden, door Hevelius in-		Polen der wereld — Sterrendag	127
gevoerd.	119	Uur- of Declinatie-cirkels. — Paral-	
2 Sterrenbeelden, uitgedacht door		lellen. — Æquator. — Hemisferen	127
Flamsteed en Halley	120	Rechte Opklimming en Uurhoeken.	
14 Sterrenbeelden van Lacalle	120	— Declinatie	127
Één Sterrenbeeld van Kirch	120	Coördinaten. — Muurcirkels en me-	
2 Sterrenbeelden van Le Monnier	120	ridiaan-cirkels. — Meridiaankijker.	128
7 Sterrenbeelden van Poczobut, Hell		In catalogus gebrachte Sterren	128
en Lalande	121	Niet in catalogus gebrachte Sterren.	
4 Sterrenbeelden van Bode	121	Haar vermoedelijk getal	130

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
Kaarten en Atlassen van den Hemel	131	Dradennet	141
Mythologische Scheppingen, ontleend aan de bewegingen des Hemels	132	Meridiaan-cirkel	141
Vonkeling der Sterren	132	Quadranten	141
Verklaring door Arago gegeven	133	Vernier	142
Gevolgtrekkingen	137	Nonius	143
Meridiaan-kijker	140	Methode der transversalen of dwars- lijnen	143

N E G E N D E L E S.

De Zon en hare bewegingen. — Klimaat en Licht.

Beschouwing der Zon	145	Antipoden	156
Plaats van 't middelpunt, afgeleid uit die van een der randen	146	Dagen der Nachteveningen	156
Zonnedag	146	Pooldagen	157
Jaarlijksche beweging der Zon in een vlak, dat men het vlak der Ecliptica noemt.—Nachteveningspunten	146	Paralielle Sfeer, rechte Sfeer en schuinsche Sfeer	157
Uitgangspunt van hetwelk men de rechte opklimming begint te tellen. — Bepaling van dat punt	147	Poolcirkels. — Hunne dagen	158
Solstitiën, Coluren en Keerkringen	148	Dagen der plaatsen tusschen de Po- len en de Poolcirkels	158
Schuinsheid van de Ecliptica. — Hare verandering	148	Dagen der plaatsen, gelegen tusschen de Poolcirkels en den Æquator	158
Præcessie of Vooruitgang der Nacht- eveningen. — Astronomische leng- ten en breedten. — Hare herlei- ding tot rechte opklimmingen en afwijkingen, en omgekeerd	149	Heete of gezegnde Luchtstreek, koude Luchtstreken, gematigde Lucht- streken	159
Ongelijkheid der præcessië. — Nu- tatie	151	Klimaten van uren	159
Verklaring van de præcessie en nu- tatie	151	Klimaten der maand	160
Middelbare en schijnbare standen	152	Cosmische, acronische en helische verschijnselen	160
Vershil tusschen de Teekens en de Sterrenbeelden van den Zodiak. — Rechtstreeksche en teruggaande bewegingen	152	Wijzigingen, die de atmosferische refractie of straalbreking in de resultaten te weeg brengt	162
Toepassing der præcessie op de chronologie of tijdrekening	153	Uitwerkselen op de dagelijksche be- weging en op de diameters	163
Waarschijnlijke ouderdom van den Zodiak	153	Uitwerkselen door de refractie te weeg gebracht op de uren van 't op- en ondergaan der Hemellichten	164
Hiëroglifisch alphabet van Cham- pollion	154	Schemerlicht	165
Ongelijkheid der dagen en nachten op eene zelfde plaats, volgens de seizoenen	155	Hoogte des dampkrings, afgeleid uit de schemerlichten	166
		Toepassingen van de berekening der schemerlichten	169
		Draadmicrometer van Auzout	171
		Heliometer van Bouguer	172
		Rhomboidale micrometer van Rochon	173
		Wijziging van den toestel door Arago	173
		Berekening van den invloed der schommeling van de ecliptica op de	

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
astronomische lengten en breedten	174	van de refractie-tafel	185
Berekening van den invloed der præcessie	175	Invloed der temperatuur en der ba- rometerdrukking op de straalbre- kingen	186
Verandering van poolsafstand of de- clinatie	175	Theoretische formules van Bradley, Cassini, enz. — Vollediger formu- les van Laplace: 1 ^o tot aan den zenithsafstand van 74°; 2 ^o van 74° tot 90°	187
Verandering van rechte opklimming	177	Invloed van het azimuth en de vocht- tigheid op de straalbreking	188
De straalbreking door parallelle la- gen heen hangt enkel af van de buitenste lagen.	178	Verkorting van den verticalen dia- meter	189
De invloed der straalbreking is even- redig aan de onevene machten van de trigonometrische tangens van den schijnbaren zenithsafstand.	180	Verkorting van den horizontalen dia- meter	189
Proefondervindelijke bepalingen van de poolshoogte, voor de samenstel- ling eener refractie-tafel	183	Verkorting van de schuinsche dia- meters	190
Proefondervindelijke samenstelling			

T I E N D E L E S.

De invloed der Zon op de tijdsverdeeling.

Beweging der Zon in hare loopbaan	192	Graphisch ontwerp eener middaglijn.	210
De afstand der Zon tot de Aarde is veranderlijk	192	Gnomons	211
Stelsel v. Ptolomeus of der epicyclen	193	Burgerlijke en astronomische dag .	212
Stelsel van het excentriek	194	Sterrejaar	212
Kegelsneden	195	Anomalistisch jaar	212
Cirkels	195	Tropisch of æquinoctiaal jaar. — Seizoenen. — Hun duur	213
Ellipsen	195	Kalender	214
Parabolen	197	Juliaansche kalender. — Schrikkel- jaar	216
Hyperbolen	198	Verbetering, Gregoriaansche kalend.	218
Asymptotische lijnen en getallen. .	199	Kalender der Perzen in de middel- eeuwen.	220
Kepler's toepassing der kegelsneden op het wereldstelsel.	201	Verlopend of beweeglijk jaar.	220
Gevoelen van Kepler over zijne ont- dekking. — Historische bijzonder- heden	203	Turksch jaar. — Fransch-republi- kensch jaar.	220
Gemiddelde afstand van de Zon en de Aarde. — Gemiddelde snelheid der Zon. — Perigæum en apogæum, lijn der absiden. — Beweging der grootte as, onveranderlijkheid van hare lengte. — Periodische veran- deringen der excentriciteit	207	Eeuwigdurende kalender.—Zondags- letter.	221
Ware Zonnedag en Zonnetijd; ver- anderingen van den Zonnedag	208	Zonnecyclus.	222
Gemiddelde dag en gemiddelde tijd.	209	Indictiën. — Lusters en Olympiaden.	222
Tijdvereffening	210	Noot over de Zonnewijzers.	224
		Æquinoctiale Zonnewijzer	224
		Horizontale Zonnewijzer.	224
		Verticale niet-declineerende Zonne- wijzer	225
		Verticale declineerende Zonnewijzer.	225
		Constructie	226

E L F D E L E S.

Voornaamste verschijnselen te weeg gebracht door de zonnewarmte.

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
EERSTE AFDEELING. — Veranderingen der aardwarmte	227	anderd gedurende de historische tijden	237
Ongelijkheid der dagen en nachten. — 1ste Oorzaak van verandering.	227	Vermoedens gegrond op zekere bijzonderheden van den landbouw.	238
De meerdere of mindere verzwakking der zonnestrallen door de dampkringslucht, volgens de schuinschheid dezer stralen. — 2de Oorzaak van verandering	228	Bewijs ontleend aan de astronomische verschijnselen	238
Grootere of geringere terugkaatsing van de zonnewarmte naar gelang van de schuinschheid der stralen. — 3de Oorzaak van verandering.	229	Waarschijnlijke temperaturen der Aarde vóór de historische tijden	241
Ongelijke afstanden van de Zon tot de Aarde. — 4de Oorzaak van verandering	229	Onregelmatigheden te weeg gebracht door zwermen Asteroiden, die rondom de Zon loopen	242
Tijdstippen der jaarlijksche of dagelijkse maxima en minima.	230	Vallende Sterren, veroorzaakt door de lichaampjes, die de onregelmatigheden in de warmte te weeg brengen.	243
Bepaling der gemiddelde temperaturen	231	Toepassingen, die men voor de toekomst uit de bestudeering der vallende Sterren schijnt te mogen hopen	243
Toevallige veranderingen. — Temperatuur der diepe plaatsen.	231	TWEDE AFDEELING. — Meteorologische verschijnselen.	245
Omkeering der seizoenen op zekere diepte. — Toeneming der temperaturen, uitgaande van de laag der onveranderlijke temperaturen	232	Latente of gebondene warmte der dampen en vochten	245
Afneming van de temperatuur in den dampkring	233	De overmatige afwijkingen der temperaturen, verhinderd door de werking der gebonden warmte	246
Waarschijnlijke temperatuur der hemelruimten, volgens de op verschillende punten des Aardbols verkregen uitkomsten	234	Denkbeeld van de hoeveelheid warmte, die in den dampkring werkzaam is.	246
Isothermische lijnen.	234	Hygrometrie of het meten van den vochtigheidstoestand der lucht.	247
Uiterste temperaturen in de verschillende klimaten.	235	Verwekking van kunstkoude	247
Invloed van de nabijheid der zee op de temperaturen	235	Gevolgen der uitstraling onder een helderen hemel	248
In tegenstelling met de lagere dierenklassen, verdraagt de mensch, zonder dat de temperatuur zijner organen verandert, zeer groote veranderingen van warmte	236	Dauw en rijp of rijn	248
De seizoenen zijn niet merkelyk ver-		Mist, wolken en regen; sneeuw, hagel.	248
		Regen bij heldere lucht	249
		Regenmeters en hoeveelheden regenwater in de verschillende klimaten.	249
		Hoeveelheden water, door de zware stortregens in 't Zuiden van Europa aangevoerd	250
		Beschouwing van den Bliksem	250

<i>Bladz.</i>	<i>Bladz.</i>
Natuurlijke of onzijdige electriciteit; positieve of glas-electriciteit; negatieve of hars-electriciteit. — Isolators en conductors.	250
Electriciteit der wolken	251
Bliksemstralen en donderslagen	251
Uitgestrektheid en afstand der onweerswolken	252
Terugslag. — Bliksemafleiders	252
Hoofdoorzaken der winden. — Regelmatige winden.	253
Onregelmatige winden.	255
De aspiratie-winden planten zich voort in de omgekeerde richting van de streek, waarheen zij waaien	255
Anders is 't gelegen met de zeldzamer impulsie-winden	256
Snelheid der verschillende winden	266
Zee- en landwinden of dag- en nachtwinden	256
Moussons of seizoenwinden.	256
Luchtspiegeling	257

T W A A L F D E L E S.

Physische gesteldheid der Zon.

Voorloopige kundigheden.	259	Proefnemingen van Secchi aangaande de warmtewerkingen van de verschillende punten der photosfeer.	273
Dubbele refractie.	260	Verschijnselen, die men aan de Zonnevlekken toeschrijft	273
Natuurlijk licht en gepolariseerd licht.	261	Zodiakaal-licht.	273
Polarisatie-vlak	261	Is de Zon bewoonbaar?	275
Gekleurde polarisatie	263	Proeven van Boutigny op de witgloeiende lichamen	276
Mengsels van gepolariseerd en natuurlijk licht.	263	Bepalingen	279
Polariscoop en polarimeter.	264	Uitdrukkingen der hoogte-parallax in functiën van de schijnbare en ware zenithsafstanden	279
Zonnelittekens, Zonnefakkels, Zonnevlekken.	264	Parallax van den uurhoek	280
De altijd identische gang der zonnevlekken bewijst, dat zij tot de lichtende oppervlakte zelve behooren.	264	Parallax van den poolsafstand	281
Duur van de wenteling der Zon om zich zelve.	265	Parallaxen van lengte en van breedte	283
Afmetingen der Zonnevlekken.	266	Proefondervindelijke bepalingen	236
Voorkomen der vlekken	267	Berekening der hoogte-parallaxen	286
Theorie van Herschel.	267	Berekening der parallaxen v. rechte opklimming	287
Bevestigende proeven van Arago. — Kenmerkende eigenschappen van het licht, dat van gloeiende zelfstandigheden in den vasten, druiptbaar vloeïenden of gasvormigen toestand uitgaat	268	Parallaxen der Zon en der verschillende Planeten, afgeleid uit die van Mars	287
Het historische van de ontdekking der zonnevlekken. — Johannes van David Fabricius. — Pater Scheiner. — Galilei	270	Berekening der poolsafstanden	288
Verklaring van de littekens en fakkelen door Arago.	271	Jaarlijksche parallaxen. — 1 ^o Jaarlijksche parallax van rechte opklimming	289
Dampkr. op het lichtomhulsel d. Zon.	271	2 ^o Jaarlijksche parallax van afstand tot de pool des Æquators.	290
		Jaarlijksche parallaxen van lengte en breedte	291

EERSTE LES (*).

Vluchtig historisch overzicht. — Plan van dit werk. — Urwerken der Ouden; zandloopers en clepsydren of wateruurwerken. — Eerste proeven van uurwerken met gewichten.

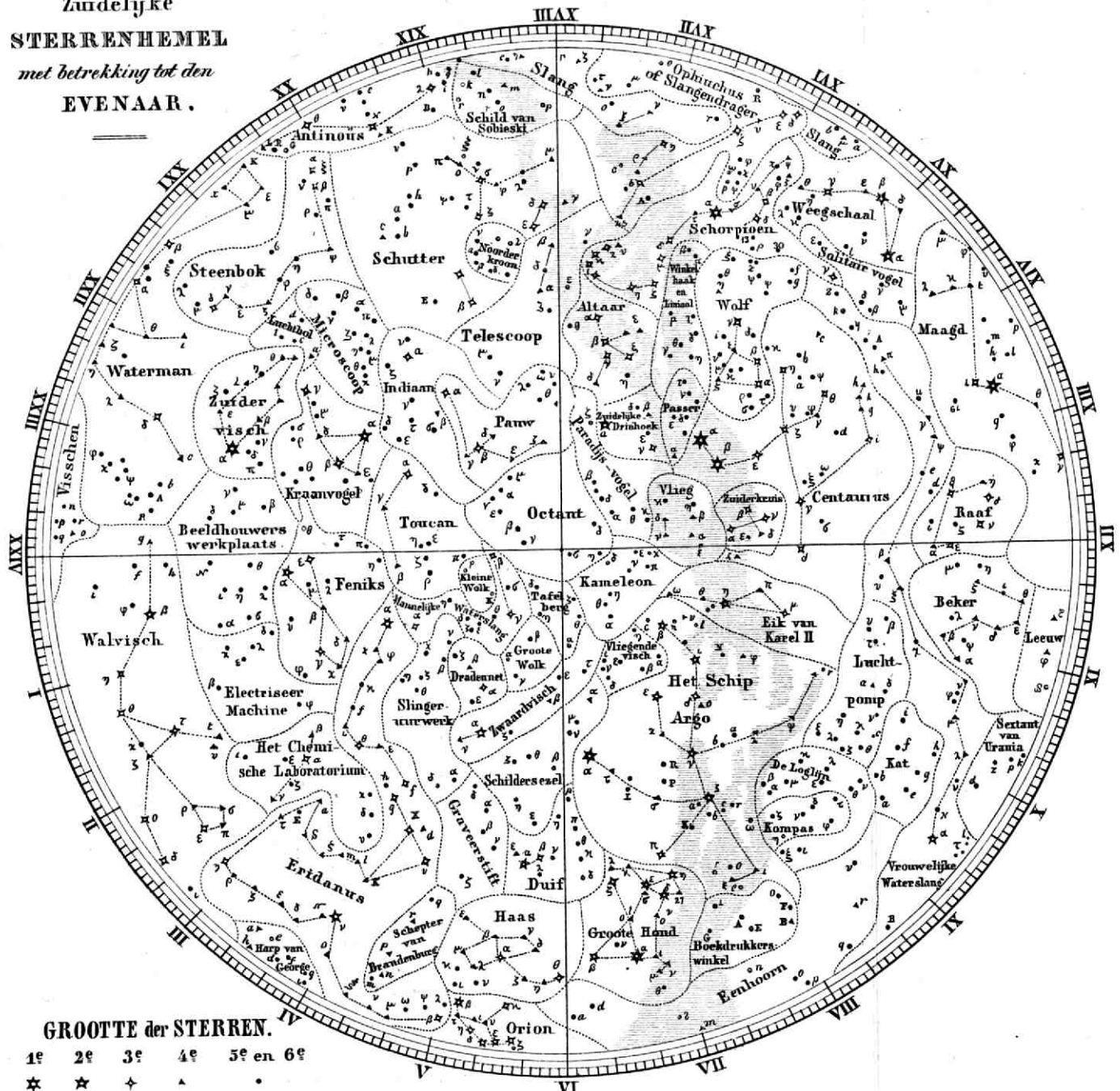
1. **Vluchtig historisch overzicht.** — De *Astronomie* of *Sterrenkunde* is eene der oudste wetenschappen. Volgens Bailly klimt haar oorsprong op tot de overleveringen, die tot het tijdperk vóór den zondvloed behooren en die bij de algemeene overstroming der aarde zijn bewaard gebleven; en Josephus verhaalt op zijne beurt, in zijne *Joodsche Oudheden*, als een bewijs van den smaak der Aartsvaders voor de verschijnselen aan 't uitspansel, dat men in zijnen tijd bij de Syriërs de overblijfsels vond eener zuil, waarop de afstammelingen van Seth, eeuwen vóór den zondvloed, hunne voornaamste astronomische waarnemingen gegriffeld hadden. De meeste geschiedschrijvers echter laten de beoefening des hemels in Egypte of in Chaldea ontstaan. In Egypte, bij voorbeeld, gingen Eudoxus en Plato de kundigheden opdoen, waarmede zij, ongeveer 370 jaar vóór onze tijdrekening, Griekenland verrijkten. De oudste tot ons gekomen waarnemingen aan den hemel zijn bijna 4000 jaar geleden in China, en 700 jaar vóór Christus te Babel gedaan.

2. — De bescherming der Ptolemeussen, koningen van Egypte, bracht eene ware omwenteling in de Sterrenkunde te weeg. Inzonderheid was het Ptolemeus Philadelphus, wiens aanmoediging der wetenschap de rijkste vruchten droeg. Hij lokte de geleerden van Griekenland naar zijne hoofdstad, huisvestte hen in zijn paleis, en verschafte hun ruimschoots de middelen om zich geheel met wetenschappelijke nasporingen bezig te houden. Wij treffen dan ook nog 634 jaar na den aanvang onzer tijdrekening, tijdens den inval der Saracenen, in Egypte nog een blakenden ijver voor de wetenschap des uitspansels aan.

3. — Ik zal hier niet uitweiden in de geschiedenis der eerste ontdekkingen, die wij aan de Alexandrische school te danken hebben: ik noem u enkel de namen van Temocharis, Aristellus, Eratosthenes, en haast mij om tot het glorierijk tijdperk te komen, dat door de verrichtingen van Hipparchus verheerlijkt is.

(*) Men kan, desverkiezende, de lezing of beoefening van dit werk met de vijfde les aanvangen, daar de vier eerste alleen handelen over de uurwerken en de optische werktuigen, die bij de sterrenkundigen in gebruik zijn.

Zuidelijke
STERRENHEMEL
 met betrekking tot den
EVENAAR.



4. — Deze groote Sterrenkundige trad 160 jaar vóór Christus op. Hij zag in, dat de bewegingen der Planeten niet gelijkmatig waren; bepaalde eenige onregelmatigheden dier bewegingen voor de Zon en de Maan; verbeterde de lengte van het jaar; gaf meer nauwkeurigheid aan de afmeting der aarde, zooals die door Erathostenes was gegeven; maakte van de Eclipsen, door de Chaldeërs waargenomen, eene Lijst, die nog heden ten dage als grondslag dient bij 't bepalen van de gemiddelde beweging der maan; bedacht eene scherpzinnige methode (het *diagram van Hipparchus*) om door de Eclipsen den afstand tusschen de zon en de aarde te vinden; ontdekte een gewichtig verschijnsel, de *precessie der evennachtspunten* geheeten (zie 9de Les), dat voor de geschiedenis gelukkige toepassingen kan opleveren; eindelijk stelde hij, bij gelegenheid van eene onverwachts verschenen Ster, eene Sterrenlijst van 1022 Sterren samen, die hij voor het 128ste jaar vóór Christus berekende: „Eene den Goden waardige onderneming,” zegt Plinius; „want daardoor gaf Hipparchus het middel aan de hand om voortaan te weten of de Sterren verloren gaan of verdwijnen konden, of zij van stand, grootte en licht veranderden, in één woord, hij liet den hemel ten erfdeel na aan degenen, die hem zouden volgen en die genie genoeg bezitten mochten om zijn werk vruchtdragend te maken.” Na Hipparchus levert Alexandrië ons nog slechts twee Sterrenkundigen, die vermelding verdienen: Sosigenes, aan wien Julius Cesar, 46 jaar vóór Christus, de taak der verbetering van den Kalender opdroeg; en Ptolemeus, wiens boek, onder den naam van *Almagest* of groot werk ons de verrichtingen van Hipparchus op astronomisch gebied heeft nagelaten, terwijl het ons tevens den staat doet kennen, waarin de Sterrenkunde van het jaar 125 vóór Christus af tot op Copernicus toe, dat is gedurende 1400 jaren, zou blijven. Reeds in de 2de eeuw vertoont zich een snel verval; de bibliotheek van Alexandrië wordt in 641 door de Arabieren vernield, en met de wetenschappen is 't in Egypte gedaan. Zonderlinge ommekeer! Diezelfde Arabieren, na hunne barbaarsche woede gekoeld te hebben aan die onschatbare verzameling, waarin zoo vele schatten van den geest bijeengebracht waren, schaamden zich eerlang over hunne onwetendheid: zij zochten de duisternis, die zij te weeg gebracht hadden, te doen opklaren, en zijn dan ook nagenoeg de eenigen, die ons sedert de 8ste eeuw eenige goede waarnemingen hebben nagelaten.

5. — Wij komen tot de 15de eeuw zonder iets merkwaardigs te kunnen vermelden. Maar in 1472 of 1473 werd op de grenzen van Polen, in de nu Pruisische stad Thorn, de stoute hervormer geboren, dien men kent onder den naam van Copernicus, en wiens stelsel van de beweging der aarde thans, als de uit-

drukking der waarheid, in aller monden is. 't Was omstreeks denzelfden tijd, dat Tycho Brahe, die beroemde telg van een aanzienlijk geslacht, die onvermoeide navorscher des hemels, op een eilandje der Baltische Zee, alwaar Frederik I, koning van Denemarken, hem met rijke goederen had beleend, door zijne talrijke waarnemingen de schoone ontdekkingen van Kepler voorbereidde.

6. — Bij dezen laatsten naam, voortaan met dien van Newton de schitterende personificatie der Sterrenkunde, moet ik eenige oogenblikken vertoeven. Kepler, overtuigd dat er zeer eenvoudige verhoudingen tusschen de verschillende bestanddeelen van 't planetenstelsel moesten bestaan, zocht meer dan twintig jaar lang naar de wetten, die hem onsterfelijk hebben gemaakt. Enkele fouten in cijfers, zegt men, deden zijne pogingen van zoo langen duur zijn, want reeds bij den aanvang had hij de geheimen geraden, die hij wenschte te doorgronden. Maar hoe groot waren dan ook zijne verrassing en vreugde, toen de volhardende onderzoeker na zoo veel vruchteloze proeven tot zijne eerste berekeningen terugkeerde en hare resultaten in overeenstemming vond met de verschijnselen aan den hemel! Men moet hem zelve zijne vreugdvervoering en zijne vrees hooren verhalen! Men moet hem, den zoo werkzamen, onvermoeiden man voor eenige dagen zijne zoo geliefde werkzaamheden zien vaarwel zeggen, om in rust het genot zijner ontdekking te smaken. terwijl hij 't zelfs niet durft wagen de proef op zijne berekeningen te maken, uit vrees dat zijne streelende zelfvoldoening daardoor in eene ijdele zelfbegoocheling zou veranderd worden! Benijden we hem dat zoo innige geestesgenot toch niet. De ongelukkige, helaas! heeft nooit een ander gekend. Want meer dan eens — 't is treurig het te moeten zeggen — zag hij, wiens vruchtdragende nasporingen door hare toepassing op de koopvaardij van zoo grooten invloed op den volksrijkdom zouden worden, zich ter prooie aan al de ontberingen der pijnlijkste armoede. — Door Kepler's voortreffelijke werkzaamheden, die voor Newton alras de bron van nieuwe ontdekkingen gaan worden, zullen de Astronomische Tafels voortaan nauwkeurig zijn, en men zal den zeevarenden lang van te voren de hemelverschijnsels kunnen voorspellen, naar welke zij zich te richten hebben.

7. — Wij komen nu in een nieuw tijdperk voor de Sterrenkunde. Ten gevolge van een gelukkig toeval, worden de verrekijkers in 1609 of daaromtrent uitgevonden; en Galileï neemt eene reeks van hemelverschijnsels waar, die tot dusverre onbekend waren. De *Académie des sciences* te Parijs wordt door Colbert gesticht; de *Royal Society* te Londen wordt ingesteld; Christiaan Huygens past den slinger op de uurwerken,

een ander den micrometer op de verrekijkers, een derde de verrekijkers op de quadranten toe, en de wetenschap, door al die vindingen verrijkt, krijgt eerlang eene geheel andere gedaante. Wilde ik hier de uitkomsten van zooveel pogingen vermelden, ik zou dan als 't ware in eenige woorden de Sterrenkunde in haar geheel willen verklaren. Ik bepaal mij dan voor 't oogenblik bij het uitspreken van eenige doorluchtige namen, als verteenwoordigers van voortreffelijke verrichtingen, en noem U Hevelius, Huygens, Cassini, Picard, Bradley, Römer, Halley, Flamsteed, en boven die allen nog den naam, den grooten naam van Newton. Vergeet daarbij niet, dat wij tegenover die beroemde mannen uit een reeds verwijderd tijdperk andere uit jongere tijden kunnen stellen; want de namen van Clairaut, d'Alembert, Lacaille, Lalande, Laplace, Herschell, Lagrange, Delambre, Bessel, Arago, Kayser, Biot, Struve, enz., leven op aller tongen, en de toekomst heeft ongetwijfeld dezelfde eer insgelijks weggelegd voor anderen, wier werkzaamheden wij gelegenheid zullen vinden uiteen te zetten.

8. — Ik houd mij nu bij deze bijzonderheden niet op. — Wat het nut der wetenschap betreft, die wij gaan beoefenen, het loopt te duidelijk in 't oog dan dat het noodig zou kunnen zijn het in 't breede te betoogen. Wie, bij voorbeeld, zou tien jaren achtereen den Almanak kunnen missen, den Almanak, dat schijnbaar onbeduidendste der boeken, ofschoon het toch eeuwendurende nasporingen heeft vereischt? En gelooft gij niet — ondersteld dat er geen Sterrenkundigen meer waren om dien tijdwijzer te berekenen en toe te lichten — dat de landbouwers, onder anderen, en al dezulken wien hij dagelijks tot gids dient, weldra schade zouden lijden door 't gemis van nauwkeurige opgaven omtrent de orde der seizoenen, door verkeerde bepalingen aangaande de verschillende luchtverschijnsels, waarmede men elk oogenblik moet te rade gaan in de behoeften des levens, enz.?

Voor 't overige zou 't niet aan voorbeelden ontbreken om te staven hoe volstrekt onmisbaar de tusschenkomst eener goede Astronomie is voor de maat des tijds. De oude volkeren van Egypte zagen het jaar, ten gevolge van de wijze waarop hun kalender was ingericht, achtereenvolgens in de verschillende seizoenen aanvangen, en nog was de tijdruimte, waarin zoodanige verwarring zich opdeed, niet zeer groot, nauwelijks meer dan 1400 jaren; zoodat toenmaals de levensduur van een mensch toereikend was om in de seizoenen die voortgaande verschuiving waar te nemen, welke zekere lieden nog in onze dagen, maar geheel ten onrechte, meenen te bespeuren. Ten tijde van Julius Cesar heerschte er mede in de wijze van tijdberekening eene groote verwarring, en zonder den raad van den Sterrenkundige

Sosigenes zou de *Juliaansche kalender* niet vijftien eeuwen achtereen paal en perk aan de wanorde gesteld hebben, daar hij de middelen aan de hand deed ter bereiking van al die nauwkeurigheid, welke men toen bij mogelijkheid kon verlangen. Eindelijk, in weerwil van de reeds gemaakte verbeteringen, was reeds in 1582, onder paus Gregorius XIII, de lente, in plaats van den 20sten Maart te komen, tot op den 10den dier maand teruggegaan, en wel ten gevolge eener kleine dwaling, waarop de Juliaansche kalender geen acht had kunnen slaan; en andermaal moest de Sterrenkunde tusschenbeide komen om onder begunstiging en bescherming van het hoofd der Kerk de *Gregoriaansche verbetering* te bewerken. Doen wij echter in 't voorbijgaan opmerken, dat noch de Engelschen, noch de Russen, noch de Turken, gedreven door eenen geest van kerkelijk verzet, die verbetering wilden volgen, en dat nog in onze dagen, ondanks haar erkend nut, alleen de Engelschen onder de genoemde natiën haar hebben aangenomen.

Wij weten thans allen, dat de Eclipsen, de Kometen, enz. ons niet met gevaar dreigen. Maar laat eens de wetenschap te niet gaan, en gij zult alras weer al die vooroordeelen krachtig zien optreden, welke de wetenschap zelve nog niet geheel heeft kunnen uitroeien. De Atheensche veldheer Nicias, van schrik bevangen door eene maansverduistering, liet de gunstige gelegenheid voorbijgaan om Sicilië met zijn leger te verlaten. Hij kwam om 't leven, zijn leger werd vernield en 't verval van Athene nam eenen aanvang. Pericles, Julius Cesar, Columbus, enz. bedienden zich daarentegen met voordeel van zons- of maansverduisteringen, om aan dreigende groote gevaren te ontkomen. Men zou eene schier eindeloze lijst kunnen maken van al degenen, voor wie de astronomische kundigheden voordeelig zijn geweest.

9. — Maar onwetendheid en bijgeloof zijn 't niet alleen, die eene rekening met de Sterrenkunde hebben af te sluiten: de volksverlichting en de dagelijksche behoeften der beschaving staan met haar in een nog veel inniger verband. Zij verschaft aan de zeevaart, bij voorbeeld, de nuttigste en menigvuldigste toepassingen. Onze vadersen — gij weet het — durfden zich weinig of niet van de kusten verwijderen; wij, heden ten dage gelukkiger, wij steken stout het midden der zeeën in, verzekerd zijnde dat wij door 't waarnemen van den hemel eene klip, om zoo te zeggen op eenige ellen afstands, kunnen langs stevenen zonder schipbreuk te lijden. Houdt hierbij nog in 't oog, dat de Sterrenkundigen hier de dubbele taak van den Ingenieur en den Geleerde vervullen; want zij vergenoegen zich niet enkel met onophoudelijk de Astronomische Tafels nader aan de volmaakt-

heid te brengen, maar zij berekenen ook vooruit de *Ephemeriden* (die, onder anderen, voor elken dag des jaars de plaats van iedere planeet in den zodiak aangeven), naar welke de zeelieden hunnen koers moeten richten.

10. **Plan van het werk.** — Alvorens wij onze studiën werkelijk aanvangen, vermeen ik in weinig woorden te moeten mededeelen in welke orde deze studiën zullen afgehandeld worden. — De uurwerken en de verrekijkers, die onmisbare werktuigen der Sterrenkundigen, zullen allereerst ons in deze en drie volgende lessen bezig houden. Daarna zal ik u mededeelen wat wij van de Sterren weten, en u de middelen ter herkenning dier hemellichamen aan de hand geven. Dan zullen wij achtereenvolgens overgaan tot de beoefening der Zon, der Maan en der verschillende planeten. Bij die gelegenheid zal ik in bijzonderheden treden omtrent den kalender, de jaargetijden, den duur der dagen en nachten, de fasen of schijngestalten der Maan, de Eclipsen, de verschijnselen van de precessie der Evennachtspunten, de nutatie of schommeling der aardas en de verspreiding van het licht; ten laatste omtrent de winden, de temperatuursveranderingen en eenige andere gevolgen van den invloed der zon; vervolgens zal ik spreken over de Kometen, de Meteorsteenen en de lichtende luchtverschijnsels; over de Aarde en de voornaamste toepassingen der Astronomie, zoo op de Aardrijkskunde als op de Zeevaart; over de verschillende stelsels, die uitgedacht zijn om de bewegingen des hemels te verklaren, enz., en ik zal mijne taak afwerken met de studie van de eenige oorzaak, die onder den naam van *gravitatie* of *Zwaarte*, *Zwaartekracht* of algemeene Aantrekking, het gansche samenstel van 't Heelal beheert.

Ziedaar in weinig woorden het vluchtig overzicht van hetgeen wij gaan ondernemen. Ik maak al dadelijk eenen aanvang met het eerste punt van mijn plan: de theorie der werktuigen.

11. **Uurwerken der Ouden.** — **Zandloopers.** — De Ouden bedienden zich ter afmeting van den tijd allereerst van den toestel, dien men *Zandlooper* heet. Dit werktuig is zóó algemeen bekend, dat ik alle beschrijving daarvan kan achterwege laten. Het bestaat (fig. 1) uit twee aan hunne toppen vereenigde glazen kegels, die met elkander in gemeenschap



Fig. 1.

staan door eene opening *a*, door welke het zand uit de bovenste afdeeling in de onderste loopt. Is al het zand doorgelóopen, dan keert men eenvoudig het werktuig om, zoodat de boven-afdeeling beneden komt en omgekeerd. De beide glaskegels worden alzoo

beurtelings gevuld en geledigd in tijdruimten, die men voor gelijk hield en die 't ook werkelijk zijn. Men kon zelfs, met behulp van een kleineren zandlooper, die verscheidene malen in elke dezer tijdruimten ledig liep, haren duur in onderdeelen splitsen en het werktuig van eene graadschaal voorzien.

Uit nieuwelings genomen proeven is gebleken, dat de zandlooper geschikt is om aanwijzingen van vrij groote nauwkeurigheid te geven, en dat de wet, volgens welke het zand doorloopt, aanmerkelijk verschilt van de wet der doorvloeijing van het water. In het laatste geval toch hangt de snelheid aan de opening ieder oogenblik af van de hoogte of *drukking* der vloeistof boven het punt *a*, en vermindert met die drukking. Bedient men zich daarentegen van zand, zoo schijnt de doorlopende hoeveelheid, hoedanig ook de drukking moge wezen, steeds dezelfde te blijven en bij gevolg, gelijk men in de Wiskunde zegt, *evenredig aan den tijd* te zijn; zoodat de snelheid van het zand bij zijnen doorgang enkel van den diameter der korrels afhangt. Ondanks die eigenschap, waarmede de Ouden ook misschien niet bekend waren, maakten zij ongetwijfeld niet veel gebruik van het zand en stelden er weldra 't gebruik van het water voor in de plaats, terwijl zij tevens in den toestel eene gepaste wijziging brachten. De geschiedschrijvers toch verhalen ons, dat Plato in Griekenland de *klepsydren* (*) of waterloopers, wateruurwerken invoerde; dat Ctesebius, de zoon van een' barbier te Alexandrië, 200 jaar vóór Christus, op die uurwerken de door Archimedes uitgedachte tandraderen toepaste; dat de klepsydren ten tijde van Cesar in Engeland bestonden; dat men bij den triomfalen intocht van Pompejus onder de uit het Oosten meegebrachte zegeteekenen ook een wateruurwerk zag, hetwelk in eene met paarden bezette kas was besloten; dat Boëthius in de 5de eeuw twee wateruurwerken maakte voor Gondebald, koning van Bourgondië; dat in de 8ste eeuw een merkwaardig waterhorloge ook door de Chineezen werd vervaardigd; eindelijk, dat de kalif Haroen-al-Rasjid in 't begin der 11de eeuw een prachtig wateruurwerk aan Karel den Groote vereerde, enz., enz.

12. **Klepsydren of Wateruurwerken.** — Deze toestellen waren aanvankelijk hoogst eenvoudig ingericht, en werden soms meer samengesteld enkel door de overtollige zaken, die men er bij aanbracht. Een vat M (fig. 2), waarin het water *droppel voor droppel* neerviel uit de kleine opening N, die zoodanig was vervaardigd, dat zij, zooveel mogelijk, in gelijke tijden gelijke hoeveelheden vocht leverde; een drijver D, in evenwicht gehouden door het tegenwicht C en van lieverlede rijzende met het

(*) Van 't Grieksch *klépto*, ik neem weg, en *hy'dor*, water.

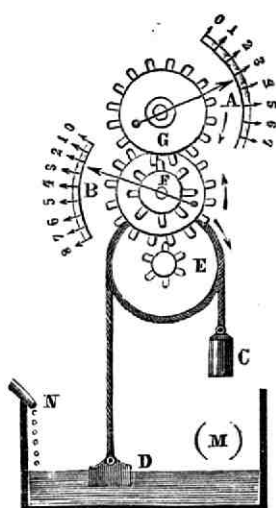


Fig. 2.

ten, steeds zooveel mogelijk aan elkander gelijk in gelijke tijden. Maar men ziet lichtelijk in, dat zulk een samenstel onderhevig moest zijn aan menige onregelmatigheid, te weeg gebracht door de verdamping, door de veranderingen in de dichtheid der vloeistof, door de adhesie of aanklevingskracht van den drijver en het water, enz. Men zag zich dan ook al dadelijk na de uitvinding genoodzaakt om wijzigingen aan te brengen. 't Was evenwel niet vroeger dan tegen het midden der 9de of wellicht omstreeks het einde der 10de eeuw, dat men het eerste tamelijk goede resultaat mocht bekomen. Men plaatst toch gemeenlijk de uitvinding der uurwerken met gewicht en onrust, welke wij nog heden gebruiken, nu eens op den eersten, dan weer op den tweeden der genoemde tijden, hoewel het schijnt dat zij inderdaad eerst tot de 14de eeuw gebracht moeten worden. Vast staat het, dat het eerste onrustuurwerk, in Frankrijk vervaardigd ten gevolge der pas uit Duitschland derwaarts gekomen uitvinding, datgene was, hetwelk Hendrik de Vic in 1370 te Parijs op den toren van 't paleis van Karel V. plaatste, en dat de vermeende onrustuurwerken, die men òf aan Pacificus (*), òf aan Gerbert (†) toeschrijft, niets anders waren dan eenvoudige gewichtuurwerken met vleugels of bladen *a, a* (fig. 3) tot regelaar,

(*) Aartsdiaken van Verona, onder Lotharius, omstreeks 850.

(†) Eerst monnik, omstreeks 906, te Aurillac in Auvergne, later paus onder den naam van Sylvester II.

oppervlak der vloeistof in het vat (M), om door 't ingrijpen van de radertanden der schijf E bepaalde snelheden mede te deelen aan het raderstelsel F, G, enz., welks naalden of wijzers A, B, enz. de uren, minuten, enz. aanwezen op doelmatig aangebrachte wijzerplaten: ziedaar het wateruurwerk, ontdaan van alle nutteloos toevoegsel. En meestal zou men het zelfs kunnen terugbrengen tot de schijf E alleen, die in dit geval zou moeten voorzien worden van eenen wijzer, die zich vóór eene wijzerplaat bewoog.

13. **Eerste proeven van uurwerken met gewichten.** — De vloeistof vervulde hier een dubbele rol: die van *beweegekracht*, door 't opheffen van den drijver, die het uurwerk deed gaan, en die van *regelaar*, door in het vat M te rijzen tot hoog-

en met tandraden op de wijze van onze hedendaagsche *braadspit-draaiers*, waarbij de afwisselingen in de dichtheid der lucht een

zoo grooten invloed hebben op den tegenstand der vleugels, en gevolgelijk op de regelmaat van den gang des toestels.

14. — In weerwil dezer oorzaak van onregelmatigheid, zijn aan het werktuig toch vrij groote voordeelen verbonden. Vooreerst kan men, door aan de vleugels eene behoorlijke helling te geven, den weerstand, dien de

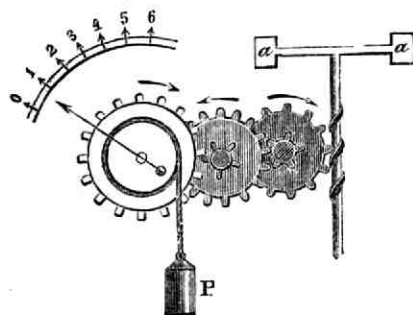


Fig. 3.

lucht hun biedt, meer of minder vermeerderen en alzoo de snelheidsgrenzen, die evenwicht maken met dezen weerstand, ruimer of enger stellen, met andere woorden, den gang van het werktuig bespoedigen of vertragen. Wat betreft de aanwijzing der uren, minuten, seconden, niets is gemakkelijker dan die te verkrijgen met behulp van naar eisch aangebrachte raderen en tanden. Het bewegingsgewicht, dat hier in de plaats van 't water komt, levert ook waarborgen van regelmaat, welke de verliezen door verdamping, de met de temperatuur veranderende adhesie tusschen de vloeistof en den drijver, enz., geenszins bij de klepsydrén konden opleveren. Eindelijk, daar de weerstandbieding van de lucht tegen de beweging der vleugels zeer snel aangroeit naargelang de snelheid dier vleugels vermeerdert, zoo gevoelt men wel, dat, na de eerste oogenblikken van snelle verandering bij 't in-gang-komen der machine, de neiging tot versnelling, die uit de aantrekking der aarde op het bewegingsgewicht wordt geboren, ieder oogenblik zal te niet gedaan worden door den tegenstand der lucht op de vleugels, en dat de beweging genoegzaam gelijkmatig zal worden, ten minste zoolang als de dichtheid der lucht niet eene te aanzienlijke verandering ondergaat, of de afrolling van het koord niet een te groote overmaat van gewicht aan de beweegkracht bijzet.

Gij ziet hier alzoo, buiten allen twijfel, een kennelijken vooruitgang bij de wateruurwerken, doch terzelfder tijd nog menige oorzaak van dwaling, die verwijderd moet worden. Wij zullen thans over de eigenlijk gezegde onrustuurwerken spreken en de verschillende vindingen uiteenzetten, waaraan de hedendaagsche uurwerkmakerij het te danken heeft, dat zij tot eene ongehoopde volkomenheid mocht geraken.

TWEEDE LES.

Vervolg van de beoefening der uurwerken. — Verschillende verbeteringen, die de chronometrische werktuigen sedert de 14de eeuw tot op onzen tijd hebben ondergaan. — Schakelrads- of Kroonrads-echappement. — Spiraalveer van de onrust. — Slinger van Galilei. — Toepassing van den slinger op de uurwerken door Huygens. — Anker-echappement. — Compensatiën van den slinger: 1° met kwik; 2° met rooster- of raamwerk; 3° gebruik der staven van vernist dennenhout. — Ophangpunt met veer en met mes. — Lengte des seconde-slingers op eenige punten des aardbols. — Uurwerken met drijfveer. — Snek. — Cilinder-echappement. — Isochronische spiralen. — Vrij echappement. — Compensatie van de onrust. — Slaguurwerken.

15. — Wij hebben gezien van welke uurwerken men zich achtereenvolgens tot tegen het einde der 14de eeuw bediende. Te dien tijde kwam, gelijk ik reeds gezegd heb, een Duitscher, Hendrik de Vic, in Frankrijk, om te Parijs op den toren van 's konings paleis het eerste uurwerk met gewicht en onrust te plaatsen. In het vernuftig bedachte werktuig van den Overrijnschen kunstenaar wendde men, in plaats van de eenvormige en onafgebroken beweging, die in het vleugeluurwerk van Pacificus of van Gerbert de tijdverdeeling vrij moeielijk maakte, stootende bewegingen aan, door de wijzers van 't uurwerk bij zeer kleine sprongen te doen voortgaan, zoodat de gezamenlijke duur van eene beweging en van een daarop volgenden stilstand bestendig dezelfde bleef. Om tot deze uitkomst te geraken, moest het stelsel van tandraderen, dat van 't bewegend gewicht tot aan de

verschillende wijzers liep, besloten worden met een laatste rad, bestemd om het gewicht een te snelle daling te beletten, en dit rad kreeg den naam van *schakelrads- of kroonrads-echappement*.

Kroonrads- of Schakelrads-echappement voor gewichtuurwerken. — Evenwijdig aan het vlak van dit rad R (fig. 4), dat met behulp van behoorlijk tandraderwerk hetzij horizontaal of verticaal is geplaatst, beweegt zich de as der onrust, bestaande uit die as zelve A B en uit twee plaatjes of pallen M, N, die in loodrecht op elkander staande vlakken zijn aange-

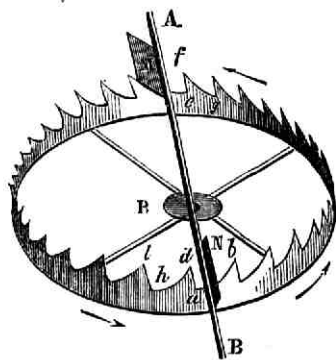


Fig. 4.

M, N, die in loodrecht op elkander staande vlakken zijn aange-

bracht, zoodat zij beurtelings tegen de overstaande raderen van het schakelrad kunnen aanslaan. Deze tanden, die perpendiculair op het vlak van het rad uitsteken, houden van den eenen kant de vlakke zijde *ef*, van den anderen een gebogen vlak *fg* voor. Naarmate nu het rad, gedreven door 't op de tandraderen werkende gewicht, ronddraait, wordt zijne beweging achtereenvolgens gestuit tegen 't eene of 't andere der plaatjes M, N, die regelmatig rijzen en dalen door opeenvolgende schommelingen, 't gevolg der beurtelingsche stooten van de twee tegenoverstaande tanden.

Ik zal mij niet lang hierbij ophouden. De u afgeteekende figuur is, dunkt mij, voldoende om u de werking van de onrust gemakkelijk te doen begrijpen. In deze figuur begint de pal N, nadat hij de vlakke zijde van den hem plotseling tegenhoudenden tand *ad* heeft aangestooten, ten gevolge van den schok in de richting *ab* te rijzen, en het schakelrad hervat van zelf zijne beweging in de richting, door de pijltjes aangeduid. Maar terwijl de pal N naar *ab* rijst, daalt de pal M integendeel naar den tand *ef*, stoot dien tand aan, stuit op zijne beurt den gang der machine, en springt door den ontvangen schok terug om den stand te hernemen, dien hij in de figuur heeft. Alsdan heeft de pal N zich weder perpendiculair op het vlak van het rad geplaatst; doch de tand *lh* is op de plaats gekomen, die de ontsnapte tand *ad* eerst besloeg; en de beide korte stooten, met de beide daarop gevolgde stilstandstijden, hebben zich achtereenvolgens aan de wijzers van het uurwerk medegedeeld.

16. **Spiraalveer van de onrust.** — De geregelde gang van den toestel was hier — gelijk men gereedelijk zal inzien — geheel afhankelijk van den tijd, dien de onrust tot zijne schommeling besteedde, want de tijdduur dier schommeling was juist dezelfde als de som van de beide tempo's der stuiting en ontsnapping van elken tand des schakelrads. Jammer maar, dat de terugspringende beweging, die door den aanstoot terzelfder tijd aan het rad en aan de onrust werd medegedeeld, zich op nadeelige wijze voortplantte op al de deelen van het werktuig, en afwijkingen te weeg bracht, welker verhelping zeer wenschelijk moest wezen. 't Was de meer genoemde Nederlander Huygens (*), die de schommelingen wist te regelen door in 1674 aan de as der onrust het einde A (fig. 5) eener kleine spiraalvormig gedraaide veer te hechten, terwijl hij het andere

(*) Men heeft de uitvinding der spiraalveer willen toekennen aan den Engelschman Hook, die, naar men zegt, zijne uitvinding zou hebben aangegeven in een handschrift, dat hij in 1660, veertien jaren voor Huygens met zijne vinding oprad, aan de *Royal Society* te Londen ter hand stelde. Maar men is algemeen van oordeel geweest, dat deze reclame van Hook, die ook zelve haar ingediend heeft, te laat heeft plaats gehad, even als die, welke men insgelijks ter gunste van den Franschman Hautefeuille heeft opgeworpen.

einde B aan een van de onbeweeglijke deelen der machine bevestigde. De toestel krijgt op die wijze een element van vastheid, van onbeweeglijkheid, dat hij geenszins bezat toen hij geheel vrij was, en dat geheel in overeenstemming is met den

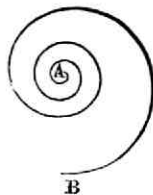


Fig. 5.

natuurlijken vorm der *spiraalveer*. Maar zoodra de schok der schakelradtanden de pallen of plaatjes in beweging brengt, rolt de spiraal zich op of wel ontrolt zich, volgens de richting der schommeling die de onrust volbrengt, en in beide gevallen poogt zij de onrust in den stand van 't evenwicht terug te voeren, om ze dien vervolgens te doen overschrijden, uit kracht van de verkregen snelheid en hare eigene veerkracht. Terwijl ze vervolgens op zich zelve terugwerkt en tevens

den terugstoot van een nieuwen schok ontvangt, veroorzaakt ze eene schommeling in de omgekeerde richting van de vorige, tot op het oogenblik eener tweede stuiting, enz.

Men begrijpt gemakkelijk, dat de veerkracht der spiraalveer, in verband tredende met de stooten der pallen tegen de schakelradtanden, aan de onrust een vrij goed isochronismus (*) vermag te geven: dit is het woord, dat men gebruikt ter aanduiding van in denzelfden tijd volbrachte schommelingen. Intusschen moet ik, om de historische volgorde, die wij door de voorafgaande beschrijving van Huygens' vinding voor een oogenblik hebben omgekeerd, thans u mededeelen, dat deze vinding eenige jaren later plaats had dan de niet minder schitterende ontdekking, waardoor de onrust in de gewichtuurwerken voor den slinger heeft moeten wijken.

17. **Slinger van Galilei.** — Een toeval, mag men zeggen, maar een toeval, opgevangen en vruchtdragend gemaakt door het genie van een groot man, had Galilei reeds vóór meer dan twee eeuwen den eersten grondslag ter verbetering aan de hand gedaan. De beroemde Sterrenkundige vestigde eens zijne aandacht op de schommelingen der lampen, die aan een kerkgewelf hingen, en de oplettende studie van het verschijnsel deed hem alras de wetten daarvan vaststellen; want hij zag in dat de schommelingen isochronisch of van gelijken tijdduur waren, wanneer zij binnen vrij enge grenzen beperkt bleven, en bovendien dat de tijden van de schommelingen der verschillende lampen tot elkander stonden als de *kwadraat-* of *vierkantswortels* uit de lengten der ophangkoorden.

Laat dat woord *kwadraat-* of *vierkantswortel*, zoo 't u nog vreemd mocht zijn, u niet afschrikken: ik haast mij om het te

(*) *Isochronismus* of gelijkdurigheid, van 't Grieksch *isos*, gelijk, en *chrónos*, tijd.

verklaren. De vierkantswortel van een getal is de hoegrootheid, die, met zich zelve vermenigvuldigd, dat getal voortbrengt. Zoo is de vierkantswortel van *een* — *een*, omdat *een* met zich zelf of met *een* vermenigvuldigd, een product geeft gelijk aan *een*. De vierkantswortel van *vier* is *twee*, omdat 2, vermenigvuldigd met 2, 4 geeft; de vierkantswortel uit 9 is 3, want 3 met 3 vermenigvuldigd geeft 9, enz., enz. Hieruit volgt, dat, indien de aan een koord van 4 el hangende lamp tot hare schommelinge eenen tijd besteedt, die door 2 wordt uitgedrukt, alsdan eene lamp, wier hangkoord 9 el bedraagt, eenen tijd zal noodig hebben, die door 3 wordt voorgesteld; eene van 16 el koord zal eenen tijd gelijk aan 4 behoeven, enz., enz. Ziedaar eene ontdekking, die voor de toekomst zeer veel beloofde en die in 1639 het aanzijn gaf aan Galilei's verhandeling over het *Gebruik des slingers als algemeen* physisch uurwerk*.

Toepassing van den slinger op de uurwerken, door Huygens. — Men heeft beweerd, dat een Zwitser, met name Justus Byrge, zich reeds in 1552 van den genoemden toestel voor de afmeting des tijds had bediend. Maar Justus Byrge heeft niets in 't licht gegeven, dat daarvan tot bewijs strekt; en zoo 't al waar mocht zijn, dat hij werkelijk het gebruik van een zoo onschatbaar werktuig heeft gekend, dan mag men nog vragen op welken grond de nakomelingschap hem erkentenis zou schuldig wezen voor eene ontdekking, waarvan hij 't geheim in zijn graf heeft meegenomen? Hetzelfde zou 't geval zijn met de Arabieren, aan wie de ontdekking alsmede is toegekend. De eer komt derhalve uitsluitend toe aan Galilei. Doch de toepassing van den slinger op de uurwerken werd eerst vijftien jaren na den dood des vermaarden mans gemaakt door Huygens, die in 1657 het eerste authentieke uurwerk met slinger (*) en wijzer vervaardigde. Ik zeg *authentieke* of echte, omdat sommigen verzekerd hebben, hoewel zonder voldoende bewijzen, dat Galilei's zoon Huygens in dezen was voorgegaan.

18. **Anker-echappement.** — De vormen van 't aan den slinger dienstbaar gemaakte *echappement* hebben allerlei wijzigingen ondergaan. Ik zal mij, korthedshalve, bepalen tot de vermelding van een der samenstellen, dat vrij algemeen gebezigd wordt en dat men den naam geeft van *anker-echappement*. Het werd in 1666 door den vroeger reeds vermelden Engelschman Hook uitgevonden, waarom het ook wel Engelsche haak wordt geheeten. Ziehier waarin 't bestaat.

Onderstelt dat de slinger CB om het punt C schommelt en een anker DFE draagt, dat met twee haken of bekken D, E is

(*) De slingeruurwerken (in 't Fransch *horloges à pendule*) hebben bij verkorting, ook in Nederland, den naam van *pendules* gekregen, en worden tegenwoordig algemeen zoo genoemd.

gewapend. Wanneer de slinger in den stand CB is (fig. 6), dat

is, wanneer hij weder zal beginnen te dalen, zoo ziet men dat de daling van 't gewicht P en gevolgelyk ook de beweging der machine geheel gestuit worden door den haak E, tegen welken een tand van 't echappements-rad aan slaat.

Wanneer daarentegen de slinger in den stand C'B' (fig. 7) is gekomen, zal het de haak D zijn, die de beweging van het rad belet.

De haken D, E, zijn voorts met een schuinen kant bewerkt, zoodat het glijden van den top der tanden tegen de zijden *ab*, *cd* van deze haken geenszins de schommelingen vermindert en te niet doet, maar veeleer het zijne toebringt om den slinger de snelheid terug te geven, die hij door de wrijving mocht verloren hebben.

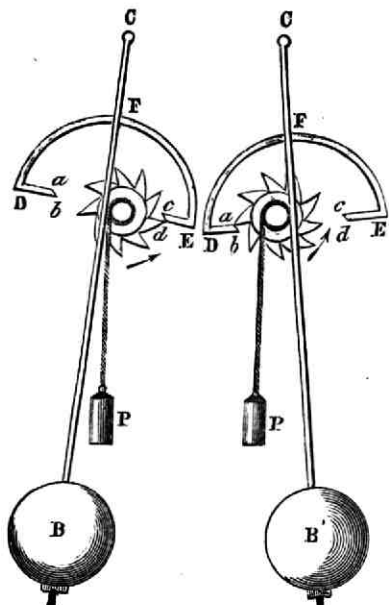


Fig. 6.

Fig. 7.

19. **Compensatie of Vereffening van den slinger.** — 1° **Kwik-compensatie.** — Bij de boven beschreven inrichting blijft er slechts ééne oorzaak van ongeregelden gang over; 't is die, welke voortvloeit uit het langer worden of het inkrimpen des slingers ten gevolge van de warmte en koude. Om dit bezwaar op te ruimen en de lengte des slingers bij iedere temperatuur onveranderlijk te maken, heeft men eene menigte vernuftige inrichtingen bedacht. Eene der eenvoudigste is die, welke de Engelsche uurwerkmaker Graham, in 1715, onder den naam van kwik-compensatie bekend maakte. Zij bestond eenvoudig uit eene glazen staaf *Sb* (fig. 8), eindigende van onderen in een glazen bakje *bC*, dat men tot op zekere hoogte *de* met kwik vulde. Wanneer de temperatuur rees, werden staaf en bakje langer; maar het kwik in 't bakje zette zich insgelijks uit, en zijn bovenvlak steeg van *de* tot *fg*. Daar nu de uitzetting van het kwik veel aanzienlijker is dan die van het glas, zoo

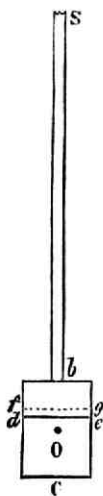


Fig. 8.

was de verhooging df of eg voldoende om de verlenging van de staaf en het bakje te compenseeren of te vereffenen, en te maken dat de afstand van het ophangpunt S tot een punt O, dat men *middelpunt van slingering* of, korter, *slingerpunt* noemt, niet veranderde. Volgens de grondbeginselen der rationeele werktuigkunde is het deze afstand, die de eigenlijke lengte des slingers uitmaakt; die is 't, gevolgelyk, welken men onveranderlyk wilde maken, en de beschreven inrichting beantwoordde volkomen aan het doel. Nog had het dit andere voordeel, dat de Sterrenkundige, bij 't ontdekken van eene compensatie-fout, zelve zeer gemakkelijk, zonder de hulp van een' werkman, den toestel kon verbeteren, enkel door eenige droppels kwik met een pipet uit te nemen of bij te voegen. Men ziet bovendien gemakkelijk in, dat de inkrimping der glazen staaf in geval eener afkoeling, zou overeenkomen met eene daling van de kwikhoogte in het bakje, en bij gevolg ook, evenals in 't geval van eene rijzing der temperatuur, met de onveranderlykheid der lengte SO.

2° Rooster- of Raam-compensatie.

— Waarom heeft men dit zoo eenvoudig samenstel nagenoeg geheel laten varen? Ik beken, dat ik het te nauwernood kan begrijpen. Hoe dit zij, sedert 1787 is het schier algemeen vervangen door de *rooster-compensatie* van Ferdinand Berthoud, bestaande (fig. 9): 1° uit een eerste raam van staal $baa'b'$; 2° uit twee stijlen $cd, c'd'$, van messing, rustende in de punten c, c' op de onderste dwarsstang bb' van het stalen raam, en van boven verbonden door eene dwarsstang dd' , mede van staal; 3° uit twee stalen roeden $ef, e'f'$, hangende van boven in e, e' aan de dwarsstang dd' en van onderen verbonden door de stalen dwarsstang ff ; 4° uit twee andere stijlen van messing, $gh, g'h'$, rustende in de punten g, g' op de dwarsstang ff' en evenals al de andere stijlen van boven bevestigd door eene laatste dwarsstang h, h' ; 5° eindelijk, uit de stalen staaf Km , die door twee kleine openingen p, n in ff' en bb' loopt, om, nadat zij door de

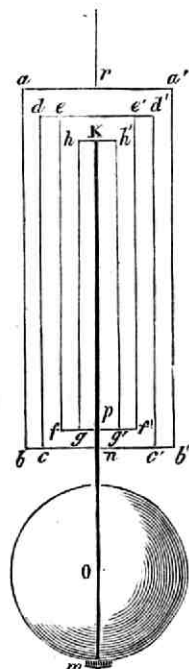


Fig. 9.

lens of schijf O is gegaan, in m te eindigen met eene schroef, wier moer men naar welgevallen kan doen rijzen of dalen om het werktuig te regelen, door den afstand SO van het ophangpunt tot het slingerpunt te verlengen of te verkorten.

Met deze gegevens kan men gemakkelijk het werk der compensatie volgen. Daar de uitzetting en samentrekking van het messing veel aanzienlijker zijn dan die van het staal, zoo zullen, wanneer door temperatuurs-verandering de staven ab , ab' langer of korter worden, in welk geval het punt O wil dalen of rijzen, de staven cd , $c'd'$, die denzelfden invloed ondergaan, integendeel de dwarsstaaf dd' willen doen rijzen of dalen, d. i., zij zullen, ofschoon korter dan ab , $a'b'$, de eerste uitwerking pogen te compenseren. Doch daar men niet te veel lengte aan den slinger wil geven, zoo is men verplicht de compensatie aan te vullen door het tweede stel staven, wier uitzetting of inkrimping voor de stalen staven ef , $e'f'$ de daling of de rijzing der dwarsstaaf ff' , en voor die van messing, gh , $g'h$, de rijzing of de daling van hh' , alsook van 't aanhechtingspunt K der stang Km ten gevolge hebben. Men is zelfs genoodzaakt de compensatie der stalen staven door die van koper te overdrijven, omdat de staaf Km , die de lens O draagt, en de staaf Sr , die van 't ophangpunt S tot de dwarsstaaf aa' loopt, het slingerpunt O nog van het ophangpunt S verwijderen of het dat naderbij brengen, zoodat de overmaat van compensatie, uit het stavenstelsel ontstaan, weggenomen en gevolgelyk ook de slinger bij zijne onveranderlykheid bewaard wordt. — Zal deze toestel een secondeslinger zijn, dat wil zeggen, zal hij 60 schommelingen in de minuut, 3600 in het uur en 86 400 in eenen dag doen, dan moet hij te Toulouse (in 't zuiden van Frankrijk) eene lengte hebben van 0.99339 el. Daar nu de kracht, die den slinger in beweging brengt en die geene andere dan de zwaartekracht is, niet volkomen dezelfde is voor de verschillende punten der aardoppervlakte (een gevolg van de niet volkomen bolrondheid des aardbols), zoo moet ook de lengte des secondeslingers een weinig verschillen. Ziehier die lengte voor eenige plaatsen op onderscheiden breedten:

PLAATSNAMEN.	BREEDTE.	Lengte van den Secondeslinger.
Onder den evenaar	0°	0.99087
Sierra-Leona	8° 30' N.	0.99112
Madras	13° 4' N.	0.99127
Jamaïca	17° 58' Z.	0.99149
Rio-Janeiro	22° 54' Z.	0.99171
New-York	40° 42' N.	0.99317
Bordeaux.	44° 30' N.	0.99347
Parïjs	48° 50' N.	0.99387
Londen	51° 31' N.	0.9941
Koningsbergen.	54° 43' N.	0.9944
Leith-Fort	55° 59' N.	0.99455
Groenland	73° N.	0.99576
Onder de pool.	90°.	0.99622

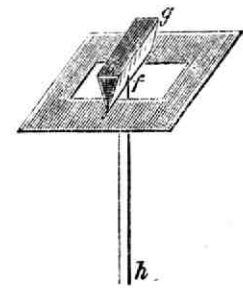
20. Ophangpunt met veer en met mes. — Staven van vernist dennenhout. — Ik behoef gewis niet te zeggen hoe men gemeenlijk den slinger ophangt. Er is schaars iemand, die niet eenmaal gelegenheid heeft gehad om òf de veer *ab* (fig. 10)



Fig. 10.



Fig. 11.



te zien, die tusschen twee vaste stukken in het punt *c*, dat dus voor ophangpunt wordt gerekend, of wel het zoogenaamde mes *g*, schommelende op het agaten of stalen vlak *de*, door welks opening bij *f* (fig. 11) de staaf *fh* van den slinger gaat. Ik zal er

alleen bijvoegen, terwijl ik dit gedeelte van onze oefeningen besluit, dat de naar eisch gecompenseerde of vereffende slinger zeer merkwaardige uitkomsten oplevert, en dat de daarmede voor-

ziene uurwerken gewoonlijk geen *tiende seconde* in een' dag, vaak zelfs in eene week of in eene maand, verlopen. Ik zou er nog kunnen bijvoegen, dat men somwijlen de bovenbeschreven stelsels vervangt door eene eenvoudige staaf van vernist dennenhout, waarvan men na eenige proefnemingen heeft onderzonden, dat ze bij alle temperaturen eene onveranderlijke lengte behoudt; eindelijk, dat men door middel van eene hulpveer of door eene goed aangebrachte verbinding van schijven er gemakkelijk in slaagt om het uurwerk, terwijl men het opwindt, de noodige beweegkracht te doen behouden om het niet te doen stilstaan.

21. Uurwerken met drijfveer. — Wanneer er geen ruimte is voor het dalen van 't gewicht, gelijk dat, bij voorbeeld, het geval is bij de schoorsteen- of tafelpendules, dan vervangt men 't gewicht door eene spiraalsgewijs samengerolde veer, besloten in eenen cilinder, dien men *trommel* heet. De veer zit met haar eene einde vast aan de as *a* (fig. 12), met het andere aan den binnenrand der trommel, in *b*, en om het uurwerk op te winden bedient men zich van eenen sleutel, die, zooals een ieder weet, een vierkant *pennetje* of het eene aseinde grijpt, dat bij vele uurwerken door eene opening in de wijzerplaat uitsteekt, terwijl

men aan 't andere einde der as een palrad *m* vindt, welks tanden zoodanig bewerkt zijn, dat zij gemakkelijk heenglijden over het veerkrachtig plaatje *R*, wanneer men in de richting draait,

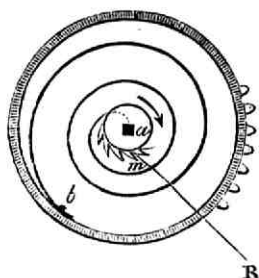


Fig. 12.

die het pijltje aanwijst, maar tegen dat plaatje stuiten, bij eene omgekeerde richting. Zóó wordt het voor de as onmogelijk terug te draaien en opeens de drijfveer te ontspannen. De werking kan dus alleen plaats hebben door de beweging der trommel, die van onderen in 't raderwerk der machine vat en telkens, evenals dit het geval is bij 't gewicht, voor een oogenblik door de werking van 't echappement gestuit wordt. Doch naarmate het uurwerk langer aan den gang is, verliest de veer bij 't ontspannen meer en meer van hare drijfkracht, en de stooten, die door tusschenkomst van 't ineengrijpend raderwerk worden medegedeeld, hetzij aan den slinger, hetzij aan de met hare spiraal gewapende veer, worden al zwakker en zwakker. Hieruit volgt, dat de schommelingen van de onrust of van den slinger op hare beurt aan wijdte moeten verliezen en de gang van 't uurwerk onregelmatig moet wezen.

22. **Snek.** — Ter verhelping van dit bezwaar vond men omstreeks het begin der 16de eeuw, bijna te gelijk met de drijfveer, een vernuftigen toestel uit, die driehonderd jaar met goed gevolg gebruikt is en dien men nog heden in eenige oude *horloges* of zakuurwerken aantreft. De *snek* — zoo heeft men dien toestel geheeten — wordt hedendaags weinig of niet meer gebruikt; maar de lange diensten, die zij bewezen heeft, en die, welke zij wellicht geroepen zal zijn te eeniger tijd opnieuw te bewijzen, nopen mij hier beknoptelijk te vermelden waarin zij bestaat.

Wanneer de in de trommel besloten veer is opgewonden en zij gevolgelyk krachtig op het raderwerk der machine kan werken, zoo onderstelt, dat men haar door tusschenkomst van een zeer korten hefboom hare werking doet overbrengen. Onderstelt verder, dat men de lengte des hefbooms, die de drijfkracht der veer blijft voelen, doet toenemen naargelang de veer bij hare ontrolling in kracht afneemt. Wordt het dan niet duidelyk, dat zoodoende de werking op het echappement eene standvastige waarde zal kunnen behouden? Iedereen toch weet tegenwoordig, dat eene zeer zwakke kracht, die op het uiteinde van een langen hefboom werkt, volkomen evenwicht kan maken met eene veel aanzienlyker kracht, maar welker hefboomsarm korter is. Ziedaar in weinig woorden het gansche geheim der *snek* verklaard.

O (fig. 13) is de horizontale, ABCDE de verticale projectie van de trommel en de binnenveer; CF de verticale projectie der nu onbeweeglijke as, rondom welke de veer is opgerold; g eindelijk een punt van de trommel, waaraan een malieketting is bevestigd, die zich gaat rollen over de oppervlakte MHKL van de snek, zoodra men deze met eenen sleutel P doet draaien, om de trommel mede te voeren en het uurwerk op te winden. Onder de snek bevindt zich het palrad r , en aan zijne basis een ingrijpend tandrad pg dat de beweging aan den toestel mededeelt. Wanneer nu de veer volkomen gespannen is, dan moet de trommel, wier as onbeweeglijk vaststaat, door de werking der veer terugdraaien en de snek meevoeren, op welke zij met den

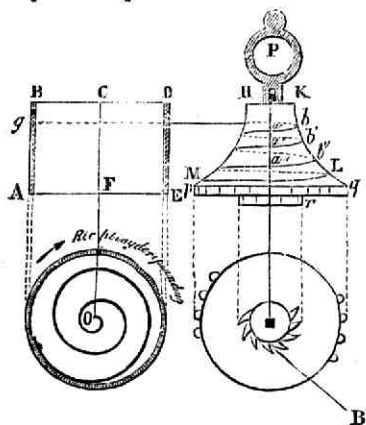


Fig. 13.

kleinen hefboomsarm ab werkt. Maar naarmate de veer van hare kracht verliest, wikkelt de kleine malieketting zich om de trommel, terwijl ze afrolt van de snek; en de hefboomsarmen, aan wier einde de kracht werkt, die door tussenkomst der snek hare werking tot aan het echappement moet mededeelen, worden achtereenvolgens $a'b'$, $a''b''$, enz., dat is zij nemen zoodanig in lengte toe, dat zij de verslapping der veer compenseeren of vereffenen.

Het eenig bezwaar van zoodanig samenstel is, dat de trommelcilinder, terwijl men het uurwerk bij de snek-as opwindt, in eene richting draait, tegenovergesteld aan de beweging, die hij moet krijgen als de veer zich gaat ontspannen. Het uurwerk staat dus gedurende eenige oogenblikken stil, en dit is bij een astronomisch uurwerk niet te dulden. Het duurde dan ook niet lang of men bedacht een samenstel van veeren en raderen onder de snek, om daarmede de oogenblikkelijke werkeloosheid der drijfveer te vervangen. Doch men verviel toen in een vrij verwickeld stelsel, weshalve men de snek heeft laten varen voor eene eenvoudige inrichting, waarbij de veranderingen van de kracht der drijfveer bijna zonder invloed zijn, eensdeels ten gevolge van de tussenkomst der spiraal in de onrust, anderdeels door de nieuwe echappements-vormen, door Graham gevonden en door Lépine, Bréguet en anderen verbeterd. De echappe-

menten, die ik bedoel, zijn: 1° het *cilinder- of rust-echappement*, in tegenstelling met het *terugspringend echappement* der schakelraderen; 2° het *vrije echappement*, dat geheel en al onafhankelijk is van de drijfveer. Ofschoon de veranderingen der bewegkracht hier nagenoeg onverschillig zijn, bepaalt men ze toch binnen vrij enge grenzen door 't gebruik van zeer lange veeren, opdat bij 't opwinden van 't uurwerk het reeds opgerold gedeelte des kettings slechts met een klein getal slagen zou vermeerderd worden. Dat opwinden trouwens — het behoeft nauwelijks gezegd te worden, daar de snek is weggelaten — geschiedt door de as van de trommel, die nu derhalve niet meer in zijne ontspannings-beweging voor weinige oogenblikken kan gestuit worden.

23. **Cilinder-echappement.** — Het eerste der beide zoo even genoemde echappementen, het *cilinder-echappement*, bestaat eenvoudig (fig. 14) uit een hollen half-cilinder DD' (waarvan ab de

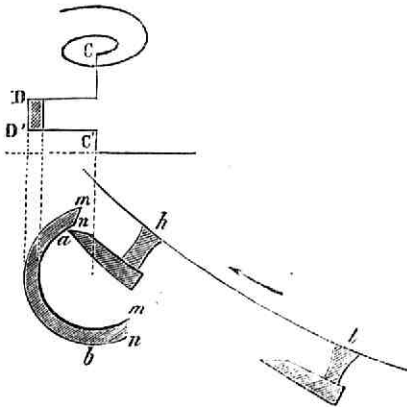


Fig. 14.

horizontale cirkelsnede voorstelt), een deel uitmakende van de met hare spiraal gewapende onrust CC' , en op wier zijden (binnenzijde a , of buitenzijde b) achtereenvolgens de tanden h , l , enz. van 't echappementsrad komen stuiten. 't Is duidelijk, dat bij elke schommeling van de onrust de holle en bolle vlakke des cilinders beurtelings over de verschillende tanden heenglijden, zonder ze te verplaatsen.

De veranderingen in de bewegkracht, overgebracht op het echappementsrad, hebben dus hier geene andere uitwerking dan dat zij den stoot en de wrijving der tanden tegen den cilinder een weinig verminderen of vermeerderen. Maar aangezien de tijd van 't ontsnappen en stuiten voor elken tand nu enkel afhangt van den duur der onrustschommeling, zoo zal er, in geval een krachtiger stoot of wrijving tegen de cilindervlakken gedeeltelijk de werking der spiraalveer te niet doen en de schommelwijdte verminderen mocht, door dezelfde oorzaak eene omgekeerde werking op de schuin afgewerkte einden mn van den cilinder ontstaan, wanneer de tanden zich weer glijdend tegen deze schuine einden gaan bewegen, en de invloed der krachtsverandering door de

trapsgewijze spanning of ontspanning der veer wordt op die wijze geheel opgeheven.

Isochronische spiralen. — Pierre Leroy, Ferdinand Berthoud en na hen de kunstenaars van onze dagen hebben voorts spiralen weten te vervaardigen, die isochronisch zijn, hoedanig ook de schommelwijdte moge wezen; zij hebben daartoe opgemerkt: 1° dat eene zeer lange en dicht opgerolde veer weinig vermeerdering van spanning zal krijgen door een geheel nieuwen slag of omgang; dat bij gevolg de onrust, om hare schommeling te maken, dat is om een geheelen omtrek te doorloopen, onder den invloed der haar drijvende zeer zwakke kracht veel meer tijd zal besteden, dan zij noodig zou hebben om eene kleine schommeling te maken onder den invloed eener weinig mindere kracht, maar die echter slechts met een gedeelte van een' slag bij 't spannen der spiraal in verband staat; 2° dat daarentegen eene zeer korte spiraal door een nieuwen slag, gevoegd bij het klein getal omgangen in den toestand van evenwicht, eene zoodanige overmaat van werkkraft zal krijgen, dat de met die veer verbonden onrust een geheelen omtrek zal kunnen doorloopen, dat is, eene groote schommeling maken in minder tijds, dan zij zou bezigen tot het doorloopen van den zeer kleinen boog, die voortvloeit uit eene veel zwakkere spanning, dat is uit eene spanning, die 't gevolg is van een slechts gedeeltelijken slag of omgang. Hieruit volgt, dat eene spiraal van gemiddelde en naar eisch bepaalde lengte denzelfden tijd tot het maken der groote en kleine schommelingen zal besteden, en dat gevolgelijk de veranderingen der beweegkraft zonder invloed op den gang van 't uurwerk zullen zijn, omdat zij het isochronismus der onrust niet kunnen deren.

Iedereen weet bovendien, dat men, ter vermindering van een te spoedig slijten, den cilinder doorgaans van harden steen en de

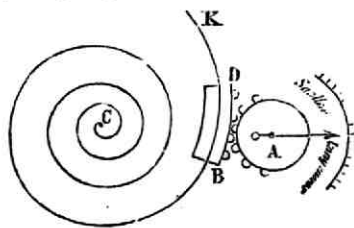


FIG. 15.

andere einde aan 't middelpunt C van de onrust vastzit. Want naar gelang van de richting, waarin het getande stuk tusschen twee aan BD evenwijdige stijlen loopt, zal het punt B, be-

pallen van staal vervaardigt. Men weet ook, dat men door een weinig beproeven de spiraal hare vereischte lengte kan geven, als men in de eene of andere richting het rad A (fig. 15) doet omdraaien, welk rad zelf het getande stuk BD drijft, door hetwelk een der einden heen loopt van de aan 't punt K bevestigde spiraal, terwijl het

schouwd als aanhechtingspunt der spiraal, het punt *K* naderen of zich er van verwijderen, en het werkende deel *BC* dezer spiraal zal langer of korter worden.

24. **Vrij echappement.** — Het cilinder-echappement wordt tegenwoordig algemeen gebruikt voor de zakuurwerken of *horloges*, die nauwkeurig genoeg gaan wanneer ze in de vier en twintig uren één of twee minuten verlopen. Wanneer men daarentegen, gelijk bij voorbeeld in de zeevaart, *onrust-uurwerken* noodig heeft, die zóó nauwkeurig gaan, dat men ze vergelijken mag bij de slingeruurwerken der observatoriums, dan moet men zich bedienen van het *vrije echappement*, dat men in zijne bijzonderheden op velerlei wijzen vervaardigt, maar dat in de hoofdzakelijk altijd ongeveer op de volgende samenstelling neerkomt.

dIG, *HG* (fig. 16) zijn twee duimen of kromme stukken aan 't einde van den gebogen hefboom *GoeLM*. Deze hefboom kan om het punt *o* draaien; maar hij wordt ondersteund door eene zeer slappe en zeer lange veer *Kd*, die, al dunner wordende,

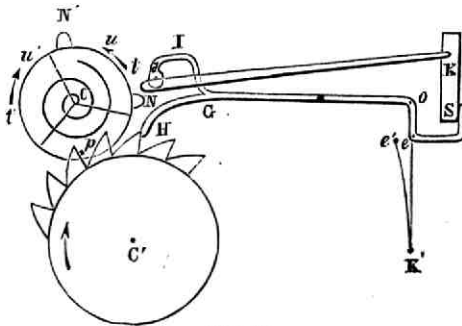


Fig. 16.

van het punt *d* naar haar aanhechtingspunt *K* loopt, en op welke eene in den duim *dIG* gedreven pin *d* rust. *K'e* is eene tweede zeer buigzame veer, in *K'* bevestigd en slaande met haar ander einde op eene in den hefboom bevestigde pin *e*. *LM* is een niet veerkrachtige hiel, bestemd om tegen het stuk *KS* te drukken en zoo te beletten, dat de gebogen hefboom, onder de drukking van de veer *K'e*, afwijkt van den evenwichtsstand, waarin hij is afgebeeld.

Laat *C'* het middelpunt zijn van 't echappements-rad, welks tanden aan den eenen kant bewerkt zijn met vlakke zijden volgens de richting der stralen, en aan den anderen kant met gebogen zijden.

Laat nog *C* de projectie zijn van de met hare spiraal gewapende onrust-as. Aan die as is een kleine omtrek bevestigd, die den tand *N* draagt, welke zoodanig geplaatst is, dat hij tegen 't einde van den hefboom *dK* kan stooten. Wanneer de schommeling der onrust plaats heeft in de richting *tu*, doet de stoot van den tand *N*, die het einde der veer *dK* oplicht, waar-

op de pin d rust, den hefboom om het punt o draaien, en laat den tand ontsnappen, die tegen den duim GH drukte. Maar nauwelijks heeft die werking plaats gehad, of de elasticiteit der kleine hulpveer $K'e$, nu in $K'e'$ verplaatst door de draaiing om het punt o , voert den hefboom weer tot zijn vorigen stand terug en doet bij gevolg den duim GH tegen den volgende tand stuiten. Er heeft dus bijna zonder tusschenpoozen een nieuwe stilstand der machine plaats; en die stilstand duurt tot op het oogenblik dat de onrust, bij 't hervatten van haren gang in de richting tu , weder de veer dK kan aanstooten. Want als de schommeling weer terugloopt in de richting $t'u'$, zoo blijft de stoot, die van *onderen* naar *boven*, of van N naar d tegen de veer Kd plaats heeft, natuurlijk zonder uitwerking op den duim GH, die blijft aandrukken tegen de tanden van 't echappementsrad, terwijl de veer Kd een oogenblik onder den stoot der onrust daalt.

Compensatie van de onrust. — In dit vernuftig samenstel blijft de regelende spiraal bijna geheel onafhankelijk, terwijl ze bij 't cilinder-echappement voortdurend den invloed der pallen van 't echappementsrad ontwaart, welke pallen onophoudelijk, zoolang de schommeling duurt, tegen den cilinder wrijven. De kleine stooten van den tand N tegen de veer dK en de wrijving der spullen zouden evenwel ten laatste de beweging te niet doen, als men niet zorgde de onrust te voorzien van eene hulp-pin P , die derwijze is aangebracht, dat iedere tand van het rad C' , op het oogenblik dat hij ontsnapt of vrij wordt, haar achtereenvolgens kan aanstooten. De krachtsverliezen, die de spiraal ondergaat, worden aldus gedurig hersteld, en wanneer aan de andere voorwaarden van het isochronismus naar behooren is voldaan, gaan de schommelingen met volmaakte regelmaat voort. Wij hebben reeds gezien, dat eene dier voorwaarden ge-

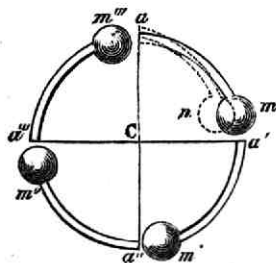


Fig. 17.

legen was in de lengte van de spiraal. Ik moet er nu bij voegen, dat eene andere, niet minder gewichtige voorwaarde in de compensatie van den slinger bestaat, welke compensatie men verkrijgt door eene soortgelijke handelwijze als voor den slinger werd gebezigd, dat is, door den buiten-omtrek der onrust, gelijk fig. 17 aantoont, te vormen uit vier gebogen strooken am , $a'm'$, $a''m''$, $a'''m'''$, elk uitlopende in eene kleine massa m , m' , m'' , m''' , en bestaande uit twee met-

talen van ongelijke uitzetbaarheid, die over hunne geheele lengte

aan elkander zijn geweld. Wanneer nu de temperatuur rijst, worden de stralen Ca , Ca' , Ca'' , Ca''' langer en verwijderen de massa's m , m' , m'' , m''' verder van het middelpunt C . Maar aangezien het uitzetbaarste metaal aan de buitenzijde van elke strook ligt, zoo neemt de lengte van het buitengedeelte meer toe dan die van het binnendeel; en daar de beide saamgewelde metalen elkander niet kunnen loslaten, zoo nemen zij den vorm an aan, dat is, zij brengen de massa's m nader bij het middelpunt en compenseeren zoo de verlenging der stralen Ca . Men zal lichtelijk inzien, dat de compensatie, in geval van daling der temperatuur, insgelijks zou plaats grijpen, omdat alsdan het meest uitzetbare metaal de sterkste inkrimping zou ondergaan, en de strooken zich naar buiten zouden buigen, om zóó de kleine massa's m of nauwkeuriger de slingerpunten van ieder der armen Cam verder van het middelpunt C te verwijderen, terwijl de afkoeling der stralen Ca daarentegen die armen naderbij zou brengen.

De dus gecompenseerde uurwerken dragen den naam van *chronometers* (*), *zeehorloges*, *tijdmeters*, enz. Men heeft ze soms van twee onrusten voorzien, die, hoewel niet afhankelijk van elkander, toch een wederkeerigen, regelenden invloed op elkander schijnen te hebben. Men heeft er ook vervaardigd, die, zonder dat de waarnemer iets anders te doen heeft dan zachte tikken te geven, op de wijzerplaat naar willekeur of het juiste oogenblik van een luchtverschijnsel, of de verschillende fasen eener reeks van elkander zeer dicht opvolgende verschijnsels, enz. kunnen aangeven. Maar die soort van samenstelsels hebben in hunne onderdeelen zoo veel bijzonderheden, dat hunne beschrijving buiten ons bestek ligt; en tot besluit van hetgeen ik over de uurwerken moet zeggen, zal ik mij bepalen tot de beschrijving van een laatste mechanismus, dat, ofschoon zeer weinig door de Sterrenkundigen gebruikt, toch wel geschikt is om de weetgierigheid gaande te maken: ik bedoel het mechanismus van 't slagwerk. Ziehier in weinig woorden de verklaring van fig. 18, waaruit men het kan leeren kennen.

25. Slagwerk. — Het rad A draait, gedreven door eene bijzondere veer of een bijzonder gewicht, dat uitsluitend bestemd is om de beweging van het slagwerk voort te brengen. Dit rad voert op zijne beurt het rad B mede, dat gewapend is met pinnen, die achtereenvolgens den hamer m oplichten door op het einde l van den in 't punt o bevestigden hefboom lm te drukken. Terzelfder tijd schuift het telrad abc , insgelijks door de veer of het gewicht van het slagwerk bewogen, onder den duim g

(*) Van 't Grieksch *chrónos*, tijd, en *métron*, maat).

van den omgebogen hefboom *gtv*, die om het punt *t* beweegbaar is, tot op het oogenblik dat eene der inkepingen *a*, *b*, *c*, enz. juist onder dien duim komt, die alsdan, gedrukt door de veer *R*, in de keep valt en den duim *n* gelegenheid geeft om zich op

zijne beurt onder de pin *h* van het rad *A* te plaatsen.

De gang der raderen van 't slagwerk is nu gestuit, totdat de tweede pin *K* van het minuutrad *M* op de plaats komt, waar zich nu de pin *p* bevindt, opnieuw den om het punt *S* beweegbaren hefboom *SU* oplicht, en door tusschen-

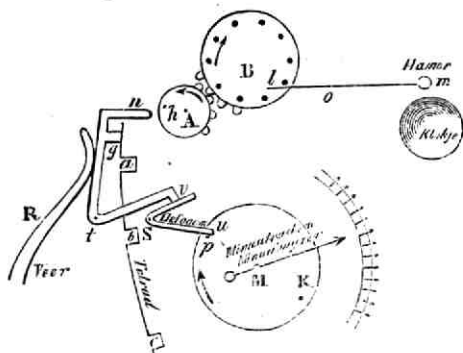


Fig. 18.

komst van dezen hefboom den duim *g* vrijmaakt uit de keep, waarin hij op het telrad was gevallen, om alzoo het rad *A*, dat door het verwijderen van den duim *n* nu ook vrij is geworden, zijnen gang te laten hervatten en het slagwerk te doen slaan.

De kepen van het telrad liggen te verder van elkander, naarmate het getal slagen op het klokje grooter is. Een windvang met vleugels, als in de uurwerken van Pacificus of Gerbert, regelt de beweging met eene in dit geval zeer voldoende nauwkeurigheid. Om eindelijk de repetitie te verkrijgen heeft men slechts iedere der pinnen *K*, *p*, van 't minuutrad, zoo ook de kepen van het telrad te verdubbelen, en de afstanden, die deze kepen op den omtrek van het rad scheiden, twee aan twee gelijk te maken.

Men heeft in de onderdeelen en het samenstel van het slagwerk, evenals in die der andere uurwerkorganen, vele wijzigingen gebracht, maar breeder ontwikkeling dienaangaande zou de grenzen overschrijden, die ik mij heb moeten zetten. Toen ik het ondernam de verschillende fasen te schetsen, die een der nuttigste en fijnste takken der werktuigkunde heeft doorloopen, had ik enkel ten doel de algemeene beginselen te doen kennen, op welke de samenstelling berust van die vernuftige machines, die thans niemand meer kan ontberen. Ik zou mij verheugen, zoo ik denken mocht mijn doel bereikt te hebben. Wij gaan ons nu bezig houden met de beoefening der optische werktuigen, waaraan de nieuwere Sterrenkunde zulke glorierijke uitkomsten moet dank weten.

DERDE LES.

Gebruik en bezwaren der vizier- of diopter-linialen. — Voorloopige kennis ter beoefening der optische werktuigen. — Wetten der enkelvoudige straalbreking in de lenzen. — Toevallige of koppel-brandpunten. — Virtueel of schijnbaar brandpunt. — Optisch middelpunt. — Beschrijving van het oog en theorie van het zien. — Duidelijk zien. — Onduidelijk zien. — Afstand van het duidelijk zien. — Bijziendheid en verziendheid. — Tijdduur van de indrukken op het netvlies. — Accidenteele of toevallige beelden of nabebelden. — Daltonismus. — Samentrekbaarheid van het regenboogsvlies. — Ongevoeligheid der gezichtszenuw. — Verklaring van Kepler, door Descartes herhaald, van de oorzaak, die ons de voorwerpen recht op rechtstandig doet zien, ondanks de omkeering der beelden in het oog.

26. **Gebruik en bezwaren der vizier- of diopter-linialen.** — De oude Sterrenkundigen bedienden zich van vizier- of diopter-linialen om naar verafgelegen voorwerpen te zien. Deze toestellen, die men nog dagelijks bij het landmeten gebruikt, zijn samengesteld (fig. 19) uit een stelsel van twee vizieren

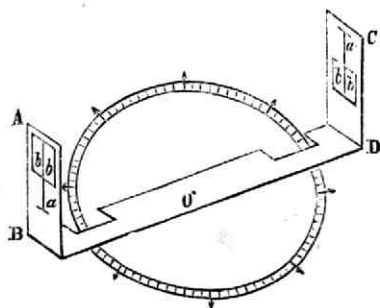


Fig. 19.

AB, CD, metalen plaatjes, die loodrecht staan op het liniaal BD en op het vlak des cirkels O, en twee gaten of spleten hebben: het eene *a*, zeer nauw en *kijkspleet*, *ooggat* of *oculair* geheeten, omdat men het oog er achter plaatst; het andere *bb*, veel grooter en *venster* genaamd, hebbende op zijn midden eenen draad, gericht op de verlenging van de spleet. De draad en de *kijkspleet* bepalen eene gezichtslijn, die bij 't omdraaien der vizieren rondom het middelpunt O zelve altijd parallel blijft aan eene der middellijnen van den cirkel, en welke hoeksche beweging, op dezen cirkel gemeten, juist de waarde aangeeft van den hoek, die tusschen de beide achtereenvolgens opgenomen voorwerpen begrepen is. Ieder vizier heeft gemeenlijk eene *kijkspleet* en een *venster*, vindende men dan op AB de *kijkspleet* omlaag en het *venster* omhoog, op CD daarentegen de *kijkspleet* omhoog en het *venster* omlaag, zoodat men het oog achter 't eene en 't andere kan aanleggen en toch steeds eene *kijkspleet* en een *venster* in de gezichtslijn heeft.

Men gevoelt lichtelijk hoe gebrekkig zulk een samenstel moet wezen, hetzij wegens de dikte van den in 't *venster* gespannen

draad en de breedte, die men aan de kijkspleet moet geven, om het zien mogelijk te maken, hetzij wegens het bezwaar, dat men ondervindt, om op een zeer verren afstand en door eene enge spleet het punt te onderscheiden, dat men wenscht waar te nemen. En toch, ofschoon de verrekijkers sinds het einde van 't jaar 1609 bekend waren, heeft men voor het meten der hoeken de diopter-linialen eerst omstreeks 1667 door de verrekijkers vervangen. Ik zal weldra zeggen waarom eene zoo belangrijke toepassing zoolang vertraagd werd 1). Maar ik wil vooraf eene schets geven van de geschiedenis dier bewonderenswaardige werktuigen, die het leven der Sterrenkundigen om zoo te zeggen verdubbeld hebben, daar zij vergunden eene groote menigte van hemellichamen, zoowel bij dag als bij nacht, waar te nemen, terwijl daarenboven hun gebruik aan de hoekmeting een ongehooflijken graad van nauwkeurigheid heeft gegeven, om niet te gewagen van de nooitgedachte ondersteuning, die zij aan 't gezichtsvermogen bij de studie van de physische gesteldheid der Sterren verleend hebben.

Om de werking der kijkers te begrijpen, is het goed eenige eigenschappen van het licht, alsook de bewerktuiging van het oog te kennen. Dat zijn voorzeker tamelijk alledaagsche bijzonderheden, maar ik mag toch niet nalaten ze beknoptelijk te herinneren.

27. Voorloopige kennis ter beoefening der optische werktuigen. — Er zijn lichamen, die lichtgevend uit zich zelve zijn, andere geven alleen licht door terugkaatsing. De eerste schieten in alle richtingen stralen uit, en het op de baan van een dier stralen geplaatste oog ziet het punt, vanwaar de straal uitgaat. De andere daarentegen zijn steeds onzichtbaar, zoolang niet een vreemd licht ze komt beschijnen. Men onderscheidt echter twee soorten van terugkaatsing: 1° die, welke

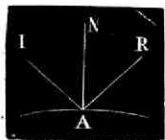


Fig. 20.

plaats heeft aan de oppervlakte der volkomen glatte of gepolijste lichamen, en die naar geometrische wetten geschiedt, zoodanig namelijk, dat de teruggekaatste straal AR (fig. 20) met de loodlijn of — om eene meer mathematische taal te spreken — met de normaal AN op het vlak, eenen hoek NAR vormt, gelijk aan den hoek, dien de invallende straal met diezelfde normaal maakte; en 2° de terugkaatsing van ruwe oppervlakten, op welke het invallende licht als 't ware verbrijzeld wordt, om zich vervolgens in alle richtingen te verstrooien, alsof het van zelflichtende lichamen ware uitgegaan. De geometrische terugkaatsing,

1) Men was niet vroeger op de gedachte gekomen om kruisgewijze draden te spannen, ten einde merkpunten en gezichtslijnen in de verrekijkers te bepalen.

de *regelmatige* terugkaatsing der natuurkundigen, laat het gepolijst lichaam, waarop zij werkt, niet bespeuren; zij brengt aan het oog alleen de gewaarwording van de lichtbron; de *onregelmatige* terugkaatsing daarentegen behoudt om zoo te zeggen geen spoor meer van die bron, en geeft aan het oog slechts de gewaarwording van de ruwe oppervlakte, waarop het licht zich heeft verbrijzeld. (*)

Wij zullen later de eigenschappen der *regelmatige* terugkaatsing ons ten nutte maken; voor het tegenwoordige is 't alleen de *onregelmatige* terugkaatsing, die onze belangstellende aandacht vraagt, omdat zij het is, door welke wij de meeste ons omgevende voorwerpen ontwaar worden. Maar als dit werkelijk het geval is, waarom zien wij dan, onder den invloed eener eenige lichtbron, de Zon bij dag, eene schitterende vlam bij nacht, zoo veel verschillende kleuren onder de voorwerpen, waarop onze oogen zich richten? Om niet in te wijldloopige bijzonderheden te treden, zal ik alleen voor uwen geest die schoone regenboogskleuren roepen, welke een ieder gewis heeft waargenomen wanneer lichtbundels door de facetten van een kristal gaan. Uit dit verschijnsel, naar behooren ontleed, is gebleken, dat het licht der zon, gelijk alle wit licht, uit zeven elementaire of hoofdkleuren bestaat, welker vermenging in onderscheiden verhoudingen de grootste verscheidenheid van kleurschakeeringen kan opleveren; en men heeft terzelfder tijd het besluit moeten opmaken, dat de moleculaire gesteldheid der ruwe oppervlakte van dien aard is, dat zij eene soort van *keurwerking* verricht, waardoor zij deze of die kleur terugkaatst, eene andere opslorpt of vernietigt, zoodat zij aan ieder lichaam de kleur geeft van het teruggekaatste licht, dat het oog er van opvangt.

28. **Straalbreking.** — De lichtstraal, wit of gekleurd, gaat altijd in eene rechte lijn voort, zoolang als de *middelstof*, waarin hij zich beweegt, noch van aard noch van dichtheid verandert. Maar wanneer die straal schuins komt aan het scheidingsvlak AB van de beide in dichtheid verschillende middelstoffen (P), (Q) (fig. 21), buigt hij, hij *breekt*, zooals men in de natuurkunde zegt, en verandert van richting: hij komt, volgens CE, nader bij de normaal NCN' op het scheidingsvlak der beide middelstoffen, in geval de stof (P) waaruit hij komt minder dicht is dan die (Q) waarin hij doordringt; hij verwijderd zich daarentegen, volgens CD, van diezelfde normaal, indien hij, na de richting EC doorloopen te hebben, de dichtere middelstof (Q) verlaat om in de niet zoo dichte (P) over te gaan. Dit merk-

(*) De Ouden geloofden aan eene van het oog uitstralende onzichtbare vloeistof, die het zichtbare lichaam ging omvatten; maar bij de ontdekkingen der hedendaagsche natuurkunde zou het dwaasheid zijn hier zulk eene meening te bespreken.

waardig verschijnsel laat zich op verschillende wijzen betoogen.

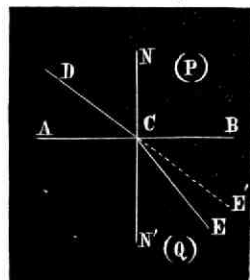


Fig. 21.

Ik zal voor 't oogenblik geen ander bewijs zoeken dan de eigen ondervinding van hen, die zich wel eens vermaakt hebben met op visch in het water te schieten. Geenen hunner toch is het onbekend, dat hij, om den visch te treffen, die in E' schijnt te zijn, daaronder moet aanleggen en wel meer of minder laag volgens de raming, die men van de diepte maakt, ten einde de lading op de ware plaats, het punt E , te doen treffen; omdat de lichtbundel EC , door welken de gewaarwording

moet overgebracht worden, bij zijnen overgang uit het water in de lucht, aan het oog eenen indruk komt geven, die schijnt uit te gaan van een der punten E' in de richting CD , in welke hij aankomt.

Wat de verschillende verklaringen betreft, die men heeft uitgedacht om rekenschap van de straalbreking te geven, zij zouden mij te ver van mijn doel voeren, zonder veel nut te hebben. Ik vergenoeg mij dus met het feit op te nemen zooals de waarneming het ons aanbiedt, en ik zal er gebruik van maken in het bespreken der wetten, volgens welke het zien plaats heeft, hetzij met het bloote oog, hetzij met behulp van kijkers; terwijl ik hier alleen doe opmerken, dat de straal, indien hij, in plaats van schuins, loodrecht viel op het scheidingsvlak der beide middelstoffen, zonder eenige afwijking zou doordringen, want er zou geen enkele reden bestaan, waarom hij liever in deze dan in gene richting zou afwijken.

29. — Onderstellen we dan een punt O , dat lichtgevend uit

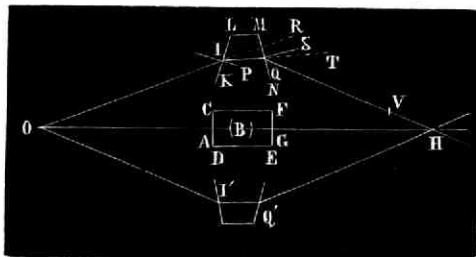


Fig. 22.

zich zelve of door terugkaatsing is en stralen in alle richtingen uitschiet. Een dezer stralen OA (fig. 22), in het punt A perpendicular op het doorschijnend lichaam B vallend, zal zonder afwijking daarbinnen dringen, en, indien het vlak CD evenwijdig is aan het vlak EF , in het punt G naar buiten treden in de richting GH , gelegen op de verlenging van OH . Maar een andere straal, die schuins op het vlak KL mocht vallen, en uit de lucht of het luchtledige in eene dichtere middelstof overgaat, zal zijne eerste richting OIR verlaten om de normaal IP te

naderen, en volgens IQ op een punt Q van het tweede vlak vallen. Daar zal hij weer overgaan in eene minder dichte middelstof dan die hij pas heeft doorloopen: hij zal derhalve ook van zijne baan IQT afwijken en nu zich verwijderen van de normaal QS op het vlak MN. Hij zal gevolgelijk zijnen weg voortzetten in eene richting QV, meer van QS verwijderd dan QT zulks was; en indien de helling der beide vlakken LK, MN met betrekking tot den invallenden straal OI naar eisch bepaald is geworden, dan zal de uittredende straal QV ver genoeg van de oorspronkelijke richting OI kunnen zijn afgeweken, om den centralen straal ergens, in H, te gaan snijden.

De constructie, die wij daar boven de lijn OH maakten, hadden we, volkomen eveneens, daaronder kunnen uitvoeren, en we zouden dan bij gevolg bevonden hebben, dat een met OI symmetrische straal OI' op zijne beurt, na eene dubbele, in de punten I' en Q' ondergane afwijking, den centralen straal OH gaat snijden in het punt H, alwaar ook de straal OI is beland. Wij zouden zelfs door een goed verbonden samenstel van verschillende fragmenten *abb'*, *bcc'b'*...*dee'd'*, *ef'e'* (fig. 23), die twee aan

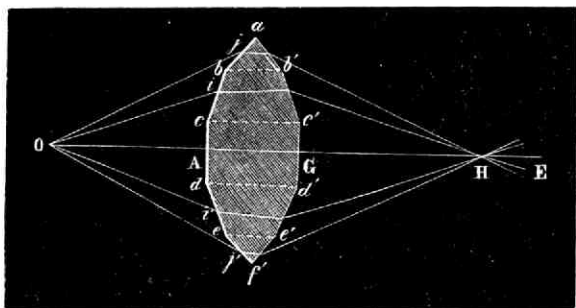


Fig. 23.

twee rondom de as OH symmetriek zijn, kunnen maken dat de stralen *Oj*, *Oi*... *Oi'*, *Oj'* elkander alle kwamen snijden in een enkel punt H, om vervolgens hunne baan, afwijkende van dit punt, voort te zetten.

Wetten der enkelvoudige straalbreking in de lenzen. — Verbeelden we ons thans, dat de hoekige omtrekken *abcdef*, *ab'c'd'e'f'*, in plaats van ieder op zich zelve gevormd te zijn uit een zeker getal grooter of kleiner rechtlijnige elementen *ab*, *bc*, *cd*... *a'b'*, *b'c'*, *c'd'*..., enz., daarentegen zijn samengesteld uit eene menigte oneindig kleine elementen, dan zullen die omtrekken veranderen in samenhangende kromme lijnen, op welke men, woord voor woord, zal kunnen toepassen wat wij van de gebroken omtrekken *abcdef*, *ab'c'd'e'f'* hebben gezegd. En

daar dezelfde redeneering nog strikt toepasselijk zou zijn op alle identische sneden, volgens de as OH gemaakt in het lichaam, dat het vlak $abcdefe'd'c'b'a$ bij het draaien om AG zou voortbrengen, zoo kunnen wij dit besluit opmaken: *Wanneer een lichtpunt geplaatst is voor een doorschijnend lichaam, dat symmetrisch is rondom eene door dit punt gaande as en door twee bolle, behoorlijk geslepen vlakken (*) begrensd wordt, zoodat het doorschijnend lichaam ongeveer den vorm van eene lens krijgt, dan komen al de van het punt O uitgaande stralen, na gebroken te zijn in het binnenst en bij het uitreden van de lens, samenloopen in een zelfde punt H , dat met betrekking tot de lens gelegen is aan de tegenovergestelde zijde van het punt O , en waarvan zij zich vervolgens, na elkander gekruist te hebben, uiteenlopend verwijderen.*

30. **Toevallige of koppel-brandpunten.** — Het woord *lens*, waarvan wij ons bediend hebben om den vorm van het doorschijnend lichaam aan te duiden, is het door 't gebruik ge-

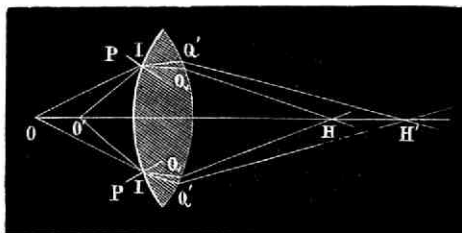


Fig. 24.

normaal PI , en het straalbrekend vermogen der lens kan die stralen niet anders voeren dan volgens $IQ'H'$. Het koppelbrandpunt H' van het punt O' is dus verder van de lens verwijderd dan het koppelbrandpunt H van het punt O .

Virtueel of schijnbaar brandpunt. — Het moet zelfs gebeuren, dat het lichtend brandpunt zóó dicht bij de lens komt, dat de invallende stralen dientengevolge derwijze schuins worden, dat de uitredende stralen niet meer convergeeren of samenloopen en het straalbrekend lichaam verlaten nu eens (fig. 25) parallel aan de as, dan weder divergeerend of uiteenlopend (fig. 26), en in dit laatste geval zullen zij voor het oog, dat hen achter de lens, bij H , opvangt, schijnen uitgegaan te zijn van een punt F , gelegen aan dezelfde zijde als hetstralende punt O'' , maar verder van de lens verwijderd, en dit punt F

(*) Deze vlakken zijn gemeenlijk sferisch; maar de boog, dien zij bevatten, moet slechts een zeer klein getal graden onderspannen; met andere woorden: de vlakken der optische glazen zijn slechts een zeer klein gedeelte van de sferische vlakken, waarvan zij een deel uitmaken.

ijkte woord geworden; en de punten O, H , hebben den naam van *toevallige of koppel-brandpunten* gekregen. Wanneer het punt O (fig. 24) nader bij de lens, bij voorbeeld in O' , komt, dan vallen de stralen, volgens $O'I$ schuinser met betrekking tot de

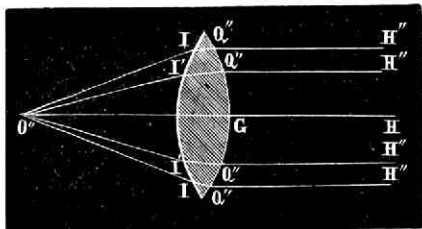


Fig. 25.

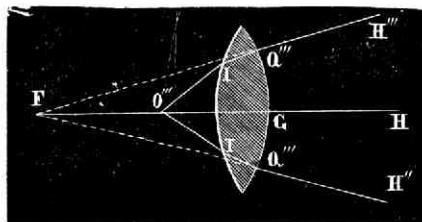


Fig. 26.

krijgt dan den naam van *virtueel* of *schijnbaar brandpunt*.

Ik behoef er nauwelijks bij te voegen, dat het koppelbrandpunt, in geval het lichtpunt zich meer van de lens verwijderde (zijnde de beide brandpunten reëel of werkelijk), op zijne beurt een omgekeerden gang zou nemen en dicht bij de lens komen.

31. **Hoofdbrandpunt.** — Er bestaat, gelijk de ervaring leert en de redeneering gemakkelijk kan bewijzen, een volkomen wederkeerig

verband tusschen de koppelbrandpunten. Dit beteekent, dat, indien het lichtpunt, in plaats van in O te zijn, zich in H (fig. 24) bevond, alsdan de in de lens gebroken stralen in O zouden convergeeren of samenloopen; dat, indien het lichtpunt in H kwam, de convergentie of samenloop zou plaats hebben in het punt O' ; dat, indien de stralen (fig. 25) volgens de richtingen $H''Q''...$ (fig. 25), die onderling en met de as HG evenwijdig zijn, in de lens kwamen, zij zich zouden kruisen in het punt O'' , dat alsdan den naam van *hoofdbrandpunt* krijgt; eindelijk dat, indien zij van de uitgangspunten af convergeerden (fig. 26) naar een punt F volgens de lijnen $HG...H'''Q'''...$, enz., zij zich zoodanig in de lens zouden breken, dat zij elkander werkelijk kruisten in het punt O''' , gelegen tusschen de lens en het punt F .

32. — Het voorafgaande onderstelt geene identische of eenerlei buiging voor de beide zijden der lens, en de ervaring zoowel als de berekening bewijzen inderdaad, dat men lenzen met ongelijk convexe of bolvormige zijden kan bekomen, die al de bovengenoemde eigenschappen bezitten. De vervaardigers der lenzen schijnen 't echter, uit gewoonte, gemakkelijker te vinden aan de beide oppervlakten dezelfde buiging te geven, zonder zich evenwel daarom eene strenge identiteit tot wet te maken. Wat de dichtheid van het straalbrekend lichaam betreft, 't is klaar dat zij overal dezelfde moet zijn, tenware zij — hetgeen zich in de practijk niet laat onderstellen — met volmaakte regelmatigheid rondom de as mocht veranderen; want al de ten opzichte

van die as eveneens liggende punten moeten hetzelfde straalbrekend vermogen bezitten, zullen de doorgaande lichtstralen op dezelfde wijze gebroken worden en in één brandpunt convergeren. Dat convergeren nu kan geen plaats hebben in geval van ongelijkmatige dichtheden.

33. . Wanneer het lichtpunt in O_1 (fig. 27) boven of beneden de

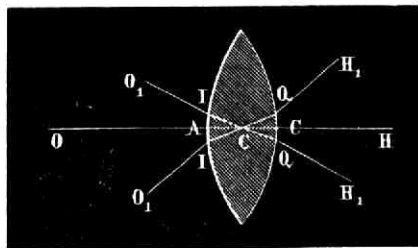


Fig. 27.

as van de lens is geplaatst, kan men door eene der eenvoudigste berekeningen — die hier echter niet behoeft uiteengezet te worden — bewijzen, dat er op de as, op gelijken afstand van de beide oppervlakten indien de buigingen dezelfde zijn, en, in geval van ongelijkheid dier buigingen (*), een weinig dichter bij de zijde, die het meest convex is, een zeker punt C bestaat, hetwelk de eigenschap heeft, dat al de lichtstralen, die dit punt snijden, door de lens heengaan zonder af te wijken, of, om nauwkeuriger te spreken, dat het uittrekkende gedeelte QH van ieder dier stralen evenwijdig is aan 't invallend gedeelte $O_1 I$, maar een weinig hooger of lager, naar gelang het invallend gedeelte zelf *boven* of *onder* de as OA ligt. Doch wegens de geringe dikte der lens met betrekking tot de gewone afstanden der lichtpunten, is dat hooger- of lager-zijn van den uittrekkenden straal met opzicht tot den invallenden zóó gering, dat men algemeen de beide evenwijdige deelen van een zelfden straal beschouwt alsof ze slechts ééne en dezelfde rechte lijn uitmaakten.

34. **Optisch middelpunt.** — Het punt C, door de boven-

(*) Laten r en R (fig. 28) de krommingsstralen van de beide oppervlakten der lens

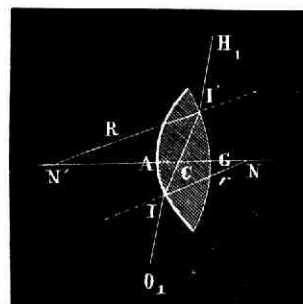


Fig. 28.

wezen. Onderstelt dat twee dezer stralen NI , $N'I'$ parallel zijn, dan zal klaarblijkelijk, daar de hoeken $NI'I'$ en $N'I'I$ gelijk zijn, een volgens $I'I'$ gebroken straal de voortzetting zijn van twee evenwijdige stralen (invallende $O_1 I$, uittrekkende $I'H$), en men zal ter bepaling van het punt C de evenredigheid hebben, die uit de gelijkvormige driehoeken NCI en $N'CI'$ volgt:

$(NI=NA) : NC = (N'I'=N'G) : N'G$; waaruit volgt:
 $(NA-NC=AC) : (N'G-N'C=GC) = NI : N'I' = r : R$;

$$\text{en bij gevolg: } \frac{AC}{GC} = \frac{r}{R}$$

De verhouding $\frac{AC}{GC}$ hangt dus alleen van r en R af, en geenszins van de richting van den invallenden en uittrekkenden straal. Het punt C is dus zelf een eenig punt binnen in de lens; en daar r kleiner is dan R , moet AC op hare beurt kleiner zijn dan GC . Het optisch middelpunt is derhalve nader bij de meest convexe of gebogene oppervlakte.

staande voorwaarde bepaald, draagt den naam van *optisch middelpunt* der lens, en de lijnen, die er doorheen gaan, heeten *bijassen*, wegens hare overeenstemming met de hoofdas, van welke zij al de eigenschappen hebben zoolang zij met elkander slechts kleine hoeken maken, zulke namelijk, die op zijn hoogst 3 of 4 graden van de sexagesimale verdeling (in welke verdeling elke der 360 gelijke graden van eenen cirkelomtrek verdeeld wordt, gelijk men weet, in 60 minuten, die zelve weder onderverdeeld zijn ieder in 60

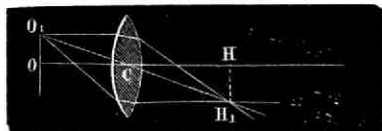


Fig. 29.

seconden, vervolgens in tienden, enz.). Tot op de aangegeven grens van 3 of 4 graden zal de lensvorm, die geschikt is om in H (fig. 29) al de uit O gaande stralen te doen convergeeren, ook al de

uit O₁ vertrokken stralen doen convergeeren in H₁ op denzelfden afstand als H; hij zal voorts (fig. 30), in geval zij de uit O gaande stralen parallel aan OCH maakt, al de van O₁

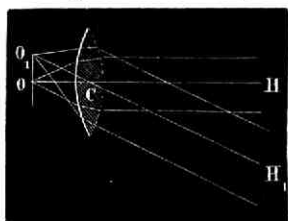


Fig. 30.

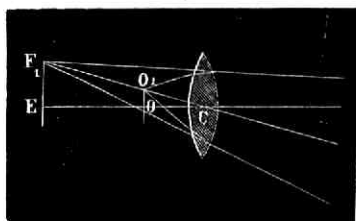


Fig. 31.

komende stralen evenwijdig aan O₁, CH₁, maken; eindelijk zal hij, schijnbaar, de van O₁ (fig. 31) afgezonden uittrede stralen doen divergeeren van de virtueele brandpunten F₁, ingeval hij de van O uitgegane stralen doet divergeeren van het brandpunt F, dat op denzelfden afstand van de lens ligt als F₁.

Hieruit volgt, dat, wanneer een voorwerp MNP (fig. 32) vóór

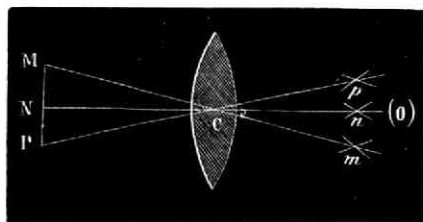


Fig. 32.

de lens is geplaatst op zoodanigen afstand, dat de van elk zijner punten uitgaande stralen achter de lens in de punten *mnp* convergeeren, in één woord, op zulk een' afstand, dat de beide *koppelbrandpunten* beide reël of werkelijk

zijn, dan zullen de punten m , n , p , zelve stralende punten worden; en het oog, dat zich ergens, in (O) bij voorbeeld, plaatst, zal het voorwerp MNP zien alsof dit voorwerp in pnm achter de lens geplaatst en omgekeerd ware.

Nog volgt hieruit dat, in 't geval der virtuele brandpunten (fig. 33), aangezien de beelden der punten M, N, P nu

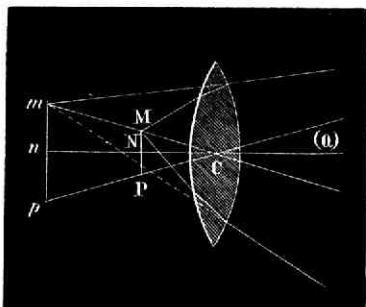


Fig. 33.

plaatst schijnen in m , n , p op de assen CM, CN, CP zelve, die door de stralende punten M, N, P en door het optisch middelpunt C van de lens gaan, alsdan het in (Q) gelegen oog het voorwerp in mnp , dat is *rechtstandig en vergroot*, zal bespeuren.

35. Beschrijving van het oog en theorie van het zien.

— Wanneer men het voorgaande behoorlijk heeft begrepen, is niets gemakkelijker dan zich

zelve rekenschap te geven van de verschillende verschijnsels betreffende het gezicht of het zien. Vooreerst dan is het, met opzicht tot het zien zonder aanwending van optische werktuigen, voldoende te weten, dat het oog, besloten in de beenige holte die men *oogkas*, *oogholte*

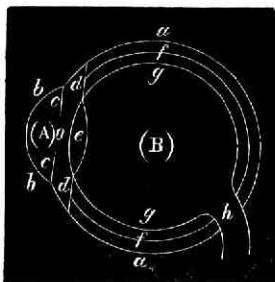


Fig. 34.

een vezelig vlies aa , dat den bodem der oogkas bekleedt onder den naam van *sclerotica*, *ondoorschijnend hoornvlies* of *harde oogrok*, terwijl men dat gedeelte, hetwelk van buiten zichtbaar is, met den naam van *wit van 't oog* bestempelt. Deze harde oogrok loopt aan de voorzijde, zonder duidelijke afgrenzing, uit in een bolvormig doorschijnend kapje bb , dat men wegens zijne voornaamste eigenschap *doorschijnend hoornvlies* (*cornea*) heeft genoemd; 2° een ringvormig ondoorschijnend vlies

cc , het *regenboogsvlies* of de *iris*, bevestigd als een diaphragma of middelschot tusschen het hoornvlies en de kristallens; dit vlies vertoont altijd eene meer of minder donkere tint, die aan 't oog zijne kleur geeft, en heeft in 't midden, een weinig naar de binnenzijde van 't oog, eene (bij den mensch) cirkelvormige opening o , de *pupil* of *oogappel*, die vergroot of verkleind kan worden door de samentrekking of uitzetting der spiervezels, waaruit de iris bestaat; 3° een ander vlies dd ,

achter het regenboogsvlies geplaatst onder den naam van *haarband*, *straalvormige band* (*processus ciliares*), en bestemd ter in-vatting van eene doorzichtige lens *e*, *kristallens*, *kristallijn-lichaam*, *kristallijn-vocht* geheeten; deze lens is gehuld in een even doorzichtig vlies, het *lensbeursje*, dat door zijnen rand samenhangt met den straalkrans, die door den haarband wordt gevormd; 4° een vierde vlies *ff*, dat men *vaatvlies*, *adervlies* (*choroidea*) heet; het bevat eene vrij donkere kleurstof en is tusschen het hoornvlies en netvlies geplaatst, zoodat het van 't oog eene ware *camera obscura* of donkere kamer maakt; door zijne zwarte kleur dient het om al de lichtstralen op te sloppen, die niet tot het duidelijk-zien moeten medewerken; 5° een merg-achtig vlies *gg*, het *netvlies* (*retina*), bestemd om den indruk van het licht op te vangen en dien indruk over te brengen naar de hersenen door middel van eene zenuw *h*, waarin dit vlies uitloopt, de *gezichtszenuw* namelijk, die, evenals het netvlies, geheel en al ongevoelig is voor de werking van kwetsende lichamen; 6° eindelijk, twee doorschijnende vochten, die de beide kamers (A), (B) vullen; deze kamers worden in 't oog gevormd door de afscheiding, die de kristallens en de haarband te weeg brengen; het eene der doorschijnende vochten (A) heet *waterachtig vocht*; het andere (B), dat kleveriger en dichter is dan 't eerste, wordt *glasachtig vocht*, *glasvocht* geheeten en is omgeven

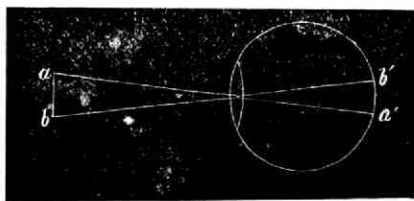


Fig. 35.

door het *glasvochtvlies*. — Wanneer men nu onderstelt, dat een lichtgevend voorwerp *ab* (fig. 35) op den *vereischten afstand* geplaatst is voor het oog, herleid tot zijne noodzakelijkste bestanddeelen, namelijk de kristallens en het netvlies, zoo ziet men terstond, dat dit voorwerp

zijn omgekeerd beeld zal vormen in *a'b'* op den bodem van 't oog; en menigvuldige proefnemingen hebben dienaangaande niet den minsten twijfel overgelaten.

36. **Duidelijk-zien.** — Ik heb met opzet gezegd, dat het lichtpunt op den *vereischten afstand* voor het oog moet geplaatst zijn; want zal men duidelijk of zuiver zien, dan moet ieder der punten *a*, *b*, enz. van het voorwerp zich op het netvlies komen afteekenen in een *eenig punt*, of, met andere woorden, de plaats van het netvlies moet juist beantwoorden aan het koppelbrandpunt van het voorwerp *ab*.

Onduidelijk-zien. — Werd deze voorwaarde niet vervuld,

wierp het vóór het oog geplaatste punt O zijn beeld òf in O' achter het netvlies (fig. 36), òf in O'' (fig. 37) vóór het netvlies, dan zou de voortgebrachte gewaarwording van het zien zich als 't ware verstrooien over 't vlak van een kleinen cirkel mn , en

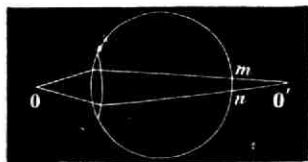


Fig. 36.

het oog, in plaats van een zuiver bepaald punt te zien, zou een meer of minder onduidelijken indruk krijgen, naar gelang van de grootte des cirkels, die op het netvlies met het beeld van het lichtpunt overeenkomt. Destemeer zou de indruk onbepaald, verward zijn, als het eenige punt veranderde in eene verzameling van naast elkander geplaatste punten, omdat alsdan de cirkels, die met de beelden van elk dezer in aanraking zijnde punten overeenstemmen, in elkander zouden vatten en als het ware eene opeenstapeling, een mengelmoes van gewaarwordingen zouden verwekken,

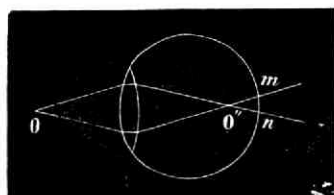


Fig. 37.

die elk afzonderlijk en onderscheiden hadden moeten blijven om aan de hersenen den zuiveren indruk van de verschillende punten over te brengen.

Afstand van het duidelijk-zien. — Bijziendheid en Verziendheid. — Een welgevormd oog ziet met volkomen duidelijkheid als het voorwerp op eenen afstand van ongeveer 30 duim (centimeters) is geplaatst. Dezen afstand heet men den *afstand van duidelijk-zien*. Hij loopt voor ieder oog uiteen met de meerdere of mindere bolvormigheid der kristallens, die zeer gewelfd of bol is bij de lijdens aan *myopie* (*) of bijziendheid, en daarentegen zeer afgeplat bij hen, die met *presbyopie* (†) of verziendheid behept zijn. De eersten, zooals men weet, moeten het voorwerp, als zij het goed willen bekijken, dicht bij het oog brengen, terwijl de anderen (de ouden van dagen in 't algemeen, bij wie de kristallens als gevolg des ouderdoms afgeplat is) verplicht zijn dat voorwerp, soms op vrij aanzienlijken afstand, van zich af te houden. Wij zullen eerlang de middelen leeren kennen om in dit dubbel ongerief te voorzien. Maar vooraf

(*) Van het Grieksch *μύω*, ik sluit, en *ὄψω*, oog, omdat de bijzienden werkelijk het oog ten halve sluiten (met de oogen pinaken) om de opening der pupil en gevolgelyk ook de grootte der cirkels mn van fig. 37 te verminderen en het gezicht duidelyker te maken. Maar de helderheid der beelden lijdt dan daarby ook schade.

(†) Van het Grieksch *πρῆβω*, en *ὄψω* oog.

willen wij eenige der physiologische eigenschappen van het oog ontleden, omdat men er vaak belang bij kan hebben, de verschillende functiën van het oog te kennen, hetzij om zich zelve rekenschap te geven van zekere schijnbaar zonderlinge verschijnsels, hetzij om oogmisleidingen te vermijden of te verbeteren, waardoor de nauwkeurigheid der astronomische waarnemingen kan benadeeld worden.

37. Tijdduur van den indruk op het netvlies. — Er is wel niemand of hij herinnert zich, bij voorbeeld, die vuurlijnen, welke de kinderen soms voor de pret vertoonen door het snelle ronddraaien van een gloeiende kool. Waarom ziet men *op één oogenblik* het lichtend voorwerp op al de punten van de lijn, die het doorloopt? Een enkel antwoord schijnt aannemelijk: de gewaarwordingen, door den lichtstoot op elk der punten van het netvlies voortgebracht, hebben het vermogen van nog een zekeren tijd na de verdwijning of de verplaatsing van het voorwerp, waaruit zij ontstonden, voort te duren. Talrijke proefnemingen hebben vergund dezen tijd te begrooten, die een weinig uiteenloopt met den glans van het lichtgevend lichaam, maar die over 't geheel een *tiende seconde* duurt; zoo zou dan het schitterend beeld, dat, geregeld wederkeerend, tienmaal in eene seconde dezelfde plaats op het netvlies komt innemen, daarop den indruk eener onafgebroken kromme lijn voortbrengen, omdat het lichtbeeld voor ieder element van dien boog de gewaarwording komt vernieuwen op het oogenblik dat zij zou verdwenen zijn.

38. Accidenteele of toevallige beelden, nabeelden, nakeuren. — Wij vermelden nog eene vrij merkwaardige proefneming, die men zeer gemakkelijk kan in 't werk stellen. Vermoeit eens uwe oogen door ze strak te vestigen op een helder verlicht voorwerp, op de glasruiten van een vensterraam, bij voorbeeld, en doet ze dan dicht. Gij zult dan eene poos het voorwerp met zijne lichttinten zien. Daarop zal de indruk verdwijnen, maar alras zich hervatten met dezelfde vormen, doch met kleuren, die men *complementaire* of aanvullings-kleuren van de eerste noemt, omdat de vereeniging der beide tinten wit geeft; dat wil zeggen met de gewaarwording van het *zwart* (volstrekte afwezigheid van licht) op de deelen die eerst *wit* waren, en van het *wit* op die welke zich eerst *zwart* vertoonden; met den indruk van het *groen* als vervanger van het *rood*, van het *paars* als opvolger van het *geel*, enz. Vervolgens zal alles opnieuw verdwijnen, maar om onmiddellijk daarna de nu verflauwde eerste tinten weder te laten optreden, die op hare beurt alras zullen vervangen worden door de nog meer verflauwde complementaire tinten, enz., totdat ten laatste de zinsmisleiding geheel ophoudt, na eene langer of korter durende reeks van afwisselingen, voort-

gebracht door oogenblikkelijke verlamming en daarop volgende hoogere gevoeligheid van het netvlies voor de kleuren, die het hadden aangedaan.

39. **Daltonismus of Achromatopsie.** — Deze bij de meeste oogen toevallige verschijnsels worden soms blijvend bij zekere eigenaardig bewerktuigde menschen, en zijn dan eene wezenlijke kwaal, die men *daltonismus* heet, naar den naam van den beroemden physicus *Dalton*, bij wien men ze, bedrieg ik mij niet, voor 't eerst heeft waargenomen; men noemt ze ook *achromatopsie*, dat men door kleurenblindheid heeft vertaald. Sedert Dalton heeft men eene menigte waarnemingen omtrent deze kwaal bijeengezameld, die niet zonder belangrijkheid zijn en vaak eene lachwekkende zijde hebben. 'k Herinner mij, onder anderen, ergens te hebben gelezen, dat een voortreffelijk schilder, zonder in 't minst erg in zijne fout te hebben, een voor 't overige zeer goed geteekend landschap maakte, doch waarin al de deelen, die groen moesten zijn, het gras, de boombladeren, eene prachtige *scharlaken*-kleur (de aanvullingskleur van 't groen) hadden gekregen. Ik heb ook in een Gedenkschrift (van d'Hombres-Firmas, meen ik,) gelezen, dat een aanzienlijk advocaat van Alais steeds kleeren koos van kastanjebruin, dat hij voor fraai zwart aanzag. Wartmann haalt het voorbeeld aan van een Engelschen officier, die op de parade kwam met een *groene* uniform, in plaats van een roode. Eindelijk, men vindt somwijlen bij denzelfden persoon twee oogen, die niet bijeenpassen, gelijk dit het geval ook was met de ooren van zeker Duitsch baron, op wien de welluidendste muziek den pijnlijksten indruk maakte, totdat zijn geneesheer op het gelukkig denkbeeld kwam hem een zijner ooren te doen dichtstoppen als er muziek gemaakt werd, welke kuur hem — in 't voorbijgaan gezegd — wonderwel gelukte, want zij maakte een echten melomaan van den man, die vroeger een afgrijzen had van alle muziek. Ik moet er bij voegen, eer ik dit onderwerp vaarwel zeg, dat, al mogen ook de meeste oogen over de levendige kleuren eenstemmig oordeelen, zulks geenszins het geval is wanneer de kleuren zeer flauw zijn, en dat schier altijd, wanneer verscheidene personen twee naast elkander gelegen zeer zwakke aanvullingskleuren, groen en rozerood bij voorbeeld, beschouwen, de een *rosé* en *groen*, de ander *groen* en *rosé* zal zien, terwijl een derde verzekert dat zij volkomen *eenerlei* en *wit* zijn. Hieruit kan men opmaken, dat de grens van gevoeligheid, aan welke een ieder de weinig van 't wit verschillende tinten begint waar te nemen, in 't algemeen een merklijk onderscheid bij de verschillende organisatiën oplevert.

40. **Samentrekbaarheid van het regenboogsvlies.** — **Ongevoeligheid van de gezichtszenuw.** — De pupil of oogappel

blijft niet altijd even groot. Onder den invloed van een sterk licht, ziet men hem ineenkrimpen ten gevolge van de uitzetting der iris, terwijl hij zich daarentegen merkelyk verwijdt, als het oog zich moet inspannen om te flauw verlichte voorwerpen te onderscheiden. 't Zal voorzeker niet noodig zijn eene verklaring van dit dubbele verschijnsel te geven. Iedereen heeft reeds begrepen, dat de opening der iris bestemd is om de straalbundels eenen toegang tot het oog te verleen, en dat de afmetingen dier bundels, om niet te veel van de gevoeligheid van 't netvlies te vorderen, in omgekeerde reden tot hunne lichtsterkte moet staan. Daarom dan ook is het netvlies bij de uilen, de katten, kortom bij alle dieren, die 't vermogen hebben om bij nacht, dat is bij een zeer verstrooid licht, te zien, hoogst gevoelig voor indrukken, en kunnen gevolgelijk de afmetingen van den oogappel aanmerkelyk uiteenloopen. Niemand zal wel die waarheid betwijfelen; maar vreemder is de eigenschap van 't uiteinde der gezichtszenuw. Men zou, *a priori*, onderstellen, dat deze bij uitstek gevoelig moet zijn, doch het tegendeel is waar: uit de merkwaardige proefnemingen van Mariotte is voldingend bewezen, dat de verdikte zenuwdraden geheel en al ongevoelig zijn.

41. — Men heeft zich dikwijls afgevraagd, waarom wij de voorwerpen rechtstandig of overeind zien, hoewel hunne beelden op het netvlies omgekeerd staan. Ook heeft men de vraag gedaan, waarom de beide oogen slechts een enkelen indruk op de hersenen overbrengen. Die tweede vraag schijnt niet moeielijk op te lossen, wanneer men opmerkt hoe gemakkelijk men door de lichtste drukking op een der beide oogen dubbele beelden kan doen ontstaan. Zodoende stoort men eenvoudig de symmetrie der optische assen, alzoo die der punten van ieder netvlies, welke gelijktijdig de indrukken ontvangen; waaruit men kan opmaken, dat de eenheid van gewaarwording ontstaat uit eene soort van harmonie tusschen de overeenkomstige punten der beide netvliesen. Wat het vraagstuk van het *rechtstandig* zien in verband met de *omgekeerde* beelden betreft, ik beken dat dit niet zoo eenvoudig schijnt, ondanks de menigvuldige verklaringen, die het heeft uitgelokt. 't Zal dus, naar mijn gevoelen, bij den tegenwoordigen stand onzer kennis, het verstandigst zijn, dat wij ons beperken bij het erkennen der eigenschap, die het oog heeft gekregen om ons de voorwerpen, wier beelden op het netvlies omgekeerd zijn, rechtstandig te doen zien: eene overigens zeer natuurlijke beperking, wanneer men bedenkt, dat wij geen tweede oog hebben om waar te nemen wat er in 't eerste omgaat.

Verklaring van Kepler, door Descartes herhaald, van de oorzaak, die de voorwerpen rechtop of in hun rechten stand doet zien, ondanks de omkeering der beelden in

het oog. — Ik moet evenwel melding maken van Kepler's verklaring, door Descartes herhaald, omdat zij zich vrij aannemelijk voordoet, in weerwil van de tegenbedenkingen, waaraan ook zij heeft blootgestaan, en bovendien omdat zij het voordeel heeft zeer eenvoudig te zijn, want zij vergelijkt de in 't oog dringende lichtbundels bij de gekruiste stokken, waarvan zich sommige blinden bedienen. De stok A (fig. 38), door de rechterhand



Fig. 38.

vastgehouden, raakt de links geplaatste voorwerpen aan, terwijl de stok B, door de andere hand bestuurd, de aanwezigheid van de voorwerpen ter rechterzijde moet aanduiden. Op gelijke wijze, meent Kepler, moeten de lichtbundels, die van de benedenpunten van een voorwerp uitgaan, om, na in de kristallens gebroken te zijn, op het bovengedeelte van het netvlies de overeenkomstige beelden te vormen, aan het oog, door de richting zelve van de indrukken die 't ontvangt, doen ontwaar worden dat zij van beneden

naar boven loopen, en dat de punten, van welke zij uitgaan, gevolgelijk aan 't benedeneinde van het voorwerp liggen. De indrukken, die het oog door de van boven naar beneden gerichte bundels ontvangt, moeten het de gewaarwording der bovenpunten verschaffen; eindelijk, de rechter- en linkerzijde van het voorwerp moeten zich bekend maken door indrukken, die zich op het netvlies aan de linker- of rechterzijde van het beeld doen gevoelen.

Maken wij thans eenen aanvang met de beoefening der mid-delen, die men aanwendt om zekere onvolkomenheden van het oog te verhelpen, of om het optisch vermogen van dit orgaan te vergrooten.



VIERDE LES.

Middelen ter verbetering van het gezicht. — Brillen, glazen voor bijzienden. — Glazen voor verzienden. — Astronomische kijkers van Galilei, van Kepler. — Aardsche verrekijker. — Vergrooting. — Irisatie der beelden. — Telescopen. — Proeven van Dollond. — Achromatische kijkers. — Diaphragmen. — Draden in het brandpunt der kijkers geplaatst om hoeken te meten. — Zichtbaarheid der sterren gedurende den dag met behulp van kijkers.

42. — Wij hebben gezien, dat bij de kortzichtigen of bijzienden, wier kristallens te bol is, alsook bij de verzienden of verzienden, bij wie zij te plat is, de lichtbundels, die van punten op ongeveer 30 duim (*) voor het oog geplaatst komen, op het netvlies slechts eene onduidelijke gewaarwording te weeg brengen. Bovendien weten wij, dat, wanneer een voorwerp de lens, achter welke het zijn beeld moet vormen, *naderbij komt* of er verder van *afwijkt*, alsdan dit beeld op zijne beurt *verderaf wijkt* van diezelfde lens of haar *naderbij komt*. Men zal daaruit licht begrijpen, waarom de bijzienden het voorwerp, dat zij duidelijk willen zien, zeer dicht bij hun oog brengen; want daar een punt op 30 duim afstand voor hen zijn beeld tusschen de kristallens en het netvlies vormt, moeten zij noodwendig het voorwerp naderbij brengen, ten einde het beeld op het netvlies zelf valle en het zich van de kristallens verwijdere. Men bevroedt dan ook, waarom de uitwerking omgekeerd is bij de verzienden, wier afgeplatte kristallens aan de lichtbundels slechts eene geringe afwijking geeft; want het koppelbrandpunt wil zich dan achter het netvlies vormen, te ver van de kristallens voor een op den afstand van duidelijk-zien gelegen voorwerp, en kan alleen door verwijdering van hetzelfde op het netvlies gebracht worden.

43. — 't Zou moeielijk vallen den juisten tijd aan te wijzen, wanneer de middelen bedacht werden om de gebreken van 't gezicht te verhelpen; maar men kan als zeker stellen, dat die tijd niet hooger opklimt dan het einde der 13de of de eerste jaren der 14de eeuw. Volgens sommigen toch zou men de uitvinding der gewone brillen moeten toeschrijven aan *Roger Baco*, wien men zooveel andere verwonderlijke vindingen toekent en die omstreeks 1290 door inkerkering zoo hard boette voor zijne stoute pogingen om de oude wijsbegeerte te hervormen, dat is, om het gezag der rede en ervaring in de plaats te stellen van het tot dusverre onbetwiste gezag van Aristoteles. Volgens an-

(*) De gewone afstand van duidelijk-zien, zeer gemakkelijk voor het houden der hand.

deren zou 't een Florentijner zijn, met name *Sylvio di Glarmati*, gestorven in 1317, die het gebruik der glazen ter verbetering van het gezicht heeft aangetoond. *Alexander di Spina*, in 1318 gestorven, zou, volgens een latijnsch opschrift op zijn graf „de kunst onderwezen hebben om brillen te vervaardigen, welke reeds gemaakt waren door een ander, die weigerde zijne ontdekking mede te deelen, enz. (*).” Ofschoon deze verschillende opgaven twijfel omtrent den waren uitvinder overlaten, stemmen zij toch, gelijk men ziet, in zoverre overeen, dat de tijd der uitvinding omtrents den bovengenoemden tijd moet plaats gehad hebben, hetgeen buitendien bevestigd wordt door de getuigenis van een schrijver uit dien tijd, ons bewaard gebleven in het Woordenboek van *Crusta*, waar men leest: *Broeder Jordanus van Rivalto*, in 1311 overleden, schreef in 1305, dat men sedert twintig jaren de kunst had gevonden om brillenglazen te slijpen.”

Middelen ter verbetering van het gezicht. Hoe werken deze glazen om de ongemakken der bijziendheid en verziendheid uit den weg te ruimen? — Indien wij enkel een denkbeeld van hunne algemeene uitwerkselen wilden hebben, zonder acht te slaan op de geometrische wijzigingen, die hunne tusschenkomst in den gang der lichtbundels brengt, zouden we ons kunnen vergenoegen met te zeggen: „Is uwe ooglenzen te bol? Poog dan, daar gij ze niet platter kunt maken, de te sterke straalbreking, die zij naar eene richting te weeg brengt, te matigen door een glas, dat eene wat minder sterke breking in eene omgekeerde richting kan voortbrengen, derwijze dat het verschil der beide werkingen gelijk staat met de werking, die eene welgevormde kristallens zou doen.” Het glas, dat zulk

Glas voor kortzichtigten. Kristallens van kortzichtigten.



Glas voor verziendigen. Kristallens van verziendigen.

Fig. 39.

een resultaat kan opleveren, is kennelijk het glas A (fig. 39), dat men bi-concave of dubbelholvormige lens noemt en welks beloop juist het omgekeerde is van dat der kristallens B. Wat de verzienden betreft, daar hunne te platte kristallens D niet met genoegzame kracht werkt, zoo zouden zij door toevoeging van eene tweede kristallens of van eene convexe of bolle lens C de vereischte aanvulling van straalbrekend vermogen krijgen, opdat het oog zou kunnen werken alsof het goed gevormd ware, dat is, alsof het eene kristallens had, die in staat was om op het netvlies een duidelijk beeld te geven van de voorwerpen, die op den gewonen afstand van duidelijk-zien zijn geplaatst.

(*) *Ocularia ab aliquo alio facta et communitate nolenti, ipse fecit et communicavit.*

44. — Maar voor dezulken, wien eene zoo eenvoudige rede-
neering niet voldoende is en die het licht door het glas en de
kristallens heen wenschen te volgen, geven wij hieronder con-
structiën aan, met welker behulp men gemakkelijk de verschil-
lende straalbrekingen zal kunnen ontleden.

Glazen voor bijzienden. — Laat O (fig. 40) het lichtpunt
zijn, dat op den gewonen afstand van duidelijk zien voor een

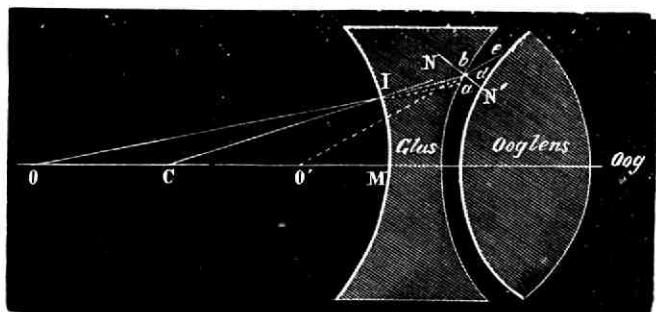


Fig. 40.

bijziend oog is geplaatst. De lichtbundel, van dit punt uitge-
gaan, zou derwijze door de kristallens gebroken worden, dat hij
vóór het netvlies convergeerde, en om nu het punt, waar de
stralen samenloopen, op het netvlies zelve te brengen, zou men
het punt O dicht bij het oog, bij voorbeeld in O' , moeten
plaatsen. Nu blijkt het duidelijk, dat de lichtstralen, door het
punt O uitgezonden, nadat zij door het op hunnen weg geplaat-
ste *biconcave* glas zijn gegaan, eveneens op de kristallens komen,
alsof zij uit dat punt O' vertrokken waren; dat de tusschenplaat-
sing van het glas derhalve de gewenschte uitwerking heeft gehad,
daar zij een op den gewonen afstand geplaatst voorwerp doet
beschouwen alsof het naderbij, in het punt O' zelve, geplaatst
ware. Inderdaad, daar de normale straal OM niet afwijkt, zoo
volgt hij om in 't oog te komen eene rechte lijn, die geheel on-
afhankelijk is van de aanwezigheid van het glas. Maar elke
andere lijn OI , die in het punt I uit de lucht in het glas, dat
is, uit eene minder dichte in eene dichtere middelstof komt, zal
de normaal CIN naderen; en in plaats van hare eerste richting
 OIa te volgen, zal zij hare baan breken volgens Ib , dicht bij
 IN dan Ia . In het punt b gekomen, om uit het glas in de
lucht over te gaan, zal zij thans zich van de normaal bN' ver-
wijderen, en uittreden volgens be , verder van bN' verwijderd
dan de in 't glas gevolgde richting Ibd .

Zoo zal dan, ten slotte, de kristallens, waarop de lichtstraal

be na twee achtereenvolgende brekingen van beneden naar boven gevallen is, dien straal en (zoo de lens naar eisch geslepen is) al de van het punt O komende stralen ontvangen, alsof zij waren uitgegaan van het punt O' , waarop de verlengde lijn eb uitloopt. De bovengenoemde uitwerking is alzoo tot stand gebracht.

Glazen voor vèrzienden. — Onderstellen we nu een vèrziend oog, mede op den gewonen afstand van duidelijk zien geplaatst met betrekking tot het lichtgevend voorwerp. Daar het beeld zich thans achter het netvlies gaat vormen, zoo wordt het noodzakelijk, gelijk we reeds aanmerkten, dat het voorwerp verderaf gebracht worde, ten einde een duidelijken indruk te bekomen. Welnu, door de tusschenplaatsing eener lens zal men de van het punt O (fig. 41) komende stralen in 't oog kunnen doen komen

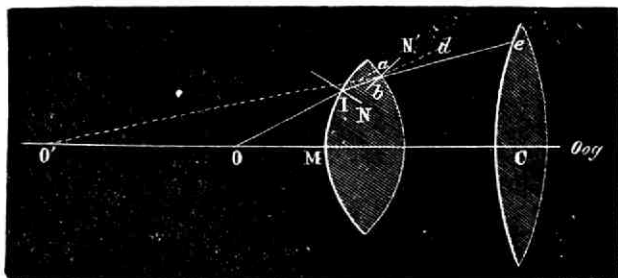


Fig. 41.

alsof zij uit een verderaf gelegen punt O' kwamen. Om ons te overtuigen, dat de biconvexe of dubbel-bolvormige lens die uitwerking hebben zal, behoeven wij slechts den gang van het licht door hare beide vlakken heen te volgen.

Vooreerst dan zal ook hier, gelijk bij het biconcave glas, de normale straal OM in het glas of in het oog doordringen zonder af te wijken. Wat de andere stralen OI ... betreft, daar de eerste breking (uit de lucht in het glas) hen nader bij de normaal IN op het vlak van intreding brengt, zoo zullen zij zich volgens de lijn Ibd naar die normaal nederwaarts buigen en het tweede vlak der lens ontmoeten in b ..., onder de punten a ..., welke op de verlenging van hunne eerste richting OI zijn gelegen. De tweede breking daarentegen (uit het glas in de lucht) verwijdert hen van de normaal bN' op het vlak van uittreding; zij zullen dus nogmaals al dalende naar den centralen straal OM breken, en eindelijk op de kristallens C aankomen in de richting be , welke, wat de voortgebrachte uitwerking betreft, van het punt O' schijnt uit te gaan. Het aldus te hulp gekomen vèrziend oog zal een voorwerp O , gelegen op den gewonen afstand van duidelijk-zien,

eveneens beschouwen alsof het lichtende brandpunt verderaf geplaatst ware.

Daar voorts de buiging van de kristallens bij verschillende oogen niet dezelfde is, heeft men noodwendig ook eene verschillende buiging moeten geven aan de glazen, die het gezicht te hulp moeten komen. Dit duiden de glasslijpers aan met nummers, die met het verschillend bereik van het oog overeenkomen (*).

Meer dan drie eeuwen verliepen er tusschen den tijd van de uitvinding der glazen, wier werking wij zoo even ontleed hebben, en dien der uitvinding van de verrekijkers. Porta, een Napolitaansch edelman, had wel, 't is waar, reeds in 1469 gesproken (in zijne verhandeling over de *natuurlijke Tooverkunst*) over de mogelijkheid van het vergrooten der voorwerpen door middel van glazen; maar deze bewering was onder Porta's duistere studievruchten een louter droombeeld gebleven, waarvan zelfs Kepler, die honderd en twintig jaren later door keizer Rudolf was uitgenoodigd geworden haar te onderzoeken, verklaard had *er niets van te begrijpen*. Indien derhalve iemand op den inval gekomen ware in ernst te verlangen, dat men de sterren nader bij zijne oogen bracht, dat men hem een werktuig verschafte, waarmede hij gemakkelijk de voornaamste bijzonderheden van de oppervlakte der hemellichamen kon gadeslaan, dan zou men gewis zulk een eisch voor eene hersenschim of eene dwaasheid gehouden hebben. Maar, gelijk de Fransche fabeldichter gezegd heeft:

» Vaak diende 't blind geval de ontdekkingen ten vader; »

en eene toevallige omstandigheid, waardoor Galilei's nadenken op een oogenschijnlijk onoplosbaar vraagstuk werd gericht, bevestigde de nieuwe Sterrenkunde met het kostbaarste van hare werktuigen.

Astronomische verrekijkers. — De geschiedenis van de

(*) Sedert Wollaston, wien de eer der uitvinding toekomt, gebruikt men ook glazen, die men *periscopische* noemt (van 't Grieksch *peri*, rondom, en *scopéo*, ik zie), omdat zij ten doel hebben de van ter zijde komende stralen onder minder schuine invalshoeken op te vangen, ten einde zoodoende de duidelijkheid der zijdelingsche indrukken te vermeerderen.

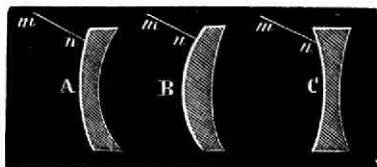


Fig. 42.

De buiging der voorzijde van die glazen is altijd bolvormig, terwijl de naar het oog gekeerde buiging hol is. Deze laatste buiging is sterker dan de eerste voor de bijzienden, maar flauwer voor de verzienden, zoodat het verschil der uit de beide krommingen ontstaande omgekeerde werkingen plaats grijpt in de richting der sterkste, en nu eens, A (fig. 42), gelijk staat met een biconcaaf glas, en dan weder, B, aan een biconvex glas. Men ziet met een oogopslag, dat de zijdelingsche stralen *mn* de

perpendicularen op de vlakken A, B, meer nabij komen en in dit geval zuiverder breken, dan zij het op de vlakken van C zouden doen.

eerste uitvinding der verrekijkers is langen tijd in nevelen gehuld geweest; zeker is het, dat zij in de Nederlanden op het einde der 16de of in de eerste jaren der 17de eeuw vervaardigd zijn. Als uitvinder werd nu eens Jacob Metius van Alkmaar, zoon van den beroemden mathematicus Adriaan Metius, die zich beroemd heeft gemaakt door zijne bepaling van de verhouding des omtreks van den cirkel tot zijnen diameter, dan weder zekere Zacharias Janssen van Middelburg genoemd, terwijl nog andere gewag maken van Hans Lippershey of Lippersheim uit Wezel, brillenmaker te Middelburg. Vrij algemeen vertelt men, dat de kinderen van Janssen, op zekeren dag met glazen spelende, die zij hunnen vader hadden ontkaapt, tot hunne vreugde en verwondering onverwachts den haan van een naburigen toren veel grooter en meer van nabij zagen; of wel men meent, dat Metius de gewoonte had, zonder eenig theoretisch begrip, enkele geslepen glazen met elkander in verband te brengen, ten einde zoodoende de zonnestrallen te concentreeren, en dat hij langs dien weg toevallig den eersten verrekijker maakte. Dat echter van de genoemde personen alleen aan Hans Lippershey de eer der uitvinding toekomt, is door de latere nasporingen van van Swinden en anderen boven allen twijfel verheven. In 1608 gingen de eerste verrekijkers uit de Nederlanden naar het buitenland. Omstreeks de maand Mei 1609 kreeg Galilei te Venetië bericht van deze ontdekking, en het werktuig, dat eerst waarschijnlijk de vrucht van het toeval was, werd eerlang in zijne handen 't gewrocht van wiskunstige combinatiën. Een *bol* glas bij een *hol* glas gebracht, leverde hem eenen toestel, die driemaal vergrootte. Eenige dagen later verkreeg hij eene vergrooting van *zeven-* of *achtmaal*; eindelijk gelukte het hem na nog eenige proefnemingen het beeld der voorwerpen *drie en dertigmaal* grooter te maken.

Dat was de oorsprong van den kijker, dien wij tegenwoordig *tooneelkijker* of *kijker van Galilei*, ook wel *Hollandsche kijker* noemen, en die later, op Kepler's voorstel, vervangen werd door het werktuig met twee bolvormige glazen, ten einde alzoo het gezichtsveld te vergrooten.

Beschouwen we nu deze beide samenstellingen van naderbij.

46. **Kijker van Galilei.** — Een voorwerp AB (fig. 43) is op een grooten afstand van de biconvexe lens SR. Het zendt uit ieder zijner punten A, D, B, divergeerende bundels lichtstralen af, die op deze lens vallen en die, na in 't glas gebroken te zijn, naar A', D', B', de koppelbrandpunten van de punten A, D, B, gaan convergeeren. Maar vóór hunne vereeniging ontmoeten de stralen, die bij voorbeeld naar A' loopen, een biconcaaf glas S'R', dat op zijne beurt SA' in I en in K, RA' in g

en in h breekt, zoodat SI volgens IKl , en Rg volgens ghp geleid en daardoor te weeg gebracht wordt, dat voor het oog,

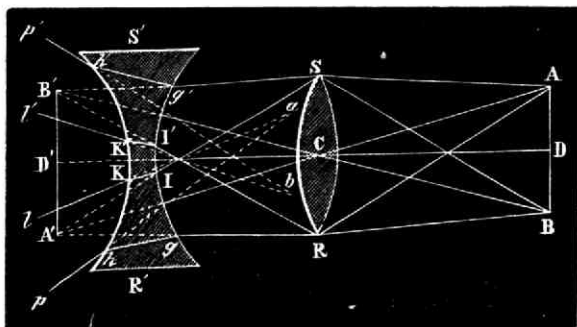


Fig. 43.

hetwelk den in de ruimte $IKhp$ begrepen straalbundel achter het glas opvangt, die bundel schijnt uitgegaan van het punt a , gelegen op den afstand van duidelijk-zien, hoewel hij inderdaad van het zeer ver verwijderd punt A komt. De van B uitgaande bundel, die in B' wil convergeeren, zal eveneens gebroken worden in I', K', g', h' , en achter het concave glas in $l'p'$ aankomen, alsof hij van het punt b ware uitgegaan, dat gevolgelyk het virtueele beeld van het punt B zal zijn.

Het bij $A'B'$ geplaatste oog zal dus, indien zijne pupil genoegzaam verwijd is, elk der beide bundels, of althans een gedeelte daarvan, opvangen. Het zal dus ook het ver verwijderde voorwerp AB zien, alsof het zeer nabij, in ab , onder 't bereik van zijn gezicht, geplaatst ware. Men ziet bovendien lichtelyk in, dat dit bereik van 't oog gemakkelijk kan bekomen worden door het nader-bijeenbrengen of het verder-van-elkander-plaatsen der beide glazen, welke men tot dat einde in buizen heeft gezet, die in elkander passen. Wat het beeld betreft, dit wordt klaarblykelyk rechtstandig gezien, dewijl a aan A en b aan B beantwoordt. De naar het voorwerp gekeerde biconvexe lens heeft men den naam van *objectief* of *voorwerpglas* gegeven, terwijl men het biconcave glas, achter hetwelk het oog zich plaatst, zeer natuurlyk *oculair* of *oogglas* heet.

Men verwijt dit instrument met recht, dat het een te beperkt *veld* heeft, hetgeen wil zeggen, dat het alleen een voorwerp of ruimte van vrij geringe afmetingen in zijn geheel te zien geeft. Daar de van de uiteinden A, B komende lichtbundels elkander al divergeerende bij het middelpunt van 't oogglas kruisen, ziet men immers, dat de pupil met moeite een gedeelte van ieder hunner zal opnemen, en dat eene kleine verplaatsing van het

hoofd naar B' of naar A' voldoende zal wezen om de uit A, of uit B gekomen bundels het binnendringen in 't oog te beletten, met andere woorden, om A of B te doen verdwijnen. Ziehier nu hoe Kepler door de uitvinding van den kijker met twee biconvexe glazen dit bezwaar heeft weten weg te nemen.

47. **Kijker van Kepler.** — Het voorwerp AB (fig. 44) vormt hier wezenlijk zijn *omgekeerd* beeld in A'B', in het brandpunt van 't objectief SR. Het beeld A'B' wordt nu zelf eene bron van lichtuitstrooming, voortgebracht, gelijk ons de beoefening der lenzen heeft geleerd, uit stralen, die, nadat zij zich in 't objectief gebroken hebben, zich in elk zijner

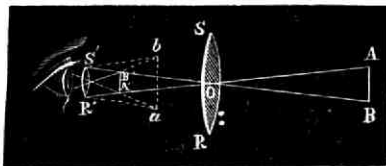


Fig. 44.

punten gekruist hebben. Maar het oculair is dicht genoeg bij dit beeld geplaatst, om het koppelbrandpunt een virtueel brandpunt te doen zijn, gevolgelyk om de van ieder der punten B', A' gekomen lichtstralen in het oog te doen vallen, alsof zij van de punten *b*, *a* uitgingen. 't Is derhalve in *ba* dat het voorwerp AB *omgekeerd* gezien wordt, hetgeen bij de voorwerpen aan den hemel geenerlei bezwaar oplevert, aangezien 't er weinig op aankomt of men rechts ziet wat links, boven wat onder, enz. is, mits men maar de bijzonderheden, die men wenscht te leeren kennen, duidelijk kunne waarnemen.

Men zal tevens bij het oplettend bezichtigen der figuur gemakkelijk begrijpen, waarom in dit geval de kleine verplaatsingen van het oog niet, gelijk bij Galilei's kijker, de uiteinden A of B van het veld doen verdwijnen; want men zal bespeuren, dat de van die uiteinden komende lichtbundels, in plaats van zich bij 't verlaten van 't oculair van elkander te verwijderen, integendeel elkander zoodanig kruisen, dat zij te gelijk in de opening der pupil kunnen doordringen.

48. — Ofschoon de kijker met bolvormige glazen de kleinte van het gezichtsveld moge verhelpen, hij heeft toch voor 't waarnemen der voorwerpen op aarde nog een groot gebrek, daar hij die *omgekeerd* vertoont; maar ook dit gebrek heeft men gelukkig uit den weg weten te ruimen door er twee tusschengeplaatste en ook convexe glazen aan toe te voegen. Wanneer het *omgekeerde* beeld B'A' (fig. 45) zich in het brandpunt van het objectief SR heeft gevormd, neemt een tweede biconvex glas, zoodanig geplaatst dat zijn hoofdbrandpunt nauwkeurig met dit beeld samenvalt, de daarvan uitgaande lichtbundels op, en maakt al de stralen van den uit B' gekomen bundel parallel aan de lijn B'C', al de stralen van den uit A' gekomen bundel parallel

aan de lijn $A'C'$ enz. Deze aldus gerichte bundels ontmoeten weldra eene andere lens $g'h'$, die ieder stelsel van evenwijdige

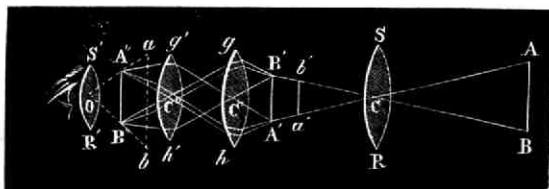


Fig. 45.

stralen op de lijnen $C''A''$, $C''B''$ (*) doet convergeeren, in B'' het beeld van B' , vervolgens ook van B , in A'' dat van A' of A weder voortbrengt, en het recht op gezette beeld $A''B''$ van het voorwerp AB doet vallen op het oculair $S''R''$, dat het moet overbrengen in ab , op den afstand van duidelijk zien. Men begrijpt tevens wel, dat $A'B'$ en $A''B''$ over 't algemeen in grootte kunnen verschillen. Maar als de beide tusschengeplaatste lenzen C' , C'' gelijkvormig zijn (en doorgaans is dit het geval), zoo is het klar, dat alsdan, aangezien de brandpuntsafstanden dezer lenzen gelijk zijn, ook de beelden $A''B''$, $A'B'$ gelijk zullen zijn, want alles zal symmetriek identisch met betrekking tot de lenzen wezen (†).

49. **Vergrooting.** — Het laatste beeld ab , op den afstand van duidelijk-zien geplaatst, zal klaarblijkelijk te gelijk met ieder der gelijke beelden $A''B''$, $A'B'$, grooter en kleiner worden. Daar nu het voorwerp AB zich doorgaans op verren afstand van den kijker bevindt, kunnen de straalbundels, die van elk dezer punten uitgaan, als parallel beschouwd worden, en het beeld $A'B'$ komt dan in 't hoofdbrandpunt. Doch daar dit beeld altijd begrepen is tusschen de verlenging der bijassen AC , BC , zoo ziet men dat het, ingeval 't zich niet in $A'B'$, maar dichter bij het objectief in $a'b'$ vormde, dat is, als de hoofdbrandpuntsafstand verminderde, alsdan het beeld zelve kleiner, en gevolgelijk ook het vergrootend vermogen van den kijker geringer zou worden. Hieruit volgt, dat dit vergrootend vermogen evenredig is aan den hoofdbrandpuntsafstand van het objectief.

(*) $C''A''$, $C''B''$ zijn lijnen, die door het optisch centrum C'' gevoerd zijn, parallel aan $C'A'$, $C'B'$, die naar het optisch middelpunt C' gaan.

(†) De verrekijker heeft het ongerief, dat hij een vrij grooten toestel van meestal in elkander schuivende buizen vordert. Men geeft dan ook, als zakkijker, de voorkeur aan den kijker van Galilei. Evenwel heeft Porro sedert eenige jaren eene gelukkige wijziging aangebracht, die ook van den verrekijker een zeer gemakkelijke zakkijker maakt, daar de lichtbundels door achtereenvolgende terugkaatsingen gebroken worden, zonder hunne convergentie te deren, zoodat het licht verscheidene malen in de buis wordt omgevoerd, alvorens de vereeniging der stralen in het brandpunt plaats heeft. Men begrijpt gemakkelijk, dat de kijker op die wijze merkelyk kan ingekort worden, daar de brandpuntsafstand, om zoo te zeggen, in op elkander liggende stukken wordt gesneden. Doch daar Porro's instrument geen eigenlyk astronomische kijker is, zal ik mij met zijne samenstelling niet langer bezig houden.

Slaat men op hunne beurt het laatste wezenlijke beeld $A''B''$ en het schijnbare beeld ab gade, beide begrepen tusschen de bijassen ($aA''O$, $bB''O$) van het oculair, dan ziet men eveneens, dat, hoe dichter het beeld $A''B''$ bij het oogglas komt, hoe meer ook de hoek $A''OB''$ zal geopend wezen; hetgeen ook het laatste beeld ab des te grooter zal maken. En daar de plaats van $A''B''$ ongeveer overeenkomt met den hoofdbrandpuntsafstand van het oculair, zoo kan men zeggen, dat, hoe kleiner die brandpuntsafstand, of hoe kleiner en boller het oculair is, hoe meer ook het beeld ab , op den afstand van duidelijk zien gebracht, zal vergroot worden. De *hoek-vergrooting*, door de verrekijkers te weeg gebracht, is dus, ten slotte, des te aanmerkelijker, naargelang de brandpuntsafstand van het objectief grooter en die van het oculair kleiner is. Ik behoef er wel niet bij te voegen, dat het weglaten der tusschenlenzen $C''C''$ niet de minste wijziging in 't voorgaande besluit zou maken. Alleen zou het betoog dan wat eenvoudiger worden, en ik heb het ook alleen op de kijkers met tusschenlenzen gedaan, om er de algemeenschap van aan te toonen.

De helderheid van het beeld moet noodwendig aangroeien met de hoeveelheid licht, die in het brandpunt convergeert, en gevolglijk met den diameter van het objectief, dat dit licht ontvangt. Jammer dat het niet altijd gemakkelijk valt, met glazen van groote afmeting dien graad van homogeniteit te bekomen, die tot de regelmatigheid der straalbrekingen of, wat op hetzelfde neerkomt, tot de zuiverheid der beelden vereischt wordt. Voor 't overige duurde 't niet lang, of er openbaarde zich in de verrekijkers een veel meer beteekenende invloed dan de gebreken aan homogeniteit.

50. Irisatie- of kleurschifting der beelden. — Het witte licht — wij hebben 't reeds gezegd — wordt gevormd uit zeven grondkleuren, die zich scheiden of schiften om, als zij door de facetten van een kristal gaan, regenboogkleurige tinten voort te brengen. Die kleurschifting nu ontstaat ook in de lenzen, en wel te sterker naargelang zij meer straalbrekend of bol zijn, dat is een korter brandpunt hebben. De reden is niet moeielijk in te zien. Men behoeft slechts op te merken, dat de zeven kleuren niet even breekbaar zijn, en dat zij bij ongelijke invalshoeken meer of minder afwijken, wanneer zij van middelstof veranderen. Ziedaar waarom zij, vermengd aanwezig in al de witte stralen, die op het objectief van eenen kijker vallen, en bij gevolg in ieder dezer stralen met identische richtingen daarop komende, bij het uitreden noodwendig gescheiden worden en zeven onderscheiden beelden vormen, die het eene voor het andere geplaatst zijn naar het brandpunt heen van 't objectief.

Ik gebruikte opzettelijk de eenigszins onbepaalde uitdrukking

naar *hzt* brandpunt heen, omdat er, daar ieder beeld overeenkomt met een bijzonder brandpunt, hetwelk door de breekbaarheid van de kleur, die het beeld vormt, bepaald wordt, in het tegenwoordig geval *zeven* onderscheiden brandpunten zijn, en niet maar alleen het eenige brandpunt, waartoe wij aanvankelijk, door de samengestelde natuur van het licht en sommige zijner bijzondere eigenschappen buiten aanmerking te laten, aanvankelijk onze studie bepaald hadden. Maar aangezien de verschillende beelden alle moeten begrepen zijn in den hoek aCb (fig. 46), ge-

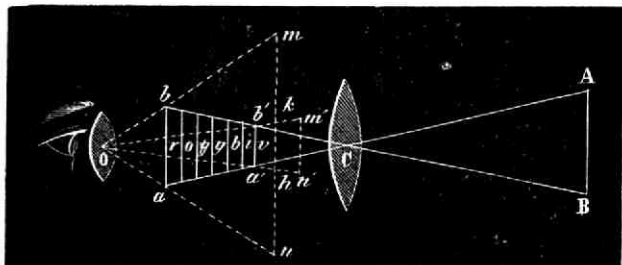


Fig. 46.

vormd door de verlenging der bijassen AC, BC, die van de uiteinden A, B des voorwerps uitgaan, zoo is het duidelijk, dat het beeld, hetwelk uit de minst breekbare kleur (het rood) ontstaat, zich zal vormen in ab , het verst van het objectief en het dichtst bij het oculair; terwijl de minst breekbare kleur (het paars of violet) het hare integendeel zal vormen in $a'b''$, het verst van 't oculair en het dichtst bij het objectief.

Wat de vijf andere kleuren betreft, de daaruit voortkomende beelden zullen geplaatst zijn tusschen de uiterste beelden, gaande van het rood tot het violet, volgens hare toenemende breekbaarheid, in de volgende orde: oranje, geel, groen, blauw, indigo. Nu zal men ook zonder moeite begrijpen, dat, ingeval ab het beeld is, hetwelk met betrekking tot het oculair derwijze geplaatst is, dat het door die lens *virtueel* of schijnbaar verplaatst wordt op den afstand van duidelijk zien, dit alsdan niet het geval kan wezen met $a'b''$ en de andere beelden; deze toch zijn verder van 't oculair verwijderd en zullen juist daardoor hunne virtueele beelden op grooter afstand hebben. Van daar eene oorzaak van verwarring of vermenging, die trouwens niet de eenige bleef.

Wordt het roode beeld in mn , het violette in $m'n'$ en de andere beelden in liggingen tusschen de eerste verplaatst, dan ziet men, dat de violette bundels, die van de uiteinden m' , n' van het beeld $m'n'$ uitgaan, zich in het oog vermengen zullen met die,

welke van de punten k en h van het roode beeld komen, alsook met de bundels, die voor de andere kleuren aan de tusschen k en m , en tusschen h en n gelegen punten beantwoorden. Hieruit volgt, dat ieder punt van het netvlies den indruk zal ontwaren eener reeks van elkander overdekkende gewaarwordingen, geboren uit de kleuren, die van verschillende punten des voorwerps uitgaan: vandaar de schier volstrekte onmogelijkheid om *duidelijk* de zeer kleine bijzonderheden van dit voorwerp waar te nemen; vandaar ook het ontstaan eener reeks van regenboogkleurige randen als 't gevolg der zeven gekleurde beelden, die over elkander heen reiken; vandaar eindelijk eene zoo groote vermoeienis van 't oog, dat Galilei en Dominicus Cassini, daar zij te lang zich bediend hadden van kijkers, behept met de hierboven vluchtig geschetste gebreken, ten laatste beide hun gezicht verloren.

51. — Om het gebrek te verhelpen en terzelfder tijd aan de beelden veel helderheid bij te zetten, vervaardigde de Italiaan Campani, een der bekwaamste glasslijpers der 17de eeuw, voor zijnen landgenoot Cassini, die toen het bestuur had over 't observatorium van Parijs, voorwerpglazen van *grooten diameter*, die zeer plat waren, gevolgelijk zeer weinig straalbrekend vermogen hadden en derhalve ook in zeer geringe mate kleurschiftend waren, en welker brandpuntsafstanden wel 200 tot 220 voet beliepen. Buizen van zulk eene lengte moesten natuurlijk niet gemakkelijk te maken zijn. Cassini plaatste dan ook zijn voorwerpglas slechts boven op eenen mast en richtte het daar met behulp van koorden, terwijl hij met het oogglas den meest gepasten stand zocht om het beeld te zien. Maar zulk eene inrichting, vermoeiend door 't menigvuldig beproeven, dat zij gedurig vereischte, voegde bij 't gebrek der kleurschifting nog een ander; en de zaken bleven in dien toestand tot in 1672, toen Newton het eerst een denkbeeld verwezenlijkte, dat reeds vóór hem, in 1639 door pater Mersenne en in 1666 door Gregory, geopperd was, zonder dat dezen echter daaraan gevolg hadden gegeven.

52. **Telescopen.** — Dit denkbeeld bestond in 't vervangen van het objectief door een gebogen spiegel, met andere woorden in 't vervangen van een gebroken door een teruggekaatst beeld. Daar de zeven ongelijk brekende kleuren alle op dezelfde wijze terugkaatsen, moest het nieuwe beeld zich inderdaad zeer zuiver vertoonen, en 't gezicht kon voortaan niet gehinderd worden dan door de in 't oculair ontstane kleuren. Zulke kleuren nu zijn doorgaans niet waar te nemen, dewijl zij, wegens den geringen afstand tusschen het oculair en de kristallens, nauwelijks van elkander gescheiden zijn, wanneer zij op het oog vallen.

Ik zal mij niet inlaten met eene beschrijving van den *tele-*

scoop (*): dus noemt men den toestel van Newton. 't Is voor mijn oogmerk voldoende u bekend gemaakt te hebben met eene van de verscheidenheden dezer werktuigen, met welker behulp men het gezichtsvermogen aanzienlijk kan vergrooten. Ik zal enkel zeggen, dat de telescopen, op hunne beurt, alras bezwaren opleverden, die de behoefte deden gevoelen om, zoo mogelijk, de kijkers met straalbrekend objectief te verbeteren. De spiegels toch, van een metaalmengsel vervaardigd, werden onder den invloed van de nachtelijke vochtigheid dof en vrij spoedig met oxyde of roest bedekt. Daarenboven leverden zij, ten gevolge van de verliezen, door de terugkaatsing te weeg gebracht, bij gelijke opening op verre na zoo veel licht niet als de doorschijnende glazen, waaruit de noodzakelijkheid van groote afmetingen werd geboren, die de instrumenten zeer zwaar en zeer moeielijk te hanteeren maakten.

In weerwil van deze bezwaren hebben de telescopen toch wezenlijke diensten aan de Sterrenkunde bewezen. Daaronder mag men melding maken van de glansrijke ontdekkingen, tegen het einde der vorige eeuw door Herschel gedaan met den vermaarden telescoop van 12 el lengte bij 1 el 47 duim opening, welken deze Sterrenkundige zelf had vervaardigd; en nog in onze dagen, ofschoon de astronomische kijkers zeer groote verbeteringen hebben ondergaan, moet de wetenschap met dankbaarheid in hare annalen de gedachtenis levendig houden van dat prachtig instrument van 10 el 76 dm. (wegende omtrent 10 500 pond), waarvan de spiegel door Lord Ross is geleverd volgens eene behandeling, die hem vergund heeft eene opening van 1 el 83 dm. te bekomen. De wetenschap moet bovenal te boek stellen met welk een uitstekend gevolg Foucault in jongeren tijd het metaalmengsel der oude spiegels vervangen heeft door het galvanoplastisch verzilverde glas, waarmede hij eenige telescopen heeft vervaardigd, die zeer licht zijn, weinig kosten en toch onder vrij beperkte afmetingen met de beste kijkers kunnen wedijveren; terwijl men verwachten mag, dat men ze weldra de voorkeur zal geven boven de toestellen met *verbeterde objectief-lens*, waarvan ik nog eenige woorden te zeggen heb om daarmede de geschiedenis der in de Sterrenkunde gebezigde optische instrumenten te besluiten.

53. **Proef van Dollond.** — Wij hebben gezien, dat het voornaamste bezwaar der verrekijkers voortvloeide uit de ontbinding van het licht in het voorwerpglas. Toen Newton zijnen telescoop maakte, werd hij tot de keuze van dezen toestel boven dien van Galileï en Kepler gebracht door de overtuiging waarin hij ver-

(*) Van 't Grieksch *éle*, ver, en *scopéo*, ik beschouw.

keerde, dat het niet mogelijk was *achromatische* (*) kijkers te bekomen (zoo heet men de instrumenten, waarmede men beelden zonder gekleurde randen kan verkrijgen), en deze zijne overtuiging was gegrond op eene proef, uit welke hij te overijld had opgemaakt, dat de afwijking der stralen in de glazen, die noodzakelijk is voor het vormen der beelden in het brandpunt van het objectief, onvermijdelijk de ontbinding van het licht en natuurlijk dan ook het ontstaan der kleuren met zich bracht. In 1755 deed Klingstierna, professor te Upsal, den bekwamen Engelschen opticus Dollond, kleinzoon van een Fransch uitgewekene, dien de herroeping van 't edict van Nantes uit zijn vaderland had verdreven, een geschrift ter hand stellen, dat tegen de proef van Newton was gericht, die voor 't overige toen reeds door Euler was bestreden, maar nog door Clairaut werd verdedigd. Dollond, op wien dit geschrift een diepen indruk maakte, nam nu vol ijvervuur eene tegenproef; door een glazen prisma A

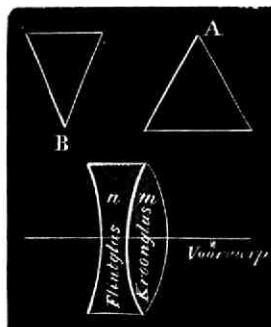


Fig. 47.

komen witte beelden te verkrijgen.

54. **Achromatische kijkers.** — **Diaphragmen.** — De mathematische beschouwing van het verschijnsel leert, dat er, strikt genomen, zeven verschillende glazen zouden noodig zijn om de zeven kleuren te achromatiseeren; maar in de practijk zijn twee naar eisch geslepen glazen altijd voldoende. Alleen moeten deze glazen zeer homogeen zijn, en de moeielijkheid om ze zoo te bekomen verhinderde tot op het einde der vorige eeuw het maken van achromatische objectieven met een' grooteren diameter dan 4 parijsche dm. (110 strepen of millimeters). Dollond, wiens kijkers ware meesterstukken van achromatisme zijn, is nooit, zoo ik meen, boven $3\frac{1}{4}$ parijsche dm. (95 strepen)

(*) Van de privatieve grieksche *a* en *chróa*, kleur, dus zonder kleur.

gegaan. De eerste achromatische objectieven van 4 dm. werden omstreeks 1800 vervaardigd; later wist men achtereenvolgens tot afmetingen van 6, 7, 8, 9, eindelijk van 14 en zelfs, naar men onlangs zeide, van 16 en 18 dm. of van 50 centimeters te bekomen. Doch wegens de onregelmatigheid van straalbreking, die er doorgaans op de randen van het objectief plaats heeft, zetten de instrumentmakers meestal in de buis des kijkers een cirkelvormig *diaphragma* of tusschenschot, dat de uiterste stralen moet afweren, hetgeen het vermogen der achromatische lens evenveel doet afnemen. In dit opzicht staat het gebruik vast, en de *werkelijke* diameter is altijd kleiner dan de *schijnbare*. 't Is nogtans goed, wanneer men een achromatischen kijker koopt, wel toe te zien dat het diaphragma het objectief niet binnen al te beperkte verhoudingen brengt.

55. Draden in het brandpunt der lenzen geplaatst om hoeken te meten. — De verrekijkers, zooals wij ze thans hebben leeren kennen, zouden alleen bruikbaar zijn voor de beoefening van de physische gesteldheid der hemellichamen, en meer dan eene halve eeuw moest er nog verlopen alvorens zij ook aan het meten van hoeken konden dienstbaar gemaakt worden. Eerst omstreeks 1666 kwam Auzout, ten einde de kijkers tot maat te doen dienen, op de gedachte om zeer fijne draden kruisgewijs in het brandpunt van 't objectief te spannen en aldus, uit het optisch middelpunt van 't objectief tot aan de kruising der draden eene bijna mathematisch verdeelde lijn te bepalen. Het schijnt echter dat reeds in 1640 een jong Engelschman, Gascoygne geheeten, die op zijn drie en twintigste jaar als slachtoffer der burgeroorlogen gestorven is, op dezelfde gedachte is gekomen; maar hij heeft ze niet toegepast gelijk zulks later Auzout deed, wien men ook het gebruik der beweeglijke draden moet dank weten, waardoor men de beelden tusschen twee draden kan besluiten en zóó, geholpen door voorafgegane graadverdeeling, de kleine hoeken kan meten, die door de in 't veld des kijkers begrepen voorwerpen onderspannen worden.

Ik zou evenwel ten onrechte al de verdienste der uitvinding aan Auzout toeschrijven. Deze Sterrenkundige heeft alleen uitsluitend recht op het denkbeeld der beweeglijke draden, en Picard deelt met hem dat der vaste draden, die hij het eerst bij zijne geodesische werkzaamheden van 1667 tot het meten der Aarde bezigde. Wat betreft de toepassing des verrekijkers op de in graden verdeelde cirkels, zij was in 1639 reeds door Morin gedaan, die dus de sterren na den opgang der zon volgde, en wiens gelukkig denkbeeld, in verband gebracht met Auzout's vinding, de oorsprong is geworden van de verschillende combinatiën van cirkels en kijkers, dat is, van de toestellen met welker behulp

men tegenwoordig bij de astronomische waarnemingen eene vroeger ongedachte nauwkeurigheid bereikt. Hoe dit zij, ik moet u zeggen, dat de verdienste onzer hedendaagsche instrumenten niet alleen bestaat in de voortreffelijkheid der optische stukken zelve, maar dat ook de graadverdeeling der cirkels, de uitvoering der mechanische deelen, enz., eenen graad van volkomenheid bereikt hebben, waarop de nieuwere instrumentmakers zich met recht kunnen verhoovaardigen.

56. **Zichtbaarheid der sterren gedurende den dag met behulp der verrekijkers.** — De verrekijkers vergunnen ons de sterren bij vollen dag te zien. Deze merkwaardige bijzonderheid is met verschillende vrij fijne oorzaken verwant. Om mij tot de belangrijkste te bepalen, zal ik mij vergenoegen met te zeggen, dat het oog, volgens de schoone waarnemingen van Arago, de zonderlinge eigenschap bezit om, door de werking eener genoegzaam snelle beweging, gevoelig te worden voor zekere verschillen van licht, die bij eene langzame beweging of bij eenen toestand van rust er aan ontsnappen. Wanneer het licht eener ster te zwak is om zich voor het bloote oog af te teekenen op het lichtgordijn, dat de tusschen de ster en ons geplaatste dampkring vormt, dan zal de snelheidsvergrooting, door den kijker bewerkt, de ster doen zichtbaar worden, indien het waar te nemen verschil niet beneden zekere grenzen gaat. 't Is goed daarenboven hierbij te voegen, dat de kijkers ook in 't algemeen meer zuiverheid aan de beelden der sterren geven door den lichtkrans te doen verdwijnen, die doorgaans het beschouwen met het bloote oog hindert. Men moet echter ook in aanmerking nemen, dat de aanzienlijke vergrotingen meestal en de ster en het veld van 't instrument merkelijk verduisteren (*); dat ze bij gevolg,

*) De *hoekvergrooting* (§ 49) is op zeer weinig na gelijk aan de verhouding $\frac{F}{f}$ der hoofdbrandpuntsafstanden SO, sO , of ook (fig. 48) aan de verhouding $\frac{AB}{ab}$ der diameters van het objectief en het oculair. De vergrooting in oppervlakte kan dus zelve worden

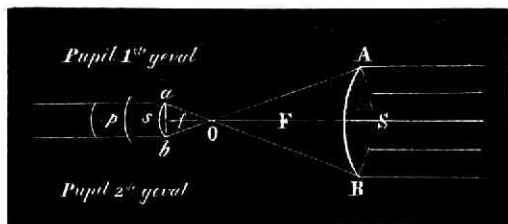


Fig. 48.

uitgedrukt door de verhouding $\frac{S}{s}$ der oppervlakten van de beide lenzen:

terwijl ze toch de verhouding bewaren, het verschil der beide lichten verminderen, en dat ook de werking buiten kijf verzwakt wordt. Want de geschiktheid van het oog om fijne verschillen van licht waar te nemen hangt niet minder af (ik meen het recht te hebben dit te bevestigen naar mijne eigen ervaring en ondanks hetgeen men sedert Bouguer daarvan denken moge) van de sterkte dan van de verhouding der vergeleken lichten; immers een vier en zestigste verschil laat zich bij zeer heldere lichten waarnemen, terwijl een vierde, een derde, ja zelfs een half niet waargenomen worden wanneer men zeer flauwe lichten beschouwt. Maar dit laatste gevolg der vergrooting is in den regel niet voldoende om de gunstige voorwaarden van zichtbaarheid, die de optische werktuigen ons aanbieden, op te heffen. 't Is alzoo niet te verwonderen, dat de sterren van zekeren glans zich gedurende den dag, in 't brandpunt der kijkers, afteekenen op den helderen grond, waarover zij heen gaan.

Hierbij bepaal ik voor 't oogenblik de studie der toestellen, waarvan de Sterrenkundigen zich bedienen, en ik ga eindelijk tot de meer bijzondere beoefening des hemels over.

Eerste geval. Onderstelt dat de pupil p meer geopend is dan de lichtbundel die in evenwijdige stralen uit het oculair komt. (Het punt O wordt gerekend het hoofdbrandpunt, der beide lenzen te zijn). De verhouding $\frac{S}{p}$ stelt dan de verdichting voor van het licht in 't oog, dat door middel van den kijker uit ieder lichtpunt den bundel S ontvangt en dat, zonder kijker, alleen den bundel p zou hebben opgenomen. Daar nu $\frac{S}{p}$ kleiner is dan $\frac{S}{s}$, zoo zal ook de vergrooting of, wat op hetzelfde neerkomt, de toeneming der beelden op het netvlies meer bedragen dan de vermeerdering van licht, en gevolglijk de ster zoowel als het veld verdonkerd zijn, dat is, zich minder helder dan aan 't bloote oog voordoen.

Tweede geval. Laut nu $p = s$ zijn: 't is klaar, dat in dit geval het veld noch de ster verhelderd noch verdonkerd worden, want de vergrooting is juist gelijk aan de lichtvermeerdering in het oog.

Derde geval. Zij eindelijk $p < s$, dan ontvangt de pupil, achter het oculair, dat den lichtbundel S in de ruimte s heeft verdicht, een deel p van den verdichten bundel, in plaats van hetzelfde deel p van den niet verdichten bundel te ontvangen. De lichtvermeerdering op den bodem van 't oog is dus gelijk aan de verhouding $\frac{S}{s}$ van de dichtheden der beide bundels of der vergrooting, en ook in dit geval wordt het veld noch verhelderd noch verdonkerd. Hetzelfde zal kennelijk ook het geval zijn voor de ster.

VIJFDE LES.

S t e r r e n k u n d e .

Voorloopige kundigheden. — Hoeken en driehoeken. — Maat der hoeken. — Som van de drie hoeken eens driehoeks. — Algemeene begrooting van den afstand der Sterren van de Aarde. — Nauwkeuriger bepalingen. — Verschillende manieren om de gezochte afstanden te vinden. — Volstreckte parallaxen. — Betrekkelijke parallaxen. — Uitkomsten in getallen. — Photometrische gevolgtrekkingen. — Eerste opgaven betrekkelijk het aantal sterren, de samenstelling, het getal en den afstand der *Nevelslekken*. — De zon zelve is niets anders dan eene ster.

57. **Voorloopige kundigheden.** — Onder de hemellichamen, die onder den algemeenen naam van Sterren het uitspannel bevolken, zijn er eenige, die de Sterrenkundigen *Planeten* of *Dwaalsterren* noemen, en die zekere bijzondere eigenschappen hebben, waarover wij later in 't breede zullen spreken. Deze Planeten zijn zeer gering in getal met opzicht tot de eigenlijk gezegde Sterren, tot die, welke men vaste Sterren heet, om daarmede te kennen te geven, dat zij in de gezamenlijke beweging, die elken dag het hemelgewelf van het Oosten in 't Westen verplaatst, bestendig nagenoeg dezelfde standen met betrekking tot elkander behouden. De uitkomsten, tot welke wij thans zullen geraken, gaan alleen de laatste aan.

Door alle tijden heen hebben de Sterrenkundigen zich beijverd om de afstanden te kennen, die ons van de Sterren scheiden; doch eerst sedert een halve eeuw hebben zij dienaangaande uitkomsten kunnen verkrijgen, die genoegzame waarschijnlijkheid hebben om aangenomen te worden. Het heelal heeft toch zulke verbazende afmetingen, dat eene lengte van 304 millioen kilometers of nederlandsche mijlen schier geheel niets beteekent bij den afstand der Ster, die zich het dichtst bij ons bevindt. Deswege moeten dan ook de onvermoeidste pogingen vruchteloos worden gemaakt door enkele zeer geringe en bijna niet te vermijden fouten in het meten der hoeken, gevormd door de gezichtstralen, die gericht zijn naar eene zelfde ster van de beide uiteinden der (ondanks hare lengte van 304 millioen kilometers veel te eng beperkte) basis, waarover de Sterrenkundigen kunnen beschikken.

Eindelijk, ten gevolge van gelukkige verbeteringen, aangebracht

hetzij in het samenstel der instrumenten, hetzij in de wijzen van waarneming en berekening, eindelijk is het gelukt, vrij nauwkeurig de afstanden van eenige Sterren te meten, die men reden heeft als de minst verwijderde te beschouwen onder de 20 of 25 millioenen sterren, die met behulp der verrekijkers zichtbaar zijn. Om u een denkbeeld van de verkregen resultaten te geven, verbeeldt u bewegende lichamen, ieder toegerust met eene snelheid, 600 duizendmaal grooter dan die des kanonskogels, met eene snelheid dus van 308 duizend kilometers in de seconde. Deze lichamen zullen 4, 10, 31, 72 enz. jaren besteden tot het doorloopen van de afstanden, die ons scheiden van de weinige Sterren, wier afstanden men heeft kunnen bepalen, en, naar al de groote waarschijnlijkheden, die ik weldra zal bespreken, zullen zij duizenden, ja millioenen jaren noodig hebben om tot de laatste in onze kijkers zichtbare Sterren te komen.

Maar loopen we niet vooruit, en zoeken we eerst ons reken-schap te geven van de handelwijzen, met welker behulp men den afstand der Sterren heeft kunnen bepalen.

58. **Hoeken en Driehoeken.** — Iedereen weet tegenwoordig wat men door de woorden *hoek* en *driehoek* verstaat. Een hoek is het verschil in de richting van twee rechte lijnen, die elkander in één punt ontmoeten (of daarvan uitloopen); anders gezegd: een hoek is de gedeeltelijk onbegrensde vlakke-uitgebreidheid, begrepen tusschen twee rechte lijnen, die in één punt samenkomen en daar eindigen. De *driehoek* is eene figuur gevormd door drie hoeken en door drie rechte lijnen, die men *zijden* noemt.

Maat der hoeken. — Men duidt eenen hoek (waar het geen dubbelzinnigheid kan te weeg brengen) slechts door ééne letter aan, A, B, C, enz. (fig. 49), welke letter men plaatst aan zijn top of hoekpunt, dat is aan 't ontmoetingspunt

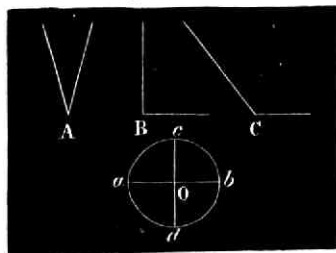


Fig. 49.

der beide lijnen, die hem vormen en welker lengte veranderen kan zonder dat hij zelf daardoor verandering ondergaat. Men meet hem met behulp van eenen cirkel, welks middelpunt O men legt aan den top des hoeks, en welks omtrek verdeeld is in een zeker getal gelijke deelen; eerst in vierden (*quadranten*), bepaald door twee lijnen (*diameters*) *ab*, *cd*, die door het middelpunt gaan en perpendicularair op elkander zijn; voorts elk quadrant in 90 deelen, die men graden heet; elke graad in 60 deelen, die men minuten noemt; elke minuut, eindelijk, in 60 deelen, die den naam van seconden dragen. Bij 't berekenen der astronomische waar-

nemingen verdeelt men iedere seconde nog in 60 tertiën, iedere tertië in 60 kwarten, enz. (*), maar in de practijk zien de instrumentmakers zich genoodzaakt de onderverdeelingen binnen zekere grenzen te houden. Evenwel, terwijl men drie eeuwen geleden bij 't verdeelen der grootste cirkels *op zijn hoogst* tot de minuut wist te komen, zoo kan men heden bij vrij kleine cirkels, door bijzondere kunstgrepen, afdalen tot de seconde, ja somtijds zelfs tot het tiende of het honderdste gedeelte eener seconde.

Wanneer men het dus verdeelde werktuig op eenen hoek legt, wijst het getal graden, minuten, enz., begrepen tusschen de beide beenen van den hoek, zijne grootte of maat aan, waardoor men gemakkelijk de hoeken met elkander kan vergelijken, en waaruit tevens blijkt, dat hunne grootte geheel en al onafhankelijk is van de lengte der beenen. Wanneer een hoek A (fig. 49) minder dan 90 graden of een quadrant bevat, geeft men hem den naam van *scherpe hoek*; de hoek B, die juist aan een quadrant of 90 graden gelijk is, heet rechte hoek, en de hoek C, die grooter is dan 90 graden wordt *stompe hoek* geheeten (†).

59. **Som der drie hoeken van eenen driehoek.** — Passen we thans op de drie hoeken eens driehoeks de meetwijze toe, die ik zoo even aangaf: wij zullen dan tot eene merkwaardige uitkomst geraken. Hoedanig de driehoek ook zij, hij moge al of niet een rechten of wel een stompen hoek hebben, altijd zullen we, bij juiste meting, bevinden, dat de som der drie hoeken strikt gelijk is aan twee rechte hoeken of twee quadranten — nimmer eene seconde, nimmer het allergeeringste deeltje van eene seconde minder of meer. Hieruit volgt, dat een driehoek terzelfder tijd niet twee rechte hoeken, of twee hoeken die samen twee rechte hoeken bedragen, hebben kan, dewijl alsdan de derde hoek nul zou zijn en alzoo zou ophouden te bestaan. Nog minder dus zal een driehoek te gelijk twee stompe hoeken kunnen hebben. Hieruit volgt nog, dat de bepaling van twee hoeken eens driehoeks voldoende is om den derden hoek te doen kennen, want deze moet gelijk zijn aan twee rechte hoeken of 180° , min de som der twee bepaalde hoeken.

Tot meer vereenvoudiging heb ik gemeend het betoog der voorgaande waarheid, die wij op het bepalen van den afstand der sterren gaan toepassen, aan de proefneming te moeten ont-

(*) Deze verdeeling wordt de *sexagesimale* geheeten. Men heeft gepoogd haar te vervangen door de *centesimal*, bij welke het quadrant in 100 graden, de graad in 100 minuten, de minuut in 100 seconden enz. wordt verdeeld. Maar ondanks het gemak der berekeningen in het tientallig stelsel, heeft het gebruik der *sexagesimale* verdeeling tot dusverre de overhand behouden.

(†) De graden, minuten, seconden, tertiën, enz. worden respectievelijk aangeduid door de teekens $^\circ$, $'$, $''$, $'''$, enz., welke men boven aan de rechterzijde der cijfers plaatst, die iedere soort van indeeling uitdrukken. $12^\circ 15' 25'' 14'''$ enz. wordt gelezen twaalf graden, 15 minuten, vijf en twintig seconden, veertien tertiën, enz.

leenen. Maar door eene figuur, die, naar ik hoop, niet den minsten grond tot twijfeling zal overlaten, kan men, zoo al niet hare juistheid streng betoogen, ten minste hare algemeenheid gemakkelijk doen inzien.

Laat dan ABC (fig. 50) een willekeurig getrokken driehoek zijn. Verlengen we eene zijner zijden naar welgevallen, BC bij voorbeeld, tot een onbepaalde lengte, en trekken we door het punt C eene lijn CE, evenwijdig aan de tegenoverstaande zijde

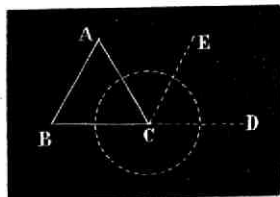


Fig. 50.

BA. Wanneer men nu op het punt C het middelpunt van den in graden verdeelden, tot hoekmeting bestemden cirkel plaatste, zou een der diameters van den cirkel in richting samenvallen met de lijn BCD, en de drie hoeken BCA, ACE en ECD bijeengenomen zouden klaarblijkelijk de waarde van 180° (de helft des omtreks) of van twee quadranten hebben. Gemakkelijk is 't nu in te zien, dat deze drie hoeken respectievelijk gelijk zijn aan de drie hoeken des driehoeks en dat deze zelve dus ook eene som gelijk aan 180° zullen geven. Immers een hunner, de hoek BCA, behoort tot den driehoek. De hoek ECD zou op zijne beurt, door langs de lijn DCB te schuiven, juist passen in den hoek ABC; want men ziet geenerlei reden, waarom een van deze beide hoeken grooter of kleiner zou kunnen zijn, en dit is voldoende om te mogen verklaren dat ze gelijk zijn. De derde hoek ACE, eindelijk, kan, wegens de overeenstemming, die er ontstaat uit de beide parallelen BA, CE, en de lijn AC, die deze parallelen snijdt, niet anders dan zelf gelijk zijn aan den hoek CAB. Derhalve heeft ieder der drie rondom het punt C gevormde hoeken zijn even groote hoek in de drie hoeken des driehoeks, welke gevolgelyk, te zamen genomen, 180° tellen, evenals de drie eerste.

De voorgaande constructie en de daarbij gevoegde uiteenzetting kunnen op alle mogelijke driehoeken toegepast worden. De boven uitgedrukte waarheid is dus algemeen.

60. Algemeene begrooting van den afstand der Sterren tot de Aarde. — Keeren we thans terug tot het vraagstuk, dat al onze aandacht inroept, tot het zoeken van den afstand der sterren.

Onderstelt te dien einde twee Sterrenkundigen, geplaatst op de punten A en B (fig. 51) van de aardoppervlakte, die ons later blijken zal bijna rond te zijn, maar wier gedaante ons nu onverschillig kan we-

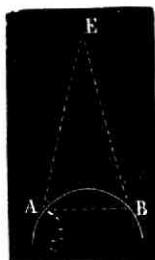


Fig. 51.

zen, en verbeeldt u, dat die Sterrenkundigen, ieder voorzien van een in graden afgedeelden cirkel over welken een verrekijker kan heen schuiven, op een gegeven oogenblik te gelijk het oog richten, eerst beide op de Ster E, vervolgens de Sterrenkundige in A naar het middelpunt des cirkels in B, en de Sterrenkundige in B naar het middelpunt des cirkels in A, in een woord, dat zij de beide hoeken EAB en EBA meten.

Bij den eersten oogopslag schijnt het moeielijk aan te nemen, dat zoodanige maten verkregen kunnen worden, daar de kromming der Aarde, de verschillende oneffenheden en diepten aan hare oppervlakte de punten A en B voor elkander onzichtbaar maken; en ik moet dan ook al dadelijk zeggen, ten einde alle vooroordeel te dezen opzichte weg te nemen, dat inderdaad de handelwijzen, die men bij zulk meten volgt, iets meer samengesteld zijn. Maar ik moet er bij voegen, dat het altijd mogelijk is, door eene gepaste verbinding van maten en berekeningen waarover ik thans, om niet af te dwalen, in geen bijzonderheden kan treden, de zaken te herleiden tot het van alle bijzaken ontdane standpunt, waarop ik, ter meerder vereenvoudiging gemeend heb mij te moeten plaatsen.

Wanneer dan de hoeken EAB en EBA zeer nauwkeurig gemeten zijn en gij hunne som opmaakt, zult gij deze altijd volkomen gelijk aan 180° of twee rechte hoeken vinden. De derde hoek E van den driehoek CAB is dus steeds gelijk nul, hetgeen wil zeggen, dat de beide lijnen AE, BE, uit twee punten der Aarde naar eene Ster getrokken, elkander niet ontmoeten, of, met andere woorden, dat zij parallel zijn, en dat gevolgelyk eene willekeurige lengte AB op het oppervlak der Aarde genomen, *volstrekt niets beteekent* met opzicht tot de te meten afstanden AE, BE.

Men kan de som van de beide hoeken A en B met eene bijna mathematische nauwkeurigheid bekomen. Nemen we nogtans aan, dat er in 't meten dezer hoeken eene fout van ééne seconde begaan ware. Indien men in 't klein op het papier eene figuur trekt, gelijkvormig aan die, welke er in 't groot in de ruimte bestaat, maar met deze beperking, dat de som der hoeken A en B, in plaats van te zamen 180° uit te maken, slechts 180° min eene seconde bedragen, en men brengt vervolgens met eenen passer de zijde AB op AE of op BE zooveel malen over als men kan, of liever, om tot meer nauwkeurigheid te geraken, als men zich bedient van de tafels, waarmede de Sterrenkundigen de verhouding van AE of BE tot AB voor alle mogelyke gevallen van driehoeken berekenen, dan zal men bevinden — bij de tegenwoordige onderstelling van den hoek E gelijk aan eene seconde, en de beide hoeken A en B onderling nagenoeg gelijk — dat ieder

der lengten AE, BE tweehonderd zes duizendmaal de lengte AB bevat. En daar de onderstelde fout van eene seconde verre de thans te vreezen fouten overtreft; daar bovendien AB de waarde van 12 800 kilometers kan hebben, zoo mag men tot het besluit komen, dat 12 800 kilometers ten minste 206 duizendmaal begrepen zijn in den gezochten afstand, die derhalve meer bedraagt dan 2636 millioen 800 duizend kilometers, zijnde dit het product van 12 800 kilometers en 206 duizend.

61. **Juister afstandsbepalingen.** — Er is meer; in plaats van op eene basis van 12 800 kilometers te werken, kan men, zooals wij later zullen aantoonen, zich van eene basis van 304 millioen k.m. bedienen, zijnde dit de diameter der bijna cirkelvormige lijn, waarin de Aarde zich om de Zon beweegt. Neemt aan dat dit zoo zij, en herhaalt op deze basis van 304 millioen k.m. volkomen hetzelfde wat gij met de op het aardoppervlak gemeten basis hebt gedaan, dat wil zeggen, als gij in A zijt (fig. 52), richt dan uw oog naar de Ster E en het punt B, al-

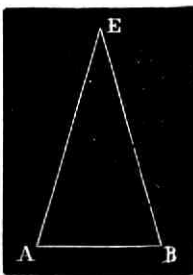


Fig. 52.

waar gij u zes maanden later moet bevinden; wanneer gij in B zult zijn, slaat dan het punt A gade, waar gij vóór zes maanden waart, en ook de Ster E. Gij zult, evenals in 't vorige geval, de som der hoeken A en B in 't algemeen gelijk aan 180° bevinden, en gij zult gevolgelyk daaruit opmaken, dat de hoek E nul is, dat de naar de Ster getrokken lijnen AE, BE parallel zijn, eindelijk dat de lengte AB van 304 millioen k.m. zelve nietsbeteekenend is met verhouding tot den afstand der Sterren. Wanneer gij voorts andermaal eene dwa-

ling van ééne seconde op de maat der hoeken A en B onderstelt, zult gij tot dit resultaat komen, dat 304 millioen k.m. ten minste 206 duizendmaal begrepen zijn in den afstand der Sterren, die alzoo meer bedraagt dan of voor 't minst gelijk is aan 62 624 billicioenen kilometers.

62. Men kan zich een zoodanigen afstand niet wel duidelijk voorstellen. De Sterrenkundigen hebben dan ook niet den kilometer, noch de mijl (hetzij de geographische of eene andere) tot eenheid aangenomen, maar de baan van 308 000 k.m., die het licht in eene seconde doorloopt (*). Daar nu 308 000 in 62 billicioenen en 624 duizend millioenen iets meer dan 103 millioenmaal begrepen zijn, zoo volgt daaruit, dat het licht, ondanks zijne snelheid van 308 000 k.m. in de seconde, ten minste 203 millioen seconden of 2350 dagen, dat is ongeveer zes en een

(*) Later zullen wij zien hoe men die snelheid heeft gevonden.

half jaar zou besteden om den afstand af te leggen, die ons van de Sterren scheidt.

Uit de bovenstaande gegevens zou men gemakkelijk vinden, dat een kanonskogel, bewogen met eene snelheid van 500 meters in de seconde, een weinig meer dan vier *millioen jaren* zou besteden om dezelfde ruimte af te leggen, en dat de sneltreinen der spoorwegen, tegen 50 kilometers in 't uur gerekend, ongeveer 144 *millioen jaren* zouden noodig hebben.

Indien het mogelijk ware, dat onze Aarde uit die verre oorden, die nochtans veel dichterbij ons zijn (wij zullen er ons weldra, zoo ik hoop, van overtuigen) dan bij de uiterste grenzen van 't heelal, dan zou zij met hare afmetingen van 12800 kilometers in diameter het voorkomen hebben van eene zandkorrel (met een diameter van eene streep), beschouwd op den afstand van 4940 k.m.

63. **Methode der volstrekte parallaxen.** — Zoo stond het met de wetenschap in het begin der 19de eeuw. Ondanks de pogingen, door de bekwaamste Sterrenkundigen in 't werk gesteld, kende men nog weinig meer dan de binnengrens der gezochte afstanden. De tot dusverre ondervonden misrekeningen waren voor 't overige — men moet het erkennen — veel minder te wijten aan te weinig bekwaamheid, dan aan de schier onoverkomelijke zwaarigheid om, volgens nog gebrekkige werkmannen en met nog onvolledige instrumenten, den zoo uiterst kleinen hoek (*parallaxis* (*), verschilzicht, verscheellicht) te bepalen, die, aan de Ster, begrepen is tusschen de van de beide standplaatsen des waarnemers getrokken stralen. Gedompeld toch, als wij zijn, in den dampkring, die het licht altijd en soms zeer onregelmatig doet afwijken en daardoor ons de Sterren doet zien waar ze niet staan; genoodzaakt daarenboven om, zullen we de vereischte correctiën kunnen aanbrengen, op het nauwkeurigst kennis te dragen niet alleen van den invloed der atmosfeer, maar ook tot in de kleinste bijzonderheden van eene menigte bewegingen, die er aan den hemel plaats grijpen, staan wij, zelfs nog heden ten dage, bloot aan 't begaan van misslagen, die te vergelijken zijn met en vaak meer bedragen dan de waarde der *parallaxis*. Dit is echter in zoodanige mate slechts het geval, wanneer wij, gelijk men algemeen tot op het einde der vorige eeuw deed, die *parallaxis* pogen te vinden door de boven beschreven handelwijs, welke men de *methode der volstrekte parallaxen* noemt, omdat zij, de fouten buiten aanmerking latende, ten doel heeft om de *parallaxen* in haar geheel te geven.

(*) Van 't Grieksch *parallátto* of *parallásson*, ik verplaats, omdat de *parallaxis* de sterren schijnbaar verplaatst en te weeg brengt dat die sterren, van de beide standplaatsen gezien, zich niet aan 'tzelfde punt van den hemel voordoen. De *parallaxis* wordt *jaarlijkse parallaxis* geheeten, wanneer zij niet op den ganschen diameter van de loopbaan der aarde, maar slechts op de helft van dien diameter of den straal wordt toegepast.

64. Nogtans had reeds Galilei, vóór bijna 200 jaren, in zijne *Samenspraken* de gronden eener tweede methode gelegd, welke Gregory later omstandig beschreef en Dr. Long voor 't eerst, maar zonder goed gevolg, toepaste, ofschoon zij geschikt was om, zoo al niet eene meer mathematische nauwkeurigheid te geven, ten minste de meeste oorzaken van dwaling buiten te sluiten, die anders de methode der volstreckte parallaxen doen mislukken. Deze tweede methode nu is bekend onder den naam van methode der *betrekkelijke parallaxen*, omdat zij slechts het verschil geeft der parallaxen van twee Sterren, die op ongelijke afstand van de Aarde, maar toch, ten gevolge eener perspectief-werking, in schijn zeer nabij elkander staan. De invloeden, ontstaan hetzij uit onzen dampkring, hetzij uit de verschillende bewegingen aan den hemel (welke invloeden op de volstreckte parallaxen zoo vaak allerongunstigst werken), worden in het tegenwoordig geval volkomen eenerlei voor twee bijna in aanraking zijnde Sterren, en verdwijnen gevolgelijk in 't verschil der parallaxen. Ongelukkig kan dit verschil den afstand van eene der beide Sterren slechts in zooverre aangeven, als men onderstelt, dat de parallaxis der andere nul is of buiten berekening mag blijven, hetgeen wil zeggen, dat haar afstand oneindig grooter dan die der eerste is; eene onderstelling, die zich vrij wel laat aannemen, wanneer de beide vergeleken Sterren veel in glans verschillen.

Het woord *glans*, dat ik daar uitspreek, voert mij zeer natuurlijk terug op Dr. Long's mislukking, die haren grond vooral daarin had, dat hij, in plaats van twee zeer weinig op elkaar gelijkende Sterren te vergelijken, twee bijna identische had gekozen. Toen nam Herschel op zijne beurt de proef van de methode der betrekkelijke parallaxen, maar ook dezen keer zonder goeden uitslag met opzicht tot het gezochte resultaat, ofschoon de vergeleken Sterren elkander zeer ongelijk waren. Doch al vond Herschel voor de parallaxis niet wat hij zocht, uit zijne nasporingen wist hij toch eene van de schoonste ontdekkingen der nieuwere Sterrenkunde aan 't licht te brengen: de kennis der dubbele en veelvoudige Sterren, waarvan ik weldra de geschiedenis hoop te schetsen.

Ofschoon aanvankelijk weinig vruchtdragend, heeft de methode der betrekkelijke parallaxen in de handen der hedendaagsche Sterrenkundigen voortreffelijke uitkomsten opgeleverd. Zij heeft verscheidene afstanden doen kennen, die op de gelukkigste wijze ter bevestiging strekken van de methode der volstreckte parallaxen en ook van de sedert dertig of veertig jaar door deze laatste werkmanner verkregen getallen. Ondanks de onzekerheid, die 't gevolg is der onderstelling, dat de parallaxis van eene der beide ver-

geleken Sterren gelijk nul is, schijnt zij dus geroepen om zeer wezenlijke diensten te bewijzen. Zij laat zich daarbij zeer gemakkelijk toepassen, en om al die redenen verdient zij beoefend te worden. Ik zal ze zoo beknopt mogelijk beschrijven.

65. **Methode der betrekkelijke parallaxen.** — Laten E, E' (fig. 53) twee Sterren zijn, die, uit het punt A gezien, met

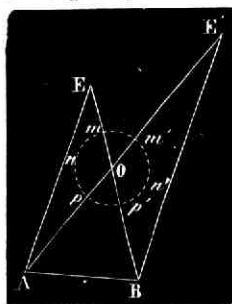


Fig. 53.

elkander een uiterst kleinen hoek EAE' maken. Zij EBE' de mede zeer kleine hoek, onderspannen door de beide Sterren als de Aarde en de waarnemer in B zijn gekomen. Voor de zuiverheid der figuur neem ik hier de hoeken vrij groot; maar mijne redeneering is geheel onafhankelijk van hunne grootte. Daar de som der drie hoeken van eenen driehoek altijd gelijk is aan 180° , en de beide symmetrische hoeken EOA, E'OB, ontstaan door de kruising der beide rechte lijnen EB, E'A (die, wanneer men, gelijk

steeds gedaan mag worden, het standpunt B in het vlak EAE' neemt, elkander in het punt O snijden) klaarblijkelijk onderling gelijk zijn (*), zoo moeten de beide overblijvende hoeken E en A van den driehoek EOA te zamen noodwendig gelijk zijn aan de som der beide hoeken E' en B van den driehoek E'OB, hetgeen men dus kan schrijven: E plus A is gelijk aan E' plus B, of, als men de algemeen bekende algebraïsche teekens gebruikt:

$$E + A = E' + B.$$

Door van elke dezer beide gelijke hoeveelheden (of van elk lid dezer vergelijking) E' en A af te trekken, krijgt men

$$E + A - E' - A = E' + B - E' - A,$$

of, daar $+ A$ en $- A$ in 't eerste lid der vergelijking, en $+ E'$ en $- E'$ in het tweede lid elkander te niet doen,

$$E - E' = B - A;$$

welke vergelijking nu het verschil geeft der beide hoeken E en E', die gevormd worden door de lijnen AD, BE, AE' en BE', getrokken naar de Sterren E en E' uit twee punten A en B van de loopbaan der Aarde, waarop zich achtereenvolgens de waar-

(*) Er bestaat geene reden voor, dat de helling van EO op OA, gemeten door den cirkelboog *mnp* grooter of kleiner zou zijn dan de helling van 't verlengde OB van EO op het verlengde OE' van OA, gemeten door den boog *m'n'p'*, die symmetriek en bij gevolg gelijk aan den eersten boog is. Daar bovendien de som der beide hoeken EOE' en E'OB, als gemeten wordende door den halven cirkelomtrek *mm'n'p'*, 180° telt, juist zooals de som der beide hoeken EOE' en EOA, die den omtrek des halven cirkels *m'mnp* tot maat hebben, zoo heeft men de vergelijking

$$EOE' + E'OB = EOE' + EOA;$$

neemt men nu uit ieder lid der vergelijking den daarin voorkomenden hoek EOE' weg, dan blijkt het dat de overblijvende hoeken gelijk zijn, namelijk

$$E'OB = EOA.$$

nemer heeft geplaatst; met andere woorden: het verschil $E' \text{ min } E'$ der parallaxen van E en E' ; indien men, in plaats van het woord *parallaxis* toe te passen op den straal, het op deze of gene koorde AB van 'saardbols loopbaan toepaste, dan is dit verschil gelijk aan 't verschil $B \text{ min } A$ van de hoeken B en A , begrepen tusschen de beide Sterren en gemeten van de beide achtereenvolgende standpunten des waarnemers. Onderstelt nu dat eene der parallaxen nul wordt, zoo zal de voorgaande vergelijking u geven:

$$E = B - A;$$

dat wil zeggen: de parallaxis der Ster E is gelijk aan 't verschil der waargenomen hoeken B en A .

Hier bestaat, gelijk wij reeds aangemerkt hebben, geene oorzaak van onzekerheid meer door de afwisselingen des dampkrings en de andere storende invloeden, welker wet niet volkomen genoeg bekend zou zijn om de correctiën tot aan de uiterste grenzen van nauwkeurigheid te volvoeren. Want de fouten, op A en B begaan, kunnen beschouwd worden als identisch en bij gevolg verdwijnende in 't verschil der beide gemeten hoeken. Wat de twijfelingen aangaat, die de onderstelling van gelijkheid aan nul of althans van de uiterste kleinte van eene der parallaxen mocht doen opwerpen, er is tegenwoordig niet één Sterrenkundige, die er in ernst aan denkt om zich daarover te bekommeren, vooral wanneer bij 't verschil in glans tusschen de beide vergeleken Sterren nog zekere verschillen komen tusschen de kleine verplaatsingen, die deze Sterren ondergaan, en die wij weldra zullen doen kennen onder den naam van *eigen bewegingen* der Sterren.

66. Uitkomsten in getallen. — De beide werkmanieren, welker voornaamste eigenschappen wij nu leerden kennen, hebben bijna gelijktijdig, zooals ik reeds zeide, eindelijk eenige dier zoo lang gezochte afstanden aan 't licht gebracht. De geringste dezer afstanden, die der ster α (alpha) van *Centaurus*, geeft, volgens Henderson en Mac-Lear, eene parallaxis van 91honderdste seconde, en is gelijk aan 226 duizendmaal 152 millioen kilometers, welke afstand het licht in bijna 4 jaren aflegt; dan volgt de Ster β van den *Zwaan*, wier parallaxis, volgens Bessel en Peters niet meer dan 33honderdste seconde bedraagt, en wier afstand, gelijk aan 618 duizendmaal 152 millioen kilometers, door het licht eerst in *negen en een half* jaar kan doorloopen worden; vervolgens vinden we nog α (alpha) van de *Lier*, *Sirius*, *Boötes* of *Arcturus*, de *Poolster*, enz., eindelijk de *Geit*, wier respectieve parallaxen (*) van 26honderdste, 15honderdste,

(*) Wij danken deze parallaxen aan Struve, Henderson, Mac-Lear en Peters. Ik zal gewis de gelegenheid hebben om nog andere aan te halen. Wat de namen der Sterren

127 duizendste, 106 duizendste en 46 duizendste seconde, overeenkomen met afstanden van 785 duizendmaal, 1373 duizendmaal, 1624 duizendmaal, 1946 duizendmaal en 4484 duizendmaal 152 millioen kilometers, afstanden die het licht in $12\frac{1}{2}$, 22, 26, 31 en 72 jaren aflegt.

67. — Dat zijn de voornaamste mathematisch verkregen uitkomsten. Maar wanneer wij in de Sterrenkunde die gevolgtrekkingen bij analogie laten gelden, van welke men zich zoo vaak in de natuurwetenschappen bedient, dan geraken wij tot nog veel verbazender resultaten. Er is niemand of hij kent den grooten witachtigen gordel aan den hemel, dien men gemeenlijk *melkweg*, in Spanje *Sint-Jakobsweg* of *Sint-Jakobssiraat* noemt. Wanneer men dien gordel met genoeg vergrootende kijkers beschouwt, lost hij zich op in een schier oneindig getal Sterren van verschillend licht, of van verschillende *grootte*, gelijk de Sterrenkundigen zich uitdrukken, die naar het schijnbare licht alleen, en zonder daaruit eenig gevolg omtrent de wezenlijke grootte te trekken, 10, 12, ja 15 of 16 klassen Sterren van verschillende grootten hebben aangenomen. Daar nu de Sterren des te talrijker zijn naarmate zij zich minder schitterend voordoen, zoo mag men aannemen, dat de zwakst lichtende ook over 't algemeen het verst zijn verwijderd. Zijn zij, naar alle waarschijnlijkheid, in de hemelruimte op bijna gelijkmatige wijze verdeeld, dan moeten zij toch op elke der sferische oppervlakten, die aan de verschillende afstanden beantwoorden, in aantal toenemen naar gelang die oppervlakte grooter, of de stralen der sterren, dat is te zeggen de afstanden tot de Aarde, aanzienlijker worden.

67. **Photometrische gevolgtrekkingen.** — Van dit denkbeeld uitgaande en het in verband brengende met de eigenschap van het licht, waardoor dit viermaal flauwer schijnt wanneer men den afstand des waarnemers tot het lichtpunt heeft verdubbeld, negenmaal flauwer voor een drievoudigen afstand, kortom met de eigenschap, dat de intensiteit of sterkte van het licht in omgekeerde verhouding is met het vierkant van den afstand tot de lichtbron, bepaalde Herschel de lichtverhoudingen van de verschillende sterrenklassen, en verkreeg op die wijze de verhoudingen tusschen de onbekende afstanden. Volgens de metingen van den beroemden Sterrenkundige zijn de Sterren der tweede grootte *gemiddeld* viermaal minder helder, gevolgelijk *tweemaal* verder verwijderd dan die der eerste. De sterren der vierde grootte moeten op hare beurt over 't geheel *tweemaal* verderaf zijn dan die der tweede. De afstand der Sterren van de vijfde orde moet

betroft, men kan ze voorloopig aannemen zonder zich voor 't oogenblik te bekommeren over de plaatsen, die de Sterren innemen. Weldra zullen wij hare namen leeren kennen en de middelen aan de hand geven om ze later gemakkelijk te herkennen.

gelijk zijn aan *achtmaal*, en die der Sterren van de zesde orde aan *twaalfmaal* den afstand, die ons van de helderste Sterren scheidt. De zwakste Sterren, die Herschel in zijn 10voets telescoop onderscheiden kon, zullen 344maal verderaf zijn dan deze laatste, terwijl die, welke de telescoop van 20 voet liet zien, een 900maal grooteren afstand zullen hebben. Hieruit volgt, dat, wanneer het licht omtrent twintig jaar (*) besteedt om van de Sterren der eerste grootte tot ons te komen, het *achttien duizend* jaar zal noodig hebben om ons te bereiken uit de laatste Sterren, die in den 20voets telescoop, waarvan Herschel zich bediende, zichtbaar waren.

En daar de Aarde omgeven is door Sterren van dezelfde orde van kleinte, moet men dezen tijd verdubbelen om dien uit te drukken, welken het licht besteden zou om niet den straal, maar den diameter der Sterrensfeer, in wier midden wij ons bevinden, te doorloopen.

Zes en dertig duizend jaren! ziedaar het cijfer, waartoe wij geraken door gevolgtrekkingen, bijna even zeker als die, welke de parallaxen van eenige Sterren meetkundig hebben opgeleverd. Voegen we intusschen hierbij, dat de Sterrenkundige Peters — steunende op bedenkingen, volgens Struve ontleend aan de verdeling der Sterren over de verschillende gewesten des hemels, op de beredeneering der van 1818 tot 1821 te Dorpat gedane waarnemingen, eindelijk op die der vroeger genoemde resultaten, waarvan vele hem zelve toebehooren — het getal 36 000 meent te mogen herleiden tot 7082, wanneer hij de Sterren der eerste grootte op een gemiddelden afstand plaatst, die door 15,5 jaar wordt voorgesteld (†). Maar merken we daarbij ook aan, dat

(*) De vijf Sterren der eerste grootte, *α Centauri*, *α Lirae*, *Sirius*, *Boötes* en de *Geit*, zouden eene gemiddelde waarde van 28 jaren geven; de vier laatste 37 jaren; zoodat dus het cijfer 20 in geen deele overdreven is.

(†) Ziehier de tabel, waartoe Peters is gekomen. Zij is gegrond op vijf en dertig parallaxen, die hij door rechtstreeksche metingen vrij wel bepaald meent te zijn.

Grootte der Sterren.	Parallaxen.	Afstanden.	Tijd waarin het licht ze aflegt.
1	0''209	986000	15,5 jaar.
1,5	0, 166	1246000	19,6 "
2	0, 116	1778000	28,0 "
2,5	0, 098	2111000	33,3 "
3	0, 076	2725000	43,0 "
3,5	0, 065	3151000	49,7 "
4	0, 054	3850000	60,7 "
4,5	0, 047	4375000	69,0 "
5	0, 037	5378000	84,8 "
5,5	0, 034	6121800	96,5 "
6	0, 027	7616000	120,1 "
6,5	0, 024	8746000	137,9 "
7,5	0, 014	14230000	224,5 "
8,5	0, 008	24490000	386,3 "
9,5	0, 006	37200000	586,7 "
10 Herschel.	0, 00092	224500000	3541,0 " (heeft van 7082).

de 20voets telescoop op verre na niet doordrong tot de uiterste grenzen des Sterrenhemels, aangezien een telescoop van 40 voet (die echter niet tot de vergelijkingen der lichtsterkte gediend schijnt te hebben) het getal der zichtbare sterren, volgens Herschel, aanzienlijk vermeerderde.

Eerste opgaven betreffende het aantal der Sterren, de gesteldheid, het getal en den afstand der Nevelvlekken.

— Maken we tevens de opmerking, dat de hemelruimten, naar alle waarschijnlijkheid, geene onbepaalde doorschijnendheid hebben, en dat gevolgelyk een groot getal te flauwe Sterren met de meestvermogende instrumenten niet worden waargenomen. De door Peters en Struve aangenomen 7082 jaren, gelijk de bovengenoemde 36 000 jaren, beantwoorden alzoo op verre na niet — het schijnt boven allen twijfel verheven — aan de uiterste einden van 't Heelal. Alles doet integendeel vermoeden, dat deze getallen schier microscopische afstanden voorstellen, met betrekking tot de werkelijke afstanden der hemelgewesten. Door zijne langdurige beoefening van den sterrenhemel kwam Herschel tot het besluit, dat de talloze Sterren, waaruit de Melkweg bestaat, eene soort van bijna lensvormige samenhooping, eene sfeerschijf, een rad zoo men wil, uitmaken, in welks middelpunt ongeveer zich onze Aarde moet bevinden en waarvan de dikte omtrent zesmaal kleiner (*) dan de diameter zal zijn. Wanneer nu zulk eene samenhooping, in welke de Sterren, onderengemengd ten gevolge der projectie in de richting der grootste afmetingen, zich voordoen als de melkwitachtige strook, die iedereen kent, moet dan die samenhooping, wanneer zij op oneindig grooter afstanden uit de diepten der ruimte gezien wordt, niet nog veel meer het voorkomen hebben van eene eveneens witachtige vlek, die zich op den achtergrond des hemels afteekent?

Welnu, dit voorkomen treft men werkelijk aan in eene menigte kleine nevelige plaatsen, welke de sterke kijkers ons aan 't uitspansel verstrooid doen zien en die, voor de bewoners der Aarde, nauwelijks merkbare hoeken onderspannen. Onderstelt dat eenige der vijf duizend *Nevelvlekken* (dus worden zij geheeten), die Herschel (2500) en verschillende andere Sterrenkundigen (mede omtrent 2500) gevoegd hebben bij de lijst der 95 of 100 Nevel-

(*) Telt de Sterren, die het veld van uwen kijker vertoont, als gij dezen stelt in de richting der diepte, dat is naar den Melkweg, en in de perpendiculaire richting. Indien de Sterren, gelijk vrij waarschijnlijk is, omtrent gelijkmatig rondom ons verspreid zijn, zullen de in beide gevallen gevonden getallen evenredig zijn aan de volumens der kegels, die gij van de samenhooping van Sterren zoudt afsnijden, en welker tophoek gelijk zou zijn aan het (hoek-)veld van den kijker. Daar nu de volumens van twee gelijkvormige kegels tot elkander staan als de kuben der hoogten, zullen op hunne beurt de hoogten of de overlansche en overdwarse afmetingen van den Melkweg evenredig zijn aan de kubiekwortels der volumens of der sterrentallen, die uwe dubbele waarneming heeft opgeleverd. Een zeker getal vergelijkingen is bovendien noodig, gelijk men licht inziet, om tot aannemelyke middelwaarden te geraken.

vlekken, die men tegen 't einde der vorige eeuw kende; onderstelt dat ze (wat onder zulk een groot getal voor vele van haar meer dan waarschijnlijk is) gelijk in afmetingen zijn aan de nevelvlek, waarvan wij een gedeelte uitmaken, en neemt eene waarde van 2 minuten aan voor den hoek onder welken wij ze zien; gij zult dan door de tafels (der driehoeken), die ons de afstanden hebben aangegeven, of, zoo gij liever wilt, door eene meetkundige constructie en met den passer gedane afmetingen, tot het besluit komen, dat de dwarsafmetingen AB (fig. 54) der dus



Fig. 54.

waargenomen Nevelvlekken 1719maal zijn begrepen in elken der afstanden AC en BC, die ons er van scheiden.

Zeventienhonderd negentienmaal zeven duizend twee en tachtig jaar, alzo iets meer dan twaalf millioenen jaren, dat zou de tijd zijn, die het licht, zelfs bij de matigste schatting (die van 7082 jaar) voor de dwarsafmetingen der Nevelvlekken moet besteden om van deze tot ons te komen! Meer dan zestig millioenen jaren in de almede zeer matige onderstelling van zes en dertig duizend jaar voor dezelfde afmetingen! Zeven biljoenen en vierhonderd duizend millioenen jaren in 't eerste geval, zeven en dertig biljoenen jaren in het tweede, voor den tijd, dien de kanonskogel zou behoeven om zulk eene ruimte te doorloopen! Het dubbele voor den tijd, die overeenstemt met de afstanden, welke de Nevelvlekken, aan de beide tegenovergestelde zijden der Aarde gelegen, van elkander scheiden! En toch is er niets, tenzij

de ontoereikendheid onzer telescopen, niets hoegenaamd om ons te doen vermoeden, dat het geschapen Heelal dáár ophoudt! duizend allerkrachtigste redenen daarentegen, om ons te doen denken, dat wij, in die verafgelegen streken verplaatst, de grenzen van 't uitspannel opnieuw zouden zien wijken; dat onbekende Hemellichten zich in eene nieuwe oneindigheid voor ons zouden opdoen; dat het Heelal — gelijk men 't zoo gelukkig heeft uitgedrukt — „een cirkel is, welks middelpunt overal en welks omtrek nergens is.”

68. **De zon zelve is niets anders dan eene Ster.** — Toen eenmaal de afstand van eenige Sterren gemeten was, is men in staat geweest den rang te bepalen, dien onze Zon in de schepping moet innemen, en men heeft bevonden, dat dit hemellichaam, welks volumen ongeveer dertien duizendmaal dat der Aarde overtreft, indien het in 't middelgestel der Sterren van de eerste grootte, bij voorbeeld op een millioenmaal zijn tegenwoordigen afstand, werd verplaatst, ons niet anders zou toeblinken dan als een nauwelijks zichtbaar lichtpunt, als een zeer kleine ster van de vijfde of zesde grootte. De Sterren zelve

zijn alzo ook Zonnen, en wel Zonnen over 't algemeen grooter dan die, welke ons beschijnt. Zoo hebben we dan, bij gevolg, in den Melkweg alleen, volgens Struve's berekeningen en Herschel's metingen, ten minste 20 millioen zichtbare Zonnen, zonder die voorzeker nog veel talrijker Zonnen mede te tellen, die de uitwerkselen van projectie, lichtverflauwing of afstand ons beletten te zien! En de Melkweg beslaat toch maar, naar alle waarschijnlijkheid, een hoekje van 't Heelal, dewijl de Sterrenkundigen in dat Heelal reeds meer dan vijf duizend Nevelvlekken hebben gerangschikt, waarvan vele — dit schijnt zeker — niet minder uitgebreid, niet minder met Zonnen bevolkt zijn, dan het de Melkweg zelve is!

Het verstand duizelt inderdaad onder den indruk dier grootsche milddadigheid, welke met volle handen de Zonnen naar alle richtingen heen heeft uitgestrooid. Hoe zou dan ook, terwijl 't gezicht van zekere scheppingen van 's menschen kunstvljijt zulke levendige aandoeningen verwekt, hoe zou dan de overpeinzing ons niet als 't ware vernietigen voor die oneindig meer eerbiedwekkende macht, die, na de ontzaglijke hemelbollen met snelheden van 10, 20, 30 mijlen in de seconde, ja hoogst waarschijnlijk met nog veel grooter snelheden begaafd te hebben, niet een enkel oogenblik hare werkzaamheid staakt, maar voortdurend de krachten vernieuwt, welke al die lichamen moeten verhinderen uiteen te vallen, zich te ontbinden en te vergaan? Eeuwige onveranderlijkheid, die haar werk niet bepaald heeft bij het doen- worden en het vormen der stof, maar die ze bezielt, bewerktuigt te ieder ure; die allerwege beweging en leven vermenigvuldigt; die zich in den groei van 't grassprietje, in de onophoudelijke schepping van duizenden in eene waterdrup levende schepselen wellicht nog bewonderenswaardiger openbaart dan in het bestuur en de instandhouding der aan den Hemel verspreide wereldbollen; die uit het niet eindelijk het aanzijn weet te geven aan verstanden, geroepen om zijne werken te begripen, en aan harten, geschikt om hunne schoonheden te beminnen!



ZESDE LES.

Vervolg van de leer des Sterrenhemels

Eigen bewegingen der Sterren. — Snelheden van eenige dezer Sterren. — *Eigen beweging der Zon*, zelve als eene Ster beschouwd. — Historisch gedeelte der ontdekking. — *Dubbele en veelvoudige Sterren.* — Voornaamste eigenschappen der veelvoudige Sterren. — Kleuring. — Veranderingen van voorkomen. — Getal der dubbele Sterren. — Aard der loophanen. — Toepassing op het beproeven der verrekijkers. — Toepassing op het bepalen der parallaxen. — *Beginselen van werktuigkunde*, waarop de bepaling der massa's van dubbele Sterren berust. — Parallelogram der krachten. — *Zwaartekracht* of algemeene aantrekking der hemellichamen. — *Massa's der dubbele Sterren.* — Toepassingen in getalwaarden. — Getal der veelvoudige Sterren. — Merkwaardige bijzonderheden, die Sirius en Procion aanbieden.

69. — Wij hebben reeds gezien, dat de Sterren, met betrekking tot elkander, standen hebben, die men weleer als volstrekt onveranderlijk beschouwde, en dat men ze om die reden den naam van *vaste* sterren had gegeven. Volgens de begrippen der oude Sterrenkundigen waren die Sterren dus lichtende punten, vastgenageld aan 't hemelgewelf en dagelijks daarmede in eene algemeene beweging van het Oosten naar het Westen omgevoerd. Halley meende echter in 1718 waar te nemen, dat de schitterendste onder haar, zooals Sirius, Aldebaran, Arcturus, enz. niet meer aan den hemel de plaatsen innamen, weleer door de Sterrenkundigen der Alexandrijnsche School aangewezen. Maar de waarnemingen van die School waren niet zoo nauwkeurig, dat hare vergelijking met de nieuwere waarnemingen in staat was om boven allen twijfel een feit te verheffen, dat lijnrecht streed met de tot dusverre gehuldigde begrippen.

70. *Eigen bewegingen der Sterren.* — 't Was eerst in 1738, dat Jacques Cassini, en later, in 1756, Johann Tobias Mayer hunne eigen waarnemingen in verband brachten met die van Richer te Cayenne, in 1672, en van Römer te Kopenhagen, omstreeks het begin der 18de eeuw, en het bewijs leverden, de eerste voor Arcturus en voor α (alpha) van den Arend, de tweede voor 80 Sterren, dat die hemellichamen van plaats veranderden. Van toen af zijn de nasporingen derwijze vermenigvuldigd, dat hetgeen vóór honderd jaar een paradox scheen, thans een schier algemeen erkend feit is geworden. Het getal der zich verplaatende Sterren vermeerdert inderdaad onophoudelijk. Verschillende Lijsten hebben 't licht gezien, waarin men voortreffelijke aanwijzingen vindt, en het *Britsch Genootschap ter bevordering der we-*

tenschap, onder anderen, heeft in 1845 eene Lijst van meer dan acht duizend Sterren uitgegeven, waarvan ongeveer drie vierde berekende *eigen bewegingen* hebben.

Deze eigen bewegingen zijn doorgaans zeer gering. De aanzienlijkste bereiken ieder jaar te nauwernood hoeken van eenige seconden. Van dien aard is, bij voorbeeld, die der Ster 61 van den Zwaan, welke aan $5\frac{3}{10}$ seconde ($5''{,}3$) gelijk is, eene grootte, die eerst Mathieu en Arago, vervolgens Bessel en Peters deden vermoeden, dat de voor ons met zulk eene schijnbare beweging toegeruste Ster eene der dichtste bij de Aarde moest zijn, een vermoeden, dat werkelijk alras door het voor de parallaxis verkregen resultaat bevestigd werd. Daartoe behooren nog de *eigen bewegingen* der Ster α (alpha) van *Centaurus*, $3\frac{6}{10}$ seconde ($3''{,}6$); der Ster δ (delta) van den *Vloed Eridanus*, $4\frac{1}{10}$ seconde ($4''{,}1$); van *Arcturus*, $2\frac{1}{4}$ seconde ($2''{,}25$); van *Sirius*, $1\frac{1}{4}$ seconde ($1''{,}25$); ook nog eindelijk, de grootsten van alle, namelijk die der Ster 2151 van den *Achterstevan*, die gelijk is aan $7\frac{9}{10}$ seconde ($7''{,}9$); die van ϵ (e-pilon) van den *Indiaan*, gelijk aan $7\frac{3}{4}$ seconde ($7''{,}75$), en die der Ster 1830 van den *Catalogus van Groombridge*, gelijk aan 7 seconden ($7''{,}0$).

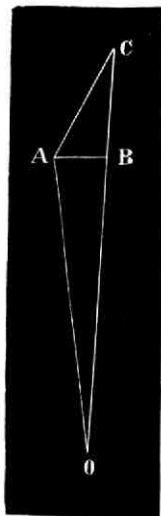


Fig. 55.

De schoone Sterren α (alpha) van de *Lier*, de *Geit*, *Aldebaran*, hebben slechts zeer onbeduidende bewegingen, alle drie namelijk beneden eene halve seconde, hetgeen vrij vreemd mag schijnen voor Sterren van de eerste grootte, welke men algemeen beschouwt als een gedeelte uitmakende van de dichtst bij ons staande. Maar de verplaatsingen AB, die wij uit de Aarde O (fig. 55) waarnemen, zijn doorgaans slechts de projectie, of, zoo men liever wil, slechts het perspectief der wezenlijke verplaatsingen AC, schuins op den gezichtsstraal OA. De schijnbare waarden AB der door verschillende Sterren doorloopen banen kunnen dus verbazend verschillen van de wezenlijke waarden AC, welke de zoo groote afstand dier Sterren belet te bepalen; en daar de getallen, die wij voor AB bekomen zullen, derhalve slechts de laagste grens der snelheden van elke Ster uitdrukken, zoo is er niets

verwonderlijks in, dat de dichtst-bij geplaatste Sterren eene minder snelle beweging dan de meer verwijderde schijnen te hebben.

71. **Snelheden van eenige Sterren.** — Wij hebben vroeger de afstanden van eenige Sterren gevonden. Met die afstanden en de tafels, waarvan ik reeds bij de beoefening der paral-

laxen heb gesproken, of wel met behulp van een eenvoudigen passer, zullen wij gemakkelijk te weten komen, hoeveel malen de zijde AB, die de schijnbare eigen beweging eener Ster uitdrukt, begrepen is in den afstand OA van de Ster tot ons, voor de verschillende hoeken AOB, die aan de waargenomen eigen bewegingen beantwoorden. Het zal ons dus gemakkelijk vallen ook te weten hoeveel kilometers de lengten AB zullen bevatten. Ziehier, na gedane berekening, de getallen, die ons de Sterren opleveren, welker parallaxen en eigen bewegingen ik boven vermeld heb:

STERREN.	Minima-waarden AB van de onbekende banen AC in een jaar afgelegd.
61 van den Zwaan	2432 millioenen kilometers.
α (alpha) van Centaurus	600 " "
α (alpha) van Bootes of Arcturus.	2022 " "
Sirius	1218 " "

Met eigen bewegingen van 4 tiende seconde, 46honderdste seconde en 35duizendste seconde zouden de Lier, de Geit en de Poolster jaarlijksche minima-snelheden geven van 232 millioenen, 1520 millioenen en 52 millioenen kilometers. Wat de andere mede aangehaalde Sterren met groote eigen bewegingen betreft, daar hare parallaxen onbekend zijn, kan men tegenwoordig de banen, die zij doorloopen, zelfs niet bij benadering bepalen. Er is echter eene, 1830 van Groombridge, aan welke de nasporingen van Faye, ondernomen met den kleinen astronomischen sector of het æquatoriaal van Parijs, eerst ongeveer eene seconde parallaxis schenen te moeten toekennen, terwijl de latere nasporingen van Otto Struve, verricht met den grooten kijker van Pultowa, die parallaxis integendeel tusschen *een- en tweehonderdste* seconde bepalen. Welke van die beide getallen men ook moge aannemen, de snelheid dezer Ster is nog zeer aanzienlijk. Het getal van Faye zal eene waarde van ten minste 904 millioenen kilometers geven; terwijl die van Struve òf 15 200 millioenen, òf 7 600 millioenen kilometers zal opleveren, naargelang men eene der beide grenzen ($\frac{1}{10}$ of $\frac{2}{10}$ seconde) tot grondslag der berekening legt.

Ziedaar voorzeker belangrijke resultaten betreffende lichamen, die men, vóór nauwelijks honderd jaren, als onbeweeglijk aan den hemel beschouwde. En toch — wij hebben 't reeds aangemerkt — dat zijn nog maar de geringste waarden, waarden van de projectiën der snelheden, maar geenszins de snelheden zelve, die, naargelang van hunne schuine richting met betrekking tot den gezichtsstraal, tienmaal, honderdmaal, enz. aanzienlijker kunnen zijn. Millioenen ontzettend groote bollen als onze Zon, ieder *twaalf- of vijftienhonderd duizendmaal* het volumen der Aarde te boven gaande, in de onmeetlijke ruimte daarheen rollende zonder elkaar te ontmoeten, naar alle richtingen voortge-

stuwde met eene snelheid, die de kanonskogel op verre na niet kan bereiken, en toch bijna zonder beweging schijnende, of liever, de hulp der volkomenste instrumenten vereischende om hunne verplaatsing te kunnen bespeuren, daar hun verbazingwekkende afstand in ons oog de wijduitgestrekte banen, die zij doorloopen, zoo uiterst klein maakt — welk een onuitputtelijk onderwerp van bewondering en geestvervoering! Hoe toch zou men niet verblind worden door die rijkdommen, vooral wanneer men bedenkt, dat de wil, die ze in 't aanzijn roept, terwijl hij allerwege met kwistige mildheid wonderen uitstrooit en zich zelven in zijne geheimzinnig majestueuze almacht hult, den mensch zelfs niet op het vermoeden bracht van 't bestaan dier grootheden, welke alleen de volhardendste, eeuw-uit eeuw-in voortgezette studiën ons vermocht te openbaren!

72. — Wij hebben reeds kunnen inzien, dat de Zon, wanneer zij uit een ver genoeg verwijderd punt werd beschouwd, op eene Ster zou gelijken. 't Is dus zeer natuurlijk te meenen, dat dit Hemellicht — behalve de dagelijksche beweging, die wij weldra zullen beoefenen en die haar elken dag met het gansche hemelgewelf van het Oosten naar het Westen voert, behalve de jaarlijksche beweging, die wij mede alras zullen leeren kennen en die haar ieder jaar periodisch door dezelfde punten des hemels doet omloopen — eene *eigen beweging* heeft, waaraan ook de Aarde en al de tot het zonnegebied behoorende bollen deel nemen.

Eigen beweging der Zon, beschouwd als eene Ster. — Historisch gedeelte der ontdekking. — Na de ontdekking der verplaatsing van Arcturus en van α (alpha) van den Arend, werd, eerst door Fontenelle, en later, toen deze ontdekking grooter uitbreiding kreeg, bij de gebleken verplaatsing van andere Sterren, door Bradley, Mayer, Lambert en anderen het gevoelen geopperd, dat de Zon, op hare beurt, zich in de ruimte moest bewegen en in die beweging de Aarde en de andere aan haren invloed onderworpen lichamen met zich moest voeren. Maar deze lichamen, gelijk aan reizigers, die in hetzelfde schip worden vervoerd, konden elkander onderling niet tot verkenningmerk dienen bij het onderzoek naar hunne gemeenschappelijke verplaatsing; en daar de nieuwelings ontdekte bewegingen der Sterren aantoonde, dat men voortaan niet meer kon rekenen op het vaststaan der voorwerpen van vergelijking, zoo mocht men met alle recht vragen, of die bewegingen juist daardoor niet een onoverkomelijke hinderpaal moesten zijn voor het bewijs der vermoedens, die zij hadden doen rijzen.

William Herschel wist met zeldzame scherpzinnigheid de moeilijkheden van 't vraagstuk te overwinnen. Hij vergeleek de eigen bewegingen van een zeker getal Sterren, die bijna regelmatig

rondom ons heen verspreid zijn, en in het samenstel der schrandere uitgekozen verplaatsingen, die hij met elkander in verband bracht, wist hij, te midden der onregelmatigheden zelve, waarop zijne nasporingen natuurlijk moesten berusten, zekere overmaat van eigen beweging aan den eenen kant, zeker te kort aan den anderen, overal elders compensatiën of vereffeningen, te onderkennen: het klaarblijkelijk bewijs, in één woord, dat de Zon, met ons, die Sterren naderbij rukte, welker onderlinge verwijderingen schenen toe te nemen, en daarentegen die ontvluchtte, welke elkander naderbij schenen te komen.

73. — Sedert 1783, den tijd, waartoe Herschel's nasporingen omtrent de eigen beweging der Zon behooren, hebben talrijke waarnemingen de verkregen uitkomsten op luisterrijke wijze bevestigd, en terzelfder tijd getoond hoe schrandere de beroemde Sterrenkundige zich had bediend van 't beperkt getal eigen bewegingen, waarover hij vermocht te beschikken. Want Argelander en O. Struve, hun voordeel doende met den astronomischen vooruitgang der 19de eeuw, hebben, de eerste door 390, de tweede door 392 Sterren, nagenoeg dezelfde richting als Herschel voor de eigen beweging der Zon gevonden. Vermelden we nog, dat Prévot reeds in 1785 zijn zegel had kunnen hechten aan die schitterende ontdekking, waarvan de gevolgtrekkingen bovendien in overeenstemming zijn met de latere nasporingen van Bravais, Lohndal, Galloway, enz. Voegen we er ten slotte nog bij, dat de bepalingen van Struve en Peters aan de Zon, bij gevolg ook aan de Aarde, een jaarlijkschen loop toekennen, die naar de Sterren *c* en *d* in het Sterrebeeld *Hercules* is gericht en niet minder bedraagt dan 444 millioenen kilometers, dat is 1216 duizend kilometers op eenen dag.

74. **Dubbele en veelvoudige Sterren.** — De tot dusverre waargenomen en berekende eigen bewegingen schijnen plaats te hebben in eene rechte lijn en op gelijkmatige wijze. Zij moeten alzoo beschouwd worden als het gevolg van een oorspronkelijk ontvangen voortdrijving of stoot, waarvan de werking niet belemmerd wordt door eene of andere tusschenkomst van schuins op de waargenomen richtingen werkende krachten. Wanneer men echter ziet, dat lichamen, die van zekere hoogten vallen, tragsgewijs in snelheid toenemen, dan wordt men genoopt aan te nemen, dat de Aarde op hen eene soortgelijke aantrekking als die van den magneet op het ijzer moet uitoefenen, en door de achtereenvolgende samenhooping van dien invloed de versnelling hunner beweging moet voortbrengen. De verschijnselen, die wij later moeten behandelen, zullen ons op het klaarblijkelijkst toonen, dat de Zon en al de om haar wentelende lichamen op hunne beurt aantrekkingen uitoefenen, gelijk die de Aarde heeft;

eindelijk zullen wij nog ondubbelzinnige bewijzen voor de aantrekkende eigenschappen vinden in de beweging van zekere Sterren, die men *dubbele Sterren* noemt. Alles schijnt ons dus grond te geven om als algemeene eigenschap aan te nemen en te besluiten, dat de enkelvoudige, tot dusverre de talrijkste Sterren het vermogen bezitten, om de voorwerpen buiten hen aan te trekken. Men is dan ook gerechtigd te vragen, waarom hunne onderlinge aantrekking, zich parende aan den hun oorspronkelijk ingeprenten voorwaartschen loop, geene veranderlijke snelheden en kromlijnige bewegingen voortbrengen. Maar wanneer men zich herinnert hoe ver de Sterren van elkander verwijderd zijn, en daarbij tevens opmerkt, dat de aantrekking van den magneet op het ijzer zeer snel met den afstand vermindert, dan zal men daaruit gemakkelijk besluiten, dat eene soortgelijke afneming moet plaats hebben in het firmament, en men zal inzien, dat al de Sterren samengenomen, ondanks haar aantal, wellicht ook ten gevolge van symmetrisch tegenover elkander werkende krachten, die elkaar opheffen, geen anderen dan een nagenoeg onmerkbaaren invloed op ieder van haar moet uitoefenen, welke invloed verdwijnt in de groote beweging, die 't gevolg is van den oorspronkelijk ontvangen stoot.

Zóó zou 't intusschen niet zijn, wanneer twee of meer Sterren zich, niet door eene werking van projectie, maar in werkelijkheid zeer dicht bij elkander bevonden. In dit geval zouden hare wederzijdsche aantrekkingen, zich voegende bij den haar oorspronkelijk ingeplante voortgang, haar afhankelijk van elkander kunnen maken en haar veroordeelen om voortdurend kromme lijnen te beschrijven, welke vorm zou afhangen van de wetten, volgens welke de aantrekking zich deed gevoelen. Dit juist heeft er moeten plaats hebben voor een vrij groot getal binaire groepen of Sterrenparen, in welke Herschel het eerst de wederzijdsche afhankelijkheid der beide Sterren bemerkte en die hij den naam van *dubbele Sterren* gaf; dit zelfde moet ook ongetwijfeld het geval geweest zijn met die sterrengroepen (minder talrijk dan de sterrenparen), welke ieder uit *drie*, *vier*, ja uit meer Sterren bestaan en die men deswege *veelvoudige Sterren* heeft geheeten.

75. **Voornaamste eigenschappen der veelvoudige Sterren. — Kleuring.** — In de binaire stelsels vertoonen de Sterren over 't algemeen zeer ongelijkmatige lichten, vaak zelfs verschillende kleuren. Is de schoonste wit, zoo is de flauwste dikwijls rood of blauw, soms geel of groenachtig, soms ook wit als de eerste. Zekere groepen vertoonen nogtans twee Sterren ongeveer even helder, beide wit of blauw; maar doorgaans, gelijk ik zoo even zeide, zijn beide de Sterren ongelijk van licht,

zoowel als van kleur, zijnde de helderste rood, geel, blauw, enz., als de flauwste groen, blauw of rood, enz. is.

Indien er, gelijk hierbeneden alles ons doet onderstellen, donkere en bewoonde lichamen, gelijk aan onze Aarde, rondom die verschillend gekleurde zonnen wentelen, dan moeten de verschijnsels der dagelijksche verlichting zonderlinge afwisselingen vertoonen, wanneer die lichamen uit den invloed eener witte of roode Zon tot dien van eene groene, gele, blauwe, enz. overgaan; wanneer zij nu eens onder de gelijktijdige werking der beide lichtende Gesternten staan, dan weder daarentegen in duisternis worden gehuld, ten gevolge van beider veranderden stand. De seizoenen, op hunne beurt, de afwisselingen van warmte en licht, van koude en duisternis, brengen ongetwijfeld allervreemdste verschijnsels van meer dan ééne soort te weeg, vooral in de groepenstelsels, die uit veelvoudige Sterren bestaan, en meer nog, misschien, in die, welker licht of kleur veranderingen ondergaan.

76. Veranderingen van voorkomen. — Te oordeelen naar de ongelijkheden, die er, met betrekking tot het voorkomen, bestaan tusschen eenige door Herschel aan zekere Sterren toegekende hoedanigheden, en de hoedanigheden, die Struve 50 jaar later aan dezelfde Sterren gaf, zou het werkelijk schijnen, dat vele dubbele Sterren in dat korte tijdsverloop aanmerkelijke wijzigingen hebben ondergaan. Zou dat willen zeggen, dat de eenen, de roode bij voorbeeld, Sterren zijn in haar vormingstijdperk, zoodat haar licht nog niet zijne volle intensiteit heeft bekomen, terwijl de groene of de blauwe aan 't afnemen en uitgaan zijn? Belangrijke vragen, die wij weder zullen aantreffen bij 't beoefenen der enkelvoudige Sterren, en welker oplossing ons vergunnen zou eenige vermoedens op te werpen betreffende het toekomstig lot onzer Zon, maar die wij voorzichtigheidshalve, bij gebrek aan voldoende gegevens, voorshands aan de nasproingen der toekomst overlaten!

77. Getal der dubbele Sterren. — Het was, gelijk ik reeds zeide (§ 65) bij het zoeken der betrekkelijke parallaxen op dicht bijeenstaande sterrenparen, die veel in licht verschilden, dat Herschel, wegens de gelijkheid der parallaxen, aanleiding kreeg om Sterren, die bijna één werden en wier afstanden van de Aarde nagenoeg dezelfde waren, te beschouwen als in eene wederzijdsche afhankelijkheid van elkander te verkeerren. Weldra werd inderdaad dit vermoeden bij verscheidene paren bewaarheid door de verplaatsingen der beide Sterren, of liever, door de beweging der kleine Ster rondom de groote; en ofschoon de overgroote traagheid der meeste bewegingen niet had vergund om in het tijdsverloop van eenige jaren het bestaan daarvan met

zekerheid waar te nemen, aarzelde Herschel toch niet eenen catalogus in 't licht te geven van meer dan vijfhonderd Sterren, die hij als werkelijk dubbel beschouwde, hetzij omdat de beide *composanten* of samenstellende Sterren met elkander slechts uiterst kleine hoeken (kleiner dan of op zijn hoogst gelijk aan 32 seconden) maakten, hetzij omdat ze dezelfde eigen bewegingen hadden, hetzij eindelijk omdat ze dezelfde parallax opleverden. Later heeft Struve het getal der in catalogus gebrachte Sterren tot 3057 opgevoerd; en de Sterrenkundigen, onder anderen pater Secchi te Rome, vermeerderen nog dagelijks dit getal, dat gemiddeld *éne* dubbele Ster geeft op *zes* Sterren begrepen tusschen de 1° en 6° grootte, en op *vier* Sterren met eigen beweging, *eene halve seconde* te boven gaande; maar dat niet meer dan *éne* dubbele oplevert op *vijf en twintig* Sterren van de 1° tot de 7°, op *veertig* Sterren begrepen tusschen de 1° en 9°, en op *vijf en veertig* tot *vijftig* Sterren met eigen bewegingen beneden een tiende seconde (0"1). Merkwaardige resultaten in meer dan één opzicht, en vooral omdat zij andere vermoedens verwonderlijk wel kunnen bevestigen; want zoo 't waar is, gelijk wij ondersteld hebben, dat de kleine Sterren en de Sterren met zeer geringe eigen bewegingen het verst van de Aarde verwijderd zijn, dan moeten ook die Sterren juist daardoor, en volkomen zooals de waarneming het leert, het moeielijkst te ontbinden, dat is, van elkander afgezonderd waar te nemen zijn.

78. — Voor 't overige, bij gebrek aan omloopsbewegingen, nog te weinig bestudeerd bij de meeste binaire stelsels, die voorloopig als dubbele Sterren uitmakende zijn geëlassificeerd, heeft de theorie der waarschijnlijkheid ons schoone bevestigingen kunnen aanbrengeu. Van Struve's 3057 dubbele Sterren hebben toch 987 hare composanten van elkander gescheiden door hoeken kleiner dan 4 seconden (1° klasse van Herschel); 675 door hoeken tusschen 4 en 8 seconden (2° klasse); 659 door hoeken tusschen 8 en 16 seconden (3° klasse); eindelijk 736 door hoeken grooter dan 16 en kleiner dan 32 seconden (4° klasse). Door middel nu van eene zeer eenvoudige berekening, in welker bijzonderheden wij hier niet behoeven te treden, maar die gemakkelijk door een ieder, die de eerste beginselen der meetkunde verstaat, kan uitgevoerd worden, zal men lichtelijk inzien, dat, wanneer men op het Sterrengewelf vier lengten neemt, OA, OB, OC, OD (fig. 56), respectievelijk gelijk aan 4, 8, 16 en 32 seconden, alsdan de kleine cirkel van den straal OA in oppervlakte gelijk zal zijn aan het *derde* van den ring AB, begrepen tusschen de beide cirkels OB, OA; aan het *twaalfde* van de oppervlakte des rings BC; eindelijk aan 't *acht en veertigste* van den ring CD; met andere woorden, dat de opper-

vlakten van den cirkel OA en van de drie ringen AB, BC, CD

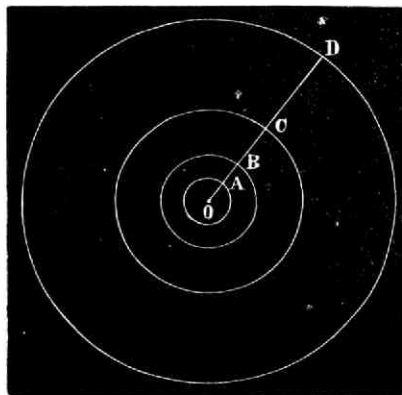


Fig. 36.

kunnen voorgesteld worden door de getallen 1, 3, 12 en 48 (*). Hieruit volgt, dat, als men een van de beide composanten der dubbele Ster voor het middelpunt O der voorgaande cirkels neemt, terwijl de tweede composante zooals het toeval wil op het hemelvlak wordt geworpen in de nabijheid van het punt O, derwijze dat zij door perspectiefwerking zeer dicht bij O schijnt, zonder evenwel met deze eerste Ster in eenig nauw verband te staan, als-

dan de val-kansen hetzij in den cirkel OA op een kleineren afstand dan 4 seconden van de Ster O, hetzij in de ringen AB, BC, CD, dat is op afstanden van de Ster O begrepen tusschen 4 en 8, tusschen 8 en 16, en tusschen 16 en 32, klaarblijkelijk gelijk zijn aan de grootten der oppervlakten of aan de getallen (1, 3, 12 en 48), boven gevonden om hare uitgebreidheid uit te drukken. Hieruit volgt dan ook, dat men voor ééne dubbele Ster van de eerste klasse, drie dubbele Sterren van de tweede, twaalf van de derde en acht en veertig van de vierde moet hebben, indien het dubbel-zijn niet wezenlijk maar enkel schijnbaar is, indien dat dubbel-zijn, met andere woorden, 't gevolg is eener toevallige schikking of plaatsing, en geenszins van wederzijdsche invloeden of werkingen afhangt. Ziet hierboven de getallen, die de waarneming heeft opgeleverd: 987 (zeggen we ter vereenvoudiging 1000) Sterren van de 1^e klasse; 675, 659, 736 Sterren voor de drie volgende klassen. Welk een ontzettende wanverhouding bij de getallen drie duizend, twaalf duizend en acht en veertig duizend, die men moest vinden! Indien eenige Sterren, als een gevolg van het perspectief zich als dubbel voordoen, dat is optische dubbele Sterren zijn, dan moeten de meeste eene wezenlijke physische dubbelheid hebben, dat is physische dubbele Sterren wezen, en de studie der omloopsbewegingen — dit schijnt onbetwifelbaar — zal de vermoedens,

(*) Daar de stralen OA, OB, OC, OD tot elkander staan als de getallen 1, 2, 4 en 8, zullen de oppervlakten der overeenkomstige cirkels in de verhoudingen der vierkanten 1, 4, 16 en 64 zijn. Trekt men nu 1 van 4, 4 van 16, en 16 van 64 af, dan zullen de verschillen 3, 12, 48 de ringen AB, BC, CD voorstellen.

waarbij men zich voor de meeste opgeteekende Sterren tot dusverre heeft moeten bepalen, eenmaal ten volle bevestigden.

79. **Aard der loopbanen.** — Wat de weinige reeds waargenomen bewegingen der dubbele Sterren betreft, alhoewel de meeste van haar sedert het tijdstip van Herschel's ontdekking nog geen geheel omloop volbracht hebben, heeft men niettemin zich kunnen overtuigen, dat de kleine Ster, de *satelliet* of *begeleider*, rondom de grootere of *Hoofdster* eene bijna cirkelvormige kromme lijn, eene soort van *ovaal* of langwerpigen cirkel beschrijft, waaraan men den naam van *ellips* heeft gegeven, in welke de Hoofdster niet het middelpunt inneemt, en waarvan wij weldra gelegenheid zullen vinden eenige eigenschappen te onderzoeken. De omwentelingstijden en de elementen der doorloopen banen zijn het eerst bepaald door Savary, een Fransch Sterrenkundige, in *la Connaissance des temps* van 1830; vervolgens door Enke, Mädler, den jongeren Herschel, Hind, Smyth, Villarceau en anderen. Ziehier eenige der verkregen resultaten, die een denkbeeld kunnen geven van de voornaamste bijzonderheden der betrekkelijke beweging van de dubbele Sterren.

	Omwentelingstijd van den satelliet rondom de hoofdster.	Gemiddelde waarde des cirkelboogs, begrepen tusschen de beide sterren, gemeten van uit de Aarde, perpendicularair op den gezichtsstraal.
ζ (zeta) Hercules . .	36jaar36	1°2 (1 $\frac{2}{10}$ sec.)
η (eta) Kroon	42 50	1 1
α (alpha) Centaurus .	77 00	15 5
ω (o-mega) Leeuw . .	82 52	0 9
ξ (xi) Boötes	117 14	12 6
γ (gamma) Maagd .	182 12	3 6
Castor	252 66	8 1
σ (sigma) Kroon . .	287 00	3 7
61 van den Zwaan .	500 00	15 4
μ (mi) Boötes	650 00	3 2
γ (gamma) Leeuw . .	1200 00	

80. **Toepassing op het beproeven der verrekijkers.** — De gemiddelde hoek-afstanden 0°9, 1°1, 1°2, enz., die de componenten van eenige dubbele Sterren van 't voorgaand tafeltje scheiden, zijn zóó kleine grootheden, dat zij kijkers van groote volkomenheid en van een zeer sterk optisch vermogen vorderen, zal men ze kunnen bepalen. De oplettende beschouwing der dubbele Sterren, wier componenten zeer dicht bijeenstaan, is dan ook een uitmuntend middel geworden om over de deugdelijkheid der optische werktuigen te oordeelen; want deze, ingeval zij geschikt zijn om juiste, niet verwarde beelden te leveren, moeten eene zuivere scheiding maken tusschen de dichtst bijeen-

staande Sterren, zooals bij voorbeeld γ van de Kroon (*gamma Coronae*), ε van den Ram (*epsilon Arietis*), η van Hercules (*eta Herculis*), enz. Merken we tevens op, dat de boven aangegeven gemiddelde hoekwaarden die zijn, welke men zou vinden, ingeval de door de satelliet-Sterren beschreven banen perpendicularair waren op de uit de Aarde getrokken gezichtsstralen; en daar die loopbanen zich integendeel doorgaans in schuine richting aan ons voordoen, zoo staan de beide Sterren, schijnbaar, vaak nog dichter bijeen dan de gemiddelde waarden aanduiden. Zij kunnen zelfs elkander bedekken, gevolgelijk tot ééne Ster worden, gelijk dat van 1802 op 1803, later van 1829 op 1830 gebeurde met ζ van Hercules (*zeta Herculis*), in 1850 met τ van den Slangendrager (*tau Ophiuchi*), enz.

81. **Toepassing op het bepalen der parallaxen.** — Maar 't is niet alleen met opzicht tot de optische werktuigen, dat de dubbele Sterren nuttige toepassingen verschaffen: zij schijnen bestemd om eenmaal merkwaardige methoden op te leveren voor de bepaling van hare eigene parallaxen en zelfs voor de nog kortelings onverhoopde bepaling van de hoeveelheden stof, die zij bevatten. Wilt gij weten hoe men tot

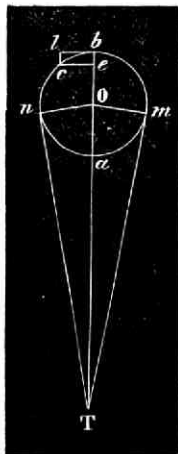


Fig. 57.

zulke verbazende resultaten geraken kan? Onderstelt, gemakshalve, dat de baan *ambn* (fig. 57), die de satelliet of begeleidende Ster rondom de Hoofdster *O* beschrijft, cirkelvormig is, met eene eenparige beweging doorloopen wordt en gelegen is in een punt, dat door het punt *T* der Aarde gaat, waar zich de waarnemer bevindt. Anders zou het zijn, als men, in plaats van den cirkel, de werkelijk beschreven ellips wilde gebruiken; als men de snelheid liet veranderen, het vlak der loopbaan op deze of gene wijze liet hellen op den gezichtsstraal, enz.; men zou alsdan, met behulp van zekere astronomische berekeningen, welke uiteenzetting wij hier achterwege moeten laten, zonder veel moeite de zaken kunnen terugbrengen tot het eenvoudige standpunt, waarop wij ons aanvankelijk geplaatst hebben. Onderstelt dan, dat de beweging herleid is tot de bovengenoemde voorwaarden, en laat de duur der omwenteling bij

voorbeeld 40 jaren zijn, terwijl het licht 30 jaren noodig heeft om van het punt *a*, en 30 jaren plus eene maand om van het punt *b* tot de Aarde te komen; laat eindelijk de satelliet op 1 Januari 1800 zich werkelijk in *a* bevonden hebben. Gij zult dan het volgende lijstje kunnen nederschrijven:

Werkelijke voorbijgangen des satelliets	Werkelijke duur der halve omwentelingen
op het punt a 1 Januari 1800 klimmende, van a tot b 20 jaar.
op het punt b 1 Januari 1820	
op het punt a 1 Januari 1840 dalende, van b tot a 20 jaar.

Schijnbare voorbijgangen des satelliets, aangeduid door de aankomst op Aarde van de uit a en b achtervolgens uitgegane lichtstralen

Schijnbare duur der halve omwentelingen.

op het punt a . . . 1 Januari 1830, 30 jaar na den werkelijken voorbijgang	. . . klimmende, van a tot b . . . 20 j. 1 m.
op het punt b . . . 1 Februari 1830, 30 jaar en 1 m. na den werk. voorbijg	
op het punt a . . . 1 Januari 1870, 30 jaar na den werkelijken voorbijgang dalende, van b tot a . . . 19 j. 11 m.

Het verschil (twee maanden in het tegenwoordig voorbeeld) tusschen den duur der waargenomen halve omwentelingen, geeft u dus het dubbele van den tijd, dien het licht heeft besteed om den diameter der loopbaan $bnam$, dat is de lengte ba , te doorloopen, die gelijk is aan mOn , bestaande uit de som der beide stralen mO en nO , elk in 't bijzonder perpendiculair op de tangenten mT , nT ; en daar gij weet hoeveel kilometers het licht in eene seconde aflegt, zult gij terstond, mede in kilometers, de lengte mOn kunnen bepalen (*). De afstand OT van de hoofdster tot de Aarde, wordt vervolgens gevonden door waarneming van den hoek mTO , onderspannen door de lijn, die den satelliet en de hoofdster vereenigt op het oogenblik van hunne schijnbare grootste verwijdering, of wel door middel van de tafels, waarvan ik reeds meermalen bij de behandeling der parallaxen heb gewaagd, of ook door eenvoudige constructiën op de schaal, die u zullen zeggen hoeveelmaal de lengte Om begrepen is in den gezochten afstand OT .

Deze handelwijze nu, voor 't bepalen der parallaxen in 't geval der dubbele Sterren, zal voorzeker in 't vervolg onschatbare bijdragen leveren tot de resultaten, die reeds door de andere methoden voor de enkelvoudige Sterren verkregen zijn. Wat het bepalen van de *massa* der dubbele Sterren betreft, wij moeten, om daartoe te geraken, nog het een en ander doen voorafgaan.

82. Mechanische beginselen, waarop de bepaling van de massa's der dubbele Sterren berust. — Allereerst zij

(*) Beschouwde men de ellips in plaats van den cirkel, dan zou men — hetgeen mogelijk en vaak gemakkelijk is — berekenen hoeveel ab grooter of kleiner is dan mOn ; zoo bekomt men den tijd van mOn , en gevolgelijk de lengte van mOn , met behulp van den tijd of de lengte van ab .

opgemerkt, dat de begeleidende Ster of satelliet, op ieder punt van hare kromlijnige baan, voortgestuwd door de haar toebedeelde snelheid, evenals de steen, die den slinger verlaat, zou wegvliegen — gelijk men doorgaans zegt — volgens de tangens of de verlenging bl van 't element der juist doorloopen kromme lijn, indien niet de wederzijdsche aantrekking der beide Sterren, die zelve weder op gelijksoortige wijze werkt als de parallele koorden des slingers onder 't omdraaien, dat wegvliegen belette en den satelliet noodzaakte onophoudelijk zijne beweging om te buigen. Daar nu de diameter der loopbaan reeds bekend is uit de schijnbare ongelijkheden der klimmende en dalende halve omwentelingen, zoo is niets eenvoudiger dan de lengte van den ganschen omvang dezer loopbaan te berekenen; immers de omtrek eens cirkels is, naar de eerste grondbeginselen der meetkunde (een ieder weet het), ongeveer gelijk aan $3\frac{1}{2}$ maal den diameter. Derhalve zal men nu ook uit den bekenden duur der geheele omwenteling kunnen weten hoe lang de weg is, die de satelliet in zekeren tijd, in een uur, in eene minuut, in eene seconde, zoo men wil, doorloopt.

Parallelogram der krachten. — Dit wel begrepen zijnde, zoo onderstelt, dat een lichaam, 't welk in twee verschillende richtingen bt , be (fig. 58) wordt voortgedreven door krachten, die er gelijktijdig op werken, den weg bc heeft afgelegd; gij zult dan gemakkelijk kunnen vinden, welke de weg is, die elke kracht, op zich zelve werkende, het lichaam zou doen doorloopen. Trek daar-toe door het uiteinde c van den doorloopen weg bc twee lijnen cm , cn , parallel aan de richtingen bt , be van de werkende krachten; dusdoende krijgt gij eene figuur $bmcn$, die men *parallelogram* noemt, en

welker zijden bn , bm juist de gezochte grootheden zullen zijn. Want zoo gij onderstelt, dat de beide krachten niet gelijktijdig, maar de eene na de andere werken, zult gij moeten erkennen, dat de werking der kracht bt uitgeput is, als het lichaam in n is aangekomen, omdat dit het eenige punt der richting bt is, alwaar de kracht be , parallel aan zich zelve verplaatst, derwijze kan aangebracht worden dat het lichaam tot het punt c wordt gevoerd. Liet men de werking der kracht bt ophouden vóór het punt n , in het punt d bij voorbeeld, of haar voortduren tot aan gene zijde van n , tot in f , dan zou men vervolgens het lichaam, onder den invloed der kracht be volgens dg of volgens fh , parallel aan be , doen loopen, en het gevolgelijk in de punten g of h , maar niet in het punt c doen aankomen. Eene vol-

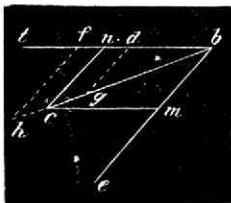


Fig. 58.

komen gelijke redeneering zou van toepassing zijn, ingeval men onderstelde, dat het lichaam eerst in de richting *bm* en vervolgens in de richting *mc* loopt (*).

De diagonaal *bc* van het parallellogram heeft dus tot *composanten* of samenstellende lijnen de beide zijden *bn*, *bm*; of, eenvoudiger, eene kracht, vertegenwoordigd door *bc* kan beschouwd worden als de *resultante* of samengestelde kracht van twee andere krachten, vertegenwoordigd door *bm* en *bn*. Wij zullen meermalen gelegenheid hebben tot toepassing van dit beginsel, waaraan men in de werktuigkunde den naam van *theorema van het parallellogram der krachten* heeft gegeven.

83. **Gravitatie of wederzijdsche aantrekking der hemellichamen.** — Keeren we thans terug tot het vraagstuk, dat ons bezig houdt, en trachten we te ontdekken volgens welke wet de wederzijdsche aantrekkingskracht tusschen de Sterren verandert. Beschouwen we tot dat einde de beweging van den satelliet, niet meer in den onderstelden cirkel, tot welken wij ons bepaald hadden om onze verklaring eenvoudiger te maken, maar in de werkelijk beschreven ellips; en verbeelden we ons, dat wij, met behulp van het *parallellogram der krachten*, de onderscheidene waarden der centrale kracht berekend hebben voor verschillende punten der langwerpige loopbaan en gevolgelyk voor verschillende afstanden, waarop de beide samenstellende deelen der dubbele Ster zich van elkander bevinden. Wanneer wij de dus bekomen waarden met elkander vergelijken, zien wij terstond, dat zij juist in de omgekeerde reden van het vierkant der afstanden veranderen, dat wil zeggen, dat, wanneer het *vierkant* van den afstand, die de beide samenstellende Sterren scheidt, tweemaal, driemaal, viermaal, enz. grooter wordt, alsdan de wederzijdsche aantrekking slechts de helft, het derde, het vierde, enz. zal bedragen van hetgeen zij aanvankelijk was.

Passen we dezelfde berekening, die wij daar op eene dubbele Ster maakten, thans toe hetzij op de Zon en een der lichamen, die, gelijk wij later zullen zien, insgelijks ellipsen rondom dat hemellichaam beschrijven, hetzij op de Aarde en onzen satelliet de Maan, die zich mede in eene ellips rondom ons beweegt, hetzij eindelijk op deze of gene hemelbollen, die verschillende kromme lijnen om elkander beschrijven, — dan zullen wij bestendig, evenals voor de dubbele Sterren, waarden vinden, die, bij al de wederzijdsche werkingen van de Sterren des uitspannels, in de omgekeerde reden van het vierkant der afstanden veranderen. Daar wij alzoo, door de waarneming eener krom-

(*) Ik poog hier vooral te doen begrijpen waarin het beginsel van het parallellogram der krachten bestaat, zonder mij te binden aan de gewone vormen der mathematische taal.

lijnige beweging en door de toepassing van het parallelogram der krachten op de ontbinding der composanten van deze beweging, de aantrekking kennen, die er bestaat tusschen twee hemelbollen, welke een gegeven afstand hebben, bij voorbeeld tusschen de Aarde en de Maan, tusschen de Zon en een der om haar wentelende lichamen, enz., zal men gemakkelijk kunnen berekenen welke waarde die aantrekking zou krijgen, indien de afstand dubbel, drievoudig, ... honderdvoudig, enz., kortom gelijk werd aan die der beide samenstellende deelen van de dubbele Ster, wier massa men wenscht te bepalen, aangezien men niets anders te doen heeft dan de eerste waarde vier-, negen-, ... tien duizendmaal (dat is het vierkant van twee, drie, ... honderd, enz.) kleiner te maken.

Massa's der dubbele Sterren. — Is deze herleiding geschied, dan zullen de aantrekkingen, met opzicht tot de afstanden, door de berekening nu identisch zijn geworden in twee naar willekeur genomen binaire stelsels van 't Heelal. Vanwaar de verschillen, zoo deze nog gevonden worden? Kennelijk vandaar dat de som der massa's of stofhoeveelheden, die elkander in één der stelsels aantrekken, niet gelijk is aan de som der massa's die het andere stelsel uitmaken. En dit zoo zijnde, is het dan niet voldoende de beide uitwerksels, welke de tot dezelfde afstanden herleide aantrekkingen uitdrukken, met elkander te vergelijken, om onmiddellijk de verhouding te kennen tusschen de hoeveelheden stof, vervat in de beide samenstellende deelen der dubbele Ster, of in de Aarde met hare Maan, of wel in de Zon met een der bollen, die haar vergezellen, en wier beweging men heeft waargenomen (*)?

Wij zullen later zien hoe men in *ponden* (*kilogrammen*) de massa's van Aarde, Maan en Zon heeft kunnen bepalen; hoe men gevolgelijk ook in *ponden* de massa's der dubbele Sterren, vergeleken met een dezer lichamen, zou kunnen berekenen. Om intusschen te toonen hoe gemakkelijk de oplossing is van het schijnbaar zoo ingewikkeld vraagstuk: de hoeveelheden stof te bepalen, vervat in Sterren, die te nauwnood in de beste kijkers zichtbaar zijn, bepalen we ons voor 't oogenblik, bij wijze van toepassing, tot het berekenen der getallen, voortspruitende uit de vergelijking van de Zon met de beide dubbele Sterren α van Centaurus (*alpha Centauri*) en 61 van den Zwaan (61 *Cygni*), welker parallaxen bekend zijn.

84. **Toepassingen in getallen.** — Op den gemiddelden afstand van 58 millioen 824 duizend kilometers, welke de Zon

(*) Als men zegt: *de Zon en een der bollen, die haar vergezellen*, dan is dat ten naasten bij zoo goed alsof men zeide: *de Zon alleen*, uit hoofde van de verbazend groote massa van dit hemellichaam met betrekking tot elk der bollen, die zich om hetzelfde wentelen.

van Mercurius scheidt, legt deze laatste Ster elke seconde 48 628 ellen (meters) rondom de eerste af.

Met behulp van het parallelogram der krachten wordt hieruit voor de composante van de wederzijdsche aantrekking der beide Sterren, vertegenwoordigd door den weg, dien zij, zoo de tangentiële kracht niet bestond, elkander naderende doorloopen zouden, het getal 0,0200996 m. afgeleid.

Daar de parallax van α Centauri gelijk is aan 91 honderdste seconde, hetgeen wil zeggen, dat op den afstand, die ons van de Ster scheidt, eene lengte van 152 millioen kilometers gezien wordt onder eenen hoek van $0'',91$; en daar de gemiddelde waarde van den hoek, begrepen tusschen de beide samenstellende deelen dezer Ster zelve gelijk is aan $15'',5$, zoo zal de werkelijke afstand van de hoofdster tot haren satelliet of begeleider zooveelmaal 152 millioen kilometers bevatten als $0'',91$ begrepen is in $15'',5$. Men zal hem dan, na gedane berekening, gelijk bevinden aan 2588 millioen kilometers.

Hieruit besluit men gemakkelijk, bij den 77jarigen duur van de omwenteling des satelliets, tot eene gemiddelde snelheid dezer Ster op den omtrek van hare ellips gelijk aan 6,695 meters in de seconde, en tot eene wederzijdsche aantrekking tusschen de beide samenstellende Sterren, die uitgedrukt wordt door de grootheid 0,0000086555 m., waarmede de Sterren elkander in ééne seconde zouden naderen onder den invloed dier aantrekkingskracht, werkende op eenen afstand van 2588 millioen kilometers.

Zoekt men nu hoeveelmaal het vierkant des afstands 58 millioen 824 duizend kilometers begrepen is in het vierkant van 2588 millioen kilometers, zoo verkrijgt men tot quotient 1935,617, met hetwelk vermenigvuldigd moet worden de aantrekking 0,0000086555 m., die op den afstand van 2588 millioen kilometers wordt uitgeoefend, om deze aantrekking te herleiden tot den afstand van 58 millioen 824 duizend kilometers. Het product 0,0167538 m., vergeleken met het boven gevonden getal 0,0200996 m., zal tot resultaat een quotient geven gelijk aan 1,1997 (zeggen we 1,2), hetwelk te kennen zal geven, dat de som der massa's van de Zon en Mercurius of, zeer ten naastenbij, van de Zon alleen omtrent twee tienden grooter is dan de stofhoeveelheid, vervat in de beide composanten der dubbele Ster α Centauri.

Herhaalt men op 61 Cygni de berekeningen, die ik daar op de Ster van Centaurus heb gedaan, zoo komt men tot de volgende resultaten:

Parallax van 61 Cygni	$0'',35$
Gemiddelde verwijdering der beide samenstellende Sterren	$15'',4$
Quotient der deeling van $15'',4$ door $0'',35$	44

Gemiddelde afstand der beide samenstellende Sterren, gelijk aan 44maal 152 miljoen kilometers, of 6688 miljoen kilometers.

Omtrek der *in 500 jaar* doorloopen bijna cirkelvormige ellips, gelijk aan iets minder dan $6\frac{2}{3}$ maal den gemiddelden afstand van 6688 miljoen kilometers, of, nauwkeuriger, aan 42022 miljoen kilometers.

Waaruit volgt: snelheid, per seconde . . . 2663 meters.

Wederzijdsche aantrekking der beide Sterren op den gemiddelden afstand van 6688 miljoen kilometers, die hen scheidt, ver- tegenwoordigd door den weg, dien zij naar elkander heen in eene seconde zouden doorloopen, gelijk aan . . . 0,00000053027 m.

Aantrekking, naar de wet van het vier- kant der afstanden herleid tot den gemid- delden afstand van Mercurius tot de Zon. 0,00685457 m.

Wederzijdsche aantrekking van de Zon en Mercurius 0,0200996 m.

Verhouding der massa's van de Zon en Mercurius, of, nage- noeg, van de Zon alleen aan de eene zijde, en van de beide sa- menstellende deelen der dubbele Ster aan de andere zijde, gelijk aan het quotient der deeling van 0,0200996 m. door 0,00685457 m., dat is aan 2,93; hetgeen wil zeggen, dat de massa der Zon bijna *driemaal* (2,93 maal) grooter is dan de massa der beide samenstellende Sterren, waaruit de dubbele Ster 61 Cygni bestaat.

Zonder in verdere bijzonderheden te treden, voeg ik hierbij, dat Krüger van Helsingfors in 1861 voor 70 *p. Ophiuchi* eene parallax van 0",162 (of 20,1 jaar in lichttijd, dat is de tijd dien het licht noodig heeft om van daar tot ons te komen), en voor de som der beide composanten van deze Ster eene massa, gelijk aan drie en een tiende maal de massa der Zon heeft gevonden.

85. **Getal der veelvoudige Sterren.** — Eer wij de be- oefening der veelvoudige Sterren vaarwel zeggen, willen wij aan- stippen, dat men onder de 3057 Sterren van Struve *vier en zes- tig* drievoudige, *drie* viervoudige en eene *zesvoudige* vindt. Deze laatste maakt het vermaarde trapezium van Orion uit, welks grootste afmeting niet boven 21 seconden gaat en dat gevormd wordt door *vier* Sterren van de 4de, 5de, 6de en 7de grootte, die op de vier hoeken van het trapezium staan, terwijl twee de- zer Sterren zelve ieder een wachter of satelliet van de 10de a 11de grootte hebben. Porro en pater Secchi hebben zelfs in 1857 eene 7de Ster in 't midden van dit geheimzinnig trapezium meenen te zien; maar het onvermogen der optische werktuigen, in verband met zekere door pater Secchi in zijne waarneming aangeduide eigenaardigheden, schijnt nog eenigen twijfel te moe- ten overlaten. Wat de drievoudige Sterren betreft, als de merk-

waardigste voorbeelden mag men noemen de Sterren ψ van Cassiopeia (*psi Cassiopeiae*), en 2872 van den catalogus van Struve, in welke men meent dat ééne der Sterren rondom de andere draait, terwijl de beide Sterren te zamen rondom de Hoofdster loopen; zoodat zij stelsels uitmaken overeenkomstig met dat, hetwelk ons later blijken zal te bestaan tusschen de Maan, de Aarde en de Zon. Voegen we ten slotte er bij, dat men vaak in elkanders nabijheid twee veelvoudige Sterren ontmoet, wel is waar op grooter afstanden dan de voorloopig door Herschel aangenomen grens (32 seconden), maar toch nog dichtbij genoeg om met alle waarschijnlijkheid te onderstellen, dat die stelsels onderling van elkander afhankelijk zijn. Dezulke zijn, bij voorbeeld, de viervoudige Ster ϵ van de Lier (*e-pilon Lyrae*) en de dubbele Ster 5 Lyrae, slechts gescheiden door een hoek van 3 minuten 30 seconden (3' 30"), en bovendien toegerust met eigen identische bewegingen, die een nieuwe waarschijnlijkheid bijzetten aan die, welke uit de nabuurschap der beide Sterren voortvloeit. Struve vermeldt nog 5 binaire stelsels, alle vijf vervat in eenen cirkel van 9 minuten (9') straal, en de catalogus van dien Sterrenkundige behelst bovendien een en veertig paren, wier verwijdering beneden 5' is, terwijl men er slechts vier zou moeten vinden volgens de verhouding tusschen de oppervlakte der sfeer en die van een kleinen cirkel met eenen straal van 5', vergeleken met het totale getal der bekende binaire stelsels, enz.

Al deze feiten schijnen dus recht te geven tot het besluit, dat de Hemel niet alleen veelvoudige Sterren bevat, die zich om elkander wentelen en aan de kromlijnige bewegingen hare elementen van duurzaamheid ontleenen, maar dat hij ook hoogst waarschijnlijk verzamelingen van stelsels bevat, die ieder een eigen dynamisch aanzijn hebben, en dicht genoeg bij elkander staan om eenmaal, ten gevolge hunner wederzijdsche aantrekkingen, de voorwaarden van dat bestaan sterk gewijzigd, wellicht geheel opgeheven te zien, onder den invloed der schokken en nieuwe bewegings-combinatiën, die uit de samensmelting van thans gescheiden stelsels zullen voortvloeien.

86. **Merkwaardige bijzonderheden, die Sirius en Procyon opleveren.** — Tot dusverre de bijzonderheden, die wij omtrent de dubbele Sterren hebben vermeld; wij waren eenigszins uitvoerig, maar dit wordt gerechtvaardigd door het toekomstig lot, dat voor dezen tak der Sterrenkunde schijnt weggelegd. Wij willen echter nog een laatste feit aanhalen, tegen hetwelk twijfelingen zijn opgeworpen door de nasporingen van Struve en Fuss, maar dat wij, ter wille van den naam van Bessel, die omstreeks 1840 meende, dat dit feit door zijne studiën op de

eigen bewegingen werd gestaafd, niet met stilzwijgen mogen voorbijgaan. Volgens den beroemden Koningsberger Sterrenkundige, wiens meeningen voor 't overige krachtig geschraagd worden door de latere studiën van Peters en Laugier, zouden twee Sterren van de eerste grootte, Procyon en Sirius, eigene *kromlijnige* bewegingen hebben, en gevolgelijk zich rondom donkere middelpunten wentelen; waaruit men tot de onderstelling zou moeten komen, dat de Zonnen wellicht niet de aanzienlijkste lichamen des Hemels zijn, en dat er Hemelbollen zonder licht, ongetwijfeld uitgedoofde Zonnen, bestaan, vermogend genoeg om den loop dier schoone Sterren te beheerschen, welke men te voren als de souverainen van 't Uitspansel beschouwde.

Ik moet hier evenwel bij voegen, dat Clark en Bond van Cambridge (Vereenigde Staten van Noord-Amerika), op den 30sten Januari 1862, met eenen kijker van achttien en een halven (parijschen) duim opening, op tien seconden afstands van Sirius, eene zeer kleine Ster ontdekt hebben, die kort daarop ook door Chacornac in Foucault's telescoop van 0,8 m. werd bespeurd. Nog moet ik er bij vermelden, dat Goldschmidt eenige dagen later, met behulp van een eenvoudigen kijker van 6 dm. opening, in welken hij Sirius met een diaphragma dekte, vier andere kleine Sterren in de nabuurschap der eerste zag.

Wat kunnen die telescopische bollen zijn, steeds bedolven in het glansrijke licht der schitterende Ster, bij welke zij staan? Ziet men ze daar alleen door eene werking van projectie, of wel zouden't satelliet-Zonnen zijn, die op Sirius terugwerken en de door Bessel opgemerkte storingen in de beweging veroorzaken? Op deze vragen heeft de wetenschap voor het oogenblik geen antwoord, en zij moet van den tijd de gezochte oplossing afwachten; want alleen latere, naar eisch voortgezette waarnemingen zullen in dezen kunnen beslissen.

Nog een woord, en ik eindig. De Sterrenkundige Auwers, die het denkbeeld van een storenden satelliet, gelijksoortig met de satellieten, die wij rondom Sirius onderstelden, op de onregelmatigheden in Procyon's bewegingen toepaste, heeft op zijne beurt, in 1862, uit Bessel's waarnemingen voor Procyon eene parallax van $0^{\circ},12$ (of 26 jaar en 8 maanden voor den tijd, dien het licht besteedt om van daar tot ons te komen) afgeleid, en bevonden dat de massa der onbekende satelliet van deze Ster *ten minste vier tiende* van de massa der Zon bedraagt.

Behoef ik, na zulke merkwaardige uitkomsten, nog langer te spreken over de belangrijkheid der ontdekkingen, die de beoefening der veelvoudige Sterren ongetwijfeld voor de nasporingen der toekomst heeft weggelegd?

ZEVENDE LES.

Vervolg van de Leer des Sterrenhemels.

Classificatie der Sterren volgens Bayer. — Gevolgen uit deze classificatie afgeleid door Herschel, aangaande de lichtveranderingen, die de Sterren ondergaan. — Periodische of veranderlijke Sterren. — Uitgedoofde Sterren. — Nieuwe Sterren. — *Diameters der Sterren.* — Kleinte der hoek-diameters, opgemaakt uit de bedekkingen door de Maan. — Schatting door den lamp-micrometer van Herschel. — Schatting naar het licht, vergeleken bij dat der Zon. — *Nevelsterren*; hare afmetingen. — *Planctvormige Nevelvlekken.* — Theorie van Arago. — Theorie van Herschel. — *Onoplosbare* of eigenlijke *Nevelvlekken.* — *Oplosbare nevelvlekken* of Sterrenhoopen. — *Melkweg.* — *Wolken van Magellaan.*

87. **Classificatie der Sterren volgens Bayer.** — De verbazende afstanden, die ons van de Sterren scheiden, het wellicht nog verbazender aantal dier hemellichten, de onmetelijke banen, die de Sterren krachtens eigen bewegingen doorloopen, ondanks hare schijnbare vaste plaats aan het uitspansel, de verschijnselen met opzicht tot de veelvoudige Sterren, enz., enz. zijn niet de eenige bijzonderheden, die de beoefening der Sterrenkunde uitlokkend en bekoorlijk maken. Hoe dieper men in deze studie doordringt, hoe meer redenen tot verbazing en prikkels tot weetgierig onderzoek men aantreft.

De oude Sterrenkundigen hadden, tot meer gemak, de oppervlakte des Hemels in een zeker getal deelen of *Sterrenbeelden* verdeeld (op welke wij weldra moeten terugkomen), en bijzondere namen gegeven aan de voornaamste Sterren, terwijl zij de minder schitterende Sterren eenvoudig door haren stand aanduidden. Een rechtsgeleerde van Augsburg, Bayer genaamd, kwam in 1603 op den inval, de eigennamen en de andere vroeger aangenomen kenteekenen door letters te vervangen. Die verandering in 't gevestigd gebruik was op zich zelve niet van zeer groot gewicht; en toch verschaftte zij aan Herschel, omstreeks 1783, de gelegenheid om bij ongeveer dertig bekende Sterren hoogst gewichtige lichtveranderingen aan te toonen.

Men heeft onlangs, 't is waar, twijfelingen opgeworpen aangaande het verband, dat er, gelijk men tot dusverre meende, bestaan zou tusschen de volgorde der grieksche of romeinsche letters en het licht der Sterren, die in Bayer's lijst door deze letters worden aangeduid; want volgens den beroemden Sterrenkundige van Bonn, Argelander, behoort alleen de eerste grieksche letter α (alpha) beschouwd te worden als door Bayer te zijn toe-

gepast op de schoonste Ster van elke groep, terwijl dan de volgende letters β (beta), γ (gamma), enz., alleen de orde van stand, maar geenszins die van licht zouden aanwijzen.

Gevolgen uit deze classificatie afgeleid door Herschel, aangaande de lichtveranderingen, die de Sterren ondergaan. — Niettemin, zelfs onder deze nauwere bepaling, ziet men zich genoopt met Herschel te erkennen, dat verscheidene Sterren sedert Bayer aanzienlijke lichtverandering hebben moeten ondergaan, aangezien de β (beta), γ (gamma), δ (delta) van Bayer, tijdens Herschel zijne photometrische tafels in 't licht gaf, en vele Sterrengroepen, bij voorbeeld in de sterrenbeelden Hercules, Cassiopeia, den Walvisch, den Draak, den Schutter, enz., in de plaats moesten komen van de α (alpha) des sterrenkundigen rechtsgeleerde.

Zoo hebben dan die schijnbaar weinig onbeduidende teekens van Bayer ons op het spoor gebracht van eene der merkwaardigste bijzonderheden van het Uitspanzel.

88. — Intusschen had David Fabricius, een predikant in Oost-Friesland, reeds in October 1596, in den hals van den Walvisch eene Ster zien verdwijnen, welke deze waarnemer twee maanden te voren, den 13den Augustus van hetzelfde jaar, als van de 3de grootte had opgeteekend. Zulk een verschijnsel moest wel een diepen indruk maken op den Sterrenkundige, die het waarnam. Het scheen de aandacht inzonderheid te moeten bepalen bij het punt des Hemels, dat voortaan beschouwd mocht worden als hebbende eene uitgedoofde Ster. Maar reeds vóór de waarneming van Fabricius had Tycho-Brahé in 1572 insgelijks eene veel helderder Ster dan die van den Walvisch, eene Ster, die zelfs bij vollen dag met het bloote oog zichtbaar was, op eens zien te voorschijn komen in het Sterrenbeeld Cassiopeia, om vijftien maanden later weder geheel te verdwijnen, nadat zij gedurende dit korte tijdsverloop allengs verflauwd was. De Ster van 1572 had zich niet weder vertoond. Fabricius mocht dus denken, dat het eveneens met de Ster van den Walvisch zou gaan; en daar ongetwijfeld andere nasporingen hem bezig hielden, verloor hij zijne waarneming van 1596 uit het oog. Later plaatste Bayer op zijne beurt eene Ster van de 4de grootte, die hij met de letter *o* (*o-mikron*) aanduidde, op dezelfde plaats, waar de door Fabricius waargenomen verdwijning was geschied; en zijn verzuim in 't vergelijken der waarnemingen, die hem op het spoor van eene schoone ontdekking konden brengen, berooft hem van de eer der ontdekking, dat de Ster *o* (*o-mikron*) van den Walvisch bij afwisseling lichtend en donker was.

Periodische of veranderlijke Sterren. — 't Was een hoogleeraar van Franeker, de Nederlander Holwarda, die het eerst, in

1638 en 1639 het beurtelingsch verschijnen en verdwijnen van de reeds door Fabricius en Bayer vruchteloos opgemerkte Ster in den Walvisch waarnam. Weldra vestigden andere Sterrenkundigen, Hevelius, D. Cassini, Bouillaud, enz. hunne aandacht op deze Ster, waaraan Hevelius den naam van *Mira*, dat is de *Zonderlinge* had gegeven, welke naam haar met dien van σ (σ -mikron) is bijgebleven; en alras ontdekte men, dat de duur der periode of der geheele lichtafwisseling 333 a 334 dagen bedraagt; dat die van 't sterkste licht ongeveer 15 dagen belooft; dat de totale duur der verschijning van 3 tot 4 maanden belooft; dat de Ster dikwijls om van de 6de grootte tot haar grootste licht over te gaan eenen tijd besteedt, verschillende van dien, welchen zij bezigt om van haar grootste licht tot de 6de grootte terug te keeren; dat het tijdstip der snelste verandering dat is, waarop de Ster weer te voorschijn komt door de 6de grootte te bereiken, zijnde dit de gewone grens van zichtbaarheid voor 't ongewapend oog; dat het sterkste licht somtijds de 2de grootte bereikt en somtijds ook niet verder dan tot de 3de grootte komt, enz., enz. Later werden de bijzonderheden, die ik daar opnoemde, door Herschel en Argelander bevestigd. Alleen verminderden zij beiden den duur der periode, die zij, de eerste op 331 dagen, de tweede op 331 dagen 15 uren 5 minuten, stelden. Argelander vermeende bovendien in dezen tijdduur geringe veranderingen te bespeuren, die, door achtereenvolgende samenhooping, over eenen tijdduur van 88 perioden verschillen van 25 dagen, nu eens meer, dan weer minder, zouden te weeg brengen. In 1799, eindelijk, zag Herschel de Ster bij haar sterkste licht de 1ste grootte bereiken, terwijl zij in 't volgende jaar niet verder dan tot de 3de kwam, en daarenboven verzekerde hij zich, dat de verdwijning, die in de zwakke kijkers van zijne voorgangers plaats had, ook somtijds, zelfs in de meest vermogende telescopen, geheel volledig bleek te zijn.

Sedert de ontdekking van Holwarda aan de merkwaardige Ster, met wier geschiedenis wij u bekend maakten, zijn veel soortgelijke verschijnsels aan den Hemel waargenomen. Zoo, bij voorbeeld, moet de lichtafwisseling, die in 1686 door Kirch aan de Ster χ van den Zwaan (*chi Cygni*) werd ontdekt en welker duur Maraldi op 404 dagen stelde, deze Ster tusschen de 6de en 11de grootte doen zweven. Zoo ook moet α van Hercules (*alpha Herculis*), volgens Herschel, beurtelings van de 3de tot de 4de, en van de 4de tot de 3de grootte overgaan in eene periodische tijdruimte van $60\frac{1}{4}$ dag, maar volgens Argelander van 66 dagen, terwijl de jongste waarnemingen schijnen aan te toonen, dat deze Ster eerst na ongeveer 95 dagen tot haar vorig licht terugkomt. 84 van den Zwaan (*34 Cygni*) gaat,

volgens Jansonius en Pigott, om de 18 jaren van de 6de grootte tot nul, en omgekeerd, over. δ van Cepheus (*delta Cephei*) en β van de Lier (*beta Lyrae*) besteden daarentegen slechts een zeer korten tijd voor hare lichtafwisseling (5 a 6 dagen volgens Goodricke, die de veranderlijkheid van beide Sterren ontdekte), welke tijd, volgens Argelander, voor ρ Lyrae bijna 13 dagen zou bedragen, terwijl zij gedurende dien tijd het merkwaardig verschijnsel van twee *maxima* en twee *minima* van licht, een weinig van elkander verschillend, oplevert, waardoor Goodricke in zijne tijdsbepaling misleid moet zijn, zoodat hij den duur der lichtafwisseling op de helft van den werkelijken tijd stelde, enz. *Algol*, eindelijk, of β van Perseus (*beta Persei*) verandert van de 2de tot de 4de grootte in slechts $3\frac{1}{2}$ uur en behoudt vervolgens omtrent éénen dag ieder van hare uiterste grootten; terwijl het tijdperk harer lichtafwisselingen nog korter is dan de voorgaande (*twee* dagen 20 uren 48 minuten, volgens Goodricke), en tevens, wat nog meer verwondering baart, volgens Argelander veranderlijk is.

Brengen wij nu de bijzonderheden betreffende de veranderlijke Sterren in vergelijking met de lichtveranderingen, door Herschel uit de opgaven van Bayler's Lijst afgeleid, dan zien wij: perioden van minder dan 3 dagen voor *Algol*, van 6 dagen voor δ Cephei, van 13 dagen voor β Lyrae, van 60 of 66 dagen of 95 dagen voor α Herculis, van 331 dagen voor *Mira* of σ Ceti, van 404 dagen voor γ Cygni, enz., enz., eindelijk van 18 jaren voor β Cygni! Geven die al langer en langer wordende tijdperken ons niet het recht om te denken, dat nog langere tijdperken de oorzaak van wijzigingen kunnen zijn, welke men bij eene eerste beschouwing geneigd zou wezen als bestendig en blijvend aan te zien, vooral dan, wanneer de waarnemingen van elkander gescheiden zijn door de aanzienlijke tijdruimte tusschen Bayer (1603) en Herschel (1783)? Ik beken, dat de analogie mij toeschijnt sterk te pleiten voor vermoedens, die de verdwijningen of verschijningen en de periodieke veranderingen van zekere Sterren tot eene zelfde klasse van hemelverschijnsels brengen.

89. **Uitgedoofde Sterren.** — Hoe het voor 't overige met dit gevoelen gelegen moge zijn, wij mogen, bij de studie die ons thans bezig houdt, niet vergeten gewag te maken van eenige andere verschijnselen, in ieder opzicht wel der opmerking waardig. Zoo vindt men, bij voorbeeld, naast Sterren, wier regelmatige lichtafwisseling voortaan boven allen twijfel verheven is, aan den Hemel Sterren, welker licht al kleiner en kleiner wordt, terwijl dat van anderen daarentegen sedert een of twee eeuwen allengs in grootte toeneemt. Gij vindt er ook,

wier kleur te gelijk met het licht verandert. Van dezen aard zijn: Pollux, Aldebaran, α van Orion (*alpha Orionis*), enz., welke Ptolomeus in 't begin der Christen-jaartelling rood noemde en die heden ten dage wit zijn; de dubbele Sterren γ van den Leeuw (*gamma Leonis*), γ van den Dolfijn (*gamma Delphini*), enz., welke Herschel bevond beide uit witte Sterren te bestaan, terwijl het Struve vijftig jaar later bleek, dat zij integendeel beide uit eene blauwachtig groene en eene goudgele Ster zijn samengesteld. Daartoe behooren nog: de Ster β van den Leeuw (*beta Leonis*), die Bayer tot de eerste grootte bracht, en die thans minder dan de Sterren der 2de klasse is; α van den Draak (*alpha Draconis*), volgens Bayer van de 2de, naar de nieuwere waarnemingen hoogstens van de 3de grootte; de beide eerste Sterren der Hydra of Waterslang, ten tijde van Flamsteed van de 4de grootte, in Herschel's tijd slechts van de 8ste a 9de grootte; de 9de en 10de Ster van den Stier, de Ster 55 van Hercules, alle drie door Flamsteed gebracht onder de met het ongewapend oog zichtbare Sterren, maar 80 jaar later vergeefs door Herschel gezocht; men kan er eindelijk nog toe brengen 38 van Perseus, 31 van den Draak, enz., die sedert Flamsteed tot op Herschel van de 7de tot de 4de grootte moeten gestegen zijn; vooral ook de merkwaardigste onder de Sterren, die aan voortgaande veranderingen onderhevig zijn, de Ster η van het Schip Argos (*eta Argo Navis*), die men noch in de Lijst van Ptolemeus, noch in die van Bayer vindt, die Halley in 1680 tot de 4de grootte bracht, die Lacaille in 1750 als eene Ster van de 2de grootte voorstelde, die van 1811 tot 1815 weder tot de 4de grootte afdaalde, om vervolgens allengs toe te nemen en in 1837 te worden wat zij sedert gebleven is, eene der schoonste Sterren van den eersten rang, maar met beurtelingsche verkleining of vergrooting van licht, tot dusverre geheel onregelmatig.

90. — Ik heb vroeger de nieuwe Ster van 1572 en de voornaamste bijzonderheden van hare verschijning aangehaald. Een Hemellicht, merkwaardig door zijn levendigen glans en wit licht, had zich eensklaps, den 11den November, onbeweeglijk in het Sterrenbeeld Cassiopeia vertoond. Maar reeds in de volgende maand, in December 1572, begon het te verslauwen, waarbij het eerst zijne witte kleur behield, daarop achtereenvolgens zeer kenelijke gele en roode tinten aannam, vervolgens *dof wit* werd, en eindelijk in Maart 1574 geheel verdween, nadat het, alvorens zijn licht geheel te dooven, door al de fasen van grootte was heen gegaan. Soortgelijke veranderingen en overgangen, van eeuw tot eeuw waargenomen, geven eenigermate een karakter van algemeenheid aan 't verschijnsel, welks geschiedenis ons door Tycho-Brahé zoo goed geboekt is.

Nieuwe Sterren. — Zoo bespeurde Hipparchus, omstreeks 130 jaar vóór den aanvang onzer jaartelling, van het observatorium te Alexandrië een nieuwe Ster, die hem — ik zeide het reeds — op het denkbeeld bracht, al de Sterren des hemels te tellen. Zoo vertoonde zich ook, van December 173 tot Juli 174 eene schoone Ster in Centaurus. Tegen 't einde der 4de eeuw, in 389, schitterde eene zeer merkwaardige Ster, eene maand lang, zeer dicht bij λ van den Arend (*lambda Aquilae*). In de 9de eeuw nam de Arabische Sterrenkundige Albumazar, op zijne beurt, eene groote Ster waar, die pas in het Sterrebeeld den Schorpioen was verschenen. In 945 werd eene tot dusverre onbekende Ster in de nabijheid van Cassiopeia waargenomen. In 1101 vertoonde zich eene der helderste Sterren in den Schutter. In 1264 deed zich nogmaals eene Ster op bij Cassiopeia, evenals die van 945 en 1572, enz.

De Sterrenkundigen sloegen nog, van 10 October 1604 tot 8 October 1605, in den Slangendrager eene Ster gade, die bij hare verschijning niet minder schitterend was dan die van 1572, en, gelijk deze laatste, trapsgewijze flauwer werd, doch zonder kleur te krijgen, tot op het tijdstip van hare volkomen verdwijning tegen 't einde van 1605. In 1670 ontdekte pater Anthelmus in het Sterrebeeld den Zwaan eene nieuwe Ster van de 3de grootte, wier licht, allervreemdst, verscheidene malen kleiner en grooter werd alvorens het uitdoofde, en die later zich niet weder heeft vertoond. In onzen tijd eindelijk bemerkte Hind in Ophiocbus (Slangendrager) eene Ster van de 5de grootte, die vroeger aldaar niet aanwezig was, en die, na langzamerhand flauwer te zijn geworden, alras geheel verdween.

91. — Zouden de drie Sterren van 945, 1264 en 1572 niet drie opeenvolgende verschijningen van een zelfde Hemellicht wezen? Dit gevoelen, volgens hetwelk men de nieuwe Sterren in de rij der veranderlijke Sterren zou mogen plaatsen, krijgt, mijns bedunkens, een hoogen graad van waarschijnlijkheid door eene eenvoudige vergelijking van de tijden wanneer en de hemelpunten alwaar de verschijnsels zich hebben opgedaan. Alle drie in het sterrenbeeld Cassiopeia, ofschoon voor de beide eerste, 't is waar, zonder nauwkeuriger bepaling! 319 jaar tusschentijd van 945 tot 1264; 308 jaar van 1264 tot 1572; een verschil van niet meer dan 11 jaar tusschen de beide getallen 308 en 319! Bij een zoo langen tijdduur mag dit verschil te nauwernood in aanmerking komen, en is zelfs, naar evenredigheid, niet te vergelijken bij de verschillen, welke de behoorlijk gestaafe korte perioden of lichtafwisselingen geven. Voor 't overige zijn wij dicht aan het tijdstip genaderd, waarop het vraagstuk zuiver zal opgelost moeten worden. Bij een gemiddelden duur van 313

jaar, die de voorafgegane perioden opleveren, moet de Ster van Cassiopeia zich weder in 1885 vertoonen. Indien echter, gelijk Argelander voor andere Sterren vermeend heeft waar te nemen, ook deze eene veranderlijke en tegenwoordig afnemende periode heeft, zooals dit, volgens den Sterrenkundige van Bonn, thans het geval zou zijn met de perioden van Mira of α van den Walvisch (*o-mikron Ceti*), met Algol, met β van de Lier (*beta Lyrae*), enz., en indien het bovengenoemd verschil van 11 jaar de wet der afneming voorstelde, dan zou de nieuwe verschijning niet in 1885, maar in 1869 moeten plaats hebben (*).

Wij zouden alzoo, bij die onderstelling, eerlang geroepen zijn tot de waarneming van een der zeldzaamste verschijnselen aan het Uitspansel, de plotselinge ontvlaming eener Ster, die in glans alle de thans aan den hemel prijkende verre overtreft; waaruit dan de gegronde reden zou volgen om de nieuwe Sterren, de verdwenen Sterren en de eigenlijk gezegde veranderlijke Sterren tot ééne klasse te brengen. Alleen zou er dan nog te verklaren vallen waarom zekere Sterren zichtbaar zijn gedurende een aanzienlijk gedeelte van hare lichtafwisseling; waarom andere daarentegen zich als 't ware slechts een oogenblik vertoonen; waarom deze in licht verkleinen, maar toch wit blijven, terwijl gene te gelijker tijd van licht en kleur veranderen, enz.

Men heeft te dezen opzichte de tusschenkomst ingeroepen van cosmische wolken, van donkere hemelbollen, die zich tusschen de veranderlijke Sterren en ons komen plaatsen, enz.; eindelijk plotselinge ontvlamingen of uitdoovingen en aanzienlijke physische veranderingen in den toestand der lichtende oppervlakten. Ieder dezer denkbeelden laat zich buiten kijf met het werkelijk bestaande rijmen, en dat van wijzigingen, onder anderen, waarvan de oppervlakte onzer Zon zelve ons weldra een treffend voorbeeld, hoewel in beperkte verhoudingen, zal opleveren, zou inderdaad vrij wel verklaring geven van verscheidene bijzonderheden, zooals de kleurveranderingen, de spoedige afneming en verdwijning der Ster van 1572, enz. Maar het schijnt moeielijk, het verschijnsel in zijn geheel en in zijne algemeenheid te begripen, als men niet met Kepler aanneemt, dat de Sterren om zich zelve wentelen en ons achtereenvolgens hare verschillende zijden voorhouden. Stoute, bijna vermete stelling, toen de groote Sterrenkundige haar opwierp, 5 jaar vóór de uitvinding der verrekijkers, bij gelegenheid van de nieuwe Ster, die zich in 1604 vertoonde; later, in 1651, met eenige zonderlinge beperkingen omtrent den aard der omwentelingen, aangevuld door

(*) Zij zou zelfs nog vroeger moeten optreden, indien de afneming op dit oogenblik sneller ware, gelijk de steeds toenemende verminderingen, die Argelander geneigd is voor de perioden van Algol, β Lyrae, enz. aan te nemen.

Riccioli, die ter verklaring van de veranderlijke Sterren onderstelde, dat zij heldere en donkere zijden hadden; en bijna tot onweerlegbare zekerheid overgegaan door de ontdekking hetzij van de omwenteling der Zon, hetzij van de in vorm, grootte en plaatsing veranderlijke vlekken, waarmede de oppervlakte van het Daggesternte is bezaaid (*).

92. **Diameters der Sterren.** — De bewegingen der dubbele Sterren hebben ons vergund de massa's van eenige dier lichamen te bepalen. Uit het licht der Sterren zullen we ons een denkbeeld van hun volumen kunnen maken. Het zou inderdaad onmogelijk zijn de werkelijke diameters der zeer kleine beelden te schatten volgens het voorkomen, dat zij in de kijkers hebben; want de optische werktuigen, ook de beste, geven altijd schijnbare afmetingen, grooter dan de werkelijke, omdat de beste voorwerpglazen altijd eenige onvolkomenheden van slijping of van achromatisme behouden, vooral ook omdat de lichtstralen, die langs de randen der diaphragmen gaan, steeds, ten gevolge eener werking die men *diffraction* heet, van de rechtlignige richting afwijken, en de beelden min of meer uitbreiden.

Wat de schattingen met het ongewapend oog betreft, hier maakt de straalverspreiding of de lichtkring de diameters nog vrij wat grooter; immers vóór de uitvinding der verrekijkers kenden Kepler, Tycho-Brahé, enz. aan Sirius, aan α Lyrae, enz. diameters van meer dan 100 seconden toe, terwijl Hevelius, Cassini, enz., met behulp van kijkers, de dwars-afmetingen dier schoone Sterren op 5 of 6 seconden stelden.

Met de parallaxen, die wij tegenwoordig kennen, zouden zulke diameters aan de Sterren ontzettende volumens geven. α Lyrae, bij voorbeeld, zou een werkelijken diameter hebben van 2924 millioen kilometers, dat is 2070 maal grooter dan die der Zon. Hieruit zou volgen, dat haar volumen 9000 millioenmaal dat der Zon overtreft. Sirius zou nog grootere afmetingen krijgen; Arc-

(*) Arago heeft uit de waarneming der veranderlijke Sterren het merkwaardig gevolg getrokken, dat de zeven grondkleuren, waaruit het witte licht bestaat, zich alle met dezelfde snelheid door de hemelruimte bewegen. Want ware dit niet het geval, dan zou de lichtbundel, die van eene Ster uitgaat op het oogenblik, b. v. dat zij weer te voorschijn komt, niet in zijne oorspronkelijke witheid tot ons komen, uit hoofde van de vertraging, die de verschillende kleuren zouden ondergaan; en wij zouden de wederverschijning in achterenvolgende kleuren zien. Eveneens zou 't gelegen zijn hetzij met de verdwijning, hetzij met het maximum van licht. Daar dit nu in geen geval plaats heeft, zoo is de gelijke snelheid klaarblijkelijk.

De gelijke breekbaarheid der stralen, afgezonden door de Sterren van welke de Aarde zich verwijderd, en door die naar welke zij zich heen beweegt, heeft Arago nog tot deze merkwaardige gevolgtrekking gebracht, dat de lichtuitstroomingen stralen bevatten, die met verschillende snelheden zijn aangedaan, en dat onder deze stralen alleen die zichtbaar zijn, welke eene bepaalde *betrekkelijke* snelheid hebben; uit de andere zouden de verwarmende en chemische stralen ontstaan. Hieruit zou volgen, dat deze of gene straal, welke zichtbaar is voor den waarnemer, die zich in zekere richting beweegt, het niet zou zijn voor den waarnemer, die eene tegengestelde of, nauwkeuriger, in eene van de eerste verschillende richting gaat.

turus en de Geit insgelijks, enz. Ondanks hetgene wij weten van de onmetelijkheid des Uitspansels, schijnt men toch zulke verhoudingen voor Zonnen niet te kunnen aannemen; en dat ik ze hier aanhaal, geschiedt vooreerst om gelegenheid te hebben u opmerkzaam te maken op de vergrooting, die de Sterren door de kijkers zelve ondergaan, en ten andere omdat wij weldra, doch dezen keer zonder mogelijke onzekerheid, in verschillende sterrenhoopen, in de atmosferen van eenige Sterren, enz. die ontzettende afmetingen zullen aantreffen, welke ons nu schier geheel ongelooflijk voorkomen.

93. **Kleinte der hoek-diameters, opgemaakt uit de bedekkingen door de Maan.** — Er bestonden voor 't overige sedert meer dan eene eeuw andere redenen, dan gevolgtrekkingen van analogie tusschen de Sterren en de Zou, die de met behulp van kijkers verkregen maten der diameters als grootelijks overdreven deden beschouwen. Halley toch had reeds in 1718 opgemerkt, dat de Maan, als zij voorbij zekere Sterren, onder anderen voorbij Aldebaran (van de 1ste grootte) ging, deze Hemellichten in een oogwenk deed verdwijnen. Hare diameters moesten dus veel geringer zijn dan men eerst had geloofd; want de Maan doorloopt aan den Hemel een boog van *éne* seconde in *twee* seconden tijd; en gevolgelyk moest eene Ster van *vijf* seconden diameter *tien* seconden tijd besteden om te verdwijnen achter den bewegenden bol, die haar komt bedekken.

Schatting door den lamp-micrometer van Herschel. — Twee jaren later, in 1720, had Cassini op zijne beurt de bedekking van twee zeer dicht bijeenstaande Sterren waargenomen, die namelijk waaruit de dubbele Ster γ van de Maagd (*gamma Virginis*) bestaat; en ofschoon zijn kijker hem de ruimte tusschen de beide Sterren op zijn hoogst als gelijk aan den diameter van elke Ster vertoonde, werden zij, de eene zoowel als de andere, oogenblikkelyk verduisterd, terwijl de rand der Maan daarentegen dertig seconden tijd had besteed om de ruimte, die haar scheidde, te doorloopen. Van toen af hadden veel soortgelijke waarnemingen met de hoogste gewisheid aangetoond, dat de door kijkers beschouwde Sterren aanzienlyk verbreed zijn; maar men wist ongeveer niets omtrent de werkelijke grootte der ontstane oogmisluding, toen William Herschel de Sterren vergeleek bij de stralende punten, die hij door middel van kleine speldegaatjes in ondoorschijnende, voor eene vlam geplaatste bladen verkreeg, met andere woorden, toen hij den door hem uitgedachten en *lamp-micrometer* genoemden toestel bezigde, en daardoor bepaalde getallen wist aan te geven, waardoor de hoek-diameter van α Lyrae tot 36 honderdste seconde, die van Arcturus tot 2 tiende seconde, enz. werd herleid.

94. **Schatting naar het licht, vergeleken bij dat der Zon.** — Dit was ongetwijfeld reeds veel gedaan, met opzicht tot de vroegere schattingen. En toch, met de zoo ingekrompen getallen, die Herschel vond, zou de Lier nog eenen diameter van 208 millioen kilometers, Arcturus eenen diameter van 240 millioen kilometers behouden. Bij zoodanige getallen gevoelt men, dat er nieuwe nasporingen naar de echtheid daarvan vereischt werden. De photometrische uitkomsten, eerst door Wollaston in 1829, en eenige jaren later door sir John Herschel verkregen uit eene vergelijking van het licht der Sterren met dat der Zon; die welke men insgelijks kan afleiden uit de Tafel der betrekkelijke intensiteiten of lichtsterkten van verschillende Sterren, door Laugier berekend met behulp dier zoo schoone handelwijzen, waarmede Arago de Sterrenkunde heeft verrijkt; die eindelijk welke Seidel in 1862 heeft aangegeven, vergunnen ons, in weerwil van de noodwendig aan zulke onderwerpen verknochte verschillen, eene nieuwe schrede te doen, en te verzekeren dat ook de schattingen van William Herschel nog grootelijks boven de wezenlijke waarden zijn.

Volgens de metingen van Sir John Herschel toch, zou het licht der Zon 22 000 millioenmaal grooter zijn dan dat der Ster α van Centaurus (*alpha Centauri*); maar indien men de Zon verplaatste op den afstand waarop zich die Ster bevindt, 226 duizendmaal verder van ons dan zij werkelijk staat, dan zou haar licht het vierkant van 226 duizend of 51 000 millioenmaal kleiner worden. Het zou dan kleiner zijn dan het licht van α Centauri, en wel in de verhouding van 51 tot 22. De lichtende oppervlakten der beide Hemellichamen zouden bij gevolg dan ook die zelfde verhouding hebben, mits men ouderstelle, gelijk men vrij natuurlijk schijnt te mogen doen, dat zij beide in ieder harer punten een zelfde lichtgevend vermogen bezitten. Volgens de allereerste gronden der Meetkunde zullen de diameters op hunne beurt uitgedrukt worden door de getallen 5 en 7, ten naastenbij gelijk aan de vierkantwortels uit 22 en 51, welke de beide oppervlakten voorstellen; met andere woorden, als de diameter der Zon zich aan ons voordoet onder eenen hoek van omtrent 2 000 seconden, dan zal die van α Centauri, op denzelfden afstand gezien, 2 800 seconden bedragen, dat is, de eerste diameter (2000") vermeerderd in de verhouding van 5 tot 7. Hieruit maakt men gemakkelijk op, dat hij, gezien uit den 226 duizendmaal grooteren afstand, waarop de Ster zich werkelijk bevindt, ook 226 duizendmaal kleiner zal schijnen en slechts een hoek van 2 800 seconden gedeeld door 226 duizend of van ongeveer $\frac{1}{81}$ seconde zal onderspannen. Eene uitkomst verre beneden die, waartoe Herschel's begrootingen zich hadden

bepaald, en veel beter in overeenstemming met de snelheid der bedekkingen, die de Maan te weeg brengt, daar zij, in tijd, slechts aan den duur van $\frac{1}{40}$ seconde zou beantwoorden (*).

Sir John Herschel houdt Sirius voor viermaal helderder dan α Centauri, en gevolgelijk voor 5500 millioenmaal minder lichtgevend dan de Zon. Daar zijn afstand van de Aarde 1373 duizend maal grooter is dan die der laatstgenoemde Ster, zullen volkomen dezelfde redeneeringen en berekeningen als de voorgaande de getallen 55 en 18 851 geven voor de verhouding tusschen het licht of de uitgestrektheid der lichtende oppervlakten; gevolgelijk de vierkantswortels (7, 4 en 137, 3) dier getallen of, eenvoudiger, *een en achttien en een half* voor de verhouding tusschen de diameters. Op den afstand, die ons van de Zon scheidt, zou Sirius zich dus aan ons voordoen onder eenen hoek van 37 duizend seconden ($18\frac{1}{2}$ maal 2000 seconden); hetgeen den hoek-diameter, onder welken wij hem werkelijk zien, herleidt tot 37 duizend seconden gedeeld door 1373 duizend of tot een boog van $\frac{1}{37}$ seconde.

Bij een licht, volgens Augier's waarnemingen gelijk aan zes tiende van Sirius' licht, en op een 785 duizendmaal grooteren afstand dan die der Zon, zou de Ster α Lyrae eene oppervlakte gelijk aan 67 en eenen diameter gelijk aan 8 hebben, wanneer de oppervlakte en de diameter der Zon respectievelijk door *een* worden voorgesteld. Hieruit wordt lichtelijk afgeleid, dat $\frac{1}{9}$ seconde de hoek is, onder welken wij deze Ster zien.

Eindelijk, 61 van den Zwaan (61 *Cygni*), omtrent tweehonderdmaal minder helder dan α Lyrae, en 589 duizendmaal verder van ons verwijderd dan de Zon, zou voor de som der beide Sterren, waaruit zij bestaat, slechts eene oppervlakte gelijk aan *een vijfde* van het zonnevlak opleveren. Haar diameter zou meer dan de helft kleiner zijn dan die der Zon, en de hoek, onder welken wij dien diameter zouden zien, zou te nauwnood $\frac{1}{60}$ seconde te boven gaan.

De schijnbare diameters der Sterren zijn alzoo, gelijk ik had gezegd, aanmerkelijk kleiner dan die, welke W. Herschel verkreeg, hoewel reeds deze zulk eene groote vermindering ondergaan hadden. 't Is bovendien klaarblijkelijk, dat de voorgaande getallen, indien men, met Wollaston, aan zekere Sterren in ieder harer punten een grooter licht dan aan de Zon toekende, nog

(*) Deze uitkomst heeft niets onbestaanbaars met die, welke voor α Centauri eene massa iets minder dan die der Zon oplevert. Zij duidt zelfs geene ongelijkheid in de physische gesteldheid der beide Hemellichten aan. Wij zullen toch alras zien, dat de Zon licht geeft met het uitwendig oppervlak van hare zeer hooge atmosfeer. Vermeerderd de afmetingen dezer laatste, en gij zult er toe geraken om met eene betrekkelijk vrij geringe massa eene Ster van aanzienlijk volumen te vormen. Het tegendeel zal plaats hebben indien gij de hoogte der atmosfeer vermindert. Met ongeveer dezelfde physische gesteldheid en massa zullen twee Sterren dus zeer verschillende volumens kunnen hebben.

meer verkleind moeten worden voor de gezegde Sterren, wier oppervlakten alsdan aan uitgebreidheid verliezen zouden wat zij wonnen aan licht. De rechtstreeksche bepaling van nieuwe parallaxen zal eenmaal, buiten allen twijfel, het middel aan de hand geven om de resultaten met volle zekerheid algemeen te maken. Intusschen leveren de boven aangehaalde cijfers reeds nu deze andere gevolgtrekking op, dat onze Zon beschouwd mag worden als eene Ster van gemiddelde grootte, daar zij in oppervlakte, of althans in volstrekt licht, beneden zekere Sterren staat, terwijl zij andere weder overtreft.

95. **Nevelsterren. — Hare afmetingen.** — Wij hebben reeds vele redenen van gelijkstelling gevonden tusschen de vonkelende punten, die aan het Uitspannel wemelen, en het schitterende Hemellichaam, dat zooveel licht en warmte op onze Aarde uitstort. Nogtans hebben wij niet alles gezegd. Sedert twee eeuwen hebben de Sterrenkundigen ontdekt, dat de Zon omgeven is door een nevelachtig hulsel van ontzettende uitgestrektheid, aanmerkelijk afgeplat maar zeer breed (omtrent 160 millioen kilometers), welk hulsel naar alle waarschijnlijkheid gevormd wordt door tallooze kleine lichamen, welke rondom dezen bol loopen en hem, terwijl ze zijn licht terugkaatsen, uit aanzienlijke verte gezien, het voorkomen geven van eene Ster, die door hooge atmosferische lagen is omgeven. Welnu, dit voorkomen vindt men terug bij verschillende Sterren, het eerst waargenomen door Mairan, die reeds in 1731 het nevelachtig hulsel of de nevelvlek beschouwd had als eene atmosfeer, vervolgens onderzocht door Lacaille of door andere Sterrenkundigen, enz., en later beoefend door W. Herschel onder den naam van *Nevelsterren*. Tot dusverre kent men onder die Sterren geene, die boven de 6de grootte gaan, wellicht omdat het te groote licht der schitterende Sterren het licht der Nevelster verdooft. Maar rondom verscheidene kleine Sterren heeft Herschel Nevelsterren gemeten, die bogen zelfs van 300 seconden onderspannen, en die gevolgelijk, wanneer men bij haar eene parallax van 2 seconden onderstelt, dwars-afmetingen bekomen, gelijk aan 150maal 152 millioen kilometers, en afmetingen van meer dan 44 000 millioen kilometers, indien men hare parallaxen terugvoert tot de veel waarschijnlijker, hoewel gewis nog veel te groot gestelde waarde van ééne seconde.

Sommige Sterrenkundigen hebben gearzeld dergelijke afmetingen voor de Nevelsterren aan te nemen, en onderstelden liever, dat deze voorwerpen, in plaats van een geheel met de Sterren uit te maken, stofhoopen waren, die in de ruimte rondzwerven en zich tijdelijk tusschen de Sterren en ons komen plaatsen. 't Is waar, dat Herschel in 1811 niet meer de Nevel-

sterren zag, die hij in 1774 rondom twee kleine Sterren van het sterrenbeeld Orion had waargenomen; dat men tegenwoordig niet meer de Nevelsterren terugvindt, die, volgens Lacaille, 5 kleine Sterren van het Sterrenbeeld Argo omgaven; dat nog weinig tijds geleden Chacornac de verschijning en verdwijning zag van de Nevelster eener Ster van de 11de grootte, dicht bij ζ van den Stier (*zeta Tauri*), enz. Zou men echter niet evenzeer mogen aannemen dat de verdwenen Nevelsterren zich verdicht hebben rondom de centrale Sterren? Die onderstelling is te meer aannemelijk, daar de Nevelsterren over 't algemeen allengs en regelmatig flauwer worden naarmate zij zich verwijderen van de Ster, die zij omgeven en het niet waarschijnlijk voorkomt, dat zoodanige resultaten het gevolg eener werking van projectie zouden zijn.

Voor 't overige zal de beoefening der eigen bewegingen ongetwijfeld alle onzekerheid weldra doen ophouden, hetzij door de scheiding van zekere Sterren en hare Nevelsterren te staven, in welk geval haar aanvankelijk voorkomen eenvoudig een gevolg der plaatsing op ééne lijn zou zijn geweest, hetzij door te bewijzen, dat de Nevelsterren en de Sterren van zekere stelsels dezelfde beweging hebben, hetgeen een innig verband tusschen de beide lichamen boven allen twijfel zou verheffen. Reeds nu is het zeer waarschijnlijk, dat de gevallen van onderlingen samenhang menigvuldig zullen zijn. Ik moet er intusschen bijvoegen, dat de beschouwing der Kometen ons later bekend zal maken met het bestaan van onmetelijke niet uit zich zelve lichtende Nevelsterren, die, als zij voorbij zekere Sterren gaan, wel de oorzaak kunnen wezen van het voorkomen, dat bij eenige onder haar is waargenomen.

96. Planeetvormige Nevelvlekken. — Theorie van Arago. — De behandeling van de Nevelsterren brengt ons van zelve tot die van eene andere klasse der hemelsche voorwerpen, welke door W. Herschel *planeetvormige Nevelvlekken* werden geheeten en die Arago geneigd scheen als volkomen eenerlei met de eerstgenoemde te onderstellen, van welke zij voor ons alleen door grootere afstanden van de Aarde verschillen zouden. 't Zijn ophooping van lichtstof, rond of eenigszins elliptisch van gedaante, onderspannende hoeken van 10, 30, enz., ja van 160 seconden, en vertoonende een gelijkmatig licht over hare gansche oppervlakte, behalve somwijlen naar de randen, waar het licht een weinig afneemt. Van laatstgezegden aard was de planeetvormige Nevelvlek die Méchain zeer dicht bij β van den Grootten Beer (*beta Ursae majoris*) ontdekte, en aan welke sir John Herschel eenen diameter van 2 minuten 40 seconden (2'40") toekent.

Aannemende dat zoodanige massa's tot omhulsels der Sterren

dienen, geeft Arago verklaring van 't verdwijnen van het vonkelend middelpunt door deze zeer eenvoudige opmerking, dat, daar het licht van een lichtgevend voorwerp vermindert in de verhouding van het vierkant des afstands, de tot een enkel punt geworden Ster des te flauwer zal schijnen naarmate zij op grooteren afstand staat, terwijl daarentegen de oppervlakte der Nevelvlek, ofschoon het licht van ieder harer punten, evenals dat der Ster, door de vermeerdering van den afstand zal verminderen, zich nogtans steeds even helder zal moeten vertoonen. De verschillende punten toch, waaruit zij bestaat, zullen nader bijeenkomen naarmate zij zich van ons verwijderen. Het licht der nevelvlek zal zich dus als 't ware verdichten door de schijnbare verkleining van de lichtende oppervlakte, terwijl de verschillende punten van hunne eerste lichtsterkte zullen verliezen; en men kan zich met behulp van de eerste gronden der meetkunde gemakkelijk overtuigen, dat de verdichting der lichtpunten juist toeneemt als het vierkant van den afstand, zoodat de door ieder punt geleden verflauwing volkomen wordt opgewogen.

Theorie van Herschel. — Zóó had Herschel de planeetvormige Nevelvlekken niet beschouwd. Die massa's, niet minder merkwaardig door de uitgestrektheid en de regelmatigheid van hare omtrekken als door de gelijkvormigheid van haar licht, waren voor hem lichtstof, welker verschillende punten zich al eens samenhoopten en Sterren voortbrachten. Zij zouden alzoo wezenlijk van de eigenlijk gezegde Nevelsterren verschillen, vooral bij de onderstelling, dat de nevelige omhulsels dier Sterren hun licht van 't centraal-punt ontvangen. Wat er overigens zijn moge van theorieën, over welker nauwkeurigheid alleen een lange reeks van waarnemingen uitspraak vermag te doen, wij moeten 't van nu af als een erkend feit beschouwen, dat zekere lichamen van het Uitspansel, bij volkomen regelmatige gesteldheid en vormen, afmetingen hebben, waarvan noch de Aarde, noch zelfs de Zon, ondanks haar veertienhonderd duizendmaal grooter volumen dan dat van onzen bol, in staat zijn ons een denkbeeld te geven.

97. **Nevelvlekken.** — Maar de hemelverschijnselen worden nog veel grootscher, wanneer men in plaats van de Nevelsterren of de planeetvormige Nevelvlekken te beschouwen, zijne aandacht vestigt op de talloze verzamelingen van verstrooide lichtstof, waarvan Herschel in 1811 eene Lijst heeft in 't licht gegeven, en die aan den Hemel zich vertoonen als witachtige vlekken, onder vormen, even zonderling als die van de door winden voortgejaagde wolken. Eenige van die *op geenerlei wijze in Sterren te ontbinden vlekken*, van die eigenlijke *Nevelvlekken*, zooals men ze noemt, hebben hoekmaten boven 4 graden, afmetingen van 15 duizend seconden. In de onderstelling, dat hare parallax *ééne*

seconde bedraagt, waardoor zij even dicht bij ons geplaatst worden als de meest nabijzijnde Sterren, zouden zij gevolgelijk werkelijke afmetingen van ongeveer 2 biljoen 400 duizend millioen kilometers hebben. En, houdt het wel in 't oog, deze afmetingen, *zeventienhonderd duizendmaal* grooter dan die der Zon, aan welke dan een volumen zou ten deel vallen 5 *triljoenen*-maal kleiner dan 't volumen der Nevelvlekken, die afmetingen zijn, naar alle waarschijnlijkheid, veeleer overdreven in kleinte dan in grootte, want men kent geene parallaxen van ééne seconde voor de sterrengewesten waar de Nevelvlekken geplaatst zijn.

De Catalogus van Herschel bevat eene lijst van 32 dezer lichamen. Men bezit tegenwoordig voortreffelijke teekeningen van verscheidene hunner, en men bemerkt daarbij hier en daar nu eens eene soort van Sterren, helderder dan het overige der Nevelvlek, maar vaak weder zelve omgeven door eene soort van betrekkelijk donkeren lichtkrans, of gepaard met scheuren in de lichtende oppervlakte, alsof zij ten koste der omringende stof ontstaan waren; dan weder ontwaart men er eenige Sterren, die wellicht zelve voortkomen uit eenen staat van verdichting, verder gevorderd dan die der kernen. Zekere Nevelvlekken vertoonen evenwel een regelmatige elliptische gedaante of wel den cirkelvorm, en bevatten dan vaak, binnen haren omtrek, ééne of twee dubbele Sterren. Zij zijn in dit geval over 't geheel veel kleiner dan de onregelmatige Nevelvlekken; want in plaats van hoeken te onderspannen, die verscheidene graden bedragen, onderspannen ze doorgaans slechts hoeken van weinige minuten. Alleen — en dit is een bijna zeker teeken van gemeenen oorsprong — een dun netwerk van lichtstof verbindt ze somwijlen met elkander, openbarende alzoo in de groote massa's van het Uitspansel de onophoudelijke werking dier onmetelijke macht, die gewisselijk voortgaat met uit den chaos de Sterren te doen opdagen, gelijk zij op onze Aarde elken dag licht en leven doet ontstaan uit de verbinding der schijnbaar werkelooste elementen (*).

98. **Sterrenhoopen of ontbindbare Nevelvlekken.** — W. Herschell nam aan den Hemel plaatsen waar, geheel van Sterren ontbloot, en, vreemd verschijnsel! 't is juist in de nabijheid dier *verwoeste* plaatsen, zooals hij ze noemde, dier *kolen-gaten*, gelijk eenige Sterrenkundigen ze heeten, dat men doorgaans de talrijkste Sterren aantreft, doch verenigd in hoopen

(*) D'Arrest heeft onlangs eene der merkwaardigste bijzonderheden ontdekt, welke andere Sterrenkundigen, inzonderheid Le Verrier en Chacornac, onmiddellijk bekrachtigd hebben. Het geldt de verdwijning eener Nevelvlek, in 1852 ontdekt door Hind, opgenomen door Chacornac in zijne *Waarnemingen* van 1854, en geheel en al onzichtbaar in 1862. Zouden er veranderlijke Nevelvlekken zijn, gelijk wij zekere veranderlijke Sterren kennen? of wel, zou er donkere stof door de ruimte zweven, die de Nevelvlek van Hind tijdelijk voor ons bedekt? Belangrijke vragen, maar die wij tegenwoordig onmogelijk kunnen oplossen en die misschien nog langdurige nasporingen zullen vereischen.

of groepen, en makende alzoo eene nieuwe klasse van Nevelvlekken, de klasse der *ontbindbare Nevelvlekken* of der *Sterrenhoopen* uit. Ik heb reeds gezegd (§ 67), toen wij den afstand der Sterren behandelden, dat de bijdrage, door W. Herschell en eenige andere Sterrenkundigen, Lord Ross, Sir John Herschel, Auwers, d'Arrest, Bond, enz., tot de vroeger bekende 95 of 100 Nevelvlekken geleverd, omtrent 5000 beliep (*). Vermelden we thans, om in weinig woorden de geschiedenis der sterkst uitkomende bijzonderheden te voltooien, dat de Sterrenhoopen in 't algemeen een afgeronden vorm hebben, maar dat men ook somwijlen bij hen een vrij zonderling voorkomen aantreft; dat zij nu eens gelijken naar dunne, meer of minder langwerpige, meer of minder afgeplatte lichtnetten, dan weder naar spiralen, naar pluimbossen, of naar ringen, gelijk, onder anderen, de kroon van Sterren, die de Franschman Darquier te Toulouse ten jare 1779 in de Lier ontdekte, en welke later beoefend werd door Herschel, wien men de kennis dankt van het zwarte gat, dat ongeveer de helft des diameters, omtrent het midden van den Sterrenhoop, beslaat. Vermelden we mede, dat eenige dezer groepen, inzonderheid die, welke de namen *Amas*, *Plejaden*, *Hyaden*, *Krib van den Kreeft*, enz. dragen, zich gemakkelijk in Sterren laten ontbinden, hetzij met het ongewapend oog, hetzij door middel van een bril of een weinig vergrootenden kijker; terwijl andere daarentegen de hulp van meer vermogende optische werktuigen vorde-

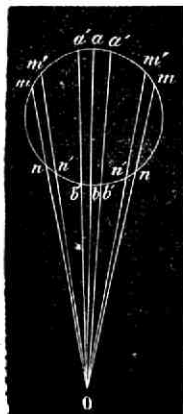


Fig. 59.

ren, en de meeste alleen door zeer sterk vergrootende kijkers te ontbinden zijn. Vermelden we ook, dat bij de bolvormige Sterrenhoopen de lichtverandering, snel naar het middelpunt, alwaar echter de dikten *ab*, *a'b'*, uit het punt O gezien (fig. 59) niet veel verschillen, langzaam daarentegen naar de randen, alwaar evenwel de dikten *mn*, *m'n'*, enz. vrij spoedig aangroeien, op eene condensatie van Sterren schijnt te wijzen, aanmerkelijker rondom het eerste punt dan in de nabijheid der tweede, en bij gevolg eene neiging dier lichamen om zich te vereenigen. Vermelden we eindelijk, dat, ondanks de onmogelijkheid eener telling in groepen, die het voorkomen van melkachtige vlekken van weinig of geen uitgebreidheid hebben, men er toch bij enkele onder haar in geslaagd is het verbazend getal van twintig duizend Sterren waar te nemen.

(*) De Catalogus, die Sir John Herschel in 1863 heeft in 't licht gegeven, bevat 5079 Nevelvlekken.

Er bestaat bovendien geene zoo volstrekte neiging tot condensatie, dat men in den Hemel niet eenige uitzonderingen op de algemeenheid van 't verschijnsel zou aantreffen. Het Sterrenbeeld de Zwaan, bij voorbeeld, bevat een Sterrenhoop van ongeveer 300 duizend Sterren, die bezig schijnt te zijn met zich vaneen te scheuren, om twee afzonderlijke Sterrenhoopen te vormen, naar tegengestelde richtingen heengevoerd. Maar zoodanige uitzonderingen schijnen vrij zeldzaam te moeten zijn; want de loop der Sterren naar elkander heen is een onmiddellijk gevolg der wederzijdsche aantrekking, welker bestaan buiten twijfel gesteld is door de analogie met de Zon en door de bewegingen der dubbele Sterren. Eene omstandigheid — verzuimen we niet het hier op te merken — wel geschikt om ten volle een der schoonste denkbeelden van W. Herschel te wettigen; ik bedoel: de trapsgewijze condensatie der Sterren in 't binnenste van elken Sterrenhoop; de vorming der verschillende Sterrenhoopen door de vereeniging der Sterren, die eens de nu *verwoeste* ruimten bevolkten; de opeenstapeling, eindelijk, der Sterrenhoopen zelve in zekere punten des Hemels, alwaar de beroemde onderzoeker van 't Uitspansel, niet ver van plaatsen zonder Sterren, als het ware laagsgewijze verzamelingen van Sterrenhoopen vond, onder anderen eene zeer breede laag dier lichamen, gaande van Cassiopeia naar de Maagd, en bijna perpendiculair op den Melkweg.

99. **Melkweg.** — De Melkweg! onmetelijke samenhooping, in welks binnenste wij gedompeld zijn, en die nog zoo veel geheimzinnigs bevat. Want men vindt er evenzeer: en lichtstof of Nevelvlekken, die niet te ontbinden zijn, althans niet met onze altijd te min vermogende werktuigen, ondanks de verbeteringen, die zij sedert het midden der vorige eeuw dagelijks ontvangen; en Sterrenhoopen, wellicht ontstaan uit de vaneenspatting, de verbrijzeling der Nevelster; en enkelvoudige Sterren van allerlei grootten. W. Herschell onderzocht den Melkweg op het zorgvuldigst in al zijne deelen; hij peilde hem in elke richting met zijn veelvermogenden telescoop; en terwijl hij somwijlen bij de 600 Sterren in het veld van zijn werktuig vond, zag hij integendeel op een anderen keer slechts een enkel van die Hemellichten. Zekere gedeelten van den Sterrenhoop, voorbij den onbeweeglijken toestel gaande, deden er in een kwartier uurs tot 116 duizend Sterren in zichtbaar worden, en weldra volgden op die vonkelende rijkdommen de *verwoeste* ruimten. In 't kort: groote vlokken van verstrooide lichtstof en ontelbare millioenen Sterren, hetzij afzonderlijk, hetzij vereenigd bij groepen, vormende in haar geheel — wij merkten 't reeds aan — eenen gordel, misschien een naar zijn middelpunt ontvolkten ring, gelijk de Nevelring in het Sterrebeeld de Lier, eene soort van rad einde-

lijk, welks diameter ongeveer zesmaal meer dan zijne dikte zal bedragen en waarvan onze Zon een deel moet uitmaken, — zie daar ten naastenbij wat, naar den tegenwoordigen stand onzer hemelkennis, de Melkweg is.

100. **Wolken van Magellaan.** — En die beide andere Neveloorden, die de Portugeezen eerst *Wolken van de Kaap*, later *Wolken van Magellaan* noemden, waarvan het licht, de uitgestrektheid, de afgezonderde plaats aan den Hemel, de dagelijkse omwenteling rondom het punt, dat men de *Zuidpool* van 't sterrengevel noemt, zoo levendig de belangstelling van den reiziger, die de zuidelijke streken des aardbols doorkruist, gaande maken, maar die door de nasporingen van Sir John Herschel nog oneindig merkwaardiger zijn geworden voor de Europeesche Sterrenkundigen, die het voorrecht moeten derven van met eigen oog zulke wonderen te kunnen beschouwen! die neveloorden, waarin de waardige zoon des grooten waarnemers, wien wij ongeveer alles danken wat ons gegeven is tot dusverre van den *Melkweg* te weten, al de verscheidenheden der in 't Heelal voorkomende scheppingen ontdekte, gelijk zijn vader zulks deed in de door hem zoo uitstekend beoefende, wijd uitgestrekte Nevelstreek: meer of minder verdichte nevelachtige stof, bolvormige Nevelvlekken, afzonderlijke Sterren, samenhoopingen van Sterren — hoeveel belangrijke vraagstukken zijn niet daarin voor de toekomstige eeuwen weggelegd! Evenwel, wij zijn 't aan Sir John Herschell verschuldigd, reeds nu te kunnen zeggen, dat de grootste der twee Magellaansche wolken, over eene vlakke-uitgebreidheid van omstreeks 42 vierkante graden, niet minder te zien geeft dan 565 Sterren, 47 verzamelingen van Sterren, 2 bolvormige Sterrenhoopen en 305 met den telescoop niet te ontbinden Nevelvlekken, en dat men in de kleinste, welker oppervlakte nauwelijks boven 10 vierkante graden gaat, 198 Sterren, 39 Sterrenhoopen en Nevelvlekken en 7 verzamelingen van Sterren kan tellen.

101. Besluiten wij onze beschouwing der nevelachtige plaatsen aan den Hemel met de opmerking, dat de eigen beweging der Zon, die, als wij zagen, bepaald wordt in verhouding tot de Sterren, welke een deel van den Melkweg uitmaken, kennelijk niets anders is dan eene betrekkelijke beweging, waarbij men die van den ganschen Melkweg zou moeten voegen, om de volstreckte beweging te verkrijgen. Maar zou het heden ten dage mogelijk zijn de verplaatsing van den Melkweg te kennen? Te dezen opzichte schieten de waarnemingen van Sterrenhoopen tot dus verre te kort. Men mag echter verwachten, dat het niet altijd zoo wezen zal, want Laugier zet sedert eenige jaren een gewichtigen arbeid voort aangaande de eigen bewegingen dier groote verza-

melingen, welke, tot herkenningpunt aangenomen, eenmaal voorzeker vergunnen zullen om voor de Sterrenhoopen en Nevelvlekken datgene te doen wat men reeds voor de Sterren heeft gedaan; gevolgelijk de beweging des Melkwegs te bepalen met behulp van de eigen bewegingen van nevellichamen, gelijk men met behulp der eigen bewegingen van Sterren de eigen beweging der Zon bepaald heeft.

102. — Alleen de mensch, onder alle ons bekende geschapen wezens, weet dat hij sterven moet, en evenwel scheidt hij er behagen in de overleveringen van den voortijd bijeen te zamelen, en zelf weder overleveringen te bereiden voor degenen, die na hem zullen komen. Terwijl alles rondom hem onbezorgd dag-uit dag-in leeft, zonder zich om iets anders dan om het genot en het leed van 't oogenblik te bekommeren, heeft hij alleen, te midden van de streelendste genietingen, een zekere onbepaalde, niet te beschrijven gewaarwording van treurigheid, ontwaart hij alleen een zeker pijnlijk voorgevoel, dat hem het einde dier genietingen voorspelt en hem vervult met den wensch naar hare vernieuwing, alvorens zij geheel zijn uitgeput. Hij alleen vertrouwt zich over de herinneringen, die zijner nagedachtenis zullen bijblijven, en over het lot der geliefde wezens, die hem overleven zullen. Die gewaarwordingen, die indrukken en de gestadige zielszucht waarmede zij gepaard gaan: zouden zij het werk der schepping, ondanks de volmaaktheid die het *in alle zijne deelen* bezit, niet onvolledig maken, indien ons vurig haken naar kennis, indien onze pogingen voor 't geluk der dierbare voorwerpen, welke wij hier beneden zullen achter laten, jammerlijk moesten uitloopen op de volstreekte vernietiging van het graf? God, die den mensch met zóóveel vrijgevigheid een deel zijner eigenschappen heeft geschonken, zal voorzeker zich niet voor eeuwig hebben willen onttrekken aan de eenige wezens, wien 't vergund werd hier zijn aanwezen te ontwaren; en zouden wij juist daaruit, dat het ons gegeven werd eenige der ons omringende verheven natuurgewrochten te bewonderen, zonder ze tegenwoordig nog geheel te begrijpen, niet het besluit mogen opmaken, dat wij, na de Aarde te hebben vaarwel gezegd, de Zonnen onder onze voeten zullen zien wentelen (*)?

(*) «Morgen zal ik de Zonnen onder mijne voeten hebben»: woorden van den Franschen president Sarou, lid van de Academie der Wetenschappen te Parijs, op het schavot gestorven als een slachtoffer van de groote omwenteling der vorige eeuw.



ACHTSTE LES.

terrenbeelden. — Oude Sterrenbeelden ten getale van 48 of 50, voor de 1022 Sterren, wier plaats door Hipparchus is bepaald. — Zoogenaamde vormeloze Gesternten. — Nieuwere terrenbeelden. — Dagelijksche beweging van den Sterrenhemel; gebruik van den theodoliet. — Meridiaan-vlak, bepaald door de hoogste en laagste punten der dagbogen, die de Sterren beschrijven. — Hoofdpunten des Hemels. — Azimuths. — Horizon. — Zenith en Nadir. — De dagelijksche beweging des Hemels is cirkelvormig en gelijkmatig. — Equatoriaal-werktuig. — As der wereld. — Polen der wereld. — Sterredag, Ur- of declinatie-cirkels. — Parallellen. — Aequator. — Halfronden. — Rechte opklimming en uurhoeken. — Declinatiën. — Coördinaten. — Maur- en meridiaan-cirkels. — Meridiaan-kijker. — In catalogus gebrachte Sterren. — Niet in catalogus gebrachte Sterren; haar vermoedelijk getal. — Hemelkaarten en Hemelatlansen. — Mythologische scheppingen, ontleend aan de bewegingen des Hemels. — Vonkeling der Sterren; verklaring door Arago daarvan gegeven. — Gevolgtrekkingen. — Noot over de meridiaan-instrumenten, het Dradennet, den Nonius, den Vernier, enz.

103. — De eerste waarnemers, die de Sterren wenschten in klassen te brengen en ze steeds te kunnen vinden, moesten er wel van zelve toe komen om het oppervlak van 't Hemelgewelf in een zeker getal vakken te verdeelen, en de verschillende groepen, die zich in elk dier vakken bevonden, nauwlettend gade te slaan. Dit denkbeeld is zoo natuurlijk, dat het ook was opgekomen bij de volken van Amerika, alwaar de Europeanen het verwezenlijkt vonden bij de bewoners van Peru, Canada, enz., die tegen de gevaarlijke dieren vele hunner *Asterismen* of *Constellatiën* inriepen. Met beide vreemde namen, gevormd van de latijnsche woorden *astrum* (grieksch *ástron*) en *stella*, ster, worden die aan den Hemel gemaakte afdeelingen aangeduid, welke wij *Sterrenbeelden* heeten.

Sterrenbeelden. — Men stelt gewoonlijk op 1400 jaar vóór onze tijdrekening den oorsprong der Sterrenbeelden, ten minste van die, welke de Sterrenkundigen nog tegenwoordig erkennen; want de Chineezen schijnen reeds veel eeuwen vroeger de hunne gehad te hebben. De namen dezer Sterrenbeelden werden door de Chaldeërs, de Egyptische priesters of de Grieken ontleend nu eens aan eenige gelijkvormigheid met eene kroon, een wagen, een kruis, enz., dan eens aan de zucht om de nagedachtenis van personen te vereeuwigen of onderscheidene wezens der schepping aan den Hemel te plaatsen, dan weder aan zekere verhoudingen, aan zekere invloeden, die men bij de Hemellich-

ten meende te bespeuren. Ze zijn ons ten getale van 48 nagelaten door Hipparchus, die zelf eenige Sterrenbeelden samenstelde, of liever door Ptolomeus, die in zijnen *Almagest* de lijst der 1022 Sterren, welker stand door Hipparchus bepaald was, heeft bewaard. Ziehier die Sterrenbeelden, tot drie klassen gebracht en vergezeld van eenige der namen, die de Egyptenaren, of de Grieken, of, veel later en lang na Hipparchus, de Arabieren aan de Sterren gegeven hebben.

Oude Sterrenbeelden, eerst ten getale van 48, later van 50, voor 1022 Sterren, wier plaats door Hipparchus is bepaald. — EERSTE KLASSE. — 21 noordelijke Sterrenbeelden in 't noordelijk halfrond der hemelsfeer, boven een vlak, dat wij onder den naam van *Ecliptica* zullen leeren kennen.

1°. De *Groote Beer* (eigenlijk *Berin*) of de *Groote Wagen*, zoo geheeten òf omdat dit Sterrenbeeld, gelijk de beer, zich nimmer ver van 't Noorden verwijdert, òf om de gelijkenis zijner hoofdsternen op een wagen. De Romeinen gaven den naam van *teriones* aan de ploegossen, en met het woord *Septem-teriones* (zeven ploegossen) duiden zij de zeven voornaamste sterren van den Grooten Wagen aan. Van daar de naam *Septentrio* (Fransch *Septentrion*), dien men aan 't Noorden geeft.

2°. De *Kleine Beer* (of *Berin*) of de *Kleine Wagen*. — Zelfde redenen van naamgeving als voor den Grooten Beer. — Dit Sterrenbeeld bevat de *Poolster*, waaraan de zeelieden der Middellandsche Zee ook den naam van *Tramontane* (*Trans montes*, aan gene zijde der bergen) geven, omdat zij haar achter de Alpen of de Pyreneën zien. Deze Ster (α van het Sterrenbeeld) wijst hun de richting van 't Noorden aan. Vóór het gebruik van 't kompas, den chronometer, enz. beteekende de *Tramontane kwijt raken* zooveel als het middel tot koersneming verliezen. Vandaar dat men dezelfde zegswijs bezigt van iemand, die van zijn stuk raakt, die niet weet wat hij zeggen of doen zal.

3°. De *Draak*. — Ongetwijfeld wegens zijne gedaante.

4°. *Cepheus*. — Koning van Ethiopië, 1350 jaar vóór onze jaartelling.

5°. *Cassiopeia*. — Gemalin van Cepheus.

6°. *Andromeda*. — Dochter van Cepheus en Cassiopeia.

7°. *Perseus*. — Gemaal van Andromeda.

8°. *Pegasus* of 't *Geveugeld Paard*. Volgens Lucianus een zinnebeeld van het vernuft van Bellerophon, die de *Chimaera* ten onder bracht, dat is, wien het gelukte, vruchtbaarheid te geven aan eenen vulkanischen berg van Lycië, waarvan de kruin door de leeuwen, de hellingen door geiten, de voet door slangen bewoond werd, en waarvan de dichters een monster gemaakt heb-

Men geloof, dat deze vier Sterrenbeelden door den Centaurus Chiron zijn samengesteld, 1350 jaar vóór onze tijdrekening.

ben, dat vlammen braakte, hebbende het den kop van eenen leeuw, het lijf van eene geit, en den staart van eenen draak.

9° Het *Kleine Paard*.

10° De *Noordelijke Driehoek*. — Wegens den vorm van de drie voornaamste Sterren dezer Constellatie.

11° De *Wagenman*. — Bevat eene schoone Ster, de *Geit* (*Capella*) geheeten (α van het Sterrenbeeld).

12° *Boötes* of de *Berenhoeder*. — Dit Sterrenbeeld heeft de Ster *Arcturus* (α), van de eerste grootte.

13° De *Noorderkroon*. — De voornaamste Ster heet de *Parel* (α van het Sterrenbeeld).

14° *Ophiuchus* of de *Slangendrager*. — Ter gedachtenis van *Aesculaap*, den vader der Geneeskunde. — De Slang is het zinnebeeld van de wijsheid of het doorzicht van *Ophiuchus*, dien de oude astronomische kaarten voorstellen als ondersteunende met zijne handen het lijf van dit dier.

15° De *Slang*.

16° *Hercules*. — De beroemdste der heroën of halfgoden uit den Griekschen heldentijd.

17° De *Arend*. — Bevat de schoone Ster *Altair* (α van de Constellatie).

18° De *Pijl*.

19° De *Lier*. — Met de schoone Ster *Wega* of *Abwaki* (α van het Sterrenbeeld).

20° De *Zwaan*. — Met de Ster van de eerste grootte, *Deneb* (α van het Sterrenbeeld).

21° De *Dolfijn*.

TWEDE KLASSE, — 15 Zuidelijke Sterrenbeelden in 't zuid-halfronde, beneden de Ecliptica.

1° *Orion*. — Een mythologisch personage. Het Sterrenbeeld bevat de drie schoone Sterren, die men de *Drie Koningen* noemt (ζ , ϵ en δ van het beeld), als ook die, waaraan men de namen *Betelgeuze* (α), *Rigel* (β) en *Bellatrix* (γ) geeft.

2° De *Walvisch*. — Hiertoe behoort de Ster *Menzar* (α), en de vroeger reeds genoemde *Mira* of de *Zonderlinge* (σ).

3° De *Vloed Eridanus* (de Po). — In welken Phaëton, de zoon der Zon, verdronk. Hij werd, zegt men, door de Egyptenaars onder de Sterrenbeelden geplaatst ter eere van den *Nijl*.

4° De *Haas*.

5° De *Groote Hond*. — Bevat de schoonste Ster des Hemels, *Sirius* (α van het Beeld), welke naam schijnt af te komen van *Osiris*, eene Egyptische godheid, of van den *Nijl*, dien men ook *Siris* noemde, of wel, volgens sommigen, van 't Grieksche woord *Seirian*, dat *schitterend* beteekent. — Zij vertoonde zich des

morgens, een weinig vóór de Zon, tijdens de overstroming van den Nijl. — 't Is waarschijnlijk, dat de naam van *Groote Hond* aan dit Sterrebeeld gegeven is, omdat het door zijne verschijning de Egyptenaars waarschuwde, gelijk de honden hunnen meester waarschuwen.

6° De *Kleine Hond*. — Bevat eene schoone Ster, *Procion* (α van het Sterrenbeeld).

7° De *Hydra* of *Vrouwelijke Waterslang*. — Met de schoone Ster *Alford* (α van het Sterrenbeeld),

8° De *Beker*.

9° De *Raaf*.

10° *Centaurus*. — Half mensch, half paard; ter eere van de herders des bergs *Ossa*, die de paarden leerden temmen, of mischien ter eere van slechts één dezer herders, den centaurus *Chiron*.

11° De *Wolf*.

12° Het *Altaar*.

13° De *Zuidervis*, waarin de schoone Ster α den naam van *Fomalhaut* draagt.

14° Het *Schip Argo*, naar den naam van zijn bouwmeester. — Het diende voor den tocht der Argonauten of voor 't overtrekken van de Propontis, nu de Zee van Marmora. — Het Sterrenbeeld bevat de schoone Ster *Canopus* (α), als eene hulde aan de Egyptische godheid *Canope* dus geheeten.

15° De *Zuiderkroon*.

DERDE KLASSE. — 12 Sterrenbeelden vervat in eenen gordel des Hemels, parallel aan de Ecliptica, door welks midden de Zon bij haren jaarlijkschen weg door de Sterren heen loopt, en waaraan men den naam van *Zodiak* of *Dierenriem* heeft gegeven. — Men heeft ten allen tijde aan de twaalf Sterrenbeelden van den Zodiak bijzondere teekens verbonden, die men onderstelt grootendeels Egyptische hiërogllyphen te zijn.

Lente-Sterrenbeelden. 1° De *Ram*. — Sterrenbeeld, waarin zich, 3000 jaar geleden, tijdens de vorming van den Zodiak, de Zon in de lente bevond, ten tijde als de lammeren werden geboren, tusschen den 21sten Maart en den 21sten April. Men stelt het voor door het teeken ∇ , dat, naar men wil, de horens van den ram moet verbeelden. Tegenwoordig staat de Zon te dien tijde in een ander Sterrenbeeld, en wel ten gevolge van een verschijnsel, dat wij eerlang zullen behandelen onder den naam van *praecessie der Aequinoxen* of *voortgang der nachteveningen*.

2° De *Stier*. — Een Sterrenbeeld, dat de Zon in hare jaarlijksche beweging tusschen den 21sten April en den 21sten Mei doorliep. — Het bevat de schoone Ster *Aldeba-*

Lente-Sterrenbeelden.

ran (α), die men ook wegens haren stand het oog van den Stier noemt; alsook de beide verzamelingen van Sterren, die men de *Hyaden* of *Regensterren* en de *Plejaden* of het *Zevengesternte* heet. Het astronomisch teeken van het Beeld is een Stierenkop γ .

3° De *Tweelingen*. — Aan den Hemel als Zinnebeeld der vriendschap, en vooral gekenmerkt door twee schoone Sterren α en β , *Castor* en *Pollux* genaamd. Weleer ging de Zon door dit Sterrenbeeld van den 21sten Mei tot den 21sten Juni. — Men duidt het aan door het teeken Π .

4° De *Kreeft*. — Dit Sterrebeeld kenmerkte, naar de denkwijz der Ouden den *teruggang* der Zon, die, na noordwaarts te zijn gestegen, met den 21sten Juni zuidwaarts begint te dalen. Men meende, dat de *Kreeft* achteruitloopt (*). — Het astronomisch teeken is $\var�$. Wat het moet beduiden is onbekend.

5° De *Leeuw*. — Zinnebeeld van kracht, dat, naar men wil, de sterke zomerhitte, tusschen den 21sten Juli en den 21sten Augustus, voorstelt. Deze Constellatie wordt aangeduid met het teeken \mathcal{Q} . — Het bevat de schoone Ster *Regulus* (α) en *Denebola* (β).

6° De *Maagd* of *Wijnleesster*. — Sterrenbeeld, dat vroeger samenviel met den tijd van den wijnoogst, van den 21sten Augustus tot den 21sten September. — Zijn niet te verklaren teeken is \mathcal{M} . — Het bevat de schoone Ster α , de *Korenaar* geheeten.

Zomer-Sterrenbeelden.

(*) De *Kreeft* heeft somwijlen aanleiding tot aardige misvattingen gegeven. Arago heeft mij verteld, dat *Cuvier*, zijn ambtgenoot aan 't bureau van het Instituut, eens door zekere vrienden, voor 't overige zeer geleterde mannen, maar weinig met wetenschappelijke studien vertrouwd, geraadpleegd werd over de natuur van den *Kreeft*, dien zij beschreven als een *roode visch, die achteruitloopt*. — Lfeve Hemel, gaf de beroemde natuurkenner ten antwoord, „strikt genomen, kan dat er wel door; alleen hadt gij kunnen zeggen, dat de *Kreeft geen visch is*; — ook hadt gij kunnen aanmerken, *dat hij niet rood is*; — gij hadt er zelfs kunnen bijvoegen, *dat hij niet achteruitloopt*. Op dat weinige na is uwe definitie onberispelijk.”

Dit brengt mij te binnen, dat een onzer uitstekendste schrijvers, van de *hummers* of groote zeekeefften sprekende, zeide: „die kardinalen der zee.”

Eenigen tijd geleden las ik in een dagblad van het recht het verslag van een proces over 't vissen van kreeften in verboden tijd. — Groot debat tusschen 't Openbaar Ministerie en den Advocaat, aangezien de eene partij beweerde, dat de *Kreeft* tot de visschen behoort, de andere, dat de *Kreeft* geenszins een visch is. — En de Rechtbank, niet wetende hoe het eigenlijk met de zaak gelegen was, nam de conclusie: „aangezien de *Kreeft*, volgens den Dictionnaire van Napoleon Landais, een *schaalvisch* is..... zoo verordeelt zij..... enz.

Daar de gelegenheid zich van zelf aanbiedt, vergunne men mij hier bij te voegen, dat andere rechtens onlangs, wegens dezelfde overtreding, tot vrijpraak concludeerden, in aanmerking nemende, dat de *Kreeft eenvoudig een schaaldier* is. Diegenen, voor wie dat feit onopgemerkt is voorbijgegaan, zullen 't mij niet kwalijk nemen, dat ik, mij herinnerende, dat de *Kreeft* het burgerrecht in de Sterrenkunde bezit, deswege nota heb genomen van de uitspraak van 't Hooge Gerechtshof, voor hetwelk de zaak in laatste ressort was gebracht. — Het hof, de bedoeling des wetgevers toelichtende, heeft verklaard, *dat de wet als visch beschouwt ieder (levend?) wezen, dat in 't water leeft*.

7° De *Weegschaal*. — Van den 21sten September tot den 21sten October. — Wij zullen later zien, dat op den 21sten September voor de gansche Aarde de dagen gelijk zijn aan de nachten. Deze gelijkheid wordt aangeduid door het zinnebeeld van 't evenwicht. — Ptolemeus echter geeft aan de Weegschaal den naam van *Klauen des Schorpioens*, doch Virgilius noemt ze Weegschaal en stelt ze voor als eene toespeling op de gerechtigheid van Augustus. — Bestond de naam reeds vroeger? Hoe dit zij, het Sterrenbeeld was aanwezig, daar Ptolemeus het vermeldt. — Men duidt het aan door den evenaar eener balans \equiv .

8° De *Schorpioen*. — Van den 21sten October tot den 21sten November. — Een venijnig insect, zinnebeeld der komst van het kwaad in de natuur, ten tijde als de bladeren afvallen, de herfstziekten beginnen, enz. — Het teeken is m . — Het bevat de schoone Ster α , *Antares* geheeten.

9° De *Schutter*. — Van den 21sten November tot den 21sten December. — De tijd der groote jacht. — Het teeken de pijl x zinspeelt kennelijk op den naam van de Constellatie.

10° De *Steenbok* of de *Geit*. — Een klouterend dier, aanduidende den terugkeer der Zon, die ophoudt naar het Zuiden te dalen en weder van den 21sten December af naar het Noorden klimt. — Het teeken z is eene samenvoeging der twee Grieksche letters τ (*tau*) en ρ (*rho*), waarmede het woord *tragos* (bok) begint.

11° De *Waterman*. — Te rekenen van den 21sten Januari, het zinnebeeld der regens, die omstreeks dien tijd in Europa vallen. — Voorgesteld door eene rivier w , komende uit de vaas, die de Waterman in de hand houdt.

12° De *Visschen*. — Naar sommige Schrijvers het zinnebeeld van 't vochtige winterweder, en volgens Dupuis van de overstroming des Nijls — voorgesteld door twee ruggelings vereenigde visschen x .

De volgende verzen van den dichter Ausonius moeten 't geheugen te gemoet komen om de latijnsche namen der 12 Sterrenbeelden van den Dierenriem in hunne volgorde te onthouden:

Sunt Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo,

Libraque, Scorpius, Arcitenens, Capre, Amphora, Pisces.

Oude Sterrenbeelden, als aanvulling. — Bij de 48 bovengenoemde Sterrenbeelden hadden de Ouden echter nog twee andere gevoegd: 1° het *Hoofdhaar van Berenice*, tot aandenken aan de Vorstin, die eene gelofte gedaan had van haar hoofdhaar aan Venus te offeren, indien haar gemaal, Ptolemeus Evergetes, die

ten krijg naar Azië was uitgetrokken, zegevierend mocht terugkeeren. — Dit bij uitstek schoone haar werd werkelijk in den tempel der godin neergelegd, maar het verdween des nachts; en daar de koning over deze verdwijning ontroostbaar was, wees de wiskunstenaar Cono hem aan den hemel eene groep Sterren aan, waaruit men het nieuwe Sterrenbeeld samenstelde, dat Ptolemeus (de schrijver van den Almagest) nogtans vermengd liet met dat van den Leeuw, alhoewel hij somtijds de Sterren van het Hoofdhaar vermeld heeft.

2° *Antinoüs*. — De gunsteling van keizer Adrianus, die voor hem in 't jaar 131 van onze tijdrekening altaren deed oprichten als voor eenen god. Ptolemeus spreekt ook van Antinoüs, zeggende dat dit Sterrenbeeld gevormd is ten koste van eenige Sterren des Arends, van welken laatste hij geen afzonderlijk Sterrenbeeld maakt.

104. **Zoogenaamde vormelooze Gesternten.** — Nieuwere Sterrenbeelden. — In 't geheel hebben de Ouden ons alzoo 50 Constellatiën nagelaten, die door even zooveel aan het hemelgewelf geteekende figuren vertegenwoordigd worden. Wat de Sterren betreft, die buiten deze figuren lagen, men noemde ze *vormelooze gesternten*. Maar sedert de eerste jaren der 18de eeuw hebben de latere Sterrenkundigen achtereenvolgens nieuwe Constellatiën gevormd, ten einde de ledige ruimten aan te vullen, die tusschen de oude Sterrenbeelden aanwezig waren. Ook gaf Bayer, volgens de zeer nauwkeurige beschrijving van den bekwamen stuurman *Peter Theodori*, in zijne hemelkaarten van 1603, de lijst van *twalf* nieuwe Zuidelijke Sterrenbeelden in 't licht, welker namen hier volgen.

12 Zuidelijke Sterrenbeelden, door Bayer in 1603 aan de vorige toegevoegd naar de beschrijvingen van Peter Theodori

- 1° De *Indiaan*.
- 2° De *Kraanvogel*.
- 3° De *Phoenix*.
- 4° De *Bij* of de *Indische Vlieg*.
- 5° De *Zuidelijke Driehoek*.
- 6° De *Paradijsvogel*.
- 7° De *Pauw*.
- 8° De *Toucan* of de *Amerikaansche Gans*.
- 9° De *Mannelijke Waterslang* of *Zuidelijke Slang*.
- 10° De *Zwaardvisch*.
- 11° De *Vliegende Visch*.
- 12° De *Kameleon*.

waarbij men nog zou kunnen voegen de *Groote* en de *Kleine Wolk*, die wij reeds behandeld hebben, doch die men over 't

algemeen niet beschouwt als eigenlijke Sterrenbeelden uitmakende.

6 Sterrenbeelden, door Bartsch in 1624 aan de andere toegevoegd. — De planisfeer van Bartsch, in 1624 uitgegeven, bevat ook de zes volgende Sterrenbeelden, die de latere Sterrenkundigen, zegt Bartsch, gevormd hebben in het gedeelte des hemels, dat in Europa zichtbaar is.

1° De *Giraffe* of *Kameelpardel*.

2° De *Tiger*, later in de kaarten van Hevelius veranderd in den *Vos met de Gans*. — Samengesteld uit de vormellooze Gesternten van Pegasus of het Grootte Paard, het Kleine Paard, den Zwaan en Ophiuchus.

3° De *Jordaan*, nu de *Jachthonden* of *Asterion* en *Chara*, volgens de kaarten van Hevelius. — Vormellooze Gesternten van den Grooten Beer en den Leeuw.

4° De *Vlieg* — *Lelie* geheeten in de kaarten van Royer, die in 1679 vervaardigd werden met behulp van de lijst met 1806 Sterren, die wij te danken hebben aan pater Anselmus, Karthuiser monnik te Dijon. — Gevormd ten koste van den Ram, den Stier, Perseus en den Driehoek.

5° De *Duif van Noach*. — Vormellooze Gesternten van den Haas en den Grooten Hond.

6° De *Eenhoorn* of de *Monoceros*. — Tusschen den Grooten en den Kleinen Hond.

2 Nieuwe Sterrenbeelden, door Royer gevormd. — De kaarten van Royer bevatten ook twee nieuwe Constellatiën.

1° De *Schepter* en de *Hand der Gerechtigheid*, later, in den atlas van Hevelius, vervangen door de *Hagedis*. — Tusschen Cepheus, den Zwaan, Pegasus en Andromeda.

2° Het *Zuiderkruis*. — Beneden Centaurus.

7 Sterrenbeelden, door Hevelius ingevoerd. — Hevelius, op zijne beurt, voegde in zijne kaarten bij de vroeger gevormde Sterrenbeelden nog de volgende Constellatiën:

1° De *Kleine Leeuw*. — Uit een gedeelte der Sterren van den Jordaan samengesteld.

2° De *Lynx*. — Uit een gedeelte der Sterren van den Tiger.

3° Het *Sextant van Urania*. — Tusschen de Hydra en den Leeuw. — Het sextant is een astronomisch werktuig der zeevaarders.

4° Het *Schild van Sobieski*. — Ter eere des konings van Polen. — Tusschen den *Arend* en den *Slangendrager*.

5° De *Kleine Driehoek*. — Tusschen den Grooten Driehoek en den Ram.

6° *Cerberus met den Tak*. — Tusschen Hercules, de Lier en den *Arend*.

7° De berg *Maenalus*.

2 Sterrenbeelden, uitgedacht door Flamsteed en Halley. — Flamsteed en Halley plaatsten van hunnen kant nog twee andere Sterrenbeelden aan den Hemel, ter eere van koning Karel II van Engeland:

1° Het *Hart van Karel II*. — Samengesteld uit Sterren van den Grooten Beer en uit de Jachthonden van Hevelius.

2° De *Eik van Karel II*, onder welken die koning de wijk nam na zijne nederlaag bij Worcester, den 3den September 1651. — Gevormd uit Sterren van het Schip aan den zuidelijken Hemel.

14 Sterrenbeelden van Lacaille. — In 1752 vulde Lacaille de ledige vakken, die er vóór hem aan den zuidelijken Hemel aanwezig waren, door de *veertien* volgende Sterrenbeelden aan, welker namen hij aan de voorwerpen van kunst en wetenschap ontleende:

1° De *Beeldhouwerswerkplaats*.

2° Het *Chemisch Laboratorium*.

3° Het *Uurwerk*.

4° Het *Dradennet*. — Een kleine astronomische toestel.

5° De *Graveerstift*.

6° De *Schildersezel*.

7° Het *Kompas*.

8° De *Luchtpomp*.

9° Het *Octant*. — Een astronomisch werktuig der zeelieden, even als het Sextant.

10° De *Passer*.

11° De *Liniaal met den Winkelhaak*.

12° De *Verrekijker*.

13° De *Microscop*.

14° De *Tafelberg*. — Vermaarde berg aan de Kaap de Goede Hoop, alwaar de groote arbeid van Lacaille op de Sterren van den zuidelijken Hemel werd verricht door eene witte wolk heen, die, zegt Lacaille, dezen berg als een tafellaken komt bedekken bij het naderen der sterke *Zuid-Oostenwinden*.

Eén Sterrenbeeld van Kirch. — Vóór Lacaille had de in 1710 overleden Sterrenkundige Kirch den *Schepter van Brandenburg* aan den Hemel geplaatst, tusschen den Vloed Eridanus en den Haas.

2 Sterrenbeelden van Le Monnier. — Le Monnier voegde in 1776, na het volbrengen zijner reis naar den Noordpool, twee Sterrenbeelden bij de andere:

1° Het *Rendier*. — Tusschen de Poolster en Cassiopeia. — Het werd later van den Hemel verjaagd.

2° De *Solitairevogel*. — Een vogel van Indië. — 22 vormeloze Gesternten van den Schorpioen, de Weegschaal en de Hydra.

7 Sterrenbeelden van Poczobut, Hell en Lalande.—Ziehier nog zeven Constellatiën, aan den Hemel gevormd door Poczobut, Sterrenkundige des Konings van Polen, door den abt Hell en door Lalande:

1° De *Stier van Poniatowski* (Poczobut). — Uit de Sterren begrepen tusschen den Arend en den Slangendrager.

2° De *Telescoop van Herschel* (Hell). — Tusschen den Lynx, de Tweelingen en den Wagenman.

3° De *Harp van George* (Hell). — Uit de vormelooze Gesterten van den Vloed Eridanus.

4° De *Oogstbewaarder* (Lalande). — Tusschen het (verjaagde) Rendier en Cassiopeia, — tevens in zijn Franschen naam *Messier* (latijn *Custos Messium*) zinspelende op den verdienstelijken Franschen Sterrenkundige, die, zegt Lalande, „sedert meer dan 30 jaar schijnt belast, met het waarnemen en bewaken des Hemels, gelijk de Oogstbewaarder voor de oogsten of schatten der Aarde moet zorgen.”

5° Het *Muurquadrant* (Lalande). — Een astronomisch werktuig. — Tusschen Boötes, den Draak en de Noorderkroon.

6° De *Luchtbol* (Lalande). — Tusschen den Zuidervisch en den Steenbok.

7° De *Kat*. — Door Lalande aan den Hemel geplaatst ter wille van zijne bijzondere genegenheid voor dit dier. — Tusschen de Vrouwelijke Hydra of Waterslang, de Luchtpomp en de Loglijn.

4 Sterrenbeelden van Bode. — De Pruisische Sterrenkundige Bode, eindelijk heeft in zijnen Atlas nog de volgende Constellatiën aan den Hemel doen prijken:

1° De *Glorie van Frederik*. — 76 Sterren tusschen Cassiopeia, Andromeda, Pegasus en den Zwaan. — Ter gedachtenis van Frederik II, koning van Pruisen.

2° De *Loglijn*. — Een werktuig in de zeevaart, om de snelheid van het schip te schatten. — Bode slingerde de Loglijn om Lacaille's kompas, terwijl hij tevens het door Hell aan den Hemel geplaatste groote Telescoop van Herschel veranderde in den kleineren, waarmede hij de planeet Uranus ontdekt had.

3° De *Electriseermachine*. — Een physisch instrument. — Aan den zuidelijken Hemel, beneden den Walvisch.

4° De *Boekdruckerswinkel*. — Tusschen den Grooten Hond, den Eenhoorn en het Schip Argo.

Twijfelachtige Sterrenbeelden. — Deze verschillende toevoegsels brengen het getal der 50 oude Sterrenbeelden thans op 106, en op 108 als men, gelijk sommige Sterrenkundigen, de Grootte en de Kleine Wolk aan den zuidelijken Hemel als bijzondere Constellatiën beschouwt. Misschien moest ik er nog bij

voegen: de *Plejaden*, de *Hyaden*, de *Knots van Hercules*, het *Hoofd van Medusa* (in de hand van Perseus), den *Schouderband van Orion*, het *Zwaard van Orion*; eindelijk de *Krib of Praesepe van 't Sterrenbeeld de Kreeft*, in 't geheel 7 Sterrenbeelden, waarvan sommige Sterrenkundigen afzonderlijke Constellatiën maken, hetgeen dan ten slotte 115 Sterrenbeelden zou geven.

In plaats van de zoo samengestelde figuren, met welke de astronomische kaarten vroeger overladen waren en waarbij de zoogenaamde *vormelooze Gesternten* buiten de omtrekken der figuren bleven, die eene Lier, een Arend, een Stier, enz. voorstelden, trekt men tegenwoordig eenvoudig de grenzen der Sterrenbeelden door middel van lijnen, evenals die, welke op de landkaarten de staten, provinciën, departementen, enz. aanduiden. (Ziet fig. 60 en 61, de achter dit deel voorkomende Noordelijke en Zuidelijke Sterrenhemel). Die handelwijze laat gevolgelijk geen vormelooze Sterren over, daar de Constellatiën, wier namen men behouden heeft, afgescheiden worden door omtrekken, die haar gemeen zijn.

105. **Dagelijksche Beweging van het Sterrengewelf.** — Wanneer men de *eigen bewegingen*, zóó klein, dat zij alleen voor de allernauwkeurigste waarnemingen merkbaar konden worden, geheel buiten aanmerking laat, dan schijnen de Sterren — gelijk wij reeds zeiden — vastgehecht aan een gewelf, dat ze elken dag van 't Oosten naar 't Westen door eene eenparige beweging met zich voert. Deze beweging, welke men de *dagelijksche beweging* heet, geschiedt om eene as, de *as der wereld* genaamd, naar zeer eenvoudige wetten, die wij thans zullen behandelen.

Onderstellen wij tot dat einde op een of ander punt der Aarde, te Amsterdam, bij voorbeeld, eenen waarnemer, die te zijner beschikking eenen kijker heeft, waarmede hij de Sterren zoowel bij dag als bij nacht kan gadeslaan. Indien deze waarnemer naar de hemelstreek ziet, die men het *Zuiden* noemt en een ieder kent, zal hij zien, dat de Sterren aan zijne linkerzijde opkomen, allengs tot op eene voor elke Ster verschillende hoogte stijgen, en vervolgens aan zijne rechterzijde verdwijnen. Maar ziet hij naar de tegenovergestelde hemelstreek, dat is naar het *Noorden*, dan zal hij Sterren bespeuren, die bestendig boven zijnen *horizon* of *gezichtelinder* blijven, terwijl zij elken dag regelmatig dien horizon naderen en zich er van verwijderen.

Gebruik van den theodoliet. — Geven we nu aan den waarnemer het werktuig, dat *theodoliet* wordt geheeten, een toestel, die, als we hem van alle bijzaken ontdoen, uit twee in graden verdeelde cirkels bestaat, de eene ABD (fig. 62) horizontaal, over welken de wijzer AC, die aan den voet C der verticale as OC bevestigd is, kan heen schuiven; de andere FGZL, verti-

caal, voorzien van den kijker GL, die zich op zijne beurt over dezen laatsten cirkel laat bewegen. Met behulp van zulk een

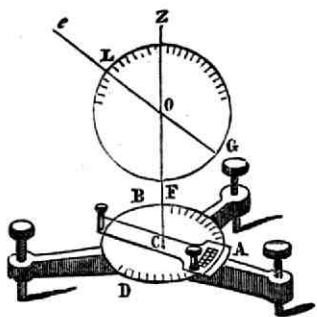


Fig. 62.

instrument zal men gemakkelijk de Sterren op hare gansche baan kunnen volgen, en aantekening houden van de graden, die achtereenvolgens door OA op den horizontalen cirkel worden aangeduid, alsook van de overeenkomstige aanwijzingen des kijkers of der gezichtslijn GL op den verticalen cirkel. Dit zoo eenvoudige stelsel van waarnemingen zal oogenblikkelijk doen blijken, dat de doorloopen bogen volkomen symmetrisch zijn aan de beide zijden van een enkel

verticaal vlak, waarin tevens gelegen zijn al de culmineerende punten der Sterren naar het Zuiden, en de hoogste zoowel als de laagste punten der bogen, beschreven door de naar 't Noorden staande Sterren. Het gebruik van het uurwerk, verbonden met dat van den theodoliet, zal ook doen blijken, dat de tijd, verlopen tusschen den opgang en de *culminatie* (van *culmen*, top, hoogste punt) voor de Sterren van 't Zuiden, of tusschen het laagste en hoogste punt der baan voor de Sterren van 't Noorden, altijd gelijk is aan den tijd, die er verloopt hetzij tusschen de *culminatie* en den ondergang voor de eerste, hetzij tusschen de *culminatie* en den terugkeer tot het laagste punt voor de tweede; in een woord, dat de beide symmetrische deelen van elken boog in gelijke tijden doorloopen worden.

Meridiaan-vlak, bepaald door de hoogste en laagste punten der dagbogen, die de Sterren beschrijven. — Het vlak, dat zulke merkwaardige eigenschappen heeft, het vlak, bevattende het middelpunt van den dagboog van elke Ster, heeft een bijzonderen naam moeten ontvangen. Men noemt het *meridiaan-vlak* (*meridies*, midden des dags, middag). Zijne richting geeft de lijn Noord en Zuid aan, en levert dus de juiste astronomische bepaling, die van toepassing is op begrippen, welke ieder van zijne kindsheid af, om zoo te zeggen, instinctmatig verkrijgt.

Hoofdstreken van den horizon. — Daar de gelegenheid zich zoo ongezocht aanbiedt, willen we hier bij voegen, dat de lijn, die perpendicular of loodrecht getrokken wordt op de richting Noord en Zuid door het punt O (fig. 63), waar zich de waarnemer bevindt, het Oosten en het Westen bepaalt. Horin-

neren we ook, dat de vier punten *Noord*, *Zuid*, *Oost* en *West* gezamenlijk den naam van *hoofdstreken* dragen, en dat men, om de juist

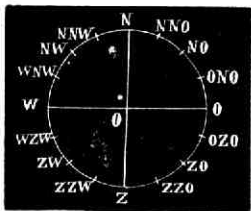


Fig. 63.

daartusschen liggende richtingen aan te duiden, de namen *Noord-Oost*, *Zuid-Oost*, *Noord-West*, *Zuid-West* bezigt, tusschen welke men nog andere namen plaatst, ontleend, als de vorige, aan de streken, waartusschen zij gelegen zijn, zooals *Noord-Noord-West*, *Zuid-Zuid-West*, *West-Noord-West*, enz; eindelijk, dat men iedere der dus bekomen 16 bogen des horizons nogmaals middendoor deelt,

en aan de punten, welke die deeling op den horizon aanwijzen, de namen geeft van *Noord-ten-Oosten*, *Noord-Oost-ten-Noorden*, *Noord-Oost-ten-Oosten*, *Oost-ten-Noorden*, enz., zoodat men dan 32 streken verkrijgt, bevattende ieder het 32ste gedeelte van 360 graden, dat is 11 graden en 15 minuten ($11^{\circ}15'$). Van het Noorden beginnende en naar het Oosten voortgaande, duidt men ze kortelijk aldus aan: N., N.t.O., N.N.O., N.O.t.N., N.O., N.O.t.O., O.N.O., O.t.N.; O., O.t.Z., O.Z.O., Z.O.t.O., Z.O., Z.O.t.Z., Z.Z.O., Z.t.O.; Z., Z.t.W., Z.Z.W., Z.W.t.Z., Z.W., Z.W.t.W., W.Z.W., W.t.Z.; W., W.t.N., W.N.W., N.W.t.W., N.W., N.W.t.N., N.N.W., N.t.W. — Voegen we nog hierbij, dat men in de Sterrenkunde, ter aanduiding van de verschillende streken, bij voorkeur, onder den naam van *Azimuths* de hoeken gebruikt, gemeten door den horizontalen cirkel van den theodoliet, uitgaande van eene der hoofdstreken; zoodat de uitdrukking: het Azimuth dier Ster bedraagt 9 streken of $101^{\circ}15'$, dit hetzelfde is (wanneer men van 't Zuiden uitgaat en naar 't Westen voorttelt), alsof men zeide: de ster staat in 't W.t.N.

Azimuth. — Horizon. — Daar dit woord Azimuth in de taal van het dagelijksch leven weinig of niet gebruikt wordt, heb ik gemeend het te moeten omschrijven. Dit is niet het geval met de woorden *Horizon* (bij de zeelieden *Kim* geheeten), *Verticaal* en *Perpendicular* of loodlijn, die wij reeds meermalen gebruikt hebben en nog dikwijls gebruiken zullen: deze zijn zóó bekend, dat eene bepaling daarvan waarschijnlijk niets zou toebrengen aan de duidelijkheid der beteekenis, die ieder er aan hecht.

Zenith en Nadir. — Minder is dit het geval met twee andere termen, die zich gewis meermalen aan ons zullen voordoen; het zijn de woorden *Zenith* of *Toppunt* en *Nadir* of *Voetpunt*. Met het eerste benoemt men het punt aan 't hemelgewelf, alwaar de door den waarnemer heen getrokken verticaal aankomt; de tweede duidt het lijnrecht tegenovergestelde punt aan, dat

namelijk waar de beneden den horizon verlengde verticaal het voor ons onzichtbare gedeelte van 't Uitspansel ontmoet.

Zichtbare en Onzichtbare Horizon. — Tegenvoeters.
— Wegens de rondheid der Aarde komt met ieder punt o (fig. 64) een symmetrisch punt o' overeen, welks zenith z' juist het nadir is van den waarnemer in o .

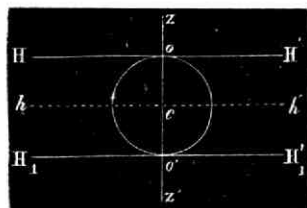


Fig. 64.

Deze laatste ziet het gedeelte HZH' des Hemels boven zijn hoofd; terwijl de waarnemer in o' daarentegen het gedeelte $H_1Z'H_1'$ ziet. De zichtbare of schijnbare horizons HH' en H_1H_1' der beide waarnemers zijn parallel, en ten gevolge van de schier microscopische afmetingen der Aarde, vergeleken bij de hemelafstanden, kan men ze beschouwen als één met den onzichtbaren of waren horizon hh'' , die door het middelpunt der Aarde gaat. 't Is daarmede eveneens gelegen als, bij voorbeeld, met de beide zijden van een dun vel papier en het denkbeeldig vlak, dat men tusschen die zijden brengt, in den wijden omvang, welks diameter 1600 of 2000 kilometers zou bedragen. Daar de waarnemers in o en o' met hunne voeten naar elkander staan, zoo noemt men hen elkanders *antipoden* of *tegenvoeters*.

Verbeeldt u nu, dat wij op den verticalen cirkel van onzen

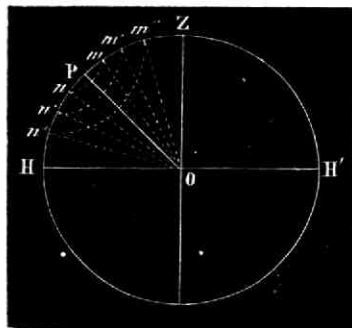


Fig. 65.

theodoliet de uiterste punten m en n (fig. 65) boven en beneden den boog van eene der noordelijke Sterren, die bestendig boven den horizon HH' blijven, bepalen, en dat wij den hoek mOn door de lijn OP in twee gelijke deelen verdeelen. Als wij vervolgens hetzelfde werk doen voor de punten $m'n'$, $m''n''$, door andere Sterren aangegeven, zullen wij bevinden, dat het de lijn OP is, die ook de hoeken $m'On'$, $m''On''$, enz. en voorts al de soortgelijke hoeken, die de noordelijke Sterren opleveren, in gelijke deelen verdeelt (*).

ken, die de noordelijke Sterren opleveren, in gelijke deelen verdeelt (*).

(*) De nauwkeurige waarnemingen, die met de nieuwere astronomische werktuigen gedaan kunnen worden, doen eenige ongelijkheden aan 't licht komen, over welke de Ouden vermeenden zich niet te moeten bekommeren, en die aan de vorige gevolgtrekkingen een

106. **De dagelijksche beweging des Hemels is cirkelvormig en gelijkmatig.** — *Æquatoriaal-werktuig.* — Bij de onderstelling, dat het Sterrengekwelf, gelijk eene bloote beschouwing des Hemels gedurende eenige uren schijnt aan te duiden, met eene eenparige beweging van 't Oosten naar 't Westen draait, is het alzoo natuurlijk te denken, dat die beweging rondom de lijn OP geschiedt. Om ons daarvan te overtuigen, stellen en bevestigen wij, met behulp der steunsels HK, MN (fig. 66) de

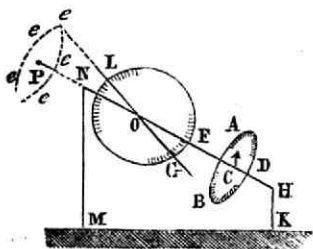


Fig. 66.

verticale as CO van den theodoliet, die dan den naam van *æquatoriaal* krijgt, nauwkeurig in de richting CP; vervolgens richten wij den kijker GL naar deze of gene Ster *e*, in de streek van 't Noorden gelegen. Wij zullen bemerken, dat wij door het draaien van den toestel om de as OC de Ster bestendig kunnen volgen, zonder dat wij op den cirkel GFL de gezichtslijn behoeven te

verplaatsen. Wij zullen tevens bespeuren, dat de naald CA gedurende deze draaiing in gelijke tijden gelijke hoeken zal doorloopen op den cirkel ABD, die steeds perpendicular is gebleven op de as OC van het instrument. Wij zullen daarbij nog zien, dat de zuidelijke Sterren, die, welke op- en ondergaan, in den kijker blijven zoolang als hare verschijning boven den horizon duurt, mits men die Sterren volge door het werktuig gelijkmatig om OC te doen draaien, gelijk wij dat voor de noordelijke Sterren hebben gedaan. Wij zullen eindelijk ontwaren, dat *alle* Sterren, zonder uitzondering, wat ook hare plaats aan den Hemel moge zijn, identisch denzelfden tijd besteden om hare dagelijksche omwenteling te volbrengen (*).

As der wereld. — Uit het voorgaande moeten wij besluiten, dat het Sterrengekwelf inderdaad, gelijk we zulks bij een eersten aanblik onderstelden, in massa en met eene gelijkmatige beweging rondom *de as der wereld* OP (fig. 67) draait; dat ten ge-

deelte harer juistheid zouden schijnen te ontnemen. Maar de oorzaak der afwijkingen is tegenwoordig volkomen bekend; hare uitwerksels lateu zich zeer goed berekenen, en als men ze op de waarnemingen toepast, vindt men resultaten, volmaakt overeenstemmende met die, welke ik beschreven heb. Wij kunnen dus, tot meer vereenvoudiging, voor 't oogenblik de storende oorzaak laten rusten, die op al de waarnemingen buiten het zenith haren invloed heeft, en die wij later zullen behandelen onder den naam van *atmosferische* *straalbreking*.

(*) De verschijnselen, die wij later onder de namen *praecessie*, *nutatie* en *aberratie* zullen behandelen, brengen een zeer klein verschil in den schijnbaren duur der dagelijksche omwenteling. Maar 't is onnoodig zich in een eerste overzicht op te houden bij enkele ongelijkheden, die men alleen door eene lange reeks van zeer fijne waarnemingen heeft kunnen ontwaar worden.

volge hier beweging al de Sterren cirkels beschrijven, en dat de denkbeeldige as PO , in rechte lijn door den Aardbol heen verlengd, het Hemelgewelf zou ontmoeten in een tweede punt P' , gelegen onder onzen horizon HH' , en gevolgelijk altijd voor ons onzichtbaar.



Fig. 67.

Polen der wereld. — Sterrendag.

— Men noemt *Polen der wereld* de punten P, P' , alwaar de as der wereld de Sterrensfeer raakt; en men geeft den naam van **Sterrendag** aan den tijd, dien deze sfeer besteedt om eene geheele omwenteling rondom de as der wereld te volbrengen. De duur van den sterrendag,

dien men gewoonlijk bepaalt uit twee achtereenvolgende doorgangen van eene zelfde Ster door het meridiaan-vlak, wordt overigens verdeeld als die van den Zonnedag, waarmede wij ons weldra moeten bezig houden, namelijk in uren, minuten, seconden, enz. Wat de polen betreft, men onderscheidt ze van elkander door de namen *noordpool* en *zuidpool*; de eerste is P , die bestendig zichtbaar is voor de bewoners van Europa; de andere is P' , welke wij in onze streken nooit kunnen zien. Men heet eindelijk *circumpolaire* Sterren die, welke steeds boven den horizon blijven en die men gevolgelijk tweemaal, bij haren hoogsten en laagsten stand, door den meridiaan ziet gaan.

107. Uur- of Declinatie-cirkels. — Parallellen. — Aequator. — Hemisferen. — Om de Sterren astronomisch te rangschikken, onderstelt men de Hemelsfeer verdeeld te zijn in cirkels, overeenkomende met die, welke iedereen menigmaal op de aardglobes gezien heeft, in cirkels PaP' , PbP' , enz., die men *declinatie-cirkels* of *uurcirkels* noemt, en in cirkels cd , ef , enz., welke men *parallellen* heet. De eerste dezer cirkels zijn alle gelijk en snijden elkander volgens de as der wereld; de tweede zijn ongelijk en perpendiculair op dezelfde as. De grootste onder de laatste is de cirkel, die door het punt O gaat, het middelpunt der Sterrensfeer, alwaar zich de waarnemer bevindt. Men noemt hem *aequator* of *evenaar des Hemels* om aan te duiden, dat hij de sfeer verdeelt in twee gelijke deelen, waaraan men den naam van *hemisferen*, *halve sferen* of *sfeerhelften* geeft.

Rechte Opklimming en Uurhoeken. — Declinatie. — 't Is duidelijk, dat de plaats eener Ster nauwkeurig bepaald wordt als men den declinatie- of uurcirkel en de parallel van die Ster opgeeft. De declinatie-cirkel wordt bij de waarnemingen bepaald door den tijd, die er verloopt tusschen den doorgang van een tot uitgangspunt gekozen declinatie-cirkel door

den meridiaan, en den doorgang des declinatie-cirkels, op welken de Ster zich bevindt, of den doorgang der Ster zelve, die met haren geheelen declinatie-cirkel in den meridiaan komt. Dit tijdsverloop geeft klaarblijkelijk den hoek (tegen 15 graden per uur), die begrepen is tusschen de beide declinatie-cirkels, dewijl de sterrendag, uit 24 uren bestaande, overeenkomt met een geheel omloop of met eenen omtrek van 360 graden; het draagt in de Sterrenkunde den naam van *Rechte Opklimming*, en wordt uitgedrukt met de voorletters R. O., ook wel met de voorletters AR dier woorden in 't Latijn: *Ascensio Recta*. Men noemt het ook menigmaal *uurhoek*. De parallel der Ster, die men wil bepalen, wordt op hare beurt aangeduid door op een of anderen declinatie-cirkel, begrepen tusschen die parallel en den *Æquator*, het getal *graden*, *minuten* en *seconden* te tellen. De dus gemeten hoekafstand heet *declinatie* of *afwijking*, en krijgt den toenaam van *noordelijke* of van *zuidelijke* naargelang men hem, van den *Æquator* uitgaande, noordwaarts of zuidwaarts telt.

Coördinaten. — Muurcirkels en meridiaan-cirkels. — Meridiaankijker. — Ten einde de rechte opklimming en de declinatie te bekomen, die men gezamenlijk den naam van coördinaten eener Ster geeft, behoeft men slechts den verticalen cirkel van den theodoliet onveranderlijk in den meridiaan te stellen. Gewoonlijk bevestigt men dien cirkel (welke dan een *muurcirkel*, een *meridiaan-cirkel* of een *meridiaan-kijker* wordt, al naar zijne bijzondere samenstelling) hetzij tegen een hecht gebouwden muur, onafhankelijk van de vloeren, beschut tegen de rechtstreeksche werking der Zon, wier straling ongelijke uitzettingen zouden te weeg brengen, en zooveel mogelijk beveiligd tegen de oorzaken van de trilling des bodems; hetzij tusschen twee pijlers, bestemd om de horizontale ronddraaiingsas O (fig. 62) te ondersteunen en om den in 't meridiaanvlak beweegbaren kijker nog zekerder dan met een enkelen muur in dat vlak te houden. Eene reeks openingen, van 't noorden naar 't zuiden in het dak en de opstaande muren van 't Observatorium aangebracht, geeft gelegenheid om gemakkelijk de doorgangen waar te nemen en de coördinaten te bepalen. Maar wanneer deze of gene hindernis te weeg brengt, dat men aldus niet vermag te werken, dan kan het *aequatoriaal*, dat door een draaiend dak, gelijk de windmolens, tegen 't ongestadige weder beveiligd is, in de plaats treden van de meridiaan-werktuigen, aan welke laatste men evenwel doorgaans de voorkeur geeft, omdat zij door hun vasteren stand grooter waarborgen van juistheid aan de waarnemingen geven.

108. **In catalogus gebrachte Sterren.** — Ondanks alles, wat er volgens de bovenstaande methoden volbracht is, scheelt er nog veel aan dat wij de astronomische coördinaten van alle

Sterren des Hemels bezitten zouden. Te nauwernood kent men in haar juistten stand honderd dertig a honderd vijftig duizend Sterren, ofschoon Herschel er bij millioenen geteld heeft in den Melkweg alleen.

Onder de verschillende Lijsten of Catalogussen, tot dat einde opgemaakt, is een der verdienstelijkste die van 47 390 Sterren, welke Jérôme Lalande tegen 't einde der vorige eeuw in 't licht gaf onder den titel van *Histoire céleste française*, volgens de waarnemingen van Lalande, Burckhardt en Dagelet met het muurquadrant, dat tegenwoordig in 't bezit van 't Observatorium te Toulouse is. Deze lijst is na zijne verschijning berekend geworden door F. Baily, en gevolgd door verschillende aanzienlijke Lijsten, zooals, onder anderen: 1° van *Bessel*, 75 000 waarnemingen van Sterren; — 2° van *Weisse*, 31 895 Sterren, ontleend aan de 75 000 waarnemingen, in de *gordels* van Bessel vervat; — 3° van *Argelander*, 22 000 Sterren; — van het *Britsche Genootschap*, 8377 Sterren; — 5° van *Rümker*, 12 000 Sterren; — 6° van *Taylor*, 11 015 Sterren; — 7° van *Brisbane* en *Rümker*, 7385 Sterren; — 8° van *Aire*, *Mac-Lear*, *Henderson*, *Redcliffe*, *Oeltzen*, enz.

Wij moeten overigens doen opmerken, dat dezelfde Sterren vaak herhaald worden in de verschillende Lijsten, die wij daar noemden, en dat soortgelijk werk reeds achtereenvolgens sinds een aantal eeuwen, hoewel op veel minder groote schaal, was uitgevoerd; daartoe behooren: 1° De oudste Lijst, die der 1022 door *Hipparchus* waargenomen Sterren; — 2° de beide Lijsten, opgemaakt door de Arabische vorsten *Albategnius*, in 879, en den kleinzoon van Tamerlan, *Oeloeg-Beig*, in 1437, behelzende de eene en de andere niet veel meer dan de Sterren van Hipparchus; — de Lijst van *Tycho-Brahé*, 777 Sterren; — die van den *landgraaf van Hessen-Kassel*, voor het jaar 1593, 400 Sterren; — 5° die van *Bayer*, voor 't jaar 1603, 1762 Sterren; — 6° die van *Hevelius* (zoon van eenen bierbrouwer te Dantzig, door Lodewijk XIV met eene jaarwedde begiftigd) 1564 Sterren voor het jaar 1660; — 7° die van *Riccioli*, 1468 Sterren voor 't jaar 1665; — 8° die van *Flamsteed*, 2884 Sterren voor 't jaar 1712; — 9° drie Lijsten van *Lacaille*, waaronder eene van 10 000 Sterren, in 1751 en '52 waargenomen aan de Kaap de Goede Hoop; — 10° die van *Lemonnier*, 400 Sterren; van *Tobias Mayer*, 998 Sterren; van *Maskeline*, 34 der voornaamste Sterren, op het zorgvuldigst bepaald en in 1849 aangevuld door *Largeteau*, die haar getal op 100 heeft gebracht; van *Cagnoli*, 501 Sterren; van den baron *Zach*, 381 Sterren, enz.; — 11° die van *Bradley*, 3222 Sterren voor het jaar 1755; — 12° eindelijk die van *Pond*, 112 Sterren, en de uitmuntende Lijst van *Piazzi*, 6500 Sterren, voor het jaar 1800.

109. Niet in catalogus gebrachte Sterren. Haar vermoedelijk getal. — Gelijk ik gezegd heb, en ook uit de bovenstaande bijzonderheden blijkt, zal het getal der bekende Sterren, als men de in de verschillende Lijsten meer dan eenmaal aangeteekende mede in rekening brengt, niet boven de 150 000 gaan. Die Sterren zijn voor 't overige in 't algemeen begrepen tusschen de 1ste en 9de of op zijn hoogst 10de grootte. Struve, die ze volgens haar licht in rangen of klassen verdeelde, heeft bevonden, dat het getal Sterren uit eene der 6 eerste klassen ongeveer het drievoud was van dat der onmiddellijk voorafgaande klasse, maar dat de getallen boven de 6de klasse veel sneller aangroeien dan het geval zou zijn volgens deze wet. Passen we haar toe op het bepalen van den rijkdom des Sterrenhemels tot op de 14de grootte, dan zullen wij gevolgelijk tot getallen komen, die hoogst waarschijnlijk verre beneden de werkelijkheid blijven. Ziehier intusschen de resultaten, die zij oplevert, wanneer men het getal der Sterren van de 1ste grootte, gelijk men algemeen doet, op 17 stelt.

	Getal Sterren.
1 ^e grootte	17
2 ^e	51
3 ^e	153
4 ^e	459
5 ^e	1377
6 ^e	4131
7 ^e	12393
8 ^e	37179
9 ^e	111537
10 ^e	334611
11 ^e	1003833
12 ^e	3011499
13 ^e	9034497
14 ^e	27103491
Som.	40655228

Veertig millioen Sterren tot aan de 14de grootte, een getal, dat gewis op verre na de grens niet bereikt van de sterrenmassa, tot welke wij behooren! Meer dan 13 millioen tot aan de 13de grootte, bij welke het optisch vermogen van Struve's grooten telescoop schijnt op te houden! *Twintig millioen vier honderd duizend* Sterren, die dezelfde verkreeg uit het nauwkeurig onderzoek der hemelpeilingen van W. Herschel! Al die getallen, 't is waar, loopen ver uiteen; maar de gevolgtrekking, die zij ons dwingen te maken, is, dat de rijkdommen des Sterrenhemels onberekenbaar zijn, en dat in de ruimte de Zonnen wemelen gelijk de zandkorrels in den Oceaan.

110. **Kaarten en Atlassen van den Hemel.** — Behalve de Lijsten of Catalogussen, die wij boven hebben opgesomd, bezitten wij nog een zeker getal Kaarten en Atlassen des Hemels, waarop de Sterren eene plaats gekregen hebben, en door middel van welke men de Sterrenbeelden in hunne verschillende bijzonderheden kan volgen. Aangaande de sfeer van Hipparchus zijn ons echter geen andere documenten overgebleven dan de beschrijving van Ptolemeus; en de middeleeuwen hebben ons ook weinig meer nagelaten dan overleveringen, die te dezen opzichte vrij onvolledig zijn. Men komt zoo tot op het einde der 15de eeuw, alvorens men globes aantreft, bestemd ter beoefening des hemels. Maar van de 17de eeuw af aan, volgen de uitgaven van Hemelkaarten spoedig op elkander en worden allengs volkomener. Zoo gaf Bayer in 1603 zijne 51 uranometrische kaarten in 't licht, in 1678 gevolgd door de kaarten van Pardies, in 1679 door die van A. Royer, in 1690 door die van Hevelius, enz.; eindelijk, in 1729, door de 28 Kaarten, die Flamsteed's schoonen Atlas in-folio uitmaken, welke sinds 1776 in quarto-formaat werden uitgegeven door de zorg van Fortin.

Later, tegen 't einde der 18de en 't begin der 19de eeuw, verschenen de beide Atlassen van Bode en Harding, waarvan de Sterrenkundigen nog heden veel gebruik maken, en die, de eene 17 240, de andere meer dan 50 000 Sterren bevatten. Omstreeks 1840 was de Fransche Sterrenkundige Dien op zijne beurt begonnen met de uitgave van eenen Atlas, bevattende de kleine zodiacale Sterren tot aan de 9de grootte, toen de beroemde *Kaarten van Berlijn*, opgemaakt volgens de 75 000 waarnemingen van Bessel door eene vereeniging van buitenlandsche Sterrenkundigen, toegerust met hulpbronnen, welke Dien niet bezat, het licht zagen en den arbeid des laatstgenoemden deden staken. Deze heeft nochtans, zonder zich door zulk eene wederwaardigheid te laten ontmoedigen, het werk weder wakker opgevat, en heeft in 1865, in plaats van een enkel zodiacalen Atlas, een algemeenen Atlas, die meer dan 100 000 Sterren of Nevelvlekken en Sterrenhoopen inhoudt, van de pers doen komen. Wat den zodiacalen Atlas betreft, hij werd op een grootere schaal in 1850 weder opgenomen door Chacornac, wien de wetenschap de ontdekking van verscheidene kleine Planeten en Kaarten voor den gordel der Ecliptica tot op de 13de grootte dank moet weten. Voegen we ten slotte hierbij, dat soortgelijke Kaarten als die van Chacornac, zoo ik mij niet bedrieg, vóór de uitgave van deze vervaardigd zijn geworden door eenige Sterrenkundigen, die ook met goed gevolg zich met het opsporen van de kleine Planeten hebben bezig gehouden; doch ik heb grond om te denken, dat zij niet in 't licht zijn gegeven en

dat de samenstellers ze enkel voor hun eigen gebruik hebben gemaakt.

111. **Mythologische Scheppingen, ontleend aan de bewegingen des Hemels.** — De Mythologie schijnt door de dichters gebouwd te zijn op de verschillende bijzonderheden der hemelbewegingen en inzonderheid op de dagelijksche omdraaiing van het Sterrengekwelf. Blijkt, bij voorbeeld, uit de oude overleveringen, dat Orion zich weleer bezig hield met de studie van de bewegingen der Maan en sommige geheimen dier bewegingen ontdekte, de Grieken zeggen dan, dat de Sterrenkundigen eenen aanslag op de eerbaarheid van Diana (de Maan) heeft gemaakt; en daar het uur van zijnen ondergang samenvalt met dat waarin de Schorpioen opkomt, moet Orion sterven aan den steek van het door de vertoornde godin te voorschijn geroepen insect. Pegasus, den Waterman vooruitgaande, wordt verzinneelikt door den hoefslag van 't gevleugeld paard, waardoor eene fontein (de Hengstebron) uit den grond ontspringt. Atlas, of de Berenhoeder, wiens hoofd zich eertijds onder de pool bevond, krijgt van Jupiter den last om de wereld te torschen, en wordt versteend door Perseus, omdat hij bij 't opkomen van dezen laatste achter de bergen ondergaat. Phaëton, de hemelsche Wagenmenger, verschrikt op het gezicht van den Schorpioen; Perseus verlost de van den Walvisch bedreigde Andromeda; de Waterman of Ganymedes wordt geschaakt door den Arend, die hem naar 't hoogste des Hemels voert, enz.; — om kort te gaan, de meeste fantastische verhalen der Fabel zijn niets dan eene reeks van toespelingen op het Hemelgekwelf. De loop der Zon door de twaalf Sterrenbeelden van den Zodiak zal op zijne beurt het aanzijn gegeven hebben aan de twaalf werken van Hercules; en het heldere licht eener Planeet, de roodachtige glans eener andere, de snelheid of de traagheid der beweging van gene, de wenteling van iedere Planeet voorbij de verschillende Sterrenbeelden, hare schijnbare grootte, hare verwijdering, enz., zullen den Hemel bevolken met glansrijke beelden, die de bevalligheid van Venus, het krijgsvuur van Mars, de macht van Jupiter, den ouderdom van Saturnus, de zonderlinge en menigvuldige avonturen der goden vertegenwoordigen.

112. **Vonkeling der Sterren.** — De rijke verbeelding der Grieken, al ontleende zij ook aan den Hemel 't geheim der schoonheden, die eeuw-uit eeuw-in de zangen der dichters moesten op-luisteren, zou toch, hoe stout anders ook, nooit hebben durven vermoeden, dat het Uitspansel nog zooveel verborgen schoons en heerlijks bevatte. Wij hebben het Heelal in zijn onmetelijkheid behandeld. Een bijzonder, den Sterren eigen verschijnsel zal ons schoonheden en heerlijkheden van eene andere orde open-

baren en ons Gods hand vertoonen als niet minder alvermogen in 't oneindig kleine, dan wij haar gezien hebben in 't oneindig groote.

Iedereen kan die afwisselingen van verzwakking en versterking van licht, die plotselinge veranderingen van kleur hebben opgemerkt, welke de tintelende vonken aan 't Hemelgewelf gedurende zekere nachten ondergaan en waaraan men den naam van *vonkeling* heeft gegeven. Sedert Hipparchus hadden de Sterrenkundigen tevergeefs naar de verklaring van 't verschijnsel gezocht. Het genie van Galileï, dat van Kepler, dat van Newton zelfs was onvermogen gebleken voor zwarigheden, welker oplossing was weggelegd voor een der beroemdste wetenschappelijke mannen onzer eeuw, voor Arago. 't Is in de theorie der lichtgolven, reeds zoo bij uitstek vruchtbaar gemaakt door zijne eigen werken, dat deze uitstekende Franschman de verklaring gevonden heeft, door zooveel eerste vernuften vruchteloos gezocht. Wilt gij die verklaring in weinig woorden weten? Merkt dan op, dat twee golven, welke in tegenovergestelde richting werken op de ether-vloeistof, wier al verder en verder voortgeplante trillingen in onze oogen de gewaarwording van het licht brengen, die vloeistof klaarblijkelijk zonder beweging zullen laten, of haar althans slechts eene geringe snelheid zullen bijzetten, gelijk aan 't verschil der snelheden, waarmede ze zelve zijn aangedaan, en dat ze bij gevolg eene volslagen duisternis of eene gedeeltelijke lichtverzwakking zullen voortbrengen, al naargelang zij elkander geheel en al of alleen ten deele te niet doen.

Verklaring door Arago gegeven. — Merkt insgelijks op, dat de golven, die het witte licht geven, beschouwd moeten worden als voortspruitende uit de over-elkander-ligging van zeven elementaire golven, overeenkomende met de zeven kleuren, waaruit het witte licht is samengesteld. Vergeet eindelijk niet, dat in eene reeks van op elkaar volgende golven twee willekeurig genomen moleculen a en c , b en d , a' en c' , enz. (fig. 68), ge-

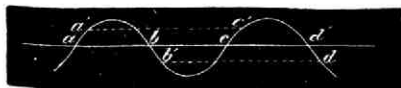


Fig 68.

scheiden door de gansche breedte eener golf, dat is eveneens geplaatst op twee in aanraking verkeerende golven, altijd zijn aangedaan met identische bewegingen, met parallelle en in dezelfde richting gaande snelheden; dat deze moleculen terzelfder tijd of rijzen of dalen willen, enz.; terwijl twee moleculen a en b , b en c , c en d , a' en b' , enz., wier afstand, parallel genomen aan de voortplantingsrichting $abcd$ enz. der golven, slechts de halve golfbreedte is, bestendig aangedaan zijn met gelijke maar tegenovergestelde snelheden,

daar de molecule a' wil stijgen op het oogenblik dat de molecule b' klaarblijkelijk wil dalen (*).

't Zal dus voldoende zijn dat de lichtgolven, die aan eene der zijden van de pupil binnenkomen, op hare reis door den dampkring eene versnelling of eene vertraging van slechts eene halve golfving ondergaan hebben, om haar de aan de andere zijde in-tredende lichtgolven, die een oogenblik vóór of na de eerste van de Ster waren uitgegaan, en waarmede zij zich nu op een zelfde punt van het netvlies komen kruisen, te doen vernietigen. Deze vernietiging zal volkomen of gedeeltelijk kunnen zijn, en nu eens de eene kleur, dan eens de andere, dan weder al de kleuren te gelijk kunnen treffen. De Ster zal zich gevolgelijk nu eens rood, dan eens groen, dan weder blauw, enz., of wel eenvoudig verflauwd aan ons voordoen.

Hoe kan de dampkring zulk een resultaat te weeg brengen?

(*) De ether-moleculen schommelen loodrecht op de richting AO van de lichtuitstroaming of, eenvoudiger, van hetgeen men den lichtstraal noemt, die aan het in O gelegen oog (fig. 69) de gewaarwording van het punt A komt overbrengen. Dit blijkt uit nauw-

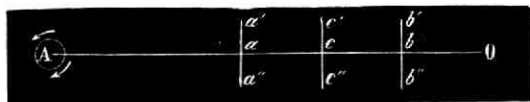


Fig. 69.

keurige proefnemingen, doch die hier niet behoeven uiteengezet te worden. Men kan bovendien zich zelve rekenschap geven van het feit, door ronddraaiende, afwisselende en zeer snelle schommelingen, die om zich zelve volbracht worden door het lichtpunt, welks wrijving de ether-moleculen daaromheen gelegen in trilling moet brengen, veroorzakende aldus in de ether-vloeistof, evenals de val van een steen in 't water doet, golfvingen, die met den afstand zwakker moeten worden, dewijl de van het lichtpunt uitgegane kracht zich over steeds grooter en grooter oppervlakten verstrooit.

Zij dan a eene ether-molecule, die volgens $a'a''$, links en rechts van haren evenwichtsstand a , in schommeling is, en zij ab de afstand waarop zich allengs de trillende beweging mededeelt, terwijl a hare volledige schommeling (been- en weergang samen) volbrengt; de lengte ab zal dan zijn wat men golfbreedte, of liever golfengte heet. Nu zal kennelijk de molecule b hare eerste schommeling beginnen als a hare tweede aanvangt. Deze beide moleculen zullen aldoo identisch trillen, gezamenlijk rjzende en dalende met steeds gelijke en parallelle snelheden, bevindende beide zich op hetzelfde oogenblik de eene in a' , de andere in b' , in volkomen overeenkomstige toestanden; hebbende, in een woord, geen ander verschil van beweging dan dat de molecule a ééne trilling meer heeft dan de molecule b .

Maar aldus zou 't niet meer zijn, als men, in plaats van de molecule b , de molecule c op het midden van ab gade sloeg. Want de trillende beweging zou in c aankomen, en de molecule c zou van c naar c' beginnen te schommelen op het oogenblik dat de molecule a , hare dalende halve schommeling $a'a$ volbrengende, na eerst van a tot a' gestegen te zijn, weder door het punt a zou gaan om zich naar a'' te begeren. De beide punten a en c , slechts door eene halve golfengte gescheiden, bewegen zich in tegenovergestelde richting; hare snelheden zijn altijd gelijk, maar van tegenovergestelde teekens (+ en -): wanneer de eerste in a'' aan 't einde der dalende schommeling komt, landt de tweede aan in c' , het einde van de opwaarts geschiedende schommeling. Deze laatste zal weer gaan dalen als gene begint te rjzen, enz., enz.; en, gevolgelijk, als twee parallelle of zoo goed als parallelle lijnen elkaar ontmoeten, terwijl de eene op de andere eene halve golfengte (algemeen, een *overeen* getal halve golfvingen) ten achteren is, dan zal hare kruising eene resultante geven, die of nul is (in 't geval der volkomen parallelle golven), of zich te nauwernood laat bespeuren (in 't geval der weinig hellende golven).

Het antwoord is gemakkelijk. Te nauwernood waar te nemen veranderingen van dichtheid, voorgevallen in de gasvormige moleculen, door welke dit of dat gedeelte van den in de pupil dringende lichtbundel is heen gegaan; meteorologische invloeden, waardoor de schier ondenkbare snelheid, de snelheid van 309 600 kilometers in de seconde, met welke de golvende beweging zich in den ether voortplant, slechts twee a drie tienduizendste millimeter of streep (0,0000002 m. of 0,0000003 m.) zal vertraagd zijn; terugstralingen op een dampblaasje, op een stofdeeltje, enz., die den door zekere stralen doorloopen weg te nauwernood verlengd zullen hebben, enz., enz., zijn toereikend om juist de vertraging te weeg te brengen, die er noodig is om deze of gene der zeven hoofdkleuren te niet te doen, en de *vonkeling* te doen ontstaan.

Twee a drie tienduizendste van een millimeter! Te dezen opzichte zijn de ontdekkingen der hedendaagsche natuurkunde boven allen twijfel verheven. De Engelschman Thomas Young had, onder den naam van *beginself der interferentiën*, deze opmerkelijke gevolgtrekking uit de theorie der lichtgolvingen getrokken: dat golven bij golven gevoegd of, met andere woorden, dat *licht bij licht gevoegd* in zekere gevallen duisterheid moet voortbrengen. 't Was Fresnel, die, door 't vernuftig denkbeeld des Engelschen natuurkundigen het eerst met eene bewonderenswaardige proef te verwezenlijken, terwijl Arago van zijnen kant met andere niet minder merkwaardige proeven eene vertraging des lichtbundels bewees, enkel door hem eene glasplaat in den weg te stellen, — 't was Fresnel, die halve golfbreedten wist te verkrijgen, overeenkomende met de hoofdkleuren, waaruit het witte licht bestaat; en die deze halve breedten gelijk bevond voor het rood aan 0,0003 millimeter, voor 't violet aan 0,0002 mm., voor de andere kleuren aan grootheden tusschen deze twee vervat.

Wanneer men denkt aan de beweeglijkheid des dampkrings en aan de dichtheidsverschillen, die onophoudelijk tusschen twee zelfs zeer dicht bijeengelegen punten veroorzaakt kunnen worden door de schudding der winden, door 't nederslaan of de oplossing van dampen als een gevolg der temperatuurs-veranderingen, enz., dan zal men wel zonder bezwaar aannemen, dat er op eenen weg van 72 tot 80 kilometers ieder oogenblik versnelling of vertraging, in overeenstemming met de verschillende kleuren moet ontstaan; en het eenige, dat ons daarbij verwonderen moet, is dat er somtijds meteorologische voorwaarden kunnen bestaan, onder welke de vonkeling geen plaats heeft of zich te nauwernood laat bespeuren.

Is het noodig hierbij te voegen, dat, zoo gij niet een enkel

lichtpunt, maar eene verzameling van punten hadt, alsdan de vonkeling hoogst gering zou wezen? Want op het oogenblik dat de interferentiën één dezer punten bij voorbeeld rood zouden maken, zou 't naburig punt groen, een derde geel, enz. moeten zijn; en 't geheel der verschillende gewaarwordingen, die als 't ware met elkander vermengd worden door de *irradiatie* of uitstraling, een gevolg der groote gevoeligheid van het netvlies, zou zich ten slotte oplossen in wit, zonder merkelijke verandering van tint noch intensiteit.

De afwezigheid van vonkeling zal dan eene kenmerkende eigenschap zijn van die Sterren, welke, gelijk de meeste derzulke, die wij onder den naam van Planeten zullen behandelen, schijnbare afmetingen hebben, die zich laten bepalen. Indien de Sterren niet op bijna oneindige afstanden van ons geplaatst waren geworden, zouden hare diameters kennelijke waarden hebben behouden, en 't verschijnsel der vonkeling zou gevolgelijk voor ons verborgen gebleven zijn. Het mag wel hoogst zonderling heeten, dat ontzettend groote volumens en afstanden samentreffen met een verschijnsel, dat slechts enkele tienduizendste deelen van eene streep betreft. Maar wat nog verwonderlijker mag genoemd worden — en ik kan niet nalaten de gelegenheid om het hier te zeggen waar te nemen — is het aantal trillingen, dat de ether-vloeistof doet om de gewaarwording van het licht voort te brengen. Want de proeven, die ons de theorie en de wetten der vonkeling leerden kennen, deden tevens de breedte der lichtgolven vinden, en maakten 't juist daardoor mogelijk, te berekenen hoeveelmaal die breedte begrepen was in den afstand, op welken de trillende beweging des ethers zich in een gegeven tijd verspreidt, en alzoo *mathematisch* de gezochte getallen te bepalen. Wilt gij die zoo eenvoudige berekening beproeven, welker dus verkregen uitkomsten u gewis te sterker zullen treffen? Deelt dan 309 600 kilometers, de weg dien het licht in éene seconde doorloopt, door 0,0006 millimeter breedte der geheele lichtgolf voor het rood, en gij zult een quotient bekomen gelijk aan 516 *biljoen*. Dit wil met andere woorden zeggen, dat gij, op het oogenblik dat een van 't punt A (fig. 70) uitgegane roode straal in B aankomt — zijnde de afstand AB gelijk aan 209 600 kilometers — alsdan op AB 516 biljoen golven hebt; en daar iedere van



Fig. 70.

deze golven overeenkomt met eene geheele schommeling (heen- en weergang samen) van de ether-moleculen, waaruit ze bestaan, zoo zullen de in 't punt A geplaatste vloeibare moleculen klaarblijkelijk 516 biljoen schommelingen volbracht hebben, wanneer

de in 't punt B geplaatste beginnen te trillen. In één woord, 't is duidelijk dat de moleculen der ether-vloeistof, om de ge-
waarwording van 't roode licht aan te brengen, 516 biljoenen trillingen in de seconde, of 516 millioenen trillingen in ieder
millioenste deel eener seconde, moeten doen, zoolang als het
roode licht aanhoudt.

Neemt gij, in plaats van 0,0006 mm., de golflengte 0,0004, die aan 't violette licht beantwoordt, dan zult gij, niet 516, maar 774 biljoenen trillingen in de seconde bekomen.

113. **Gevolgtrekkingen.** — Men begrijpt gemakkelijk, dat het lichaam, hetwelk eene aandrijving of stoot heeft gekregen, voortdurend, en zonder dat er nieuwe beweegkracht wordt aangewend, de dus ontvangen beweging, krachtens zijn volhardingsvermogen zelve, onbepaald behouden moet zoolang er geen beletsel in den weg treedt. Maar 't is niet meer mogelijk zich *beurtelings heen- en weergaande* bewegingen te denken als die, welke de veerkrachtige ether-moleculen hebben, zonder de onophoudelijke schepping aan te nemen van de krachten, die tot het voortbrengen dezer bewegingen noodig zijn.

Verbeeldt u eenen werktuigkundige, bekwaam genoeg om een of ander lichaam gedurende eenige uren, eenige dagen, eenige jaren zelfs, zoo ge wilt, duizend, tien duizend, honderd duizend schommelingen in de seconde te laten doen; gij zult dan over zulk een wonderwerk verbaasd staan, maar gewisselijk zult gij het niet tweemaal herhaald zien.

Wat zou het dan zijn, ingeval er, in stede van honderd duizend trillingen, te weeg gebracht na ongehoorde inspanning van vernuft en volharding voor een zekeren tijd en bij wijze van eenigste uitzondering, veeleer millioenen, of liever honderdtallen millioenen trillingen moesten verkregen worden, niet over elke seconde, maar voor ieder millioenste deel eener seconde, en dat gedurende millioenen jaren, duizend millioenen eeuwen misschien, en op de trillioenen moleculen der ether-vloeistof, die de ruimte bevolkt? Want, houdt dit wel in 't oog, wij zijn door lichtende lichamen geheel omgeven. Overal rondom ons, tot op diepten welke de stoutste verbeelding niet waagt te peilen, wemelt de Hemel van Sterren, en overal, op de matelooze baan, die ons van deze onmetelijkheid scheidt, overal ether-moleculen, met kwistigen overvloed daarheen geworpen, om door haar aantal vergoeding te geven voor eene zoo uiterste fijnheid, dat het niet mogelijk is geweest hare massa te bepalen, en de natuurkundigen zich hebben gedwongen gezien, haar den naam van *onweegbare* vloeistof te geven; overal ether-moleculen, door den alvermogenden wil, die elke van haar bestuurt, genoodzaakt om van den aanvang der eeuwen af voortdurend — onophoudelijk te

trillen onder de aandrijving van telkens uitgeputte, maar ook telkens opnieuw geschapen krachten; overal uiterst kleine lichaampjes, die in elke seconde een getal schommelingen volbrengen, begrepen tusschen 516 en 774 biljoenen, naar gelang van de kleur-gewaarwording, die zij moeten overbrengen! In waarheid, het verstand verliest zich in dien dædalus van grootheid en voorzienigheid, die met even zooveel nauwkeurigheid en zorg de beweging bestuurt van ieder der oneindig kleine atomen van zijn werk, als den loop en de instandhouding der Zonnen, wier bestaan ons door die atomen moet geopenbaard worden.

Mag men, bij zooveel heerlijkheid en majesteit niet tot het besluit komen, dat de droomen der stoutste verbeelding altijd verre beneden de tallooze rijkdommen der schepping zullen blijven? Zou de wilde zich wel zekere luchtverschijnsels, het geluid des donders, eene eclips, de verschijning van eene komeet, van een vuurbol, enz. kunnen verbeelden, als hij zelf er niet getuige van was. Zou de geleerde op zijne beurt, indien langdurige studiën hem niet er toe brachten, zich eene voorstelling durven maken van verschijnselen, zóó moeielijk te bespeuren, dat ze schenen voor eeuwig met den sluier des geheims gedekt te moeten blijven? En wat is dan nog des menschen wetenschap? Hoeveel zaken blijven niet voor ons nog verborgen! Hoe heeft, bij voorbeeld — om ons tot het vraagstuk van 't licht te bepalen — hoe heeft God ons oog zoodanig bewerktuigd, dat 516 millioenen trillingen in een millioenste deel eener seconde ons de gewaarwording van het rood, 774 millioen die van het violet, enz. aanbrenge?

Euler, wien de u daar medegedeelde resultaten evenwel niet bekend waren, ontmoet op zekeren dag een zijner vrienden, een predikant, die er zeer neerslachtig uit zag. — „Mijn Hemel! wat scheelt er toch aan?” roept de groote Meetkunstenaar uit. — „Helaas! mijn vriend,” geeft de Predikant ten antwoord, „'t is uit met het geloof! Ik had eene uitgewerkte preek gemaakt over het bestaan van God, bewezen uit de verschijnselen, die 't geweten oplevert, en ik heb mijne toehoorders zien geuwen en in slaap vallen.” — „Waarom beproeft ge niet uwe bewijzen aan de natuur, aan de grootsche voorwerpen der schepping te ontleenen? Waarom spreekt ge niet van die tallooze zonnen, die de ruimte bevolken, van 't ontzettend volumen dezer lichamen, enz., enz.? Misschien zoudt ge beter slagen.” — „Ik wil 't probeeren.”

Eenige dagen later, weder eene ontmoeting en nog zichtbaarder neerslachtigheid. — „Is 't andermaal niet goed uitgevallen?” — „Helaas! helaas! 'k had wel gelijk toen ik u zeide: 't is uit met het geloof. Ze hebben zelfs de heilige plaats niet ge-

eerbiedigd. Zoudt ge 't kunnen gelooven? De ongelukkigen hebben me geapplaudisseerd!" "

Men moet het erkennen, inderdaad: derwijze beschouwd, is de Sterrenkunde werkelijk eene kunstenaars-wetenschap. Maar al had zij ook geen ander doel dan den geest en het gevoel te verheffen, zij zou nog, gelijk de schilderkunst, de poëzie, de toonkunst, enz., overwaardig zijn de verbeelding en het hart bezig te houden. Voor 't overige zal hare toepassing op de stofelijke behoeften des levens aan de beurt komen, wanneer wij zullen handelen over de astronomische hulpmiddelen voor de zeevaart en hunne aanwending; en alsdan zal 't ons blijken, dat, zoo wij in Europa de duizenden producten van gene zijde der zeeën kunnen bekomen, dit te danken is aan de Sterrenkundigen, die op den Oceaan verrichten wat de Ingenieurs op het Land doen: zij bakenen den zeevarenden hunne wegen af.



NOOT.

114. **Meridlaan-kijker.** — De *meridiaan-kijker*, omstreeks het einde der 17de eeuw uitgedacht door den Deen Römer, is het voornaamste werktuig, dat den Sterrenkundige bij zijne waarnemingen dient. Het bestaat in eenen kijker, gewapend met twee armen, die uitloopen in volkomen zuiver gedraaide stalen tappen *a, b* (fig. 71), en wier centrale as *ab* juist loodrecht moet zijn op de *optische as cd* van den kijker. Men verzekert zich van de perpendiculariteit der beide lijnen

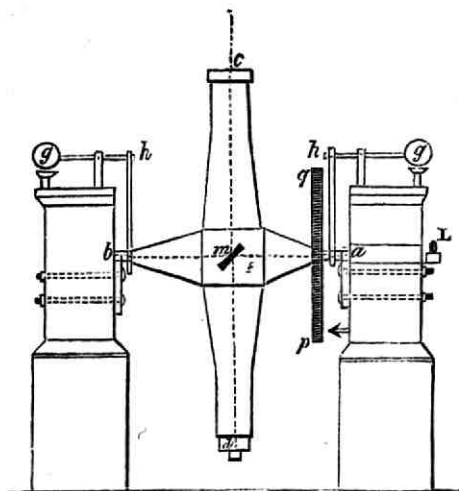


Fig. 71.

den stand van het punt *d* derwijze veranderen, dat men, na het omhangen nog meermalen herhaald te hebben, de lijnen *ab, ad* loodrecht op elkander maakt.

Een *niveau* (nivelleer-werktuig of waterpas) met *luchtbelbuis* wordt aan de hor-

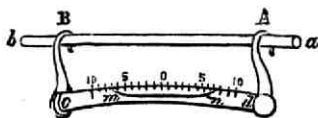


Fig. 72.

izontale as des kijkers gehangen, om zich van zijne volmaakt horizontale ligging te verzekeren. Het fleschje *cd* (fig. 72) van dit niveau, inwendig zeer zuiver geslepen en behoorlijk beschermd door een' metalen omkleedsel, maakt een gedeelte uit van een cirkel, die een straal van 200 a 300 meters heeft, welks kromming alzo onbeduidend genoeg is om bij de geringste rijzing van een der armen in A of in B de luchtbel in *mn* te verplaatsen; zoodat men met het niveau zich terzelfder tijd kan vergewissen en van de horizontaliteit der omdraailings-as *ab* van den kijker en van de gelijkheid alsook van de volkomen rolvormigheid der

ab, cd, door den kijker om te hangen, dat is door den tap *a* op de pan of tappensteun *b*, en den tap *b* op de pan *a* te brengen. Zijn beide lijnen niet loodrecht op elkander, dan vallen de beide standen der optische as *cd* niet samen; en het uitwendig punt, dat men onder de kruising der uiterst fijne draden in 't brandpunt *d* van 't voorwerpglas ziet, verandert met het omhangen. Met eene stelschroef kan men in eene inwendige sponning, zoolwel rechts als links, de beweeglijke plaat verschuiven, die eene cirkelvormige opening heeft, in welker middelpunt de draden zijn vastgehecht, en zoodoende

tappen. De *horizontaliteit* der as toch blijkt uit het bestendig blijven der luchtbel tusschen dezelfde merkstrepen, als men het niveau zoodanig omhangt, dat de armen A en B, die eerst op de tappen a en b waren, nu op de tappen b en a komen. De *gelijkheid* der tappen blijkt op hare beurt uit eene soortgelijke verrichting, bestaande in 't omhangen van den kijker zonder omhanging van 't niveau, hetwelk, nadat het weer geplaatst is op de omgehangingen as (de tap a op de pan b en de tap b op de pan a), juist dezelfde aanwijzingen moet geven. Eindelijk, de *zuivere cilindervorm* der tappen blijkt uit de vaste ligging der luchtbel van 't niveau, terwijl de as op de haar steunende pannen draait en de kijker den meridiaan doorloopt, in welken men hem nauwkeurig weet te plaatsen door eenige waarnemingen op de circumpolaire Sterren. Immers als men de tijden waarneemt, waarop de Ster zich boven en onder de pool in den verticaal vertoont, en er juist twaalf uren tusschen de beide doorgangen verlopen zijn, dan moet die verticaal ook de meridiaan wezen; want onder alle verticalen is de meridiaan de eenige, die de parallel, welke de Ster beschrijft, middendoor deelt.

Het is wel overbodig hierbij te voegen, dat men, ten einde den kijker in den meridiaan te brengen en de horizontale richting der as te verzekeren, de staven, die deze dragen, door middel van bijzondere mechanismen zoowel horizontaal als verticaal verschuiven kan in gleuven of sponningen, welke stevig bevestigd zijn aan zware steenen palen.

Om de trillingen of schuddingen te vermijden, draagt men bovendien zorg, de steenen palen af te scheiden van de muren en vloeren van 't gebouw, en tevens de tappen, ten einde hunne slijting te verminderen, te verlichten door behoorlijk in evenwicht gestelde hefboomen *gh*.

Dradennet. — Wat de draden betreft, zij worden doorgaans, ten getale van zes of acht, aangebracht, gelijk fig. 73 toont, op eene ronde opening in de plaat,

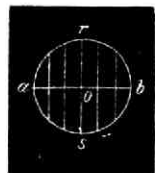


Fig. 73.

die ze draagt. Deze draden zijn coënon-, spinneweb- of platina-draden. De eene, *ab*, is horizontaal, en de andere staan op gelijke afstanden aan de beide zijden van den meridiaan-draad *rs*. Het gemiddeld getal der uren, met de vijf of zeven doorgangen eener Ster onder deze verschillende draden, geeft met eene merkwaardige nauwkeurigheid het oogenblik aan van den doorgang onder den draad in 't midden of door den meridiaan. De plaat met hare draden heeft den naam van *dradennet* of enkel *net* gekregen. Des nachts wordt het flauw

beschenen door eene lamp L (fig. 71), wier licht in 't binnenst van den pijler en de as valt, om te weerkaatsen op een kleinen spiegel *m*, hellende met een hoek van 45 graden. Deze spiegel onderschept maar zeer weinig van het licht der Sterren. De verlichting is noodig, opdat de waarnemer niet verrast worde door den snellen voorbijgang der Sterren achter ieder der draden, en hij eenige seconden te voren op de waarneming kunne voorbereid zijn.

Meridiaan-cirkel. — Een cirkel *pq* (fig. 71), van een tot twee meters in diameter, verandert het instrument in een meridiaan-cirkel, en is dan geschikt om te gelijk de *rechte opklimming* en de *declinalie* te bepalen.

115. **Quadranten.** — Tegen 't einde der vorige eeuw gebruikte men voor de declinatieën of afwijkingen meest altijd quadranten of vierden van cirkels, van welke men zich, vóór Römer's uitvinding, mede bediende voor de rechte opklimmingen; maar de *limbus* of in graden verdeelde rand van zulk een instrument, uit verschil-

londe stukken samengesteld, stond aan kromtrekken bloot, en veroorzaakte dan

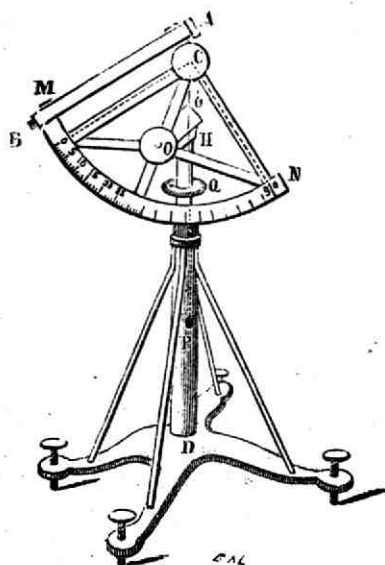


Fig. 74.

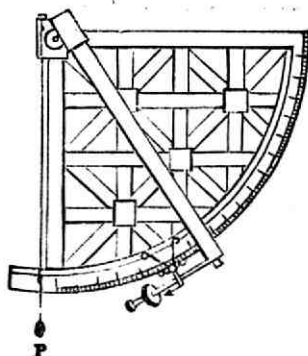


Fig. 75.

bij de meridiaan-doorgangen vrij aanzienlijke fouten, welke vermeden worden bij de uit één stuk gedraaide heele cirkels. De moeilijkheid der verificatiën, grooter op een quadrant dan zij 't op een heelen cirkel is, liet ook de declinatiën vrij onzeker. Deze quadranten waren nu eens (fig. 74) beweeglijk om eene horizontale as OO' , gaande door 't zwaartepunt en loodrecht op den voet HD , dien men verticaal maakte met vier stelschroeven (drie zouden genoeg zijn geweest, en werkelijk gebruikt men er sedert het einde der vorige eeuw niet meer); in welk geval de kijker AB , onveranderlijk bevestigd aan het quadrant, met dit laatste draaide om de Sterren te gaan zoeken, terwijl de limbus onder het schietlood CP heen gleed en den zeniths-hoekafstand aanwees door de afdeeling of streep, waar de draad bleef staan (*). Dan weder werden zij (de quadranten) bevestigd hetzij aan een muur, hetzij

op een voet of op eene metalen stelling, en de kijker (fig. 75) bewoog zich dan over den limbus, met zich voerende een vernier, soms eene micrometerschroef, toestellen te wel bekend dan dat het noodig zou zijn ze hier te beschrijven; zij moesten dienen om de gezochte hoeken met meer nauwkeurigheid aan te geven.

Vernier. — Alleen mag men hier de aanmerking maken, dat men niet, gelijk vaak gebeurt, den vernier ab (fig. 76), die omstreeks 1631 werd uitgedacht door Vernier Chatelain van Dornans (nu in 't Fransche departement der Orne), moet verwarren met den Nonius, eene uitvinding van den

aldus genaamden Portugees. Ieder weet toch, dat bij den Vernier een getal

(*) Een bijzondere toestel gaf gelegenheid om den kijker op de Ster te richten door eene langzame beweging, en vervolgens den limbus in dien stand goed vast te zetten.

($n \pm 1$) afdelingen overeenkomt met een getal n der in breuken uit te drukken afdelingen; zoodat, daar deze beide soorten van afdelingen in de grootte de ver-

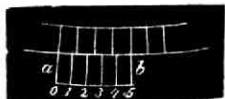


Fig. 76.

houding $n : (n \pm 1)$ hebben, men de breuk $\left(\frac{1}{n \pm 1}\right)$ van iedere der laatste kan berekenen.

Nonius. — Dit zoo eenvoudig stelsel nu verschilt veel van dat van Nonius, die op den limbus MN (fig. 75) van het quadrant een zeker getal (doorgaans 44)

concentrische of éénmiddelpuntige cirkelbogen trok, waarvan de 1ste in 90 deelen, de 2de in 89, de 3de in 88, enz., de 44ste eindelijk in 46 deelen was verdeeld. Men gevoelt, dat het schietlood, bij zulk een stelsel op de schier nauwkeurigste wijze met eene der aldus gemaakte afdelingen moest samentreffen. Onderstelt dat het zich op de m^{te} afdeling van het vierde des omtreks bevond, dat zelf p afdelingen bevatte; men had dan slechts, om den overeenkomstigen hoek te berekenen, de evenredigheid op te stellen:

$p : m = 90 \times \frac{m}{p}$; eene waarde, die zich gemakkelijk tot graden en eene breuk van graden, of tot graden, minuten en seconden laat herleiden.

Methode der transversalen of dwarslijnen. — De vorige handelwijze, waarbij men ten gevolge van 't groot getal op den limbus getrokken bogen, als licht fout in 't aflezen begaat, maar die Magellaan, een landgenoot van den in 1560 gestorven Nonius, nogtans wilde behouden hebben en waarvoor hij nog in 1775 in zijne Verhandeling over de octanten met zekere heftigheid ijverde, was voor 't overige reeds eenigen tijd vóór de uitvinding van den vernier vervangen geworden door eene waarschijnlijk zeer oude methode, welke Tycho-Brahé verklaarde overgenomen te hebben van een hoogleeraar te Leipzig, *Homelius* geheeten. Begeert gij, daar de gelegenheid zich hier aanbiedt, eene beknopte be-

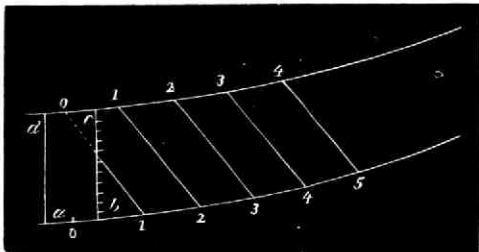


Fig. 77.

schrijving er van? Verbeeldt u op den limbus van het quadrant twee concentrische bogen (fig. 77) ieder verdeeld van 10 tot 10 minuten, bij voorbeeld, en trekt dwarsstrepen van de afdeling nul op een der bogen naar de afdeling n^o. 1 van den anderen boog, verder van de afdeling n^o. 1 des eersten naar de afdeling n^o. 2 des tweeden, enz.; bevestigt vervolgens aan den beweeglijken kijker eene plaat *abcd*, welker kantlijn *cb*, die, verlengd zijnde, door 't middelpunt van het quadrant zou gaan, zelve ook in een zeker getal deelen, bij voorbeeld 10, is verdeeld. 't Is duidelijk, dat die afdee-

Men kon ook aan den toestel eene azimuthale beweging geven, welker maat men nam op den cirkel Q. Deze azimuthale beweging gaf het middel aan de hand om den verticalen stand van HD aan te brengen of te onderzoeken, welke stand plaats had wanneer het schietlood in de verschillende azimuths overeenkwam met dezelfde afdeling van het quadrant.

ling der beweeglijke plaat, welke juist op de dwarsstreep komt, het getal minuten zal aanwijzen, dat nog gevoegd moet worden bij de met de plaat overdekte afdeeling (in onze figuur nul). 't Is ook klaarblijkelijk, dat eene nadere indeeling van den limbus en de plaat niet alleen minuten, maar ook zoodanige breuk van minuten als men verlangen mocht zou aangeven.

Men moet evenwel in 't oog houden, dat, daar de beide op den limbus getrokken bogen een weinig ongelijk zijn, ook de afdeelingen van den eenen iets verschillen van die des anderen. Hieruit zou eene hoogst geringe fout ontstaan, die men echter gemakkelijk had kunnen verhelpen, maar die over 't algemeen als nul mag beschouwd worden.



NEGENDE LES.

Beschouwing der Zon. — Plaats van het middelpunt, afgeleid van die der randen. — Zonnedag. — *Jaarlijkse beweging in het vlak der Ecliptica.* — *Æquinoctiën of Nachteveningspunten*; hunne bepaling. — *Uitgangspunt*, van hetwelk men de rechte opklimming begint te tellen; bepaling van dat punt. — *Solstitiën of Zonnestanden*, Coluren of Jaargetijnsneden, en Tropic of Keerkringen. — *Schuinschheid van de Ecliptica*; hare verandering. — *Præcessie der nachteveningen.* — *Astronomische lengten en breedten*; hare herleidingen tot rechte opklimmingen en afwijkingen, en omgekeerd. — *Ongelijkheden der præcessie.* — *Nutatie.* — *Verklaring van de præcessie en de nutatie.* — *Middelbare en schijnbare standen.* — *Verschil tusschen de teekens en de Sterrenbeelden van den Zodiak.* — *Rechtstreeksche en teruggaande bewegingen.* — *Toepassing der præcessie op de tijdrekening.* — *Waarschijnlijke ouderdom van den Zodiak*; hiëroglÿfisch alphabet van Champollion. — *Ongelijkheid der dagen en nachten* volgens de seizoenen en klimaten. — *Antipoden of Tegenvoeters.* — *Dagen der Nachteveningen.* — *Pooldagen.* — *Parallele sfeer, rechte sfeer en schuinsche sfeer.* — *Poolcirkels.* — *Hanne dagen.* — *Dagen der plaatsen tusschen de Polen en de poolcirkels, en tusschen de poolcirkels en den Æquator.* — *Heete of gezegde luchtstreek, koude luchtstreken en gematigde luchtstreken.* — *Klimaten van uren en maanden.* — *Cosmische, acronische en helische verschijnselen.* — *Wijzigingen te weeg gebracht door de atmosferische straalbreking.* — *Uitwerkingen op de diameters, op de uren der op- en ondergangen.* — *Schemerlichten.* — *Hoogte der atmosfeer, uit de schemerlichten afgeleid.* — *Toepassingen.* — *Noten:* 1^o over de *micrometers* en de *heliometers* — 2^o Over de schommeling van de Ecliptica en over de præcessie der nachteveningen. — 3^o Over de wetten der atmosferische straalbreking. — 4^o Over de samenstelling der refractie-tafels. — Over de wijzigingen, welke de schijnbare diameters der Sterren door de straalbreking ondergaan.

116. **Beschouwing der Zon.** — De Zon, die met het astronomisch teeken \odot wordt afgebeeld, schijnt bij den eersten oogopslag eene dagelijksche beweging te hebben, die zich geheel met die der Sterren laat vergelijken: zij komt als deze in 't Oosten op, gaat in 't Westen onder, komt in den meridiaan op het hoogste punt van haren loop, schijnt eindelijk volkomen de zelfde wetten te volgen. Nogtans kan men, ook met het bloote oog, zekere verschillen waarnemen. Terwijl de punten van den horizon, bij voorbeeld, in welke richting de Sterren opkomen en ondergaan, onveranderd blijven, veranderen daarentegen die punten voor de Zon op eene merkbare wijze binnen zeer weinig dagen.

De stand der Zon is alzoo niet, als die der Sterren, een vaste stand aan de Hemelsfeer; doch met behulp der meridiaan-werktuigen (§§ 107—114—115) valt het gemakkelijk de verplaatsingen van dit Hemellicht te leeren kennen. Allereerst zult gij u zonder moeite overtuigen, dat al hare diameters *mn, m'n'*,

$m''n''$, enz. (fig. 78) volkomen gelijk zijn. Tot dat einde behoefte gij slechts in het brandpunt en in 't veld ABC van eenen kijker twee beweeglijke draden ab , cd , parallel aan elkander te plaatsen (*), en de draden te verwijderen totdat de eene of andere diameter van de Zon, nemen we mn , juist er tusschen begrepen is. Laat gij vervolgens den kijker in de richting van A naar C, bij voorbeeld, om zijne as draaien, dan zult gij zien, dat de diameters $m'n'$, $m''n''$, enz. op hunne beurt dezelfde tusschenruimte komen beslaan, die eerst door den diameter mn werd ingenomen, mits gij echter — het dient hier gezegd te worden — dit werk verricht als de Zon zoo hoog mogelijk boven den horizon staat, ten einde zooveel

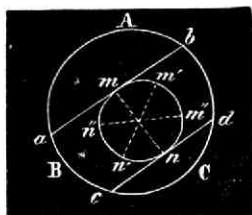


Fig. 78.

doenlijk de werking der atmosferische straalbreking op de diameters der Hemellichten te niet te doen.

Plaats van 't middelpunt, afgeleid uit die van een der randen. — Bij gemis van de plaats waar 't middelpunt der Zon zich bevindt, welke door niets wordt gekenmerkt en waartoe toch de ons ras wachtende resultaten betrekking hebben, zal het gevolgelyk voldoende zijn, de plaats van een der uiteinden van den verticalen of horizontalen diameter te bepalen; dewijl de bijvoeging of de aftrekking des halven diameters de resultaten herleiden zal tot de waarden, die men door 't waarnemen van 't middelpunt zelve zou bekomen hebben.

117. **Zonnedag.** — Wanneer gij nu dag aan dag de rechte opklimming en de afwijking der Zon bepaalt, zult gij dadelijk waarnemen, dat er tusschen twee opeenvolgende doorgangen van dit Hemellicht door den Meridiaan, of gedurende een *Zonnedag*, ongeveer 24 uren en 4 minuten sterretijd verlopen (§ 106), en tevens dat de afwijking verandert. Niets is daarenboven gemakkelijker dan door punten op de hemelsfeer den doorloopen boog te construeeren; dewijl men iederen dag, met betrekking tot eene of andere Ster, die men als uitgangspunt der rechte opklimmingen kiest, slechts aantekening behoeft te houden van de ligging der uurvlakken PS , PS' , enz. (fig. 79), alsook van de hoekafstanden SD , $S'D'$, enz. tot den *Æquator* $EOE'O'$, wiens ligging bekend is uit die van de Pool, welke zelve is afgeleid uit de waarneming der beide doorgangen van eene circumpolaire Ster boven en onder den verticaal of den meridiaan (§ 114).

118. **Jaarlijksche beweging der Zon in een vlak, dat men het vlak der Ecliptica noemt.** — **Nachteveningspunten.**

(* Zie de eerste Noot aan 't einde der negende Les.

— Onderstelt nu, dat de alzo bepaalde boog $eSS'S''$ enz. een aan 's Hemels oppervlakte gegraven kanaal zij. De loop der

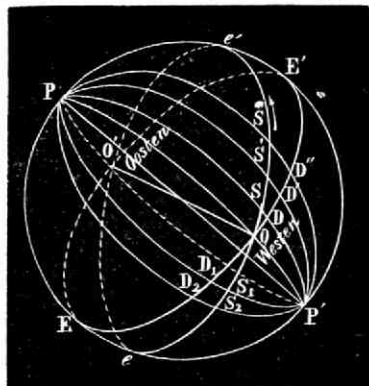


Fig. 79.

Zon zal voortvloeien uit de verbinding van twee bewegingen: van de dagelijksche beweging, die haar iederen dag, met de gansche Hemelsfeer, eene omwenteling van het *Oosten* naar het *Westen* doet volbrengen, en van eene tweede, veel langzamer beweging, die haar daarentegen van den eenen dag tot den anderen van S in S', enz., in de richting van 't *Westen* naar het *Oosten* verplaatst, waardoor de boven reeds opgemerkte vertraging van 4 minuten wordt veroorzaakt. Wat den boog $eSS'S''$ aangaat, gij zult gemakkelijk inzien, dat zijne verschillende elementen $SS', S'S''$ alle begrepen zijn in een zelfde vlak, waaraan men den naam van *vlak der Ecliptica* geeft, omdat de Maan zich tijdens de eclipsen in zijne nabijheid bevindt. De punten O en O', alwaar de omtrek des grooten cirkels $eOe'O'$ den *Æquator* snijdt, worden *nachteveningspunten* geheeten, en de lijn OO' , die ze vereenigt, voert den naam van *lijn der nachteveningen*.

119. **Uitgangspunt van hetwelk men de rechte opklimming begint te tellen.** — **Bepaling van dat punt.** — 't Is aan een der nachteveningspunten, dat namelijk, waarin de Zon zich den 21sten Maart bevindt, als zij uit het zuidelijke halfrond in 't noordelijke overgaat, dat men gewoonlijk de rechte opklimmingen, altijd van 't *Westen* naar 't *Oosten* voortgaande, telt. Meet men zorgvuldig, eenige dagen achtereen, op juist bepaalde tijdstippen, de zuidelijke afwijkingen S_2D_2, S_1D_1 , en de noordelijke afwijkingen $SD, S'D'$, enz., alsook den stand der uircirkels $PS_2P', PS_1P', PSP' PS'P'$, enz. met betrekking tot den uircirkel van deze of gene Ster, dan zal men bemerken, dat deze verschillende hoeveelheden op nagenoeg regelmatige wijze veranderen in verhouding tot den afstand van 't nachteveningspunt; en men zal bij gevolg, zonder de minste zwaarigheid, door middel van eenvoudige evenredigheden of den stand van den uircirkel POP' , waarin het nachteveningspunt ligt, of het juiste oogenblik, waarop de Zon door den *Æquator* is gegaan, kunnen vinden. Men zal dan ook zeer gemakkelijk de rechte klimmingen met betrekking tot eene Ster kunnen veranderen in rechte

klimningen met betrekking tot het nachteveningspunt, daar men slechts den tusschen de uircirkels dier beide punten begrepen hoek (verschil van rechte klimming) zal moeten bijtellen of aftrekken.

120. **Solstitiën, Coluren en Keerkringen.** — De punten e, e' , gelegen op 90° (in rechte klimming) van de nachteveningspunten, dragen den naam van *Solstitiën* of *Zonnestanden*, omdat de Zon, in ieder dier punten voor 't oogenblik stilstaande of niet veranderende in declinatie, een kleinen boog beschrijft, parallel aan den *Æquator*, van welken zij zich te voren verwijderde en dien zij nu zal beginnen te naderen. — *Coluren* of *Jaargetijsneden* heeten de uircirkels $PeP', Pe'P', POP', P'O'P'$, die door de Zonnestands- en Nachteveningspunten gaan. Men noemt *Tropici* (naar een Grieksch woord, dat terugkeer beteekent) of *Keerkringen*, eindelijk, de beide parallellen, die door de Solstitiën gaan.

121. **Schuinschheid van de Ecliptica.** — Hare verandering. — 't Is duidelijk, dat men de grootste zonsdeclinatiën $eE, e'E'$ op de beide Solstitiën tot maat kan nemen van den hoek, begrepen tusschen de Ecliptica en den *Æquator*, of, gelijk men doorgaans zegt, tot maat van de *schuinschheid der Ecliptica*. Deze hoek bedroeg, op 1 Januari 1866, $23^\circ 27' 24'' 21$. Hij verschilt weinig van 't eene jaar in 't andere; maar over een zeer geruimen tijd genomen ondergaat hij eindelijk merkelijke veranderingen, die echter altijd binnen zekere vrij enge grenzen besloten blijven. Volgens de nasporingen van Euler, Lagrange, Laplace, enz. moeten de waargenomen veranderingen worden toegeschreven aan de aantrekking, die de verschillende rondom de Zon draaiende planeten op de Aarde uitoefenen, en haar gezamenlijk bedrag zal niet boven $2^\circ 42'$ gaan. Het zou bij den tegenwoordigen staat onzer kennis moeielijk zijn, het begin en het einde der periode nauwkeurig te bepalen. Men kan alleen verzekeren, dat haar duur zeer aanzienlijk (veel honderden eeuwen) moet wezen, en dat de schuinschheid der Ecliptica, na gedurende millioenen jaren ongeveer 48 of 50 honderdste van eene seconde verminderd te zijn, allengs ophouden zal af te nemen, om opnieuw uiterst langzaam te vermeerderen tot op de bovengenoemde grens van $2^\circ 42'$, zwevende alzoo voortdurend tusschen waarden, welker verschil binnen deze grens moet besloten blijven.

Onder de Sterrenkundigen, wier waarnemingen bevorderlijk zijn geweest tot het doen opmerken van de afneming der schuinschheid, noem ik u Pytheas van Massilia (nu Marseille), die 350 jaar vóór onze jaartelling het eerst in Europa de declinatie der Zon in haar stilstandspunt wist te meten. Eratosthenes, die zich 100 jaar later te Alexandrië met dezelfde meting bezig

hield, moest, gelijk reeds vóór hem Tymocharis en Aristilles gedaan hadden, de standen der Zon bij die der Sierren vergelijken, en daardoor een zijner beroemdste opvolgers in 't bezit stellen van nuttige elementen van vergelijking voor de nog veel belangrijker ontdekking van 't Hemelverschijnsel, waaraan men den naam van *Præcessie of Vooruitgang der Nachteveningen* heeft gegeven.

122. *Præcessie of Vooruitgang der Nachteveningen*. — *Astronomische lengten en breedten*. — *Hare herleiding tot rechte opklimmingsen en afwijkingen, en omgekeerd*. — Om wel in te zien waarin de zoo schoone ontdekking der *Præcessie* bestaat, en hoe Hipparchus haar heeft kunnen doen, verbeeldt u, dat gij door zekere Ster *m* (fig. 80) den uircirkel *PmD* trekt, en terzelfder tijd eenen boog *mL* van een grooten

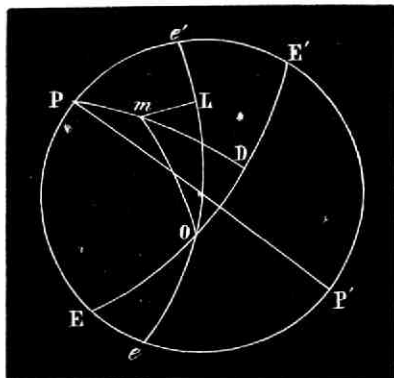


Fig. 80.

cirkel, welks vlak loodrecht staat op de Ecliptica *ee'*. De stand der Ster, gekenmerkt door hare beide tot den *Æquator EE'* betrokkene *coördinaten* (§ 107) *mD* (declinatie) en *DO* (rechte klimming), zou klaarblijkelijk ook bepaald kunnen worden door andere coördinaten *mL* en *LO*, in betrekking tot de Ecliptica. Alleen zouden de op de uircirkels gerichte instrumenten niet deze laatste coördinaten geven. Maar men zal licht begrijpen, dat het gemakkelijk moet zijn

om, met behulp van zekere tafels, die de Sterrenkundigen te hunner beschikking hebben, de tweede coördinaten van de eerste af te leiden. Dit heeft dan ook werkelijk plaats, en niets valt lichter dan om voor elke Ster uit de rechte *opklimmingsen* en *afwijkingen* de *astronomische lengten en breedten* te vinden (*). Dus

(*) Zij *RO* de rechte opklimning *OD*, en *A* de afwijking *mD* van de Ster *m* (fig. 81); zij voorts *l* de lengte *OL*, en *L* de breedte *mL* van dezelfde Ster. Trekt den grooten cirkelboog *Om*; de rechthoekige driehoek *mOD* geeft u terstond:

$$\begin{aligned} \cos Om &= \cos OD \cdot \cos mD = \cos RO \cdot \cos A, \\ \text{tang } mOD &= \frac{\text{tang } mD}{\sin OD} = \frac{\text{tang } A}{\sin RO}, \end{aligned}$$

waaruit gij de waarden van *OM* en van *mOD* = *mOL* + *LOD* = *mOL* + ω , zult oplossen, zijnde ω de bekende *schuivschheid* van de Ecliptica. Door ω van *mOD* af te trekken, bekomt gij de waarde van *mOL*.

Vervolgens zal de rechthoekige driehoek *mOL*, waarvan gij de hypotenusa *Om*, den hoek *mOL* en den rechten hoek *mLO* kent, u de waarden der lengte *OL* en der breedte *mL* van de Ster geven, door de formules

noemt men de cirkelbogen OL en mL , die men — ik haast mij dit er bij te voegen — niet moet verwarren met de namen *geographische lengten en breedten*, welke bepaaldelijk, op de oppervlakte des aardbols, gebezigd worden voor coördinaten, die identisch zijn met de rechte klimmingen en de afwijkingen.

123. — Wanneer gij nu eenige jaren achtereen de astronomische lengten en breedten van verscheidene Sterren bepaalt, zonder daarbij acht te slaan op de nauwelijks merkbare verplaatsingen, die Hipparchus zelfs niet vermoedde en die 't gevolg zijn òf van de *eigen bewegingen* (§§ 70 en 71), waarvan wij reeds in 't breede hebben gehandeld, òf van de *vermindering der schuinsheid* van de Ecliptica, dan zult gij weldra ervaren, dat de *breedten* der Sterren *onveranderd* blijven, maar dat hare *lengten zonder uitzondering vermeerderen* met eenen hoek van ongeveer $50''{,}24$ in 't jaar.

124. — Men kan bezwaarlijk onderstellen, dat *al* de Sterren zich met eene zoodanige regelmatigheid, parallel aan het vlak *ee'* van de Ecliptica en in de richting van 't Westen naar 't Oosten, verplaatsen; want men zou dan moeten aannemen, dat de

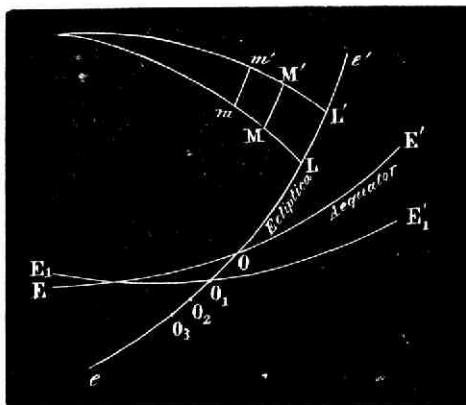


Fig. 81.

Sterren m en M (fig. 81) op ongelijke afstand van de Ecliptica, lijnen mm' , MM' beschrijven, die nauwkeurig de gevorderde verhouding hebben om beide juist aan denzelfden boog LL' van $50''{,}24$ in lengte te beantwoorden. De eenige aannemelijke verklaring van 't verschijnsel is dan deze, dat men de Sterren beschouwt als vast, en de Nachtevening als

de Ecliptica naderende van o tot o_1 , tot o_2 , tot o_3 , enz., in de

$$(\text{tang } OL = \text{tang } l) = mO \cdot \cos mOL,$$

$$(\sin mL = \sin L) = \sin mO \cdot \sin mOL.$$

Wanneer men, in plaats van uit de rechte opklimmingen en afwijkingen de lengten en breedten af te leiden, integendeel uit deze laatste coördinaten de eerste wilde berekenen, dan zou de oplossing van den rechthoekigen driehoek mOL , waarin men OL en mL kent, eerst geven mO en den hoek mOL , welks optelling bij $LOD = \omega$ de waarde van den hoek mOD zou opleveren. Vervolgens zou men uit den rechthoekigen driehoek mDO deze vergelijkingen hebben:

$$(\text{tang } OD = \text{tang } RO) = \text{tang } mO \cdot \cos mOD$$

$$(\sin MD = \sin A) = \sin mO \cdot \sin mOD.$$

richting der dagelijksche beweging van Oost naar West, terwijl de *Æquator* op zijne beurt de achtereenvolgende standen E_1E_1' , enz. aanneemt.

Eene of andere Ster M zal op die wijze hare lengte αL jaarlijks zien aangroeien met de grootheden $\alpha\alpha_1, \alpha_1\alpha_2$, enz., ieder gelijk aan $50'',24$; en de verschillende bijzonderheden van 't verschijnsel worden dus teruggebracht tot eene enkele beweging, tot de eenvoudige beweging des *Æquators*, die zich vrij wat gemakkelijker laat bevatten dan de duizenden proportioneele bewegingen, waarmede men de verschillende Sterren zou moeten toerusten.

125. — Voor 't overige is ook in dit geval, gelijk in dat van de schommeling der *Ecliptica*, de theorie de waarneming te hulp gekomen, om de bovenvermelde verklaring van 't verschijnsel te staven en zijne oorzaak in 't licht te stellen. Omstreeks het midden der vorige eeuw, gelukte het den Franschen mathematicus d'Alembert, terwijl hij door eene voortreffelijke analysis de reeds door Newton genomen proeven aanvulde, uit de ronddraaiende beweging der aarde, in verband met de aantrekkingen van Zon en Maan op de uitzetting of zwellung, die onze bol in de keerkingsstreken heeft, al de bijzonderheden der præcessie af te leiden. Hij toonde zelfs aan, dat de verplaatsing der nachteveningspunten op de *Ecliptica* niet, gelijk Hipparchus had moeten gelooven, met volkomen regelmaat geschiedt, maar dat zij onderhevig is aan periodische versnellingen of vertragingen, welke wetten hij leerde vaststellen.

126. **Ongelijkheid der præcessie. — Nutatie. —** Intuschen had Bradley, reeds vóór de uitgave van d'Alembert's verhandeling, alleen uit de waarneming de voornaamste ongelijkheid der præcessie gevonden. Deze bekwame Sterrenkundige toch had opgemerkt, dat de verplaatsing der nachteveningspunten, berekend in de onderstelling eener gelijkmatige beweging, aan fouten van *te veel en te weinig* onderhevig is, en dat die fouten regelmatig alle 18 jaren dezelfde waarden doorloopen, welke bijeenvoeging ten laatste verschillen van 8 tot 9 seconden geeft.

127. **Verklaring van de præcessie en nutatie. —** Wij zullen binnenkort ons kunnen overtuigen, dat de beweging van het Sterrengewelf van 't Oosten naar 't Westen slechts in schijn plaats heeft, en dat het eigenlijk de Aarde is, die van 't Westen naar 't Oosten draait om eene as, welke verlenging aan den Hemel de Polen der Wereld zou bepalen. Zóó laat zich dan ook het verschijnsel der præcessie, eerst beschouwd als met een gelijkmatige beweging plaats grijpende, nu zeer eenvoudig verklaren uit de verplaatsing van de omdraaiings as TP (fig. 82) der Aarde, welke as zich langzaam wentelt rondom eene perpendiculair

TC (*) op het vlak der Ecliptica, terwijl zij den altijd aan haar verbonden Æquator met zich voert, welker snijding met de Ecliptica achtereenvolgens de standen OO' , $O_1O'_1$, $O_2O'_2$, enz. aanneemt, terwijl de as TP zich verplaatst in TP_1 , TP_2 , TP_3 , enz. (+).

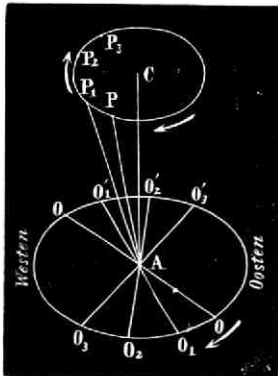


Fig. 82.

128. **Middelbare en schijnbare standen.** — Wat de ongelijkheden der præcessie betreft, men schrijft ze toe aan kleine schommelingen, die de as der Aarde maakt rondom elke der standen TP, TP_1 , TP_2 , enz., welke men in de Sterrenkunde de *middelbare standen* noemt, terwijl de wezenlijke standen den naam van *schijnbare standen* hebben gekregen. De belangrijkste dezer ongelijkheden, die, welke Bradley ontdekte, draagt den bijzonderen naam van *Nutatie* (schudding). Zij kan geometrisch voorgesteld worden (fig. 83) door een cirkel, met een

straal Pn gelijk aan $9''$, of, nauwkeuriger nog, door eene kleine ellips, wier groote en kleine diameter respectievelijk gelijk zijn aan ongeveer $9'',6$ en aan $7'',3$, en wier omtrek in 18 jaar wordt afgelegd door het uiteinde van de werelidas (de *wezenlijke as*, dezelfde die ik boven de schijnbare as heb genoemd), terwijl het middelpunt P, dat met de middelbare as overeenstemt, een jaarlijkschen boog van $50'',24$ beschrijft langs den omtrek $PP_1P_2P_3$, enz., op de Hemelsfeer getrokken met den straal CP, die, uit de Aarde A gezien, eenen hoek zou onderspannen, gelijk aan de schuinschheid der Ecliptica.

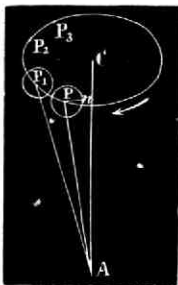


Fig. 83.

129. **Verschil tusschen de Teekens en de Sterrenbeelden van den Zodiak.** —

Rechtstreeksche en teruggaande bewegingen. — De boog $50'',24$ is 25 796 maal begrepen in 360 graden of 1 296 000 seconden, waaruit volgt, dat de lijn der Nachteveningen 25 796 jaar zal besteden om de Ecliptica geheel rond te gaan. Omstreeks den tijd van Hipparchus bevond zich het Voorjaars-nachteveningspunt, dat de Zon den 21sten Maart bereikt, in het Sterrenbeeld den Ram; en het Najaars-nachteveningspunt was in 't Sterrenbeeld de

(*) Het punt C, gelegen op 90° breedte, wordt *Pool der Ecliptica* geheeten.

(+) Zie de 2^{de} Noot aan het einde der negende Les

Weegschaal. Men moest ze dus, zeer natuurlijk de teekens geven van de beide Constellatiën des Dierenriems $\gamma \text{ } \underline{\text{c}}$, tot welke zij behoorden. Tegenwoordig staan de zaken niet meer zoo, want de præcessie heeft deze beide punten *achteruit* doen gaan en ze verplaatst, het eene in het Sterrenbeeld der Visschen, het tweede in dat van de Maagd. Men zou gevolgelijk ook de teekens, die ze voorstellen, hebben moeten veranderen, doch dit heeft geen plaats gehad, en de *teekens* van den Zodiak zijn geheel en al verschillend geworden van de *Sterrenbeelden*, die zij geacht worden te vertegenwoordigen. Die teekens zullen daarenboven van 't eene Sterrenbeeld tot het andere overgaan, naarmate de Nachteveningen zich zullen verplaatsen. En daar hare beweging in tegenovergestelde richting met den jaarlijkschen loop der Zon in 't vlak der Ecliptica geschiedt, is men overeengekomen die beweging den naam van *teruggaande* te geven, een naam, dien men ook toepast op al de bewegingen, die van *Oost* naar *West* plaats hebben, en den naam van *rechtstreeksche bewegingen* te behouden voor die, welke daarentegen van *West* naar *Oost* geschieden.

130. **Toepassing der præcessie op de chronologie of tijdrekening.** — Het verschijnsel der præcessie geeft mij als van zelve aanleiding om hier te gewagen van de hevige twisten betreffende de oudheid der menschelijke beschaving en eenige Egyptische gedenkteekens, waartoe, omstreeks het einde der vorige eeuw, aanleiding werd gegeven door zekere theorieën aangaande den oorsprong van de teekens des Dierenriems, de standen, die deze teekens weleer met betrekking tot de Nachteveningen moeten gehad hebben, en de uitlegging der hiërogllyphen, die ze voorstelden. Van dien kant beschouwd, zou de præcessie voor de geschiedenis van merkwaardige en belangrijke toepassing kunnen zijn. Want indien het waar was, gelijk eenige schrijvers, Dupuis onder anderen, denken, dat verscheidene allegorieën, ontleend hetzij aan de Hemelsfeer, hetzij aan de overstroming des Nijls, den tijd der uitvinding van den Zodiak tot op ongeveer 15 000 jaar terugvoeren, en aanleiding geven om het eerste denkbeeld daarvan aan de Egyptenaars toe te kennen, dan zouden de achtereenvolgende standen der nachteveningspunten geschikt zijn om ons in te lichten aangaande den ouderdom van de mythologische verdichtsels, of van bouwwerken en ruïnen, die tot den voortijd onzer overleveringen behooren.

Waarschijnlijke ouderdom van den Zodiak. — Maar tot dusverre heeft niet één echt, geloofwaardig monument het zegel van onbetwistbare zekerheid op de vermoedens van zulk een hooge oudheid gedrukt. De nachtevening, welke Dupuis heeft *vermeend* te zien in zekere punten van den Zodiak, kan even zoogood het Najaars-, als het Voorjaars-Nachteveningspunt wezen, en in

dat geval zou de oorsprong der 12 Sterrenbeelden, die de Zon jaarlijks doorloopt, niet 15 000, maar slechts 2- of 3 000 jaar oud zijn.

131. — Wat betreft de Egyptische bouwwerken van Denderah, Karnak, Philæ, Esne, enz., waarop men nog hiëroglifische teekens vindt, betrekking hebbende op het Hemelgewelf en inzonderheid op den Zodiak, zij schijnen ook niet te mogen ingeroepen worden om Dupuis' meening te schragen, sedert Champollion — dank zij vooral den beroemden steen van Rozette (*) — schrander genoeg was om op het eerste dezer monumenten de namen der romeinsche keizers Augustus, Tiberius, Claudius, Nero, Domitianus, — op de tempels van Karnak dien van Alexander, — op de obelisk van Philæ dien van Cleopatra te lezen, enz.

Hiëroglifisch alphabet van Champollion. — Men weet toch, dat op den steen, ontdekt bij de te Rozette gedane opgravingen, de grieksche tekst stond van een hiëroglifisch opschrift, dat, gelijk de tekst zeide, gebeiteld was in twee lettersoorten der Egyptenaren, het hiëratische of heilige schrift, en het demotische of volks-schrift. Men weet ook, hoe gelukkig Champollion, met behulp van dezen steen en eenige andere monumenten, het aangevangen werk zijner voorgangers (Young, Sylvester de Sacy, de Quatremère, de Guignes, enz.) wist te voltooien en een alphabet samen te stellen, gegrond op het beginsel, dat de Egyptische hiërogliften, met uitzondering van eenige bijzondere zinnebeelden, zooals de *mier* om de *kennis*, de *knoopstrik* om de *liefde* aan te duiden, enz., over 'talgemeen niet, gelijk de Chineesche hiërogliften, *denkbeelden*, maar *klanken* uitdrukten; dat deze klanken aan de letter behoorden, waarmede in de Koptische taal de naam van 't afgebeelde voorwerp begon; dat bijgevolg de voorwerpen, welker namen met dezelfde letter aanvingen, gelijk dat in onze taal de woorden *leeuw*, *luipaard*, *lans*, *leger*, enz. zouden zijn, *homophonisch* waren, dat is, denzelfden klank, dien hunner aanvangsletter, uitdrukten; dat de in elliptische kringen besloten teekens tot eigennamen behoorden, enz. Zoo zou men dan, bij voorbeeld, om in 't Nederlandsch het woord *arts* in hiëroglifisch schrift te schrijven, slechts een *arend*, een *rad*, een *tak* en een *schip*, of wel een *altaar*, een *rots*, een *treurwilg* en een *sabel* behoeven af te beelden; terwijl men, om den eigenaam *Cesar* uit te drukken, de figuren van een *cycloop*, een *ezel*, een *slang*, een *aap* en een *rat*, of elk ander vijftal voorwerpen, waarvan de namen achtereenvolgens met *c.*, *e.*, *s.*, *a.*, *r.*, aanvangen, binnen elliptische kringen zou besluiten.

Ziedaar de vernuftige methode, waardoor die verbazingwekkende

(*) Deze steen, eerst aan 't Instituut van Cairo geschonken door den officier der genie (Boussard), die de opgravingen in 1799 bestuurde, werd door de Engelschen weggenomen en naar 't museum van Londen gevoerd, nadat de Franschen Egypte hadden verlaten; doch men vindt er in Frankrijk nog eene menigte teekeningen en afgietsels van.

oudheid, welke men vroeger vermeend had aan sommige Egyptische monumenten te moeten toekennen wegens hun ondersteld verband met zekere bijzonderheden van den grooten astronomischen tijdkring, welks wetten wij behandelden, binnen veel engere grenzen beperkt is geworden. Men heeft, wel is waar, gezegd, terwijl men zich op andere aanwijzingen beriep, dat de vleierij gewis niet vreemd was geweest aan de te Philæ, Karnak, Denderah, enz. ontdekte opschriften, en dat deze *eerst later* de oorspronkelijk voor andere zinnebeelden bestemde plaatsen ingenomen hadden. Maar hoe geneigd men ook wezen moge om een ruim veld aan de uitleggingen toe te staan, het schijnt niet wel mogelijk, naar den gang der Nachteveningspunten, meer dan 4 tot 5 duizend jaren aanzijns toe te kennen aan de Egyptische oudheden; en 't verschijnsel der præcessie, wel verre van tegenwoordig te dienen om haar een uiterst hoogen ouderdom te doen geven, schijnt tot dusverre veeleer te strekken om de overleveringen aangaande den jongeren oorsprong van den mensch te bevestigen (*). Vergelijkt men echter de Zodiakken van verschillende Egyptische tempels met elkander, dan mag men tot het besluit komen, dat werkelijk de præcessie der Evennachtspunten veel eeuwen vóór Hipparchus moet waargenomen zijn. Doch aan de boorden des Nijls omgaven de priesters zich met zooveel mysteriën, dat hunne astronomische kundigheden schier onvruchtbaar zijn gebleven, en gevolgelijk mag men, zonder onrechtvaardig te zijn, de ontdekking toeschrijven aan hem, die haar het eerst door echt wetenschappelijke methoden te voorschijn bracht uit den geheimzinnigen nevel, waarin zij tot op zijnen tijd lag gehuld.

132. **Ongelijkheid der dagen en nachten op eene zelfde plaats, volgens de seizoenen.** — De jaarlijksche beweging der Zon, die hare declinatiën bij regelmatige afwisseling doet veranderen, is ook de oorzaak van de veranderingen, welke de lengten der dagen en nachten ondergaan. Om dit verschijnsel wel in te zien, zoo onderstelt den waarnemer geplaatst op een zeker punt O (fig. 84) van de oppervlakte der Aarde, en laat PZ P'Z' het meridiaan-vlak der plaats, OZ de verticaal, PP' de lijn der Polen, HH' en EE' eindelijk de richting van den Horizon en den Æquator op den Meridiaan voorstellen.

Van den eenen dag tot den anderen bedraagt de afstand, op welchen de Zon zich van de Pool verwijderd of haar nadert, zeer weinig. Wij mogen alzoo, zonder merkelijke fout, onderstellen,

(*) De menschenkaak, onlangs (1863) door Boucher van Perthes gevonden in het diluvium of opgespoelde land van Abbeville (in 't Fransche depart. der Somme), en eenige andere soortgelijke ontdekkingen, hebben opnieuw het vraagstuk betreffende de oudheid doen opwerpen. Daar echter een ieder in de periodieke geschriften de bijzonderheden der geschilvoering heeft kunnen volgen, houd ik mij niet op bij de redenen van het voor en het tegen, die door de aanhangers der beide gevoelens zijn te berde gebracht.

dat zij in hare dagelijksche beweging, gedurende den tijd van

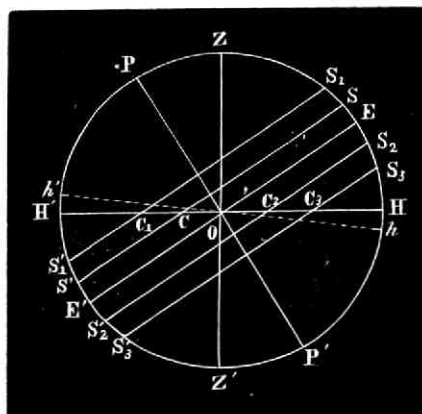


Fig. 84.

eenen zonedag, lijnen SS', S_1S_1' , beschrijft, die parallel zijn aan den $\text{\AE}quator$. Wanneer nu hare declinatie naar de Pool P toenemen, worden ook de parallel-gedeelten SC, S_1C_1 , enz., die overeenkomen met den dag, steeds grooter; terwijl de deelen CS', C_1S_1' , enz., die de Zon des nachts doorloopt, daarentegen kleiner worden. De dag zal dus op zijn maximum zijn, of het langst wezen, wanneer de Zon zich op haar grootsten afstand van den $\text{\AE}quator$

bevindt, in de richting van de boven den horizon zichtbare Pool, dat is in een der Solstitiën of Zonnestandspunten, enz.

Worden de Zonsdeclinatieën naar de onzichtbare pool P' geteld, zijn ze zuidelijk, bij voorbeeld, zoo zullen ook de parallel-deelen C_2S_2, C_3S_3 voor de bewoners van Europa kleiner zijn dan C_2S_2', C_3S_3' , en de dagen zullen korter zijn dan de nachten. Deze zullen hun maximum bereiken, wanneer de zuidelijke declinatie ES_3 der Zon zelve hare aanzienlijkste waarde zal hebben gekregen, dat is, wanneer zij aan het tweede Zonnestandspunt zal gekomen zijn.

133. **Antipoden.** — 't Is bovendien duidelijk, dat voor de bewoners der Aarde, die *Antipoden* of *Tegenvoeters* van het punt O zijn, dat is voor hen, die het gedeelte $HZ'H'$ des Hemels zien, de verschijnselen omgekeerd zullen zijn; dat de langste dagen der eenen overeenkomen met de langste nachten der anderen, en zoo ook de kortste dagen met de kortste nachten; dat de seizoenen, in één woord, er het tegengestelde van elkander zullen zijn, vallende de lente en de zomer der eersten terzelfder tijd in als de herfst en de winter der tweeden.

134. **Dagen der Nachteveningen.** — Op de tijdstippen der Nachteveningen staat de Zon in den $\text{\AE}quator$, die in twee gelijke deelen wordt gesneden door den horizon HH' , gelijk hij zulks mede zou worden door elken anderen horizon hh' , makende een willekeurigen hoek met HH' . Alsdan zijn gevolgelyk de dagen gelijk aan de nachten, en zijn dat niet alleen voor den waarnemer in O, maar voor iederen waarnemer op eenig punt van 's aardbols oppervlakte.

135. **Pooldagen.** Er is echter eene dubbele uitzondering op de algemeenheid van dezen regel. Wij hebben reeds gelegenheid gehad om op te merken, en wij zullen later ons er van overtuigen, dat de Aarde ten naastenbij rond is, dat hare afmetingen daarenboven geheel niet in aanmerking komen bij de hemelsche afstanden, en dat men bij gevolg de zichtbare horizons als één kan beschouwen met de wezenlijke of onzichtbare horizons (§ 105). Onderstelt nu, dat PEP'E' (fig. 85) den omtrek

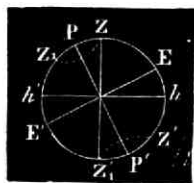


Fig. 85.

van den Aardbol voorstelt in de richting van een of anderen declinatie- of uircirkel. 't Is duidelijk, dat EE' de wezenlijke horizon der beide Polen P en P' zal wezen, waaruit volgt, dat, wanneer de Zon in hare dagelijksche beweging den Æquator zal beschrijven, de poolbewoners (zoo die er zijn) de helft van de lichtende zonneshijf boven hunnen horizon moeten zien, en rechtstreeks beschenen zullen

worden, niet gedurende 12 uren, gelijk de andere bewoners der Aarde, maar gedurende den ganschen dag. Doch zoodra de declinatie der Zon genoeg zuidelijk of genoeg noordelijk zal geworden zijn om ook de buitenste randen van 't Hemellicht over den Æquator te brengen, zal de Pool, die den tegengestelden naam der declinatie draagt, de Zon niet meer zien, terwijl de Pool van denzelfden naam haar rondom de verticaal zal zien draaien, om zich trapsgewijs langs een soort van spiraal te verheffen tot op het oogenblik van den Zonnestand, en dan weder te dalen om tijdens de Nachtevening te verdwijnen en zich aan den horizon der tegenoverstaande Pool te vertoonen.

Iedere Pool zal dus beurtelings dagen en nachten hebben, die van de eene Nachtevening tot de andere, dat is ongeveer zes maanden, duren; en de grootste hoogte der zon, tijdens de Zonnestanden, zullen niet gaan boven de schuinscheid der Ecliptica, die, gelijk wij gezien hebben, gemeten wordt door de *maxima*-declinatiën ES₁ ES₂ (fig. 84), nagenoeg gelijk aan 23°27'5.

136. **Parallele Sfeer, rechte Sfeer en schuinsche Sfeer.**
— Tusschen den Æquator en de Polen heeft de horizon een meer of minder schuinschen stand met betrekking tot de as der Wereld. Terwijl dan de dagelijksche beweging parallel aan den horizon der Polen, en loodrecht op den horizon voor de bewoners des Æquators plaats heeft, zal die zelfde beweging op eene schuinsche wijze voor ieder anderen horizon geschieden. Deze drieërlei standen des hemels nu worden aangeduid door te zeggen, dat gij de *parallele* sfeer, de *rechte* sfeer of de *schuinsche* sfeer hebt, al naar gelang van de streek der Aarde, waar gij u bevindt.

Poolcirkels. — Hunne dagen. — In het meest voorkomend geval, dat der schuinsche sfeer, verdient een zekere stand de bijzondere aandacht: 't is die, waarvan de horizon hh' (fig. 86) met den $\text{\AE}quator$ eenen hoek maakt, gelijk aan de schuinsheid der Ecliptica , en welks verticaal OZ klaarblijkelijk denzelfden hoek maakt met de as der Wereld. Voor de dus geplaatste bewoners der Aarde, gevolgelijk voor al degenen, die leven op den omtrek der cirkels ZZ_1 , $Z'Z'_1$, van fig. 85, gelegen op $23^\circ 27',5$ van de Polen, en die men *Poolcirkels* noemt, liggen de parallellen Sh' , $S'h$

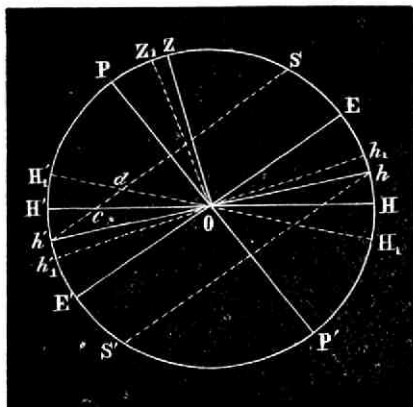


Fig. 86.

geheel en al hetzij boven, hetzij beneden hh' . Er zal daar aldus beurtelings een dag en een nacht van 24 uren zijn.

137. Dagen der plaatsen tusschen de Polen en de Poolcirkels. — Wanneer van den Poolcirkel tot de Pool het zenith Z_1 nader bij P komt, verwijdert de horizon $h_1h'_1$ zich in zijn benedendeel h'_1 van het laagste punt h' der dagelijksche loopbaan van de Zon. Zoolang als de declinatie $E'h'$ niet de hoeveelheid $h'h'_1$ is verminderd, zal de Zon gevolgelijk niet ondergaan voor den horizon $h_1h'_1$, en de dag zal van 24 uren tot 6 maanden duren, langer of korter naar gelang van den stand des Zeniths Z_1 , tusschen Z en P , of dien des horizons $h_1h'_1$ tusschen de horizons hh' , EE' van den poolcirkel en de Pool.

138. Dagen der plaatsen, gelegen tusschen de Poolcirkels en den $\text{\AE}quator$. — Van de poolcirkels tot den $\text{\AE}quator$ snijden de horizons HH' , $H_1H'_1$ steeds de dagelijksche parallellen der Zon. Er heeft dus bestendig voor de dus gelegen streken dagelijksche afwisselingen van licht en duisternis plaats. Maar men moet hierbij nog opmerken, dat de deelen Sc en ch' , Sd en dh' , enz. van dezen of genen parallel, hoe dichter de horizon bij PP' of het zenith bij den $\text{\AE}quator$ komt, steeds meer en meer in grootte aan elkander gelijk worden. Alzoo zal dan de duur der dagen en nachten, op dezelfde tijden des jaars, al naar gelang van de richting der Zons-declinatie, aanhoudend toe- of afnemen, uitgaande van den $\text{\AE}quator$, alwaar die duur bestendig gelijk is, omdat de horizon PP' al de parallellen iden-

tisch verdeelt, tot aan de poolcirkels toe, alwaar van den eenen Zonnestand tot den anderen, als men den zons-diameter niet in aanmerking neemt, de dag en nacht 24 uren verschillen. Zoo zijn voor ons, bewoners van Europa, zoolang de declinatie der Zon noordelijk is, dat is van den 21sten Maart tot ongeveer den 21sten September, de dagen langer en de nachten korter in de noordelijke klimaten dan in de zuidelijke; terwijl het omgekeerde plaats heeft van den 21sten September tot aan den 21sten Maart, als wanneer de Zon zuidelijke declinatie heeft. Het is tevens duidelijk, dat op het *zuidelijke* halfmond der Aarde dezelfde verschijnselen, maar in omgekeerde orde, moeten plaats hebben, komende de lente van dat halfmond met onzen herfst, en onze winter met den zomer aldaar overeen (*).

139. **Heete of gezengde Luchtstreek, koude Luchtstreken, gematigde Luchtstreken.** — De zon gaat beurtelings van den eenen keerkring tot den anderen (§ 120). Al de plaatsen der Aarde, wier verticalen met den *Æquator* hoeken maken, begrepen tusschen nul en de zonnestands-declinatiën ($23^{\circ}27'5''$) zullen dus ieder de Zon tweemaal 's jaars in hun zenith zien. Die plaatsen liggen tusschen twee vlakken, die men zich op $23^{\circ}27',5''$ ten noorden en ten zuiden van den *Æquator* denkt, en vormen op 's Aardbols oppervlakte eenen gordel van $46^{\circ}55'$ breedte, dien men de *heete of gezengde luchtstreek* noemt. Bij tegenstelling heeft men den naam van *koude luchtstreken* moeten geven aan die, welke zich van ieder der poolcirkels uitstrekken tot de Polen; terwijl de tusschengelegen gordels natuurlijkerwijze op hunne beurt, bij de Aardrijksbeschrijvers, den naam van *gematigde luchtstreken* hebben gekregen.

140. **Klimaten van uren.** — Ziedaar gevolgelijk vijf afdee-

(*) Men kan gemakkelijk den duur van den dag voor eene zekere plaats op een gege-

ven tijdstip des jaars berekenen. Zij Z (fig. 87) het zenith van eenen waarnemer, P de pool, HPZH' de meridiaan, S de Zon aan den horizon HSH'. Stel verder de letter D de zons-declinatie voor, die men voor eiken dag des jaars vindt opgegeven in de astronomische jaarboeken of tafels, en de letter L de lengte der plaats, dat is de hoek, begrepen tusschen de verticalen OZ en den *Æquator* OE. De bolvormige driehoek PZS geeft u dan

($\cos ZS = \cos 90^{\circ} = 0$) = $\cos PZ \cdot \cos PS + \sin PZ \cdot \sin PS \cdot \cos ZPS$.
waaruit volgt

$\cos ZPS = -\cotang PZ \cdot \cotang PS = -\tang L \cdot \tang D$,

aangezien PZ en PS de complementen der breedte en der declinatie zijn.

Deze formule, die daarenboven geheel van toepassing is voor ieder hemellichaam, dat D tot declinatie heeft, geeft den *uurhoek* ZPS, begrepen tusschen den meridiaan en den urencirkel PS, die door de Zon aan den horizon gaat. In tijd herleid, naar verhouding van 15° per uur sterretijd voor de Sterren en zonnetijd voor de Zon, geeft de hoek ZPS, dien men *halve daghoek* heet, den duur aan van den halven dag, dat is de tijd, die er tusschen den doorgang door den meridiaan en den open ondergang verloopt. — Later zullen wij zien hoe men in het tegenwoordig vraagstuk ook de werking des dampkrings, die eenigszins van invloed op de resultaten is, in rekening kan brengen.

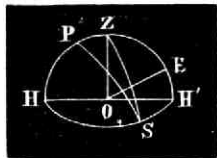


Fig. 87.

lingen, die beantwoorden aan juist begrensde astronomische bijzonderheden. Maar in de studie der aardsche physica bepaalt men zich over 't algemeen niet bij deze te min talrijke afdeelingen, en men onderverdeelt doorgaans de beide tusschenruimten van den Æquator tot aan de poolcirkels in 24 strooken of *klimaten*, welker breedte derwijze bepaald wordt, dat er, gerekend van den eersten tot aan den tweeden rand van een klimaat, een verschil van een half uur in den duur van den langsten dag is. Dit nu geeft voor de 24 klimaten het verschil van 12 uren, dat er, gelijk wij reeds boven zagen, bestaat tusschen den duur van den zonnestilstandsday aan den Æquator en aan de poolcirkels.

141. **Klimaten der maand.** — Men verdeelt ook somwijlen iedere der koude luchtstreken in zes deelen, die men *klimaten der maand* heet, om ze te onderscheiden van de 24 vorige, waaraan men den naam van *uurklimaten* geeft. De breedte dier zes maandklimaten wordt bepaald door eene soortgelijke voorwaarde als die, welke de breedte der eerste bepaalt; van den eenen rand des klimaats tot den anderen verschilt de langste dag nu niet een half uur, maar eene maand, makende de zes verschillen bijeengenomen het totale verschil van zes maanden uit tusschen den duur des dags aan de Pool en den duur van slechts 24 uren, dien de langste dag aan den poolcirkel heeft. Ik behoeft u zekerlijk niet te doen opmerken, dat de periodische verandering der schuinschheid van het vlak der Ecliptica langzaam de keerkringen en de poolcirkels aan de oppervlakte des Aardbols verplaatst, en *op den langen duur* eenige geringe wijzigingen brengt in de verschijnselen, die wij hebben behandeld (*).

142. **Cosmische, acronische en helische verschijnselen.** — Wij mogen, terwijl wij van de zonnedagen spreken, niet vergeten de vaak gebruikte uitdrukkingen *cosmisch*, *acronisch* en *helisch* of *heliacisch* te verklaren. De eerste heeft betrekking tot de verschijnselen, die zich opdoen tot het oogenblik zelf van den opgang der Zon; de tweede op die, welke juist bij haren ondergang plaats grijpen; de derde eindelijk op de verschijnsels, en inzonderheid tot het op- en ondergaan der Hemellichamen, die men kan waarnemen ongeveer een uur hetzij *vóór* den opgang, hetzij *na* den ondergang der Zon. Men maakte weleer in Egypte

(*) Om de breedte der uurklimaten te berekenen (zonder daarbij den later door ons te beschouwen invloed des dampkrings in aanmerking te nemen), zoo bedient gij u slechts van de reeds gebezigde formule (noot van § 138, fig. 87), $\cos ZPS = -\tan L \cdot \tan D$, waaruit gij vindt $\tan L = -\frac{\cos ZPS}{\tan D}$. Maak in deze formule achtereenvolgens $ZPS = 90^\circ$ of 6 uren; $93^\circ 45'$ of $6\frac{1}{4}$ uur; $97^\circ 30'$ of $6\frac{1}{2}$ uur; $101^\circ 15'$ of $6\frac{3}{4}$ uur, 105° of 7 uren; 180° of 12 uren; gij zult (met de zonnestands-declinatie $D = 23^\circ 27' 30''$) de achtereenvolgende waarden van L vinden, overeenkomende met de 24 uurklimaten, van $L = 0$ af tot aan $L = 66^\circ 32' 30''$. Ziehier deze waarden of liever de uiterste breedten, welke ieder dezer klimaten begrenzen, gaande het eerste van de breedte nul, die met $ZPS = 90^\circ$ overeen-

een menigvuldig gebruik van de *helische* opgangen, onder anderen van die van *Sirius*, die omstreeks den 12den Juli plaats had, ten tijde als de zomerwinden, uit het Noorden over Ethiopië blazende, de wolken aan de bronnen des Nijls opeenhoopen en de overvloedige regens doen ontstaan, die de overstroming der rivier ten gevolge hebben. In 't algemeen beginnen de heldere Sterren zich te vertoonen, wanneer de Zon 10 tot 12 graden beneden den horizon is gedaald. Ook sloegen de Egyptenaars, als de helische ondergang van *Sirius* had plaats gehad, dat is als men de in de zonnestralen gedompelde Ster des avonds niet meer kon onderscheiden, zorgvuldig het tijdstip gade waarop zij weer, ten gevolge van de beweging der Zon naar 't Oosten, te verschijn kwam uit den straalkrans, die haar ieder jaar voor een tijd doet verdwijnen; was dat tijdstip daar, dan verlieten de

komt, tot aan de breedte, die ZPS—6 $\frac{1}{2}$ uur oplevert, in welk geval de geheele dag, gelijk aan 2maal ZPS, 12 $\frac{1}{2}$ uur zal bedragen, enz.

Dagklimaten.	Uiterste breedten.	Dagklimaten.	Uiterste breedten.
1	8° 34' 15"	13	60° 00' 20"
2	16 44 30	14	61 19 20
3	24 12 15	15	62 26 20
4	30 48 45	16	63 23 10
5	36 31 40	17	64 10 50
6	41 24 30	18	64 50 25
7	45 32 40	19	65 22 30
8	49 02 45	20	65 48 30
9	52 00 25	21	66 08 00
10	54 31 00	22	66 21 40
11	56 38 55	23	66 29 50
12	58 27 45	24	66 32 30

Wat de maanklimaten betreft, men zal ze gemakkelijk verkrijgen door 't nazien van de Zonsdeclinatieën, van maand tot maand, in deze of gene astronomische tafels of jaarboeken. De afneming h'/h_1' (fig. 86) der Zonsdeclinatie in 15 dagen, te rekenen van den Zonnestand, zal de toename in breedte ZZ' geven, uitgaande van den poolcirkel, hetgeen op den duur van den langsten dag een verschil van eene maand zal te weeg brengen (namelijk $\frac{1}{2}$ maand gedurende de toenemende declinatieën of vóór den Zonnestand, en $\frac{1}{2}$ maand na den Zonnestand, tijdens de afnemende declinatieën). Men zal zoodoende vinden:

Maanklimaten.	Uiterste breedten.	Maanklimaten.	Uiterste breedten.
1	67° 22'	4	77° 43'
2	69 40	5	83 13
3	73 05	6	90 00

De voorgaande uitkomsten hebben betrekking tot het middelpunt der Zon. Daar nu de diameter van dit Hemellicht ongeveer 32' bedraagt, zoo zal, wanneer zijn bovenrand aan den horizon is, dat is wanneer de *geometrische* dag begint of eindigt, zijn middelpunt, waartoe de zonnstands-declinatie betrekking heeft, 16' gedaald wezen. De te gebruiken vergelijkijng zou dus, strikt genomen, deze zijn (fig. 88):

$$\begin{aligned} [\cos ZS &= \cos (90^\circ - 16') = -\sin 16'] \\ &= \cos ZP \cdot \cos PS + \sin ZP \cdot \sin PS \cdot \cos ZPS \\ &= \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D \cdot \cos ZPS, \end{aligned}$$

in welke men de breedten van 40' tot 10' kan doen aangroei en de overeenkomstige waarden der hoeken ZPS berekenen. Men zou dan voor de breedte der klimaten de gordels nemen, begrepen tusschen de beide breedten, die veranderingen geven van een kwartier uurs in de halve dag-hoeken ZPS. Eene dergelijke bewerking is ook van toepassing op de maanklimaten. Wij zullen spoedig zien, dat zij zich ook op de uitwerkingen der atmosfeer laat toepassen.

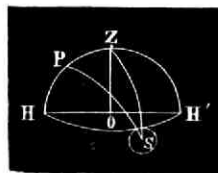


Fig. 88.

Wij zullen spoedig zien, dat zij zich ook op de uitwerkingen der atmosfeer laat toepassen.

Egyptenaars de vlakten en namen de wijk op de hoogten, om zich tegen de overstroming te beveiligen.

143. Wijzigingen, die de atmosferische refractie of straalbreking in de resultaten te weeg brengt. — Ik zal mij niet langer bij deze bijzonderheden ophouden. Evenwel moet ik er nog bijvoegen, dat de geometrische uitkomsten, waarvan

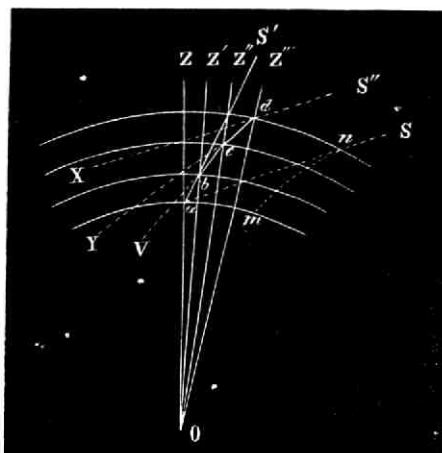


Fig. 89.

wij 't voornaamste behandelden, merkkelijk gewijzigd worden door den ons omgevenden dampkring, die allengs in dichtheid afneemt tot op eene hoogte van ongeveer 60 of 64 kilometers. Wanneer wij alzoo, bij voorbeeld, uit het punt a van de oppervlakte der Aarde (fig. 89) de Zon of eene andere Ster in S' zien op den zeniths-hoekafstand ZaS' , dan bevindt het Hemellicht zich werkelijk in het punt S , op den zenithsafstand ZaS . De dampkring

brenkt dus de hemellichamen schijnbaar nader bij het zenith, daar hij hun waren zenithsafstand ZaS vermindert met den hoek SaS' , dien men den hoek van atmosferische refractie of straalbreking, of, eenvoudiger, enkel *refractie* noemt, en die, volgens zekere tegenwoordig welbekende wetten, met den *schijnbaren* zenithsafstand verandert.

144. — Om te begrijpen hoe dit verschijnsel plaats heeft, zoo verbeeldt u eenen straal of liever eenen lichtbundel $S'd$, vallende in het punt d op de bovenste dampkringslaag. Deze lichtbundel zal, bij zijnen overgang uit het ledige in eene *middelstof*, de normaal OZ'' naderbij komen (§ 28), de richting $S'dX$, die hij aanvankelijk had, verlaten, en nu de richting dc nemen. Aan het punt c gekomen om in de tweede laag, dichter dan de eerste, over te gaan, komt hij ook nu weder dichter bij de normaal OZ'' , verlaat de richting dcY , die hij van d naar c had gevolgd, en breekt volgens cb . Weldra een nieuwe laag ontmoetende, wier dichtheid die der vorige lagen overtreft, verandert hij zijnen weg cbV om eindelijk in het punt a in de richting ba te komen. 't Is derhalve op de verlenging aS' van den lichtstraal ba , die

de gewaarwording aan 't oog overbrengt, dat de waarnemer a het hemellichaam zal meenen te zien. Hij zou het in de richting aS gezien hebben door tusschenkomst van den lichtbundel S_n , parallel aan $S''d$, indien de dampkring dien bundel had vergund volgens na , de rechthoekige voortzetting van S_n , te gaan, in plaats van hem nu in een zeker punt m te doen belanden, alwaar zijn licht voor den waarnemer a verloren gaat.

Ofschoon de voorgaande redeneering slechts op drie dampkringslagen steunt, zoo ziet men toch lichtelijk in, dat zij op een willekeurig getal lagen van toepassing moet zijn (*). Men kan insgelijks wel bevroeden, dat zij nog zal geldig wezen, ingeval eenige van die lagen, ten gevolge van de onophoudelijke bewegingen der atmosfeer, onregelmatig in vorm of dichtheid mochten zijn. De door het licht beschreven kromme lijn, zou dan op hare beurt bochten of kronkelingen hebben, die hare eerste kromming zouden wijzigen en ook eene geringe afwijking konden te weeg brengen met betrekking tot het verticale vlak, waarin over 't algemeen de refractie plaats heeft. Maar de einduitkomst zou altijd eene vermindering van den *waren* zeniths-afstand zijn; eene vermindering, die ontstaat uit hetgeen de gemiddelde dichtheid des dampkrings meer bedraagt dan het ledig der hemelruimten, en die, ondanks de toevallige bochten als gevolg van de beweging der lucht, zich laat berekenen met eene schier mathematische nauwkeurigheid door middel van de refractietafels, welke de Sterrenkundigen tegenwoordig weten te vervaardigen (†).

145. Uitwerkselen op de dagelijksche beweging en op de diameters. — Bij het raadplegen dier tafels, om te zien hoe de uitwerkselen der refractie veranderen, zal men bevinden dat de afwijking in 't zenith gelijk aan nul is; dat zij aan den horizon eenigszins onzeker is en gemiddeld $33'30''$ bedraagt; dat zij tusschen die beide traspewijs, maar niet in vaste verhouding toeneemt; eindelijk, dat zij nog eenigszins gewijzigd wordt door de temperatuur en de barometer-drukking der atmosfeer, zoodat zij vermindert wanneer de temperatuur rijst, en daarentegen toeneemt als de barometerhoogte aangroeit. Hieruit laat zich lichtelijk opmaken, dat het schijnen moet alsof de Sterren in hare dagelijksche beweging geen zuivere parallellen beschrijven, dewijl de standen, die ze werkelijk innemen, meer of minder veranderd zijn naar gelang de zenithsafstanden zelven meer of minder aanmerkelijk zijn. Tevens kan men er uit besluiten, dat de Hemellichten, wier diameter men kan bepalen,

(*) Zie aan 't einde der 9de Les de 3de Noot, over de wetten der atmosferische refractie.

(†) Zie aan 't einde der 9de Les de 4de Noot, over de samenstelling der Tafels van atmosferische refractie.

vooral de Zon en de Maan, ons ovaal moeten voorkomen, want de benedenranden, als verderaf van 't zenith zijnde, ondergaan sterker refractie en komen gevolgelijk zooveel dichtter bij de bovenranden als de verschillen der beide ontstane uitwerkselen bedragen.

Deze verschillen drukken de inkorting der verticale afmetingen uit. Ze zijn te grooter naarmate de Gesternten lager staan. Voor de Zon en de Maan aan den horizon bedragen ze zelfs, in de dicht bij 't middelpunt gelegene deelen, meer dan vier minuten, dat is het achtste gedeelte des diameters. Wat den horizontalen diameter AB (fig. 90) betreft, die evenwel voor den waarnemer O in ab verandert ten gevolge der

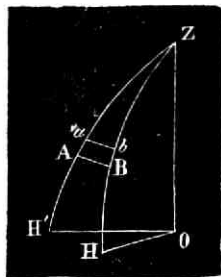


Fig. 90.

straalbreking, die hem van Aa of Bb doet rijzen tusschen de beide verticale bogen ZH , ZH' , deze ondergaat slechts eene onbeduidende en bijna altijd dezelfde vermindering (omtrent $\frac{1}{4}$ seconde), hetzij aan den horizon, hetzij in 't zenith, hetzij in de tusschenbeide gelegen standen. Het mag bij den eersten opslag vreemd schijnen, dat bij zoo uiteenloopende zenithsafstanden de resultaten schier dezelfde zijn; maar men verklaart zich dat gemakkelijk als men acht geeft op de snelheid, waarmede de bogen

HZ , $H'Z$ elkander naderen, naarmate zij zich naar 't zenith verheffen, dat is naarmate de refractie afneemt. 't Is niet te verwonderen, dat twee tegenoverstaande werkingen, vooral op overigens zeer kleine grootheden, elkander bijna volkomen opheffen (*).

146. Uitwerkselen, door de refractie te weeg gebracht op de uren van 't op- en ondergaan der Hemellichten. — De refractie doet ons de Hemellichten aan den horizon zien als zij werkelijk nog $33'30''$ beneden dit vlak zijn. Zij bespoedigt dus hun opkomen en vertraagt hun ondergaan met hoeveelheden, die voor 't overige verschillen met de klimaten en, wat de Zon betreft, ook met de seizoenen. Men begrijpt toch wel, dat eene Ster, naar gelang van de schuinschheid der Hemelsfeer, ook volgens de grootte des beschreven parallels, meer of minder tijd zal besteden om zich in de verticale richting $33'30''$ te verplaatsen. Aan de Polen, bij voorbeeld, waar de sfeer parallel is en de Zon niet rijst of daalt dan om van declinatie te veranderen, wordt de duur van den dag met ongeveer 7 uren 11 minuten vermeerderd, omdat de zonsdeclinatie, den 21sten Maart en den 24sten September, 3 u. 35,5 m. tijd noodig heeft om zich over een boog van $33'30''$ te verplaatsen. Aan den

(*) Zie de 5de noot aan 't einde der 9de Les.

Æquator, daarentegen, waar de dagelijksche beweging loodrecht op den horizon is, rijst en daalt de Zon met snelheid. Ook bedragen de beide te zamen genomen uitwerksels van den ochtend en den avond ten tijde der Nachteveningen te nauwernood $4\frac{1}{2}$ minuut, en tijdens de Zonnestanden 5 minuten. Omstreeks de poolcirkels maakt de aanwezigheid der atmosfeer, bij den winterzonnestand, den tijd des zonnescijns ongeveer 2 uren (1 u. 46 m.), bij de Nachteveningen slechts 13 a 14 minuten langer. In de daartusschen gelegen klimaten eindelijk wordt de tijd der *rechtstreeksche* verlichting door de horizontale refractie slechts met 6 tot 8 minuten, naar gelang van de seizoenen, vermeerderd.

147. **Schemerlicht.** — Wanneer de Zon aan den horizon verdwijnt, houdt zij echter niet plotseling op met den waarnemer te verlichten. Zoo ook wordt de Dagtoorts, bij haren opgang, vrij lang te voren door licht aangekondigd. Dit licht, het is waar, bereikt ons langs eenen omweg, even als dat hetwelk men in de schaduw gedurende den dag krijgt. Maar het verschijnsel, ofschoon van ondergeschikten aard, is zeer merkwaardig, en de oorzaak, waaruit het geboren wordt, verdient ten volle beoefend te worden; want door deze zien wij het licht der verschillende ons omringende voorwerpen des morgens langzamerhand toenemen, of des avonds van lieverlede afnemen, om dan geheel uit te gaan.

Wanneer de Zon weinig beneden OS is (fig. 91), worden de

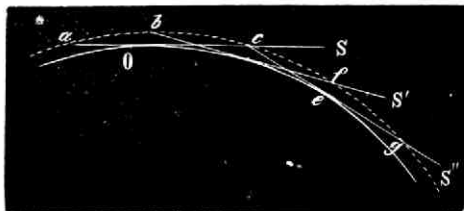


Fig. 91.

stralen, die zij naar het punt O uitzendt, door den ronden omtrek der aarde onderschept. Doch het atmosferisch hulsel *abc* ontvangt nog eene aanzienlijke hoeveelheid licht; en ieder van de luchtdeeltjes, waaruit het bestaat, wordt op zijne beurt lichtgevend. Al die deeltjes te zamen, in alle richtingen uitstralende, moeten dus het punt O tamelijk sterk verlichten. Ziedaar het natuurverschijnsel, waaraan men in 't algemeen den naam van *schemerlicht* heeft gegeven; men noemt het intusschen ook wel *dageraad* (*morgenrood*) en *licht en donker*, naargelang men de ochtendschemering of de avondschemering bedoelt.

Hoemeer de Zon na haren ondergang zich van den horizon verwijderd, des te kleiner wordt ook het gedeelte van het dampkringshulsel, waardoor het punt O verlicht wordt. Het vermin-

dert tot bc , bij voorbeeld, als de Zon in S' komt; en wanneer zij tot in S'' is gedaald, ligt het beschenen dampkringshulsel cfg geheel en al beneden den horizon ac van het punt O . Men zegt dan, dat voor den waarnemer O de avond *geheel gevallen* en de schemering gedaan is. Het atmosferisch hulsel cfg , dat op het eerste abc is gevolgd, zendt nochtans dit laatste nog een weinigje licht toe, en doet eene nieuwe, uiterst zwakke schemering ontstaan, waaruit altijd eenige twijfel omtrent het juiste oogenblik, waarop het eerste schemerlicht heeft opgehouden, geboren wordt. De dichtheid der lucht, op welke de vochtigheid, de winden, de seizoenen, de verschillen zelfs tusschen de temperatuur des morgens en des avonds, enz., zooveel invloed hebben, moet er bovendien niet weinig toe bijdragen om de waarnemingen onzeker te maken. Er is dan ook een aanmerkelijk verschil tusschen de ramingen der Sterrenkundigen, die zich met de studie van den duur der schemerlichten hebben bezig gehouden. Volgens Tycho-Brahé, bij voorbeeld, is de Zon 24 graden beneden den horizon wanneer het schemerlicht begint of eindigt; volgens Nonius bedraagt dit slechts 18 graden; volgens Cassini niet meer dan 15 graden, enz. (*). 't Schijnt moeielijk eene keuze te doen tusschen zoo uiteenloopende ramingen van beroemde Sterrenkundigen. Men neemt echter tegenwoordig vrij algemeen die van 18 graden aan, en men leidt hieruit op de volgende wijze de hoogte des dampkrings af.

148. **Hoogte des dampkrings, afgeleid uit de schemerlichten.** — Zij C (fig. 93) het middelpunt der Aarde, HH' de horizon van den in 't punt O geplaatsten waarnemer, $SH'S'$

(*) Men zal gemakkelijk de schemerings-zonnedaling HS (fig. 92) kunnen opmaken uit de formule

$$[\cos ZS = \cos(90^\circ + HS) = -\sin HS] = \cos PZ \cdot \cos PS + \sin PZ \cdot \sin PS \cdot \cos ZPS \\ = \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D \cdot \cos P,$$

zijnde P de uurhoek ZPS , begrepen tusschen den meridiaan en den uircirkel der Zon bij 't begin of bij 't einde van 't schemerlicht. Als men dien hoek door waarneming bepaalt, d. i. als men het uur bepaalt van den aanvang of van het einde der schemering, terwijl dat waarop de Zon door den meridiaan gaat (ware middag), alsook de declinatie D der Zon bekend zijn, dan zal de formule de waarde van SH opleveren.

Dezelfde formule leert ook kennen welken invloed de straalbreking op den duur van den dag heeft; want stelt men voor SH de waarde $33'30''$ van de horizontale straalbreking in de plaats, dan krijgt men den uurhoek P' , overeenkomende met het ware oogenblik van den op- of ondergang der Zon, door de vergelijking:

$$-\sin(33'30'') = \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D \cdot \cos P';$$

$$\text{waaruit volgt} \quad \cos P' = -\frac{\sin(33'30'')}{\cos L \cdot \cos D} - \tan L \cdot \tan D$$

Men berekent vervolgens den hoek P'' , overeenkomende met het geval, waarbij de horizontale straalbreking nul zou worden, dat is waarbij de dampkring niet aanwezig zou zijn, en wel door de reeds gebruikte vergelijking

$$(\cos 90^\circ = 0) = \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D \cdot \cos P'';$$

waaruit volgt

$$\cos P'' = -\tan L \cdot \tan D.$$

Het verschil $P' - P''$ is dan de invloed der straalbreking op den halven daghoek.

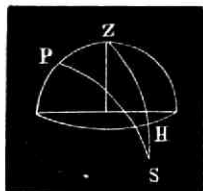


Fig. 92.

de hoek van 18 graden, die de Zon gedaald is op het oogenblik als het schemerlicht eindigt. 't Is duidelijk, dat, daar de beide

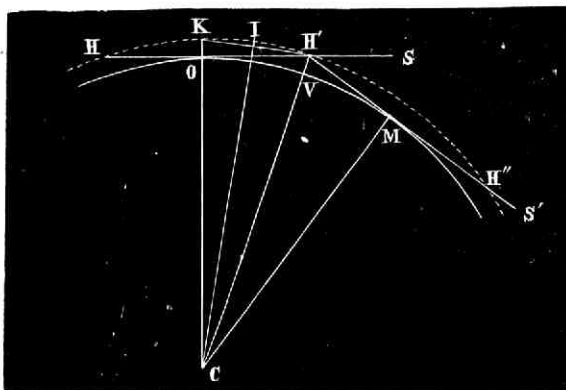


Fig. 93.

horizons HH' , $H'H''$ eenen hoek van 18 graden insluiten, ook de daarmede overeenkomstige verticalen OC , MC mede dienzelfden hoek moeten vormen; want als men $H'H''$ derwijze voortschuift dat zij op HH' valt, dan zal ook de verticaal CM kennelijk op CO moeten vallen. De hoek OCH' , de helft van den hoek OCM , geldt dus 9 graden; en daar nu de hoek COH' een hoek van 90 graden is, en de drie hoeken van eenen driehoek juist 180 graden gelden, zoo zal de derde hoek $OH'C$ van den driehoek $H'CO$ zelf gelijk zijn aan 81 graden.

Voorts is de lijn OC gelijk aan den straal der Aarde, dien men tegenwoordig volkomen kent. Ziedaar dus reeds meer gegevens dan er noodig zijn, hetzij om naar eene schaal op het papier eenen driehoek te teekenen, die volkomen gelijkvormig is met den driehoek $H'CO$, en met den passer de lengte van CH' , vergeleken met die van CO , en bijgevolg ook de meerdere lengte VH' van de eerste lijn op de tweede te bepalen; hetzij om die meerdere lengte te berekenen met behulp der tafels, waarvan reeds meermalen gesproken is. Wanneer men volgens eene der gezegde methoden te werk gaat, zal men de dampkringshoogte VH' gelijk bevinden aan ongeveer 81 kilometers (*).

(*) Trek (fig. 93) $H'K$, OK en de perpendicular CI op $H'K$, zoo krijgt gij klaarblijkelijk: hoek $OH'K =$ hoek $OCI = 4^{\circ} 30'$; en

$$OK = OH' \operatorname{tang} (4^{\circ} 30').$$

Maar $OH' = OC \operatorname{tang} 9^{\circ} = R \operatorname{tang} 9^{\circ}$, zijnde R de radius of straal der Aarde. Waaruit de hoogte OK van den dampkring gevonden wordt door

$$OK = R \operatorname{tang} 9^{\circ} \operatorname{tang} (4^{\circ} 30'),$$

en, meer algemeen, $OK = R \operatorname{tang} a \operatorname{tang} \frac{1}{2} a$, waarin a de schemerings-zonnedaling voorstelt.

Hoe komt het, dat Liais in den jongsten tijd omstreeks den *Æquator* eene hoogte van 400 kilometers heeft verkregen? Zou het de groote doorschijnendheid des dampkrings in de tropische gewesten zijn, waardoor men het wezenlijke schemerlicht niet vermag te onderscheiden van het bijkomende, of waardoor men integendeel licht kan waarnemen, dat uitgaat van zulke ijle luchtlagen, dat wij het onder onzen meer benevelde hemel onmogelijk kunnen bespeuren, zoodat wij de schemerlichten voor veel korter houden dan zij het inderdaad zijn? Ondanks de erkende bekwaamheid van Liais, komt het mij toch voor, dat wij, daar zooveel gezaghebbende Sterrenkundigen tot dusverre den hoek van 18 graden hebben aangenomen, voorzichtig zullen handelen wanneer wij voorshands aan dit getal ons houden, tot tijd en wijle dat nieuwe waarnemingen het vraagstuk voor goed hebben opgelost.

149. — Voor 't overige begrijpt men gemakkelijk, dat het met de schemerlichten moet gelegen zijn als met den invloed, dien de dampkring op het vermeerderen van de lengte der dagen heeft, en dat de duur dier schemerlichten moet uiteenloopen volgens de verschillende seizoenen en klimaten. Voor de Noordpool, bij voorbeeld, waar de dag den 21sten Maart aanvangt en tot den 21sten September duurt, vertoont de ochtendschemering zich reeds den 28sten Januari, terwijl de avondschemering eerst den 13den November ophoudt. Aan de Zuidpool begint de dageraad den 31sten Juli, en eindigt de avondschemering den 11den Mei. Onder den *Æquator* gaan de langste schemerlichten, die der Zonnestanden, niet boven 1 uur 17 minuten, en de kortste, die der Nachteveningen, bedragen slechts 7 minuten minder. Bij de poolcirkels duren de schemerlichten tijdens den Winterzonnestand $4\frac{1}{2}$ uur, en slechts 3 uren tijdens de Nachteveningen. Te Parijs blijven zij tusschen een minimum van 1 uur 47 minuten (in de nachten van 5 Maart en 8 October) en een maximum van 4 uren bij den Zomerzonnestand, het tijdstip waarop er onder dat klimaat geen volle nacht is (*), dewijl de dag er 16

(*) Wanneer te middernacht de Zon S' (fig. 94) niet tot 18 graden gedaald is, vangt de ochtendschemering aan eer de avondschemering eindigt. Nu is de daling HS' of $(ZS - 90^\circ)$, of $(ZP + PS' - 90^\circ)$, gelijk aan $[(90^\circ - L) + (90^\circ - D) - 90^\circ] = 90^\circ - (L + D)$; zoodat, indien $90^\circ - (L + D)$ kleiner is dan 18° , of indien $(90^\circ - 18^\circ = 72^\circ)$ kleiner is dan $L + D$, men alsdan geen vollen nacht heeft. Dit nu heeft plaats te Parijs bij den zomerzonnestand, volgens de waarden:

$$L = 48^\circ 50'$$

$$D = 23^\circ 27'$$

$$L + D = 72^\circ 17' \text{ groter dan } 72^\circ.$$

Te Toulouse heeft men

$$L = 43^\circ 37'$$

$$D = 23^\circ 27'$$

$$L + D = 67^\circ 4', \text{ welk bedrag te klein is om}$$

beide schemerlichten zonder tusschenpozing op elkander te doen volgen.



Fig. 94.

uren 6 minuten duurt. Te Toulouse gaan de kortste schemerlichten (die van 5 Maart en 8 October) niet boven 1 uur 36 minuten; die van den Winterzonnestand bedragen slechts 106 minuten, die van den Zomerzonnestand duren tot derdehalf uur, enz.

150. **Toepassingen van de berekening der schemerlichten.** — Uit de zoo even aangehaalde getallen laat zich gemakkelijk opmaken, dat de studie der schemerlichten in een aantal gevallen nuttige aanwijzingen kan geven. Zouden, bij voorbeeld, de uren van het begin en het einde der openbare verlichting in de gemeenten niet geregeld moeten worden naar de grooter of kleiner hoeveelheid van atmosferisch licht bij afwezigheid van de Zon, in plaats van die uren, vaak op belachelijke wijze, vast te stellen, zoodat de gemeentekas op den eenen tijd nutteloos haar licht verspilt, terwijl zij op een anderen de inwoners in volslagen duisternis laat? — Bij de tegenstrijdige verklaringen van een beschuldigde, welke zijne eer of zijn leven verdedigt, en die van getuigen, welke beweren den boosdoener ondanks de duisternis herkend te hebben, laat de rechter zijne uitspraak vaak berusten op den duur van 't schemerlicht. — Naar dienzelfden duur regelt men zich in vele groote werkplaatsen, waar men de dagelijksche werkuren naar de lengte van den dag wenschte te bepalen. — Zelfs het rituaal der katholieke Kerk heeft eenige van zijne bepalingen aan de morgenschemering of den dageraad ontleend, enz. — Op verschillende aanzoeken, mij uit opgenoemde en andere oogpunten gedaan, heb ik dan ook niet gearzeld een vrij aanzienlijk gedeelte van mijn tijd toe te wijden aan de samenstelling eener Tafel, die van toepassing is op al de bewoonde klimaten der Aarde, en die ik, met eenige andere Tafels betrekkelijk de verschijnsels, die wij boven behandelden, het licht heb doen zien in het 1ste deel van de *Annales de l'Observatoire de Toulouse*.

151. — Er zijn voor 't overige nog andere oogpunten, uit welke de eenigszins breedvoerige bijzonderheden, waarin ik omtrent de schemerlichten ben getreden, gerechtvaardigd worden. Inderdaad, zijn ze niet, gelijk de andere verschijnselen aan het Sterrengekwelf, de bron geweest van de bevalligste scheppingen, van de dichtstrijkste beelden? Danken wij hun, onder anderen, niet zoowel „die Godin met hare rozenvingers”, die de Oosterpoorten ontsluit, als dien van robijnen vonkelenden wagen, waarop Aurora voorttrekt, en dien gouden troon, welken de Hemelbodin voor de Zon bereidt, enz., enz.? En daarbij nog, doen zij niet peinzen over die grenzen des levens, waarop de natuur, hare voorzorg verdubbe-

lende, zich inzonderheid ter taak schijnt te stellen om onze gewaarwordingen in verhouding te brengen tot onze zwakheid? De dag, bij zijn eersten aanvang het zinnebeeld eener zwakke hoop, schijnt ons aanvankelijk toe nauwelijks eenig licht te verspreiden. Wij zien hem allengs toenemen, even als onze krachten, en ook na eenige uren lichtens, evenals deze, weder afnemen, om eindelijk onmerkbaar te worden uitgedoofd, gelijk hier beneden vreugd en smarte, gelijk ook het leven uitgedoofd wordt.



NOTEN.

EERSTE NOOT. — OVER DE MICROMETERS.

152. — De toestellen, die men onder den naam van *micrometers* (*mikròs*, klein, *mètron*, maat) tot het meten des hoekdiameters van de Zon en de andere hemellichamen gebruikt, werden het eerst in 1659 uitgevonden door Huygens, die achtereenvolgens in het brandpunt van zijnen zijdelings doorboorden kijker plaatjes van verschillende breedten bracht, om zodoende de Ster (Zon, Maan of Planeet), welker hoekdiameter hij wenschte te onderzoeken, nauwkeurig te bedekken. Door de breedte der gebruikte plaat, met behulp van een zeer fijnen passer, te vergelijken met den diameter der ronde opening, die het veld van zijnen kijker omschreef en die hij vooraf had gemeten door den tijd, dien eene bekende Ster noodig had om haar voorbij te trekken, gelukte het Huygens den gezochten diameter te vinden.

Draadmicrometer van Auzout. — Eenige jaren later, in 1666, eer Auzout, met Picart, aan het quadrant den kijker met het vaste-dradennet verbond, bedacht de eerstgenoemde den draadmicrometer, dat is den micrometer met een vasten draad ab (fig. 93), en een anderen draad $a'b'$, gedragen door de plaat $mnpqrsxy$,

welke door middel van de schroef V , die een in graden verdeelden kop heeft, glijden kan tusschen de sleuven np , mq , zoodat de beweegbare-draad $a'b'$ op kleiner of grooter afstand van den vasten draad ab kan gebracht worden. Door de graadverdeling van de schroef kan men de afstanden tusschen de draden gemakkelijk in hoeken overbrengen (*).

Deze micrometer heeft gewichtige voordeelen: maar terwijl hij den waarnemer in de gelegenheid stelt om het te meten voorwerp niet uit het oog te verliezen, zooals dat bij de platen van Huygens geschiedt, heeft hij tevens voor de eenigszins groote voorwerpen het ongerief, dat hij de aanraking van den beweeglijken draad en het voorwerp eerst te weeg brengt in t , bij den rand van het veld $aa'cb'bd$, alwaar de gebreken aan zuiverheid zich inzonderheid doen gevoelen. Daarenboven, ofschoon het gemakkelijk valt de dikte der draden te meten, staat men toch bloot aan 't begaan van fouten, die uit

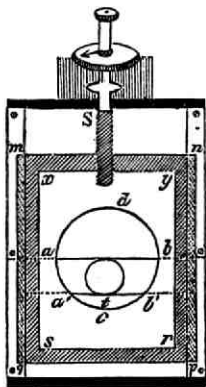


Fig. 93

die dikte voortkomen, vooral wanneer men zich bezig houdt met voorwerpen aan den Hemel, die men gedurig moet terugbrengen tusschen de draden, waaruit zij door de dagelijksche beweging onophoudelijk verwijderd worden. Om die zwarigheden weg te nemen, hebben Bouguer in 1748 en Rochon in 1783, de eene zijn

(*) De beide draden ab , $a'b'$ zijn ingelaten op de hen dragende plaat in groefjes, derwijze dat zij nauwkeurig met elk vlak gelijk komen en rakelings over elkander kunnen gaan, zonder zich aaneen te hechten.

heliometer (Hélios, Zon, métron, maat), de andere zijn *micrometer met dubbel beeld of rhomboïdale micrometer* bedacht.

133. **Heliometer van Bouguer.** — Deze bestond oorspronkelijk uit twee objectieven A, B (fig. 96), zooveel mogelijk identisch en op dezelfde kijkerbuis der-

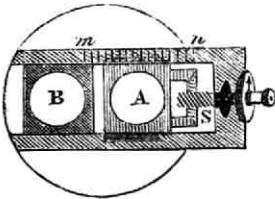


Fig. 96.

wijze aangebracht, dat men ze door middel van eene zijschroef S nader bij of verder van elkander kon brengen. 't Is duidelijk, dat de samenstelling dezer beide objectieven gelijk staat met twee parallelle kijkers, in wier brandpunt elk op zich zelve zich een beeld van het voorwerp moet vormen. En daar men, door den afstand der beide objectieven te veranderen, ook den afstand der beide beelden doet veranderen, die men terzelfder tijd ziet in het veld van den toestel met behulp van één

oculair, zoo gevoelt men dat het gemakkelijk moet zijn, de beelden elkaar te doen raken en de diopter-liniaal *mn*, waarlangs het objectief A glijdt, in graden te verdeelen, zoodat men weet welke de hoeken zijn, onderspannen door de verschillende voorwerpen, welker beelden men met elkander in aanraking brengt.

Later heeft men, in plaats van twee objectieven, slechts een enkel genomen, dat

men in twee gelijke deelen klieft door eene snede parallel aan *mn* (fig. 97). Elke

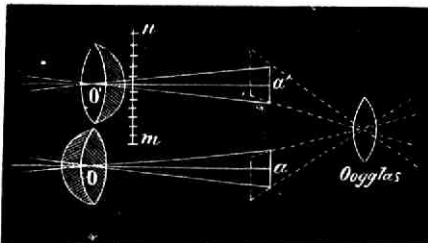


Fig. 97.

der beide helften geeft een beeld half zoo helder, maar even zuiver alsof het objectief in zijn geheel ware. Doch men kan alsdan de beide halve objectieven slechts een enkel objectief doen uitmaken, dat is men kan de beide beelden volkomen op elkander, en vervolgens, *a fortiori*, hen steeds nader bij de aanraking brengen, hoe klein ook de onderspannen hoek moge zijn, een voordeel, dat men mist bij twee geheele objectieven, wier middelpunten noodwendig op zekeren afstand van elkander blijven.

Wegens de evenwijdigheid der hoofdassen Oa , $O'a'$, is de afstand aa' van de middelpunten der beide beelden geheel gelijk aan den afstand OO' van de middelpunten der objectieven.

Met dit stelsel, dat Dollond en Schort omstreeks 1774 toepasten op de telescopen, wier brandpunt het verkortte door op den spiegel de verschillende bundels van parallelle stralen te doen convergeeren, vermijdt men de bezwaren van de draadmeters; want de waarneming der aanraking kan altijd geschieden in 't midden van het veld des kijkers; en daarenboven, wanneer de aanraking eens verkregen is, maakt de dagelijksche beweging des Hemels geen scheiding meer tusschen de beide voorwerpen, die men bovendien zonder bezwaar nog aanmerkelijk kan vergrooten, omdat het zien der aanraking voldoende is, zonder dat de beelden in hun geheel zich in 't veld des kijkers behoeven te bevinden. Voor 't overige, de eer der uitvinding van den heliometer, evenals die van Auzout's micrometer, werd betwist. Schort en Dollond beweerden, dat men hem beschreven

vond in een manuscript van Savery, reeds in 1743 toevertrouwd aan het Koninklijk Genootschap te Londen. Hoe dit zij, de heliometer is ten slotte aan den naam van Bouguer verbonden gebleven.

154. **Rhomboidale micrometer van Rochon.** — Wat den micrometer van Rochon betreft, 't is eenvoudig een rechthoekig prisma $abcd$ (fig. 98), gevormd uit twee driehoekige prisma's abc , acd , naar eisch geslepen (perpendicularair op en parallel aan hetgeen men

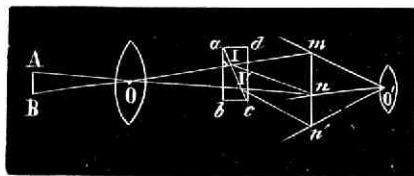


Fig. 98.

en parallel aan hetgeen men de as van dubbele straalbreking noemt) in een dubbel straalbrekend kristal, en dat men nader bij of verder van het objectief O brengt, tot op het oogenblik dat het gewone beeld mn van het voorwerp AB, begrepen tusschen de uiterste straalbundels AO_n , BO_m ,

in aanraking komt met het buitengewone beeld mn' , begrepen tusschen de buitengewone straalbundels Io_n , $I'n'$, ontstaande uit de *bifurcatie* (splitsing in tweeën) van elken lichtstraal aan de ingangszijde ac op het prisma acd (welks kanten parallel zijn aan de as van dubbele straalbreking). Eene schaal, angebracht op de buis des kijkers, die van ter zijde gespleten is om den aan 't prisma verbonden vernier te laten schuiven, geeft, in elken stand van het prisma, de waarden aan van de hoeken $AOB = mOn$, die in het brandpunt onderspannen worden door het beeld, dat uit het optisch middelpunt van 't objectief wordt gezien.

Wijziging van den toestel door Arago. — Om de kleuring der randen te vermijden, plaatste Arago het prisma tusschen het oog en het oculair O' , dewijl dicht bij het prisma de diffusie te gering is om bemerkt te worden. Hij veranderde in dit geval van oculair, totdat hij eene zoodanige vergrooting verkreeg, dat de beide beelden in aanraking kwamen. De straalbundel $A'O'I$ (fig. 99) splitst zich bij 't verlaten van het prisma volgens Im en Im' , om in het oog te komen,

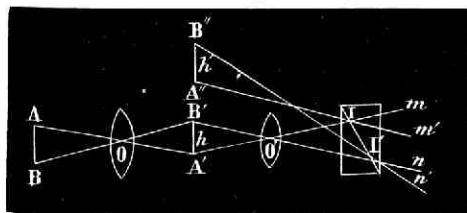


Fig. 99.

en geeft bijgevoeg de beide beelden A' , A'' van het punt A. De bundel $B'I'$, zich op zijne beurt splitsende volgens $I'n$ en $I'n'$, geeft de beide beelden B' en B'' van het punt B. Wanneer overigens de beelden h , h' elkander raken, is de bifurcatie-hoek $mIm' = nIn'$ van

het prisma, zooged als gelijk aan den vergrooten hoek, dat is aan den hoek, onderspannen door h of door h' , gezien uit het middelpunt O' van 't oculair, dat men onderstellen mag één te zijn met het middelpunt van het prisma, ofschoon er, ter wille van de duidelijkheid der figuur, veel ruimte tusschen die beide middelpunten is gelaten. Als δ den hoek $AOB = A'OB'$, gezien uit het middelpunt van 't objectief, b den bifurcatie-hoek $mIm' = nIn'$ van het prisma, en V de vergrooting van 't oculair voorstelt, dan heeft men

$$b = V\delta; \text{ derhalve } \delta = \frac{b}{V}.$$

Onderstelt dat b gemeten is tot op de nauwkeurigheid van $10''$, en laat V 500 zijn, dan zal de fout $\frac{10''}{500} = \frac{1''}{50}$ wezen. Gij zult derhalve tot eene groote nauwkeurigheid geraken door middel van deze methode, die tevens dienen kan om de afstanden van een mensch, van een legercorps, enz. te meten; daartoe toch zal 't voldoende zijn, indien, bij voorbeeld, die mensch een hoek van eene seconde onderspant, voor zijnen afstand 206 duizendmaal zijne hoogte te nemen, welke laatste ongeveer gemiddeld bekend is.

Arago gebruikte eerst een oculair met twee glazen, die hij dichter bij of verder van elkander kon brengen, zoodat hij de vergrooting kon doen veranderen en de aanraking der beide beelden kon bekomen; Later echter verving hij dit door een samenhangend stel van prisma's, wier bifurcatie-hoeken van $30''$ tot $30''$ verschilden. terwijl de vergrooting van 't oculair dezelfde bleef. Op $30''$ na, op zijn hoogst, verkreeg hij dus de aanraking der beide beelden in den vergrooten hoek; en bij eene vergrooting van 500 had hij gevolgelijk de gezochte hoeken tot op de nauwkeurigheid van $\frac{30''}{500} = \frac{3''}{50}$. Wat den bifurcatie-hoek zijner prisma's betreft, dien bepaalde hij gemakkelijk door naar voorwerpen van bekende grootte te zien en dan rechtstreeks den afstand van deze voorwerpen te meten, ten einde daaruit den onderspannen hoek af te leiden, wanneer hij de aanraking der beide beelden had bekomen. Niets verhinderde daarenboven, achter het prisma eenen kijker aan te brengen, ten einde het ontbonden voorwerp des te beter waar te nemen; want de aanraking der beelden werd niet verstoord door dezen kijker, die ze beide slechts vergrootte, zonder ze te scheiden.

Om de kleine hoeken te meten, heeft men nog verschillende andere toestellen gebruikt, onder anderen het net van Bradley, tegenwoordig misschien te veel achter de bank geschoven. Doch nieuwe beschrijvingen zouden de grenzen overschrijden, die ik mij zelve heb moeten stellen, en zouden alleen op hare behoorlijke plaats zijn in eene bijzondere verhandeling over de astronomische werktuigen.

TWEEDE NOOT. — OVER DE SCHOMMELING DER ECLIPTICA EN DE PRAËCESSIE DER NACHTEVENINGEN.

155. **Berekening van den invloed der schommeling van de ecliptica op de astronomische lengten en breedten.** — Men kan gemakkelijk

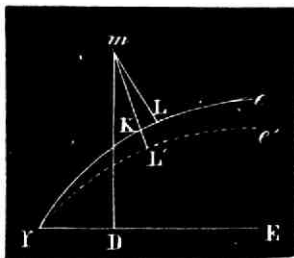


Fig. 100,

den invloed van de schommeling der ecliptica (§ 121) en dien der praëcessie (§ 122 en vgg.) op de coördinaten der hemellichamen bepalen.

Zij, voor 't eerste geval, γE (fig. 100) de als onbeweeglijk gedachte $\text{\AA}equator$; laten γe , $\gamma e'$ twee achtereenvolgende standen zijn van de Ecliptica, welke verplaatsing (het eerst door Tycho opgemaakt uit de breedteveranderingen, die de Sterren in de nabijheid van den zonnestand ondergingen, en later bevestigd door Lalande op de Sterren der Tweelingen) volgens Delambre gemiddeld gelijk is aan $0'',48$ per jaar

—

Laten ook mD de declinatie en γD de rechte opklimming van eene Ster m zijn. De verplaatsing ($\epsilon r e' = d\omega = 0'',48$) van de ecliptica zal van geen invloed zijn op deze coördinaten; maar zij zal de breedte ($\lambda = mL$) in mL' , en de lengte ($l = rL$) in rL' veranderen. Men zal dus hebben:

$$d\lambda = mL mL' = \text{zeer nabij } KL'$$

$$dl = rL' - rL = -KL.$$

Nu geeft de driehoek rKL' , rechthoekig in L' :

$$\text{tang } KL' = \text{tang } r KL' \sin \gamma L'.$$

En daar KL , KrL' zeer klein zijn, verkrijgt men onmiddellijk, wanneer men de tangenten door de bogen vervangt,

$$(1) \quad (KL' = d\lambda) = d\omega \cdot \sin (l + dl) = d\omega \cdot \sin l$$

De driehoek mKL , rechthoekig in L , geeft op zijne beurt:

$$\text{tang } KL = \text{tang } mK \cdot \cos K;$$

waaruit volgt, omdat

$$\cos K = \cos \gamma L' \sin K \gamma L' = \cos (l + dl) \sin d\omega = d\omega \cos l,$$

$$(2) \quad (\text{tang } KL = -dl) = d\omega \cdot \cos l \cdot \text{tang } \lambda.$$

Lagrange, die deze theorie op nauwkeurige wijze heeft behandeld, geeft, terwijl hij door dE de beweging der Nachtevening op de Ecliptica uitdrukt:

$$(3) \quad d\lambda = +dE \cdot \cos l \cdot \text{tang } \omega + d\omega \sin l.$$

$$(4) \quad dl = -dE (1 - \text{tang } \omega \cdot \sin l \cdot \text{tang } \lambda) - d\omega \cos l \cdot \text{tang } \lambda,$$

formules, welke laatste termen de boven gevondene zijn, en waarin $d\omega$, dE , zoo-veelmaals twee termen bevatten als er trillende Planeten zijn.

Laplace geeft op zijne beurt een gemakkelijker vorm aan de formules, door in getallen $d\omega$, dE te berekenen voor twee verwijderde tijdstippen, en door te onderstellen, dat in den tusschentijd de veranderingen evenredig zijn aan de tijden. Maar hier ter plaatse verder daarover uit te weiden zou ondoelmatig zijn. Het is daarbij duidelijk, dat, in de onderstelling van de schommeling rondom de lijner Nachteveningen, de rechte opklimmingen en de declinatieën niet veranderd worden.

156. **Berekening van den invloed der praecessie.** — Wat den invloed der praecessie betreft, merkt vooreerst op, dat hij, in tegenstelling van dien der vorige §, nul zal zijn op de breedten, en dat hij daarenboven standvastig zal zijn op de lengten, welke bedrag hij $50'',24$ per jaar zal veranderen, wel te verstaan

zonder de kleine *ongelijkheden* van 't verschijnsel in aanmerking te nemen. De rechte klimmingen en de declinatieën daarentegen zullen veranderingen ondergaan, die voor ieder Hemellichaam verschillen en die men op de volgende wijze kan berekenen:

157. **Verandering van poolafstand of declinatie.** — Laten P , Q (fig. 101) de Polen van den Aequator en de Ecliptica, $A r E$ de Aequator en $r r'$ de Ecliptica zijn.

Onderstelt dat de Aequator en zijne

Pool de een in $A r E$, de andere in p komen. Zoo gij door dl de praecessie-beweging $r r'$ op de Ecliptica voorstelt, verkrijgt gij voor deze of gene Ster m

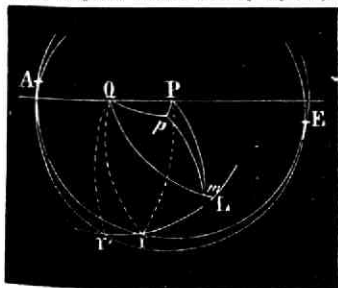


Fig. 101.

$$\gamma L = l; \gamma' L = l + dl; mL = \lambda; Qm = 90^\circ - \lambda.$$

Daarenboven zult gij hebben $QP = Qp = \omega$; en indien gij λ het complement Qm van de breedte der Ster, δ de aanvankelijke poolsafstand Pm van die Ster, eindelijk $\delta + d\delta$ den door de praecessie gewijzigden poolsafstand pm noemt, dan zal de driehoek mQp u geven.

(1) $[\cos pm = \cos (\delta + d\delta)] = \cos \omega. \cos \gamma + \sin \omega. \sin \gamma. \sin (l + dl)$; want de hoek pQm is kennelijk het complement van $LQ\gamma' = l + dl$, omdat γ' , het snijpunt van den Aequator en de Ecliptica, op 90° afstands van elke der beide polen p en Q ligt, en bijgevolg de hoek $\gamma'Qp = 90^\circ$ is.

De driehoek PQm zal u insgelijks geven

(2) $(\cos Pm = \cos \delta) = \cos \omega. \cos \gamma + \sin \omega. \sin \gamma \sin l$, omdat $PQm = 90^\circ - l$ is, zijnde de hoek $\gamma'QP$ een rechte hoek om dezelfde reden als $\gamma'Qp$.

Trekt (1) van (2) af en gij verkrijgt

$\cos \delta - \cos (\delta + d\delta) = \sin \omega. \sin \gamma. [\sin l - \sin (l + dl)]$
 maakt $\delta = (a - b)$, $\delta + d\delta = (a + b)$, $l = (a' - b)$, $l + dl = (a' + b')$;
 waaruit $a = \delta + \frac{1}{2} d\delta$, $b = \frac{1}{2} d\delta$, $a' = l + \frac{1}{2} dl$, $b' = \frac{1}{2} dl$.

Merkt bovendien op, dat

$$\cos (a - b) - \cos (a + b) = 2 \sin a. \sin b = -2 \sin (\delta + d\delta) \sin \frac{1}{2} d\delta;$$

dat

$$\sin (a' - b') - \sin (a' + b') = -2 \sin b' \cos a' = -2 \sin \frac{1}{2} dl. \cos (l + \frac{1}{2} dl);$$

en uwe vergelijking zal worden

$$2 \sin (\delta + \frac{1}{2} d\delta) \sin \frac{1}{2} d\delta = -2 \sin \omega. \sin \gamma. \sin \frac{1}{2} dl. \cos (l + \frac{1}{2} dl);$$

of omdat $\left\{ \begin{array}{l} 2 \sin \frac{1}{2} d\delta = \sin d\delta = d\delta, \quad \sin (\delta + \frac{1}{2} d\delta) = \sin \delta, \\ 2 \sin \frac{1}{2} dl = \sin dl = dl, \quad \cos (l + \frac{1}{2} dl) = \cos l \text{ is:} \end{array} \right.$

$$(A) \quad d\delta = - \frac{\sin \omega. \sin \gamma. \cos l}{\sin \delta} dl.$$

eene formule, waartoe men zeer eenvoudig geraken zou door de differentiatie van (2) .. $\cos \delta = \cos \omega. \cos \gamma + \sin \omega. \sin \gamma \sin l$, met betrekking tot de eenige veranderlijke grootheden δ en l , die, ten gevolge van de praecessie, voor elke Ster veranderen.

Voor 't overige kan men de waarde van $d\delta$ vereenvoudigen met behulp van den driehoek PQm , want deze geeft

$$\left(\frac{\sin Qm}{\sin Pm} = \frac{\sin \gamma}{\sin \delta} \right) = \frac{\sin QPm}{\sin PQm} = \frac{\sin (90^\circ + \gamma Pm)}{\sin (90^\circ - \gamma mQ)} = \frac{\sin (90^\circ + RO)}{\sin (90^\circ - l)} = \frac{\cos RO}{\cos l},$$

zijnde de hoek γPm de rechte opklimming RO van de Ster m ;

waaruit $\frac{\sin \gamma \cos l}{\sin \delta} = \cos RO$, en gevolgelyk,

$$(A') \quad d\delta = - \sin \omega. \cos RO. dl.$$

Deze formule onderstelt, gelijk men zulks werkelijk voor eenige jaren doen mag, dat de Pool P naar het nulpunt van rechte klimming daalt. Want in de onderstelling van zoodanige beweging, zou men hebben (fig. 102) :

$$\cos pm = \cos Pp \cdot \cos Pm + \sin Pp \cdot \sin Pm \cdot \cos pPm;$$

of, wanneer men Pp uitdrukt door α , eene zeer kleine grootheid wanneer de verloopende tijd niet zeer aanmerkelijk is,

$$\begin{aligned} [\cos pm = \cos (\delta + d\delta) &= \cos \delta \cdot \cos d\delta - \sin \delta \cdot \sin d\delta] \\ &= \cos \alpha \cdot \cos \delta + \sin \alpha \cdot \sin \delta \cdot \cos RO: \end{aligned}$$

en, wanneer men voor $\cos d\delta$, alsook voor $\cos \alpha$ de eenheid stelt

$$(\sin d\delta = d\delta) = -\alpha \cos RO,$$

eene formule identisch met (A'), wanneer men α of Pp of $\gamma\gamma'$ gelijk maakt aan $dl \sin \omega$, dat is aan de projectie van $\gamma\gamma'$ der fig. 102 op den boog, die loodrecht op Qp is.

Voor een langeren tijd zou men de termen van de tweede orde in het boven gevonden verschil $[\cos \delta - \cos (\delta + d\delta)]$ moeten behouden. Maar men kan zich ook eenvoudig bedienen van de waarden $\delta + d\delta$ en van δ , welke de vergelijkingen (1) en (2) zouden opleveren met behulp der bekende grootheden ω , γ , l en dl . Ik behoeft mij dus niet langer hierbij op te houden.

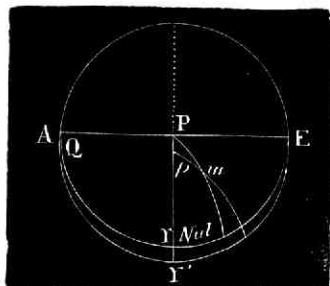


Fig. 102.

158. **Verandering van rechte opklimming.** — Wilt gij thans den invloed der præcessie op de rechte opklimming weten? De driehoek PQm der figuur 101 zal u geven

$$\sin Q \cdot \cotang P = \sin PQ \cdot \cotang Qm - \cos PQ \cdot \cos Q,$$

dat is

$$(3) \quad -\cos l \cdot \tang RO = \sin \omega \cdot \cotang \gamma - \cos \omega \cdot \sin l.$$

Maar door de differentiatie zult gij bekomen

$$\sin l \cdot dl \cdot \tang RO - \cos l \cdot \frac{dRO}{\cos^2 RO} = -\cos \omega \cdot \cos l \cdot dl;$$

waaruit

$$(4) \quad \begin{aligned} dRO &= \cos \omega \cdot \cos^2 RO \cdot dl + \tang l \cdot \sin RO \cdot \cos RO \cdot dl \\ &= dl \cdot \cos \omega + dl \cdot \sin RO (\tang l \cdot \cos RO - \cos \omega \cdot \sin RO) \end{aligned}$$

en krachtens de vergelijking $\tang l \cdot \cos RO - \cos \omega \cdot \sin RO = \sin \omega \cdot \cotang \delta$, die de driehoek Qpm oplevert,

$$(B) \quad dRO = dl \cdot \cos \omega + dl \cdot \sin RO \cdot \sin \omega \cdot \cotang \delta.$$

De eerste term van (B), $dl \cdot \cos \omega$, is aan alle Sterren gemeen. De tweede hangt af van RO en van δ . Hij is nul voor de Sterren van den Aequator, alwaar $\delta = 90^\circ$ is. Indien men deze Sterren neemt, zal men dus, in dRO , slechts $dl \cdot \cos \omega$ hebben, waaruit men de waarde der præcessie dl op de Ecliptica zal vinden, door met $\cos \omega$ de waargenomen veranderingen van dRO te deelen.

De onderstelling dat de Pool naar het nulpunt van rechte opklimming daalt, zou overeenkomen met $\omega = 90^\circ$ of $\cos \omega = 0$. Want ω zou in dit geval de hoek $\gamma\gamma'E$ van fig. 102 worden, en de præcessie in RO zou zich dan bepalen tot den tweeden term $dl \cdot \sin RO \cdot \cotang \delta$; eene uitkomst, tot welke gij ook zoudt geraken door den driehoek Ppm van fig. 102, die u geeft:

$$\cos Pp \cdot \cos pPm = \sin Pp \cdot \cotang Pm - \sin pPm \cdot \cotang Ppm,$$

$$\text{of} \quad \cos \alpha \cdot \cos RO = \sin \alpha \cdot \cotang \delta + \sin RO \cdot \cotang (RO + dRO).$$

Immers, maakt $\cos \alpha = 1$, en deelt door $\sin RO$, zoo bekomt gij

$$\left[\begin{aligned} \cotang RO - \cotang (RO + dRO) &= \frac{\cos RO}{\sin RO} - \frac{\cos (RO + dRO)}{\sin (RO + dRO)} \\ &= \frac{\sin (RO + dRO) \cos RO - \sin RO \cdot \cos (RO + dRO)}{\sin RO \cdot \sin (RO + dRO)} = \frac{\sin dRO}{\sin RO \cdot \sin (RO + dRO)} \end{aligned} \right] \\ = \frac{\sin \alpha \cdot \cotang \delta}{\sin RO}$$

waaruit

$$dRO = \alpha \cotang \delta \cdot \sin RO.$$

Eene tweede differentiatie zou u de jaarlijksche verandering van dRO opleveren; maar wanneer het tijdsverloop tusschen de beide tijdstippen aanzienlijk is, zoo is 't eenvoudiger achtereenvolgens RO en $RO + dRO$ te berekenen, om er dRO uit af te leiden door eene eenvoudige aftrekking, met behulp der vergelijking (3), welke RO geeft, en der vergelijking

$$(5) \quad -(\cos (l + dl) \tang (RO + dRO) = \sin \omega \cdot \sin \gamma - \cos \omega \cdot \sin (l + dl)$$

welke $RO + dRO$ zal opleveren, omdat de standvastige grootheid dl van de præcessie, aan alle Sterren gemeen, bekend is. Deze vergelijking (5) vloeit voort — ik behoef het nauwelijks aan te merken — uit de vergelijking (3), in welke l en RO vermeerderd moeten worden met hunne toeneming gedurende den tijd, die er van 't eene tijdstip tot het andere is verlopen.

DERDE NOOT. — OVER DE WETTEN DER ATMOSFERISCHE STRAALBREKING.

159. De straalbreking door parallelle lagen heen hangt enkel af van de buitenste lagen. — De theorie leert, dat de straalbreking door parallelle lagen heen enkel afhangt van de eerste en de laatste laag. Bij den tegenwoordigen staat onzer kennis toch kan men de lichtverschijnselen slechts verklaren door het eene of het andere der beide stelsels, dat der *uitstrooming* (Newton), en dat der *golwing* (Descartes, Huygens, Young, enz.)

In het eerste onderstelt Newton, dat het licht door de middelstoffen wordt aangetrokken, derwijze dat, wanneer de lichtmolecule het scheidingsvlak AB (fig. 103) nadert, om uit de minder dichte middelstof (M) in de meer dichte (M') over te gaan, alsdan de horizontale composante van hare snelheid ab of lc standvastig blijft, terwijl de verticale composante bl toeneemt en cd wordt. De snelheid zelve gaat dus over van de waarde al , die wij door u zullen voorstellen, tot de waarde ld , die wij zullen uitdrukken door v : en wanneer men nu door I den invalshoek LIN , en door R den refractie- of straalbrekingshoek RIN' te kennen geven, dan heeft men

$$\sin I = \frac{ab}{al} = \frac{ab}{u}; \quad \sin R = \frac{lc}{ld} = \frac{ab}{ld} = \frac{ab}{v}; \quad \text{waaruit} \quad \frac{\sin I}{\sin R} = \frac{v}{u}.$$

In het stelsel der golwing moet de in 't oog dringende lichtbundel, zal de gewaar-

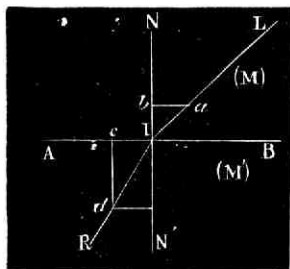


Fig. 103.

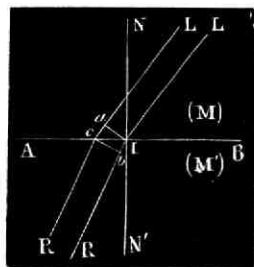


Fig. 104.

wording van een lichtpunt L (fig. 104) kunnen ontstaan, samengesteld zijn uit eene verzameling van concordeerende of overeenstemmende golven. Hiertoe wordt vereischt, dat de weg ac , doorloopen in de eerste middelstof (M) door de volgens Lc voortgeplante golf, in denzelfden tijd doorloopen worde als de weg Ib , die in de tweede middelstof (M') wordt afgelegd door de volgens LI voortgeplante golf (zijnde de lijnen Ia , cb , respectievelijk loodrecht op den invallenden en op den gebogen straal); omdat alsdan de stelsels van concordeerende golven La , LI uit de eerste middelstof te gelijker tijd van de punten c en b zullen vertrekken, om zich in de tweede middelstof voort te planten, alwaar zij gevolgelijk dan weder concordeerend zullen zijn. Wanneer men dan, gelijk boven, de snelheden door u en door v , en den tijd dien de lichtgolven besteden om ac en Ib te doorloopen door t aanduidt, zoo zal men hebben: $ca = ut$, $Ib = vt$; waaruit $\frac{ca}{Ib} = \frac{u}{v}$; en door de beide termen der eerste breuk door cI te deelen:

$$\frac{\frac{ca}{cI}}{\frac{Ib}{cI}} = \frac{\sin cIa}{\sin bcI} = \frac{\sin NIL}{\sin RIN'} = \frac{\sin I}{\sin R} = \frac{u}{v}$$

Alzoo is dan, volgens elk der beide stelsels, dat men wil aannemen, de verhouding $\frac{\sin I}{\sin R}$ gelijk aan $\frac{v}{u}$ of aan $\frac{u}{v}$. En daar de lichtstralen, wanneer zij uit eene minder dichte in eene meer dichte middelstof overgaan, de normaal naderen, hetgeen wil zeggen, dat R kleiner is dan I , kan men hier, in 't voorbijgaan, opmerken, dat in de theorie van Newton de snelheid van het licht vermeerderd met de dichtheid der middelstoffen, terwijl zij daarentegen vermindert in de theorie der golving. Men weet, dat de proefneming uitspraak heeft gedaan ten gunste van het tweede stelsel. Maar, hoe dit wezen moge, wanneer wij, om tot ons voorwerp terug te keeren, door u , u' , u'' , u''' , ..., $u^{(n)}$, v de snelheden van het licht in 't luchtledige en in de als parallele lagen op elkander liggende middelstoffen voorstellen, en door I , I' , I'' , I''' , ..., R (fig. 103) de invalshoeken op deze achtereenvolgende middelstoffen uitdrukken; en wanneer

Fig. 103.

wij tevens opmerken, dat de invalshoek I' op de tweede laag de straalbrekingshoek is in de eerste, dat de invalshoek I'' op de derde laag de brekingshoek is in de tweede, en zoo vervolgens, dan zullen wij hebben:

Stelsel der uitstrooming.

$$\frac{\sin I}{\sin I'} = \frac{u'}{u} \dots \dots \dots = \frac{u}{u'}$$

$$\frac{\sin I'}{\sin I''} = \frac{u''}{u'} \dots \dots \dots = \frac{u'}{u''}$$

$$\frac{\sin I''}{\sin I'''} = \frac{u'''}{u''} \dots \dots \dots = \frac{u''}{u'''}$$

$$\frac{\sin I^{(n)}}{\sin R} = \frac{v}{u^{(n)}} \dots \dots \dots = \frac{u^{(n)}}{v}$$

Stelsel der golwing.

wanneer men deze verschillende vergelijkingen vermenigvuldigt en in de beide termen van elke breuk de gemeene factors weglaat, dan zal men bekomen

$$\frac{\sin I}{\sin R} = \frac{v}{u} \dots \dots \dots = \frac{u}{v};$$

hetgeen wil zeggen, dat al wat van de tusschenlagen afhangt verdwenen is, en dat alleen de groottheden I, R, u, v overblijven, die betrekking hebben op het luchtledige en op de laatste laag.

Klaarblijkelijk zou dit geen plaats hebben in 't geval van niet parallelle lagen, ook niet in dat van groote zenithsafstanden, bij welke de door 't luchtruim gaande straal als 't ware langs de horizontale lagen trekt, omdat alsdan de straalbrekingshoeken I, I' , enz., in de eene laag zouden ophouden de invalshoeken op de volgende te zijn, en niet meer zouden verdwijnen bij 't vermenigvuldigen der verschillende vergelijkingen. Voor 't overige kan men zich het theorema geometrisch verklaren door op te merken, dat elke laag den lichtstraal buigt met eene kracht, die afhangt van 't verschil in dichtheid der beide elkander rakende lagen, en dat gevolglijk de straal, wanneer hij in de laatste laag komt, de achtereenvolgende invloeden van 't verschil in dichtheid heeft ondergaan, dat wil zeggen een totalen invloed, juist overeenkomende met de meerdere dichtheid der laatste laag boven het luchtledige.

160. **De invloed der straalbreking is evenredig aan de onevene machten van de trigonometrische tangens van den schijnbaren zenithsafstand.** — In plaats van R uit I af te leiden, vindt men het in 't algemeen gemakkelijker, in eene functie van R het gewoonlijk zeer kleine verschil $(I-R)$ tusschen den invalshoek I of den *waren* zenithsafstand der Ster, en den brekingshoek R of haren *schijnbaren* zenithsafstand te berekenen; een verschil, dat klaarblijkelijk niets anders is dan de waarde zelve der straalbreking. Zij dan $I-R = dR$, of $I = R + dR$. Substitueert deze waarde van I in de vergelijking

$$\frac{\sin I}{\sin R} = n \left(\text{stellende deze letter } n \text{ de standvastige verhouding } \frac{v}{u} \text{ of } \frac{u}{v} \text{ voor} \right);$$

en gij zult hebben

$$\sin (R + dR) = n \sin R,$$

waaruit

$$\sin R \cdot \cos dR + \sin dR \cdot \cos R = n \sin R;$$

en gevolglijk, door $\cos dR = I$ te maken,

$$(\sin dR = dR) = (n-1) \text{ tang } R.$$

Hetgeen aantoont, dat de straalbreking dR *evenredig* is aan de *trigonometrische tangens van den schijnbaren zenithsafstand* R .

§ 161. — Ingeval dR zoo groot ware, dat men niet meer mocht stellen $\cos dR = 1$, zoo neemt weder de vergelijking

$$\sin R \cdot \cos dR + \sin dR \cdot \cos R = n \sin R.$$

Hieruit vindt gij

$$n = \cos dR + \sin dR \cdot \text{cotang } R$$

$$= (\cos^2 \frac{1}{2} dR - \sin^2 \frac{1}{2} dR) + 2 \sin \frac{1}{2} dR \cdot \cos \frac{1}{2} dR \cdot \cotang R;$$

en wanneer gij $\cos \frac{1}{2} dR$, $\sin \frac{1}{2} dR$, vervangt door hunne waarden:

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \tan^2 \frac{1}{2} dR}} \frac{\tan \frac{1}{2} dR}{\sqrt{1 + \tan^2 \frac{1}{2} dR}},$$

verkrijgt gij

$$n = \frac{1 - \tan^2 \frac{1}{2} dR}{1 + \tan^2 \frac{1}{2} dR} + 2 \cotang R \frac{\tan \frac{1}{2} dR}{1 + \tan^2 \frac{1}{2} dR},$$

waaruit

$$n (1 + \tan^2 \frac{1}{2} dR) = 1 - \tan^2 \frac{1}{2} dR + 2 \cotang R \cdot \tan \frac{1}{2} dR;$$

nog volgt daaruit

$$(n + 1) \tan^2 \frac{1}{2} dR - 2 \cotang R \cdot \tan \frac{1}{2} dR = 1 - n;$$

hetgeen geeft

$$\begin{aligned} \tan \frac{1}{2} dR &= \frac{\cotang R \pm \sqrt{(1-n)(1+n) + \cotang^2 R}}{n+1} \\ &= \frac{\cotang R}{n+1} \left\{ 1 \pm [1 + (1-n^2) \tan^2 R]^{\frac{1}{2}} \right\} \\ &= \frac{\cotang R}{n+1} \left\{ 1 \pm \left[1 + \frac{1}{2} (1-n^2) \tan^2 R - \frac{1}{8} (1-n^2)^2 \tan^4 R \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{1}{16} (1-n^2)^3 \tan^6 R + \text{enz.} \right] \right\} \end{aligned}$$

Om te weten welk der beide teekens men te kiezen heeft, is het voldoende op te merken, dat dR in 't zenith noodzakelijk nul moet zijn; want er is geene reden te bedenken waarom de lichtstraal, die loodrecht op het straalbrekend vlak valt, eerder in de eene dan in de andere richting zou afwijken. Maar voor $R=0$ heeft men $\cotang R = \infty$; en als $\cotang R$ niet uit de reeks verdween, zou de refractie dR oneindig wezen, hetgeen onmogelijk is. Daar nu $\cotang R \cdot \tan R = 1$ is, zoo blijkt terstond, dat men, door het *minus*-teeken te nemen, de reeks zal herleiden tot de volgende uitdrukking:

$$\begin{aligned} \left(\tan \frac{1}{2} dR = \frac{1}{2} dR \right) \\ = \frac{\cotang R}{n+1} \left[\frac{(n^2-1)}{2} \tan^2 R + \frac{(n^2-1)^2}{8} \tan^4 R + \frac{(n^2-1)^3}{16} \tan^6 R + \text{enz.} \right] \end{aligned}$$

die, door het weglaten van hetgeen aan alle termen gemeen is, namelijk den coëfficiënt $\frac{1}{2}$ en den factor $\cotang R \cdot \tan R$, gelijk aan de eenheid, verandert in

$$\begin{aligned} \left(2 \tan \frac{1}{2} dR = dR \right) \\ = \frac{1}{n+1} \left[(n-1) \tan R + \frac{1}{4} (n^2-1)^2 \tan^3 R + \frac{1}{8} (n^2-1)^3 \tan^5 R + \dots \right] \\ = A \tan R + B \tan^3 R + C \tan^5 R + \text{enz.}, \end{aligned}$$

dat wil zeggen, de reeks der onevene machten van $\tan R$. Daar het straalbrekend vermogen der lucht niet groot is, zoo is de verhouding n van de snelheden des lichts of van de sinussen van inval en straalbreking weinig verschillend van

de eenheid. $(n^2 - 1)$ zal dus eene vrij kleine breuk voorstellen; en de reeks zal convergeeren, zoolang R niet te dicht bij 90° komt, of tang R niet te zeer op het punt staat van oneindig te worden.

Wanneer men de hoogere machten van tang R verwaarloost, hetgeen voor geringe zenithsafstanden geoorloofd is, komt men weder op de boven gevonden waarde: $dR = (n - 1) \text{ tang } R$. Door de proefondervindelijke bepaling van n zou men bovendien onmiddellijk de verschillende termen der reeks kunnen berekenen. Maar men leidt de coëfficiënten zelven liever rechtstreeks uit de waarneming af, zooals wij in de volgende noot zullen zien.

VIERDE NOOT — OVER DE SAMENSTELLING DER REFRACTIE-TAFELS.

162. — Om door *proefneming* eene astronomische refractie-tafel samen te stellen, moet men nauwkeurig de hoogte HP (fig 106) van de pool boven den horizon of, wat op hetzelfde neerkomt, de breedte ZE van de plaats des waarnemers kennen.

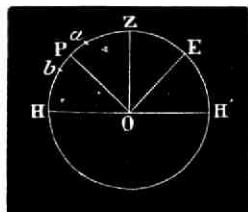


Fig 106.

Indien de straalbreking de schijnbare standen der Hemellichamen niet veranderde, zou 't voldoende zijn, met een in den meridiaan geplaatsten cirkel de hoogten Ha , Hb , of de zenithsafstanden Za , Zb , van eene Ster bij hare beide doorgangen (boven en beneden) op te nemen, om onmiddellijk bekend te worden met de hoogte HP of den zenithsafstand ZP van de pool, en gevolgelijk ook met de breedte ZE of met PH, het complement (tot 90°) van ZP. Im-

mers, zij δ de poolsafstand eener Ster, of het complement van de declinatie dezer Ster, welke wij onderstellen eenen cirkel rondom de pool te beschrijven, dan zullen wij moeten hebben

$$\text{Boven-doorgang } aZ = PZ - \delta, \quad \text{Beneden-doorgang } bZ = PZ + \delta;$$

$$\text{waaruit volgt } aZ + bZ = 2PZ; \text{ en } PZ = \frac{1}{2}(aZ + bZ).$$

$$ZE = PH = 90^\circ - \frac{1}{2}(aZ + bZ).$$

163. — Wanneer wij nu, te Toulouse bij voorbeeld, de waarden van aZ en bZ voor verschillende Sterren nemen, dan vinden wij, op eenige geringe afwijkingen na, die van den dampkringstoestand op den dag der waarneming afhangen, de volgende waarden:

	aZ	bZ	$PZ = \frac{1}{2}(aZ + bZ)$	breedte ZE
Door de Poolster	44° 52' 47''	47° 51' 41''	46° 22' 14''	43° 37' 46''
Door β van den Kleinen Beer 31 8 50	61 35 18	46 22 4	43 47 56	43 47 56
Door 55 van de Giraffe	25 17 7	67 26 45	46 21 56	43 38 4
Door " van Cassiopeia	12 5 13	80 34 53	46 20 18	43 39 42
Door α van Perseus	5 33 9	86 57 15	46 15 12	43 44 48

De schijnbare zenithsafstand van de pool vermindert dus naarmate de waargenomen Ster verder van dit punt doorgaat. En daar men niet kan onderstellen,

dat elke Ster rondom een bijzondere pool draait, zoo moeten de onregelmatigheden noodwendig door de atmosferische straalbreking veroorzaakt worden.

164. **Profondervindelijke bepalingen van de poolhoogte, voor de samenstelling eener refractie-tafel.** — Hoe zal men die onregelmatigheden verbeteren om de ware poolhoogte of de juiste breedte te bekomen, welke, gelijk wij reeds zeiden, volstrekt noodig is tót de profoundervindelijke samenstelling eener refractie-tafel?

Ziehier de vernuftige methode, waarvan Lacaille zich bediende:

Hij nam verschillende Sterren, doorgaande bij K (fig. 107), ongeveer op denzelfden afstand der zeniths Z en Z' van Parijs en Kaap de Goede Hoop. De som der

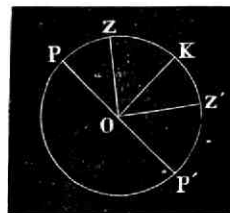


Fig. 107.

zenithsafstanden ZOK, KOZ' gaf hem voor den hoek ZOZ', met het dubbel der straalbreking aangedaan, het getal $82^{\circ}44'46''$. De zenithsafstand Z'P' van de Zuidpool tot Kaap de Goede Hoop werd gelijk bevonden aan $56^{\circ}3'10''{,}9$; de zenithsafstand ZP van de Noordpool tot Parijs scheen, op zijne beurt, de waarde te hebben van $41^{\circ}7'31''{,}5$. Som dezer drie grootheden = $179^{\circ}55'29''{,}4$, in plaats van 180° ; verschil op 110° = $4'30''{,}6$, dat de invloeden der straalbreking voorstelt, behoorende tot de 4 schijnbare zenithsafstanden, en dat Lacaille, volgens de in de vorige noot

ontwikkelde theorie, verdeelde naar evenredigheid van de trigonometrische

tangenten der vier waargenomen hoeken ZOK, Z'OK, ZOP, Z'OP', om het in rekening te brengen op deze vier hoeken, waarvan hij gevolgelijk de juiste waarden had. Dat gaf hem voor Parijs en Kaap de Goede Hoop de zenithsafstanden of de hoogten der beide polen, welke vereischt werden tot de profoundervindelijke samenstelling eener refractie-tafel.

165 — Lacaille staaftde voorts zijne bepaling langs een anderen weg, genoegzaam onafhankelijk van de verhouding der straalbrekingen tot de trigonometrische tangenten van den schijnbaren zenithsafstand.

Daar de beide keerkringen (§ 120) T en T' (fig. 108) even ver van den Æquator verwijderd zijn, vond hij, door waarneming van de Zon op de beide zonnestanden:

Met eene kleine correctie van $4''{,}9$ ontleend aan het theorema van de verhoudingsbetrekking tot de tangenten, om de straalbrekingen nauwkeurig tot denzelfden zenithsafstand Z'P' te herleiden. Daar deze correctie zeer gering is, moet de fout, voortkomende uit de verwaarloosde termen in de reeks, welke de straalbreking aangeeft, volstrekt onbeduidend zijn.

Z'T' = $10^{\circ}26'53''{,}3$; komende de theoretische refractie $10''{,}1$ in deze waarde van Z'T', welke de ware zenithsafstand is.

Door Z'P' bij Z'T' te voegen, verkreeg hij P'T' = $66^{\circ}30'3''{,}2$, waarin nu alleen de refractie op Z'P' voorkwam, aangezien die, welke tot Z'T' behoort, reeds de correctie ondergaan had. De som Z'P' + Z'T' + (P'T' = PT) (geeft $179^{\circ}55'14''{,}9$ in plaats van 180° . Verschil = $4'45''{,}4$, dat thans in drie gelijke deelen moest

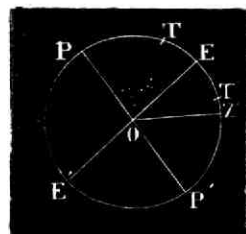


Fig. 108.

verdeeld worden, omdat de drie refractiën, door onbeduidende correctiën, op een zelfden schijnbaren zenithsafstand $Z'P'$ in rekening waren gebracht. Lacaille verkreeg alzoo de ware hoogte van de Pool.

166. — Daar deze bepaling de grondslag is der proefondervindelijke tafels, merk ik hier aan, dat men ze nog door veel andere methoden kan bekomen. Onderstelt, bij voorbeeld, twee waarnemers, geplaatst op de beide zuidelijke en noordelijke breedten van 45° . De waarneming der æquatoriale Sterren en van elke Pool zou de refractie geven, die met 45° zenithsafstand overeenstemt, en gevolgelijk den waren stand der Polen. Zelfs zou één waarnemer in dit geval, en ook in dat der



Fig. 109.

meeste gemiddelde breedten, vrij nauwkeurig de hoogte van de Pool kunnen bepalen door waarneming van de Zonnestanden en van eene circumpolaire Ster, op ongeveer $23^\circ 30'$ afstands van de Pool gelegen.

Immers, laten $HPZH'$ (fig. 109) den meridiaan; TT' de beide keerkringen op ongeveer $23^\circ 27'$ afstands van den Æquator OE ; c, c' de beide standen der circumpolaire Ster bij haren boven- en beneden-doorgang voorstellen, en duiden wij door dR, dR', dR_1, dR'_1 de vier refractiën uit, die tot de waargenomen zenithsafstanden ZT, ZT', Zc, Zc' behooren en die nagenoeg twee aan twee gelijk zijn, dan zullen wij, aangezien de straalbrekingen de Sterren hooger doen'schijnen en derhalve gevoegd moeten worden bij de schijnbare zenithsafstanden, om tot de ware zenithsafstanden te komen, de volgende vergelijkingen hebben:

$$\text{wezenlijke waarde van } ZE = \frac{1}{2} (ZT + ZT' + dR + dR')$$

$$\text{wezenlijke waarde van } ZP = \frac{1}{2} (Zc + Zc' + dR_1 + dR'_1).$$

En daar de Pool op 90° afstands van den Æquator E ligt, zoo zullen wij, door samentelling der beide voorgaande vergelijkingen, tot som bekomen:

Waarnemingen.

Som der 4 refractiën.

$$(ZE + ZP = 90^\circ) = \frac{1}{2} (ZT + ZT' + Zc + Zc') + \frac{1}{2} (dR + dR' + dR_1 + dR'_1);$$

Hieruit vinden wij de getalswaarde van $(dR + dR' + dR_1 + dR'_1)$, die wij, volgens de vroeger (3de noot) ontwikkelde theorie, naar evenredigheid van de trigonometrische tangenten der waargenomen hoeken verdeelen.

167. — Wilt gij nog eene handelwijze, die te gelijker tijd ò den stand der Pool, ò de waarde der coëfficiënten A, B, C , enz. van de reeks $dR = A \text{ tang } R + B \text{ tang}^3 R + C \text{ tang}^5 R + H \dots$ doet kennen? Neemt, ter bepaling van N coëfficiënten, $(N + 1)$ circumpolaire Sterren. Als gij nu door $(c, c'), (c_2, c'_2), (c_3, c'_3)$, enz. (fig. 110) de punten aanduidt, waar de circumpolaire Sterren den boven- en beneden-meridiaan snijden, en door $(dR, dR'), (dR_1, dR'_1), (dR_2, dR'_2)$, enz. de refractiën uitdrukt, behorende tot de schijnbare zenithsafstanden $(R, R'), (R_1, R'_1), (R_2, R'_2)$, enz., respectievelijk gelijk aan $(Zc, Zc'), (Zc_2, Zc'_2), (Zc_3, Zc'_3)$, enz., zoo zult gij hebben:

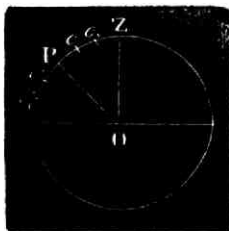


Fig. 110.

$$\begin{aligned} \text{wezenl. waarde v. ZP} &= \frac{1}{2} \left[(R + dR) + (R' + dR') \right] = \frac{1}{2} \left[(R + R') + (dR + dR') \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[(R_1 + dR_1) + (R'_1 + dR'_1) \right] = \frac{1}{2} \left[(R_1 + R'_1) + (dR_1 + dR'_1) \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[(R_2 + dR_2) + (R'_2 + dR'_2) \right] = \frac{1}{2} \left[(R_2 + R'_2) + (dR_2 + dR'_2) \right] \end{aligned}$$

en zoo gij u, bij voorbeeld, tot de twee eerste termen der reeks bepaalt, substitueerende in de voorgaande vergelijkingen (dan tot drie gebracht) de waarden der refractie

$$\begin{cases} dR = A \operatorname{tang} R + B \operatorname{tang}^3 R \\ dR' = A \operatorname{tang} R' + B \operatorname{tang}^3 R' \\ dR_1 = A \operatorname{tang} R_1 + B \operatorname{tang}^3 R_1 \\ dR'_1 = A \operatorname{tang} R'_1 + B \operatorname{tang}^3 R'_1 \\ dR_2 = A \operatorname{tang} R_2 + B \operatorname{tang}^3 R_2 \\ dR'_2 = A \operatorname{tang} R'_2 + B \operatorname{tang}^3 R'_2, \end{cases}$$

zoo hebt gij geen andere onbekenden meer dan de drie grootheden ZP, A, B. De drie vergelijkingen zullen dus meer dan genoeg zijn om deze onbekenden te vinden, omdat zij, na de substitutie van dR , dR' , dR_1 , enz., zes in plaats van slechts drie vergelijkingen tusschen de te bepalen grootheden opleveren; hetgeen u ook — om dit in 't voorbijgaan te zeggen — gelegenheid zal geven om den index n der straalbreking van 't luchtledige te berekenen, daar gij hebt:

$$A = \frac{n^2 - 1}{n + 1} = n - 1, \quad B = \frac{1}{4} \frac{(n - 1)^2}{n + 1}, \quad C = \frac{1}{8} \frac{(n^2 - 1)^3}{n + 1}, \text{ enz.}$$

168. Proefondervindelijke samenstelling van de refractie-tafel. —

In elk geval, wanneer de ware poolhoogte gegeven is en gij wilt *proefondervindelijk* eene tafel van atmosferische straalbrekingen maken, zoo neemt eene Ster S (fig. 111), die door het zenith gaat, of althans op zeer geringen afstand van dit punt, opdat haar poolsafstand PS, alsdan nagenoeg gelijk aan PZ, nauwkeurig bekend zij door den meridiaans-poolsafstand, op welchen de straalbreking zonder merkbaaren invloed zal zijn. Hebt daarbij een goed geregeld uurwerk; meet achtereenvolgens met een in graden verdeelden cirkel de schijnbare zenithsafstanden ZS, ZS'.... van uwe Ster op bepaalde uren van 't uurwerk. Het oogenblik van den doorgang der Ster door den meridiaan, vergeleken met de verschillende uren van uwe waarneming, zal u de *ware* uurhoeken

ZPS, ZPS', enz. geven; terwijl de bolvormige driehoeken ZPS, ZPS', enz., in welke gij deze hoeken, alsook de hen bepalende beide zijden PZ, PS, PZ, PS', enz., zult kennen, de *wezenlijke* waarden der zenithsafstanden ZS, ZS' zullen opleveren door de reeds meermalen gebruikte formule der costnussen:

$$\cos ZS = \cos ZP \cdot \cos PS + \sin ZP \cdot \sin PS \cdot \cos ZPS$$

$$= \sin L \cdot \sin D + \cos L \cdot \cos D \cdot \cos P;$$

$$\cos ZS' = \cos ZP \cdot \cos PS' + \sin ZP \cdot \sin PS' \cdot \cos ZPS'$$

$$= \sin L \cdot \sin D' + \cos L \cdot \cos D' \cdot \cos P'.$$

Wanneer gij nu de *schijnbare* zenithsafstanden, die de waarneming u reeds deed kennen, aftrekt van de *ware*, zult gij als verschil de waarden der straalbreking bekomen, behoorende tot de verschillende waargenomen zenithsafstanden.

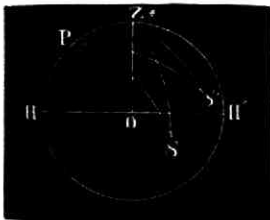


Fig. 111.

169. — Doorgaans, wanneer gij uwe proefnemingen veel dagen achtereen herhaalt, zult gij voor denzelfden schijnbaren zenithsafstand refractiën vinden, die een weinig van elkander verschillen. Dit komt voort uit de veranderingen in de dichtheid der lucht. Zoo verkreeg Lacaille, door de waarneming van zekere Sterren e (figt 112) bij het zenith Z van Parijs en bij den horizon van de Kaap, en van



Fig. 112.

andere Sterren e' bij het zenith Z' van de Kaap en bij den horizon van Parijs, voor de som $ZOE + EOZ'$ der beide breedten van Parijs en de Kaap eene gemiddelde waarde omtrent $\frac{1}{40}$ grooter in 't eene geval

(door $ZOe + eOZ'$) dan in 't andere (door $ZOe' + e'OZ'$). Het waren de Sterren e' , waargenomen in 't zenith van de Kaap en aan den horizon van Parijs, die de kleinste som opleverden. Hieruit volgt, dat de straalbreking de Sterren aan den horizon van Parijs hooger plaatste, dan zij zulks deed aan den horizon van de Kaap; met andere woorden, dat die straalbreking, gemiddeld, het aanzienlijkst was onder de breedte van

Parijs; hetgeen zich ook vrij natuurlijk laat verklaren uit eene mindere dichtheid der lucht aan de Kaap, waar de gemiddelde temperatuur hooger is dan die te Parijs.

170. **Invloed der temperatuur en der barometerdrukking op de straalbrekingen.** — Lacaille meende dus te mogen aannemen, dat de straalbreking evenredig is aan de dichtheid der lucht. Voorzien van zijne *profonderevindelijke* tafel, samengesteld onder drukkingen en temperaturen, die bij elke waarneming verschilden, maakte hij gevolgelijk zonder moeite eene *normale* tafel, beantwoordende aan eene bepaalde temperatuur t en barometerdrukking D , met behulp van welke tafel men gemakkelijk de refractiën vindt, die tot deze of gene temperatuur en drukking behooren.

171. — Laat, om dit op te helderen, door dR'' de *normale* straalbreking voor de temperatuur t en de drukking D worden aangeduid. Stelt ook door dR , dR' de refractiën voor, behoorende de eerste tot de temperatuur $(t + dt)$ of t' en tot de drukking $D + dD$, de tweede tot de temperatuur t en tot de drukking $D + dD$. Noemt eindelijk a den coëfficiënt van de uitzetting der lucht. Volgens de bekende gronden zult gij klaarblijkelijk hebben:

$$dR'' : dR' = D : D + dD,$$

$$dR' : dR = (1 + at') : (1 + at) :$$

waaruit volgt
$$\frac{dR''}{dR} = \frac{D(1 + at')}{(D + dD)(1 + at)} ;$$

eene vergelijking, waaruit men de normale waarden dR'' kan berekenen door middel van de waargenomen waarden dR , om alzoo eene tafel op te maken, waarvan al de getallen betrekking hebben tot dezelfde temperatuur t en tot dezelfde drukking D .

172. — Om vervolgens deze tafel op de waarnemingen toe te passen, dat is om dR'' tot dR te herleiden, zoo zondert deze laatste grootheid uit de voorgaande vergelijking af. Wanneer gij u tot de termen van de eerste orde bepaalt en gevolgelijk de hogere machten van a en het product van a , dD verwaarloost, verkrijgt gij:

$$dR = dR'' \frac{(D + dD)}{D} \frac{(1 + at)}{(1 + at')} = dR'' \left(1 + \frac{dD}{D}\right) [1 + a(t - t')] \\ = dR'' + dR'' \frac{dD}{D} + dR'' a(t - t');$$

en gij hebt alzoo eene som van drie termen, waarvan de beide laatste niets anders zijn dan de eerste, achtereenvolgens vermenigvuldigd met de factors $\frac{dD}{D}$ $a(t - t')$. Men heeft dus slechts afzonderlijk in de tafel de waarden van dR'' op te teekenen, die bij al de zenithsafstanden, van nul tot 90° , behooren, alsook die der factors $\frac{dD}{D}$, $a(t - t')$, berekend voor de mogelijke gevallen van drukking dD en van dampkrings-temperatuur $(t - t')$. Het product van ieder dezer factors met dR'' geeft de beide correctiën, die er te doen zijn op de normale straalbreking (dR'') van de tafel, ten einde tot de refractie (dR) te geraken, die op de waarnemingen toepasselijk is.

173. **Theoretische formules van Bradley, Cassini, enz. — Vollediger formules van Laplace: 1° tot aan den zenithsafstand van 34° ; 2° van 34° tot 90° .** — Wij hebben gezien (§ 5 159 en 160) dat, wanneer men in elke dampkringslaag de normalen bij het invallen en uitreden als parallel kan beschouwen, men alsdan theoretisch heeft: $dR = A \text{ tang } R + B \text{ tang}^2 R + C \text{ tang}^3 R + \dots$. Om de reeks te ontwijken, stelde Bradley de refractiën voor door de formule $dR = A \text{ tang } (R - 3 dR) = 57'' \text{ tang } (R - 3 dR)$, eene eenvoudige formule, maar die eene reeks van achtereenvolgende benaderingen vereischt, wegens den hoek $(R - 3 dR)$, begrepen onder het trigonometrisch teeken van het tweede lid. Verscheidene Sterrenkundigen, Cassini, Simpson, Newton, Bernouilli, Boscowich, enz., gaven soortgelijke formules, en zelfs voor gevallen, waar de uiterste nauwkeurigheid niet noodig was, gebruikten zij de formule $dR = 57' \text{ tang } R$. Door eene grondiger ontleding van de bijzonderheden der straalbreking heeft Laplace op zijne beurt de volgende uitdrukking gevonden, op welke de thans algemeen gebruikte tafels berusten. Wij geven haar, zooals zij door Delambre, voor 't gemak der berekening, eenigszins gewijzigd is.

$$dR = \frac{\alpha(1+y) \text{ tang } R}{(1+at)(1+bt)} + \frac{\frac{1}{2} \alpha^2(1+y)}{(1+at)(1+bt)} \times \frac{(1+2 \cos^2 R) \text{ tang } R}{\cos^3 R} \\ - \frac{\alpha(1+y)}{(1+at)(1+bt)} + 0,00125254 \frac{\text{tang } R}{\cos^3 R} - aat \times 0,00125254 \frac{\text{tang } R}{\cos^3 R};$$

zijnde R , als boven, de waargenomen schijnbare zenithsafstand; t de (insgelijks waargenomen) temperatuur in honderddeelige graden; $(0,76 \text{ m.}) (1 + y)$ de waargenomen barometerhoogte; a en b de uitzettings-coëfficiënten van de lucht en het kwik; α eindelijk eene standvastige grootheid, proefondervindelijk te bepalen, welke Delambre, uit een aantal waarnemingen, gelijk bevond aan $60'' 616$, terwijl de latere rechtstreeksche nasporingen van Biot en Arago, aangaande het straalbrekend vermogen der lucht, Delambre's getal hebben bevestigd.

174. — Omstreeks 74° zenithsafstand en van daar tot aan den horizon is de voorgaande formule niet meer nauwkeurig genoeg: daarom gaf Laplace deze, die verkieslijk schijnt, ofschoon dan de refractiën zeer onzeker worden:

$$dR = 2790'',2 (0,75479 - 0,49042 T^2) \sin R \frac{2\psi(T)}{\sqrt{\pi}} + 10021'',4 \sin 2R$$

eene formule waarin $\psi(T) = C^2 \int_0^T \sqrt{C^2 - x^2} dx$, en waarin T gelijk is aan

25,961924 cos R. C stelt de basis der Neperiaansche logarithmen, π de verhouding van den omtrek tot den diameter voor; en de seconden behooren tot de sexagesimale verdeeling. Wat de integraal $\int_C^{-x^2} dx$ betreft, men weet dat zij tusschen de grenzen 0 en ∞ , volgens Laplace, $\frac{1}{2} \sqrt{\pi}$ tot waarde heeft; er blijft dus niets anders over, om ze van T in 't oneindige te hebben, dan met quadraturen 0 tot T te rekenen, en dit laatste resultaat af te trekken van $\frac{1}{2} \sqrt{\pi}$; het verschil zal 't getal wezen, dat een deel van $\psi(T)$ moet uitmaken.

175. **Invloed van het azimuth en de vochtigheid op de straalbreking.** — De straal der Aarde treedt als element in de voorgaande formules op, uit hoofde van den coëfficiënt α , die hem bevat. Hieruit volgt, dat, daar de raakcirkels niet dezelfde zijn rondom den ganschen horizon, de straalbuigingen moeten veranderen met het azimuth. Doch de verschillen bedragen op zijn hoogst slechts eenige centesimale seconden, en zijn geheel onbeduidend zoodra de Ster een weinig boven den horizon staat. Men kan dus deze bijzonderheid buiten berekening laten Zóó is het echter, strikt genomen, niet met den invloed van de vochtigheid des dampkrings gelegen. Laplace heeft dien aangegeven door de volgende tafel, tusschen 15° en 40° temperatuur.

Honderddeelige temperaturen.	Toeneming der straalbreking in sexagesimale seconden.
15°.	$= \frac{q}{q'}$ (0''182412) tang R.
20°.	$= \frac{q}{q'}$ (0.241016) tang R.
25°.	$= \frac{q}{q'}$ (0.316548) tang R.
30°.	$= \frac{q}{q'}$ (0.412776) tang R.
35°.	$= \frac{q}{q'}$ (0.534924) tang R.
40°.	$= \frac{q}{q'}$ (0.687528) tang R.

In deze tafel beteekent $\frac{q}{q'}$ den hygrometrischen staat der lucht, of de verhouding tusschen de hoeveelheid wezenlijken damp en de hoeveelheid verzadigden damp. Stelt men $\frac{q}{q'} = 1$, R = 74°, en $t = 15^\circ$, dan vindt men A = 0''636; en in de onderstelling van $t = 40^\circ$, R = 74° en $\frac{q}{q'} = 1$, heeft men A = 2'',398; grootheden veel aanzienlijker dan die, welke tot de verandering van azimuth betrekking hebben, maar die men toch over 't algemeen buiten berekening kan laten in vergelijking van de waarden der refractie, waarvan de volgende tafel, berekend in de *Connaissance du temps*, voor de barometer-drukking 0,760 en voor 10° temperatuur op den honderddeelligen thermometer, een denkbeeld zal geven.

TAFEL DER REFRACTIËN.

Schijnbare zeniths-afstanden R.	Straalbreking.	Schijnbare zeniths-afstanden R.	Straalbreking.
0°	0' 0'',0	81°	'33'',7
10	0 10 ,3	82	6 34 ,7
20	0 21 ,2	83	7 25 ,6
30	0 33 ,7	84	8 30 ,3
40	0 48 ,9	85	9 54 ,8
50	1 9 ,4	86	11 48 ,8
60	1 40 ,7	87	14 28 ,7
70	2 38 ,9	88	18 23 ,1
75	3 24 ,5	89	24 22 ,3
80	5 20 ,0	90	33 47 ,9

Barometer.	Factor $(1 + \frac{dP}{P})$.	Thermometer.	Factor $[1 + a(t-t')]$
0,720 m.	0,947	- 30°	1,173
0,730	0,961	- 20	1,125
0,740	0,974	- 10	1,080
0,750	0,987	0	1,039
0,760	1,000	+ 10	1,000
0,770	1,013	+ 20	0,964
0,780	1,026	+ 30	0,931
0,790	1,039	+ 40	0,899
		+ 50	0,870

VIJFDE NOOT (§ 132). — INVLOED VAN DE STRAALBREKING OP DE DIAMETERS DER HEMELLICHTEN.

176. **Verkorting van den verticalen diameter.** — Stelt den hoekdiameter der Zon gelijk aan $32'$, en den schijnbaren zenithsafstand van den bovenrand gelijk aan $89^{\circ}31'30'',6$. De zenithsafstand van den benedenrand zal in dit geval, volgens Delambre, gemiddeld gelijk zijn aan $89^{\circ}59'13'',4$. — Verschil = $27'42'',8$ = schijnbare waarde van den verticalen diameter, in plaats van $32'$. — Invloed der straalbreking = $32 - (27'42'',8) = 4'17'',2$ = verkorting van den verticalen diameter.

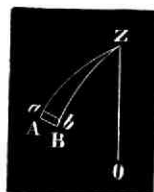


Fig. 113.

177. **Verkorting van den horizontalen diameter.** — Wat den horizontalen diameter AB (fig. 113) aangaat, hij wordt door de straalbreking opgeheven en in ab gebracht. Om zijne verkorting te berekenen, hebt gij in den driehoek abZ , als gij

ab voorstelt door δ :

$$(1) \quad (\cos ab = \cos \delta) = \cos Za \cdot \cos Zb + \sin Za \cdot \sin Zb \cdot \cos Z \\ = \cos^2 R + \sin^2 R \cdot \cos Z,$$

wegens $Za = Zb = R$, dewijl ab horizontaal is evenals AB.

Differentieert met betrekking tot R , de eenige grootheid, die met ab verandert als men van ab tot AB overgaat. Er komt dan:

$$(2) \quad -\sin \delta \cdot d\delta = -2 \sin R \cdot \cos R dR + 2 \sin R \cdot \cos R \cdot \cos Z dR \\ = -2 \sin R \cdot \cos R dR (1 - \cos Z).$$

Maar de vergelijking (1) geeft $\cos Z = \frac{\cos \delta - \cos^2 R}{\sin^2 R}$.

Hieruit verkrijgt gij, door in (2) te substitueeren:

$$\begin{aligned} \left[-\sin \delta d\delta = -2 \sin \frac{1}{2} \delta \cdot \cos \frac{1}{2} \delta \cdot d\delta \right] \\ = -2 \sin R \cdot \cos R dR \left(1 - \frac{\cos \delta - \cos^2 R}{\sin^2 R} \right) \\ = -2 \frac{\sin R \cdot \cos R dR}{\sin^2 R} (\sin^2 R - \cos \delta + \cos^2 R) \\ = -2 \cotang R (1 - \cos \delta) dR \\ = -2 \cotang R dR \cdot 2 \sin^2 \frac{1}{2} \delta; \end{aligned}$$

en gevolgelijk,

$$d\delta = 2 \cotang R dR \cdot \tang \frac{1}{2} \delta = \cotang R \cdot \tang \delta dR,$$

$$\text{uit hoofde van } 2 \tang \frac{1}{2} \delta = \tang \delta,$$

ten naasten bij.

Maakt $dR = A \tang R$, en gij zult hebben:

$$d\delta = A \cdot \tang \delta = 37'' \tang \delta = 37'' \tang 32' = 0'',33$$

door voor A den bovenvermelden coëfficiënt van Bradley aan te nemen.

Hieruit volgt, dat, in de onderstelling $dR = A \tang R$, de verkorting van den horizontalen diameter standvastig is voor al de zenithsafstanden R, en gelijk aan ongeveer een halve seconde, hetgeen men aan 't zenith op zeer eenvoudige wijze kan bevestigd zien. Want daar het middelpunt der Zon alsdan in de verticaal ligt, zoo is elke rand op 16' zenithsafstand R; en daar de refractie, volgens bovenstaande tafel (4de noot), gelijk is aan ongeveer 1' per graad, of aan $\frac{1}{4}$ seconde op 15', zou men eene halve seconde van de beide randen, dat is voor den diameter, bekomen.

178. — Verkorting van de schuinsche diameters. — De schuinsche

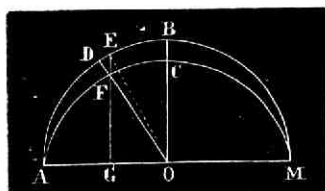


Fig. 114.

diameters worden op hunne beurt verkort in verhouding tot den vierkanten sinus van hunne helling op de horizontale lijn. Men mag toch, zonder groote fout, onderstellen, dat de schijnbare schijf ongeveer elliptisch is, of dat men heeft (fig. 114):

$$\left(\frac{EG}{FG} = \frac{Y}{y} \right) = \frac{BO}{CO} = \frac{a}{b},$$

zijnde Y en y de ordinaten van den cirkel ADBM en van de ellips AFCM, terwijl a en b de beide assen (OA = OB) en OC

van deze ellips zijn. De beide driehoeken DFE en GFO (gelijkvormig omdat zij rechthoekig zijn, de eene in D, de andere in G, en tevens beider tophoeken F als overstaande hoeken gelijk zijn) geven de evenredigheid

$$DF : EF = FG : FO;$$

Hieruit vindt men, voor de verkorting DF van den schuinschen diameter DO,

$$DF = EF \cdot \frac{FG}{FO} = (EG - GF) \sin \text{FOG};$$

en, stellende $FOG = I$

$$(A) \quad DF = (Y-y) \sin I.$$

Maar wegens

$$\frac{Y}{y} = \frac{a}{b}$$

heeft men

$$\frac{Y-y}{Y} = \frac{a-b}{a},$$

$$\text{en} \quad Y-y = \frac{Y}{a} (a-b) = \frac{EG}{EO} (a-b) = (a-b) \sin EOG = (a-b) \sin I$$

zeer nabij, omdat de hoeken EOG en FOG weinig van elkander verschillen.

Substitueert de waarde van $(Y-y)$ in de vergelijking (A), zoo vindt gij eindelijk

$$(A') \quad DF = (a-b) \sin^2 I.$$

Indien gij eene tafel van de waarden van DF wilt maken, hebt gij dus slechts proefondervindelijk te bepalen of uit de refractie-tafels af te leiden de waarden van $(a-b)$, overeenkomende met de verschillende zenithsafstanden, en vervolgens de getallen $(a-b) \sin^2 I$ te berekenen voor iedere der waarden van $(a-b)$ en van I . Eene eenvoudige evenredigheid — ∇ behoeft nauwelijks gezegd — zal u de getallen leveren, welke tusschen die der tafel liggen



TIENDE LES.

Vervolg van de beschouwing der Zon. — Beweging der zon in hare baan; haar afstand van de Aarde is veranderlijk. — *Stelsel van Ptolomeus*; epicyclus, excentriek. — *Kegelsneden*; cirkels; ellipsen; parabolen; hyperbolen; asymptoten. — Toepassing der kegelsneden door Kepler op het wereldatelsel. — Gevoelen van Kepler over zijne ontdekking. — Historische bijzonderheden. — Gemiddelde afstand van de Zon tot de Aarde. — Gemiddelde snelheid der Zon. — Perigæum en Apogæum. — Lijn der Apsiden. — Beweging der groote as. — Onveranderlijkheid van hare lengte. — Periodische veranderingen der excentriciteit. — *Ware zonnedagen* en *zonnetijden*; veranderingen van den zonnedag. — Middelbare dag en tijd. — Tijdsvereffening. — Graphisch ontwerp eener middaglijn; gnomon. Burgerlijke en astronomische dag. — Sterrejaar. — Anomalistisch jaar. — Tropisch of æquinociaal jaar. — Seizoenen; hun duur. — *Kalender*. — Juliaansche kalender. — Schrikkeljaren. — Verbetering en Gregoriaansche kalender. — Kalender der Perzen in de middeleeuwen. — Verloopend jaar. — Turksch jaar. — Fransch republikeinsch jaar. — Eeuwigdurende kalenders. — Zondagsletters. — Zonnecyclus. — Indictiën. — Lusters en Olympiaden. — Noot over de zonnewijzers. — Æquinociale, horizontale en verticale zonnewijzer.

179. **Beweging der Zon in hare loopbaan.** — De verschillende verschijnselen, die wij tot dusverre bij de beschouwing der Zon hebben ontmoet, hangen niet af van den afstand dezer Dagtoorts tot de Aarde: zij spruiten voort uit de schuinschheid der Ecliptica met betrekking tot den Æquator. Thans gaan wij ons bezig houden met bijzonderheden van een anderen aard, en opsporen volgens welke wetten de jaarlijksche beweging plaats heeft in het vlak zelve, dat de Zon schijnt te doorloopen.

180. **De afstand der Zon tot de Aarde is veranderlijk.** — Wanneer men elken dag zorgvuldig de schijnbare grootte van de zonneshijf meet, bemerkt men alras dat die grootte veranderlijk is, en dat de diameters, wier gemiddelde hoekwaarde ongeveer 32 minuten onderspant, trapsgewijs van 't eene tijdstip tot het andere toe- of afnemen. Men mag evenwel zoodanige veranderingen niet beschouwen als wezenlijk plaats te grijpen; want zij keeren op geregelde wijze terug. Men komt dus van zelve tot het besluit, dat de Zon de Aarde beurtelings naderen en ontwijken moet, en dat de ongelijkheden, die men in de grootte van haren diameter waarneemt, enkel in verband staan met ongelijkheden van afstand.

181. — De Ouden hadden het verschijnsel reeds opgemerkt, of liever, bij gebrek van werktuigen nauwkeurig genoeg om zich rechtstreeks er van te verzekeren, hadden zij het *a priori* aangenomen als een onmiddellijk gevolg van de verandering, die

de verplaatsing der Zon rondom de Aarde hun vertoonde; en in hunne denkbeelden omtrent de onverderfelijkheid der Hemelen, over de *volmaaktheid* der cirkels, over die der gelijkmatige bewegingen, enz., hadden zij zich beijverd om de veranderingen van afstand af te beelden door een ingewikkeld samenstel van op elkander liggende omtrekken, dat onder den naam van *stelsel van Ptolemeus* of *der epicyclen* vijftien eeuwen lang in den boezem der scholen despotisch heeft geheerscht. Op dit zonderling stelsel zinspeelde Alphonsus, koning van Castilië, bijgenaamd de *Wijze* of de *Geleerde* (*el Sabio*), toen hij zeide: „als men tijdens de schepping met mij ware te rade gegaan, ik zou menigen goeden raad aan God kunnen gegeven hebben.” Eene geestige critiek van de verklaring der zonsverplaatsing, veel meer dan van het Scheppingswerk, en waarin toch Sancho een voorwendsel vond om zijnen vader te ontronen, onder beschuldiging van godslastering. Hoe dit zij, laten we zien hoe Ptolomeus, in het stelsel dat zijnen naam draagt en dat men billijkerwijze tot Hipparchus zou moeten opvoeren, de veranderingen in snelheid en afstand verklaart.

182. **Stelsel van Ptolomeus of der epicyclen.** — Zij A

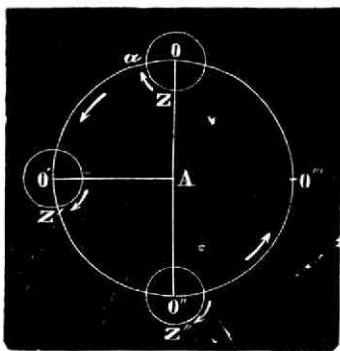


Fig. 115.

(fig. 115) het middelpunt der Aarde en $OO'O''$ eene circumferentie of omtrek rondom dit punt beschreven. Zij er nog een tweede omtrek getrokken met den straal OZ , en op welken de Zon zich gelijkmatig van Z naar a beweegt, terwijl het middelpunt O van dien omtrek, onveranderlijk met het punt A verbonden, op zijne beurt met eene standvastige snelheid den omtrek $OO'O''$ van O naar O' doorloopt. 't Is duidelijk, dat door deze combinatie van den cirkel AO , *deferent* (die draagt) geheeten, en van den cirkel OZ , dien men *epicyclus* (op den cirkel, bij-

cirkel) noemt, de Zon nu eens dichter bij, dan weder verderaf van het punt A zal zijn, in Z, Z', Z'', Z''' , en dat bovendien hare *geocentrische* snelheid (hare snelheid met betrekking tot het middelpunt der Aarde) — samengesteld uit de som van twee snelheden (die van de Zon op den epicyclus en die van den epicyclus op den deferent) als de Zon in Z is, op den kleinsten afstand van de Aarde, of gelijk men zegt, in het perigæum (*perigæe*, bij de Aarde), en daarentegen samengesteld uit het verschil derzelfde snelheden als de Zon op den grootsten afstand is in

Z", in 't apogæum (*apó gē*, ver van de Aarde) — achtereenvolgens al de tusschen die grenzen begrepen waarden zal krijgen. Nogtans moest men weldra inzien, dat de gezegde combinatie niet voldoende was om de beweging der Zon volkomen voor te stellen; men vermeerderde alzoo de epicyclen of bijcirkels, en liet de Zon loopen op den omtrek van een hunner, het middelpunt van dezen op den omtrek van een tweeden, het middelpunt van den tweeden op den omtrek van een derden, enz., eindelijk het middelpunt van den laatsten op den omtrek van den deferent.

't Was op de gewaande verbetering van zoodanige begrippen, dat de critiek van Alphonsus voornamelijk betrekking had. Men begrijpt toch licht, dat mannen van opgeklaard verstand er moeielijk toe konden komen, ze als de uitdrukking der werkelijkheid te beschouwen. Maar zij waren vrij wel geschikt om de achtereenvolgende standen, die de Zon moest innemen, vooruit te berekenen; 't was dus vrij natuurlijk er zich aan vast te houden, gelijk zulks Alphonsus zelve deed in de Tafels, die zijnen naam dragen (Alphonsinische Tafels), bij gebrek van juister begrippen omtrent de eigenlijke wetten. Die wetten, Kepler en Newton hebben ze ons eindelijk geopenbaard; en, vreemde zaak! de epicyclen, eerst geheel het onderst boven geworpen, zijn toch eenigermate, maar op zijdelingsche wijze en uit een veel oordeelkundiger oogpunt dan dat van Ptolomeus, weder opgetreden in de theorie der Zon, door het beginsel van de storingsen der planeten, waarover wij gewis alras gelegenheid zullen hebben te spreken.

183. **Stelsel van het excentriek.** — Voor 't overige verklaarde de Sterrenkundige van Alexandrië door eene tweede

methode de ongelijkheden van schijnbare verwijdering en snelheid. Hij onderstelde de Aarde geplaatst te zijn in T (fig. 116), op den afstand TO van 't middelpunt des cirkels ABCD, die gelijkmatig door de Zon wordt omgeloopen. Dit tweede stelsel, dat in gronde geen ander is dan 't eerste, heeft den naam van stelsel van 't *Excentriek*, en de afstand TO dien van *excentriciteit* (uitmiddelpuntigheid) gekregen.

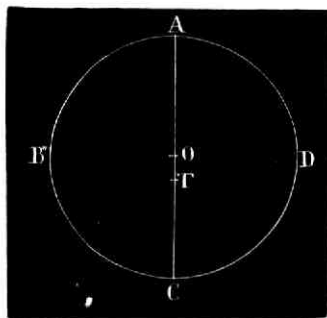


Fig. 116.

Wegens hetgeen ik reeds van de epicyclen heb gezegd, behoef ik mij bij dit onderwerp niet langer op te houden. Ik haast mij dus om tot die schitterend schoone ontdekkingen te komen, waardoor Kepler, die den aard

der verschillende bewegingen inzag, de baan brak, waarop Newton geleid zou worden tot het eenig denkbeeld: al die verschillende bewegingen afhankelijk te maken van een enkele onafgebroken voortdurende oorzaak en van een oorspronkelijk ontvangen stoot.

Maar vooraf eenige woorden over zekere kromme lijnen, die men vaak zal hooren noemen en *kegelsneden* worden geheeten, omdat men ze bekomen kan als een kegel door behoorlijk gerichte vlakken wordt gesneden.

184. **Kegelsneden.** — Onderstelt twee oneindige rechte lijnen AB, XY (fig. 117), elkander snijdende in 't punt C, onder een of anderen hoek ACX, en laat AB rondom XY wentelen, derwijze dat de hoek ACX en het snijpunt C onveranderd blijven; gij zult dan in zijn grootste algemeenheid het *cirkelvormig kegelvlak* hebben, gevormd uit de beide vakken, die zich in ACE en BCD projecteeren. Ik zeg *cirkelvormig*, omdat ieder punt van AB *klaarblijkelijk* eenen cirkel zal beschrijven, dat geen plaats zou hebben, indien gij aannaamt, dat de hoek ACX kon veranderen, gelijk men dat inderdaad somwijlen aanneemt bij zekere mathematische combinatiën, waarmede wij ons gelukkig hier niet behoeven bezig te houden.

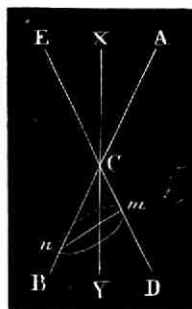


Fig. 117.

De lijn XY is de *as* der oppervlakte, het punt C is haar *top*; AB is de *beschrijvende lijn*; eindelijk het geheel van de oppervlakte en van 't volumen maakt den kegel uit.

185. **Cirkels.** — Snijdt nu dezen kegel, door eene reeks van onderling parallelle vlakken, alle loodrecht op de as XY. Gij zult dan cirkels bekomen, in grootte verschillende van nul tot in 't oneindige, naargelang het snijvlak door het punt C, of door punten op oneindige afstanden van den top wordt gevoerd. De sneden van eenen kegel, perpendicular op de as gedaan, zullen u dus alle denkbare cirkels leveren, dewijl gij, door de snijvlakken al dichter en dichter bij elkander te brengen, twee aangrenzende cirkels zoo weinig verschillend van elkaar kunt maken als gij slechts wilt.

186. **Ellipsen.** — Maar indien gij, in plaats van het snijvlak loodrecht op de as te voeren, het laat hellen, zoodanig echter dat het de beide tegenover elkander staande beschrijvende lijnen CD, CB snijdt, dan zal de kromme lijn van doorsnede een ovaal, eene soort van langwerpigen cirkel worden, dien wij reeds ontmoet hebben in onze beschouwing der dubbele Sterren en die den naam van *ellips* draagt. Men begrijpt wel, dat men

ook hier, evenals in 't geval van den cirkel, meer of minder langwerpige, meer of minder afgeplatte, kortom alle bij mogelijkheid te construeeren ellipsen zal bekomen naar gelang van den afstand des tops tot het snijvlak en de helling van dit vlak op de beschrijvende lijnen; want men bewijst in de meetkunde deze merkwaardige eigenschap der kromme lijnen, die ons thans bezig houden, dat, hoedanig ook hare afmetingen mogen zijn, zij altijd op een gegeven kegel zullen toegepast kunnen worden. Bijgevolg is 't niet noodig den hoek BCD veranderlijk te onderstellen, om zooveel verschillende ellipsen te verkrijgen als men wil, van de ellips af, die in een enkel punt zou bestaan (de top C), tot aan de ellipsen toe, wier groote as mn oneindig of *bijna oneindig* zou zijn, hetzij omdat het snijvlak op een oneindigen afstand van den top werd gevoerd, hetzij omdat het, ofschoon op een eindigen afstand Cm aangebracht, *bijna parallel* aan de beschrijvende lijn CB zou worden.

187. Onder de eigenschappen der ellips is er eene, waardoor men die kromme lijn op een zeer eenvoudige wijze kan construeeren. Zij is deze: de som der beide lijnen, getrokken uit elk der punten a, b, c, d , enz. van den omtrek (fig. 118)

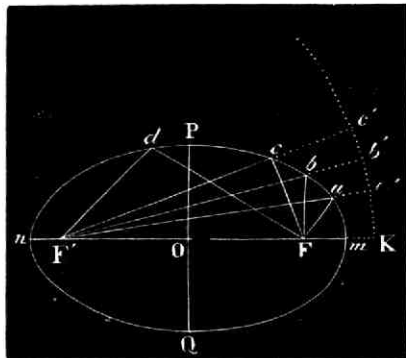


Fig. 118.

naar twee bijzondere punten van de groote as, *brandpunten* geheeten, levert altijd eene standvastige lengte op, gelijk aan de *groote as*, dat is aan de lijn mn , die de ellips symmetrisch in de richting van hare lengte verdeelt. Wilt gij dan met eene onafgebroken beweging de kromme lijn trekken, zoo neemt, nadat gij willekeurig de plaats der brandpunten hebt gekozen, eenen draad van zoodanige lengte mn , als gij aan de groote as wilt geven; bindt de uiteinden daarvan aan de brandpunten en houdt hem voortdurend gespannen door middel van eene stift, die gij over het vlak trekt, waarop gij de ellips wilt hebben. 't Is duidelijk, dat uwe stift achtereenvolgens door de punten a, b, c, d , enz. zal gaan, en zoo de kromme lijn zal afteekenen. Even duidelijk is het, dat de ellips zelfs geheel cirkelvormig zou worden, ingeval hare beide brandpunten zich in een enkel punt vereenigden, welk punt dan het middelpunt des cirkels zou zijn, beschreven met de halve groote as tot

straal. De ellips kan dus beschouwd worden als eene soort van cirkel met *twee middelpunten*, wier afstand FF' den naam van *excentriciteit* draagt. Men noemt *middelpunt* der kromme lijn het punt O in 't midden van FF' , en men geeft den naam van kleine as aan de lijn PQ , die de groote as rechthoekig snijdt en door dat punt O gaat. Eindelijk, iedere lijn Fa , Fb , of $F'a$, $F'b$, gaande van 't eene of 't andere brandpunt naar den omtrek der ellips, wordt *voerstraal* (*radius vector*) geheeten.

188. **Parabolen.** — Wanneer het snijvlak mn van fig. 117 is gekomen aan de grens der standen, die ellipsen kunnen opleveren, dat is wanneer het parallel wordt aan de beschrijvende lijn CB , dan strekt de kromme lijn van doorsnede, die dan den naam van *parabool* krijgt, zich tot in 't oneindige uit, zonder zich te sluiten, maar behoudt natuurlijk met de ellips eene soortgelijke verwantschap als de ellips zelve ten opzichte van den cirkel had behouden.

189. — Als het tweede brandpunt, bij voorbeeld, zich tot in 't oneindige verwijderd, worden de voerstralen $F'a$, $F'b$, enz. van fig. 118 parallel aan de as nFm . Wanneer men nu in de ellips op de verlengsels van elken voerstraal $F'a$, $F'b$, $F'c$, enz. de supplement-lengten Fa , Fb , Fc , enz. bracht, zoodat men lijnen $F'a'$, $F'b'$, $F'c'$, enz. verkreeg, gelijk aan de groote as, dan zouden de uiteinden a' , b' , c' , enz. klaarblijkelijk behooren tot eenen cirkelomtrek, beschreven uit het brandpunt F' , met de groote as tot straal, snijdende de lijn nm op eenen afstand mK van den

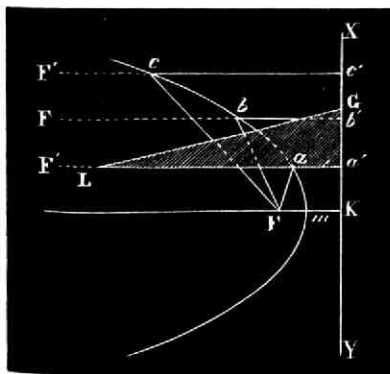


Fig. 119.

top, gelijk aan nF' , of aan Fm . Derhalve zullen, bij den overgang van de ellips tot de parabool, de lengten aa' , bb' , cc' , enz. (fig. 119), *parallel* aan de as, gelijk worden aan de voerstralen Fa , Fb , Fc , enz., en daar de stralen $F'a'$, $F'b'$, $F'c'$, enz. oneindig zijn, zal de omtrek $Ka'b'c'$ ophouden eene merkbare kromming te hebben. Hetgeen met andere woorden wil zeggen, dat zij zich zal oplossen in eene rechte lijn, loodrecht

op de groote as, op eenen afstand mK , gelijk aan mF .

190. De lijn KXY wordt *directie-lijn* van de parabool geheeten, en kan dienen tot het trekken der kromme lijn door eene onafgebroken beweging. Men neme daartoe slechts eenen win-

kelhaak $La'G$, en eenen draad zoo lang als de zijde La' , leggen den winkelhaak tegen de directie-lijn, nadat men de einden van den draad aan de punten L en F heeft vastgemaakt, en spanne nu den draad met eene stift, die langs de zijde van den winkelhaak glijdt. Deze laatste zal langs de directie-lijn loopen en de stift zal eenen parabool-boog trekken; want daar de lengte LaF van den draad gelijk is aan Laa' , zal het gedeelte Fa klaarblijkelijk zelf gelijk zijn aan de lengte aa' , en het punt a , door de stift bepaald, zal gevolglijk tot de kromme lijn behooren.

191. **Hyperbolen.** — Wanneer men de evenwijdigheid met de beschrijvende lijn CB van fig. 117 te buiten gaat, zal het snijvlak die lijn niet meer aan de zijde van B ontmoeten, maar het zal haar in zeker punt n (fig. 120) in hare verlenging CA snijden. In plaats van eene kromme lijn, zult gij dan twee symmetrische en oneindige boogen hebben, ieder behoorende tot een der vakken van het kegelvlak en welke te zamen datgene uitmaken wat men noemt de beide *takken der hyperbool*, de laatste klasse van kromme lijnen, die door de kegelsneden gevormd worden.

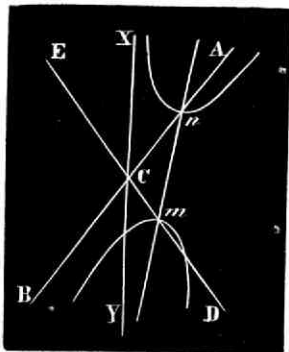


Fig. 120.

Laten we, om te bekorten, eenvoudig zeggen, dat de hyperbool, evenals de ellips, twee brandpunten F , F' (fig. 121) heeft, als-

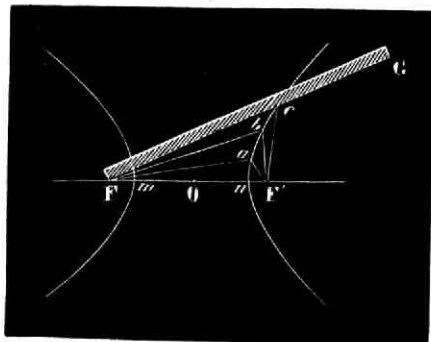


Fig. 121.

mede eene groote as mn , die standvastig gelijk is, niet meer aan de som maar aan 't verschil der beide voorstralen (Fa , $F'a$), (Fb , $F'b$), (Fc , $F'c$), enz., getrokken van de brandpunten naar de verschillende punten a , b , c , enz. van de kromme lijn, hetgeen, om dit in 't voorbijgaan op te merken, een zeer eenvoudig middel aan de hand geeft om de hyperbool te construeeren. Daartoe toch behoeft men slechts een der ein-

den van de liniaal FG te bevestigen aan het brandpunt F, en eenen draad aan het andere brandpunt F', alsook aan het punt G van de liniaal, nemende men de lengte van dien draad gelijk aan het verschil tusschen de lengte van de liniaal en de lengte mn , die men aan de groote as wil geven. De stift, die den draad aan de liniaal houdt, terwijl deze om het punt F draait, zal achtereenvolgens door de punten c , b , a , enz. gaan, die de eigenschap hebben, dat GcF min GcF' of, eenvoudiger, dat cF min cF' , dat bF min bF' , dat aF min aF' enz., kortom, dat het verschil van twee voerstralen naar welgevallen gelijk is aan 't verschil tusschen de lengte van de liniaal en die van den draad, dat is aan de groote as zelve: eene eigenschap waardoor wij de hyperbool juist hebben bepaald, en door welke men ook den tweeden tak kan construeeren, als men het einde van de liniaal in het punt F', en dat van den draad in 't punt F brengt.

193. In strijd met hetgeen er bij den cirkel, de ellips en de parabool plaats heeft, kan de hyperbool niet altijd aan den kegel ontleend worden. Deze kromme lijn vereischt bijzondere voorwaarden met betrekking tot de grootte van den hoek BCD (fig. 117), die aan den top des kegels wordt gevormd. Hieruit volgt, dat men, om alle mogelijke hyperbolen te bekomen, niet alleen de helling van het snijvlak op de beschrijvende lijn, en den afstand van dit vlak tot den top C, maar ook de opening BCD van het kegelvlak moet laten veranderen. Met uitzondering van deze beperking, die voor 't overige van weinig betekenis is voor het doel dat wij ons hier voorstellen, ziet men, dat elke kegel op zich zelve eene groote verscheidenheid van hyperbolen kan opleveren; en als eene merkwaardige bijzonderheid, aan deze soort van kromme lijnen eigen, wil ik hier bijvoegen, dat er voor ieder van haar, tot welken kegel zij ook behooren moge, altijd een stelsel van twee rechte lijnen bestaat, die door 't middelpunt gaan, en die, onder den naam van *asymptoten*, de eigenschap hebben, dat zij *onophoudelijk* de hyperbool naderen, zonder haar ooit te raken.

194. **Asymptotische lijnen en getallen.** — Dit resultaat, hetwelk trouwens niet uitsluitend tot de hyperbool behoort, maar dat vele andere kromme lijnen insgelijks opleveren, mag in den eersten oogopslag wonderspreukig schijnen. Ofschoon het voor ons doel bijna zonder nut is, willen wij toch hier, daar de aansenschakeling der denkbeelden er ons heen gevoerd heeft, doen opmerken, dat men het zich gemakkelijk kan verklaren door dezelfde redeneering, waardoor een oud wijsgeer het ontdekte. Op het punt A (fig. 122) aan den oever der zee staande, zou de wijsgeer, naar men zegt, zijn hond geroepen hebben, die zich op het punt B bevond, terwijl hij zelf in de richting AX begon

te loopen. De rechtlijnige elementen Bb' , $b'c'$, $c'd'$, $d'e'$, $e'f'$, enz., afgelegd door den hond, die genoodzaakt was telkens van

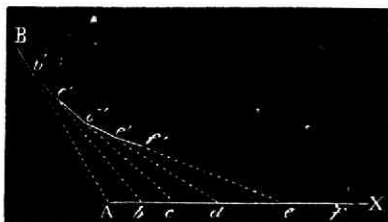


Fig. 122.

richting te veranderen om zijnen meester in te halen; terwijl deze op zijne beurt achtereenvolgens Ab , bc , cd , de , ef , enz. doorliep, moeten op het zand eene kromme lijn achterlaten, welker asymptote AX zou zijn, indien deze kromme en de rechte lijn AX *mathematisch* getrokken waren, dat is indien zij geene breedte hadden. Want als de hond in b' komt, zal de reeds in b zijnde meester zich niet meer in de verlenging van Bb' bevinden. Wanneer de eerste in c' komt, zal de tweede c bereiken, buiten de verlenging van $b'c'$ gelegen, enz. Zoo zal 't ook wezen voor al de kleine elementen der kromme lijn, die zich bestendig zullen richten naar de punten van vertrek, nimmer naar de punten van aankomst der overeenkomstige elementen van AX (bij voorbeeld Bb' naar A , $b'c'$ naar b , $c'd'$ naar c , $d'e'$ naar d , enz.), en zullen bijgevolg eene kromme lijn vormen, die klaarblijkelijk, gelijk ik reeds zeide, AX tot asymptote heeft.

195. — Om overigens des te beter door getallen in te zien hoe de zaak kan plaats hebben, zoo neemt de lijnen Ox , Oy

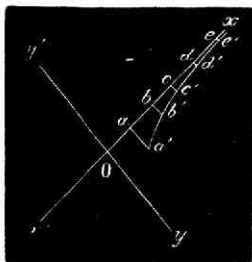


Fig. 123.

(fig. 123) voor de beide asymptoten, die gij aan eene kromme lijn wilt geven. Zet op Ox onderling gelijke deelen af: Oa , ab , bc , cd , de , enz., en trekt achtereenvolgens door de punten a , b , c , d , e , enz., parallel aan Oy de lijnen aa' gelijk aan Oa , bb' gelijk aan de helft van aa' , cc' gelijk aan de helft van bb' , dd' gelijk aan de helft van cc' , ee' gelijk aan de helft van dd' , enz. Is 't niet onbetwistbaar, dat de kromme lijn, die door de punten a' , b' , c' , d' , e' , enz. gaat, altijd de rechte lijn On zal naderen, en dat toch die twee lijnen elkander *nimmer* kunnen ontmoeten. Haar afstand toch zal onophoudelijk afnemen, wordende van punt tot punt telkens de helft minder; maar ofschoon gij ook achtereenvolgens de helften al kleiner en kleiner maakt, het zal u niet gelukken ze immer geheel te niet te doen, gevolgelyk ook niet de kromme lijn in aanraking met de rechte te brengen. Dezelfde constructiën en dezelfde redeneeringen zouden volkomen geldig zijn voor de deelen der kromme lijn, die men mocht trekken

in de richting van Oy en hare verlenging Oy' , als ook van de verlenging On' van On , dat is voor de vier lijnen, die de beide takken van de asymptotische kromme lijn uitmaken.

196. Wilt gij nog een merkwaardig voorbeeld, niet van asymptotische lijnen, maar van getallen die elkanders asymptoten zijn? Neemt de reeks *een*, een *half*, een *vierde*, een *achtste*, een *zestiende*, enz. en telt al de termen dier reeks bij elkander; gij zult dan het getal *twee* aanhoudend naderbij komen, maar nooit zult gij juist tot dat getal geraken. Want om eene som gelijk aan *twee* te verkrijgen, zou men bij een zeker getal termen den laatsten dier termen zelven moeten bijvoegen, terwijl men er slechts de helft bijvoegt. Zoo moest gij, bij 't eerste getal *een*, *een* voegen, en gij voegt er slechts een *half* bij; er ontbreekt dus een *half*. Als gij voorts, in plaats van een *half*, slechts de *helft* van een *half*, dat is een *vierde* bijvoegt, zal er een *vierde* te kort komen; voegt gij slechts de *helft* van een *vierde*, of een *achtste*, bij, dan is er een *achtste* te weinig, enz., enz. Gij zult dus eene reeks getallen hebben, wier bestendig aangroeiende som meer en meer het getal *twee* zal nabijkomen, zonder immer daaraan gelijk te kunnen worden.

197. **Kepler's toepassing der kegelsneden op het wereldstelsel.** — Maar reeds genoeg uitgeweid over dit onderwerp, eene soort van mathematische uitspanning, waarmede ik gemeend heb mij een oogenblik te mogen bezig houden, om daaraan de type te ontleenen van zekere afgetrokkene, bij de Ouden geliefde bespiegelingen, die ongetwijfeld de hoofdoorzaak van hunne langdurige studiën over de kegelsneden waren. Reeds meer dan twee honderd jaren toch vóór de gewone tijdrekening, schreef Apollonius van Perga eene verhandeling over deze kromme lijnen, die — als men den cirkel uitzondert — bijna twintig eeuwen zonder toepassing zijn gebleven, en veroordeeld schenen te wesen om nimmer iets anders dan een voorwerp van loutere theorie te zijn, toen Kepler, in 1609, bij gelegenheid dat hij in zijne *Astronomia nova seu Physica caelestis* een doorwrocht onderzoek betrekkelijk de *Ster* (Planeet) Mars uiteenzette en op de gelukkigste wijze de eigenschappen, door de oude meetkunstenaars aan de kegelsneden toegekend, zich ten nutte maakte, aanleiding kreeg om de epicyclen zijner voorgangers te verwerpen, en te verkondigen: 1° dat de Zon rondom de Aarde, als brandpunt beschouwd, eene elliptische baan beschrijft; 2° dat de snelheid van dit Hemellicht afhangt van den voerstraal, zoodat de oppervlakten TSS' , $TS_1S'_1$ (fig. 124), door den voerstraal beschreven in de eenheid van tijd, eene seconde, eene minuut, een uur, een dag, enz., steeds gelijk zijn, in één woord, *dat de vlaktes-uitbreidheden evenredig zijn aan den tijd.*

198. Hieruit volgt, dat de gelijkmatigheid, waarvan de Ouden droomden, niet bestaan kan in de snelheid der Zon, gelijk men

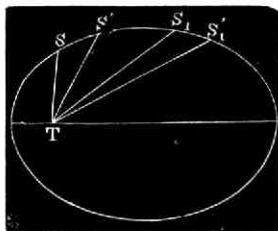


Fig. 124.

zoolang heeft gemeend; want als de voerstraal *vermeerdert* of *vermindert*, moet de snelheid, die tot basis der gelijke driehoeken STS' , S_1TS_1' , dient, op hare beurt noodwendig bij vereffening *verminderen* of *vermeerderen*. Maar dit denkbeeld van gelijkmatigheid wordt nogtans op eene andere wijze verwezenlijkt; want zoo 't al niet meer mogelijk is het rechtstreeks op den loop der Zon toe te passen,

men vindt het terug in de wederzijdsche veranderingen van de afstanden van dit Hemellicht en van de banen die het doorloopt. De theoretische meeningen der Sterrenkundigen van Alexandrië, bedriegelijk uit het oogpunt dat haar het aanzijn gaf, worden dus eenigermate gerechtvaardigd door het verband tusschen twee niet zeer samengestelde elementen; en de standvastigheid der vlakke-uitgebreidheden, door den voerstraal beschreven, wel verre van een nieuwe verwickeling der natuurwetten te zijn, wordt, terwijl zij de gewaande regelmaat der bewegingen in de epicyclen ontroont, integendeel een nieuw bewijs van de eenvoudigheid dier wetten.

199. Het beginsel, dat wij zoo even toegepast hebben op de beweging der Zon om de Aarde, werd door Kepler in werkelijkheid toegepast op den loop der Aarde om de Zon. Want in 1609 had Copernicus reeds sedert meer dan een halve eeuw de onbewegelijkheid van dit laatste hemellicht en de verplaatsing der aarde schier buiten twijfel gesteld; doch hij behield evenwel den epicyclus van Ptolomeus, ja voegde er zelfs een tweeden epicyclus bij. Daar echter hetgeen men aan den Hemel ziet plaats hebben in beide gevallen klaarblijkelijk een en hetzelfde is, gelijk wij bovendien elders gelegenheid zullen vinden te bevestigen, zal ik, om voor 't oogenblik de onderstelling van de onbeweegelijkheid der Aarde voort te zetten, alleen zeggen, dat men door de ontdekking van Kepler gemakkelijk den stand der Zon aan den Hemel kan berekenen. Later, wanneer wij de Planeten zullen beoefenen, moeten wij weder op deze ontdekking terugkomen; en wij zullen de voordracht daarvan moeten voltooien met die van een derde beginsel, hetwelk met de beide voorgaande datgene uitmaakt wat men in de Sterrenkunde de *wetten van Kepler* noemt — vruchtbare wetten, waaruit Newton op zijne beurt het beginsel alsmede de wetten der *algemeene gravitatie* of *zwaartekracht* zal doen te voorschijn komen, door

middel van welke wetten wij in de harmonie der hemelbewegingen de onophoudelijke werking eener eenige kracht, aan altijd berekenbare veranderingen onderhevig, zullen erkennen; terwijl Kepler daarentegen, om te verklaren hoe de verschillende Hemellichamen van 't Uitspansel elkander kunnen aantrekken, zijne toevlucht nam tot de onderstelling, dat zij door eene soort van *genegenheid* of *liefde* naar elkander heen gedreven werden!

200. **Gevoelen van Kepler over zijne ontdekking.** — **Historische bijzonderheden.** — Men mag verlangend zijn te weten op wat prijs deze groote man zelf zijne ontdekkingen stelde. „Ik zou ze niet willen ruilen,” zeide hij, „tegen 't gansche groothertogdom Saksen.” En voorwaar hij had gelijk. Zijn leven echter was verre van gelukkig; want hij beklaagt zich in een zijner geschriften „over de rampen des tijds, die de schatmeesters beletten hem behoorlijk zijne jaarwedde als mathematicus des Keizers uit te betalen.” Om het achterstallige van deze jaarwedde betaald te krijgen, begaf Kepler zich, na elf jaren van moedig verduurde ontberingen, uit Praag naar den rijksdag te Regensburg, in de eerste dagen van November 1631. Maar reeds geknakt door zielelijden, kon hij de vermoeienissen eener reis, die hij te paard bij een vrij gure koude had afgelegd, niet weerstaan; en den 13den November gaf hij den geest, verre van de zijnen, in den ouderdom van zestig jaar, met de smartelijke gedachte, dat de herinnering zijns naams misschien nutteloos zou zijn voor de beminde wezens, die hem overleefden. Treurig en bitter voorgevoel, dat de toekomst, helaas, maar al te zeer moest verwezenlijken! De roem en de armoede! Dàt was dan 't lot van den man, dien men met volle recht den *Wetgever der Sterrenkunde* noemt, en wiens schitterende ontdekkingen van zooveel invloed zijn geweest op de verbetering der astronomische Tafels, gevolgelijk ook op de zeevaart, eene der overvloedigste bronnen van de macht, den handel en den rijkdom der volkeren!

201. — Kepler werd zonder praal begraven op het kerkhof van Sint Petrus te Regensburg, en twee eeuwen hebben over zijn graf moeten heen gaan, eer de openbare erkentelijkheid zich met een gedenkteeken voor zijne nagedachtenis heeft bezig gehouden. Dit gedenkteeken, in 1807 aangevangen door de zorg van den prins-primaat von Dalberg, bisschop van Constanz en soeverein van 't vorstendom Regensburg, werd eindelijk ingewijd in 't volgende jaar 1808, den 27sten December, den verjaardag der geboorte van Kepler, wiens borstbeeld, vrij wel gelijkende naar zijn portret voor de *Rudolphinische Tafels* 1), men tegenwoordig in Carrarisch marmer kan aanschouwen in 't midden

(*) Naar keizer Rudolf, Kepler's weldoener.

eener groote rotonde, in den kruidtuin van Regensburg, op zeventig schreden van de plaats, waar de asch van den doorluchtigen Astronoom ter ruste werd gelegd. Een bas-relief vertoont den genius van den grooten man, den sluier oplichtende, die Urania bedekte, en de godin biedt hem met de eene hand den verrekijker met twee bolle glazen of den astronomischen kijker aan, waarvan het eerste denkbeeld bij hem opkwam, terwijl zij in de andere hand eene rol houdt, waarop de *ellips van Mars*, de rechtstreeksche aanleiding tot het ontdekken der *zons-ellips*, staat afgeteekend.

Maar als het monument reeds sinds eeuwen zal opgehouden hebben te bestaan, zal Kepler's nagedachtenis nog altijd schitteren met den zuiversten glans; want, dank zij de weldaden der kunst, waarmede een ander genie de wereld begiftigde, de Tafelen der geschiedenis zijn in onze dagen oneindig duurzamer geworden dan het brons en marmer der standbeelden; en de pedestallen met hun monumenten strekken voortaan alleen ter eere van de volkeren, die ze oprichten, sedert de vermogende hand der drukkunst het zich ter taak stelde de vereering der groote mannen onbepaald te doen voortduren door 't vereeuwigen hunner weldaden.

202. — Desniettemin — men moet het erkennen — Kepler, geplaatst op de grenzen van twee eeuwen, tusschen welke de scherpste scheidslinie in de cosmogonische scheppingen van den menschelijken geest is getrokken, Kepler, terwijl hij de fakkel ontstak waaraan de toekomst zulk een helder licht zou ontleenen, kon zich bezwaarlijk geheel vrij houden van de vooroordeelen, door de hem voorafgegane duisternis geteeld. Begaafd met een allerlevendigste verbeelding, gedreven door een onrustigen geest, brandende van de zucht om zich beroemd te maken, en eerst den geestelijken stand omhelsd hebbende, blonk hij reeds op zijn twee en twintigste jaar als kanselredenaar uit, toen de aansporingen van Mæsklin, zijn meester, die hem eenen leerstoel der wiskunde te Gratz bezorgde, hem geheel voor de Sterrenkunde wonden.

203. — Van toen af, onweerstaanbaar en onveranderlijk getrokken naar de opsporing der oorzaken, ontmoette hij niet één feit, waarvan hij niet de verklaring wilde geven. Ook bevatten zijne eerste werken menig zonderling begrip. Zijn *Prodromus*, bij voorbeeld, gedrukt in 1596, strekte om te bewijzen, dat de Schepper, toen hij 't heelal regelde, zich bijzonder had bezig gehouden met de vijf regelmatige lichamen, die in de sfeer kunnen beschreven worden, en dat de bewegingen, de orde en de verhoudingen der Hemelen aan de eigenschappen dezer lichamen ontleend waren.

Gelukkig wist Tycho-Brahé, die, na twintig jaar lang (van

1577 tot 1597) het voor hem door den Deenschen koning Frederik II gestichte observatorium op het eilandje Hveen in den Sond beroemd gemaakt te hebben, naar Duitschland was gekomen, te midden der dwalingen van den jongen Sterrenkundige zijn genie te ontdekken. Hij deed hem tot mathematicus des Keizers benoemen en bewoog Kepler zich bij hem te Praag neer te zetten, om zich met het berekenen der waarnemingen bezig te houden. En ten gevolge van deze gunstige omstandigheid, waardoor Kepler in 't bezit kwam van de vele kostbare bouwstoffen, door zijn tweeden meester bijeengezameld, kon hij de wetenschap met een der schoonste ontdekkingen van de natuurlijke wijsbegeerte verrijken.

204. — Voor 't overige, terwijl Kepler verklaarde, dat de ongelijkheden in de beweging der Zon werkelijk bestonden, in plaats van enkel schijnbaar te zijn wegens den stand der Aarde buiten 't middelpunt van 't excentriek, gelijk men tot dusverre had gemeend, vergenoegde hij zich niet met dit als een feit door bewijzen te staven. Hij wilde, gelijk altijd, tot de oorzaak opklimmen. En mocht hij ook niet zoo gelukkig zijn haar geheel te vinden, moest de ontdekking dier oorzaak op Newton wachten, Kepler had ten minste den roem, dat hij haar had gezocht en zelfs omtrent de algemeene zwaartekracht wenken had gegeven, die den stempel van 't genie droegen. Maar hier is de plaats niet ter ontwikkeling van een dusdanig onderwerp, dat wij bij eene andere gelegenheid zullen aantreffen. Alvorens echter de beschouwing der Zon voort te zetten, kan ik voor 't oogenblik de zucht niet weerstaan, hier eenige regels van Kepler zelve aan te halen.

„Sedert acht maanden” zegt hij, „heb ik den eersten lichtstraal gezien; sedert drie maanden heb ik den dag aanschouwd; eindelijk sedert weinige dagen heb ik, in bewondering verzonken, mijne blikken naar de Zon gericht. Niets wederhoudt mij, ik geef mij geheel aan mijne geestvervoering over. Ik wil, den stervelingen ten trots, de gulle bekentenis afleggen, dat ik den Egyptenaren de gouden vaten heb ontstolen (*), om daarvan eenen tabernakel voor mijnen God te maken, verre van Egypte's grenzen. Indien ge mij vergiffenis schenkt, zal ik mij daarover verheugen; zoo ge 't mij tot een verwijt maakt, zal ik het verdragen. De teerling is geworpen: ik schrijf mijn boek. Het zal door de tegenwoordige eeuw of wel door de nakomelingschap gelezen worden, daarover bekommer ik mij niet. Het kan op zijn lezer wachten. Heeft God niet zes duizend jaar op een verstandig beschouwer van zijne werken gewacht? enz.”

(*) Ongetwijfeld eene toespeling op het stelsel van Ptolemeus, dat door Kepler wordt omgeworpen.

En elders :

„Voltooiën wij de vóór twee en twintig jaren aangevangen „ontdekking.

• *Sera quidem respexit inertem,*

• *Respexit tamen et longo post tempore venit* (*).

„Wilt gij het juiste tijdstip kennen? 't Was de 18de Maart 1618. „Eerst ingezien, maar kwalijk berekend; vervolgens als valsch „verworpen; eindelijk met nieuwe levendigheid weer opgetreden „den 15den Mei, heeft zij de duisternis uit mijnen geest ver- „dreven. Zij is zóó ten volle bevestigd door de waarnemingen „van Tycho-Brahé, dat ik meende te droomen en mij schuldig „aan eene *petitio principii* (†) te maken.”

Na deze opwelling van geestdrift, welker gezwollenheid, ondanks een weinig overdrijving, in geenen deele mishaaft — wat zal men zeggen van de volgende uitdrukkingen? „Tycho heeft de „fundamenten der Sterrenkunde gelegd door zijne waarnemingen „en vooral door zijne Sterrenlijst, die als 't ware het *cement van 't gebouw* is. De Zonnetafels zijn daarvan de *voornaamste zuil*; „de theorie der Maan strekt het tot *galerij of eerste paleis*. Hij, „Kepler, hij wil, in 't voor hem opdagend verschiet, de *vensters* en de „trappen er bij voegen. Reeds heeft hij in de theorie van Mars de *be- „waarplaats* of het *arsenaal* gemaakt. Weldra zal hij de keuken, de „eetzaal, de slaapkamer en 't kabinet bouwen, op welke hij eene „*bovenverdieping* bij wijze van Observatorium zal zetten, uit hetwelk „men de gansche volgrij der eeuwen zal ontdekken. De *Rudol- „phinische* Tafels eindelijk zullen het dak en de nok uitmaken, „enz. De *sferische* wereld is het beeld der Drieëenheid: de Va- „der is het middelpunt, de Zoon de oppervlakte, de Heilige Geest „al wat zich tusschen 't middelpunt en oppervlak bevindt, zoo- „dat de drie slechts één zijn . . .” Maar zou het, na 250 jaar tijdsverloop, waarin smaak en zeden zooveel wijziging ondergaan hebben, niet vermetel van ons zijn, als wij Kepler wilden schatten naar zijn stijl, volgens onze tegenwoordige denken oordeelwijze? Zeggen we dan dezen grooten man vaarwel, en vatten we de geschiedenis der Zon weder op.

205. — Om de beschreven ellips geheel te construeeren, als de verhoudingen der verschillende voerstralen bepaald zijn geworden, hetzij door de wet der vlakke-uitgebreidheden, hetzij door de schijnbare veranderingen van de zonsgrootte, zal 't voldoende zijn éénen afstand te hebben. Doch daar beginnen, *in de practijk*, de zwarigheden. Noch Kepler, noch Tycho hebben den waren afstand van de Zon tot de Aarde gekend, en eerst in 1769

(*) Zij heeft zich wel lang laten wachten, maar eindelijk is zij toch gekomen.

(†) Het aanvoeren als bewijsgrond van datgene, wat zelf eerst bewezen moet worden.

werd die afstand, door middel van eene methode, waarmede wij gelegenheid zullen hebben ons later bezig te houden, naar behooren verkregen. De gemiddelde, tot dusverre algemeen aangenomen waarde komt overeen met eene parallax van $8'',6$ (acht $\frac{6}{10}$ seconde), den hoek onder welchen men den straal der Aarde uit de Zon zou zien; terwijl dan de straal der Zon zich aan de bewoners der Aarde vertoont onder eenen hoek van $16'2''$ (962 seconden). Hieruit volgt — we kunnen dit in 't voorbijgaan opmerken — dat de werkelijke afmetingen der Zon die der Aarde zooveelmaal bevatten als 8,6 begrepen is in 962, dat is 112maal. Dit geeft, volgens de eenvoudigste gronden der meetkunde, het getal 12 544 (vierkant van 112) voor de verhouding tusschen de oppervlakten der beide lichamen, en het getal 1 404 928 (kubiek van 112) voor de verhouding der twee volumens.

206. **Gemiddelde afstand van de Zon en de Aarde. — Gemiddelde snelheid der Zon. — Perigæum en apogæum, lijn der absiden. — Beweging der groote as, onveranderlijkheid van hare lengte. — Periodische veranderingen der excentriciteit.** — Wat den afstand betreft, de handelwijzen, die wij reeds bij de beoefening der Sterrengebezigd hebben, of soortgelijke werkmanieren, zouden ons haar doen kennen als gelijk aan 23 984maal de lengte, onder eenen hoek van $8'',6$ waargenomen. Deze lengte (gemiddelde straal der Aarde) bedraagt zelve 6366,2 kilometers, en geeft in een rond getal 152 688 000 kilometers voor den *gemiddelden* afstand, die ons van de Zon scheidt. Hieruit volgt voor de gemiddelde snelheid van dit Hemellicht rondom de Aarde het getal van 2 620 000 kilometers, die elken dag doorloopen worden. Daar de vorm van de ellips der Zon tevens bekend is, kan men daaruit gemakkelijk de uiterste afstanden afleiden, bedragende deze voor den kleinsten afstand (het perigæum) 150 112 000, voor den grootsten (het apogæum) 155 260 000 kilometers, terwijl de som dezer beide getallen de groote as der ellips uitmaakt en datgene is wat men in de Sterrenkunde de *lijn der absiden* heet. Ten gevolge van de aantrekkingen der verschillende Planeten op de Aarde behoudt deze lijn aan den Hemel geen onveranderlijken stand. Men heeft bemerkt, dat zij zich ieder jaar eenen hoek van ongeveer 12 seconden *naar het Oosten* verplaatst. De *maxima* en *minima* snelheden der Zon behooren tot de beide uiteinden der absidenlijn, en zijn gelijk, in hoeken, aan 61 minuten in 't perigæum, aan 57 minuten in 't apogæum, of, in volstreckte lengten, aan 2 664 000 en 2 572 000 kilometers. Hare lengte blijft onveranderlijk; maar de andere elementen der zonsellips ondergaan periodische veranderingen. In onzen tijd, bij voorbeeld, is de excentriciteit allengs aan 't minderen, en de ellips wordt meer en

meer bol, om later, als de excentriciteit opnieuw zal aangroeien, weder platter te worden. De duur der periode is overigens buitengemeen lang, en de wijzigingen der ellips zullen altijd van gering bedrag blijven.

207. — Voegen we hierbij, dat, volgens de jongste nasporingen van Leverrier, de bovengenoemde resultaten eenigszins gewijzigd zouden worden, daar zij de parallax der Zon tot $8'',95$ vergrooten, wanneer de straal van dat Hemellicht, uit de Aarde gezien, eenen hoek van $16'$ of 960 seconden onderspant. Die waarde zou aan den gemiddelden afstand eene lengte toekennen van 23 043 maal den æquatorialen straal der Aarde, welke gelijk is aan 6377,4 kilometers. Maar zij onderstelt, dat de parallax der Maan nauwkeurig bekend is, hetgeen men wel schijnt te mogen aannemen, wanneer men bedenkt hoe gemakkelijk de bepalingen zijn voor een Hemellichaam, zoo dicht bij ons geplaatst als onze Bijplaneet is. Hoe het voor 't overige hiermede gelegen moege zijn, de bijzonderheden, waarmede wij ons in de geschiedenis der Zon nog moeten bezig houden, zijn nagenoeg onafhankelijk van kleine onzekerheden aangaande haren afstand; zoodat wij onze beschouwingen kunnen voortzetten, zonder stil te staan bij geringe twijfelingen, die naar alle waarschijnlijkheid zullen verdwijnen in 1874, als wanneer het verschijnsel van 1769 weer zal optreden, dat is, wanneer Venus weer voorbij de Zon zal gaan (*).

208. **Ware Zonnedag en Zonnetijd; veranderingen van den Zonnedag.** — Wij hebben reeds gezien, dat de achtereenvolgende terugkomsten van de Zon in den Meridiaan van elkander gescheiden zijn door eene tijdruimte van ongeveer 24 uren 4 minuten sterretijd. Dit maakt den duur van den *Zonnedag* uit. Maar de ongelijkheid der snelheden in de ellips en de schuinscheid van het vlak der Eliptica op den Æquator, parallel aan welken de dagelijksche beweging der sterrensfeer plaats heeft, brengen dagelijks verschillen te weeg, die samengenomen ten laatste zeer merkbaar worden. De groote as der zonsellips, bij voorbeeld, thans met de lijn der nachteveningen eenen hoek van ongeveer 100 graden makende, zoo bevinden wij, dat in 1865, den

(*) Een nieuw onderzoek der waarnemingen van 1769, onlangs (1864) in 't werk gesteld, geeft voor de parallax der Zon $8'',86$. In 1862 heeft Foucault, op zijne beurt, door zeer nauwkeurige proeven betreffende de snelheid van het licht, juist hetzelfde getal $8'',86$ gevonden. Omstreeks denzelfden tijd heeft datgene, wat men den *tegenstand van Mars* noemt, het getal $8'',95$ opgeleverd. Hansen, eindelijk, heeft onlangs, in de theorie der Maan, $8'',97$ bekomen. De overeenstemming dezer verschillende getallen doet vermoeden, dat de parallax van 1769 werkelijk een weinig te klein is. Als men voorloopig de waarde $8'',86$ en die van $16' 1'',82$ voor den daaraan beantwoordenden straal der Zon aannam, zou men bevinden, dat de gemiddelde afstand van de Zon en de Aarde neerkomt op 23 280 maal den straal der Aarde (148 204 000 kilometers), en dat de diameter der Zon niet 112maal, maar slechts 108,56maal den diameter van onzen bol bedraagt; in welk geval de oppervlakte en 't volumen respectievelijk aan 11 785 en 1 279 409 gelijk zouden worden.

10den Februari, den 14den Mei, den 25sten Juli en den 2den November, de Zonnedag 24 uren 3 min. 56,555 sec. sterretijd heeft geduurd; dat hij den 27sten Maart en den 15den September niet langer dan 24 uren 3 min. 27,44 sec. en 24 uren 3 min. 34,77 sec. was, terwijl hij daarentegen den 20sten Juni en den 22sten December eene lengte had van 24 uren 4 min. 9,03 sec. en 24 uren 4 min. 26,09 sec.; dat hij trapsgewijze van het eene seizoen in 't andere verandert, en gevolgelijk bij de reguleurs der uurwerken, die den *waren tijd* moeten aanwijzen, onophoudelijk wijzigingen noodig maakt, om den gang dezer uurwerken te versnellen of te vertragen.

Dewijl bovendien de præcessie-beweging (§ 124) en de verplaatsing van 't apogæum, die het omgekeerde van elkander zijn, het apogæum A (fig. 125) ieder jaar van 't Nachteveningspunt T verwijderen, is het duidelijk, dat de Zonnestanden en de Nacht-

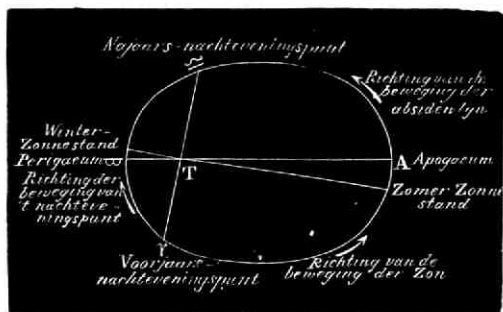


Fig. 125.

eveningspunten, die juist met de aanvangstijden der seizoenen overeenstemmen, achtereenvolgens verschillende plaatsen op de elliptische loopbaan zullen innemen; en dit zoo zijnde, kan men licht bevroeden, dat, daar de snelheid der Zon niet weder juist dezelfde wordt op dezelfde datums, de bovenvermelde resultaten ook allengs moeten veranderen.

209. **Gemiddelde dag en gemiddelde tijd.** -- 't Was dus voor de vereischen des levens van belang, dat de onregelmatigheden van den Zonnedag verholpen werden; en daar die onregelmatigheden, wegens de geringe ellipticiteit der loopbaan, gelukkig binnen vrij enge grenzen begrepen zijn, heeft men voor den *waren dag* eene soort van *gemiddelden dag* in de plaats kunnen stellen, welke laatste bepaald wordt door de opeenvolgende terugkomsten in den meridiaan van eene *denkbeeldige Zon*, die met *gelijkmatige snelheid* den Æquator zou doorloopen in den tijd,

dien de *wezenlijke* Zon besteedt om de baan der Ecliptica met eene veranderende beweging af te leggen. Of liever, men verbeeldt zich eene eerste *denkbeeldige* Zon, gaande met eene standvastige snelheid uit het Perigæum ω op hetzelfde oogenblik als de ware Zon; en wanneer deze eerste Zon aan 't Nachteveningspunt komt, laat men de tweede denkbeeldige Zon vertrekken, die den *Æquator* moet doorloopen, om door hare opeenvolgende terugkomsten in den Meridiaan de lengte der *gemiddelde dagen* te bepalen. Als de berekening gedaan is en tevens ook de herleidingen, die de verplaatsing van 't Nachteveningspunt of van 't Perigæum vordert, hebben plaats gehad, vindt men voor den gemiddelden weg juist den boven aangegeven duur van 24 uren 3 min. 56,555 sec., die beantwoordt aan den 10den Februari, enz.

210. — Eer nog de openbare uurwerken den graad van volkomenheid bereikt hadden, dien zij thans bezitten, was het schier onverschillig of die toestellen naar den *middelbaren* of naar den *waren* tijd werden geregeld; maar sedert 1816 is door de stad Parijs, en op haar voorbeeld door vele steden zoo in Frankrijk als in andere landen de gemiddelde tijd aangenomen, welks grootste afwijkingen van den waren tijd, een weinig van 't eene jaar in 't andere verschillende, *op zijn hoogst* 16 minuten en ongeveer 20 seconden bedragen.

211. **Tijdvereffening.** --- Men begrijpt wel, dat deze afwijkingen, waaraan men den naam van *Tijdvereffening* geeft, gemakkelijk bepaald kunnen worden naar den bekenden loop zoo van de gemiddelde als van de ware Zon. De meeste *Éphémérides*, (astronomische jaarboeken of tafels), de *Connaissance des temps*, de *Nautical almanach*, enz., en al de kalenders geven toch voor elken dag *den gemiddelden tijd op den waren middag*, en men weet bijgevolg nauwkeurig het uur, dat de uurwerken moeten aanwijzen, wanneer de Zon door den meridiaan gaat.

Graphisch ontwerp eener middaglijn. — 't Zal dan voldoende zijn, wanneer men zelf zijn horloge wenschte te regelen, dat men op een horizontaal vlak de middaglijn NS (fig. 126) trekt, welke men gemakkelijk bekomt met behulp van de verticale stang of naald OA en eenige cirkelbogen, beschreven uit het punt O (den voet der stang) als middelpunt. Want daar de punten *a, b, . . . c, d, . . . e, f, . . .* enz., alwaar de schaduw van den top der stang de omtrekken tijdens de Zonnestan-

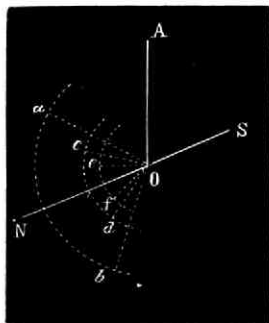


Fig. 126.

den (*) zal snijden, zich twee aan twee symmetriek ter rechter- en ter linkerzijde van den Meridiaan bevinden, zullen zij de hoeken aOb , cOd , eOf , enz. opleveren, welke verdeling in twee gelijke deelen de richting SN zal aangeven, en dat met te meer nauwkeurigheid naarmate men meer cirkels heeft genomen, om door eene middelbare de misslagen dezer bepaling te verbeteren.

Gnomons. — De dus verkregen middaglijn laat zich tevens zeer gemakkelijk overbrengen op den vloer van een vertrek, op een vensterdrempeel, enz., alwaar men de rechthoekige schaduwstreep van den verticalen stander trekt, zoodra de schaduw van de stang OA op de middaglijn SN valt (†). In 't voorbijgaan zij bij deze gelegenheid gezegd, dat de stijl of stang OA soms dient, en vooral tot in de vorige eeuw veelvuldig gebezigd werd, om onder den naam van *gnomon* (aanwijzer) de lengte der middagschaduw en gevolgelyk ook de verschillende Zonsdeclinatieën te bepalen. Doch tot zoodanig einde geeft men den gnomon eene aanzienlijke hoogte, 20, 30, 40, 50 meters, enz., en plaatst hem op den top eener zuil, eener obelisk, enz.; of wel, zooals de horlogemaker Sully in 1727 deed, op de kerk St. Sulpicius te Parijs, en zooals ook voor hem reeds gedaan was door de Arabieren der middeleeuwen te Samarcand, door Torcanelli omstreeks 1467 op de kathedraal van Florence, door den dominikaan Ignatius Danti in 1575 op de kerk St. Petronna van Bologna, door Gassendi in 1636 op het Oratorium van Marseille, door Picart in 1669 op het Observatorium van Parijs, enz., enz.; men maakt eenvoudig bij den top des gebouws eene kleine opening, door welke de zonnestralen dringen, die zich op den vloer van 't gebouw gaan afteekenen. Het laat zich wel begrijpen, dat bij zoodanige verhoudingen de toestel geschikt is voor zeer juiste aanwijzingen, ondanks enkele oorzaken van onzekerheid, zooals, bij voorbeeld, de moeielijkheid om allernauwkeurigst de plaats van het middelpunt des beelds te bepalen of de vaak onregelmatige uitzetting in rekening te brengen, welke Prony bij zijne proeven op het Hotel der Invaliden te Parijs had bespeurd, en die ik zelf menigmaal heb waargenomen in dikke muren onder den invloed van den zonnenschijn, enz.

212. — Hoe 't voor 't overige gesteld moge zijn met den graad van nauwkeurigheid, dien men verwachten mag van een instrument, waaraan wij toch de oudste bepalingen betreffende den loop der Zon te danken hebben, ziehier eenige van de voornaamste

(*) En zonder eene bij zoodanige bewerking aanmerkelijke fout ook voor ieder ander tijdstip, ofschoon de lengten der schaduw, beantwoordende aan gelijke azimuths, van den morgen tot den avond verschillen, wanneer de zonsdeclinatie gedurende den dag veranderen, hetgeen eenige geringe verschillen van stand te weeg brengt tusschen de middaglijn en de deellijnen der hoeken aOb , cOd , eOf , enz.

(†) Men zie aan het einde der 10de Les de noot over de Zonnewijzers.

waarden der tijdsvereffening, die een denkbeeld zullen geven van de wijze, waarop in den loop des jaars de verschillen tusschen den gemiddelden en den waren tijd veranderen.

Tijdsvereffening in 1865 (eenigszins veranderlijk van 'teene jaar in 't andere, evenals de duur van 't Zonnejaar [§ 208]):

Nul	}	15 April.	}	10 Febr. —	}	gelijk aan 14 m. 31 s. daarboven, d. w. z. dat het op den waren middag 12 u. 14 m. 31 s. is.
		14 Juni.		14 Mei. —		gelijk aan 3 m. 53 s. daarbeneden, d. w. z. dat het op den waren middag 11 u. 56 m. 7 s. is.
		31 Aug.		26 Juli —		gelijk aan 6 m. 13 s. daarboven, d. w. z. dat het op den waren middag 12 u. 6 m. 13 s. is.
		24 Dec.		3 Nov. —		gelijk aan 16 m. 18 s. daarbeneden, d. w. z. dat het op den waren middag 11 u. 43 m. 42 s. is.

213. **Burgerlijke en astronomische dag.** — In 't burgerlijke leven laat men den dag te *middernacht* aanvangen, maar de Sterrenkundigen tellen liever den tijd van 't oogenblik af, waarop de Zon door den meridiaan gaat. Vandaar een verschil van 12 uren tusschen den burgerlijken en den astronomischen dag, beginnende de laatste op den middag, 12 uren na den eersten, en voorts aangeduid, naar de omstandigheden, door de namen *gemiddelde* dag of *ware* dag.

214. **Sterrejaar.** — Wij kennen nu al wat er noodig is om de groote tijdsafdeelingen, die men òf in de Sterrenkunde òf in 't burgerlijke leven bezigt en die aan de periodische omwentelingen der Zon om de Aarde beantwoorden, in kleinere deelen te splitsen. Wilt gij nu eerst den geheelen omloop der Zon beschouwen? Neemt de beide juiste tijdstippen, waarop zij in samenstand is met deze of gene Ster, dat is, waarop zij te gelijk met haar door den meridiaan gaat, en gij zult dan den *sideralen ring* der Sterrenkundigen, het *sterrejaar*, gelijk men gemeenlijk zegt, hebben, waarvan de duur in middelbare dagen zeer nabij gelijk is aan 365,25637 dag.

215. **Anomalistisch jaar.** — Wilt gij daarentegen den tus-

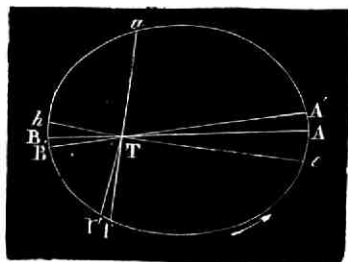


Fig. 127.

schentijd beschouwen, die er verloopt tusschen twee achtereenvolgende terugkomsten van de Zon aan een der uiteinden van de *groote as*, in 't Perigæum of in 't Apogæum? Merkt op, dat de jaarlijksche beweging van 12 seconden, plaats hebbende in de richting van de zonsbeweging zelve, de lijn der apsiden uit den stand AB (fig. 127) zal verplaatst hebben in den stand A'B', wan-

neer de uit A of uit B vertrokken Zon zich weder op haar uitgangspunt zal bevinden na een geheelen omloop des Hemels volbracht te hebben. De Zon zal dan nog de bogen AA' of BB' moeten doorloopen om den top der ellips te bereiken ter voltooiing van het anomalistisch jaar, dus geheeten omdat de hoeken van den voerstraal en van de groote as, beschreven met eene *ongelijke* beweging, den naam van *anomalien* (*) dragen. En daar bovendien de bogen AA' en BB' een weinig van elkander verschillen, zal het anomalistisch jaar met eene kleine breuk (omtrent $\frac{23}{100\,000}$ van eenen dag of 20 seconden) vermeerderen of verminderen, naargelang men het van 't apogæum of van 't perigæum laat uitgaan. Neemt gij het apogæum tot uitgangspunt, dan vindt gij voor zijne waarde 365,2597 middelbaar jaar.

216. **Tropisch of æquinociaal jaar. — Seizoenen. — Hun duur.** — Wilt gij, eindelijk, den duur van het zoogenaamde *tropische* of *æquinociale* jaar vinden, dat beantwoordt aan den tusschentijd, die er verloopt tusschen twee achtereenvolgende doorgangen der Zon door hetzelfde nachteveningspunt (weleer door denzelfden tropicus of keerkring)? Bedenkt dan, dat, daar de præcessie het nachteveningspunt Υ naar het punt B' terug doet gaan, de van Υ uitgegane Zon in de richting naar A het Nachteveningspunt weer aantreffen zal in Υ' , eer nog eene geheele omwenteling volbracht is. Ook is deze derde soort van jaar, het eenige dat men voor de gewone behoeften des levens bezigt, omdat het regelmatig dezelfde verschijnselen op identische tijdstippen terugvoert, korter dan de beide andere en bedraagt slechts 365,242264 dag of 365 dagen 5 uren 48 minuten en 51 seconden, met geringe vermeerdering of vermindering, voortkomende uit de voortgaande verplaatsing van de Nachtevening met het perigæum, of uit enkele andere stoornissen, die de Zon ondergaat. Men verdeelt het, zooals ieder weet, in vier seizoenen of jaargetijden, die een weinig ongelijk van lengte zijn wegens de veranderingen van snelheid in de verschillende punten der ellips, en overeenkomende met de doorgangen der Zon door de Nachtevenings- en Zonnestandpunten. De lengte dezer seizoenen verschilt zelve weder, evenals die des jaars, eenige minuten van den eenen tijd tot den anderen; maar hun gemiddelde duur verschilt weinig van de volgende waarden, die tot het jaar 1865 behooren :

(*) Het woord *anomalie* (onregelmatigheid, afwijking) is bij verbastering ook uitgebreid geworden tot de hoeken, die de *middelbare Zon* beschrijft, op welke men mede de benamingen *middelbare rechte opklimming*, *middelbare declinatie*, *middelbare lengte*, enz. toepast, om deze coördinaten te onderscheiden van de *ware rechte opklimming*, de *ware declinatie*, de *ware lengte*, enz., welke de wezenlijke standen der Zon betreffen.

<i>Lente</i> γ van 20 of 21 Maart tot 21 of 22 Juni	92 d. 20 u. 39 m.
<i>Zomer</i> ϵ van 21 of 22 Juni tot 21, 22, soms 23 Sept.	93 " 14 " 15 "
<i>Herfst</i> δ van 21 of 22 Sept. tot 21 December	89 " 17 " 49 "
<i>Winter</i> κ van 21 December tot 21 Maart	89 " 1 " 6 "

Som . . . 365 d. 5 u. 49 m.

217. — Wanneer men den ellipsboog ϵ , die 't apogæum bevat, waar de snelheid het geringst is, vergelijkt met den kortsten boog κ , bevattende het perigæum, waar de snelheid het grootst is, dan zal men gemakkelijk begrijpen waarom de zomer tegenwoordig het langste en de winter het kortste seizoen is. Geheel anders zal het zijn na ongeveer 9800 jaren, als wanneer de betrekkelijke beweging (62'') van 't Nachteveningspunt en het apogæum dit laatste juist op ons winter-zonnestandpunt κ zal gebracht hebben.

218. **Kalender.** — De Ouden kenden de lengte van het tropische jaar op verre na niet zoo nauwkeurig als wij. Romulus, bij voorbeeld, gaf het, naar men zegt, slechts 304 dagen, verdeeld in 10 maanden, en liet het beginnen in de maand Maart, ter eere van den god Mars, van wien hij beweerde af te stammen. Onze maanden Juli en Augustus droegen de namen van *Quintilis* en *Sextilis*, omdat zij werkelijk de vijfde en zesde maand van het jaar waren. Om dezelfde reden had men aan de volgende maanden de thans zoo weinig gepaste namen *September*, *October*, *November* en *December* gegeven. Wat de namen der drie andere (*April*, *Mei*, *Juni*) betreft, men wil ze vrij algemeen afgeleid hebben van *Aphrodite* (een der bijnamen van Venus), *Maia* en *Juno*.

219. Men gevoelt hoeveel verwarring in de orde der seizoenen zulk een onnauwkeurig jaar moest te weeg brengen. Numa, de opvolger van Romulus, voegde dan ook twee nieuwe maanden bij de reeds vastgestelde. Het waren de maanden Januari (van *Janus*, den regeerder van 't jaar, den gebieder over oorlog en vrede) en Februari (van *Februus*, den god der plechtige zuiveringen en der offeranden ter eere van de Schimmen der overledenen). Wij moeten echter aanmerken, dat volgens Plutarchus het jaar van Romulus ook twaalf maanden gehad, Januari en Februari dit jaar besloten, en Numa alleen de maand Januari verplaatst zou hebben.

220. — Hoe dit zij, het gewone jaar van Numa was van 355 dagen of 12 maanmaanden. Maar om het verschil te vereffenen tusschen dien duur van 355 dagen en de werkelijke lengte des jaars, die men reeds wist 365 tot 366 dagen te zijn, voegde men om de twee jaren, en wel tusschen den 23sten en 24sten Februari, dat is daags na de laatste feesten des jaars (de Ter-

minalen), die men den 23sten Februari ter eere van den god *Termus* vierde, eene nieuwe maand van 22 dagen in, de *Mercedonische* geheeten, ongetwijfeld naar den naam van *Mercedona*, de godin der koopwaren en betalingen.

221. — Een bijgeloof, verbonden aan de onevene getallen, die men als gelukkig beschouwde, bewoog den wetgever om aan de maanden een oneven getal dagen te geven, met uitzondering echter van Februari, die als eene ongeluksmaand aan de zoenoffers werd gewijd, en die de decemvirs 450 jaar vóór Christus, gedurende de maand Januari verplaatsten en achter deze laatste stelden, ten einde zóó hunne ambtswaardigheid, die met den aanvang van Maart moest ophouden, langer te doen duren. Ziehier de orde en de lengte der maanden van Numa :

Januari	29	dagen.	Sextilis	29	dagen.
Maart	31	"	September	29	"
April	29	"	October	31	"
Mei	31	"	November	29	"
Juni	29	"	December.	29	"
Quintilis	31	"	Februari	28	"

In 't geheel 355 dagen.

222. — De eerste dag van elke maand heette *kalenden* (van 't grieksch *kaléo*, ik roep), waarvan het woord *kalender* (tijd, dagwijzer, almanak) afkomt. In de maanden van 29 dagen was de vijfde de dag der *nonen* en de dertiende die der *iden*; maar in Maart, Mei, Quintilis en October, die 31 dagen hadden, vielen de nonen op den 7den en de iden op den 15den. Wat de overige dagen betreft, zij werden benoemd naar den rang, dien zij, terugtellende van de kalenden, nonen en iden, innamen. Zoo zeide men dan: de dag vóór of de tweede van de kalenden van April, om daarmede den 31sten Maart aan te duiden; voorts de derde, vierde, vijfde der kalenden van April, ter aanduiding van den 30sten, 29sten, 28sten Maart, enz. — Het woord *kalenden* was bij de Grieken niet in gebruik; van daar dat keizer Augustus vaak zeide: *ad calendās Græcas*, om daarmede te zeggen: nooit; van daar ook het spreekwoordelijk gezegde der Franschen: *renvoyer quelqu'un aux calendes grecques*, iemand naar de Grieksche kalenden verwijzen, dat is, zooals wij zouden zeggen: iemands verzoek enz. tot Sint Jutmis, tot een tijd die nimmer komen zal uitstellen.

223. — De Romeinsche *pontifices* of onderpriesters, gekozen uit de machtigste patricische familiën, waren belast met de zorg voor de instandhouding des kalenders en het inlasschen der *Mercedonische* maand. Maar dikwijls gebeurde het, dat zij, uit bijgeloof of uit misbruik van macht, ten einde hunne creaturen

te bevoordeelen, het jaar willekeurig verlengden of verkortten, zonder daarbij een vasten regel in acht te nemen. Het duurde dan ook niet lang of de maanden veranderden van seizoen, en de feesten werden weldra gevierd op geheel andere tijden dan op die hunner instelling. De feesten van Ceres, bij voorbeeld, vielen ten laatste in 't voorjaar, de feesten van Bacchus des zomers in, enz.

224. **Juliaansche kalender.** — **Schrikkeljaar.** — Julius Cesar, dictator en opperpriester, besloot den kalender te regelen. In zijnen tijd was de lengte des jaars op zeer weinig na bekend; men meende dat het uit 365 en een vierde dag bestond. Op raad van Sosigenes, sterrenkundige van Alexandrië, gaf Cesar dus 365 dagen aan 't gewone jaar, en om 't verwaarloosde vierde deel dags in rekening te brengen, maakte hij om de vier jaren een jaar van 366 dagen. Om overigens zoo min mogelijk van de vastgestelde gebruiken af te wijken, plaatste Cesar zijnen aanvullingsdag daar, waar Numa zijne Mercedonische maand had ingelascht, namelijk tusschen den 23sten en 24sten Februari. Daar nu de 24ste Februari de *sexta* of *zesde* dag der kalenden van Maart was, werd de toegevoegde dag de *bis-sexta*, opdat zóó de 23ste Februari steeds de 7de mocht blijven. Ziedaar waarom de Franschen aan het jaar van 366 dagen, dat wij *schrikkeljaar* (verspringjaar) heeten, den toenaam van *bissextile* geven. Wat dien van *Juliaansche* kalender betreft, men ziet terstond in dat hij aan Cesar's voornaam *Julius* is ontleend.

225. — De verbetering had plaats 47 jaar vóór Christus, en de aanvang van het eerste jaar werd vastgesteld op den dag der nieuwe Maan, die op den Winterzonnestand zou volgen. Ziedaar den oorsprong van onzen 1sten Januari, als begin des jaars, welke dag tegenwoordig alleen bij toeval met eene maansverwisseling samenvalt en die, voor 't overige, niet altijd het voorrecht gehad heeft van het jaar te openen; want na Julius Cesar deden de meeste Europeesche volken hun jaar beginnen nu eens op den Kerstdag, dan eens op den Paaschdag, dan weder op den 1sten Januari, of ook wel op den 1sten Maart, of eindelijk op den 25sten Maart, den dag van Maria-boodschap. Het gebruik van den aanvang des jaars op den 1sten Januari te bepalen, is eerst tegen 't begin der 16de eeuw in Duitschland hersteld. Ten gevolge van een edict van koning Karel IX verwisselden hem de Franschen in 1564 met den 25sten Maart, die zelve bij hen den Paaschdag had vervangen. De Engelschen hebben eerst in 1752 het jaar weder met den 1sten Januari begonnen, enz.

226. — Overigens hadden de Romeinsche pontifices, aan wie de zorg voor de Juliaansche inlassching was toevertrouwd, zel-

ven de verbetering vrij slecht begrepen, daar zij 37 jaren achtereen ieder schrikkeljaar telden voor het vierde van het tijdperk, dat een einde nam, en voor 't eerste van het tijdperk, dat aanving, hetgeen natuurlijk neerkwam op het inlasschen van een aanvullingsdag, niet om de vier, maar om de drie jaren, zoodat er alras een *nominale* eerste Januari werd ingevoerd, die meer en meer verschillend werd van den *waren* eersten Januari. Onder Augustus bracht men de zaken terug tot den toestand, waarin Julius Cesar ze geplaatst had; en drie eeuwen later, toen 't edict van Constantijn in 312 den vrede aan de Kerk had geschonken; toen het concilie van Nicea in 325 de leer van Arius had veroordeeld; toen de christen-jaartelling zich eindelijk vrij kon vestigen, werd het voor iedereen gemakkelijk zelf de inlasschingen te doen, door dezen eenvoudigen regel, dat *schrikkeljaren* dezulke zouden wezen, wier twee laatste cijfers aan de rechterhand (de tienheden en eenheden) door *vier* zonder overschot deelbaar zijn.

227. — Om een jaar van 365 dagen te bekomen, was Cesar verplicht 30 en 31 dagen aan de maanden te geven; maar hij voegde niets bij de maand Februari, uit eerbied voor de dooden, aan wie deze maand was toegeheiligd (*). Antonius, zijn ambtgenoot, deed later vaststellen, dat Quintilis, de maand waarin Cesar was geboren, den naam van *Julius* (Juli) zou aannemen; en *Sextilis* kreeg, krachtens een senatus-consultus, dien van Augustus, na den veldslag van Actium, omdat, zegt Macrobius, Augustus in deze maand tot het consulschap was gekomen, driemaal getriomfeerd, Egypte veroverd en den burgeroorlog ten laatste geëindigd had. Wat de lengte des jaars betreft, men begon tegen de 11de of 12de eeuw te bemerken, dat de Juli-aansche inlassching geenszins aan den loop der Zon beantwoordde.

228. — Het verschil (11 m. 8,4 s.) tusschen den door Julius

(*) Er zijn verscheidene middelen ter onderscheiding van de maanden, die 30, van die, welke



.....	Juli
.....	Juni
.....	December
.....	April..... November
.....	Maart..... October
.....	Februari..... September
.....	Januari..... Augustus

Fig. 128.

31 dagen hebben. Een der eenvoudigste is het volgende. Men sluit de hand tot eene vuist (fig. 128), en geeft den naam van *Januari* aan den knokkel des wijsvingers; de daarnaast gelegen holte krijgt den naam van *Februari*; de knokkel des middelsten vingers krijgt dien van *Maart*, en zoo vervolgens, terwijl men voor de maand *Augustus*, nadat men de knokkels en holten der vier vingers heeft doorgelopen, weder bij den knokkel des wijsvingers

aanvangt. De maanden nu, die op de knokkels komen, hebben alle 31 dagen, terwijl die, welke in de holten tusschen de knokkels vallen, er slechts 30 tellen, waarvan men dan echter Februari, gelijk men weet, moet uitzonderen.

Cesar aangenomen duur van 365 dagen 6 uren en den wezenlijken duur (365 d. 5 u. 48 m. 51,6 s.) brengt toch elke honderd jaar eene dwaling te weeg van 1100 minuten 840 seconden of 1114 minuten, dat is een weinig meer dan drie vierde dag. Gevolgelyk was sedert het concilie van Nicea — dat den dag der Lente-nachtevening op den 21sten Maart bepaald en de viering van 't Paaschfeest afhankelijk had gemaakt van de eerste volle Maan na de Nachtevening — tot aan de 12de eeuw, alzoo binnen acht eeuwen, de door den Juliaanschen kalender aangegeven tijdrekening reeds zes dagen te lang gemaakt, en de Nachtevening, in plaats van den 21sten Maart te komen, gelijk men voortging te onderstellen, kwam werkelijk op den 15den.

Verbetering, Gregoriaansche kalender. — Het werd dus meer en meer noodzakelyk nieuwe verbeteringen aan te brengen. Nogtans verliepen er nog eenige eeuwen alvorens er iets van dien aard plaats had. Maar in 1414 werd de bisschop van Kamerijk, Petrus d'Ailly, kanselier der universiteit van Parijs, door een verbeteringsplan, dat hij aan 't concilie van Constanz en aan paus Johannes XXIII onderwierp, de opwekker tot onophoudelijke pogingen. Daartoe behoort, onder anderen, die van paus Sixtus IV, die in 1475 den Sterrenkundige Regiomontanus aan zijn hof liet komen; doch de vroegtijdige dood van den geleerde verlamde de plannen van den Kerkvorst. Nog mag men hier aanhalen de poging van 't concilie van Trente, dat in 1563 aan den Paus de zorg voor de hervorming des kalenders toebetrouwde, alsmede die van Lilius, een bekwaam geneesheer van Verona; zijne tijdrekenkundige studiën, die hij bij zijn leven niet mocht zien bekronen, werden na zijnen dood aan 't opperhoofd der Kerk ter hand gesteld door eene bijzondere vergadering (*), met de verklaring, dat zij ten volle beantwoordden aan de vereischten van het vraagstuk. Zoovele met grondige zaakkennis gedane pogingen moesten ten laatste wel tot eene gewenschte uitkomst voeren. Op den 24sten Februari 1581, toen de jaarlijksche fout van 11 m. 8,4 s., sedert het concilie van Nicea gedurende 1256 jaar opeengehoopt, een verschil van 10 dagen had te weeg gebracht, verordende dan ook eene bulle van paus Gregorius XIII, dat de dag na den 4den October 1582 als de 15de dier maand zou gerekend worden, en dat in 't vervolg de eeuwjarren (1700, 1800, 1900, 2100, bij voorbeeld, schrikkeljaren in den Juliaanschen kalender), welker honderdtallen (17, 18, 19, 21, enz.) niet juist, dat is zonder overschot, door 4 deelbaar waren, ophouden zouden schrikkeljaren te zijn.

(*) De broeder van Lilius, alsook de jezuiet Clavius, aan wie wij een aantal bijzonderheden aangaande den kalender te danken hebben, maakten een gedeelte van deze vergadering uit.

229. — Ziedaar den oorsprong van den Gregoriaanschen kalender en van 't verschil (eerst 10, nu reeds 12 dagen door de weggelaten eeuw-schrikkeljaren 1700 en 1800), dat er tusschen dezen kalender en den Juliaanschen bestaat. Ten opzichte van de invoering des Gregoriaanschen kalenders vermelden wij hier nog, dat zij op den daartoe in de pauselijke bulle bestemden dag alleen in Italië, Spanje en Portugal werkelijk plaats had. In Frankrijk geschiedde dit eerst twee maanden later; in het katholieke gedeelte van Duitschland, de katholieke kantons van Zwitserland en de katholieke Nederlanden in 1583, in Polen drie jaren later, in Hongarije het jaar daarna. De schismatische landen echter, die — gelijk men 't geestig heeft uitgedrukt — liever met de Zon overhoop wilden liggen dan het eens zijn met het hof van Rome, weigerden voorshands den nieuwen kalender aan te nemen. Maar met uitzondering van de Russen en in 't algemeen de belijders van de niet met Rome vereenigde Grieksche Kerk, die tegenwoordig hunne brieven in den ouden en nieuwen stijl dagteekenen (10/22, 11/23, enz.), hebben de Europeesche volken voor en na de verbetering aangenomen: de evangelische stenden van Duitschland deden dit na lang tegenstribbelen eerst in 1700, als wanneer zij elf dagen oversloegen en van den 18den Februari in eens op den 1sten Maart overgingen; gelijktijdig werd dit ook gedaan door de Vereenigde Nederlanden en Denemarken, in 't volgende jaar door de evangelische kantons van Zwitserland, die de 18de eeuw met den 12den Januari 1801 begonnen. In Engeland voerde men den Gregoriaanschen kalender eerst in 1752 in, en ging toen van den 2den op den 14den September over; te gelijk begon men het jaar nu aldaar met den 1sten Januari in plaats van met den 25sten Maart. Het laatste land, eindelijk, dat den verbeterden kalender aannam, was Zweden, dat in 1753 na den 17den Februari den 1sten Maart telde. Onder de christen-volken telt men dus geen andere tegenstrevers meer dan de bovengenoemde Russen en Grieken, die evenwel thans reeds te verlicht zijn om niet vroeger of later een stelsel aan te nemen, dat het best met den loop der Zon overeenstemt. — Met betrekking tot de bepaling van het Paascheest bestond er nog lang een klein verschil tusschen de Katholieken en Protestanten; maar ook dit werd in 1775, op voorslag van Frederik II, koning van Pruisen, uit den weg geruimd, en de katholieke kalender verschilt van den protestantschen tegenwoordig alleen in de benamingen der Zondagen en andere onbelangrijke punten.

230. — Ondanks de hooge mate van nauwkeurigheid, die de Gregoriaansche herziening des kalenders heeft mogen bereiken, laat zij evenwel nog eene geringe fout over. Want de drie da-

gen der schrikkeljaren, die men elke 400 jaren weglaat, maken driemaal 1440 of 4320 minuten uit, terwijl men inderdaad viermaal 1114 of 4456 minuten zou moeten weglaten. Het verschil (136 minuten op 400 jaren) zal in 4236 jaren éénen dag bedragen. Doch men heeft het onnoodig geacht, bijzondere regels voor het uitlaten van dezen dag vast te stellen, daar het toch niet moeielijk zal vallen, in de toekomst, *om de vier-duizend jaren* eene hoogst geringe en sinds overlang bekende fout in rekening te brengen.

231. **Kalender der Perzen in de middeleeuwen.** — De Perzen hadden omstreeks de 11de eeuw een nog nauwkeuriger inlasschingsstelsel. Volgens dit stelsel maakte men *zevenmaal achtereen om de 4 jaren* een schrikkeljaar, en nam *de achtste maal* niet het 4de maar het 5de jaar als schrikkeljaar aan. Dusdoende vermeerderde men eigenlijk elk tijdvak van drie en dertig jaren met acht dagen, en gevolgelijk ieder jaar met *acht driëndertigste* dag, dat is met 5 u. 49 m. 5,45 s. Daar de vermeerdering slechts 5 u. 48 m. 51,6 s. behoorde te bedragen, zoo bleef er eene dwaling van 13,85 s. te veel, die in 6238 jaar 86 400 seconden (éénen dag) beloopt. De Perzische kalender, alhoewel nauwkeuriger, zou echter niet wel met voordeel in de plaats van den Gregoriaanschen gesteld kunnen worden, daar de inlasschingen des laatstgenoemden veel minder aan verkeerde toepassing onderhevig zijn.

232. **Verlopend of beweeglijk jaar.** — Men heeft dien naam gegeven aan het jaar van 365 dagen, dat de Egyptenaars gebruikten, omdat het vierde gedeelte dag, dat men wegliet, om de vier jaren eene fout van een geheelen dag, en gevolgelijk in 365 maal vier of 1460 jaren eene misrekening van 365 dagen (een geheel jaar) te weeg bracht. Deze periode van 1460 jaar, gedurende welke ieder seizoen achtereenvolgens met het begin des jaars samenviel, werd de *Sothische* periode geheeten, met toespeling op de helische opgangen van Sirius (*Sothis*, groote hond), die in hetzelfde tijdsbestek al de dagen van 't burgerlijke jaar doorliepen. Daar zij dusdanige veranderingen hadden opgemerkt, wisten de Egyptenaars alzoo klaarblijkelijk, dat hun jaar van 365 dagen onnauwkeurig was. Zij poogden echter geenszins het te verbeteren. Vanwaar zulk eene nalatigheid? Geminus, een tijdgenoot van Cicero, verklaart ze, zeggende dat de Egyptenaars hunne feesten allengs door de verschillende tijdstippen wilden doen heen loopen, ten einde daardoor deze laatsten te heiligen.

233. **Turksch jaar. — Fransch-republikeinsch jaar.** — Soortgelijke bedoeling lag wellicht ten grond aan het jaar van 12 maansverwisselingen (354 en 355 dagen), dat de Hebreënen,

de Grieken, en in onze dagen nog de Turken bezigen. Wat betreft het Fransch-republikeinsche jaar, met zijne 12 maanden van *dertig dagen*, ieder verdeeld in 3 *décaden* (dagentientallen of tiendaagsche weken), welker 10 dagen werden aangeduid met de namen *primidi*, *duodi*, *tridi*, *quartidi*, enz. (eerste, tweede, derde, vierde, enz. dag), 't is duidelijk, dat het slechts 360 dagen lang zou geweest zijn, indien men niet gezorgd had voor een toevoegsel van *vijf* of *zes* dagen, naar omstandigheid, welke dagen men, met een aan 't Grieksch ontleend woord *Épagomènes*, epagomenische of ingelaschte, toegevoegde dagen, soms ook wel *Sans-culottides* noemde. Ofschoon nu de woorden *vendémiaire* (wijnmaand), *brumaire* (nevelmaand), *frimaire* (vorstmaand), *nivôse* (sneeuwmaand), *pluviôse* (regenmaand), *ventôse* (windmaand), *germinal* (kiem- of spruitmaand), *floréal* (bloeiemaand), *prairial* (weidemaand), *messidor* (oogstmaand), *thermidor* (hittemaand) en *fructidor* (vruchtmaand) in verband stonden met merkwaardige bijzonderheden betreffende landbouw of weersgesteldheid, was toch een kalender, te uitsluitend op Frankrijks klimaat van toepassing, weinig geschikt om algemeen te worden aangenomen. Hij werd dan ook op bevel van Napoleon en bij een senaatsdecreet van 9 Sept. 1805 opgeheven, en den 1sten Jan. 1806 werd de Gregoriaansche kalender weder in geheel Frankrijk ingevoerd. De republikeinsche jaartelling dagteekent van den dag der herfstnachtevening, 22 Sept. 1792 (1ste vendémiaire, 1ste jaar), die niet ver van dien, waarop de Republiek werd uitgeroepen, verwijderd was. Meer bijzonderheden te dezen opzichte zouden hier doelloos zijn.

234. **Eeuwigdurende kalender.** — **Zondagsletter.** — Hetzelfde mag men zeggen van eenige benamingen, nog in zekere kalenders in gebruik, ofschoon zij tegenwoordig geen grond van bestaan meer hebben. Van dezen aard zijn, bij voorbeeld, die der Romeinsche Indictie en pontificale Indictie, van Zondagsletters, van Zonnecyclus, enz. Ik zal mij dus bepalen bij de korte herinnering, dat men in de eerste Kerk, om een *eeuwigdurenden kalender* te hebben, dat is zulk eenen, waarin dezelfde datums ieder jaar door identische teekens werden voorgesteld, de zeven dagen der week door de zeven eerste letters van het alphabet aanduidde, gevende men steeds de letter A aan den eersten dag van 't jaar, terwijl men de letter, welke op den Zondag viel, Zondagsletter heette, met deze bepaling echter, dat in de schrikkeljaren de 28ste en 29ste Februari door dezelfde letter aangeduid zouden worden.

235. — Uit het zoo even gezegde ziet men, dat het geven eener Zondagsletter aan een of ander jaar zooveel is alsof men zeide met welken dag der week dit jaar is begonnen; want als de Zondagsletter, bij voorbeeld, G is, in welk geval de Zaterdag

door F, de Vrijdag door E, enz. zal voorgesteld worden, zal men zonder moeite, door terug te gaan tot op de letter A, bevinden dat deze beantwoordt aan den *maandag*; men zou met de Zondagsletter F voor den 1sten Januari een *dinsdag*, met de Zondagsletter E een *woensdag* bekomen, enz. Daar het gewone jaar uit 52 weken en een dag bestaat, zou de 1ste Januari achtereenvolgens op een maandag, dinsdag, woensdag, enz. vallen, en de Zondagsletters zouden gevolgelijk ieder jaar een rang achteruit gaan en G, F, E, enz. worden, indien de schrikkeljaren niet om de vier jaren de regelmatigheid dezer orde kwamen storen. De schrikkeljaren toch bekomen eene zekere Zondagsletter voor Januari en Februari, en voor de tien andere maanden eene tweede Zondagsletter, in rang één lager dan de eerste, omdat het geven van dezelfde letter aan den 28sten en 29sten Februari klaarblijkelijk hetzelfde is als het weglaten van eenen dag in de week, welke die beide datums bevat, of aan 't aanduiden van den Zondag door de letter, die juist op den Zaterdag zou vallen.

236. **Zonnecyclus.** — Nadat de gezegde onregelmatigheid ieder der zeven letters doorloopen heeft, dat is na *zeven* maal *vier* of acht en twintig jaren (in den Juliaanschen kalender), zal zij hare geheele periode hebben afgelegd, en zullen de Zondagsletters weder in dezelfde orde als vroeger optreden. Om dezen geregelden terugkeer aan te duiden gaf men (voorzeker zeer on-eigenaardig uit een astronomisch oogpunt) den naam van *Zonnecyclus* (zonnekring, zonnecirkel) aan het tijdsverloop van 28 jaren, dat daaraan beantwoordt, en dat in den Gregoriaanschen kalender, waarin de cyclus der schrikkeljaren eerst om de 400 jaren wordt rondgegaan, wegens het weglaten van drie eeuw-schrikkeljaren op de vier, zou moeten vervangen worden door eene periode van 7 maal 400 of 2800 jaren.

237. **Indictiën.** — **Lusters en Olympiaden.** — Om soortgelijke reden, en even weinig astronomisch, hadden de Romeinen eene periode van drie lusters (15 jaren) ingesteld, die zij *indictie-cyclus* of, eenvoudiger, *indictie* noemden, en die, na de verovering van Griekenland, de *Olympiaden* verving, welke door Hercules bij de stad Olympia in 't Peloponnesisch landschap Elis waren ingesteld, ten einde om de vier jaren de Olympische spelen gevierd zouden worden. Deze *indictie* is niet dezelfde als een andere tijdruimte van 15 jaren, die men in de bullen van 't pauselijke hof, onder den naam van *pontificale indictie* bezigde, ter herinnering van de 15 jaren, die er waren verlopen sedert den vrede en den triomf der Kerk, dat is sedert het edict van Constantijn (in 312), dat den Christenen de openlijke belijdenis van hun geloof vergunde, tot aan den afloop (in 328) der

werkzaamheden van 't concilie van Nicea, door de veroordeeling van Arius.

De pontificale indictie-cyclus begint den 1sten Januari 313, ofschoon 't edict van Constantijn het aanvangspunt bepaald had tot de Septembermaand van 312. Brengt men dezen cyclus terug tot den aanvang der christen-jaartelling, dan valt hij op het 3de jaar vóór dat, waarvan onze jaartelling uitgaat, welk jaar, volgens de berekeningen van Lalande, gedaan op eene maaneclips, die voorviel in den nacht van den 12den op den 13den maart, waarin Herodes stierf, juist twee jaren na de geboorte van Jezus Christus valt.

Ik zal het voor 't oogenblik bij deze bijzonderheden omtrent de tijdsverdeeling laten. Wanneer wij in 't vervolg ons met de Maan zullen bezig houden, zal ik op dit onderwerp moeten terugkomen, en alsdan voortgaan met de behandeling van den op maans- en zonsomloop berustenden kalender, door welks langdurig gebruik de nagedachtenis van Julius Cesar en Gregorius XIII moet vereeuwigd worden.



NOOT.

238. **Noot over de Zonnewijzers.** — Hoewel de middaglijn over 't geheel volkomen toereikend is om het uur aan te geven, wil ik u hier, ter aanvulling van de bovenstaande bijzonderheden, nog een en ander omtrent de samenstelling der Zonnewijzers mededeelen.

239. **Æquinoctiale Zonnewijzer.** — Vooreerst dan, wanneer men, *parallel* aan den Æquator, een wijzerbord plaatst, voorzien van den stijl POP' (fig. 129),

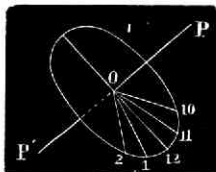


Fig. 129.

perpendiculair op het wijzerbord en gevolgelyk parallel aan de wereldas, dan is het duidelijk, dat de schaduw van dien stijl op het bord bogen zal doorloopen, evenredig aan den tijd. De dus ingerichte wijzerplaat heet *æquinoctiale* Zonnewijzer en moet in graden verdeeld zijn aan hare beide zijden, die beurtelings dienst moeten doen: de eene voor de noordelijke zonsdeclinatieën, van de lente- tot de herfst-nachtevening; de andere voor de zuidelijke zonsdeclinatieën, van de herfst- tot de lente-nachtevening.

240. **Horizontale Zonnewijzer.** — Wenscht gij een horizontalen Zonnewijzer te hebben, zoo trekt de horizontale middaglijn CB (fig. 130); richt in een of ander punt C van deze middaglijn den stijl CP op, parallel aan de wereldas,

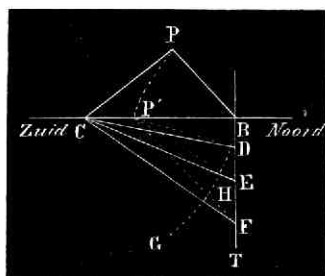


Fig. 130.

voert door het punt P, loodrecht op den stijl, een vlak heen, dat parallel aan den Æquator zal wezen en den horizon zal snijden volgens BT; beschrijft vervolgens uit P als middelpunt, met PB als straal, in dit vlak een æquinoctialen wijzer, en verlengt de uurlijnen totdat zij de tangens en D, E, F, enz. ontmoeten; de aldus bepaalde punten zullen niet veranderen, hetzij ge, om ze te bekomen het middelpunt P tot in P' op den horizon verlaagt, en uit dit punt P' den cirkel BHG beschrijft, wiens genoegzaam verlengde van P' uitgaande uurafdeelingen u de punten

D, E, F, enz. van de tangens zullen leveren; hetzij ge, na deze punten door de vorige verlaging te hebben bekomen, P' tot in P verheft. Gij zult dus op die wijze een punt op elke uurlijn hebben, en tevens een tweede punt, aan alle gemeen, in 't middelpunt C van de wijzerplaat, door hetwelk de stijl CP gaat. De verschillende uurlijnen zullen dan zijn CD, CE, CF, enz., met hare symmetrische lijnen aan de andere zijde der middaglijn.

Niets is gemakkelijker dan de hoeken BCD, BCE, enz. te berekenen door de vergelijking

$$\text{tang BCE} = \frac{\text{BE}}{\text{BC}} = \frac{\text{BP}' \cdot \text{tang BP}'\text{E}}{\left(\frac{\text{BP}}{\cos \text{CBP}'}\right)} = \frac{\text{BP}' \cdot \text{tang BP}'\text{E}}{\frac{\sin(\text{PCB})}{\text{BP}}} = \text{tang } \alpha \text{ (15°) sin L;}$$

zijnde L de breedte der plaats of de hoogte DCB van de Pool boven den horizon, en $BP'E$ een of andere uurhoek, gelijk aan n -maal 15 graden, geteld in 't vlak zelf van den $\text{\AE}quator$.

Laat voor eene plaats $L = 43^\circ 36' 45''$ zijn, zoo zult gij de onderstaande uurhoeken, rechts en links van de Middaglijn, bekomen.

Uren.	Uurhoeken.	Uren.	Uurhoeken.
$\frac{1}{2}$	5° 11' 20"	$\frac{4}{2}$	39° 0' 55"
1	10 28 20	5	68 46 15
$1 \frac{1}{2}$	15 56 45	$5 \frac{1}{2}$	79 11 40
2	21 11 10	6	90 0 0
$2 \frac{1}{2}$	27 53 30	$6 \frac{1}{2}$	100 48 20
3	34 35 50	7	111 13 45
$3 \frac{1}{2}$	41 57 10	$7 \frac{1}{2}$	120 39 5
4	50 49 52	8	129 0 8

241. **Verticale niet-declineerende Zonnewijzer.** — Wanneer gij de vorige constructie herhaalt op een verticalen muur, die niet declineert, dat is die juist Oost en West loopt, zult gij tot soortgelijke uitkomsten geraken, met dit onderscheid alleen, dat $\sin L$ vervangen zal worden door $\cos L$; want de verticale wijzer onder de breedte L zou een horizontale worden op de plaats, welker breedte het complement ($90^\circ - L$) van de breedte der plaats is, voor welke gij hem wilt construeeren. Gij zult dan de vergelijking hebben (fig 131).

$$\text{tang BCE} = \frac{BE}{BC} = \frac{P'B \text{ tang EP'B}}{\left(\frac{P'B}{\cos CBP}\right)} = \text{tang } n (15^\circ) \cos L;$$

en daaruit zult gij vinden voor de uurhoeken, met dezelfde breedte als boven $L = 43^\circ 36' 45''$:

Uren.	Uurhoeken.	Uren.	Uurhoeken.
$\frac{1}{2}$	5° 26' 40"	$\frac{4}{2}$	60° 13' 35
1	10 58 45	5	69 41 30
$1 \frac{1}{2}$	16 41 40	$5 \frac{1}{2}$	79 41 40
2	22 8 21	6	90 0 0
$2 \frac{1}{2}$	28 3 30	$6 \frac{1}{2}$	100 18 20
3	35 54 20	7	110 18 30
$3 \frac{1}{2}$	43 20 10	$7 \frac{1}{2}$	119 46 25
4	52 11 1	8	127 48 50

242. **Verticale declineerende Zonnewijzer.** — Wat den verticalen de-

clineerenden zonnewijzer betreft, gij behoeft, om dien te vervaardigen, slechts den stijl in de as der Wereld te plaatsen met behulp van een rechthoekigen driehoek, waarvan deze stijl de hypothenusa zou wezen (zijnde de scherpe hoeken L en $90^\circ - L$). De stijl zal naar behooren gericht zijn, als zijne op den muur vallende schaduw verticaal zal wezen op den *waren middag* (aangegeven door eene middaglijn of door een gelijkgaand uurwerk). Die schaduw toch is dan niets anders dan de snijlijn van twee verticale vlakken, den muur en den Meridiaan. Trekt dan eene verticaal, die door het aanhechtingspunt of den voet van den stijl

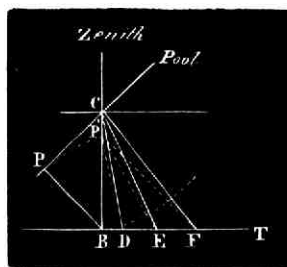


Fig. 131.

gaat, en construeert, perpendicularair aan deze, een æquinoctialen wijzer, welks uurlijnen, verlengd tot aan den verticalen muur, u de punten zullen aangeven, die gij met den voet van den stijl moet verbinden, om uurlijnen op den muur zelven te bekomen.

Constructie. — Zij ZA (fig. 132) de verticale middaglijn; WAO eene horizontale lijn of aardlijn op den muur getrokken; Z het middelpunt der wijzerplaat, het

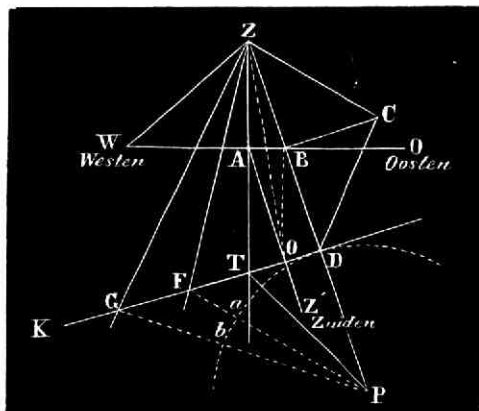


Fig. 132.

aanhechtingspunt van den stijl; ZWA de hoogte van de Pool boven den horizon; AZ' de richting van den Meridiaan op den horizon; eindelijk Z'AO het azimuth van den muur, wordende dit azimuth aangegeven door een kompas of door een verticale vlak, dat op den *waren middag* geen schaduw werpt buiten ZA.

Neemt $AO' = AW$ en laat de loodlijn OB op de horizontale lijn WAO vallen; gij zult dan de verticale projectie ZB van den stijl op den *onder- of bijstijl* bepalen. Beschrijft op het verticale vlak, in ZBC, den driehoek ZBO', gevormd in de ruimte door den stijl ZO', door de verticale projectie BZ van dien stijl en door de lijn O'B; trekt uit het punt C van den stijl eene loodlijn CD tot aan 't ontmoetingspunt van den *bijstijl* in D. Indien gij CD tot *straal* neemt van den æquinoctialen wijzer, waarvan C het middelpunt zou zijn, zal het punt D van dezen wijzer zich op den verticalen muur bevinden; en de tangens in D zal de *snijlijn* wezen van het wijzervlak en den muur. Laat dan DC in DP vallen op de verlenging van den *bijstijl*, en beschrijft uit het punt P als middelpunt, met PD tot *straal*, eenen omtrek. Trekt de tangens DK, en verbindt het punt T, waar die tangens de verticale middaglijn ontmoet, met het middelpunt P van den neergelaten æquinoctialen wijzer. Gij zult dan op dezen wijzer de richting der middaglijn hebben, van welker rechter- en linkerzijde gij den omtrek zult deelen in *a, b*, enz., door de uurlijnen Pa, Pb, enz., die gij tot aan de tangens zult verlengen in F, G, enz., en de punten F, G, enz., door rechte lijnen met het punt Z verbonden, zullen u de uurlijnen van den verticalen zonnemeter geven.

Wanneer men den stijl van boven laat uitloopen in een kleinen bol, of in eene kleine opening, door welke de zonnestralen kunnen heen gaan, kan men op de wijzerplaat den middelbaren middag bekomen door middel van eene kromme lijn, derwijze geconstrueerd, dat het middelbare middag is als de schaduw van den bal of het lichtbeeld van de opening die kromme lijn ontmoeten. Maar de bijzonderheden van zoodanige constructie zouden ons te ver voeren en daarbij schier zonder nut wezen, daar men tegenwoordig in alle astronomische jaarboeken den *middelbaren tijd* op den *waren middag* vindt.

ELFDE LES.

Voornaamste verschijnselen te weeg gebracht door de zonnewarmte.



EERSTE AFDEELING.

VERANDERINGEN VAN DE AARDWARMTE.

Voornaamste oorzaken dezer veranderingen, voortspruitende 1^o uit de ongelijkheid der dagen en nachten; 2^o uit de meerdere of mindere verzwakking der zonnestralen door den dampkring, volgens de schuinscheit van deze stralen; 3^o uit de terugkaatsing der warmte op den bodem; 4^o uit de ongelijke afstanden van de Zon tot de Aarde. — *Tijdstippen der jaartijdsche of dagelijksche maxima en minima.* — Bepaling der gemiddelde temperaturen. — Toevallige veranderingen. — *Temperaturen der diepe plaatsen.* — Omkeering der seizoenen op zekere diepte. — Toeneming der temperaturen, uitgaande van de laag der onveranderlijke temperatuur. — *Afneming van de temperatuur in den dampkring.* — Waarschijnlijke temperatuur der hemelruimten. — *Isothermische lijnen.* — Uiterste temperaturen in de verschillende klimaten. — Invloed van de nabijheid der zee. — In tegenstelling met de lagere dierenklassen, verdraagt de mensch, zonder dat de temperatuur zijner organen verandert, zeer groote veranderingen van warmte. — *Standoestigheid der seizoenen gedurende de historische tijden.* — Vermoedens aan den landbouw ontleend. — Astronomische bewijzen. — *Waarschijnlijke temperaturen van de Aarde vóór de historische tijden.* — *Onregelmatigheden te weeg gebracht door zwermen Asteroiden, die rondom de Zon loopen.* — Vallende sterren, veroorzaakt door deze Asteroiden. — Toepassingen, die men uit hare bestudeering schijnt te mogen hopen.

243. **Veranderingen der aardwarmte.** — De veranderlijke declinatiën der Zon, die den duur der dagen en nachten volgens de seizoenen wijzigen, en de ongelijke afstanden van dit Hemellicht tot de Aarde, die hare schijnbare snelheid doen veranderen, brengen ook in de temperaturen, of, meer algemeen gesproken, in de meteorologische verschijnselen, veranderingen te weeg, welker beschouwing hier zeer natuurlijk hare plaats moet innemen,

244. **Ongelijkheid der dagen en nachten.** — **1ste Oorzaak van verandering.** — Onder de voornaamste oorzaken, die den grootsten invloed op de warmte-verschijnsels aan 's Aardbols oppervlakte hebben, moet men de ongelijkheid der dagen en nachten in de eerste plaats stellen. Zoolang toch de Zon zich boven den horizon bevindt, zendt zij stralende warmte (*) uit,

(*) De stralende warmte schiet door den dampkring heen zonder hem merkelyk te verwarmen. Deze wordt eerst warm door de onmiddellijke aanraking van den bodem en door de voortplanting der warmte eener verwarmde laag naar eene volgende laag. Ziedaar de hoofdoorzaak waarom de hoogere streken des dampkrings kouder zijn dan de lage.

die de aardsche lichamen opslorpen en vervolgens terugzenden naar de hemelruimten, welker temperatuur naar alle waarschijnlijkheid zeer laag is (70 a 80, misschien zelfs 100 graden of meer beneden nul); ten minste volgens de snelle afneming der warmte naargelang men in den dampkring opstijgt, of volgens de overmatige koude, welke de bevrozen aardgordels onafgebroken gedurende hunne langdurige winters ondervinden, en welke koude alleen zeer toevalliger wijze, in plaats van bij aanhoudendheid, zou mogelijk worden, indien niet de ruimte, waarin wij gedompeld zijn, zelve uitermate koud ware. Wanneer nu de dagen van genoegzame lengte zijn, dat de van onze Zon komende warmte (*) de overhand heeft op de afkoeling des nachts, dan moet de temperatuur der Aarde natuurlijk stijgen. Dit is het juist wat in onze klimaten, — eenige afwijkingen, wier oorzaak wij later zullen leeren kennen, niet medegerekend — van de eerste dagen der maand Januari tot tegen 't einde van Juni plaats heeft. Van dit laatste tijdstip af, straalt de sterk verwarmde Aarde uit met eene intensiteit, die in verhouding is tot hare hooge temperatuur; en ofschoon zij nog veel warmte ontvangt gedurende de lange dagen van Juli, Augustus of September, leert toch de *ervaring*, dat het verlies grooter is dan de winst, daar de temperatuur van lieverlede na de eerste Juli-dagen begint af te nemen.

245. **De meerdere of mindere verzwakking der zonnestrallen door de dampkringslucht, volgens de schuinsheid dezer stralen. — 2de Oorzaak van verandering.** — Eene tweede oorzaak van verandering der zonnewarmte aan het oppervlak der Aarde ligt in de verschillende standen der Zon aan den Hemel. Men behoeft dit Hemellicht slechts te aanschouwen bij het uur van zijnen opgang, en als het zich des middags te 12 uren in 't hoogste punt zijner baan bevindt, om zich op het gezicht alleen te overtuigen, dat de dampkring een aanzienlijken invloed op zijnen lichtgloed heeft. Want wanneer de lichtstralen des ochtends of des avonds tot ons komen in de richting *ba* (fig. 133), nadat zij zeer schuins en gevolgelijk in de richting der grootste breedte door de ons omgevende

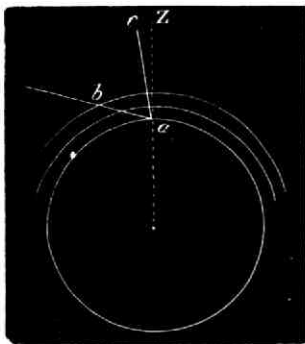


Fig. 133.

(*) Deze dagelijkse verwarming spruit zelve voort uit een verschil, uit datgene wat de van de Zon gekomen en door de aardsche lichamen opgeslorpte warmte meer bedraagt dan de stralende warmte, die deze gedurende den dag naar den Hemel zenden.

dampkringslagen zijn gegaan, zijn zij — ieder weet het — veel zwakker, dan wanneer zij ons bereiken tegen den middag in de richting *ca*, die dichter bij de verticaal ligt en met mindere breedten der luchtlagen overeenkomt. Nemen wij nu aan, dat de stralende warmte dezelfde wet volgt, dat zij, als het licht, meer of minder door den dampkring wordt verzwakt, naargelang zij genoodzaakt is zich langer of korter daarin op te houden, dan zal men licht inzien, dat bij 't veranderen der zonsdeclinatiën, de schuinschheid der zonnestrallen op den horizon insgelijks verandert; dat bij den winterzonnestand, bij voorbeeld, die stralen den ganschen dag door in zeer schuinsche richtingen tot ons komen, terwijl zij integendeel bij den zomerzonnestand vrij dicht de verticaal naderen. Daaruit volgt eene aanmerkelijke opslorping van warmte in 't eerste geval, eene veel geringere opslorping in het tweede, en vervolgens, als wij alle andere zaken overigens gelijk stellen, eene verandering van temperatuur, enkel voortkomende uit de schuinschheid der Zon.

Een gedeelte der opgeslorpte warmte moet strekken, 't is waar, om zich door aanraking van laag tot laag tot aan de aardsche lichamen voort te planten. Maar de dus voortgebrachte verwarming kan niet vergelijkbaar zijn met de uitwerkselen der opslorping, hetzij wegens de traagheid waarmede die warmte uit de eene laag in de andere overgaat, hetzij omdat een niet minder aanzienlijk gedeelte van de opgeslorpte warmte zich op zijne beurt, zonder nut voor ons, naar de hoogere dampkringsstreken voortplant, hetzij eindelijk omdat de in de lucht ontstane uitzetting stroomingen doet ontstaan, die de lagen ondereenmengen en de resultaten verbergen of veronzijdigen.

246. Grootere of geringere terugkaatsing van de zonnwarmte naar gelang van de schuinschheid der stralen. — 3de Oorzaak van verandering. — De terugkaatsing der warmte, meer of minder aanzienlijk, gelijk die van het licht, naar gelang van de schuinschheid der oppervlakte, die ze ontvangt, brengt almede het hare toe tot de verandering der aardtemperatuur. Want als de stralen bijna loodrecht op de Aarde vallen, dringen zij er in door, zonder merkelyk aan hare oppervlakte te worden afgekaatsst, en worden bijgevolg schier alleen aangewend om haar te verwarmen; daarentegen kaatsen zij grootendeels terug, om zich in de ruimte te verliezen, wanneer zij zeer schuins tot ons komen. Men ziet onmiddellijk in, dat deze derde oorzaak met de beide andere samenwerkt om de winterkoude en de groote zomerhitte voort te brengen.

247. Ongelijke afstanden van de Zon tot de Aarde. — 4de Oorzaak van verandering. — Er is evenwel een vierde oorzaak, die in 't noordelijk halfond der Aarde in tegengestelden

zin van de vorige werkt. 't Is de afstand der Zon, die een weinig grooter is gedurende onzen zomer (§ 217), een weinig geringer gedurende onzen winter, in de verhouding ongeveer van 31 tot 32. En daar die intensiteit der warmte vermindert naar verhouding van de vierkanten der afstanden, die de verwarmde punten van de warmtebron scheiden, en de vierkanten van 31 en 32 respectievelijk gelijk zijn aan 961 en 1024, zoo zullen deze laatste getallen, wier verschil 63 ten naasten bij het vijftiende deel van 't eene, het zestiende van 't andere is, genomen kunnen worden voor de uitdrukking der warmte, die de Aarde ieder oogenblik rechtstreeks ontvangt in de gevallen der uiterste afstanden.

248. Om die reden moet dan de zomer onzer klimaten iets minder warm zijn dan die van onze *tegenvoeters*, of, algemeener gezegd, dan die van 't *zuidelijk* halfrond der Aarde, welks zomer samenvalt met onzen winter (§ 133), dat is met de mindere afstanden der Zon. Maar in 't vervolg zullen de betrekkelijke bewegingen van 't Nachteveningspunt en van 't Zonne-apogæum (§ 208) de richting van 't verschijnsel wijzigen, en binnen ongeveer tien duizend jaren zal het verschil (een zestiende), in plaats van voor ons halfrond, gelijk tegenwoordig het geval is, als een *te-kort* op te leveren, van teeken veranderen om zich als een *te-veel* te doen kennen. Alleen zullen dan, in tegenstelling met hetgeen nu plaats heeft, de lente en zomer de kortste seizoenen zijn; en wanneer de duur van den tot verwarming van ons halfrond gunstigen tijd aan 't minderen gaat, zal er, gelijk tegenwoordig, eene soort van vereffening of vergoeding tusschen de tegenovergestelde uitwerksels optreden. Deze laatste zijn voor 't overige beide van weinig beteekenis. De terugkaatsing van de warmte en de opslorping door den dampkring zijn voor de bewoners der gematigde luchtstreken slechts van middelmatigen invloed op de aardse temperaturen, en de ongelijkheid der dagen en nachten blijft derhalve in 't algemeen de hoofdoorzaak van de groote warmteveranderingen.

249. **Tijdstippen der jaarlijksche of dagelijksche maxima en minima.** — 't Is niet op de tijdstippen — wij merkten 't reeds vroeger aan — als de declinatiën haar maximum bereiken, namelijk den 21sten Juni en den 21sten December, dat de grootste warmte en de strengste koude heerschen. 't Is evenmin op den middag, op 't oogenblik als de zonnestrallen in hunne grootste kracht tot ons komen, noch gedurende den nacht, als de uitstraling naar de luchtruimte slechts ten deele vergoed wordt door de rechtstreeksche warmte der Zon, dat de Aarde en de ons omgevende luchtlagen hare hoogste temperaturen bereiken. Eéne en dezelfde verklaring, het verschil tusschen de opgeslorpte

warmte en de naar de ruimte uitgestraalde warmte, is op dit dubbele verschijnsel van toepassing. Terwijl intusschen het tweede rechtstreeks kan aangetoond worden door den thermometer, wiens rijzing tot twee, drie of vier uren des namiddags, en daarop volgende daling tot aan den morgenstond, ons bewijst dat het dagelijksche maximum der temperatuur gewoonlijk van twee tot vier uren des namiddags, en het minimum eenige oogenblikken na zonsopgang optreedt, vordert het eerste daarentegen de dagelijks te verrichten bepaling en berekening van de gemiddelde temperaturen, ten einde zoo eene uitdrukking voor de totale warmte in vier en twintig uren te bekomen.

250. **Bepaling der gemiddelde temperaturen.** — Men bepaalt deze gemiddelde temperaturen, hetzij door den thermometer zeer veel malen na even groote tusschentijden, bij voorbeeld om het half uur, om het kwartier uurs, gade te slaan, vervolgens al de waargenomen graden samen te tellen en dan de aldus verkregen som door het getal der waarnemingen te deelen; hetzij, eenvoudiger, door het midden te nemen tusschen het minimum van den ochtendstond en het maximum van den namiddag, hetzij, nog eenvoudiger, door den thermometer slechts een enkelen keer, omstreeks half negen uren des morgens waar te nemen. De ondervinding toch heeft geleerd, dat deze drie handelwijzen doorgaans, althans in onze klimaten, ongeveer gelijke uitkomsten geven. De som der dertig gemiddelde temperaturen eener maand, door 30 gedeeld, geeft op hare beurt de gemiddelde temperatuur der maand. Deelt men eindelijk de som der twaalf gemiddelde maand-temperaturen door 12, of liever, wegens de ongelijke lengte der maanden, de som der driehonderd vijf en zestig gemiddelde dag-temperaturen door 365, zoo verkrijgt men de *gemiddelde* temperatuur van het jaar.

251. **Toevallige veranderingen.** — **Temperatuur der diepe plaatsen.** — Over 't algemeen is er van jaar tot jaar in ieder klimaat weinig verschil in de gemiddelde maand-temperaturen. De gemiddelde jaar-temperatuur moet dan gevolglijk ook ten naasten bij standvastig blijven. Zij is te Parijs 10,8, te Toulouse 12,6, aan den Æquator 27,5 tot 28 graden. Wat de dagelijksche temperaturen betreft, ze zijn onderhevig aan eene menigte storingen, te weeg gebracht door de winden, de wolken, de regens, de nevels, de onweders, de uitdamping, enz., in één woord, door al de verschijnselen, die, samengenomen, de bijzondere wetenschap uitmaken, waaraan men den naam van *Meteorologie* geeft. Wij zullen op die verschijnselen moeten terugkomen; voor 't oogenblik zal ik, tot besluit van de u medegedeelde bijzonderheden aangaande de temperaturen, alleen nog zeggen, dat de temperatuur der Aarde op eene diepte van 25

tot 30 meters niet meer met de seizoenen verandert, en dat op ongeveer 8 meters diepte (iets meer of iets minder, naar den aard der gronden) de verschillen tusschen den winter en zomer te nauwnood boven *anderhalven graad* gaan.

252. **Omkeering der seizoenen op zekere diepte. — Toeneming der temperaturen, uitgaande van de laag der onveranderlijke temperaturen.** — Op de laatstgenoemde diepte worden de seizoenen, ten gevolge van de traagheid waarmede de warmte zich in den grond voortplant, in volgorde omgekeerd, daar de hoogste temperatuur hier in December, de laagste in Juni of Juli wordt waargenomen. Daarbeneden worden de verschillen steeds geringer tot aan de laag alwaar de temperatuur onveranderlijk wordt; terwijl men, van deze laatste uitgaande, naarmate men dieper komt, al hooger en hooger temperaturen vindt. De waarnemingen, die men te dezen opzichte heeft kunnen doen in de mijnwerken of bij het boren van Artesische putten, geven één graad vermeerdering op 30 of 40, gemiddeld op 35 meters. Hieruit volgt, dat, indien deze wet dezelfde blijft, gelijk vrij waarschijnlijk is, tot in diepten die wij niet kunnen bereiken, de warmte op 35 kilometers diepte moet stijgen tot 1000 a 1200 graden, eene temperatuur, die volkomen toereikend is om het binnenste des Aardbols in witgloeienden en smeltenden toestand te houden; waardoor men — om dit in 't voorbijgaan te zeggen — in staat wordt gesteld eene zeer voldoende verklaring te geven van de aardbevingen, de vulkanische uitbarstingen, de warme bronnen, enz., en zelfs van de groote overstromingen, waarmede de Geologie zich bezig houdt. Voegen we nog hierbij, daar de gelegenheid zich zoo van zelve opdoet, dat de centrale warmte der Aarde beschouwd kan worden als onafhankelijk van de werking der Zon en als een gevolg van den oorspronkelijk gloeienden toestand des Aardbols, welks afkoeling, het omgekeerde van 't *kubiek* (*) zijner afmetingen, niet dan uiterst langzaam kan plaats hebben. Wegens de groote hoeveelheid warmte, welke de aardstoffen bevatten, en hare geringe uitstraling, zijn er toch geheele jaren noodig om eenen lavavloed van eenige meters dikte zijne overmaat van warmte te doen verliezen. Maak de dikte tienmaal grooter, en de tijd der afkoeling zal 1000maal (kubiek van 10) langer zijn. Wat zal 't wezen als gij de afmetingen der koudwordende lichamen, in stede van bij meters, bij myriameters of zelfs bij vele honderdduizenden meters rekent? Dan zijn 't geen duizenden meer, maar millioenen en biljoenen jaren,

(*) Het kubiek of de derde macht van een getal is het product van dit getal en zijn vierkant of tweede macht; met andere woorden: 't is een product waarin het getal driemaal als factor voorkomt. Zoo is 8 het kubiek van 2; 27 dat van 3; 64 dat van 4, enz.

waarbij men den tot afkoeling vereischten tijd zal moeten berekenen. Bij de thans algemeen aangenomen onderstelling van de oorspronkelijke vloeibaarheid van onzen Aardbol, voert de inwendige toeneming der temperatuur ons tot de meening, dat de vaste aardkorst niets dan eene soort van vlies is over eene oceaan van vuur.

253. Afnemng van de temperatuur in den dampkring.

— Maar keeren we tot ons onderwerp terug. Wanneer men, in plaats van in den grond af te dalen, zich daarentegen in den dampkring verheft, dan wordt men — ik heb het reeds (§ 243) gezegd — eene steeds strengere koude gewaar naarmate men hooger stijgt (*). Dit werd onder anderen waargenomen door Biot en Gay-Lussac bij hunne beroemde opstijging den 16den September 1804; door Barral en Bixis bij hunne luchtreis ter hoogte van 7049 meters, den 27 Juli 1850. Dit kunnen mede de touristen ontwaren, als zij de bergen beklimmen, enz. De wet der afnemng schijnt overeen te komen met achtereenvolgende verminderingen van éénen graad voor elk hoogteverschil van 160 tot ongeveer 200 meters. Hieruit volgt, dat men in een klimaat, welks gemiddelde temperatuur, bij voorbeeld, 13 graden bedraagt, op omstreeks 2000 tot 2600 meters hoogte boven den grond eene gemiddelde temperatuur gelijk aan nul moet hebben.

Wanneer wij de uiterste thermometerstanden van winter en zomer tegen elkander vereffenen, en tot aanwijzer van die gemiddelde temperatuur — hetgeen men overigens vrij natuurlijk schijnt te mogen doen — het blijven-liggen der sneeuw door het gansche jaar heen aannamen, dan zou men slechts een blik op de Alpen of de Pyreneën behoeven te werpen, om zich te overtuigen dat werkelijk de grens der blijvende of nimmersmelende sneeuw (de sneeuwlinie) zich niet ver van de boven aangegeven hoogten moet verwijderen. Aan den Æquator, waar de gemiddelde temperatuur tot 27,5 graad bedraagt, zou men dus 5000 a 6000 meters moeten stijgen om tot dezelfde grens te komen; terwijl daarentegen, wanneer men zich naar de polen begaf, die grens al meer en meer den aardbodem zou naderen. Dit nu leert de waarnemng ook; want in de Andes van Quito, bij voorbeeld, op 1° tot 1° 30' zuiderbreedte, is de sneeuwlinie 4812 meters hoog; zij ligt ter hoogte van 4688 meters op den vulkaan van Puracé of Pusambio, op 2°18' noorderbreedte, en slechts ter hoogte van 908 meters op 't eiland IJsland, dat eene

(*) Gedurende den nacht neemt de temperatuur tot op zekere hoogte gemeenlijk toe; maar dit verschijnsel, een gevolg van de uitstraling des gronds, die meer afkoelt dan de lucht en vervolgens zijne lage temperatuur aan de opeenvolgende dampkringslagen mededeelt, schijnt zich niet hooger dan tot 40 of 50 meters voort te zetten. Men behoeft het dus niet in aanmerking te nemen en mag het over 't hoofd zien als eene bijzondere omstandigheid in het meer algemeene verschijnsel, waarop wij thans het oog hebben.

noorderbreedte van 65° heeft. Daarentegen vindt men, als een zeer bevredigende overeenstemming, op de pachthoeve van Autisana ($0^{\circ}40'$ zuiderbreedte), in plaats van $27,5$ graad, slechts $3,4$ graad op eene hoogte van 4072 meters, hetgeen voor het verschil van $24,1$ graad eene vermindering van 1 graad op 169 meters geeft. De gemiddelde temperatuur en de grens der nimmer smeltende sneeuw te Oosterjoekull (IJsland) bedragen op hare beurt, op 65 graden breedte, respectievelijk slechts $4,5$ graad en 900 meters, waaruit volgt het quotient $\left(\frac{900}{4,5}\right)$ of 200 meters op elken graad vermindering, enz.

Waarschijnlijke temperatuur der hemelruimten, volgens de op verschillende punten des Aardbols verkregen uitkomsten. — Deze verschillende uitkomsten stemmen overeen, gelijk men ziet, met de boven aangegeven wet der afneming, en geven ons, in de onderstelling dat de wet tot aan de grenzen des dampkrings doorgaat, eene temperatuur van 50 a 60 graden *beneden* nul in de hemelruimten op $100\ 000$ meters hoogte.

254. — Om zich te overtuigen, dat zulk een cijfer niets overdrevens heeft, behoeft men slechts te weten, dat men vaak, zelfs aan 't oppervlak der Aarde, waar toch de dampkring zich tegen de afneming der warmte verzet, zulk eene koude heeft waargenomen: getuigen die van $50,8$ graad, door kapitein Ross gevonden te Port-Elizabeth op $69^{\circ}59'$ breedte; die van $49,7$ graad, door kapitein Franklin waargenomen op de breedte van $64^{\circ}30'$; die van $56,7$ graad, welke Back te Fort-Reliance op $62^{\circ}46'$ vond, enz.; eindelijk de koude van 71 graden Réaumur, of 89 honderddeelige graden, die, volgens Gmelin, lid der Academie van Sint-Petersburg, zich den 5den Januari 1760 deed gevoelen te Torneå, onder de breedte van $61^{\circ}51'$.

255. **Isothermische lijnen.** — In ieder klimaat moet alzoo de hoogte der plaatsen boven 't gemiddeld niveau der aardvlakte van invloed zijn op de temperaturen. De gewone richting der winden, naargelang deze uit een warmer land of uit kouder oorden komen, naargelang zij over uitgestrekte zeeën of groote vastelanden zijn getrokken; hun graad van vochtigheid, de meerder of minder verdamping, die zij te weeg brengen, enz., enz., brengen almede het hunne toe om deze temperaturen te wijzigen. Von Humboldt bedacht het eerst, de wet der veranderingen *graphisch* voor te stellen door het trekken van isothermische (*) lijnen op de kaarten, dat is van lijnen, waarvan al de punten dezelfde gemiddelde warmten hebben. Raadpleegt men de door

(*) Van 't Grieksch *Isos*, gelijk, en *thermos*, warm.

von Humboldt of andere waarnemers vervaardigde kaarten van isothermen, dan bevindt men, dat die lijnen op verre na niet evenwijdig met den Aard-æquator loopen; immers de isotherm van 10 graden, bij voorbeeld, die dicht langs Dublin, Londen, Parijs gaat, tusschen 49 en 51 graden breedte, daalt af naar de Zwarte Zee, tusschen de breedten van $44^{\circ}35'$ van Sebastopol, en van $46^{\circ}58'$ van Nicolaïef, om zich naar New-York te richten tot op $41^{\circ}55'$ breedte.

256. Uiterste temperaturen in de verschillende klimaten.

— De andere isothermen vertoonen mede soortgelijke afwijkingen. Wat de uiterste temperaturen betreft, hare verschillen worden insgelijks gewijzigd door dezelfde oorzaken, die op de gemiddelde temperaturen van invloed zijn. Terwijl, bij voorbeeld, de kommandant Cotelle, tijdens den Franschen krijgstoct in Egypte, te Philæ, op 24 graden breedte, een maximum van 43,1 graad waarnam, verkreeg Esné, onder eene breedte van $25^{\circ}15'$, alzoo hooger dan de eerste, een maximum van 47,4 graad. Te Pondichery, welks breedte niet boven 11 graden gaat, bedraagt het maximum, volgens Legentil, niet veel meer dan 44,7 graad, terwijl het, volgens Beauchamp, te Bassora in Mesopotamië op $30^{\circ}45'$ breedte eene waarde van 45,3 graad moet hebben. Het kan te Parijs tot 38,4 graad stijgen, en bepaalt zich te Milaan, dichter bij den Æquator dan Parijs, tot 34,4 graad. Te Moskou, onder $55^{\circ}45'$ breedte, is de gemiddelde waarde dezer maxima gelijk aan 32 graden, terwijl zij te Petersburg, op $59^{\circ}56'$ breedte, aan 33,4 graad gelijk is, enz., enz.

't Is voor 't overige met de minima als met de maxima gelegen, want men neemt in de laagste temperaturen niet minder schijnbaar onregelmatige verschillen waar, dan die welke de hoogste temperaturen opleveren. Zoo heeft men te Charlestown, onder $32^{\circ}40'$ breedte, den thermometer tot 17,8 graad beneden nul kunnen zien dalen; en hetzelfde werktuig is te Parijs soms tot eene koude van 23,1 graad gedaald, terwijl men, onder breedten tusschen die van Parijs en Charlestown, nooit meer dan 17,8 graad koude te Turin, en slechts 15 graden te Milaan schijnt bekomen te hebben, hoewel laatstgenoemde stad ten noorden van Turin ligt.

257. Invloed van de nabijheid der zee op de temperaturen.

— De temperatuur der zee is veel minder veranderlijk dan die van 't vasteland, hetzij omdat het water, zal het een zelfde getal graden warmer of kouder worden, bij gelijke massa's omtrent viermaal meer warmte moet opnemen of afgeven dan de stoffen des gronds; hetzij omdat de doorschijnendheid van het water een dieper indringen vergunt aan de stralende warmte, die, terwijl ze zich over eene grootere massa verstrooit, gevolge-

lijk de oppervlakte minder moet verwarmen; hetzij eindelijk omdat de bovenste waterlagen, afgekoeld door de nachtelijke uitstraling, zich verdichten en zinken (hetgeen vaste aardlagen niet kunnen doen), om vervangen te worden door lichtere lagen uit het diepere gedeelte, welke door de afkoeling niet zijn bereikt. De grootste kouden van Londen hebben dan ook, dank zij de nabijheid der zee, doorgaans 11—12 graden tot grens, ongeveer evenals die van Toulouse, dat echter op 8 graden minder breedte ligt. Bij de golf van Finland, te Sint-Petersburg, onder eene breedte van bijna 60 graden, bereiken de laagste temperaturen slechts 34 graden, terwijl de thermometer te Moskou, dat op niet meer dan 55°45" breedte ligt, tot 38,8 graad kan dalen, enz., enz.

258. In tegenstelling met de lagere dierenklassen, verdraagt de mensch, zonder dat de temperatuur zijner organen verandert, zeer groote veranderingen van warmte. — De geographische ligging der plaatsen is dus niet het eenige element, dat op de aard-temperaturen van invloed is. Een andere gevolgtrekking uit de bovenstaande getallen is, dat de mensch zeer aanzienlijke temperatuurs-veranderingen kan verduren, daar hij zoowel bij den Aequator de door Burkhard waargenomen warmte van 47,4 graad, als in de poolstreken de door Gmelin aangehaalde koude van 89 graden, of althans die van 86,7 graad, in jongeren tijd door kapitein Back ondervonden, weet te verdragen. Ik heb ergens gelezen, zonder mij recht te herinneren waar, dat een jong meisje in eenen oven verscheidene minuten lang eene warmte van 130 graden trotseerde. En toch, verwonderlijke zaak! onder de uiterste temperaturen blijft, volgens talrijke proefnemingen, de innerlijke temperatuur onzer organen onveranderlijk gelijk aan 32 graden. Een onbedachtzaam natuurkundige, die temperatuur willende wijzigen, kreeg in 't hoofd zich zelve met vernis te overdekken, ten einde zoo te beletten, dat de overmaat van warmte, die hij in zich ging ophoopen, door de uitwaseming werd weggenomen. Maar, tot zijn groot geluk, deden zijne haren, die hij vergeten had te besmeren, den dienst van afvoerbuizen, en de hooge temperatuur der middelstof, in welke hij zich gedompeld had werd veronzijdigd door den damp, dien deze geïmproviseerde pompen doorlieten.

De lagere dierenklassen daarentegen worden zeer dikwijls in temperatuur gelijk aan die der middelstof, welke haar omgeeft. De visschen nemen zonder om te komen die des waters van nul tot 40 graden aan; de weekdieren die der met vocht verzadigde lucht of zelfs der een weinig lagere temperaturen, wanneer de lucht droog genoeg is om de verdamping uit te lokken. De reptiliën hebben insgelijks temperaturen, die verande-

ren met den hygrometrischen toestand (de vochtigheid) des dampkrings, enz., enz.

Ziedaar dus een nieuw, wel minder terstond in 't oog vallend, maar even merkwaardig verschil, gevoegd bij die, welke het oog of de geest onmiddellijk inzien, de verschillen namelijk van vorm of van verstandsvermogen. Verborgene, maar welsprekende getuigenis, onder zooveel andere, wier ontdekking eveneens als belooning werd weggelegd voor de inspanning des arbeids, en die, als eene dubbele openbaring, zowel de zorgende maatregelen der Voorzienigheid als de rijke harmoniën der schepping verkondigen! Moest niet de opperste Macht, die 't Heelal in 't aanzijn riep — terwijl zij aan zekere wezens de warme pelzen of het mollig dons onthield, waarmede zij andere zoo rijkelijk voorzag; terwijl zij den dieren het verstand en oordeel weigerde, waarvan de mensch zich bedienen zou, om zich door zijne eigen kunstvlijt te beschutten tegen de guurheid der seizoenen — moest zij niet aan de minder bevoorrechte wezens, ten einde hierbeneden de verschillende door haar geschapen levensuitingen in stand te houden, eene bewerktuiging geven, die geschikt was om voor hen 't gemis der uitwendige middelen van beschutting zooveel mogelijk te vergoeden?

259. **De seizoenen zijn niet merkkelijk veranderd gedurende de historische tijden.** — Ik hoor dikwijls om mij heen zeggen, dat er in de seizoenen sinds een zeker getal jaren een aanmerkelijke wijziging is gekomen; dat de winters langer en kouder zijn; dat men eertijds in onze klimaten met het Paaschfeest de zomerkleeren aantrok, enz. Maar is het, na de omstandige ontleding der dampkringsverschijnsels, niet klaarblijkelijk, dat die vermeende wijzigingen moeten berusten op onnauwkeurige herinneringen, voortvloeiende hetzij uit de te levendige indrukken der jeugd of der kindschheid, hetzij uit enkele exceptioneele jaren, wier gevolgen men onwillekeurig eene meer algemeene werking heeft toegekend. En wat die lichter kleeding op de voormalige Paaschfeesten betreft, wij zullen weldra zien, dat de tijd dier feesten verschillen kan van den 22sten Maart tot den 25sten April, en dit alleen is voldoende om rekenschap van het opgemerkt verschil te geven.

't Is waar, wij hebben gezien dat de betrekkelijke beweging van het Apogæum en het Nachteveningspunt de aardsche temperaturen der verschillende klimaten van jaar tot jaar een weinig moesten wijzigen, altijd echter in de onderstelling dat de uitwerksels van de vermindering der afstanden tusschen de Aarde en de Zon gedurende onze zomers niet geheel en al werd opgewogen door den korteren duur, die daarvan het gevolg moet zijn. Doch men zal gaarne toestemmen dat een *vijftiende* ver-

andering in de zonnewarmte, achtereenvolgens verdeeld over eene tijdruimte van negen a tien duizend jaren, niet merkbaar kan worden gedurende een menschenleven. En werkelijk vond Messier, 80 jaar geleden, in de kelders van 't Observatorium te Parijs eene temperatuur van 11,8 graad, juist dezelfde die men er tegenwoordig nog in vindt.

260. **Vermoedens gegrond op zekere bijzonderheden van den landbouw.** — Als het dan waar is, gelijk zekere bijzonderheden schijnen te bewijzen, dat het klimaat van sommige oorden merkbare wijzigingen ondergaan heeft; dat in Frankrijk, bij voorbeeld, het klimaat van het departement der Oise dermate kouder is geworden, dat de druif, die de bewoners er weleer met goed gevolg kweekten, er tegenwoordig niet meer tot rijpheid komt; — zoo moet men het bijna voor zeker houden, dat zoodanige veranderingen geheel en al plaatselijk zijn; dat zij in 't algemeen 't gevolg zijn van door menschenhanden volvoerde werken, van het ontginnen der bosschen, van het droogmaken der moerassen, enz., en dat het geheel der aardsche temperaturen, naar alle waarschijnlijkheid, sedert zeer veel eeuwen genoegzaam onveranderd is gebleven.

Men zou daarenboven tot staving van dit gevoelen, tegenover de cultuur-veranderingen, die men als voor zekere landen noodzakelijk geworden heeft beschouwd, een veel grooter getal eigenaardige voorbeelden van standvastigheid der klimaten kunnen stellen. Onder deze laatste is een der merkwaardigste dat, hetwelk door Arago, zoo 'k meen, het eerst werd in 't licht gesteld voor de druif en de dadel, die ten tijde der Joden in Palestina rijp werden, gelijk zij er nog heden rijp worden. Nu vordert de dadel *ten minste* 21½ graad gemiddelde temperatuur, en de druif *ten hoogste* 22 graden, en alzoo moest het klimaat van Palestina vóór 3000 jaren, en moet het eveneens nog in onze dagen eene temperatuur hebben, begrepen tusschen deze twee zoo enge grenzen; een resultaat, dat overigens volkomen in overeenstemming is met de gemiddelde temperatuur van 22 graden, die tijdens den Egyptischen veldtocht bepaald werd voor Cairo, welks ligging juist twee graden zuidelijker is dan Jeruzalem.

Op het voorbeeld van Arago haalde Dureau de la Malle vóór eenige jaren eene variëteit van citroenboom aan, die uiterst gevoelig is voor alle thermometrische veranderingen, en die gedurende de middeleeuwen, juist zooals in den tegenwoordigen tijd, op de grens zijner groeiplaats in de volle aarde niet ver van Cadix stond. — Doch men vindt een nog veel meer afdoend bewijs in de astronomische verschijnselen zelve.

261. **Bewijs ontleend aan de astronomische verschijnselen.** — Ofschoon de waarnemingsmiddelen der Sterrenkundigen

van Alexandrië op verre na, wat nauwkeurigheid betreft, niet te vergelijken waren bij de middelen, die wij heden bezitten, zoo konden zij toch, gelijk men licht begrijpt, met genoegzame juistheid, op eenige minuten, eenige uren na, als men wil, het getal der Sterredagen bepalen, die de Maan noodig had om een zeker getal omwentelingen (1000 of 1500, bij voorbeeld) rondom de Aarde te volbrengen. Door het getal dagen te deelen door 't getal der volbrachte omwentelingen (waardoor de begane fout door hetzelfde getal, 1000 of 1500, werd gedeeld), verkregen zij alzoo met eene duizendmaal of vijftienhonderdmaal grootere benadering den gemiddelden duur van elke omwenteling; daaruit almede, met eene nog veel grootere benadering (bijna 27maal) den boog, dien de Maan doorloopt in eenen sterredag, welke inderdaad gelijk staat met bijna ongeveer het 27ste gedeelte van den duur eener maansomwenteling. De lengte van den doorloopen boog, op hare beurt tot maat genomen voor den duur van den sterredag vóór twee duizend jaren, en gezuiverd van zekere bekende oorzaken van variatie, ten einde ook tot maat te dienen voor den duur van den hedendaagschen sterredag, zal ons dus gelegenheid geven om te weten of die duur in den loop van 20 eeuwen verandering heeft ondergaan. Na de berekening volbracht te hebben, kan men verzekeren dat dit geenszins 't geval is, of dat ten minste de wijzigingen niet een honderdste seconde bedragen.

Nemen wij thans aan — reeds maakten wij gebruik van die onderstelling, welker juistheid wij later zullen staven — dat de sterredag overeenkomt, niet met de omdraaiing van het sterren-gewelf, maar met de omdraaiing der Aarde rondom een centrale as, en wij zullen gemakkelijk inzien, dat eene verandering van temperatuur in 't geheel van onzen Bol — welke verandering eene verdichting of eene uitzetting ten gevolge moet hebben, die zijn

volumen veranderen — noodwendig ook eene wijziging moet brengen in de snelheid van omwenteling, en gevolgelijk ook in den duur van den dag.

Laat eene molecule y (fig. 134), ten gevolge eener verdichting en zonder iets van hare snelheid te verliezen, in het punt x , dichter bij het middelpunt, komen: is 't niet klaarblijkelijk, dat zij den omtrek FG in minder tijds zal doorloopen dan zij besteedt om den grooteren omtrek DE af te leggen? De vermindering

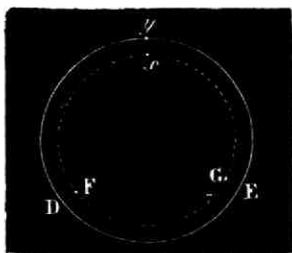


Fig. 134.

van volumen kan dus geen plaats hebben, zonder tevens eene

vermindering in den duur des sterredags te veroorzaken; en ter vereffening — 't behoeft nauwelijks gezegd — zou de rijzing der temperatuur, die de eerst in x gelegen molecule in y voert en deze molecule dwingt om voortaan, zonder vermeerdering van snelheid, den omtrek DEy , in plaats van den kleineren omtrek FGx , te doorloopen, juist daardoor den duur der omdraaiing vermeerderen. De regels en formules der werktuigkunde nu doen gemakkelijk berekenen, welk gevolg eene gegeven temperatuurs-verandering te weeg zou brengen op aardsche zelfstandigheden, wier gemiddelde lineaire (rechtlijnige) uitzetting, gelijk die van 't glas, bij voorbeeld, of van zekere steenen, voor elken thermometergraad gelijk zou zijn aan omtrent een honderd-duizendste deel van hare lengte.

Met deze voorwaarden van uitzetbaarheid bevindt men, dat $\frac{1}{100}$ seconde *minder* op den duur van eenen sterredag overeenkomt met slechts $\frac{1}{73}$ graad op de temperatuur (*). Sedert de vóór twee duizend jaar gedane waarnemingen van Hipparchus is de thermometrische toestand des Aardbols in zijn geheel alzo niet een honderd drie en zeventigste gedeelte van een graad veranderd. De plaatselijke veranderingen zelve zijn gevolgelijk, naar alle waarschijnlijkheid, bijzondere bijomstandigheden, die op de algemeenheid van 't verschijnsel geen afbreuk doen; en wat men er ook van moge zeggen, noch de rhinoceros, noch de olifant, die men omstreeks het einde der vorige eeuw volkomen goed bewaard heeft bedolven gevonden onder het ijs van Siberië, kunnen tegenover de bovenstaande wiskundige resultaten tot bewijs strekken, dat de Aarde sedert den dood dezer dieren van temperatuur is veranderd. Deze merkwaardige ontdekking — nemen we de gelegenheid waar om dit aan te merken — als zij

(*) De gelijkmatige omdraaiings-snelheid ω , welke de Aarde bezit, heeft tot analytische uitdrukking eene breuk van den vorm $\frac{\text{standv. grh. } K}{R^3}$, zijnde R de straal van den Equator der Aarde. Indien nu, als gevolg eener temperatuurs-verlaging t , R eene vermindering ondergaat gelijk aan $R\alpha t$ (zijnde α gelijk aan $\frac{1}{100000}$), dan wordt de snelheid ω' , die de Aardbol dan zal aannemen, uitgedrukt door

$$\frac{K}{(R-R\alpha t)^3} = \frac{K}{R^3} \frac{1}{(1-\alpha t)^3} = \frac{K}{R^3} (1+2\alpha t)$$

wegens de kleinte van αt , welker hogere machten mogen verwaarloosd worden.

Waaruit volgt: $\left(\frac{\omega' - \omega}{\omega}\right) = \frac{\frac{K}{R^3} (1+2\alpha t) - \frac{K}{R^3}}{\frac{K}{R^3}} = 2\alpha t$, en $\omega' - \omega = 2\alpha t \cdot \omega$

Zij $\omega = \frac{2\pi}{86400}$ seconden; $\omega' = \frac{2\pi}{x}$, er komt $\frac{\omega' - \omega}{\omega} = \frac{86400 - x}{x} = 2\alpha t$,

en gevolgelijk $x = \frac{86400s}{1+2\alpha t} = 86400 (1-2\alpha t)$.

Maakt $x = 86400s - \frac{1s}{100}$, $\alpha = \frac{1}{100000}$; gij zult vinden $t = \frac{40}{173}$.

beter op haren prijs wordt gesteld, bewijst zelfs niet, dat de poolgewesten uit een zeer hooge temperatuur zijn overgegaan tot de strenge koude, die er nu heerscht. De onder 't ijs bedolven groote zoogdieren waren toch bedekt met eene soort van pels, die hun wellicht vergund zou hebben op verren afstand te leven van de warme landen, waar anders doorgaans hunne soortverwanten wonen. Zij kunnen bovendien, gedurende eene hunner verre zomerreizen naar het Noorden, door een of anderen zondvloed overvallen zijn, waardoor zij op de plaats bedolven of met geweld tot naar de poolgewesten zijn vervoerd, terwijl zij, gedurende den tocht, in de uit den zondvloed geboren stroomen voor ontbinding bewaard werden door de sneeuw- of ijshoopen, die van de omgestorte bergen kwamen.

262. Waarschijnlijke temperaturen der Aarde vóór de historische tijden. — Men haaste zich echter niet met uit het voorafgaande het besluit op te maken, dat de aardwarmte ten allen tijde was wat zij heden is. De bijna sferische vorm van onzen Bol, die kennelijk uit een oorspronkelijken toestand van vloeibaarheid moet voortkomen; de verbazend groote varenkruiden, die men bedolven aantreft in de steenkoolbeddingen der noordelijke landen, en nog veel andere verschijnselen, die meer bijzonder, gelijk deze laatste, tot het gebied der Geologie behooren, alles schijnt integendeel te bewijzen, dat de temperaturen in de aller vroegste tijden veel hooger waren. Voegen we alleen hierbij, dat een beroemd meetkunstenaar van onze dagen, Poisson, in de hemelruimten zeer koude en andere zeer warme gewesten aannam, waarin de Zon en de haar verzellende Planeten beurtelings eeuwen lang vertoefden, zoodat zij er de temperaturen van aannamen. Aan haar langdurig verblijf in een dier brandende gewesten zou de aardkorst haar tegenwoordigen thermometrischen toestand ontleend hebben. Maar niets bewijst de waarheid van zulk een denkbeeld; en om niet de grenzen eener theorie, meer rechtstreeks op de waarneming gebouwd, te overschrijden, zeg ik ten slotte alleen, dat, volgens de nasporingen van Fourier, — zelfs in 't geval dat de toenemende verhooging van temperatuur, bij de bovenlagen des gronds waargenomen, voortging naar het middelpunt der Aarde, om daar op 30 000 of 40 000 meters diepte tot den witgloeienden toestand te stijgen — de invloed dier ontzettende warmte niet verder zou gaan dan dat de gemiddelde temperaturen, aan 's Aardbols oppervlak door de rechtstreeksche werking der Zon voortgebracht, met een *dertigste* graad zouden verhoogd worden.

Het inwendige van den Aardbol kan dus geheel en al afkoelen, gelijk zulks de haar omgevende korst heeft gedaan, zonder dat zijne bewoners iets te vreezen hebben van deze koudwording of bevrozing, die onder anderen Buffon aanleiding gaf zich over

de toekomst onzer Planeet bekommerd te maken, daar hij, met Mairan en Bailly, de warmte-hoeveelheden, die uit het binnenst des Aardbols door zijne omkorsting heen dringen, op 30 tot 400, volgens de seizoenen (zomer of winter), althans voor Frankrijk, stelde, waarbij dan de ons door de Zon toegezonden warmte als eenheid wordt beschouwd. *Een dertigste graad minder op de tegenwoordige temperaturen!* Ziedaar dan, waartoe zich, volgens de schrandere analysis van Fourier, de algemeene ramp zal bepalen, die den welsprekenden geschiedschrijver der *Époques de la Nature* zoo vervaard maakte, enkel wegens het in zijnen tijd heerschend gebrek aan genoegzame physico-mathematische kennis.

263. **Onregelmatigheden te weeg gebracht door zwermen Asteroïden, die rondom de Zon loopen.** — Alvorens wij het vraagstuk der aardsche temperaturen vaarwel zeggen, nog een woord over de onregelmatigheden of afwijkingen, waarvan wij in den aanvang dezer studie gewag maakten. De op verschillende plaatsen gedane waarnemingen, onder anderen die van Parijs, Berlijn, Toulouse, wijzen op merkelijke verkoeling in de eerste veertien dagen van Februari en Mei, op toeneming van warmte omstreeks het begin van Augustus en November. Van een anderen kant bespeurt men doorgaans, eenige dagen lang, omstreeks den 10den Augustus en den 15den November, een aantal dier lichtende meteoren, die men onder den naam van *vallende sterren* kent, en die somwijlen zoo menigvuldig zijn, dat een Sterrenkundige te Boston, op den 12den November 1833, er 650 in een kwartier uurs kon tellen. Men ziet ze ook, maar in veel kleiner getal, zes maanden na de bovengenoemde tijden, namelijk in de maanden Februari en Mei. Men heeft eindelijk nog op die vier tijden het vallen van stof en steenen waargenomen, die wel niet anders dan uit den Hemel schijnen te kunnen komen.

264. Bij eene zorgvuldige overweging dier verschijnselen, komen wij tot het denkbeeld, dat de Zon omgeven is door twee groote, eenigszins uitmiddelpuntige, naar den Æquator hellende ringen, ieder gevormd uit myriaden lichaampjes, achter welke de Aarde zich in Februari en Maart moet bevinden, terwijl zij daarentegen in de maanden Augustus en November tusschen die lichaampjes en de Zon zou heen loopen. De verzwakking van de warmtestralen der Zon door den tusschenstand van den ring, en wellicht ook, *voor de maand Mei*, de opslorping van een aanmerkelijk gedeelte der tot het smelten der sneeuw gebezigde atmosferische warmte zouden de waargenomen afkoelingen te weeg brengen. De terugkaatsing der warmte op de lichaampjes van den ring, wanneer de Aarde, ten gevolge van de uitmiddelpuntigheid hunner loopbanen, in Augustus en November tusschen hen en de Zon heen gaat, zou op hare beurt de rijzing der tem-

peratuur veroorzaken, eene rijzing, die doorgaans weinig wordt opgemerkt tijdens de groote warmte der Augustus-maand, maar die ten allen tijde, als een contrast met de eerste herfstkoude, is waargenomen in de maand November en met den naam van Sint-Maarten's-zomer is aangeduid.

265. **Vallende Sterren, veroorzaakt door de lichaampjes, die de onregelmatigheden in de warmte te weeg brengen.** — Wat de buitengewone verschijningen van vallende Sterren betreft — onder welke er eene was, die zulk een indruk op het menschengeslacht der middeleeuwen te weeg bracht, dat men van die zoogenaamde Sterren, met toespeling op den levend geroosterden St. Laurens, *brandende tranen* des heiligen mans maakte, wiens feest juist den 10den Augustus invalt — men wil dat zij ontstaan uit de ontvlaming der lichaampjes door de wrijving van onzen dampkring gedurende den schielijken voorbijgang dezer voorwerpen, die soms met eene verbazende snelheid zijn toegerust, met eene snelheid van 30 à 40 duizend meters in de seconde, en die, naar men meent, nu en dan op den grond vallen.

Daar voorts de omwentelingen der meteoren niet denzelfden duur hebben als de omwenteling der Aarde, en de meteorische lichaampjes ongelijk verdicht zijn in de verschillende gedeelten van den ring, zoo moeten de verschijnsels noodwendig van jaar tot jaar verschillen. Maar na een zeker getal omwentelingen, in een vol getal jaren volbracht, zullen die verschijnselen weer in dezelfde orde optreden als te voren.

266. **Toepassingen, die men voor de toekomst uit de bestudeering der vallende Sterren schijnt te mogen hopen.** — Indien het derhalve immer gelukken mocht de lengte en voornaamste bijzonderheden der periode te bepalen, zou men een nieuwe bron van nuttige toepassingen hebben aangewonnen. Wie toch ziet niet in, dat men, bij voorbeeld, door ieder jaar in de maand Mei eene opgave te doen van de kansen op langer of korter, strenger of slapper koud weer, als een gevolg van de dikte, de verdichting en de breedte van de verschillende deelen des rings, den landbouwer in de gelegenheid zou stellen om maatregelen te nemen tegen het ongunstig weer, dat de koude meestal verzelt? Zoodoende zou men hem ook het middel aan de hand doen om den vermoedelijk gunstigsten tijd waar te nemen ter inzameling van eenige voedergewassen, tusschen het tijdstip, waarop de Aarde vrij wordt van den invloed der asteroïden van Mei, en dat, waarop zij weer onder den invloed moet komen van een anderen ring, dien zij in Juni schijnt te ontmoeten.

Want als men nog oordeelt uit eenige merkwaardige verschijningen van vallende Sterren of vuurbollen, waardoor de laatst-

genoemde maand zich kenmerkt, en uit een stilstand in den rijzenden gang der temperaturen, evenals die in Mei plaats heeft, zoo komt men voor de maand Juni tot bovengemeld besluit, dat voor 't overige gewettigd wordt door andere verschijningen van lichtende meteoren, alsook door eene geringe temperatuurs-verhooging in December, juist wanneer de Aarde door de punten gaat, die lijnrecht staan tegenover die, waarin wij ons zes maanden vroeger bevonden. En daar wij hiermede van het vraagstuk der aard-temperaturen afscheid nemen, willen wij nog, ten einde niet meer op dit onderwerp te moeten terugkeeren, de opmerking maken, dat de maanden Januari en Juli, April en October, enz. op hare beurt, maar toch niet zoo kennelijk, bijzonderheden opleveren, overeenkomende met die, waarover wij thans gehandeld hebben. 't Is alsof wij hiermede zeiden, dat de Zon, aldus als gewikkeld in zwermen asteroiden, en uit de diepten der ruimte gezien, ongetwijfeld het voorkomen heeft van eene nevelster, rondom welke de temperatuurs-veranderingen zich moeten opdoen in verhouding met de achtereenvolgende standen der kleine lichamen, die ze te weeg brengen. Maar ik wil mij niet langer verdiepen in zulke geheimzinnige verschijnsels: ze zijn nog in te veel twijfeling gehuld. Hopen we niettemin, dat de toekomst van die verschijnsels partij zal weten te trekken, en dat hunne voornaamste wetten, naar welke wij thans te nauwernood kunnen gissen, eenmaal zullen bloot liggen voor de Sterrenkundigen, die met genoegzame volharding zijn toegerust om hunne studie, ondanks de daaraan verknochte ontmoedigende bezwaren, onafgebroken voort te zetten (*).

(*) Toen tegen 't einde van 1833 duizenden vallende Sterren zich aan 't uitspannel vertoonden, durfde een jong Sterrenkundige, naamgenoot van den onsterfelyken ontdekker der zwaartekracht, op grond van astronomische berekeningen voorspellen, dat 33 jaren later, op hetzelfde tijdstip hetzelfde verrukkelijke schouwspel zou optreden. „In den nacht van 13 Nov. 1866 — wij halen hier de woorden van J. A. B. in *de Tijdspiegel* van Jan. 1867 aan — was het oog van den voorspeller en van vele sterrenkundigen en beminnaars der natuur met hem naar den enigszins duisteren hemeltrans gericht. Te middernacht verdwijnt het wolkenfloers, en terwijl de noordelijke gezichteinder een helderen lichtgloed vertoont, verschijnen er weder ontelbare vuurbollen aan het luchtgewelf, die in hunnen val blinkende stralen achterlaten, in vonken uiteenspatten of plotseling worden uitgedoofd. Soms draaien zij om elkander in grooter en kleiner kringen, en beschrijven gloeiende spiralen in de lucht.”

Wel te recht mocht de Steller dezer regelen er bij voegen, dat de lauwer der wetenschap het hoofd moet versieren van den Sterrenkundige, die na 33 jaren zijne voorspelling in vervulling ziet overgaan, en dat voor altijd zijn naam met de vurige stralen der asteroiden aan den Hemel moet geschreven staan!

TWEEDE AFDEELING.

METEOROLOGISCHE VERSCHIJNSELEN.

Gebonden warmte der dampen en vochten. — Overmatige afwijkingen in de temperaturen, verhinderd door de werking der gebonden warmte. — Denkbeeld van de hoeveelheid warmte, die in den dampkring werkzaam is. — *Hygrometrie.* — Kunstkoude. — Gevolgen der uitstraling onder een helderen hemel. — Dauw en rijp of rijm. — Mist, wolken en regen. — Sneeuw en hagel. — Regen bij heldere lucht. — Regenmeters en hoeveelheden regenwater in de verschillende klimaten. — Hoeveelheden water, door de zware stortregens in 't Zuiden van Europa aangevoerd. — *Beschouwing van den bliksem.* — Natuurlijke of onzijdige electriciteit; positieve of glas-electriciteit, negatieve of hars-electriciteit. — Isoleerende of niet geleidende lichamen en geleidende lichamen of conductors. — Electriciteit der wolken. — Bliksemstralen en donderslagen. — Uitgestrektheid en afstand der onweerswolken. — Duur der bliksemstralen. — Terugslag. — Bliksemafleiders. — *Hoofdoorzaken der winden.* — Regelmatige winden. — Onregelmatige winden. — De aspiratie-winden planten zich voort in de omgekeerde richting van die waarin zij waaien; anders is 't gelegen met de zeldzamer impulsie-winden. — Snelheid der winden. — Zee- en land-, of dag- en nachtwinden. — Moussons of seizoenwinden. — *Luchtspiegeling.*

267. **Latente of gebondene warmte der dampen en vochten.** — De invloed der zonnewarmte doet niet alleen de temperaturen der Aarde afwisselen, maar zij brengt nog eene menigte andere verschijnselen te weeg, welker kennisneming van hoog belang is. Er is, bij voorbeeld, niemand of hij weet, dat de waterdamp, of, algemeener genomen, deze of gene damp tot zijne vorming een zeer aanzienlijke hoeveelheid warmte vereischt, en dat deze warmte, zonder van eenigen merkbaren invloed op den thermometer te zijn, zich vereenigt met of zich plaatst tusschen de moleculen van 't verdampte vocht. Dit is zelfs, om het in 't voorbijgaan te zeggen, het eenige geheim van 't verwarmen der baden, der vertrekken, enz. door middel van stoom, dewijl de *gebonden* warmte van den waterdamp *omtrent vijf en een half maal* (5,35) meer bedraagt dan zijne merkbare warmte; met andere woorden: dewijl de hoeveelheid warmte, vervat in een pond waterdamp op de temperatuur van 100 graden, het vermogen heeft, om bij den overgang van damp tot den vloeibaren staat en zonder dat het pond vocht iets verloren heeft van de temperatuur, die de damp bezat, vijf en een half pond (nauwkeuriger 5,35 pond) water, dat eerst op nul was, tot 100 graden te brengen en alzoo te doen koken.

Dergelijke verschijnsels doen zich ook op bij de vloeibaarwor-

ding of smelting der vaste lichamen. Zoo slorpt het ijs, om te smelten, eene hoeveelheid warmte op, die wordt voorgesteld door 79 graden van den thermometer; hetgeen wil zeggen dat gij, door een kilo ijs op de temperatuur van nul te vermengen met een pond water op de temperatuur van 79 graden, of met 79 kilo's water op de temperatuur van 1 graad, alsdan in beide gevallen, na de smelting van het ijs, een vloeibaar mengsel zult bekomen op de temperatuur van nul, welke het ijs voor zijne smelting bezat. Hieruit volgt klaarblijkelijk, dat het water, om van den vloeibaren tot den vasten staat over te gaan — wel te verstaan zonder zijne merkbare temperatuur boven nul in aanmerking te nemen — op zijne beurt de 79 graden gebonden warmte moet verliezen. De warmten verschillen tevens, gelijk men licht zal inzien, naar den aard der lichamen, die smelten of tot damp overgaan.

Na dit vooraf gezegd te hebben, willen wij voortgaan met de uiteenzetting der verschijnselen, die door de zonnwarmte te weeg gebracht worden.

268. **De overmatige afwijkingen der temperaturen, verhinderd door de werking der gebonden warmte.** — 't Is duidelijk, dat een aanzienlijk gedeelte dezer warmte, tot verdamping van het water gebezigd, bij zijn nedervallen op de zee, op de meren, op de rivieren, gebonden zal worden en daardoor het zijne zal toebrengen tot matiging der afwijkingen in de aardse temperaturen. Want wanneer op hare beurt de nachtelijke uitstraling, of wat oorzaak van afkoeling ook, eene te aanmerkelijke daling des thermometers zou willen te weeg brengen, zullen de aarde en lucht hare gebonden warmte ontleenen aan de dampen der atmosfeer, die dan tot den druipbaar vloeienden toestand overgaan en als dauw, regen, enz. neervallen zullen. 't Is waar, dit verschijnsel wordt voor ons menigmaal meer ingewikkeld, uit hoofde van de lage temperaturen, die uit de hoogere gewesten der lucht door den regen worden aangevoerd; maar het algemeene beginsel is niettemin, in zijn geheel genomen, ten volle waar; en de afkoeling, die wij doorgaans na regens, vooral des zomers, gewaarworden, maakt slechts eene geheel bijzondere omstandigheid van het vraagstuk uit.

269. **Denkbeeld van de hoeveelheid warmte, die in den dampkring werkzaam is.** — Voor 't overige vormt men zich zelden een begrip van de ontzettend groote hoeveelheid warmte, welke zich dus in den dampkring ophoudt, nu eens, om zoo te zeggen, aldaar als in een voorraadmazijn opeengehoopt, dan weder daaruit, als 't ware, met kwistige mildheid medegedeeld, om de hoogere te sterk afgekoelde lagen te verwarmen. Verlangt gij te dien opzichte een vluchtig, maar vrij nauwkeurig

denkbeeld. Neemt aan — wat niet verre van, of liever, wat ongetwijfeld beneden de waarheid blijft — dat al de regen samengenomen, die jaarlijks op het gansche oppervlak des Aardbols valt, rondom dezen eene laag van 50 centimeters dikte vormde, indien van den eenen kant de inzijging van 't vocht in den bodem, van den anderen de verdamping in de lucht, den grond niet op hare beurt na iederen regen opdroogden. Gij zult zonder moeite voor het volumen dezer laag, den gemiddelden straal des Aardbols gelijk aan 6 366 200 meters genomen, het getal 63 687 546 691 423 kubieke meters water vinden; zijnde dit per dag 175 000 000 000 kubieke meters, welke de verdamping aan de atmosfeer moet teruggeven; deelt gij nu het voorgaande getal door 86 400 (getal seconden in een dag), dan bekomt gij voor de gemiddelde hoeveelheid water, die onder den invloed der zonnwarmte *in elke seconde* tot damp overgaat, ruim *twee millioen vijf en twintig duizend* kubieke meters, dat is een weinig meer dan twee duizend millioen liters (of kannen) water.

Hebben wij iets op Aarde, dat zoodanige uitkomsten, ik zeg niet vermag voort te brengen, maar enkel aanschouwelijk kan maken? En toch is de vuurhaard, waaruit zij ontstaan, op 152 millioen kilometers afstand van ons. Welk een allervervaarlijkste gloed zou dan wel zijne onmiddellijke nabijheid te weeg brengen!

270. Hygrometrie of het meten van den vochtigheids-toestand der lucht. — Wij zouden ons onderwerp te buiten gaan, als wij hier in breede bijzonderheden betreffende de vochtigheid des dampkrings traden. Ik wil u dus alleen herinneren, dat de aanwezigheid van die vochtigheid op verschillende wijzen kan gestaafd worden, zooals door de vervloeiende of wegs meltende lichamen, die het opslorpen; door de geloogde haren, die onder haren invloed langer worden en daarentegen inkrimpen als de lucht droog is, enz., enz.; eindelijk door al de werktuigen, die men hygrometers, psychrometers (*) enz. heeft genoemd. Ik zal er bijvoegen, dat de verdamping op alle temperaturen plaats heeft, en dat de damp een gedeelte van zijne gebonden warmte ontleent aan de vloeistof zelve, van welke hij uitgaat. Hieruit vloeit als onmiddellijk gevolg de afkoeling dezer vloeistof voort, en derhalve ook die der lichamen, welke er mede in aanraking zijn.

271. Verwekking van kunstkoude. — Uit het voorgaande begrijpt men licht, dat het mogelijk moet zijn het water af te koelen, ja ijs te bekomen, ondanks de lauwheid der lucht, wanneer men slechts de verdamping in ondiepe maar wijde vaten gepaard doet gaan met de nachtelijke uitstraling *onder een helderen hemel*. Men gevoelt tevens, hoe de besproeiing en de haar ver-

(*) Van 't Grieksch *hygròs*, vochtig, *psychròs*, koud, *mètron*, maat.

gezellende verdamping, de aanwending van natte boomtakken, enz. den dampkring koel en frisch kunnen maken en de warmte matigen. Deze verschijnsels staan in nauw verband met de eigenschappen van den damp, die wij boven opnoemden. Ik behoef dus in geenen deele mij op te houden bij de verklaring der bijzonderheden, die zij opleveren.

272. **Gevolgen der uitstraling onder een helderen hemel.** — Er is echter ééne omstandigheid, die onze aandacht verdient bezig te houden. Ik heb gesproken van de uitstraling *onder een helderen hemel*: waartoe die beperking? De proefneming zal ons antwoord geven. Maar, vreemde zaak! te dezen opzichte, gelijk trouwens bij veel andere natuurverschijnsels, was de practijk sinds lang de wetenschap vooruitgelopen. Zet twee thermometers des nachts in de lucht en laat den eenen onverhindert naar den hemel uitstralen, terwijl de andere, van boven door een scherm gedekt, alleen in de horizontale richtingen uitstralen kan. Gij zult, als de lucht helder is, den eersten 5, 6, ja tot 8 graden beneden den tweeden zien dalen; bij betrokken lucht daarentegen zullen zij beide ongeveer dezelfde temperatuur behouden. In dit laatste geval doen alzoo de wolken den dienst van een scherm, en zenden den niet gedekten thermometer de warmte terug, die ze van hem ontvangen hebben.

273. **Dauw en rijp of rijm.** — Dat is de reden waarom de tuiniers, zonder zich zelve rekenschap van 't verschijnsel te geven en lang vóór Dr. Wels daarvan door de gezegde proef den sleutel had geleverd, eene lichte teenen horde boven de jonge gewassen plaatsten, om deze te beschutten, als zij zeiden, tegen 't geen de Franschen *Lune rousse*, *rosse Maan* (*) noemen; maar inderdaad om de planten voor de vorst te vrijwaren tegen 't begin der lente, wanneer de groei-kracht begint te herleven, alsook gedurende de heldere nachten, wier temperatuur nog maar eene geringe hoogte heeft. Dat is ook de reden, waarom de *dauw* zich afzet op de lichamen, die door de uitstraling zijn afgekoeld. Ziedaar, eindelijk, waarom de *rijm* of *rijp*, die uit het geheel of gedeeltelijk bevrozen van den dauw voortkomt, ontstaan kan zelfs in eenen dampkring, in welken de thermometer verscheidene graden boven nul staat.

274. **Mist, wolken en regen; sneeuw, hagel.** — De *mist* of *nevel*, de *wolken* en de *regen* zijn op hunne beurt niets dan 't gevolg eener afkoeling van de lucht, die opgelosten waterdamp

(*) Eene toespeling op de *rosse* of geelroode kleur, die de bladeren en knoppen aannemen, welker cellen verbroken zijn door 't bevrozen der vochten, die bij 't kristalliseeren, gelijk men weet, in volumen toenemen. Daar deze uitwerking alleen dan plaats heeft, althans op vrij krachtige wijze, wanneer de lucht helder is, dat is wanneer men de *Maan* kan zien, was het zeer natuurlijk, dat de landbouwers ze toeschreven aan den na-deeligen invloed van dit hemellichaam.

bevat. Indien deze afkoeling van weinig beteekenis is, neemt de damp eene soort van middeltoestand aan tusschen dien van onzichtbaren damp en vloeibaar water, een toestand, dien men *vesiculair* of blaasjesvormig heet, en die bestaat in de vorming van kleine holle bolletjes, die lucht bevatten. Is de afkoeling daarentegen zeer aanmerkelijk, dan houdt de vesiculaire toestand op en er ontstaat regen. Wordt de koude in de hoogere gewesten nog sterker, dan kan de regen onder 't vallen bevrozen, en gij zult dan *sneeuw* krijgen. Gij zult zelfs *hagel* bekomen, als de kleine sneeuwkrystallen in atmosferische hoozen hebben rondgedwarreld, zoodat zij in omvang toenemen, hetzij door zich aaneen te zetten, hetzij door rondom zich een zeker aantal vochtlagen te doen bevrozen.

275. **Regen bij heldere lucht.** — Het samentreffen van zeer vochtige massa's vochtige lucht, die door tegenovergestelde winden worden voortgedreven, doet mengsels ontstaan, wier temperatuur in ligt tusschen de temperaturen van elke dier vermengde massa's. Daaruit volgt schier altijd het nederslaan van eene zekere hoeveelheid damp in druijbaar vloeibaren staat. Men begrijpt dus, dat het somwijlen kan regenen onder een helderen hemel en zonder dat de damp vooraf door den vesiculair toestand heen gaat. Dit leert werkelijk de ervaring; maar het verschijnsel komt weinig voor (in onze klimaten bespeurt men 't op zijn hoogst twee- of driemaal 's jaars); in den regel gaan de wolken den regen vooraf.

276. **Regenmeters en hoeveelheden regenwater in de verschillende klimaten.** — In 't algemeen nemen de hoeveelheden regenwater toe naargelang men den *Æquator* nadert, hoewel 't er tevens veel op aankomt of eene plaats al of niet een vastelandsklimaat heeft. Te Parijs bereiken ze jaarlijks ruim een halven meter (in hoogte); te Toulouse zeer nabij 6 decimeters; te Amsterdam en te Londen meer dan 6½ decimeter; te Dover en te Genua ongeveer 12 decim.; te Rome bijna 7 decim.; te Lissabon meer dan 7½ decim., enz. Onder de keerkringen, waar 't getal regendagen niet groot is, maar de onweersregens ontzettend veel water aanvoeren, gebeurt het niet zelden, dat de gevallen regenhoeveelheden meer dan 2 meters, te Guadeloupe en te Mahabuleswar (bij Bombay) zelfs 7 tot 8 meters in 't jaar bedragen. Voor 't overige kan men die hoeveelheden gemakkelijk te weten komen met behulp van een cilindrischen toestel (A) (fig. 135),

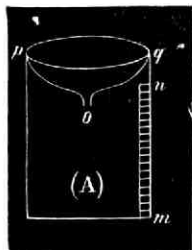


Fig. 135.

regometer genaamd, die eene in graden verdeelde schaal *mn* heeft, waarin de regen valt door de opening *o* van den trechter *poq*.

277. Hoeveelheden water, door de zware stortregens in 't Zuiden van Europa aangevoerd. — De 6 decimeters jaarlijksch regenwater te Toulouse, verdeeld over de 100 regendagen, die men doorgaans onder 't klimaat dier stad heeft, geven eene gemiddelde hoeveelheid van 6 millimeters per regendag. Maar deze gemiddelde hoeveelheid geeft in geen deele een denkbeeld van de uiterste getallen; want ik zag den 19den September 1844, te Toulouse, gedurende een onweder, 35 millimeters water in een half uur, zeggen we ruim één mm. in de minuut, vallen. Dit is de zwaarste regen, waarvan ik voor onze klimaten kennis draag. Evenwel haalt men eenige andere aan, die, zonder betrekkelijk zóó overvloedig te wezen, in hunne bijeengenomen resultaten veel merkwaardigs opleverden; zoo, bij voorbeeld, die, welke in 24 uren over de stad Joyeuse 250 mm. water uitstortte; die, welke in dezelfde tijdruimte (24 uren) 810 mm. over Genua, 160 mm. over Geneve, 115 mm. over Brussel uitgoten, enz. Nog kan ik voor Toulouse aanhalen de regens van 23 April 1841 en van 25 Maart 1844, welke in drie uren de eene 38, de andere 40 mm. water gaven; die van 8 Juni 1848, die 49 mm. in 5 uren opleverden; die van 6 September 1848, 19 mm. in 30 minuten; die van 10 Augustus 1854, 21 mm. in drie kwartier uurs; die van 10 Aug. 1859, 52 mm. in twee achtereenvolgende onweders ieder van omtrent 40 minuten, enz.

Wanneer wij denken aan de ijzing, die ons bevangt bij den aanblik van eenen afgrond, mag men zich afvragen, waarom wij niet vervaard zijn als wij het oog slaan op de boven onze hoofden hangende ontzettende hoeveelheden water, hoeveelheden die, gelijk de regen van Toulouse in 1844, in staat zijn om op de oppervlakte van een bunder *drie duizend* hectoliters (of vaten) water in 30 minuten uit te storten, of, gelijk die van Genua, *een en tachtig duizend* hectoliters in 24 uren.

278. Beschouwing van den Bliksem. — De uitwerkselen der verdamping zijn overigens niet beperkt tot de resultaten, waarvan wij daar spraken; want wanneer de damp zich vormt ten koste der zoute wateren (en de zoodanige zijn de wateren der zeeën, meren, riviermonden), dan wordt hij met electriciteit beladen, en deze laatste wordt de bron dier onweders, welke somwijlen zoo vernielend in hunne werking zijn. Door welke aaneenschakeling van verschijnselen geeft de vochtigheid der lucht het aanzijn aan den bliksem? Eenige woorden zullen voldoende zijn om dit voor u in 't licht te stellen.

279. Natuurlijke of onzijdige electriciteit; positieve of glas-electriciteit negatieve of hars-electriciteit. — **Isolators en conductors.** — 't Is vrij algemeen bekend, dat de natuurlijke of onzijdige electriciteit beschouwd kan worden als te

ontstaan uit de vereeniging der bij onbepaalde hoeveelheden saamgehoopte electriciteiten in de verschillende zelfstandigheden, waarin zij elkander neutraliseeren of veronzijdigen door zich te verbinden. Ieder uwer weet ook, dat men de eene dezer electriciteiten *positieve* of *glas-electriciteit*, de andere *negatieve* of *hars-electriciteit* heeft geheeten; de toenamen *glas* en *hars* zijn haar gegeven, omdat de eerste electricische verschijnselen opgewekt zijn door wrijving op glas en op hars. 't Is u, eindelijk, ook bekend, dat de electriciteiten van denzelfden naam elkander afstooten; dat die van verschillende namen elkander aantrekken; dat al de verschillende lichamen twee groote klassen uitmaken: die der *isoleerende* of *slecht geleidende lichamen*, ook *isolators* of *niet-geleiders* geheeten, zooals glas, hars, barnsteen, enz., die de electricische vloeistof, welke men haar aanvoert, bij zich houden; en die der *geleidende lichamen*, *geleiders* of *conductors*, zooals de metalen, de vochten, enz., enz., welke de hun medegedeelde vloeistof daarentegen laten wegstroomen in de aarde (*), beschouwd als het *algemeen reservoir* van al de electriciteiten.

280. **Electriciteit der wolken.** — Merkt nu op, dat de electriciteit, waarmede de damp zich belaaft, positieve electriciteit is, terwijl de negatieve electriciteit — ontstaan, evenals die welke de damp met zich voert, uit de ontbonden natuurlijke electriciteit — in het water waaruit de damp voortkomt overblijft en naar het algemeen reservoir overgaat. Daar nu de waterblaasjes aan de vochtige lucht een geleidend vermogen mededeelen, dat de droge lucht geenszins bezit, zoo zal al de electriciteit, behorende tot den damp, die eene wolk vormt, zich op de buitenste oppervlakte van die wolk begeven; en aangezien bij helder weder de hoeveelheid positieve electriciteit van den dampkring vermeerderd met de hoogte, zullen de bovenste wolken, op het oogenblik van haar ontstaan, meer *positief* geëlectriseerd zijn dan de benedenwolken. Doch daar de eerste weldra, door den invloed der vloeistof, die zij in overmaat bevatten, de natuurlijke electriciteit der tweede ontbinden, zullen zij uit deze laatste de negatieve electriciteit naarboven trekken en de positieve electriciteit neerwaarts drijven, alwaar deze zich allengs in de lucht zal verliezen.

Bliksemstralen en donderslagen. — Ziedaar dus tegenover elkander twee wolken, beladen met electriciteiten van verschillende naam. De geringste oorzaak zal toereikend zijn om dien staat van onstandvastig evenwicht te verbreken, in welk geval de vereeniging der beide electriciteiten zal plaats grijpen, meestal onder voortbrenging van lucht en geluid, dat is te zeggen met bliksemstralen en donderslagen.

(*) Tenware zij van de aarde of den grond door een of ander isoleerend lichaam gescheiden mochten wezen.

281. Uitgestrektheid en afstand der onweerswolken. —

Daar het geluid ongeveer 337 meters per seconde in de lucht doorloopt, terwijl het licht zich met eene om zoo te zeggen oneindige snelheid beweegt, zal men den afstand van 't onweer kunnen bepalen uit het getal seconden, die er tusschen 't verschijnen van 't bliksemlicht en 't geluid des donders verloop, door 337 meters met dit getal te vermenigvuldigen. Men moet hierbij slechts in 't oog houden, dat de verschillende punten van een bliksemstraal in geenen deele even ver van den waarnemer verwijderd zijn; want de stralen, en gevolgelijk ook de onweerswolken, zijn menigmaal verscheidene mijlen lang. Ik heb er, bij voorbeeld, te Toulouse, vaak gemeten van 12 tot 13 kilometers lengte. Wat hunnen duur betreft, Weatstone heeft door middel van snel ronddraaiende witte schijven, met zwarte sectoren beschilderd, aangetoond, dat hij uiterst kort is en in 't algemeen minder dan het *duizendste deel* eener seconde bedraagt.

282. Zoolang eene onweerswolk nog electriciteit op hare binnenste oppervlakte bezit, ontbindt zij de natuurlijke electriciteit der beneden haar gelegen lichamen, trekt de electriciteit van een anderen naam dan de hare naar boven en stoot de met haar gelijknamige naar omlaag. Maar wanneer zij zich ontlast op een andere wolk of op den grond, zullen de beide door haar gescheiden electriciteiten in de onder haren invloed staande lichamen zich weder zoeken te vereenigen, en haar snelle vaart zal van die lichamen de zoodanige kunnen verbrijzelen, wier geleidend vermogen niet toereikend is om de electricische vloeistof gemakkelijk te doen voortvloeien.

283. **Terugslag. — Bliksemafleiders.** — Het verschijnsel, dat den naam van *terugslag* draagt, ontstaat vaak op een grooten afstand van het punt, waar de losbarsting heeft plaats gehad. Nogtans hebben de geduchtste uitwerkselen des bliksems gemeenlijk plaats bij de ontladingen tusschen de onweerswolken en de voorwerpen op de aarde. Men weet hoe alvernielend die uitwerkselen menigmaal zijn. Gelukkig kunnen wij ze sedert de schitterende uitvinding, die Franklin's naam vereeuwigd heeft, gemakkelijk te niet doen, althans de gebouwen, schepen, enz. er voor beveiligen, door middel van den *bliksemafleider*, eene lange metalen stang, welker voet diep in den grond of in een put staat en van boven uitloopt in een zeer scherpe punt, eenige meters boven de gebouwen, die men wenscht te beveiligen.

284. Niets zoo vernuftig, zoo schrander bedacht dan deze bewonderenswaardige toestel, die voortdurend, door zijnen *conductor* of geleider, uit de natuurlijke electriciteit van 't algemeene *reservoir* de electriciteit van een anderen naam dan die der wolken put, om haar, met zijne doorgaans vergulde of geplatineerde

punt, uit te storten op de andersnamige electriciteit, ten einde de uitwerkselen dezer laatste op te heffen of te neutraliseeren, terwijl die toestel tevens begaafd is met een beschermend vermogen, dat zich horizontaal rondom de stang uitstrekt tot op een afstand, die ongeveer het dubbele bedraagt van de hoogte der stang. Het moet daarom eenige bevreemding baren, dat het gebruik van den bliksemafleider nog zoo beperkt is, en zulks te meer, daar het tegenwoordig vrij algemeen bekend is, dat de afleider, evenals de brandspuit, die hare waterstreamen met snelle stralen in den vuurgloed werpt, den bliksem *geenszins aantrekt*, maar integendeel op dezen de vloeistof uitschiet, die hem moet uitdooven.

285. **Hoofdoorzaken der winden. — Regelmatige winden.** — Ik wil de beschouwing van den invloed der zonnewarmte niet vaarwel zeggen, zonder nog te gewagen van eenige verschijnselen, die uit meer dan één oogpunt onze aandacht verdienen te boeien. Onder de Keerkringen, waar de bodem sterker verwarmd wordt dan op de andere punten des Aardbols, is ook de dampkring natuurlijkerwijze warmer en bijgevolg ook ijler. Hij moet dus van boven eene uitzetting O (fig. 136) vormen, die zich

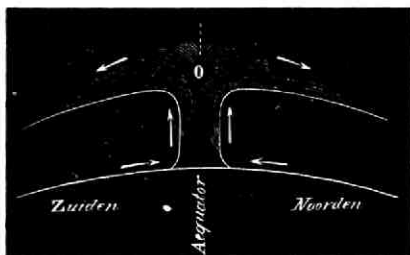


Fig. 136.

aan beide zijden, noord- en zuidwaarts wil mededeelen, waaruit een dubbele bovenstrooming ontstaat, voortdurend onderhouden door 't opstijgen der lagen, die de zonnewarmte heeft uitgezet. Deze lagen moeten noodwendig, onder de drukking van den bovenstroom, op hare beurt vervangen worden door uit het Zuiden en Noorden komende luchtmassa's; hieruit wordt eene voortdurende beweging, eene soort van aanhoudenden omloop geboren, waarvan de uitwerking zich openbaart door regelmatige winden, aan weerszijden van den Aequator, waaraan wij den naam van *passaatwinden* of *passaten* geven.

Indien de Aarde onbewegelijk ware, dan zouden, gelijk ik zoo even zeide, de passaatwinden in de hoogere streken des dampkrings naar het Zuiden en het Noorden, in de lagere streken daarentegen uit het Noorden en het Zuiden waaien. Maar de omdraaiing der Aarde om hare as, welke wezenlijk bestaan ons later zal blijken, maakt het verschijnsel der passaten tot eene samengestelde beweging. De luchtlagen uit hooge breedten of

uit de parallellen aa' , bb' (fig. 137) komende, om zich naar den $\text{\AE}quator$ EE' te begeven, hebben toch, wanneer zij zich in de richting der Meridianen beginnen te bewegen, slechts eene snelheid (van 't Westen naar 't Oosten), gelijk

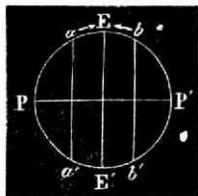


Fig. 137.

aan die der verschillende punten van aa' en bb' , en alzoo minder dan de snelheid der punten, gelegen op de achtereenvolgende en steeds grootere parallellen, die zij doortrekken. Zij verkrijgen dus eerst van lieverlede, door hare wrijving tegen den grond, die ze in zijne ronddraaiende beweging wil medevoeren, de eindsnelheid, waarmede zij moeten aangedaan zijn bij 't bereiken van den $\text{\AE}quator$;

en gevolgelyk stuiten de op haren weg gelegen bewoners der Aarde, tusschen aa' en bb' , tegen haar aan in de richting van 't Westen naar 't Oosten, met eene overmaat van snelheid, die voor gezegde bewoners klaarblykelyk gelijk staat met een van 't Oosten naar 't Westen gerichte stoot of aan een uit het Oosten waijenden wind.

Verbindt nu den *Oostenwind* met de richtingen der uit het Noorden en Zuiden naar den $\text{\AE}quator$ loopende luchtstroomen, en gij zult ten slotte een *Noordoostenwind* voor 't noordelyk halfrondder Aarde, een *Zuidoostenwind* voor 't zuidelyk halfrondder Aarde, een *Zuidwestenwind* voor 't noordelyk halfrondder Aarde, en een *Noordwestenwind* voor 't zuidelyk halfrondder Aarde, bekomen. Alleen moet gij, om het verschijnsel in zijn geheel te ontleden, in aanmerking nemen, dat de bovenstroom, die zich van den $\text{\AE}quator$ naar de Polen richt, noodwendig omgekeerde uitwerkingen heeft; want hier behoort de overmaat van snelheid aan de van den $\text{\AE}quator$ uitgegane lucht; en wanneer die lucht, zich allengs vermengende met de atmosferische lagen, eindelijk aan de oppervlakte des bodems komt, raakt hij daar de bewoners van den eenen kant in de richting van 't Westen naar 't Oosten, aan den anderen kant in de richtingen, die van den $\text{\AE}quator$ naar 't Noorden of naar 't Zuiden gaan. Hieruit volgen, van zekere breedten af gerekend, voor 't noordelyk halfrondder Aarde de *Zuidwestenwinden*, die men er waarneemt, en de *Noordoostenwinden*, die men insgelijks op het zuidelyk halfrondder Aarde ontwaart.

286. — De bovenstroom heeft een zekeren tijd noodig, alvorens hij tot aan 't oppervlak der Aarde gedaald is. De hoogere punten gevoelen dan ook zijne werking eerder dan de met hen op denzelfden parallel gelegene lagere streken. Dit heeft, bij voorbeeld, plaats met de kruin en de gemiddelde hoogte van den Piek van Tereniffe, waar doorgaans een *Zuidwestenwind* heerscht, terwijl dezelfde wind zich niet dan toevalligerwijze aan den voet van den piek doet voelen. Maar hoogerop, te Toulouse, te Parijs, enz. is de strooming geheel en al tot den grond genaderd, en

vandaar de *Zuidwesten*, *Westen*- en *Noordwestenwinden* (*), die men er zoo vaak aantreft, maar die men er nog veel vaker of, liever, onafgebroken zou voelen, als toevallige oorzaken niet menigmaal hunne regelmatigheid kwamen storen.

287. **Onregelmatige winden.** — Immers laat de grond van eene zekere uitgestrektheid lands plotseling verwarmd worden, hetzij omdat de hem eerst overdekkende wolken zich verstrooid hebben, hetzij wegens een andere oorzaak, dan zal de met hem in aanraking zijnde lucht op hare beurt warm worden, zich uitzetten en opstijgen, om vervangen te worden door luchtmassa's, die van weerszijden toevloeien. Vandaar winden van verschillende richtingen in de streken, gelegen rondom het middelpunt van aspiratie (zuiging of trekking). Voor de eene plaats zal de stroom uit het Noorden, voor eene andere uit het Zuiden, uit het Oosten, uit het Westen, enz. komen. Deze bewegingen zullen bovendien in verband treden met de omdraaiingsbeweging des Aardbols en op die wijze vrij samengestelde uitwerkselen hebben, waaraan men den naam van *onregelmatige winden* geeft.

288. **De aspiratie-winden planten zich voort in de omgekeerde richting van de streek waarheen zij waaien.** — Weet nog daarbij — alhoewel zulk een resultaat bij den eersten opslag wonderspreukig moge luiden — dat de dus door aspiratie veroorzaakte winden zich voortplanten in de omgekeerde richting van de streek waarheen zij waaien; ik bedoel, dat een Zuidenwind, bij voorbeeld, een wind die van A naar B (fig. 138) schijnt



Fig. 134.

te gaan, zich vroeger doet voelen ten Noorden van het punt A dan op het punt A zelve. Bij een weinig nadenken zult gij licht bevroeden, dat dit

niet anders wezen kan, omdat nu het middelpunt van aspiratie C klaarblijkelijk ten Noorden van het punt A ligt, en de eerste luchtmassa's, die in beweging geraken ter aanvulling van het ledige, dat er door 't opstijgen van de uitgezette atmosferische kolom C is ontstaan, zijn die, welke het dichtst bij dat ledige zijn gelegen. Daarna ontstaan andere ledige ruimten en worden voor en na aangevuld van C naar A, terwijl de dampkring nog

(*) Wanneer de hoogere tegenstroomingen op den grond aankomen, willen zij zich met de beneden-stroommen vermengen; maar zij behouden over 't algemeen, naar alle waarschijnlijkheid, op deze nog eene meerdere snelheid van 't Westen naar 't Oosten, omdat de wrijvingen der eerste tegen de atmosfeer van minder kracht moeten wezen om de grootere equatoriale snelheid te doen verloren gaan, dan de wrijvingen der tweede tegen den grond zijn om de polaire snelheden te vermeerderen. Van daar ongetwijfeld dat bijna standvastig streven naar *Westenwinden* op de breedten, waar de invloed der equatoriale stroommen zich kan doen voelen. Doch daar de *westelijke* richting in verband komt met de tegenovergestelde, die de equatoriale en polaire stroommen volgens den loop der meridianen hebben, zoo moet zij *Zuidwesten*- of *Noordwesten*-winden opleveren, naar gelang van den stroom, die in het mengsel de overhand heeft.

in rust is op het punt A, wanneer er in B reeds sinds geruimen tijd beweging is ontstaan.

Anders is 't gelegen met de zeldzamer impulsie-winden. — De bewoners van B zullen alzoo den *Zuidenwind* BC gevoeld hebben vóór die van A. Maar anders zou 't gelegen zijn met een impulsie-wind, met een zoodanigen namelijk, die wordt voortgebracht door overlading in de hoogere dampkringslagen. Dit geval komt echter veel zeldzamer voor, en in den regel moeten de eenigszins sterke winden aspiratie-winden zijn.

289. Snelheid der verschillende winden. — De snelheid der verschillende winden loopt zeer uiteen. Men begint een zacht geblaas, een zoogenaamd *luchtje* of *zuchtje* te voelen, als die snelheid een halven tot een heelen meter in de seconde bedraagt; 5 a 6 meters snelheid geven een vrij sterken wind, een *stijve koelte*; 20 meters een zeer sterken wind; 25 meters eenen *storm*; 40 a 45 meters een oorkaan, die boomen ontwortelt, gebouwen omverwerpt, enz.

290. Zee- en landwinden of dag- en nachtwinden. — Men moet bovendien in aanmerking nemen, dat de bergketens, de bosschen, de groote oneffenheden der bodems, enz. de richting en intensiteit der winden merkelyk wijzigen. De nabijheid der zeeën, bij voorbeeld, brengt bij dag en bij nacht tegenovergestelde werkingen voort. Want de grond, die reeds van 's morgens af onder den invloed der Zon sterker verwarmd wordt dan de daarbij gelegen wateren, zet de op hem rustende dampkringskolom uit, en vandaar die *zee- of ochtendwinden*, die den dampkring des daags verfrisschen; terwijl daarentegen omstreeks den avond, wanneer de uitstraling de temperatuur der kusten heeft doen dalen beneden die der zee, de beweging in omgekeerden zin plaats heeft en den *land- of nachtwind* te weeg brengt, die op den eersten na eenige uren stilte volgt, en die voor 't overige, evenals gene, door een sterken wind onmerkbaar kan worden.

291. Moussons of seizoenwinden. — Nemen we thans het verschijnsel in ruimeren zin. Beschouwen we, niet den dag en nacht, maar den winter en zomer der beide halfronden, dat wil zeggen, eene soort van equivalent, voor 't geheel des Aardbols, van 't geen de dag en nacht voor eene bepaalde plaats vertegenwoordigen. Gij zult dan seizoenwinden hebben, *moussons* (van 't arabisch woord *mausin*, jaargetijde), die zes maanden achtereen in ééne richting waaien, en dan weder zes maanden in eene omgekeerde richting, gaande steeds van 't afkoelend naar 't warm wordend halfrond, terwijl zij hunnen invloed tot op zeer veel grooter afstanden doen voelen dan de dag- en nachtwinden, die men niet op groote afstanden van de kusten bespeurt. Een dier moussons, die der *lente* voor ons bewoners van Europa,

begint in April; de andere, de *herfst-mousson*, vangt in October aan. En de overgangen van den eenen mousson tot den anderen zijn, helaas! maar al te vaak gevaarrend of noodlottig voor de zeelieden, wegens de daarmede gepaard gaande stormen, uit de worsteling der tegenstrijdige winden geboren, of wegens de voor zeilschepen zoo benauwende windstilten.

292. **Luchtspiegeling.** — Somwijlen doet de verwarming des gronds, in plaats van winden te verwekken, een verschijnsel ontstaan, dat tijdens den krijgstoct der Franschen in Egypte menigmaal op een pijnlijk zinsbedrog, op een allersmartelijkste teleurstelling te staan kwam, en waarvan Mongo de verklaring gaf. Dit verschijnsel, hetwelk de koran met het woord *serab*, spiegeling, aanduidt, doet zich somwijlen ook in onze klimaten voor, maar is veel algemeener in de uitgestrekte vlakten van Azië en Afrika. Men ontwaart het bij stil weder, wanneer twee genoegzaam in dichtheid verschillende luchtlagen met elkander in aanraking zijn. De voorwerpen worden dan teruggekaatst

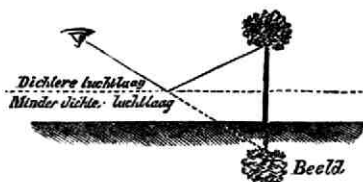


Fig. 139.

door de minst dichte laag, gelijk zij zulks door een zeer grooten spiegel gedaan zouden worden. Rust nu de laatstgenoemde laag, zooals dat in Egypte dikwijls gebeurt, onmiddellijk op den sterk verhitte grond, dan zult gij de dorpen, oasen, boomtoppen, enz. zich in 't water zien weerkansen (fig. 139). Is daarentegen de lichtste luchtlaag boven de dichtste gelegen (fig. 140) — en dit gebeurt vaak op zee — dan zal uw oog,

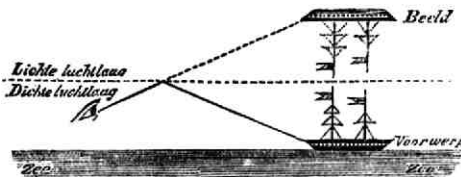


Fig. 140.

in de laatstgenoemde laag geplaatst, de beelden omgekeerd boven de voorwerpen zelve bespeuren. Is eindelijk het schei-

dingsvlak der beide lagen verticaal (fig. 141), zoo zult gij de beelden recht zien door de weerkaatsing, die van ter zijde plaats heeft.

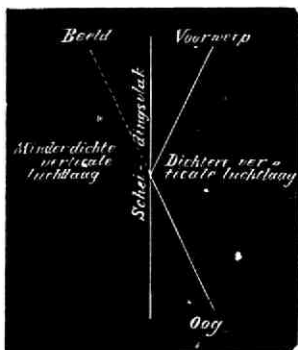
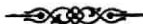


Fig. 141.

293. Er zijn nog eenige verschijnsels, zooals het noorderlicht, de veranderingen van het aardmagnetismus, de dagelijksche en maandelijksche veranderingen des barometers, enz., die in verband met de zonnearmte schijnen te staan. Er zijn nog andere, de regenboog, de kringen om zon en maan, de bijzonnen, enz., die, ofschoon zij inzonderheid uitwerkselen van 't licht zijn, nogtans evenals de eerstgenoemde met de aanwezigheid der

Zon samenhangen, en uit dat oogpunt hier uiteengezet konden worden; maar te lange uitweidingen zouden mij buiten de grenzen voeren, die ik mij zelven heb moeten voorschrijven. Ik ga dus nu over tot de behandeling van hetgene wij van de physische gesteldheid der Zon weten (*).

(*) Wie aangaande de onderwerpen dezer Les, hier niet dan vluchtig besproken, omdat zij meer bijzonder behooren tot dat gedeelte der physica, hetwelk men *meteorologie* heet, een meer uiteengezet en alleszins voldoende onderricht verlangt, kunnen wij o. a. verwijzen naar het *Leerboek der proefondervindelijke en toegepaste Natuurkunde*, volgens het Fransch van GANOT, tweeden druk, en naar de *Eerste grondbeginselen der Natuurkunde*, door P. VAN DER BURG, vierden druk, beide uitgegeven bij G. B. van Goor, te Gouda.



TWAALFDE LES.

Physische gesteldheid der Zon.

Voorloopige kundigheden. — Dubbele refractie. — Natuurlijk licht en gepolariseerd licht. — Polarisatie-vlak. — Gekleurde polarisatie. — Mengsels van gepolariseerd en natuurlijk licht. — Polariscoop en polarimeter. — *Oppervlakte der Zon.* — Zonnellittekens, zonnefakkels en zonnevlekken. — De altijd identische gang der zonnevlekken bewijst, dat zij tot de lichtende oppervlakte zelve behooren. — Duur van de wenteling der Zon om zich zelve. — Afmetingen der vlekken; haar voorkomen. — *Theorie van Herschel.* — *Bevestigende proeven van Arago.* — Kenmerkende eigenschappen van het licht, dat van gloeiende zelfstandigheden in den vasten, druijbaar vloeïenden of gasvormigen toestand uitgaat. — Het historische van de ontdekking der zonnevlekken. — Verklaring der zonnellittekens en zonnefakkels door Arago. — *Dampkring op het lichtomhulsel der Zon.* — Proeven van Secchi betreffende de temperaturen van de verschillende punten der zons-atmosfeer. — Verschijnselen, die men aan de zonnevlekken toeschrijft. — Zodiakaal licht. — *Is de Zon bevoonbaar?* — Proeven van Boutigny op de vochten in den sferoidalen staat. — Noot over de *theorie der parallaxen.* — Parallaxen van hoogte, uurhoek, lengte en breedte. — Proefondervindelijke bepalingen door de parallaxen van hoogte, door die van rechte opklimming en van poolsafstand. — Parallaxen der Zon en der Planeten, afgeleid van die van Mars of van Venus. — Parallax der Maan. — *Jaarlijkse parallaxen*; formules, die haren invloed in *rechte opklimming*, in *declinatie*, in *lengte* en in *breedte* uitdrukken. — Toepassing dezer formules op de keus van den te volgen gang bij de waarneming.

294. **Voorloopige kundigheden.** — Men meende nog algemeen in den aanvang der 19de eeuw (*), dat de Zon eene vaste massa of eene gloeiend heete vloeistof is, toen Arago op het denkbeeld kwam de verschijnselen der gekleurde polarisatie, door hem kortelings ontdekt, toe te passen op de studie van de physische gesteldheid der hemellichamen. Nadat hij de eigenschappen van het licht, dat ons uit bronnen van verschillenden aard wordt toegezonden, onderzocht had, ontdekte de voortreffelijke Natuurkenner, met behulp van zijnen polariscoop, dat de vaste lichamen en de gloeiende vochten, bij schuinse invalling, *gepolariseerde* stralen schieten, terwijl de gasvormige vlammen daarentegen nimmer een ander dan *natuurlijk* licht afgeven; en daar de Zon, hetzij men haar bij haar middelpunt, hetzij aan hare randen waarneemt, steeds *gewoon* licht geeft, zoo schijnt men, bij 't samenvatten der resultaten, opgeleverd door een zeker getal vaste lichamen, vochten en gassen, het besluit te mo-

(*) Herschel en eenige andere Sterrenkundigen hadden echter reeds op dezen tijd de inzichten geëit, met welke men zich tegenwoordig vrij eenparig vereenigt.

gen opmaken, dat het licht der Zon voortkomt uit de verbranding van een gas en geenszins uit den gloeienden toestand van een vast lichaam of eene druijbare vloeistof.

Ziedaar zoo beknopt als eenvoudig u den staat onzer tegenwoordige kennis betreffende het ons bezighoudend onderwerp voorgedragen. Verschillende bijzonderheden verdienen echter nog onze aandacht te boeien. Maar vooraf willen wij, tot recht begrip van de boven aangehaalde belangrijke proef, eenige kenmerken opgeven, die het *gewone* of *natuurlijke* licht van het *polariseerde* onderscheiden.

295. **Dubbele refractie.** — Men wist reeds sedert lang, dat het licht, als het, *onder een schuinschen invalshoek*, uit de eene middelstof overgaat in eene andere (de beide middelstoffen homogeen zijnde), gebroken wordt; dat het die afwijkingen ondergaat, waarmede wij ons zoolang bij de behandeling der verrekijkers hebben bezig gehouden, en welker mathematische wet (*), tevergeefs sinds verscheidene eeuwen gezocht, eindelijk ontdekt werd het eerst door den Nederlander Snellius, omstreeks 1620, vervolgens ten tweeden male door den Franschman Descartes (Cartesius), die haar — wellicht na ze aan Snellius ontleend te hebben — openbaar maakte en ze naar zijnen naam benoemde. Maar daarbij bepaalde zich ten naastenbij al de *dioptriek* (straalbrekingsleer, doorzichtkunde), toen Erasmus Bartholin, professor der mathesis en geneeskunde te Kopenhagen, in 1670, ongeveer dertig jaren na 't verschijnen der verhandeling van Descartes, waarin de wet der straalbreking werd aangegeven, ter algemeene kennis bracht, dat, wanneer het licht, niet op glas of op een andere doorschijnende, niet gekristalliseerde zelfstandigheid, maar op een natuurlijk kristal van *IJslandsch-spaath* valt, alsdan de gebroken straal niet meer enkelvoudig is, en dat die straal zich verdeelt in *twee bundels van gelijke intensiteit*.

296. — Huygens, die eerlang op zijne beurt de wet der dubbele refractie of straalbreking in het IJslandsch-spaath vond, ontdekte dat ieder der beide stralen *van gelijke intensiteit*, welke uit een eerste kristal komen, bij het gaan door een tweede kristal twee nieuwe stralen geeft, maar nu twee stralen van *doorgaans zeer ongelijke intensiteit*. Ik zeg *doorgaans*, omdat er eenige bijzondere standen van het tweede kristal zijn, waardoor eene gelijke verdeeling ontstaat, even alsof dit kristal het eerste ware, 't welk het licht had ontmoet. De gelijkheid der beide gebroken bundels is hier nochtans slechts eene uitzondering, terwijl zij altijd plaats heeft bij een enkel kristal. En, nog vreemder ver-

(*) Deze wet bestaat in de standvastige verhouding tusschen den sinus van den invalshoek en den sinus van den brekingshoek (wanneer de middelstoffen dezelfde zijn).

schijnsel! de intensiteiten der beide ongelijke stralen verschillen in omgekeerden zin van elkander, terwijl hunne som standvastig blijft, naargelang de waarnemer de oriëntteering van 't kristal verandert zonder zijne helling op den invallenden straal te veranderen; zoodat wanneer men aan het kristal AB (fig. 142) gepaste bewegingen geeft rondom de normaal IN aan de invalszijde, dat is als men den invallenden straal SI (een der beide gelijke, uit het eerste kristal gekomen stralen) bij zijne verschillende zijden snijdt, men alsdan niet alleen de beide uitgaande bundels I_r , I_r' , bij zekere standen van het tweede kristal AB kan gelijk maken, zooals wij reeds gezien hebben, maar dat men ook in andere standen een der beide bundels geheel kan doen verdwijnen.

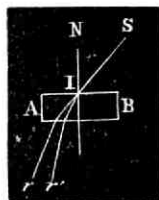


Fig. 142

297. **Natuurlijk licht en gepolariseerd licht.** — Wat is er merkwaardiger dan die zonderlinge verschijnselen, welke zijden van verschillenden aard leeren kennen op den omtrek der lichtstralen, in een eerste kristal van IJslandsch-spaath gebroken, en voor welke, 150 jaar later, de Fransche natuurkundige Malus, welke ze insgelijks wist voort te brengen door in de plaats van den doorgang in 't eerste kristal de eenvoudige *terugkaatsing* onder behoorlijke invalshoeken te stellen, die zoo pittoresk nauwkeurige uitdrukking *polarisatie van het licht* bedacht? Zegt men dat een straal *gepolariseerd* is, dan beteekent dit eenvoudig, dat deze straal een der beide *gelijke* stralen is, die uit een eerste kristal van IJslandsch-spaath komen, of wel, een straal, die, weerkaatst door het glas onder den invalshoek van $35^{\circ}25'$, door het lavaglas of obsidiaan onder dien van $33^{\circ}57'$ enz., de eigenschap heeft van zich, bij zijnen doorgang door een tweede kristal van spaath, in twee *ongelijke stralen* te verdeelen. Het *natuurlijke licht* daarentegen is dat, hetwelk steeds twee straalbundels van gelijke intensiteit oplevert.

298. **Polarisatie-vlak.** — Dit is voor 't overige niet het eenige kenmerkende onderscheid tusschen het *natuurlijke* en het *gepolariseerde* licht. Terwijl het eerste, bij voorbeeld, altijd in dezelfde verhouding, naar boven, naar beneden, naar den horizon, enz. terugkaatst, zoolang het zijne helling op het terugkaatsend vlak behoudt, verandert het teruggekaatste gedeelte van het tweede, als de helling dezelfde blijft, met de richting of het azimuth, volgens welke men het leidt. Maar te veel bijzonderheden zouden hier geheel overtollig wezen. De voorafgaande schijnselen volkomen voldoende om het verschil der beide soorten van licht te doen kennen. Ik zal er alleen bij-

voegen, dat men den naam van *polarisatie-vlak* geeft aan het vlak, volgens hetwelk eene zekere snede AB (fig. 143) in 't kristal, die men *hoofdsnede* heet, behoort gericht te worden, zal de in C vallende gepolariseerde straal op normale wijze, zonder

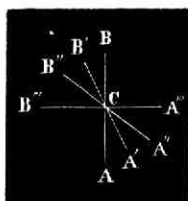


Fig 143.

zich in tweeën te splitsen, door het kristal gaan. Wanneer de hoofdsnede, uitgaande van AB, achtereenvolgens de azimuths $A'B'$, $A''B''$, enz. aanneemt, zal men den straal allengs zeer zien verflauwen en uit het verloren licht een tweeden straal zien ontstaan, die, aanvankelijk zeer bleek, allengs zal toenemen tot op het oogenblik dat de hoofdsnede den stand $A''B''$ krijgt, loodrecht op den eersten stand AB. Alsdan zal de oorspronkelijke straal geheel

verdwenen zijn, om al zijn licht aan den *buitengewonen* straal af te staan. Maar deze, weldra op zijne beurt van lieverlede verbleekende, als de hoofdsnede hare azimuthbeweging voortzet, zal den eersten weder doen te voorschijn komen, die gedurig toeneemt, om eindelijk, wanneer de hoofdsnede opnieuw in 't vlak BA komt, haar vroegeren glans te vertoonen. De verschijnsels zullen zich tevens — gelijk ieder gewis reeds bevroed heeft — symmetrisch opdoen, terwijl de hoofdsnede de beide andere quadranten BCB''' , $B'''CA$ doorloopt, om eindelijk den stand te hernemen, dien ze bij den aanvang had.

299. Heeft men dit goed begrepen, zoo late men den gepolariseerden straal vallen op een naar eisch geslepen plaatje kwarts of bergkristal. Door eene zonderlinge eigenschap, die men later ook heeft waargenomen bij verscheidene vochten, bij de suikeroplossingen, bij den terpentijn, enz., zal het kristal de innerlijke samenstelling van den lichtbundel ten sterkste wijzigen. Het zal hem eene soort van wringing of ineendraaiing doen ondergaan, zonder zijne witheid te deren, en de zeven steeds onderoengemengde hoofdkleuren zullen nu evenwel gepolariseerd zijn in verschillende vlakken, van welke de uitgaande straal de algemeene doorsnede zal zijn.

Snijdt gij nu den dus toebereiden witten straal door een ander kristal van IJslandsch-spaath, dan zal elke der zeven gepolariseerde kleuren u twee stralen van verschillende intensiteiten geven, en gij zult aan den eenen kant zeven *gewone* stralen hebben, die zich in eene enkele richting zullen vermengen, en zeven andere stralen, die zich van een anderen kant zullen vermengen om den *buitengewonen* straal te vormen. Maar hier zal de hoofdsnede AB (fig. 144) van het kristal niet meer een zelfden azimuthshoek maken met de verschillende vlakken ab , $a'b'$, $a''b''$, enz., in welke de grondkleuren zijn gepolariseerd.

Volgens een der reeds vermelde beginselen (§ 298) zullen de lichthoeveelheden, die den gewonen en buitengewonen straal moeten vormen, voor deze verschillende kleuren onderscheidene verhoudingen aan den dag leggen; en in ieder der stralen, die uit het kristal van IJslandsch-spaath gaan, zullen de zeven hoofdkleuren, steeds in richting onderengemengd, niet meer in de vereischte verhoudingen zijn om wit op te leveren.

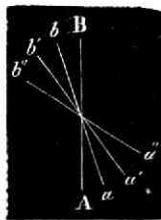


Fig. 144.

Gekleurde polarisatie. — Nu eens zullen in een der stralen het rood, oranje, geel, in den anderen het groen, blauw, indigo, violet den boventoon hebben. De eerstgenoemde kleuren bijeen genomen zullen ten slotte een rooden straal, de samenvatting der andere zal een groenen straal geven. Dan weder zijn 't het

oranje, geel en groen, die in overmaat aanwezig zijn in den eenen, terwijl de andere overmaat van blauw, indigo, violet en rood zal bevatten; de beide uitschietende stralen zullen dan de eene geel, de andere violet zijn. Een nieuwe richting der hoofdsneede van 't IJslandsch-spaath zal alras, voor ieder der uitgangsstralen, nieuwe kleurverdeelingen opleveren, die weder ongelijk aan elkander en ook verschillend zijn van de verdeelingen, die reeds hebben plaats gehad, alsmede van die, welke nog volgen zullen; en zoo zult gij ook voor iederen stand van 't kristal achtereenvolgens twee der uiteenlopendste kleuren zien verschijnen. Maar er zal niets zijn verloren gegaan van de totale som licht, die op het IJslandsch-spaath is gevallen; want de beide uitgangskleuren zullen altijd elkander kunnen aanvullen en door hare vereeniging *wit* vormen.

300. Mengsels van gepolariseerd en natuurlijk licht. — Huygens en Malus hadden ter herkenning van de mengsels van gepolariseerd en natuurlijk licht geen andere aanwijzingen dan de vaak zeer zwakke intensiteits-verschillen, die zich na den doorgang door het analyseerend kristal van IJslandsch-spaath openbaren. Wij kunnen tegenwoordig, dank zij de gekleurde polarisatie, bijna met zekerheid in eenen straalbundel de geringste sporen van gepolariseerd licht ontdekken; want men behoeft slechts dien bundel op een plaatje van kwarts op te vangen en hem vervolgens een kristal van IJslandsch-spaath voor te houden, om dadelijk, met meer of minder sterke aanvullingskleuren, naar gelang van de verhoudingen van elk der beide lichten (natuurlijk en gepolariseerd) des mengsels, verschijnselen van kleuring te zien ontstaan, welke over 't algemeen veel beter te onderscheiden zijn dan de intensiteits-verschillen tusschen twee stralen van dezelfde kleur.

Polariscope en polarimeter. — De voortreffelijke ontdekking van Arago bracht dezen als van zelf tot de uitvinding van den polariscope: dus noemde hij het werktuig, samengesteld uit een plaatje kwarts en een kristal van IJslandsch-spaath. En daar ik toch hier de gelegenheid er toe heb, verheugt het mij er te kunnen bijvoegen, dat Arago, door vernuftige verbindingen van weerkaatsende oppervlakten, weldra zijnen polariscope wist te veranderen in eenen *polarimeter*, dat is in een instrument, dat niet enkel geschikt is om in eenen lichtbundel sporen van gepolariseerd licht te onderkennen, maar bovendien om al de verhoudingen van dit licht, welke in het mengsel voorhanden mochten zijn, te *meten*.

301. **Zonnelittekens, Zonnesfakkels, Zonnevlekken.** — Keeren we thans tot de Zon terug. Wanneer men de oppervlakte van dit Hemellicht met genoegzaam vergrootende kijkers gadeslaat, ziet men ze vaak doorzaaid van heldere rimpels, waaraan men den naam van *littekens* heeft gegeven; de Franschen noemen ze *lucules* (van 't latijn *lucere*, lichten, blinken). Somwijlen ziet men ook bij de randen zekere vrij uitgebreide plaatsen, die zich van de aangrenzende deelen onderscheiden door haar levendigen glans. Deze soort van lichtende vlekken worden op hare beurt *zonnesfakkels* (van *facula*, fakkel) geheeten. Men geeft eindelijk den naam van *zonnevlekken* aan zekere donkere gedeelten, die inderdaad werkelijke vlekken op de lichtende schijf uitmaken.

302. **De altijd identische gang der zonnevlekken bewijst, dat zij tot de lichtende oppervlakte zelve behooren.** — Volgt dag aan dag de beweging eener vlek. Eerst ziet gij haar aan den oostelijken rand der Zon te voorschijn komen, vervolgens met eene allengs toenemende snelheid naar het middelpunt voorttrekken, daarna hare beweging vertragen, om eindelijk, na ongeveer 14 dagen dicht bij den westelijken rand te verdwijnen. Al de vlekken leveren omtrent hetzelfde verschijnsel op. Het schijnt dus onmogelijk te onderstellen, gelijk men soms gedaan heeft, dat zij worden voortgebracht door niet lichtende lichamen, die door den Hemel zouden rondzweven en zich op zekere tijden tusschen de Zon en ons plaatsen; want hoe onregelmatig ook de beweging van die lichamen moge zijn, op eene zoo beperkte ruimte als de zonneshijf zouden de ongelijkheden niet, symmetrisch en zonder de minste uitzondering, bewegingen kunnen te weeg brengen, die steeds van den eersten rand naar 't middelpunt heen vernellen en altijd van het middelpunt naar den tweeden rand vertragen.

Daarenboven, wanneer gij, bij de onderstelling dat de Zon bolrond is en de vlekken tot haar oppervlak behooren, den gang

van eene dier vlekken, welke ook, in betrekking brengt tot het middelpunt O van de Zon (fig. 145), dat wil zeggen, als gij de dagelijksche hoeksche verplaatsing aTb , bTc , cTd , enz., uit de Aarde T gezien, verandert in verplaatsingen aOb , bOc , cOd , enz., zooals men ze uit het punt O zou zien, dan bevindt gij dat de lengten ab , bc , cd , enz., die volkomen gelijk zijn, zich aan de bewoners der Aarde moeten voordoen onder de hoeken, die de waarneming oplevert en die klein naar de randen heen, groot bij het middelpunt zijn, omdat in het eerste geval de boog ab zich aan de gezichtsstralen aT , bT als zeer schuin vertoont, terwijl daarentegen in het tweede geval de gezichtsstralen cT , dT bijna loodrecht op den boog dc zijn.

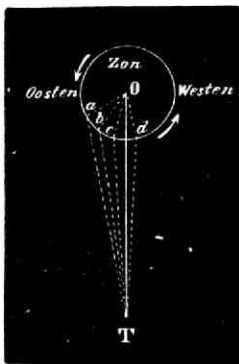


Fig. 145.

Ik zou de bewijzen kunnen vermeerderen, maar ik heb er, dunkt mij, genoeg van gezegd om het recht te hebben het besluit op te maken, dat de vlekken tot het zonnelychaam behooren en daarmede ronddraaien; dat hare beweging gelijkmatig is, omdat de iederen dag doorloopen bogen ab , bc , cd , enz. gelijk zijn; eindelijk dat met den gang van 't Oosten naar 't Westen voor het naar ons toegekeerde halfmond een omgekeerde gang (van 't Westen naar 't Oosten) voor het aan ons oog verborgen halfmond overeenkomt.

303. Duur van de wenteling der Zon om zich zelve.

— De van het middelpunt n (fig. 146) uitgegane vlek vertoont zich weder in 't middelpunt, m'' , na een tijdsverloop van omtrent zeven en twintig en een halven dag. Maar dit tijdsverloop is klaarblijkelijk grooter dan de duur eener geheele omwenteling van de Zon. Die omwenteling toch zal volbracht zijn, wanneer de diameter mn , na om het punt O gedraaid te hebben, den stand $m'n'$, parallel aan mn , heeft aangenomen; terwijl de vlek, om weer in 't middelpunt, in n'' te verschijnen, eenen cirkelomtrek moet door-

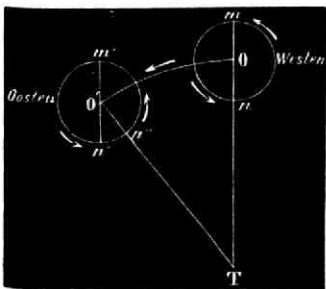


Fig. 146.

lopen vermeerderd met den boog $n'n''$, die tot maat kan dienen voor den hoek $n'On''$, welke hoek zelve door symmetrie (daar

de beide lijnen mnT en $m'n'$ parallel zijn) gelijk is aan de hoek-sche verplaatsing OTO' van de Zon in zeven en twintig en een halven dag of aan ongeveer 27 graden. Een eenvoudige evenredigheid (*) zal voldoende zijn om den duur der wenteling der Zon om hare as te vinden, welke duur dan zal blijken gelijk te zijn aan ruim vijf en twintig en een halven dag.

Laugier, een der Sterrenkundigen, die zich het laatst met de wenteling der Zon om zich zelve hebben bezig gehouden, heeft 25,34 d. als middelbare uitkomst zijner waarnemingen aangegeven, met uiteenloopende waarden begrepen tusschen 24,28 d. en 26,23 d. Hij heeft mede $7^{\circ}9'12''$ bekomen voor de helling van den Zons-æquator op het vlak der Ecliptica, of, zoo men liever wil, voor den hoek, gevormd door de perpendicular op het laatste vlak en de omdraaiings-as der Zon. Nog heeft hij $75^{\circ}8'$ gevonden voor den hoek, begrepen tusschen de lijn der Nachteveningen en de doorsnede van den Zons-æquator met de Ecliptica. Hij is, eindelijk, tot de meening gekomen, dat de vlekken eigene bewegingen op de lichtende oppervlakte hebben, en dat zij over 't geheel, zoo in het noordelijke als in 't zuidelijke halfrond, allen te gelijker tijd schijnen te gehoorzamen aan gemeenschappelijke impulsien, maar die van 't eene halfrond tot het andere onafhankelijk van, ja menigmaal tegenovergesteld aan elkander zijn.

304. **Afmetingen der Zonnevlekken.** — Ik voeg er bij, dat zekere vlekken dwarsafmetingen van veel (100 a 120) millioenen kilometers hebben; dat andere daarentegen te nauwernood waar te nemen zijn; dat zij vaak onder 't oog van den waarnemer ontstaan, en dat zij ook menigmaal, als werden ze van alle zijden door het haar omgevend licht overmeesterd, verscheurd, in stukken gedeeld en in weinige oogenblikken weggewischt worden; evenals 't geval zou zijn met uitgedroogde weilanden, waarin de vlammen van een grooten brand zich met snelheid voortplantten. Nog voeg ik er bij, dat de vlekken, in tegenstelling met de litteekens en fakkels, die zich overal, maar meest nabij de randen vertoonen, doorgaans bepaald blijven tot de æquatoriale streken der Zon en zelden de zuidelijke of noordelijke declinatiën van 30 graden te buiten gaan; dat men er nochtans, maar hoogst zelden, gezien heeft tot op 40 graden noorder-declinatie; dat zij vaak gedurende een of twee maanden stand houden; dat door verscheidene Sterrenkundigen is waargenomen, dat sommige dier vlekken zich gevormd hebben op dezelfde punten der lichtende oppervlakte, waar vroeger andere

(*) 387° (d. i. $360 + n' n''$): $360^{\circ} = 27,5$ d.: x

waaruit $x = \frac{360 \times 27,5}{387} = 25,58$ d.

vlekken waren gezien; dat men, eindelijk, in hare achtereenvolgende verschijningen een zekeren tot dusverre zeer raadselachtigen geregelden terugkeer heeft gemeend te bemerken.

305. **Voorkomen der vlekken.** — Doorgaans hebben de vlekken, wanneer zij zich aan den oostelijken rand der schijf vertoonen een grauwwachtige tint, door *a* (fig. 147) aangeduid.

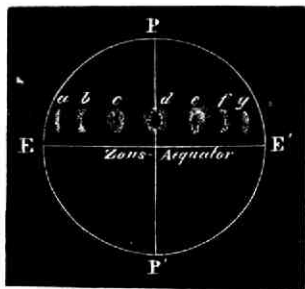


Fig. 147.

Maar weldra, als zij verder zijn voortgegaan, bij voorbeeld tot in *b*, ziet men in 't binnenst dier soort van half-schaduw, of liever, zooals Wiston het eerst in 1769 opmerkte, zeer dicht bij dat gedeelte van den omvang der vlek, hetwelk naar 't middelpunt der Zon is gekeerd, een veel donkerder, bijna zwarte tint, die allengs toeneemt totdat de vlek het midden heeft bereikt, waarna zij van lieverlede flauwer wordt, om ten laatste geheel te verdwijnen, nadat zij symmetrisch van *d* tot in

g hetzelfde voorkomen *e*, *f*, enz. heeft gehad, dat zij achtereenvolgens bij haar toenemen vertoonde.

306. **Theorie van Herschel.** — Om ons zelve verklaring van deze verschijnselen te geven, willen we ons voorstellen met

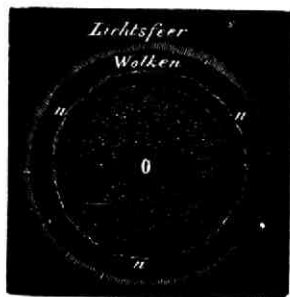


Fig. 148.

W. Herschel — wien wij te danken hebben dat de eenigszins onbepaalde opgaven van Wilson, Bode, Michell, Schröeter, enz. op de gelukkigste wijze aangevuld zijn — dat de Zon een donker lichaam *O* is (fig. 148) omgeven door een hoogen dampkring, waarin dikke wolken *n, n, n* zweven, en die alleen ontvlamd wordt aan zijn bovengedeelte, *Photosfeer* geheeten (van *phōs*, *photós*, licht, dus lichtsfäär) (*). Onderstellen we nog, dat de photosfeer door deze of gene oorzaak, door eene vulkanische uitbar-

sting, bij voorbeeld, op een of ander punt is uitgedoofd en de binnenste wolkenlaag vaneengereten is, dan zullen wij door de dus ontstane opening heen het inwendige der photosfeer kunnen waarnemen. Wanneer nu de opening dicht bij den rand, in *ab*

(*) Talrijke waarnemingen, in 1864 te Toulouse gedaan, geven aan dien dampkring eene hoogte van ongeveer 6800 kilometers.

(fig. 149) is gekomen, zal ons oog reiken tot aan de wolkenlaag k of tot de oppervlakte l der photosfeer. Vandaar die grauwe tint, welke eerst de vlek vormt; want het uit l gekomen licht zal aanmerkelijk verflauwd zijn door het gedeelte bb van den

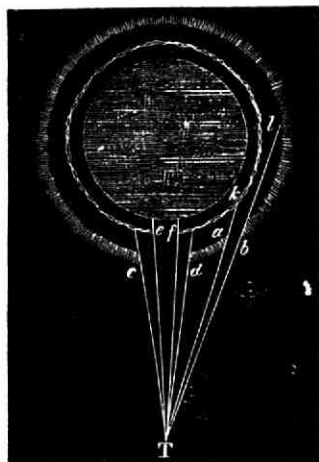


Fig. 149.

dampkring; maar zoodra de opening op het donkere lichaam der Zon begint te vallen, zullen wij dit in de half-schaduw zwart zien afsteken en achtereenvolgens aan de vlekken het bovenvermelde voorkomen zien geven; terwijl overigens de half-schaduw blijven of verdwijnen kan, naargelang de opening cd van de photosfeer grooter of kleiner zal wezen dan de opening ef van de wolkenlaag, dat is, naargelang men die laag een grauwen zoom ziet geven aan de zwarte vlek, door de zonnekern te weeg gebracht, of naardat men alleen de oppervlakte der kern ziet.

307. Bevestigende proeven van Arago. — Kenmerkende eigenschappen van het licht,

dat van gloeiende zelfstandigheden in den vasten, druipbaar vloeienden of gasvormigen toestand uitgaat. — Onze onderstelling voldoet alzoo aan de verklaring der verschijnselen, die de vlekken opleveren. Meer dan dertig jaar geleden kon Arago — ik zeide het u reeds (§ 294) — ten gevolge van zijne heerlijke ontdekking der gekleurde polarisatie, op die onderstelling den stempel eener bijna volkomen zekerheid drukken. Zoodra hij toch zijnen polariscoop had bedacht en zich beijverde om met dit werktuig de verschillende in de industrie gebezigde kunstlichten te beoefenen, bleek het hem, dat de witgloeiende vaste, druipbaar vloeiende en gasvormige lichamen geen gepolariseerd licht perpendiculair op hunne oppervlakten afgeven, daar zij altijd, als men ze perpendiculair door het samenstel van bergkristal en IJslandsch-spaath beschouwt, twee witte beelden opleveren. Maar zeer kennelijke verschijnsels van kleuriging bewezen, dat de vaste lichamen en de vochten in eene *schuine richting* hoeveelheden gepolariseerd licht uitzenden, die al grooter en grooter worden naarmate de uitgangshoek toeneemt; terwijl de gassen daarentegen, uit welke richting men ze ook beschouwen moge, nimmer iets anders dan natuurlijk licht geven.

Behoeven wij langer stil te staan bij de gevolgen van zulk een resultaat? Men kan gemakkelijk raden, dat de polariscoop, achtereenvolgens gericht naar het middelpunt der Zon of *perpendicular* op het lichtende oppervlak, en naar den rand, dat is *schuin* op dat zelfde oppervlak, altijd twee witte beelden zal geven: een onderscheidings-kenmerk van de gasvlammen (ten minste van allen, die men hier beneden heeft kunnen onderzoeken), en dat wij met Arago, naar mij dunkt, van algemeene toepassing mogen maken tot op het bewijs van het tegendeel (*).

308. — Eerlang bleek het den beroemden Franschman, dat het op gelijke wijze ontlede licht der Sterren een treffende overeenkomst met het licht der Zon heeft, en alzoo, door de volslagen afwezigheid van polarisatie, nieuwe gronden van waarschijnlijkheid, liever moest ik zeggen nieuwe bewijzen oplevert ten voordeele van die overeenkomst der Zon en der Sterren, welke de

(*) Twee uitstekende natuurkundigen, hoogleeraars te Heidelberg, Kirchhoff en Bunsen, hebben sedert eenige jaren belangrijke nasporingen gedaan, die Kirchhoff tot andere gevolgtrekkingen brachten. Volgens den laatstegenoemde zou de kern der Zon zelve witgloeiend en schitterender dan hare atmosfeer zijn, omdat het spectrum of regenboogkleurige beeld, hetwelk ontstaat als de zonnestralen door prisma's gaan, de zwarte strepen oplevert, door Wollaston in 1802 waargenomen en later door Fraunhofer beoefend, en wel op die plaatsen, waar blinkende strepen moesten zijn, verwekt door de in de vlam verdampte metalen. De zwarte strepen zouden zich dan laten verklaren door het *absorbeerend* of opslorpend vermogen dezer metalen, die, gelijk Kirchhoff bewezen heeft, de eigenschap bezitten van aan het licht uit eene krachtiger bron dan die, waarin zij branden, juist die verscheidenheid van stralen te geven, welke zij zelve in witgloeienden toestand uitschieten; die gevolgelijk in het spectrum der meer lichtgevende bron donkere strepen doen ontstaan op die punten, waar zij op het minder heldere vlammen-spectrum verdubbeling van intensiteit te weeg gebracht zouden hebben; die, in één woord, door het bijebrengen der beide vlammen aan een *omgekeerd* spectrum, zooals de natuurkundigen het noemen, het aanzijn geven.

Ondanks mijne oprechte bewondering van de ontdekkingen, die voor de chemische analyse, onder anderen, een onverhoopt veld ontsluiten, beken ik mij moeilijk te kunnen vereenigen met het gevoelen des Heidelbergerschen geleerden, wiens theorie, mijns erachtens, te weinig werk maakt van de zonnevlekken, de half-schaduwigen, de fakkels en litteekens, kortom van de afwezigheid van polarisatie. De totale zonsverduisteringen toonen ons rondom de photosfeer een tweede luchtvormig omhulsel, dat ook, maar in minderen graad, lichtgevend is, en welks aanzijn bovendien ook blijkt uit de photometrische proeven op het licht van het midden en van de randen der Zon. Planten wij, met Kirchhoff, juist in die tweede atmosfeer de metaaldampen, wier werking het omgekeerde spectrum der photosfeer zou doen ontstaan, waarom zouden we dan niet aannemen, dat deze of elektrische eigenschappen, of eene temperatuur heeft, waarvan niets op aarde een denkbeeld vernag te geven; of dat zij zekere stofdeelen in zwerfenden staat bevat, zoodat zij terzelfder tijd zonder polarisatie is, en toch, ofschoon gasvormig, een samenhangend spectrum voortbrengt? En indien men dit, hoe natuurlijk ook, niet mocht kunnen beamen, waarom dan toch, liever dan te breken met eene theorie, die voldoende verklaring van al de bijzonderheden der waarneming geeft, niet met verscheidene natuurkundigen ondersteld, dat de zelf eenigszins gekleurde dampkring der Aarde, evenals zekere gekleurde gassen, die stralen uitdooft, welker afwezigheid de zwarte strepen van het spectrum voortbrengt.

Wat de vermeende ingewikkeldheid der theorie van Herschel betreft, zou die theorie niet inderdaad een nieuw blijk van eenvoudigheid in het samenstel van 't Heelal wezen? In plaats van een gloeiend lichaam, noodlottigerwijs bestemd om af te koelen en uit te looven, zou men zich dan eene voorstelling kunnen maken van eene voortdurende herlevendiging van de producten der verbranding door bewerkte wezens, die hunne woonplaats hebben aan de oppervlakte der zonnekern, en het evenwicht in stand houden, gelijk lat hierbeneden voor onze atmosfeer de planten en dieren doen.

bepaling van eenige sterren-parallaxen ons reeds vergund heeft als bewezen te beschouwen (*).

Dat zijn voorwaar scherpzinnige openbaringen aangaande het Uitspansel, die wij aan nog scherpzinniger nasporingswijzen moeten dank weten. Kan het ons dan nog verwondering baren, dat de gekleurde polarisatie, door een van die schijnbare toevalligheden, waarin zich soms zoo luisterrijk de onzichtbare hand der Voorzienigheid openbaart, juist gedurende de verschillende fasen der onverbiddelijke kwaal (†), die Arago aan de wetenschap moest ontrukken, aan de onvermogenende Geneeskunde de voornaamste aanwijzingen kwam geven, waarop eene behandeling dier kwaal en het aanbrengen van oogenblikkelijke verlichting behoorden gegrond te zijn.

309. **Het historische van de ontdekking der zonnevlekken.** — **Johannes en David Fabricius.** — **Pater Scheiner.** — **Galilei.** — Het schijnt, dat de Ouden zelfs met het bloote oog somtijds de zonnevlekken bemerkten; maar het bestaan dezer vlekken werd eerst met zekerheid gestaafd omstreeks het einde van 1610 of het begin van 1611. — Te oordeelen naar gedrukte bekendmakingen, moet zekere Johannes Fabricius van Wittenberg ze het eerst te dien tijde door een kijker gezien hebben, terwijl de dampen des horizons het licht der opgaande Zon verzwakten; want men was toen nog niet op de gedachte gekomen om de gekleurde glazen op de optische instrumenten toe te passen. Hij maakte er zijnen vader David Fabricius opmerkzaam op, en beide, nadat zij in koortsachtig ongeduld drie dagen in slecht weder hadden doorgebracht, kwamen op het denkbeeld om het beeld der Zon op een wit stuk karton op te vangen, hetwelk hun toen de vlekken vertoonde, maar naar 't Westen verplaatst. Zoo ontdekten zij op eenmaal en het werkelijk bestaan der zonnevlekken en de wentelende beweging der Zon om zich zelve, welke laatste reeds door Kepler vermoed, maar eenige jaren te voren als zeker verkondigd was door den Napolitaan Jordan Bruno.

Pater Scheiner, professor in de Mathesis te Ingolstadt, maakte van zijnen kant ook aanspraak op de ontdekking der zonnevlekken, die hij beschouwde als voortgebracht door in de ruimte zwevende lichamen. Hij schreef daarover, onder den pseudoniem Apelles, in de maanden October, November en December 1611, aan Velser, regeeringspersoon te Augsburg, en deze gaf den

(*) Er bestaat evenwel eenig onderscheid tusschen het licht der Zon en dat van eenige Sterren. De zwarte spectrum-strepen beslaan verschillende plaatsen, naar gelang de spectra door de Zon, door Sirius, door Pollux, enz. geleverd worden. Dit kan in verband staan met de verschillende zelfstandigheden, die in de buitenste atmosferen tot damp overgaan.

(†) De *diabetes* of pisvloed.

5den Januari 1612 de drie brieven, welke Scheiner's ontdekking openbaar moesten maken, in het licht. Maar toen de drie brieven van Apelles aan Velsers verschenen, had Galileï op zijne beurt, reeds sedert de maand April 1611, de zonnevlekken bespeurd. Vandaar onzekerheid en hevige twisten over den eigenlijken ontdekker, terwijl de ontdekking zelve aanvankelijk in geenen deele algemeen werd aangenomen, ja tegen welke een schrijver van dien tijd onder anderen opkwam met deze vrij zonderlinge, maar zeer ernstig ingebrachte reden: „dat het oog der natuur toch voorzeker niet aan oogkwalen kan lijden.”

310. **Verklaring van de litteekens en fakkelen door Arago.** — Hoe dit zij, daar Fabricius het eerst, in 1611, het aanwezen der zonnevlekken bekend maakte, moet natuurlijk aan hem de ontdekking toegekend worden. Wat nu de fakkels en litteekens betreft, 'tis zeker dat de eerstgenoemde het eerst door Galileï, de tweede door Scheiner werden waargenomen. Later gaf Arago van beiden de verklaring, nadat hem was gebleken, dat bij eene groote vlam het omgekeerde van dat der gloeiende vaste en druijbaar vloeiende lichamen plaatst heeft, dewijl ze, hetzij ze haar licht voor zich uit of zijdelings werpt, in beide gevallen dezelfde hoeveelheid licht afgeeft. Die eigenschap is 't gevolg van de geringe dichtheid der gloeiende gassen, en dus ook van de doorschijnendheid der vlammen voor de uit hun binnenste uitgaande stralen. Een onmiddellijk gevolg daarvan is ook de lichtvermeerdering in ieder punt eener vlam, naargelang het getal punten schijnt te verminderen, dat is, naarmate het lichtende oppervlak meer uit de schuimte wordt gezien; want dan wordt elke lichtstraal gevormd door eene verzameling van stralen, uitgegaan van de verschillende moleculen, welke op eene rechte lijn in de diepte der vlam zijn gelegen. Men mag dan daaruit ook opmaken, dat golvingen of rimpels, ontstaan in 't ontvlamde gas der zonne-photosfeer, gelijk die voortdurend onder de werking der winden in de aard-atmosfeer te weeg gebracht worden, ons de onderscheidene verschijnselen zullen opleveren, waarmede de litteekens en fakkels steeds gepaard gaan (*).

311. **Dampkring op het lichtomhulsel der Zon.** — Uit de beschouwingen, die rekenschap geven van deze laatste verschijnsels, blijkt intusschen tevens, dat de oppervlakte der Zon, uit meer en meer schuinsche richtingen gezien, ook al sterker en sterker licht moest afgeven, naargelang men ze dichter bij haren rand gadeslaat. Dit is nochtans in geenen deele 't geval. Talrijke proefnemingen, eerst door Bouguer ondernomen en later door

(*) Men ziet lichtelijk in, volgens deze theorie, dat de litteekens en fakkels over 't algemeen zich sterker voordoen nabij de randen van de Zon, alwaar de schuinsheid der dampkringsgolven klaarblijkelijk grooter is.

verschillende Sterrenkundigen, door William en Sir John Herschel, door Arago, Chacornac, enz. voortgezet, laten te dezen opzichte niet den minsten twijfel over. Allen zijn eenparig van gevoelen, dat de Zon in 't midden eene hoogere mate van lichtend vermogen bezit, stellende Bouguer dat meerdere op *ruim een derde*, terwijl Arago het voor nauwelijks te bespeuren hield, maar het evenwel nog de waarde van *een veertigste* toekende. Waarin mag wel de reden van een schijnbaar zoo strijdig verschijnsel gelegen zijn? — Om het te verklaren, onderstelde Bouguer rondom de lichtende zonnescijf de aanwezigheid van eenen dampkring, die, als de van de randen der photosfeer A, B (fig. 150) afgezonden stralen er doorheen gaan onder dikten AE, BD, grooter dan de dikte CF, die met de van 't midden uitgaande stralen overeenkomt, de eerstgenoemde stralen ook aanmerkeliijker moet verzwakken; en ik haast mij hierbij te voegen, dat de totale Zonsverduisteringen, welker indrukmakend schouwspel de Sterrenkundigen sedert twintig jaren meermalen mochten gadeslaan, op Bouguer's

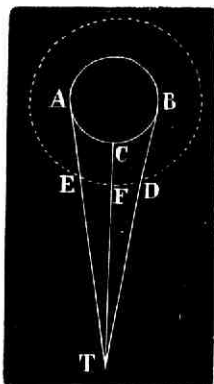


Fig. 150.

onderstelling een stempel van hooge waarschijnlijkheid gedrukt hebben.

Gedurende de duisternis, door deze Eclipsen veroorzaakt, ziet men toch rondom de manescijf eene soort van lichten ring of zoogenaamde lichtkroon, die zich verscheidene minuten (10 tot 15 op zijn minst) vóór het geheel verdwijnen der Zon begint te vertoonen, en waarin zich, somwijlen geheel van de Maan afgezonderd, eene soort van lichtrozeroode pieken of liever vlammen vertoonen. Zeer bekwame Sterrenkundigen hebben deze als spelingen van het licht beschouwd, terwijl andere daarentegen (en na twee totale Eclipsen gezien te hebben, beken ik mij bij deze laatsten aan te sluiten) ze meenen te moeten houden voor onmetelijke wolken, behoorende tot den buitendampkring der Zon, welks aanwezigheid uit de lichtkroon schijnt te blijken. Wij zullen later de verschillende bijzonderheden van 't verschijnsel bespreken. Maar reeds nu mogen we, vergis ik mij niet, volgens al de voorafgaande beschouwingen aannemen, dat de photosfeer omgeven is door een gasachtig omhulsel, welks hoogte niet wel minder dan 320 duizend kilometers kan zijn, en die zich zelfs tot op ongeveer twee millioen kilometers zou moeten uitstrekken, indien men aan den dampkring dezelfde uitbreidheid toekende als die der lichtkroon, welke zich

doorgaans als in vele vrij wel onderscheiden lagen verdeeld voordoet.

312. Proefnemingen van Secchi aangaande de warmte-werkingen van de verschillende punten der photosfeer.

— De proeven van Secchi op de temperaturen van de verschillende punten der Zonneschijf hebben op hare beurt de gezegde meeningen bevestigd; want de bekwame directeur van 't Observatorium van het Roomsche collegie heeft waargenomen, dat de minst schitterende punten der schijf juist die zijn, van welke wij de minste warmte ontvangen; dat de temperatuur der randen, bij voorbeeld, beneden die van 't midden, die der vlekken beneden die der andere zonnedeelen zijn; eindelijk dat, door eene nog geheimzinnige, maar toch zeer waarschijnlijke verhouding tusschen den buiten-dampkring en de omdraaiingsnelheid, de temperatuur der æquatoriaal-streken van de Zon hooger is dan die van hare poolgewesten.

313. Verschijnselen, die men aan de Zonnevlekken toeschrijft. — Men heeft verband meenen op te merken tusschen de verschijnselen van het aardmagnetismus en de Zonnevlekken. Men heeft het gevoelen geopperd, dat het heldere licht van dezen Hemelbol, evenals dat van onze noorderlichten, door de electriciteit wordt voortgebracht. Men heeft almede in de Zonnevlekken de oorzaak der vruchtbare en onvruchtbare jaren, de verklaring der periodische Sterren, enz. willen vinden. Doch deze laatste vraagstukken zouden ons, zonder veel nut, te ver voeren.

Zodiakaal-licht. — Zoo zie ik mij dan genaderd tot de behandeling eener laatste bijzonderheid; ik bedoel die lange lichtstrook, welke door den aard van haar licht, zoo al niet door haren vorm, naar den staart eener komeet gelijk, en die iedereen, bij afwezigheid der Maan en na of voor het schemerlicht, heeft kunnen waarnemen omstreeks de Lente-nachtevening, des avonds ongeveer twee uren na het ondergaan der Zon, of omstreeks de Herfst-nachtevening des morgens vóór den dageraad. Met zinspeling op den hemelgordel, binnen welken het steeds begrepen blijft, den Zodiak of Dierenriem, heeft men het den naam van *Zodiakaal-licht* gegeven. Ontdekt door Cassini in de maand Maart 1683, anderen zeggen door Childrey in 1659, of wel waarschijnlijker sinds de vroegste tijden gezien, maar eerst sedert twee eeuwen nauwkeurig waargenomen, werd het aanvankelijk en gedurende een geruimen tijd beschouwd als de dampkring der Zon, hebbende eene uitgestrektheid van 160 tot 200 miljoen kilometers in de richting van den æquator der Zon, onder een uit de wenteling geboren invloed van de middelpuntvliedende kracht, terwijl die vermeende dampkring zeer afgeplat is in de richting, die loodrecht is op den Æquator.

Later, toen Laplace bevonden had, dat, bij een omdraaiings-tijd als die der Zon (ongeveer 25,5 dag), de middelpuntvliedende kracht der op 160 millioen kilometers en zelfs op veel kleiner afstanden gelegene lagen het verre zou winnen van de centrale aantrekkingskracht en gevolgelyk de bovenste lagen zich in de ruimte zouden verstrooien, werd de bovenvermelde theorie van Cassini opgegeven. Van toen af schreef men algemeen het verschijnsel toe aan het licht, dat teruggekaatst wordt door myriaden lichaampjes, die om de Zon loopen in eene soort van zeer dunnen maar zeer breeden ring, door welken de Aarde zou heen loopen in de maanden Juni en December (*), terwijl dan die lichtende verhevelingen en dat vallen van meteorostenen, zoo vaak waargenomen juist op de beide tijden waarop wij den ring ontmoeten, zouden voortgebracht worden door de snelle wrijving dier lichaampjes tegen onzen dampkring en de daaruit ontstane ontvlammings.

314. — Wat de oorzaak betreft, die het zodiakaal-licht veel beter zichtbaar maakt omstreeks den tijd der Nachteveningen, om die te begrijpen is 't voldoende, dat men op de hemelsfeer eenige standen afteekent van de Ecliptica of van den Zodiak (nauwkeuriger, van den Zons-æquator, die weinig van de Ecliptica verwijderd en parallel aan het vlak van 't zodiakaal-licht is). Als PP' de lijn der Polen, EE' de Æquator des Hemels, en ee' het vlak van den Æquator der Zon is, dan verbeeldt fig. 151, gelijk men zich daarvan gemakkelijk met behulp eener sfeer kan overtuigen, den stand van het zodiakale licht met betrekking tot

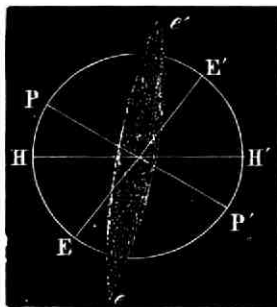


Fig. 151.

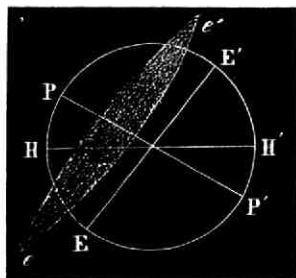


Fig. 152.

den horizon HH' der noordelijke landen, tijdens het ondergaan der Zon omstreeks de Lente-nachtevening en haren opgang

(*) Met die beide tijden des jaars komt werkelijk, omstreeks 75° en 175° lengte (§ 303), de doorsnede overeen van het vlak der Ecliptica, waarin zich de Aarde beweegt, met het vlak van den Æquator der Zon, volgens welken het zodiakaal-licht zijne richting neemt, hellende op de Ecliptica, gelijk de Æquator der Zon, met eenen hoek van omtrent 7° .

omstreeks de Herfst-nachtevening. Fig. 153 daarentegen beantwoordt aan 't oogenblik des ondergangs in September en des opgangs in Maart. In dezen laatsten stand wordt het zodiakal-licht meestal verborgen door de dampen des horizons; terwijl het zich aanmerkelijk boven dat vlak verheft in 't geval van fig. 151. De fig. 152 en 154 beantwoorden òf aan 't opgaan,

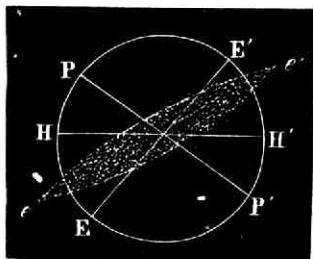


Fig. 153.

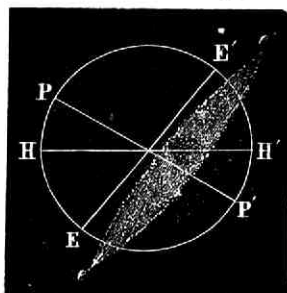


Fig. 154.

òf aan 't ondergaan der Zon tijdens de Zonnestanden. Hier zijn de hoekhoogten van ee' boven den horizon minder gunstig dan in de tijden der Nachteveningen in den stand van fig. 151; en de langdurigheid der schemerlichten bij den Zomerzonnestand, de doorgaans bewolkte toestand des hemels, vergrooten nog daarenboven de moeijelijkheid der waarneming.

315. **Is de Zon bewoonbaar?** — Nog een laatste woord over de Zon. Is dit Hemellicht bewoond, of liever, is het bewoonbaar? Merkwaardige proeven van Boutigny schijnen ons een bevestigend antwoord te vergunnen. Terwijl hij bezig was, dus heeft men mij verhaald, met het doorbladeren van oude legenden omtrent zekere *onverbrandbare* menschen, kwam de schrandere natuurkundige op de gedachte, dat er wel iets waars ten grondslag kon leggen van de toevallig in zijne handen gekomen bijgeloovige verhalen; en van dit oogenblik af ging hij, als een andere Diogenes, *zijn mensch* zoeken in de metaalfabrieken van Parijs. Ik zal er wel niet behoeven bij te voegen, dat hij vaak voor een geestenziener gehouden en als zoodanig behandeld werd door hen, wier medewerking hij inriep. Maar ten laatste mocht evenwel de uitslag zijn volhardend streven beloonen; want juist toen hij, ontmoedigd door een lange reeks van vruchteloze pogingen, begon te wanhopen, liet een zijner vrienden, een geneesheer in Berry, hem weten, dat de *onverbrandbare* mensch gevonden was.

Boutigny, onverwijld op reis gegaan om zich met eigen oogen van de verwezenlijking zijner denkbeelden te overtuigen, moest

wel op het levendigst getroffen zijn, toen hij inderdaad een der werklieden van den hoogoven, dien hij bezocht, *blootsvoets* over witgloeiende ijzerstaven zag loopen, of zijne hand in gesmolten gloeiend ijzer zag dompelen. Hij aarzelde voor 't overige niet, dit voorbeeld moedig na te volgen, en 't was gewis niet zonder verbazing, dat hij, in plaats van een brandende hitte te voelen, een vrij sterken indruk van koude gewaar werd aan zijne hand, die hij *langzaam* in 't gesmolten metaal stak.

316. **Proeven van Boutigny op de witgloeiende lichamen.** — De opmerkelijke studie van 't verschijnsel bracht hem alras tot andere, niet minder treffende ontdekkingen, die hem op het spoor der verklaring voerden. Verhit, zooals hij deed, een verglaasden porseleinen bol tot op de *witte gloeihitte*, en breng er eenige druppels water, zwavelig zuur, enz. in. Schijnt het bij den eersten opslag niet, dat zulke vluchtige lichamen, onder den invloed der hen omgevende gloeihitte, zich oogenblikkelijk in damp oplossen en een geweldige uitbarsting te weeg brengen zullen? Daarvan zal intusschen niets gebeuren. Gij zult daarentegen zien, dat zij zich samendraaien en bolvormig oprollen, terwijl de ontploffing eerst plaats zal grijpen wanneer zij den witgloeienden bol tot op de temperatuur der *roode gloeihitte* laat afkoelen. Dan zal het sferoïdale of witgloeiende vocht (*sferoïdal* of *caléfié*: dus benoemde Boutigny zelf den zonderlingen toestand, welks ontdekking men hem moet dank weten) plotseling verdampen en het vat waarin 't besloten is kunnen verbrijzelen; een verschijnsel — om dit in 't voorbijgaan te zeggen — waarin men wellicht den sleutel vindt van 't springen der stoomketels, wanneer deze al dadelijk te sterk verhit worden door onvoorzichtige handen, die, wel verre van dusdoende het voortbrengen van stoom te bespoedigen, dit integendeel vertragen, en die, ten einde de oorzaak van 't ongeval te leeren kennen, alras besluiten om de ketelwanden, aan welke zich het water in sferoïdalen staat heeft gezet, te laten afkoelen juist tot op de temperatuur, waarbij de ontploffing moet plaats grijpen.

Hoe dit zij, wanneer zij eenen thermometer in het sferoïdale vocht steekt, zult zij bevinden, dat de temperatuur van dit vocht somwijlen tot *elf* graden beneden het vriespunt daalt, terwijl de lucht daaromheen, binnen welke de witgloeiende porseleinen bol is besloten, daarentegen meer dan dertig graden warmte aantoot. — Ofschoon ik mijn doel voor bereikt mag houden alleen door 't vermelden van de resultaten, wil ik echter, om hier de geschiedenis van zulke vreemdsoortige afwijkingen niet al te onvolledig te laten, er nog bij voegen, dat Boutigny bij de lichamen in sferoïdalen staat een terugkaatsend vermogen aanneemt, dat sterk genoeg is om de warmte te beletten tot hen

door te dringen. Anderen hebben insgelijks ondersteld, dat eene overmaat van doorschijnendheid, aan den sferoidalen toestand verknocht, de stralen door de witgloeiende vochten laat heen gaan zonder opslorping, en bijgevolg ook zonder merkbare verwarming; dat een dunne damplag zich rondom het vocht vormt, ten einde het voor de aanraking met de gloeiende wanden te beveiligen; eindelijk, dat het verschijnsel der gebonden warmte op zijne beurt eene belangrijke rol in ons vraagstuk moet spelen. Wat de mogelijkheid aangaat om de gesmolten metalen langzaam, zonder gevaar, aan te raken, Boutigny verklaart ze uit den overgang tot den sferoidalen toestand, hetzij van het uitwasemingsvocht, hetzij van de vloeistoffen (ether, zeepsop, zwavelig zuur, enz.), waarmede hij zijne handen bevochtigt, als hij vreest dat de uitwaseming niet voldoende mocht wezen. De aldus in sferoidalen staat gebrachte vochten zouden de onmiddellijke aanraking van 't gesmolten metaal en de huid beletten, mits evenwel — want het is of alles bij deze verschijnselen wonder spreukig moet luiden — de ingedompelde hand zich *langzaam* in het witgloeiende metaal beweegt, opdat eene te snelle wrijving niet het sferoidale vocht, dat haar beveiligt, moge wegnemen.

317. — Men ziet terstond in, welke de mogelijke gevolgen der opgenoemde uitkomsten zijn. Voor Boutigny toch moest de witgloeiende porseleinen bol de ontvlamde photosfeer der Zon vertegenwoordigen; de in den bol begrepen lucht op de temperatuur van 30 of 35 graden moest de inwendige dampkring van 't Hemellicht wezen, en het in sferoidalen staat verkeerend vocht, met zijne elf graden onder nul, moest beantwoorden aan het donkere lichaam, dat de zonnecore uitmaakt.

Zou het, onder deze omstandigheden, geoorloofd zijn te bevestigen, dat de Zon niet bewoond is? — Ik voor mij, wanneer ik zie hoe groote verscheidenheid de Schepper hier beneden aan de elementen des levens heeft weten te geven, dan beken ik, dat een volstrekt ontkennend antwoord mij vermetel zou schijnen. Want het zou, bij voorbeeld, kunnen wezen, dat aan verbazend groote plantgewassen de taak was opgedragen om op de Zon, evenals zulks op de Aarde plaats heeft, de gassen, voortkomende uit de verbranding der photosfeer, onophoudelijk te ontbinden en daardoor te doen herleven. Wat andere overeenkomsten tusschen de zonbewoners en ons betreft, ik zie geenerlei aannemelijke reden om die te onderstellen. Alleen komt het mij niet waarschijnlijk voor, dat de vrouwen dier heete gewesten, ondanks de haar omgevende dikke wolkenlaag en hoogen dampkring, een zoo frissche en liefelijke gelaatskleur als de onze hebben. En daar bovendien de lichamen aan de oppervlakte der Zon, aan die der kern vooral, 30- tot 40maal zwaarder zijn dan

op de Aarde, zoo is 't klaarblijkelijk dat, ingeval wij derwaarts overgeplaatst werden, onze eigen zwaarte voldoende zou zijn om ons te verpletten.

De bewoners der Zon, indien zij bestaan, moeten dus veel sterker bewerktuigd zijn dan wij. Hunne afmetingen zijn waarschijnlijk kolossaal, en de recruten worden er buiten kijf als te klein naar huis gezonden, wanneer zij niet 18 a 20 voet lang zijn (*).

(*) Wij laten de *boutades* in deze § geheel voor rekening van den hooggeleerden Schrijver, alleen aanmerkende, dat zij vreemd afsteken bij de hoog ernstige beschouwingen, waarmede hij zoo menige andere les besluit. Houden we daarbij echter in 't oog, dat deze Lessen gehouden werden voor een "*auditoire élégant*" van beiderlei kunne, dan zullen we het den Spreker minder kwalijk nemen, dat hij de gelegenheid eens waarneemt om de dames een glimlachje af te dwingen.

VERT.



NOOT

OVER DE THEORIE DER PARALLAXEN.

318. — De vroeger gegeven bepalingen van de astronomische coördinaten: *rechte opklimming, declinatie of afwijking, lengte, breedte*, enz. zullen ons vergunnen thans dieper, dan wij bij de behandeling der Sterren doen konden, door te dringen in de beschrijving der handelwijzen ter bepaling van de hemelafstanden, of in de theorie der parallaxen, welke, gelijk wij weten, deze afstanden aan het meten van zekere hoeken verbinden.

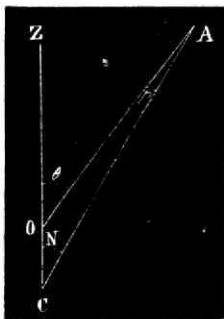


Fig. 153.

319. **Bepalingen.** — Zij Z (fig. 153) het zenith van een waarnemer, geplaatst in het punt O; C het centrum of middelpunt der Aarde, beschouwd als het middelpunt der bewegingen aan den hemel, en A een of ander hemellichaam, waarvan ZOA de *schijnbare* zenithsafstand voorstelt, terwijl ZCA de *geocentrische* zenithsafstand is, dien men *ware* zenithsafstand noemt. Het verschil OAC tusschen de beide voorgaande hoeken draagt den naam van *hoogte-parallax* der Ster of ook van *horizontale parallax*, naargelang de schijnbare zenithsafstand minder is dan of gelijk is aan 90 graden.

320. **Uitdrukkingen der hoogte-parallax in functiën van de schijnbare en ware zenithsafstanden.** — Beteekene p de hoogte-parallax ACO; r den aardradius OC; R den afstand CA van de Ster tot het middelpunt der Aarde; ϱ den schijnbaren zenithsafstand ZOA, en N den waren zenithsafstand ZCA. De driehoek ACO geeft u

$$(CA = R) : (CO = r) = (\sin AOC = \sin AOZ = \sin \varrho) : \sin p;$$

waaruit volgt

$$\sin p = \frac{r}{R} \sin \varrho = \frac{r}{R} \sin (N + p), \text{ omdat } \varrho = N + p \text{ is.}$$

En stelt gij door ω de horizontale parallax voor, die aan $\varrho = 90^\circ$ beantwoordt dan zult gij hebben

$$\sin \omega = \frac{r}{R},$$

gevolgelyk ook

$$(A) \quad \sin p = \sin \omega \cdot \sin (N + p).$$

De parallax doet de Sterren klaarblykelyk lager schijnen, dan wanneer zij uit het middelpunt der Aarde gezien werden, omdat de hoek ϱ grooter is dan N ; en daar zij doorgaans zeer klein is, kan men, bij vervanging van de sinussen door de hoeken, schrijven: $p = \omega \sin (N + p)$; eene formule, die aantoonst dat de horizontale parallax, daar p altijd kleiner is dan ω , de grootste waarde der parallax is.

321. — Wilt gij p uitdrukken in eene functie van den waren zenithsafstand, zo o ontwikkelt, in (A), $\sin (N + p)$.

Gij zult dan hebben: $\sin p = \sin \omega (\sin N \cdot \cos p + \cos N \cdot \sin p)$, hetgeen u geeft
 $\sin p (1 - \omega \cos N) = \omega \sin N \cdot \cos p$

en

$$(B) \quad \text{tang } p = \frac{\omega \sin N}{1 - \omega \cos N}$$

Stelt nu, met Delambre, $y = \text{tang } p$; waaruit volgt

$$p = \text{boog tang } y = f(y) = f(o) + yf'(o) + \frac{1}{2}y^2f''(o) + \frac{1}{2 \cdot 3}y^3f'''(o) + \text{etc.}$$

Gij zult eerst, door de differentiatie, bekomen

$$dy = \frac{dp}{\cos^2 p} = dp (1 + \text{tang}^2 p) = dp (1 + y^2);$$

en gij zult daaruit afleiden

$$\left[\frac{dp}{dy} = f'(y) \right] = \frac{1}{1 + y^2} \quad \left[\frac{d^2p}{dy^2} = f''(y) \right] = \frac{-2y}{(1 + y^2)^2},$$

$$\left[\frac{d^3p}{dy^3} = f'''(y) \right] = \frac{-2y(1 + y^2)^2 + 8(1 + y^2)y^2}{(1 + y^2)^3}, \text{ enz.};$$

voorts, door $y = o$ te maken,

$$f(o) = 1 \quad f'(o) = 0 \quad f''(o) = -2, \quad f'''(o) = 0, \text{ enz.}$$

Door substitutie in de reeks, zult gij eindelijk hebben

$$p = y - \frac{2}{2 \cdot 3} y^3 + \text{enz.} = \text{tang } p - \frac{1}{3} \text{tang}^3 p + \text{enz.}$$

$$= \frac{\omega \sin N}{1 - \omega \cos N} - \frac{1}{3} \left(\frac{\omega \sin N}{1 - \omega \cos N} \right)^3 + \text{enz.}$$

Nu is $\begin{cases} \frac{\omega \sin N}{1 - \omega \cos N} = \omega \sin N + \omega^2 \sin N \cdot \cos N + \omega^3 \sin N \cdot \cos^2 N + \text{enz.} \\ \left(\frac{\omega \sin N}{1 - \omega \cos N} \right)^3 = \omega^3 \sin^3 N + \text{enz.}; \text{ bij gevolg} \end{cases}$

$$(C) \quad \begin{cases} p = \omega \sin N + \omega^2 \sin N \cdot \cos N + \omega^3 (\sin N \cdot \cos^2 N - \frac{1}{3} \sin^3 N) + \text{enz.} \\ = \omega \sin N + \frac{1}{2} \omega^2 \sin 2N + \frac{1}{3} \omega^3 \sin 3N + \text{enz.} \end{cases}$$

eene sterk convergeerende formule, door Delambre aangegeven in de *Connaissance des temps* van 1793, en later door Legendre in zijne *Géométrie* opgenomen. Zij kan dienen voor hetzelfde geval als de formule (B), dat is te zeggen, als men den waren zenithsafstand N kent.

322. Parallax van den uurhoek.

— Daar de parallax de Sterren lager doet schijnen, zoo wijzigt zij hare uurhoeken, declinatiën, lengten en breedten. Pogen wij die gevolgen te bepalen.

Als $HPZH'$ (fig. 156) de meridiaan des waarnemers is, Z zijn zenith, P de pool, dan verlaagt de parallax de Ster van A in B in de verticaal ZA ; en gij hebt

$$\begin{cases} ZPA = \text{waren uurhoek} = P. \\ PA = \text{waren poolsafstand} = d. \\ ZPB = \text{schijnbaren uurhoek} = P + h. \\ PB = \text{schijnbaren poolsafstand} = d + \delta. \\ ZPB - ZPA = h = \text{parallax van den uurhoek} = APB. \\ PB - PA = \delta = \text{parallax van den poolsafstand.} \end{cases}$$

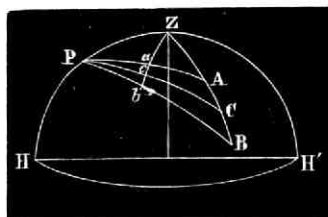


Fig. 156.

Bovendien hebt gij door de driehoeken ABP, ZPB, in welken tweeden hoek ZP niets anders is dan het complement der breedte L van den waarnemer:

$$\left(\begin{array}{l} \sin AB = \sin p \\ \sin AP = \sin d \end{array} \right) = \frac{\sin h}{\sin B} \dots \text{driehoek APB};$$

$$\left(\begin{array}{l} \sin PZ = \cos L \\ \sin BZ = \sin (N+p) \end{array} \right) = \frac{\sin B}{\sin (P+h)} \dots \text{driehoek ZPB}.$$

Vermenigvuldigt deze beide vergelijkingen met elkander, om den hoek B te doen verdwijnen, en gij bekomt

$$\frac{\sin p}{\sin d} \cdot \frac{\cos L}{\sin (N+p)} = \frac{\sin h}{\sin (P+h)};$$

vervangt $\sin p$ door zijne waarde $\omega \sin (N+p)$; laat den gemeenen factor $\sin (N+p)$ weg, en zoekt de waarde van $\sin h$; gij vindt dan eindelijk

$$(A') \quad \sin h = \frac{\omega \cos L}{\sin d} \sin (P+h)$$

Deze vergelijking is geheel overeenkomstig met de vergelijking (A). Zij geeft de uurhoek-parallax h in eene functie van den schijnbaren of waargenomen uurhoek $P+h$; en wordt zij ontwikkeld zooals met de formule (A) is geschied, dan voert zij achtereenvolgens tot de beide andere formules, die gelijkwaardig met (B) en (C) zijn:

$$(B') \quad \text{Tang } h = \frac{\left(\frac{\omega \cos L}{\sin d} \right) \sin P}{1 + \left(\frac{\omega \cos L}{\sin d} \right) \cos P}$$

$$(C') \quad h = \left(\frac{\omega \cos L}{\sin d} \right) \sin P + \frac{1}{2} \left(\frac{\omega \cos L}{\sin d} \right)^2 \sin 2P + \frac{1}{3} \left(\frac{\omega \cos L}{\sin d} \right)^3 \sin 3P + \text{enz.}$$

323. Parallax van den poolsafstand. — Om δ te berekenen, hebt gij door de driehoeken ZPA, ZPB,

$$\begin{aligned} [\cos PA = \cos d] &= \cos PZ \cdot \cos ZA + \sin PZ \cdot \sin ZA \cdot \cos PZA \\ &= \sin L \cdot \cos N + \cos L \cdot \sin N \cdot \cos Z \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} [\cos PB = \cos (d+\delta)] &= \cos PZ \cdot \cos ZB + \sin PZ \cdot \sin ZB \cdot \cos PZB \\ &= \sin L \cdot \cos (N+p) + \cos L \cdot \sin (N+p) \cdot \cos Z. \end{aligned}$$

Drijft $\cos Z$ uit, dan komt er

$$\frac{\cos d - \sin L \cdot \cos N}{\sin N} = \frac{\cos (d+\delta) - \sin L \cdot \cos (N+p)}{\sin (N+p)}$$

$$\begin{aligned} \cos (d+\delta) &= \frac{\cos d \cdot \sin (N+p) - \sin L \cdot \cos N \cdot \sin (N+p) + \sin L \cdot \cos (N+p) \cdot \sin N}{\sin N} \\ &= \frac{\cos d}{\sin N} \sin (N+p) \end{aligned}$$

$$(a) \quad \left\{ \begin{array}{l} -\frac{\sin L}{\sin N} [\cos N \cdot \sin (N+p) - \sin N \cdot \cos (N+p) = \sin p + \omega \sin (N+p)] \\ = \frac{\sin (N+p)}{\sin N} (\cos d - \omega \sin L) \end{array} \right.$$

Deze formule maakt $d+\delta$, en gevolgelijk δ bekend, door middel van $N+p$, en N . Maar gij kunt ook $d+\delta$ bekomen in eene functie van de uurhoeken, want daar de driehoeken ZPA, ZPB u geven:

$$\left[\frac{\sin ZA}{\sin PA} = \frac{\sin N}{\sin d} \right] = \frac{\sin P}{\sin Z}, \quad \left[\frac{\sin ZB}{\sin PB} = \frac{\sin (N+p)}{\sin (d+\delta)} \right] = \frac{\sin (P+h)}{\sin Z},$$

zoo brengt de uitwerping van $\sin Z$ u tot

$$\frac{\sin (N+p)}{\sin N} = \frac{\sin (P+h)}{\sin P} \cdot \frac{\sin (d+\delta)}{\sin d};$$

eene waarde, die, gesubstitueerd in de vergelijking (α), haar verandert in deze, die wij aan L exell te danken hebben,

$$(\alpha) \quad \cotang (d + \delta) = \frac{\sin (P + h)}{\sin P} \left(\cotang d - \frac{\omega \sin L}{\sin d} \right)$$

324. Ziehier andere formules, door Delambre gegeven, eerst in het 3de deel der *M emoires de l'Institut*, en later in zijn groot Werk. Zij kunnen in voorkomende gevallen van nut zijn.

Uit (α) vindt gij

$$\cotang d - \frac{\cotang (d + \delta) \cdot \sin P}{\sin (P + h)} = \frac{\omega \sin L}{\sin d},$$

waaruit

$$\begin{aligned} \cotang d - \cotang (d + \delta) &= \cotang (d + \delta) \left(\frac{\sin P - \sin (P + h)}{\sin (P + h)} \right) + \frac{\omega \sin L}{\sin d} \\ &= \cotang (d + \delta) \frac{2 \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right) \sin \frac{1}{2} h}{\sin (P + h)} + \frac{\omega \sin L}{\sin d}, \end{aligned}$$

wegens $\sin (a - b) - \sin (a + b) = 2 \sin b \cdot \cos a$, en $b = \frac{1}{2} h$, $a = \left(P + \frac{1}{2} h \right)$

wanneer men stelt $a + b = P + h$, $a - b = P$,

of wel

$$\begin{aligned} \left[\frac{\cos d}{\sin d} - \frac{\cos (d + \delta)}{\sin (d + \delta)} \right] &= \frac{\cos d \cdot \sin (d + \delta) - \cos (d + \delta) \cdot \sin d}{\sin d \cdot \sin (d + \delta)} \\ &= \frac{\sin (d + \delta - d)}{\sin d \cdot \sin (d + \delta)} = \frac{\sin \delta}{\sin d \cdot \sin (d + \delta)} \\ &= - \frac{\cos (d + \delta)}{\sin (d + \delta)} \cdot \frac{2 \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right) \cdot \sin \frac{1}{2} h}{\sin (P + h)} + \frac{\omega \sin L}{\sin d}; \end{aligned}$$

en gevolgelijk

$$\begin{aligned} \left. \begin{aligned} \sin \delta &= \omega \sin L \cdot \sin (d + \delta) - \frac{2 \sin d \cdot \cos (d + \delta) \cdot \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right) \cdot \sin \frac{1}{2} h \cdot \cos \frac{1}{2} h}{\sin (P + h) \cdot \cos \frac{1}{2} h} \\ &= \omega \sin L \cdot \sin (d + \delta) - \frac{\sin d \cdot \cos (d + \delta) \cdot \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right) \cdot \sin h}{\sin (P + h) \cdot \cos \frac{1}{2} h} \end{aligned} \right\} (B) \end{aligned}$$

Alzoo hebt gij in de driehoeken PAB, PZB,

$$\frac{\sin h}{\sin B} = \frac{\sin p}{\sin d},$$

$$\frac{\sin B}{\sin (P + h)} = \frac{\cos L}{\sin (N + p)};$$

vermenigvuldigt, om B te doen verdwijnen, en substitueert $\sin p$ door $\omega \sin (N + p)$.

dan bekomt gij $\frac{\sin h}{\sin (P + h)} = \frac{\omega \sin (N + p) \cdot \cos L}{\sin d \cdot \sin (N + p)} = \frac{\omega \cos L}{\sin d}$;

waaruit $\sin h \cdot \sin d = \omega \cos L \cdot \sin (P + h)$, eene waarde, die, gesubstitueerd in die van $\sin \delta$, eindelijk geeft

$$(B') \quad \sin \delta = \omega \sin L \cdot \sin (d + \delta) - \frac{\omega \cos L \cdot \cos (d + \delta) \cdot \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right)}{\cos \frac{1}{2} h}$$

Deze formule zal δ opleveren, wanneer men den schijnbaren poolafstand $(d + \delta)$

zal kennen, in plaats van den waren poolsafstand d , die in de vergelijking (α) optreedt.

Zij, ter bekorting,

$$m = \omega \sin L, \quad n = \cos \omega L \frac{\cos \left(P + \frac{1}{2} h \right)}{\cos \frac{1}{2} h}; \quad \frac{n}{m} = \tan x;$$

(B') wordt dan

$$(A'') \left\{ \begin{aligned} \sin \delta &= m \sin (d + \delta) - n \cos (d + \delta) = m [\sin (d + \delta) - \tan x \cdot \cos (d + \delta)] \\ &= \frac{m}{\cos x} \sin (d + \delta - x) = \frac{m}{\cos x} \sin [(d - x) + \delta] \end{aligned} \right.$$

eene formule, die weder beantwoordt aan de vergelijking (A), en waaruit gij gevolgelijk deze beide andere kunt afleiden, die met (B) en (C) overeenkomen:

$$(B'') \quad \tan \delta = \frac{\frac{m}{\cos x} \sin (d - x)}{1 - \frac{m}{\cos x} \cos (d - x)};$$

$$(C'') \quad \delta = \frac{m}{\cos x} \sin (d - x) + \frac{1}{2} \frac{m^2}{\cos^2 x} \sin \cdot 2 (d - x) + \frac{1}{3} \frac{m^3}{\cos^3 x} \sin \cdot 3 (d - x) + \text{enz.}$$

Voor 't overige valt het niet moeilijk om geometrisch de beteekenis van den hoek x te zien. Verdeelt daartoe den hoek APB in twee gelijke deelen door den grooten-cirkelboog PcC, en trekt eenen grooten-cirkelboog Zc loodrecht op PC. Gij zult dan eerst hebben

$$\tan Pc = \tan PZ \cdot \cos ZPc = \cotang L \cdot \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right).$$

De driehoeken Pac, Pbc, rechthoekig in c, zullen u vervolgens geven

$$(\tan Pa = \tan Pb) = \frac{\tan Pc}{\cos \frac{1}{2} h}$$

en hieruit, door de waarde van $\tan Pc$ in de plaats te stellen, bekomt gij

$$(\tan Pa = \tan Pb) = \frac{\cotang L \cdot \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right)}{\cos \frac{1}{2} h} = \frac{\omega \cos L \cdot \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right)}{\omega \sin L \cdot \cos \frac{1}{2} h} = \frac{n}{m} = \tan x$$

x is dus gelijk aan $Pa = Pb$.

De parallaxen van *declinatie* zullen voorts klaarlijkelyk, op de teekens na, dezelfde zijn als de parallaxen van *poolsafstand*.

325. Parallaxen van lengte en van breedte. — Laat Z en H'H' (fig. 157) het zenith en de horizon van den waarnemer zijn; rE, r'e de Aequator en de Ecliptica; P, p de polen dezer beide vlakken; pZI eene verticaal, getrokken door het zenith Z en door de pool p van de Ecliptica, welke zij in n snijdt; PZH' een andere verticaal (de Meridiaan), gaande door Z en de Pool P des Aequators, dien zij in M snijdt. Deze beide verticalen zullen dan kennelyk, de eerste met betrekking tot de Ecliptica, de tweede met betrekking tot den Aequator, volkomen in dezelfde omstandigheden zijn. ME, n'e zullen dus beide bogen van 90' wezen, en daar MH' de maat is van de helling des Aequators op den horizon, zal n'l insgelijks de helling n'e op de Ecliptica meten. Als gij gevolgelijk de pool p verbindt met de punten A en B, om de lengte-parallax h_1 of ApB, en de poolsafstands-parallax δ_1 of (pB-pA) te bepalen, overal waar gij de breedte L van den waarnemer of het complement van MH' hadt, dan zult gij komen op het complement L_1 van n'l of de hoekhoog-

te van het punt n , waaraan men den naam van *nonagesima* gegeven heeft, om aan te duiden dat het op 90° van het oostpunt e der Ecliptica is gelegen. Wat be-

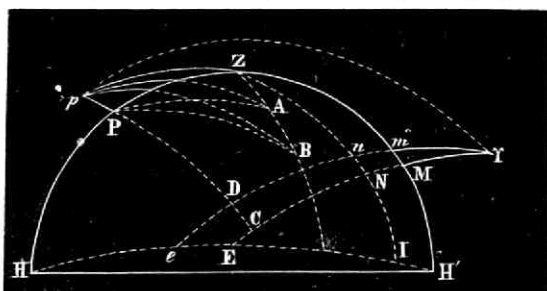


Fig. 157.

treft de uurhoeken ZPA , ZPB , gerekend van den Meridiaan PZH' , zij zullen vervangen worden door lengten, geteld van de verticaal pZI , welker stand zal ahangen van het uur, waarop gij de parallaxen wilt bekomen

Beteekene dan, voor 't oogenblik der berekening, M de bekende rechte opkliming γM van 't midden des Hemels; n de lengte γn van de nonagesima, en P_1 den lengtehoek ZpA . Duidt zoo ook door ω de schuinschheid $e\gamma E$ van de Ecliptica aan; door de driehoeken $e\gamma E$ of ZpP zult gij de groottheden n , P_1 en L_1 kunnen bepalen, dat wil zeggen dat gij, op een lijdpunt naar welgevallen, zult kunnen aangeven den stand der Ecliptica en der verticaal pZI , die den Aequator en Meridiaan moeten vervangen, wanneer gij, in plaats van de tot den Aequator betrekkelijke parallaxen, de parallaxen in betrekking tot den Ecliptica wenschte te hebben. Gij hebt toch in den driehoek $e\gamma E$, bij voorbeeld: $e\gamma E = \omega =$ bekende schuinschheid van de Ecliptica; $E\gamma = 90^\circ + M$; $\gamma Ee = 180^\circ - \gamma E H' = 180^\circ - (90^\circ - L) = 90^\circ + L$; en gij zult kunnen berekenen $\gamma E = 90^\circ + n$, $\gamma e E = 90^\circ - L$; bijgevolg ook n en L_1 , alsook eE_1 , die men amplitudo van het oostpunt der Ecliptica noemt, maar die wij hier niet behoeven te gebruiken. De waarde van ($P_1 = ZpA = npA$) zal nu volgen uit het verschil tusschen de bekende lengte $l = \gamma pA$ van de Ster A en den hoek γpn , gemeten door den boog $\gamma n = n$, dien gij bepaald zult hebben.

De driehoek ZpP , waarin de boog pP op 90° van het punt γ ligt, zou u ook de groottheden n , L_1 , P_1 geven, door middel van de groottheden

$$\begin{aligned} ZP &= 90^\circ - L, & Pp &= \omega, \\ pPZ &= 180^\circ - ZPC = 180^\circ - (\gamma C - \gamma M) \\ &= 180^\circ - (90^\circ - M) = 90^\circ + M, \end{aligned}$$

dewijl hij u de zijde Zp gelijk aan nI of aan $90^\circ - L_1$ en den hoek $PpZ = \gamma D - \gamma n = 90^\circ - n$ zou leeren kennen. Gij zult dus, in elk geval, naar behooren de grootte van n moeten nemen, die, daar zij van 0° tot 360° kan loopen, over 't algemeen twee waarden zal hebben, die beiden voldoen kunnen aan de trigonometrische vergelijkingen, waaruit gij die grootheid hebt afgeleid. Maar eene figuur zal altijd uwen twijfel wegnemen; want de Pool der Ecliptica ligt steeds ten *oosten* van den Meridiaan, als de nonagesima ten *westen* ligt, en omgekeerd.

De stand der Ecliptica bepaald en de afstand ($d_1 = pA$) van de Ster tot de Pool der Ecliptica daarenboven bekend zijnde uit de breedte dezer Ster, hebt gij

stechts, om de lengte- en breedte-parallaxen te bekomen, $L_1, h_1, P_1, d_1, \delta_1$, in de plaats te stellen van de groottheden L, h, P, d, δ , in de formules, die de parallaxen van *rechte opklimming* en van *declinatie* aangeven. Zoo zult gij dan vinden :

Parallax van rechte opklimming.

$$(A) \sin h = \frac{\omega \cos L}{\sin d} \sin (P + h);$$

$$(B) \text{tang } h = \frac{\frac{\omega \cos L}{\sin d} \sin P}{1 - \frac{\omega \cos L}{\sin d} \cos P};$$

$$(C) \quad h = \frac{\omega \cos L}{\sin d} \sin P + \frac{1}{2} \frac{\omega^2 \cos^2 L}{\sin^2 d} \sin 2P + \frac{1}{3} \frac{\omega^3 \cos^3 L}{\sin^3 d} \sin 3P + \text{enz.}$$

Lengte-parallax.

$$(A') \sin h_1 = \frac{\omega \cos L_1}{\sin d_1} \sin (P_1 + h_1)$$

$$(B') \text{tang } h_1 = \frac{\frac{\omega \cos L_1}{\sin d_1} \sin P_1}{1 - \frac{\omega \cos L_1}{\sin d_1} \cos P_1}$$

$$(C') \quad h_1 = \frac{\omega \cos L_1}{\sin d_1} \sin P_1 + \frac{1}{2} \frac{\omega^2 \cos^2 L_1}{\sin^2 d_1} \sin 2P_1 + \frac{1}{3} \frac{\omega^3 \cos^3 L_1}{\sin^3 d_1} \sin 3P_1 + \text{enz.}$$

Afstands-parallax tot de Pool des Aequators.

$$(\alpha) \cos (d + \delta) = \frac{\sin (N + p)}{\sin N} (\cos d - \omega \sin L)$$

$$(\alpha') \cotang (d + \delta) = \frac{\sin (P + h)}{\sin P} \left(\cotang d - \frac{\omega \sin L}{\sin d} \right)$$

$$(\beta) \sin \delta = \omega \sin L \cdot \sin (d + \delta) - \frac{\sin d \cdot \cos (d + \delta) \cdot \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right) \cdot \sin h}{\sin (P + h) \cdot \cos \frac{1}{2} h}$$

$$(\beta') \sin \delta = \omega \sin L \cdot \sin (d + \delta) - \frac{\omega \cos L \cdot \cos (d + \delta) \cdot \cos \left(P + \frac{1}{2} h \right)}{\cos \frac{1}{2} h}$$

$$m = \omega \sin L, \quad n = \omega \cos L \cdot \frac{\sin \left(P + \frac{1}{2} h \right)}{\cos \frac{1}{2} h} \quad \text{tang } x = \frac{n}{m}$$

$$(A'') \sin \delta = \frac{m}{\cos x} \sin [(d-x) + \delta]$$

$$(B'') \text{tang } \delta = \frac{\frac{m}{\cos x} \sin (d-x)}{1 - \frac{m}{\cos x} \cos (d-x)}$$

$$(C'') \quad \delta = \frac{m}{\cos x} \sin (d-x) + \frac{1}{2} \left(\frac{m}{\cos x} \right)^2 \sin 2(d-x) + \frac{1}{3} \left(\frac{m}{\cos x} \right)^3 \sin 3(d-x) + \text{enz.}$$

Afstands-parallax tot de Pool der Ecliptica.

$$(\alpha_1) \cos (d_1 + \delta_1) = \frac{\sin (N_1 + p_1)}{\sin N_1} (\cos d_1 - \omega_1 \sin L_1)$$

$$(\alpha') \quad \cotang (d_1 + \delta_1) = \frac{\sin (P_1 + h_1)}{\sin P_1} \left(\cotang d_1 - \frac{\omega_1 \sin L_1}{\sin d_1} \right)$$

$$(\beta) \quad \sin \delta_1 = \omega \sin L_1 \sin (d_1 + \delta_1) - \frac{\sin d_1 \cos (d_1 + \delta_1) \cdot \cos (P_1 + \frac{1}{2} h_1) \cdot \sin h_1}{\sin (P_1 + h_1) \cdot \cos \frac{1}{2} h_1}$$

$$(\beta') \quad \sin \delta_1 = \omega \sin L_1 \cdot \sin (d_1 + \delta_1) - \frac{\omega \cos L_1 \cdot \cos (d_1 + \delta_1) \cdot \cos (P_1 + \frac{1}{2} h_1)}{\cos \frac{1}{2} h_1}$$

$$m_1 = \omega \sin L_1, \quad n_1 = \omega \cos L_1 \frac{\sin (P_1 + \frac{1}{2} h_1)}{\cos \frac{1}{2} h_1}, \quad \text{tang } x_1 = \frac{n_1}{m_1}$$

$$(A'') \quad \sin \delta_1 = \frac{m_1}{\cos x_1} \sin [(d_1 - x_1) + \delta_1]$$

$$(B'') \quad \text{tang } \delta_1 = \frac{\frac{m_1}{\cos x_1} \sin (d_1 - x_1)}{1 - \frac{m_1}{\cos x_1} \cos (d_1 - x_1)}$$

$$(C'') \quad \delta_1 = \frac{m_1}{\cos x_1} \sin (d_1 - x_1) + \frac{1}{2} \left(\frac{m_1}{\cos x_1} \right)^2 \cdot \sin 2(d_1 - x_1) + \frac{1}{3} \left(\frac{m_1}{\cos x_1} \right)^3 \cdot \sin 3(d_1 - x_1) + \text{enz.}$$

326. Dat zijn de formules, waardoor men van de *schijnbare* tot de *ware* standen, en *omgekeerd*, kan geraken. Strikt genomen, zou men evenwel alleen gebruik kunnen maken van de *hoogte-parallax*, omdat men met de *ware* of *schijnbare* zenithsafstanden gemakkelijk kan geraken tot de declinatieën en rechte opklimmingen, mede *ware* of *schijnbare*, naargelang van den aard der zenithsafstanden, die men bezigt, terwijl men verder uit die declinatieën en rechte opklimmingen de lengten en de breedten zou vinden. Maar de boven gegeven formules hebben een ander doel: zij moeten verscheidene wegen aanwijzen, in verband met de verschillende hulpmiddelen der waarnemers, ter bepaling van de hemelafstanden, dat is van de horizontale parallax ω of van de breuk $\frac{r}{R}$, welke R in eene functie van den aard-radius r geeft.

327. **Proefondervindelijke bepalingen.** — Onderstelt vooraf een enkelen waarnemer, en dat het Hemellichaam, welks afstand gij wilt kennen, bij zijnen gang door den Meridiaan aan het zenith of dicht bij dit punt uitkomt. Daar zullen parallax en straalbuiging zoo goed als nul zijn. Gij zult dan onmiddellijk den waren poolsafstand van het Hemellichaam bekomen. Zet uwe waarnemingen verscheidene dagen voort, gij zult dan de *dagelijksche* verandering van poolsafstand verkrijgen en dien afstand voor een gegeven oogenblik kunnen berekenen. Gij zult almede de dagelijksche verandering van rechte klimming hebben, waaruit gij het juiste oogenblik, waarop de Ster door den Meridiaan moet gaan, zult afleiden.

Berekening der hoogte-parallaxen. — Neemt vervolgens dezelfde Ster waar op 75° of 80° zenithsafstand. Het uur der waarneming, in verband gebracht met het oogenblik waarop zij door den Meridiaan gaat, zal u den uurhoek ZPA (fig. 158) doen kennen. Gij kent bovendien $ZP = 90^\circ - L$, en den poolsafstand PA van de Ster; 't zal u dus gemakkelijk vallen den waren zenithsafstand ZA = N te bepalen. Vergelijkt dezen *berekenden* zenithsafstand met den *waargeno-*

men zenithsafstand $ZB = (N+p)$, nadat gij aan dezen de correctie der straalbreking hebt verricht; gij zult tót verschil de hoogteparallax $AB = p$ bekomen; en de vergelijking $p = \omega \sin (N+p)$, waarin p en $(N+p)$ bekend zijn, zal u vervolgens ω of de verhouding $\frac{r}{R}$ en bijgevolg ook den afstand R geven.

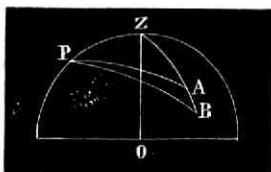


Fig. 158.

Deze bewerking zal u toonen, dat geen der Sterren, die nabij het zenith voorbijgaan, eene parallax heeft. En daar de waarnemingen, onder verschillende breedten, dat is met verschillende zeniths gedaan, dezelfde resultaten opleveren, zult gij uw besluit algemeen maken en tot alle Sterren uitstrekken kunnen. Wat de Zon betreft, als gij haar in onze klimaten waarneemt wanneer zij op den middag nabij het zenith komt, zult gij in 't algemeen bevinden, dat zij eene parallax van 6 tot 12 seconden heeft: tusschen deze grenzen hebben, sedert de uitvinding der verreijkers, de waarnemingen der verschillende Sterrenkundigen, Cassius, Lahire, enz bestendig gezweefd. Vandaar de noodzakelijkheid van eene andere methode te bezigen, die wij later zullen behandelen (*de overgangen van Venus voorbij de zonnenschijf*), ten einde juistere bepalingen te verkrijgen. De Maan daarentegen, veel minder ver van ons verwijderd, geeft voldoende uitkomsten, welke tusschen 54' en 61' blijven. Venus zou, in zekere standen, insgelijks een goede parallax, van ongeveer 30'', kunnen geven. Mars zou er eene van 14'' tot 15'' opleveren. De andere te ver verwijderde Planeten vereischen bijzondere kunstgrepen.

328. Berekening der parallaxen van rechte opklimming. — De vergelijking (A), $\sin h = \frac{\omega \cos L}{\sin d} \sin (P+h)$, gevonden voor de parallax van rechte

klimming, zal ook de waarde van $\omega = \frac{\sin h \cdot \sin d}{\cos L \cdot \sin (P+h)}$ opleveren, want de breedte L van de plaats is bekend, zoo ook de poolsafstand d , waargenomen in den Meridiaan, nabij het zenith, op eene weluitgekozen plaats (Lacaille ging tot dat einde naar de Kaap de Goede Hoop). Eenige dagen waarnemens zullen bovendien de verandering in rechte klimming voor een bepaald tijdstip leeren kennen.

Vergelijkt nu, 4 of 5 uren vóór of na den doorgang door den Meridiaan uw Hemellichaam bij eene vaste Ster. Gij zult het schijnbare verschil in R.O. bekomen; en daar de vaste Ster geene parallax heeft, zal het gevonden verschil, met het vereischte teeken toegepast op de rechte opklimming der Ster u de *schijnbare* rechte opklimming van 't Hemellichaam geven. Trekt deze schijnbare R.O. af van de *berekende* R.O., zoo zult gij de waarde van h bekomen. De rechte opklimming, berekend voor het oogenblik der waarneming, zal u P en gevolge-lijk, daar h bepaald is, ook $P+h$ geven. Alles zal dus bekend zijn behalve ω in de vergelijking (A).

Parallaxen der Zon en der verschillende Planeten, afgeleid uit die van Mars. — Volgens deze berekening der rechte klimmingen bepaalden Cassini en Lacaille de parallax van Mars. Hieruit volgden die der andere Planeten, krachtens de wet, die wij later zullen behandelen onder den naam van 3de wet van Kepler en welke dus luidt: *de vierkanten van de omwentelingstijden der Planeten rondom de Zon staan tot elkander als de derde machten der gemiddelde afstanden van deze Planeten tot de Zon.* Inderdaad, zoo gij door a , a' de gemid-

delde afstanden van de Aarde en Mars tot de Zon uitdrukt, en door T , T' den duur van hare siderale omwentelingen; door a'' , a''' , enz., T'' , T''' , enz. den duur van de siderale omwentelingen der andere Planeten; eindelijk door ω de horizontale parallax van Mars bij zijnen tegenstand, als wanneer de afstand van deze Planeet tot de Aarde slechts ongeveer zes tiendedeelen bedraagt van den gemiddelden afstand tusschen de Aarde en de Zon en deswege door de waarneming met meer nauwkeurigheid kan gevonden worden, — dan hebt gij terstond, afgezien van de zeer geringe helling der loopbaan van Mars op de ecliptica :

$$\omega = \frac{r}{a' - a''} \quad \text{en} \quad \frac{a}{a'} = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T'^2}}, \quad \frac{a}{a''} = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T''^2}}, \quad \frac{a}{a'''} = \sqrt[3]{\frac{T^2}{T'''^2}} \text{ enz.,}$$

dat is, even zooveel vergelijkingen van den *eersten graad* als gemiddelde afstanden a , a' , a'' , enz. te bepalen. Gij zult dan deze gemiddelde afstanden berekenen in eene functie van de *waargenomen* parallax ω ; gevolgelijk vindt gij ook lichtelijk voor de verschillende standen der Planeten, wier loopbanen bekend zijn, de parallaxen of de afstanden tot de Aarde.

329. Berekening der poolafstanden. — Gij zoudt ook de horizontale parallax kunnen afleiden uit de parallax-formules van declinatie. Daartoe zou

't voldoende zijn, op bepaalde tijdstippen de declinatie uwer Planeet te vergelijken bij die van eene vaste Ster, beurtelings in de nabijheid en op verren afstand van het zenith, maar toch hoog genoeg dat de onzekerheid der straalbuigingen, in de nabijheid des horizons, geene te groote fouten te weeg konden brengen. Alleen zijn de formules, die δ en h bevatten, minder gemakkelijk in de toepassing. Maar indien gij, in plaats van één waarnemer, twee waarnemers stelt op genoegzaam verwijderde standpunten, die op denzelfden Meridiaan zijn gelegen, alwaar men *gelijktijdig* de zenithsafstanden AOZ , $AO'Z'$ van de Planeet in den meridiaan kan meten (fig. 159), gelijk dat, bij voorbeeld, in 1751 voor de Maan, Mars en Venus werd gedaan door Lacaille aan de Kaap de Goede-Hoop en door Lalande te Berlijn; terwijl de hoek OCO' , verschil of som der breedten, bekend is, de schijnbare zenithsafstanden ($AOZ = N + p$), ($AO'Z' = N' + p'$) door waarneming bepaald zijn, en de hoek ($AOO' = p + p'$), gevonden wordt uit de som 360° van de hoeken der vierzijdige figuur $AOCO'$, waarin men heeft $O = 180^\circ - (N + p)$, $O' = 180^\circ - (N' + p')$, dan komt gij tot de vergelijkingen

$$p = CAO = \omega \sin (N + p). \quad p' = CAO' = \omega' \sin (N' + p'),$$

waaruit

$$(p + p') \omega = [\sin (N + p) + \sin (N' + p')], \quad \text{en} \quad \omega = \frac{(p + p')}{\sin (N + p) + \sin (N' + p')}.$$

Deze laatste wijze van berekening is zeer goed en vereischt daarenboven niet, dat de waarnemers zich nauwkeurig op denzelfden Meridiaan bevinden, gelijk wij eerst ondersteld hadden; immers, om de beide waarnemingen tot hetzelfde uur te herleiden is 't voldoende, te weten hoeveel de zenithsafstanden of de declinatieën hebben kunnen veranderen in de tijdruimte tusschen deze waarnemingen.

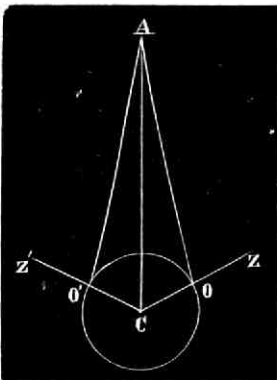


Fig. 159.

De afplatting der Aarde is over 't geheel zonder invloed. Voor de Maan echter kan zij eene dwaling van 3" a 4" te weeg brengen. Bij zeer nauwkeurige berekeningen zou men dus op die afplatting acht behooren te slaan, en, volgens de bekende gedaante der Aarde, de hoeken moeten berekenen, die begrepen zijn tusschen de normalen en de stralen, die uit het middelpunt zelf van den Bol getrokken worden. Maar 't is onnoodig hier langer te verwijlen bij min belangrijke bijzonderheden, die zich voor 't overige gemakkelijk laten berekenen.

330. **Jaarlijksche parallaxen.** — 1^o **Jaarlijksche parallax van rechte opklimming.** — Laat nu, om de jaarlijksche parallaxen te bekomen,

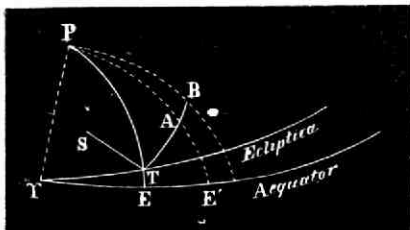


Fig. 160.

(in fig. 160) T de Aarde, S de Zon, A de Ster zijn. 't Is duidelijk, dat S het middelpunt der Aarde in de voorgaande figuren zal vertegenwoordigen; dat T den waarnemer, ST den verticaal, AB de hoogte-parallax zal voorstellen; eindelijk, dat de hoekafstand TE van de Aarde tot den Æquator of de declinatie D_{\odot} (*) van de Aarde gelijk zal zijn aan de breedte L van de plaats, en de uurhoek P

aan 't verschil ($EPE' = \gamma PE' - \gamma PE = R.O._* - R.O._{\odot}$) van rechte opklimming tusschen de Ster A en de Aarde T. Verricht dus die substitutiën in eene der vergelijkingen (A'), (B'), (C'), in de eerste (A') bij voorbeeld, en stelt ($90^\circ - \text{declinatie } D_*$) van de Ster in de plaats van den poolsafstand d . Wanneer ω nu de jaarlijksche parallax voorstelt, zult gij hebben:

$$h = \omega \frac{\cos D_{\odot}}{\cos D_*} \sin (R.O._* - R.O._{\odot} + h) = \omega \frac{\cos D_{\odot}}{\cos D_*} \sin (R.O._* - R.O._{\odot}),$$

door 't verwaarloozen van h bij ($R.O._* - R.O._{\odot}$), dat een zeer groote hoek zal moeten zijn, dicht bij 90° of 270° , opdat zijn sinus een maximum moge wezen, en de werking h der parallax, voorgesteld door het eerste lid der vergelijking, zelve zoo groot mogelijk zij.

Ontwikkelt $\sin (R.O._* - R.O._{\odot})$, zoo wordt de waarde van h :

$$h = \frac{\omega \cos D_{\odot}}{\cos D_*} (\sin R.O._* \cos R.O._{\odot} - \sin R.O._{\odot} \cos R.O._*).$$

De driehoek $T\gamma E$, rechthoekig in E, levert u:

[$\cos T\gamma = \cos \text{lengte } \odot = \cos \odot = \cos (180^\circ + \odot) = -\cos \odot = \cos TE \cdot \cos \gamma E = \cos D_{\odot} \cdot \cos R.O._{\odot}$; want men ziet lichtelijk uit fig. 161, dat de lengte $\gamma \odot$ van de Aarde gelijk is aan $180^\circ + \text{lengte } \gamma \odot$ van de Zon, wordende de hoeken gerekend uit te gaan van en boven de lijn der Nachteveningen. Ver-

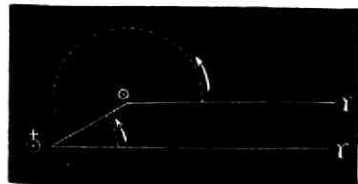


Fig. 161.

(*) De figuren \odot en $*$ zijn de astronomische teekens van de Aarde en de Sterren.

menigvuldigt de beide leden van deze vergelijking met $\text{tang } R.O.\frac{\delta}{2}$, dan bekomt gij:

$$(-\cos \odot \cdot \text{tang } R.O.\frac{\delta}{2}) = \cos D\frac{\delta}{2} \cos R.O.\frac{\delta}{2} \text{tang } R.O.\frac{\delta}{2} = \cos D\frac{\delta}{2} \sin R.O.\frac{\delta}{2}$$

Substitueert de waarden van $\cos D\frac{\delta}{2} \cdot \cos R.O.\frac{\delta}{2}$ en van $\cos D\frac{\delta}{2} \cdot \sin R.O.\frac{\delta}{2}$, er zal komen:

$$h = \frac{\omega}{\cos D} (-\cos \odot \cdot \sin R.O. + \cos \odot \cdot \text{tang } R.O.\frac{\delta}{2} \cdot \cos R.O.);$$

en uit hoofde van

$$\text{tang } rE = \text{tang } R.O.\frac{\delta}{2} = (\text{tang } rT \cdot \cos TrE = \text{tang } \frac{\delta}{2} \cdot \cos \omega = \text{tang } \odot \cdot \cos \omega).$$

$$(A''') h = \frac{\omega}{\cos D} (-\cos \odot \cdot \sin R.O. + \cos \odot \cdot \text{tang } \odot \cdot \cos \omega \cdot \cos R.O.)$$

$$= \frac{\omega}{\cos D} (-\sin R.O. \cos \odot + \sin \odot \cdot \cos \omega \cdot \cos R.O.)$$

$$= \frac{\omega}{\cos D} \left[-\sin (R.O. + \odot) - \frac{1}{2} \sin (R.O. - \odot) + \frac{1}{2} \cos \omega \cdot \sin (\odot + R.O.) + \frac{1}{2} \cos \omega \cdot \sin (\odot - R.O.) \right]$$

$$= \frac{\omega}{\cos D} \left[\frac{\cos \omega - 1}{2} \sin (R.O. + \odot) - \frac{\cos \omega + 1}{2} \sin (R.O. - \odot) \right]$$

$$= \frac{\omega}{\cos D} [-0,0413 \sin (R.O. + \odot) - 0,9387 \sin (R.O. - \odot)] (*).$$

331. 2^o **Jaarlijksche parallax van afstand tot de pool des Equators.** — Verricht nu, voor den poolsafstand, de substitutiën, die gij voor de rechte klimming hebt gedaan, en stelt

$$\cos \left(P + \frac{1}{2} h \right) = \cos P, \quad \cos \frac{1}{2} h = 1,$$

$$\sin (d + \delta) = \cos D, \quad \cos (d + \delta) = \sin D;$$

De vergelijking (β), onder anderen, die bepaaldelijk δ en ω bevat, zal u geven:

$$(\sin \delta = \delta) = \omega \sin D \cos D - \omega \cos D \sin D \cdot \cos (R.O. - R.O.\frac{\delta}{2})$$

Ontwikkelt $\cos (R.O. - R.O.\frac{\delta}{2})$, er komt

$$(\sin \delta = \delta) = \omega [\sin D \cos D - \cos D \sin D \cos R.O. \cos R.O.\frac{\delta}{2} - \cos D \sin D \sin R.O. \sin R.O.\frac{\delta}{2}].$$

Nu hebt gij in den rechthoekigen driehoek TrE (fig. 161)

$$(\sin TE = \sin D\frac{\delta}{2}) = \sin rT \cdot \sin r = \sin \frac{\delta}{2} \cdot \sin \omega = -\sin \odot \cdot \sin \omega.$$

Gij hebt daarenboven, volgens hetgeen wij daar zoo even zagen voor de parallax van rechte opklimming:

$$\cos \odot \cdot \cos R.O.\frac{\delta}{2} = \cos \frac{\delta}{2} = -\cos \odot;$$

$$\cos D\frac{\delta}{2} \cdot \sin R.O.\frac{\delta}{2} = -\cos \odot \cdot \text{tang } R.O.\frac{\delta}{2}$$

$$= -\cos \odot \cdot \text{tang } \frac{\delta}{2} \cdot \cos \omega = -\cos \odot \cdot \text{tang } \odot \cdot \cos \omega = -\sin \odot \cdot \cos \omega.$$

Waaruit ($\sin \delta = \delta$)

$$= -\omega \sin \odot \sin \omega \cos D + \omega \cos \odot \sin D \cos R.O. + \omega \sin \odot \cos \omega \sin D \sin R.O.$$

(*) Met $\omega = 23^{\circ}27'25''$ (\S 121).

en wanneer gij de teekens verandert, om de declinatie-parallax te bekomen, (B'') jaarlijksche parallax in declinatie

$$= \omega [\sin \odot \sin \omega \cos D_1 - \cos \odot \sin D_1 \cos R.O. - \sin \odot \cos \omega \sin D_1 \sin R.O.]$$

$$= \omega \sin \odot \sin \omega \cos D_1 - \omega \sin D_1 \left[\frac{1}{2} \cos (\odot + R.O.) + \frac{1}{2} \cos (\odot - R.O.) \right] \\ + \frac{1}{2} \cos \omega \cos (\odot - R.O.) - \frac{1}{2} \cos \omega \cos (\odot + R.O.) \Big]$$

$$= \omega \sin \odot \sin \omega \cos D_1 - \omega \sin D_1 \left[\cos (\odot + R.O.) \frac{1 - \cos \omega}{2} \right. \\ \left. + \cos (\odot - R.O.) \frac{1 + \cos \omega}{2} \right]$$

$$= 0,3981 \omega \sin \odot \cos D_1 - \omega \sin D_1 [0,0413 \cos (\odot + R.O.) + 0,9587 \cos (\odot - R.O.)]$$

332. — Deze vergelijking toont aan, dat er, wanneer gij eene Ster met groote declinatie neemt en alzoo de eerste term in $\cos D_1$ verdwijnt, niet veel van beteekenis dan $0,9587 \omega \sin D_1 \cos (\odot - R.O.)$ zal overblijven. Naamt gij daarentegen Sterren dicht bij den Aequator, dan zou de term $0,3981 \omega \sin \odot \cos D_1$ overblijven; en daar de hoogste waarde van dezen term niet boven $0,3981 \omega$ kan gaan, zou de invloed der parallax alsdan veel geringer zijn dan voor de Sterren nabij de Pool. Gij kunt daarbij nog opmerken, dat na zes maanden tijdsverloop $\cos (\odot - R.O.)$ van teeken verandert, omdat \odot met 180° vermeerderd. De gevolgen der parallax in declinatie zullen derhalve het eene bij 't andere komen in uwe dus door tijd vaneengescheiden waarnemingen. Zij zullen daarbij het grootst mogelijk zijn voor $\odot - R.O. = 0^\circ$ of $= 180^\circ$; hetgeen de lengte \odot der Zon of het te kiezen tijdstip ter waarneming, wanneer de R.O. der Ster is gegeven, en de te kiezen R.O. voor de Ster, wanneer gij integendeel vooraf het tijdstip der waarneming hebt bepaald. Is de parallax in declinatie eenmaal bekend, dan kunt gij gemakkelijk de waarde van ω berekenen.

333. — Soortgelijke opmerkingen kan men ook toepassen op de bepaling der parallax van rechte klimming, welker voornaamste invloed, aangegeven door $\sin (R.O. - \odot)$ vermindert, als die der parallax van declinatie, aangeduid door de cosinussen van denzelfden hoek, vermeerderd: eene bijzonderheid, die u desnoodig kan dienen tot een voortreffelijk middel van verificatie, gelijk ik zelf gepoogd heb haar daartoe aan te wenden in mijne nog onuitgegeven nasporingen.

334. **Jaarlijksche parallaxen van lengte en breedte.** — Wanneer gij, ter voltooiing uwer theorie, de parallaxen van lengte en breedte wildet kennen, zoudt gij in de formules (A') en (B'), die voor de rechte opklimmingen en de declinatieën zijn gebezigd, enkel moeten stellen: $1^\circ L=0$, omdat de waarnemer T (fig. 162) zich altijd op 90° afstands van de Pool P der Aëcliptica moet bevinden; $2^\circ P = Tpe = Ype$

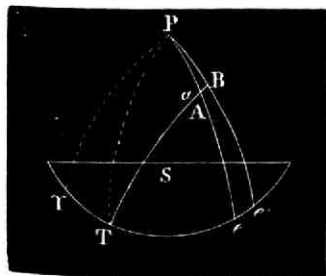


Fig. 162.

-- $\gamma p T$. = lengte der Ster -- lengte der Aarde = $E - \delta$; en $3^o d = 90^o$ -- breedte der Ster = $90^o - \lambda$; 4^o eindelijk:

$$\sin \left(P + \frac{1}{2} h \right) = \sin P \text{ en } \cos \frac{1}{2} h = 1.$$

De formules zouden dus veranderen in

$$h = \frac{\omega}{\cos \lambda} \sin (E - \delta);$$

of, in eene reeks, volgende uit de vergelijking (C')

$$h = \frac{\omega}{\cos \lambda} \sin (E - \delta) + \frac{1}{2} \frac{\omega^2}{\cos^2 \lambda} \sin 2 (E - \delta) + \frac{1}{3} \frac{\omega^3}{\cos^3 \lambda} \sin 3 (E - \delta) + \text{enz.}$$

Maar wegens de kleinte van ω is de eerste term voldoende.

$$(\sin \delta = \delta) = \text{parallax in breedte} = \omega \sin \lambda \cdot \cos (E - \delta)$$

formules, waartoe gij voor 't overige gemakkelijk zult komen door den kleinen driehoek Aab , wiens zijde Aa den invloed der parallax in breedte voorstelt, terwijl de zijde Ba , of liever de projectie $e'e = \frac{Ba}{\cos \lambda}$ van deze zijde op de Ecliptica,

den invloed der parallax in breedte afbeeldt; want gij zoudt hebben:

$$Ba = BA \sin A = \omega \sin TB \sin A = \omega \sin TA \cdot \sin A = \omega \sin Te = \omega \sin (E - \delta),$$

$$\text{bijgevolg } h = \frac{Ba}{\cos \lambda} = \frac{\omega}{\cos \lambda} \sin (E - \delta).$$

Eveneens zoudt gij bekomen:

$$\begin{aligned} \delta &= \Lambda a = Ba \text{ tang } B = Ba \text{ cotang } A = \omega \sin (E - \delta) \sin Ae \cdot \text{cotang } Te \\ &= \omega \sin \lambda \cdot \cos (E - \delta), \text{ als boven.} \end{aligned}$$

En wegens $\delta = 180^o + \odot$, waaruit volgen

$$\begin{aligned} \sin (E - \delta) &= \sin (E - 180^o - \odot) = \sin (360^o + E - 180^o - \odot), \\ &= \sin (180^o + E - \odot) = - \sin (E - \odot), \end{aligned}$$

$$\cos (E - \delta) = \cos (180^o + E + \odot) = - \cos (E - \odot),$$

hebt gij ten slotte

$$h = - \frac{\omega}{\cos \lambda} \sin (E - \odot) = \text{jaarlijksche parallax van lengte,}$$

$$\lambda = - \omega \sin \lambda \cdot \cos (E - \odot) = \text{jaarlijksche parallax van breedte.}$$



STERRENKUNDE

VOOR DEN

BESCHAAFDEN STAND.

NAAR HET FRANSCH VAN

Prof. P E T I T.

Directeur van het Observatorium en Hoogleeraar der Sterrenkunde te Toulouse.

Met 286 Figuren in den tekst en 2 Platen als Planiglobes.

TWEEDE DEEL.



Leiden,

D. NOOTHOVEN VAN GOOR,

Uitgever.

I N H O U D

VAN HET TWEEDE DEEL.

D E R T I E N D E L E S.

Over de Maan.

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
Siderische of periodische, en synodische omloopstijd der Maan . . .	293	Libratiën der Maan. — 1 ^o Libratie in lengte	304
De loopbaan der Maan rondom de Aarde is vlak	294	2 ^o Libratie in breedte	305
Helling van de loopbaan der Maan op de Ecliptica — Verschillende bewegingen van het vlak der maanbaan en van de knopenlijn. . .	295	3 ^o Dagelijksche libratie	305
Klimmende en dalende knoop. . .	295	Schijnbare grootte der Maan aan den horizon.	306
Beweging der Maan in hare loopbaan. — Die beweging is elliptisch, en de vlakke-uitgebreidheden tusschen de voerstralen zijn evenredig aan de tijden. — Voortgaande verplaatsing der groote as. — Afstanden van de Maan tot de Aarde	296	Wezenlijke libratie.	307
Afmetingen en snelheid der Maan .	297	Lagrange's verklaring van de oorzaak, waaruit de gelijkheid der rotatie- en verplaatsingsbewegingen ontstaat.	308
Massa der Maan en zwaarte aan hare oppervlakte	297	Verhouding der lichtsterkten van de Maan en de Zon	308
Phasen of schijngestalten der Maan	298	Maanwarmte. — Verhouding van 't heldere licht tot het aschgrauwe.	308
Phasen der Aarde voor de Maan. — Aschgrauw licht	300	Chemische werking der maanstralen. — Polarisatie van het door de Maan teruggekaatste licht. . .	309
Veranderlijke tinten van het aschgrauwe licht, overeenkomstig met de kleur der weerkaatsende oppervlakten, die het voortbrengen	301	Vereffening van het middelpunt of de loopbaan.	311
De duur van de omdraaiing der Maan om zich zelve is gelijk aan dien van hare wenteling om de Aarde	302	Evectie	311
Voorkomen der Aarde, uit de Maan gezien	302	Variatie	311
		Algemeen denkbeeld van de oorzaak, die de ongelijkheden der Maan te weeg brengt.	312
		Jaarlijksche æquatie of vereffening	312
		Versnelling van de gemiddelde beweging der Maan. — Oorzaak, die het verschijnsel te weeg brengt .	312
		Talrijke onregelmatigheden, die de theorie oplevert	313

V E E R T I E N D E L E S.

Vervolg van de beschouwing der Maan. — Toepassingen op den kalender.

De Maan regelde den Kalender der Ouden en regelt nog dien van

sommige hedendaagsche volken. — Zij brengt ten deele het hare

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
toe aan de inlasschingen van den		en der Maan boven zekere hori-	
Gregoriaanschen kalender . . .	314	zons, gedurende de Eclipsen, ver-	
Maancyclus en Gulden-getal . . .	315	oorzaakt door de werking des	
Kerkelijke maanmaanden.	315	dampkrings	325
Epacta.	316	Waarom zijn voor elke plaats de	
Paaschmaan	318	Maaneclipsen menigvuldiger dan	
Beweeglijke feesten.	318	de Zoneclipsen, ofschoon werke-	
Benamingen der zonnemaanden on-		lijk, over de geheele Aarde geno-	
eigenlijk toegepast op de maan-		men, de laatste talrijker zijn dan	
maanden	319	de eerste?	325
Regel der Computisten of Bereke-		Indrukken te weeg gebracht door	
naars van den kerkelijken Kalender	319	de Maaneclipsen	326
Dionysische periode	319	Toepassingen van de Maaneclipsen	327
Juliaansche cyclus	320	De periode van 18 jaren en 11 dagen	
Maaneclipsen	320	geeft in 't algemeen de ecliptische	
Lengte en breedte van den scha-		syzygiën aan	328
dowkegel.	321	Beloop van de betrekkelijke maan-	
Reden waarom er niet elke maand		baan op de in den schaduwkegel	
eclips is	322	gemaakte snede	328
Oorsprong van den naam Ecliptica	322	Berekening van het oogenblik der	
Schaduw en Bijschaduw.	322	oppositie	329
Physische verschijnselen. — Invloed		Berekening der phasen. — Duur	
van den dampkring der Aarde.	323	der Eclips	330
Roodachtige tint der Maan gedurende		Geval der totale Eclips. — Voor-	
de Eclipsen	324	waarden van het verschijnsel	331
Verschil tusschen den berekenden		Proeven van bepaling der maanpa-	
en den waargenomen duur der		rallax door de Eclipsen	332
Eclipsen	324	Kaart der Eclips op de oppervlakte	
Gelijktijdige aanwezigheid der Zon		der Aarde.	332

V I J F T I E N D E L E S.

Zonsverduisteringen.

De phasen der Zoneclipsen zijn veel		kroon; de polarisatie van haar	
scherper begrensd dan die der		licht wijst op eenen dampkring	
Maaneclipsen	333	der Zon	337
De Zoneclipsen zijn, over 't geheel		Het physisch voorkomen der licht-	
der Aarde genomen, talrijker dan		kroon schijnt de gevolgtrekkingen,	
de Maaneclipsen	333	die de polarisatie oplevert, te be-	
Voorspelling der Eclipsen door de		vestigen	338
Ouden met behulp der Chaldeeche		Rozeroode vlammen en wolken	339
periode van 18 jaren en 11 dagen,		Waarschijnlijke hoogte van den	
Saros geheeten.	335	dampkring, die de Zon omgeeft.	
Waarneming der partiëele Eclipsen		— Grootte der Zonnevlammen of	
of gedeeltelijke Verduisteringen	336	Zonnewolken	340
Ringvormige en centrale Eclipsen	336	Metalen tot de Zon behoorende	340
Totale Verduisteringen. — Licht-		Blinkend punt van Ulloa.	341

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
Bliksemstralen op de Maan gedurende de totale Verduistering	342	ziet, door de werking der horizontale parallax	348
Afkoeling bij de Zoneclipsen	342	Plaatsen, die achtereenvolgens de Eclips zien beginnen door de werking der hoogte-parallaxen	349
Indrukken, die de Zoneclipsen te weeg brengen	343	Ligging der plaatsen, die de centrale Eclips zullen zien	350
Ecliptische samenstanden of conjunctiën	347	Werking der schuinsche parallaxen	350
Betrekkelijke loopbaan der Maan in den lichtkegel	347	Sterbedekkingen	351
Phasen der algemeene Eclips.	347	Gang der schaduw over de oppervlakte der Aarde. — Phasen op eene gegeven plaats	351
Punt der Aarde, dat de eerste aanraking van de Zon en de Maan		Methode der projectiën	352

Z E S T I E N D E L E S.

Physische gesteldheid der Maan.

De vlekken der Maan zijn blijvend	356	mogelijkheid van eenen dampkring in het voor ons verborgen gedeelte der Maan	362
De terugkaatsing geschiedt op de Maan evenals op gerimpelde vlakten	356	Is de Maan bewoonbaar? — Uitwerking van den zonneshijn op onzen Wachter	363
Voorkomen van de Maanvlekken.	357	Invloed aan de Maan toegekend	364
Namen van de vlekken der Maanbergen	358	Rosse maan	366
Hoogte der maanbergen.	359	Voorspellingen aan de Maan ontleend	367
De Maan schijnt geen dampkring te hebben.	360		
Meening van Faye aangaande de			

Z E V E N T I E N D E L E S.

De Planeten.

Kenmerken, die de Planeten onderscheiden	371	Ontdekking van Neptunus	379
Verband tusschen de namen der weekdagen en die der Planeten	372	Schets van de door Le Verrier gevolgde methode	381
Vermoedelijke oorsprong der aan de Planeten gegeven namen	374	Planeten vermoed tusschen Mercurius en de Zon	384
Oude Planeten. — Ontdekking van Uranus in 1781	374	Vulcanus: waarnemingen van doctor Lescarbault	385
Wet van Bode of van Titius.	375	Derde wet van Kepler	387
Ontdekking der kleine Planeten tusschen Mars en Jupiter op den middelbaren afstand van ongeveer 28	376	Vreemde verschijnselen, die de bewegingen der Planeten opleveren, als men de Aarde tot middelpunt van deze bewegingen neemt. — Stelsel van Ptolemeus	387
Theorie van Olbers aangaande de uiteenbarsting eener groote Planeet	377	Eenvoudigheid der bewegingen, wan-	

	<i>Bladz.</i>	<i>Bladz.</i>
neer men ze om het middelpunt der Zon laat plaats hebben. — Stelsel van Copernicus; verklaring van den stilstand en rugwaartschen loop der Planeten	388	Lengten van de Planeet in de loopbaan, te rekenen van de knoopenlijn af 397
Stelsel van Tycho-Brahé	390	Omgekeerd vraagstuk — Ontwikkeling van de anomalie en van den voerstraal in eene functie van den tijd. — Berekening van de lengte en de rechte opklimming
Oplossing van het vraagstuk van Kepler	395	398
Bepaling der knoopen en voerstralen eener Planeet	396	Toepassing op de berekening van de tijdsvereffening
Helling v. de loopbaan op de Ecliptica	396	399

A C H T T I E N D E L E S.

Vervolg van de beschouwing der Planeten.

Elongatiën of afstandshoeken van Mercurius. — Duur der synodische en der siderische omwenteling	401	phorescentie of aschgrauw licht. — Onderstelde wachter. — Niet waar te nemen afplatting	407
Moelijkheid om Mercurius met ongewapend oog te zien. — Snelheid van Mercurius. — Elementen van zijne loopbaan	402	Ontdekking der schijngestalten. — Hare belangrijkheid in het Wereldstelsel	408
Phasen of schijngestalten van Mercurius. — Maxima en minima afstanden van de Aarde. — Grootte, massa en dichtheid van de Planeet. — Zwaarte aan hare oppervlakte	403	Overgang van Venus voorbij de Zon. — Toepassing op de bepaling van de Zonsparallax	408
Blijken van eenen dampkring	404	Het historische der berekening	411
Bergen. — Wenteling om eene as. — Seizoenen. — Schijnbare grootte der Zon. — Intensiteit van het licht en de warmte der Zon	404	Reizen en waarnemingen, daardoor uitgelokt	411
Sporen van werkende vulkanen	405	Parallax der Zon, mede afgeleid uit die van Mars — Helling en excentriciteit van de loopbaan dezer Aarde	412
Venus — Afstandshoeken en achteruitgang — Phasen. — Elementen der loopbaan. — Middelbare snelheid	405	Beoefening van Mars	413
Volumen. — Massa en dichtheid. — Zwaarte, Licht en Warmte aan de oppervlakte der Planeet	405	Siderische en synodische omwenteling. — Diameter, volumen, massa en dichtheid — Licht en warmte der Zon — Schijnbare diameters. — Afplatting — Schijngestalten. — Roodachtige kleur. — Vlekken. — Wenteling om de as	413
Zeeën — Wenteling om de as — Wolken en dampkring	406	Sneeuw- en ijsgordels aan de polen van Mars	415
Seizoenen. — Bergen	406	Dampkring	415
Zichtbaarheid van Venus bij vollen dag, met ongewapend oog — Phos-		Overeenkomst tusschen de seizoenen der Aarde en die van Mars	415
		Asteroiden	416

NEGENTIENDELES.

Vervolg van de beschouwing der Planeten.

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
Jupiter. — Grootte, afplatting en rotatie	419	Herschel's opmerking omtrent de gedaante van Saturnus	431
Massa en dichtheid. — Zwaarte aan de oppervlakte — Licht en warmte der Zon	420	Ring	431
Synodische en siderische omwenteling. — Schijnbare diameters. — Gemis van merkbare fasen	420	Zijn periodisch verschijnen en verdwijnen	432
Strepen en dampkring.	420	Licht en rotatie van den ring. — Vreemde bijzonderheden	433
Regelmatige winden. — Hun schijnbaar onregelmatige invloed op den voor de rotatie gevonden duur.	421	Verdeeling van den ring in verscheidene binnen elkander liggende ringen. — Mechanische voorwaarden van zijn instandblijven	434
Wachters	422	Afmetingen van den ring. — Zijne voortgaande afnemings door Struve beweerd, maar door Secchi betwist	435
Bestaan der wetten van Kepler in de bewegingen der vier Wachters	422	Donkere streep binnen den ring, wiens dampkring zij schijnt te zijn	436
Snelheid van het licht, afgeleid uit de Eclipsen van den eersten Wachter	423	Meeningen over den oorsprong van den ring	436
Lengten der Aarde	426	Wachters van Saturnus. — Het historische hunner ontdekking.	437
Tafels der Wachters	426	De acht Wachters van Saturnus, gehoorzamende aan de wetten van Kepler.	438
De duur der rotatiën schijnt voor elken Wachter gelijk te zijn aan dien der omwentelingen. — Kleurverandering der Wachters	427	Voorkomen des hemels voor de bewoners van Saturnus	439
Sporen van dampkringen rondom de Wachters.	428	Uranus. — Zijne afmetingen	440
Licht van de randen en het midden van Jupiter	428	Massa, Dichtheid, Warmte en Licht. — Intensiteit der zwarte	440
De afstandshoeken der Aarde, uit Jupiter gezien, zijn kleiner dan die van Mercurius, uit de Aarde gezien	429	Elementen der loopbaan	440
Saturnus. — Zijne bewoners zijn waarschijnlijk onbekend met het bestaan van Mercurius, Venus, de Aarde en Mars.	429	Afplatting en wenteling om zich zelve, door Herschel bespeurd. — Wachters, die aan de wetten van Kepler gehoorzamen	440
Siderische en synodische omwenteling. — Elementen der loopbaan. — Gemis van fasen. — Licht en warmte der Zon	429	Neptunus. — Volumen, Massa, Dichtheid. — Wachters	442
Dampkring. — Rotatie. — Afplatting. — Sneeuw en ijs aan de Polen	430	Sporen van eenen ring. — Siderische en synodische omwentelingen. — Schijnbare grootte van de Zon, licht en warmte	442
Afmetingen van Saturnus. — Massa, dichtheid. — Intensiteit der zwarte	430	Wijziging in de wet van Bode, voorgesteld door Babinet voor de Planeten aan gene zijde van Neptunus vermoed	442
		Vallende Sterren	443

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
Snelheden en Hoogte. — Oorzaken der ontvlaming en uitdooving	443	Hunne afmetingen	445
Onheilen te weeg gebracht door de nederstorting van vallende Sterren	443	Hunne snelheid	446
Meeningen aangaande den oorsprong der luchtsteen. — Banen van deze lichamen	444	Levende krachten van zekere boliden	446
		Hun val kan geen merkbaar gevolg voor den Aardbol in zijn geheel hebben.	447

T W I N T I G S T E L E S.

De Kometen.

Bijzondere kenmerken.	449	Komeet van Bremiker, Pons, Galle, enz	459
Parabolische elementen	450	Parabolische Kometen.	459
Gevoelens van de Ouden en van eenige Nieuweweren	451	Invloed aan de Kometen toegekend	460
Eerste pogingen ter bepaling van de loopbanen	451	Wat er van te denken?	460
Gelukte poging van Halley. — Nasporingen van Clairaut	451	Natuurlijke gesteldheid der Kometen. — Kern, Hoofd, Staart.	461
Periodische of geregeld wederkeerende Kometen.	452	Droge nevels toegeschreven aan staarten van Kometen — Zonderling verschijnsel, den 13den Mei 1858 te Toulouse en omstreken waargenomen en waarschijnlijk toe te schrijven aan cosmische stof	462
1 ^o Komeet van Halley	452	Verschillende gevoelens over de voornaamste bijzonderheden, die de staarten der Kometen opleveren	463
Oude verschijningen v. deze Komeet	452	Veelvoudige staarten	464
2 ^o Komeet van 1770. — Volstagen verandering van hare loopbaan door den invloed van Jupiter	453	Licht en geringe dichtheid der staarten	465
3 ^o Komeet van Pons of van Encke.	453	Hoofd; aanmerkelyke afneming in volumen, die het bij 't naderen der Zon ondergaat	465
Versnelling van deze Komeet. — Verklaring van Encke uit de tegenstandbieding des ethers	454	Waarschijnlijkheid van de gasvormige natuur der hoofden.	466
Theorie van Faye	454	Kernen. — Hare afmetingen	466
4 ^o Komeet van von Biela en Gambart	455	Hare gesteldheid. — Het licht der Kometen is over 't algemeen teruggekaatst licht.	466
Merkwaardige bijzonderheid door Damoiseau opgemerkt	455	Omstreeks het perihelium kan het teruggekaatste licht nogtans in zekere gevallen met eigen licht gemengd zijn	467
Ommekeer op de Komeet. — Hare splitsing in twee afzonderlyke Kometen	456	Theorie van Buffon aangaande de vorming van het planetenstelsel. — Wat men daarvan te denken	
Verschijnselen overeenkomstig met dat van 1846	456		
5 ^o Komeet van Faye	457		
6 ^o Kometen van Brorsen en d'Arrest	457		
Kometen, die men voor periodisch houdt, maar met zeer lange omloopstijden: 1 ^o Kometen van 1264 en 1556 of van Urbanus IV. en van Karel V.	458		

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
heeft volgens de thans verkregen wetenschappelijke gegevens . . .	467	echter geen invloed op den Aardhol, ook niet op de aardsche temperaturen. — Hare snelheden zijn somwijlen ontzettend groot . . .	469
Geringheid der Kometen-massa's . . .	468	Bij eene ontmoeting met de Aarde zou de Komeet voornamelijk te lijden hebben	471
De schok eener Komeet zou bijna zonder gevaar voor de Aarde zijn . . .	468		
De kometen worden somtijds zichtbaar bij vollen dag. — Zij hebben			

EEN EN TWINTIGSTE LES.

Beweging der Aarde.

Leer van Pythagoras en Ptolemeus . . .	472	groothertog van Toscane. — Inleiding	477
Verhandeling van Copernicus over de wentelingen des Hemels . . .	472	Samenspraken	478
Weifelingen van Copernicus. — Aandrang van den kardinaal von Schönberg en den bisschop Gisius . . .	473	Rechtsgeding van Galilei. — Afzwering — Vernietiging van het vonnis door paus Benedictus XIV . . .	478
Inleiding en opdracht aan den heiligen Vader	473	Beschouwingen	480
Uitgaaf van het Werk in 1543 . . .	474	De kerker van Galilei schijnt slechts een kerker pro forma te zijn geweest . . .	481
Copernicus bemerkt de ellipticiteit der bewegingen niet; het stelsel der excentrieken en epicyclen, dat Ptolemeus aan de Aarde toekende, wordt door hem rondom de Zon verplaatst	475	Weerlegging der Samenspraken door Riccioli. — Zonderlinge bewijsvoering des schrijvers van den Almagest	482
Verzet tegen het stelsel van Copernicus. — Stelsel van Tycho-Brahé	475	Bewijzen voor de beweging der Aarde — Dagelijksche rotatie, eerst opgemaakt bij inductie	482
Galilei omhelst de gevoelens van Copernicus	476	Rotatie door de proefneming bewezen . . .	484
Eerste decreet van de Inquisitie, den 25sten Februari 1615	477	1 ^o Afwijking der vallende lichamen naar 't Oosten en, voor 't noordelijk halfroond der Aarde, naar 't Zuiden . . .	484
Uitgave der Samenspraken door Galilei, in 1632. — Opdracht aan den		2 ^o Opmerkingen, door Arago ontleend aan de achtereenvolgende voortplanting van het licht . . .	485
		3 ^o Slinger en gyroscoop van Foucault . . .	486

TWEEN TWINTIGSTE LES.

Voortgaande beweging der Aarde in de ruimte.

Voortgaande beweging der Aarde in de ruimte, bewezen door het verschijnsel, bekend onder den naam van aberratie of afdwaling des lichts.	492	Aberratie van eene Ster gelegen aan de pool der Ecliptica	494
Aberratie-hoek	493	Het verschijnsel is geen uitwerksel der parallax.	495
		Aberratie eener Ster gelegen in het vlak der Ecliptica	495

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
Aberratie eener Ster gelegen tus- schen de Ecliptica en de Pool van dit vlak	495	Geometrische ontleding van 't ver- schijnsel	306
Algemeene formule van aberratie	497	Berekening van de gevolgen der nu- tatie op de coördinaten der He- melbollen.	507
Aberratie in lengte	498	Voorloopige bepalingen: 1° Veran- dering van de schuinschheid ω ; 2° Verandering der lengte Q van den knoop; 3° Verandering der nacht- eveningspunten	507
Aberratie in breedte	499	De invloed der nutatie op de breedte is nul, en is dezelfde op de lengte voor al de Sterren	508
Aberratie in rechte opklimming	500	Invloed der nutatie op de rechte op- klimming en op de declinatie	509
Aberratie in declinatie	501	Wijzigingen in de vorige theorie te brengen	510
Bepaling der constante	501	Maximum en minimum der nutatie	511
Aberratie van de Zon.	503	Bepaling der constanten	511
Aberratie der Maan	503		
Aberratie der Planeten en Kometen	503		
Dagelijksche aberratie in rechte op- klimming	503		
Dagelijksche aberratie in poolsafstand	504		
Betrekkingen tusschen de jaarlijk- sche parallax en de aberratie	503		
Het historische daarvan	503		

D R I E E N T W I N T I G S T E L E S .

Gedaante en grootte der Aarde.

Eerste vermoedens aangaande de rondheid der Aarde	513	Denkbeeld van de geodesische ver- richtingen der triangulatie	522
Meting van Eratosthenes	514	Bepaling der breedten aan de beide uiteinden van den gemeten boog	523
Meting van Posidonius	514	Meting van eenen parallelboog	524
Meting der Arabieren	515	Bepaling der lengten aan de beide einden van den gemeten paral- lelboog	524
Meting van Fernel	515	Meting der bases	525
Metingen van Snellius en Norwood	516	Herleiding tot het niveau der zee	525
Meting van Picard	516	Herleiding tot het middelpunt der standplaats	526
Metingen van La Hire en Cassini II	517	Bepaling der breedten op zee. — Graadboog der oude zeevaarders van de 15de eeuw	526
Meting der bogen van Peru en den poolcirkel door de commissarissen van de Academie der Wetenschap- pen te Parijs	517	Engelsch quadrant. — Reflexie- of spiegelwerktuigen. — Octant, sec- tant en geheele cirkel	527
Meting van Schwanberg	518	Beproeving der reflexie- of spiegel- werktuigen	528
Metingen van Lacaille en Cassini III (de Thury)	519	Bepaling der lengten op zee	530
Nieuwere metingen	519	Vaart op de log, het logglaasje en het kompas. — Compensator van Barlow	531
Fransche meting, dienende tot grond- slag voor het metrieke stelsel	520		
Meting der parallellen. — Zij bewijst dat de Aarde niet volkomen een omwentelings-lichaam is	521		
Bepaling van de afplatting door den slinger	522		

	<i>Bladz.</i>		<i>Bladz.</i>
Loxodromie en zeekaarten en kaarten van Mercator	533	Waarden der afplatting, theoretisch verkregen door Huygens en Newton	540
Temperatuur der zee	533	Nasporingen betreffende dit vraagstuk door verschillende meetkundigen	541
Stroomingen	534	Maat der afplatting door den slinger	541
Lagere tegenstroomingen. — Zoutheid des waters	534	Gebruik van den repetitie-cirkel van Borda	542
Vershil van niveau tusschen de kleine zeeën	534	Orthographische projectiën. — 1 ^o . Op den Meridiaan	544
Veranderingen in de respectieve niveaus der zeeën en vastelanden	535	2 ^o Op den Æquator	545
Centrale warmte en waarschijnlijke vloeibare toestand van het inwendige des Aardbols	535	Stereographische Projectiën. — 1 ^o . Op den Æquator	545
Vulkanische verschijnselen	536	2 ^o Op eenen meridiaan	546
Gevolgtrekkingen. — Cosmogonische theorieën. — Stelsel van Laplace aangaande de vorming der Planeten en hare Wachters.	537	Projectiën door ontwikkeling voor de niet zeer uitgebreide landen. — Conische ontwikkeling van Ptolemeus	547
De schommelingen des slingers op verschillende punten des Aardbols doen de afplatting blijken	540	Ontwikkeling van Flamsteed	548
		Gewijzigde projectie van Flamsteed	548

VIER EN TWINTIGSTE LES.

Algemeene Zwaartekracht.

Voorloopige beschouwingen	549	Bestendige toestand der zeeën	557
Analysis der ontdekking	551	Atmosferische getijen. — Dagelijksche en maandelijksche schommelingen des barometers	557
Toepassingen. — Massa's der Planeten en Wachters	551	Gemiddelde dichtheid der Aarde	557
Getijen	552	Proef van Cavendish	558
Invloed der Maan	553	Proeven van Maskeline	559
Invloed der Zon	554	Aantrekking der bergen	560
Springtij	554	Wetten van Kepler, afgeleid uit het beginsel der zwaartekracht	560
Geringe intensiteit van het verschijnsel in de zeeën van weinig uitgebreidheid	555	NOOT I.	565
Hoogte-eenheid voor de getijen in elke haven. — Vloed bij nieuwe en volle Maan in elke haven	555	NOOT II.	567
Bepaling van de massa der Maan door de getijen	556	NOOT III — Over den aard der kracht, die in eene kegelsnede vlakke-uitbreidheden evenredig aan den tijd doet beschrijven	570
Andere verschijnselen, bij voorbeeld de nutatie, kunnen insgelijks de massa der Maan aangeven	556	NOOT IV. — Over de derde wet van Kepler	570



DE TIENDE LES.

Beschouwing der Maan. — Siderische en synodische omlooptijd; de loopbaan rondom de Aarde is vlak. — Helling der loopbaan op de Ecliptica. — Verschillende bewegingen van het vlak der loopbaan en van de lijn der knoopen. — Klimmende en dalende knoop. — Phasen der Maan. — Beweging der Maan in hare loopbaan; die beweging is elliptisch, en de vlakke-uitbreidheden tusschen de voerstralen zijn evenredig aan de tijden. — Voortgaande verplaatsing der groote as. — Afstanden van de Maan tot de Aarde. — Afmetingen, snelheid en massa der Maan; zwaarte op hare oppervlakte. — Phasen der Aarde voor de Maan. — Aschgrauw licht. — Veranderlijke tinten van het aschgrauwe licht, overeenkomstig met de weerkaatsende oppervlakten, die het voortbrengen. — *Wenteling der Maan om zich zelve*; de duur dier wenteling is gelijk aan dien van haren sideralen omloop. — Voorkomen der Aarde, uit de Maan gezien. — *Libratiën* in lengte, in breedte, dagelijksche, wezenlijke libratie. — Schijnbare grootte der Maan aan den horizon. — Verhouding der lichtsterkten van de Maan en de Zou. — Maanwarmte. — Verhouding van 't heldere licht tot het aschgrauwe. — Chemische werkingen. — Polarisation van het door de Maan teruggekaatste licht. — *Noot over de voornaamste ongelijkmatigheden der Maan*. — Vereffening der loopbaan; eectie, variatie. — Algemeen denkbeeld van de oorzaak, waaruit de storingen der Maan geboren worden. — Jaarlijkse vereffening. — Seculaire vereffening. — Talrijke onregelmatigheden, die de theorie oplevert.

335. Siderische of periodische, en synodische omlooptijd der Maan. — De Maan, die astronomisch wordt voorgesteld door eene sikkel (☾), is onder alle hemellichamen, na de Zou, datgene, hetwelk voor de bewoners der Aarde van 't meeste belang schijnt te zijn. Hare beschouwing zal dus zeer natuurlijk hier eene plaats behooren te vinden.

Evenals de Zou bezit zij eene haar eigene beweging, die mede van het Westen naar het Oosten geschiedt. Deze beweging is evenwel veel sneller; want eene geheele *siderische* omwenteling, dat wil zeggen het (van eeuw tot eeuw eenigszins veranderlijke) tijdsverloop tusschen hare twee achtereenvolgende voorbijgangen van dezelfde Ster duurt slechts ongeveer 27,32 dag. Wat den tijd betreft, dien de Maan behoeft om weder in dezelfde richting met de Zou te komen, den tijd tusschen twee achtereenvolgende *conjunctiën* of zamenstanden, gelijk men in de Sterrenkunde zegt, deze is een weinig langer (29,53 dag), omdat de Zou zelve van 't Westen naar 't Oosten voortgaat, en dus eerst door de Maan ingehaald zal worden na eene *siderische* omwenteling, vermeerderd met den hoek, dien de Zou intusschen heeft doorloopen. Dit tijdsverloop van ongeveer 29 dagen en 13 uren noemt men,

naar een grieksch woord, dat samentreffen beteekent, den synodischen omloopstijd der Maan (*).

Wij zullen terstond zien, dat de afstand van de Maan tot de Aarde omtrent 380 duizend kilometers bedraagt. Daar de gemiddelde afstand der Zon veel aanzienlijker is, zal men lichtelijk inzien, waarom de *synodische* omwenteling langer duurt dan de *siderische*. Terwijl toch de Maan deze laatste rondom de Aarde volbrengt en tot het punt M (fig. 163) terugkeert, van hetwelk zij was uitgegaan tijdens haren samenstand met de Zon Z, heeft zich deze verplaatst in de richting ZZ'. 't Is alzoo volgens M'Z' dat de nieuwe samenstand voor de Aarde A zal plaats hebben, daar de Zon den boog ZZ' en de Maan 360 graden plus den boog MM' heeft doorloopen.

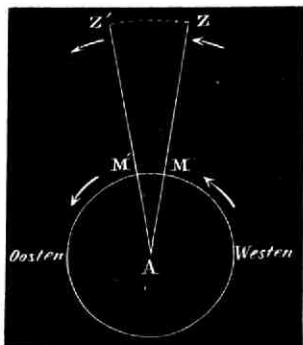


Fig. 163.

Bij het bepalen van de standen der Maan door hare rechte klimmingen en afwijkingen zou men 't eenigszins bezwaarlijk kunnen vinden de wetten der beweging van dit lichaam in te zien,

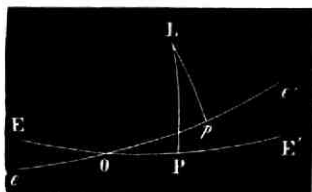


Fig. 164.

omdat de *maxima*-declinatiën bij iedere omwenteling aanmerkelijk van waarde veranderen. Maar als men, gelijk wij dat bij de behandeling der præcessiën deden, de tot den *Æquator* EE' (fig. 164) betrekkelijke coördinaten veranderen in coördinaten met betrekking tot de *Ecliptica* ee', dat is, wanneer men met behulp der tafels

waarvan wij reeds (§ 122) spraken, van de rechte klimming OP en de declinatie PL overgaat tot de lengte *op* en de breedte *pL*, dan zal men bemerken, dat de *maxima* breedte bijna onveranderd blijft en dat de doorloopen kromme lijn ongeveer vlak is.

(*) Zij x de duur van den synodischen omloopstijd der Maan, t de duur van de siderische omwenteling der Zon; dan zullen $\frac{2\pi}{t}$, $\frac{2\pi}{T}$ de gemiddelde hoekbewegingen voor eenen dag, en $x \frac{2\pi}{t}$, $x \frac{2\pi}{T}$ de hoekverplaatsingen in den tijd x wezen. Daar de Maan gedurende dezen tijd eenen omtrek meer dan de Zon doorloopt, zoo heeft men, om x te bepalen, de vergelijking

$$x \frac{2\pi}{t} - 2\pi = x \frac{2\pi}{T};$$

waaruit men, met $t = 27,32$ d., en $T = 365,25637$ d., voor x zal vinden 29,53 d.

337. **Helling van de loopbaan der Maan op de Ecliptica.** — Verschillende bewegingen van het vlak der maanbaan en van de knopenlijn. — Zet men zijne waarnemingen gedurende een voldoende getal maansomwentelingen voort, dan zal men weldra vele belangrijke opmerkingen maken. Men zal, bij voorbeeld, bevinden, dat de helling van het vlak der loopbaan op de Ecliptica, gemeten door de *maxima* breedte (gelijk de helling van den *Æquator* op de Ecliptica gemeten wordt door de grootste waarde van declinatie) gemiddeld aan 5° of, nauwkeuriger, aan $5^{\circ}8'48''$ gelijk is. Maar men zal tevens zien, dat deze helling, zooals Tycho-Brahé het eerst ontdekte, veranderingen ondergaat, wier geheele amplitudo, van toeneming tot afnemings, niet boven $17'34''$ gaat, en die (behoudens haar korten duur van een halve maand) overeenkomstig zijn met die van 18 jaren, welke Bradley later vond voor de nutatie of schommeling des *Æquators* op de Ecliptica. Men zal dan insgelijks kunnen zien, dat het vlak der kromme lijn, om de gezegde veranderingen voort te brengen, zich van lieverlede in den Hemel verplaatst, schommelende tweemaal in iedere maanmaand, met betrekking tot de Ecliptica, tusschen de uiterste declinatiën van $5^{\circ}0'1''$ en $5^{\circ}17'35''$, waarvan de gemiddelde waarde juist de boven aangegeven van $5^{\circ}8'48''$ is. Men zal almede kunnen zien, dat de doorsnede (knoopenlijn geheeten) van het maanbaanvlak met de Ecliptica, achteruitgaande gelijk de lijn der Nachteveningen, de gansche Ecliptica rondloopt, niet meer in 26 duizend jaren, maar in ongeveer 18 jaren en 7 maanden (6793,39 dag), juist in den duur der nutatie, met welke men, door middel van de wetten der zwaartekracht, het verschijnsel in verband heeft kunnen brengen. Nog zal men kunnen bespeuren, dat de voortgaande beweging der knopenlijn niet volstrekt gelijkmatig is, en dat zij periodisch versnelling of vertraging ondergaat, die onderworpen zijn aan dezelfde wet als de schommelingen der maanbaan op de Ecliptica. En als men de maanmaanden vergelijkt met de synodische omwenteling der knopen, dat is met het tijdsverloop tusschen twee achtereenvolgende doorgangen van de Zon door ieder dezer knopen, zoo zal men bevinden, dat 223 maanverwisselingen of maanmaanden ten naastenbij overeenkomen met 19 synodische omwentelingen of met nagenoeg 18 jaren en 11 dagen.

338. **Klimmende en dalende knoop.** — Ik voeg er bij, dat de knopen *klimmend* of *dalend* genoemd worden, naargelang zij vallen in het punt, dat de Maan beslaat als zij door de Ecliptica gaat bij haren overgang van het *Zuiden* in het *Noorden* van dit vlak, of wel in 't ontmoetingspunt met ditzelfde vlak bij haren overgang van 't *Noorden* in 't *Zuiden*. Men stelt

ze voor door de teekens Ω , \varnothing , en hunne beweging leert ons begrijpen waarom de *maxima*

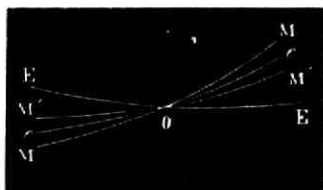


Fig. 165.

declinatiën zoo veranderlijk zijn. Want als de maanbaan in MM ligt (fig. 165), komt hare helling van ongeveer $5^{\circ} 8'$ op het vlak der Ecliptica ee nog bij de helling eOE ($23^{\circ} 27'$) van de Ecliptica op den $\text{\AE}quator$ EE , en geeft alzoo eene declinatie van $28^{\circ} 36'$; terwijl daarentegen als negen jaren later de maanbaan in den stand $M'M'$ weder omtrent 5 graden (of den hoek $M'oe$) op de Ecliptica

oe helt, de *maxima* declinatiën niet meer zullen bedragen dan de hoek EOm' , gelijk aan 't verschil en niet meer aan de som van de schuinschheid EOe ($23^{\circ} 27'$) en van de helling $M'Oe$ ($5^{\circ} 8'$) der maanbaan, derhalve slechts $18^{\circ} 19'$. — De *maxima* declinatie zal van den eenen tot den anderen dezer standen tevens trapsgewijs tusschen die beide grenzen afnemen, om vervolgens op dezelfde wijze gedurende de negen volgende jaren aan te groeien.

't Is gewis overbodig u te doen opmerken, dat de voorgaande bijzonderheden, evenals alle andere die de beweging der Maan betreffen, betrekking hebben tot het middelpunt van dit Hemellichaam, welks coördinaten men bepaalt door de rechte klimming en afwijking der randen te nemen, evenals wij zulks voor de Zon deden, en daarbij te voegen of daarvan af te trekken den straal van dit lichaam, dien men leert kennen uit de helft van den hoek, welke de beide uiteinden der halve maan onderspannen.

339. Beweging der Maan in hare loopbaan. — Die beweging is elliptisch, en de vlakke-uitgebreidheden tusschen de voerstralen zijn evenredig aan de tijden. — Voortgaande verplaatsing der groote as. — Afstanden van de Maan tot de Aarde. — Wij hebben tot dusverre alleen den stand en de verplaatsingen van het vlak der loopbaan behandeld. Wat de beweging der Maan in dit vlak, of, wil men liever, den aard der loopbaan zelve betreft, om ze te bepalen zal men slechts iederen dag gedurende eene maanverwisseling den schijnbaren diameter der Maan behoeven te meten, en deze zal de wet der achtereenvolgende afstanden opleveren, waaruit blijken zal, dat de beschreven kromme lijn ook ditmaal eene *bijna cirkelvormige ellips* is, welker brandpunt de Aarde inneemt. Vergelijkt men de hoeken, begrepen tusschen de verschillende voerstralen, met de veranderlijke afstanden der Maan tot de

Aarde, afgeleid uit de verhouding der schijnbare diameters, zoo zal het insgelijks blijken, dat de vlakke-uitgebreidheden tusschen die voerstralen *evenredig zijn aan den tijd*. Bepaalt men den stand der groote as, dat is het perigæum en apogæum, dan zal men bemerken, dat zij zich van het Westen naar het Oosten verplaatst, evenals de groote as van de Zonsellips, maar met eene veel snellere beweging; want terwijl de laatste jaarlijks slechts eenen hoek van 12 seconden doorloopt, legt de eerste meer dan 40 graden af, en besteedt niet meer dan omtrent 8 jaren en 10 maanden (3231,57 dag), in plaats van 108 duizend jaren, om den ganschen Hemel rond te gaan (*). Meet men eindelijk dezen of genen maansafstand, dan zal men al de andere kunnen afleiden uit de verhoudingen, die de verandering der schijnbare diameters opleveren, en men zal bevinden, dat de gemiddelde afstand van de Maan tot de Aarde gelijk is aan 60maal (nauwkeuriger 60,273) den straal van den Æquator der Aarde (6377,40 kilometers), of aan 384 385 kilometers, terwijl de afstanden van het apogæum en perigæum de eerste 63,583, de andere 56,963 maal denzelfden straal, dat is 405 500 en 363 300 kilometers bedragen.

340. Afmetingen en snelheid der Maan. — De hoeken, onder welke een maanbewoner den æquatorialen aardstraal op die drie afstanden zou zien, beloopten 57'2" (gemiddelde afstand), 60'21" (perigæums-afstand), en 54'4" (apogæums-afstand). Op onze beurt zien wij dan, of liever, zouden wij dan, als wij ons in 't middelpunt der Aarde konden plaatsen, den maanstraal zien onder de hoeken 15'34", 16'27", 14'44". Deze laatste hoeken zijn ieder elf derdemaal of ongeveer 3,67 maal bevat in de respectieve voorgaande hoeken. Zij toonen gevolgelijk, dat de straal der Maan 3,67 maal kleiner is dan die der Aarde, of dat hij slechts $\frac{1}{3.67}$ van dezen bedraagt. De diameter is dus 3475,5 kilometers, en daar de oppervlakten en inhouden van twee bollen tot elkander staan als de vierkanten en kuben hunner stralen, zoo volgt daaruit, dat de oppervlakte en de inhoud der Aarde 13 $\frac{1}{2}$ maal (vierkant van 3,67) en 49 $\frac{1}{2}$ maal (kubus van 3,67) de oppervlakte en den inhoud der Maan bedragen. Daar verder de elliptische omtrek der loopbaan nagenoeg gelijk is aan 2420 duizend kilometers, doorloopen in eene siderische maand (27,32 d.), zoo blijkt ons daaruit eene snelheid van 88 duizend kilom. per dag of 1018 meters in de seconde.

341. Massa der Maan en zwaarte aan hare opper-

(*) De loop der Maan ondergaat nog andere storingen, maar 't is hier de plaats niet ons daarmede bezig te houden. De Ouden bedienden zich overigens voor dit Hemellichaam, evenals voor de Zon, van het stelsel der epicyclen. Voor de merkwaardigste storingen zie men de Noot aan 't einde der 13de Les.

vlakke. — Wij zullen later zien, dat de Maan door hare aantrekkingskracht de voornaamste oorzaak is van 't verschijnsel van eb en vloed. Men begrijpt hieruit, dat het mogelijk was hare massa af te leiden uit de oplettende waarneming en overweging van 't verschijnsel of uit eenige soortgelijke bijzonderheden. Vergeleken bij die der tot eenheid genomen Aarde, vindt men, na alles berekend te hebben, dat zij omtrent 75maal kleiner is dan deze laatste, waaruit voor de intensiteit der zwaartekracht aan 't oppervlak der Maan de breuk $\frac{1}{5,56}$ volgt, wanneer de zwaartekracht aan 's aardbols oppervlak als eenheid wordt genomen (*).

Voegen we hier nog bij, dat de Maan onder alle Hemelbol- len het dichtst bij ons is. En daar zij steeds onze planeet vergezelt, geeft men haar de namen van *satelliet*, *trawant*, *wachter*, *bijplaneet* der Aarde.

342. **Phasen of schijngestalten der Maan.** — Na de mededeeling van het voorgaande kunnen we zonder zwaarigheid overgaan tot de behandeling van de *phasen* (van 't gr. *phásos*, verschijning) of schijngestalten der Maan.

En in de eerste plaats, verliezen we niet uit het oog, dat de gemiddelde afstand der Zon (23984 maal den aardstraal) gelijk is aan omtrent 400maal den afstand van onzen satelliet (60maal den aardstraal); dat de diameter der Zon bijna het dubbele is (110- a 112maal den aardstraal) van den diameter der maanbaan, en dat gevolgelijk, zoo 't mogelijk ware het middelpunt der Zon met dat der Aarde te doen samenvallen, de lichtgevende oppervlakte zich tot ver buiten den omvang der maandelijks door de Maan beschreven kromme lijn zou uitstrekken. Vergeten we eindelijk niet, dat de hoekverplaatsing der Zon in eene maand tijds van weinig beteekenis is, waarom wij dan ook, ter vereenvoudiging van de verklaringen, mogen onderstellen, dat hare op de Maan geworpen stralen in den loop eener maanverwisseling genoegzaam parallel in richting zijn.

Laat nu A (fig. 166) de stand der Aarde in 't midden der maanbaan, en *a* de stand der Maan zijn, wanneer men haar begint waar te nemen in de richting *Aa*, parallel aan die der zonnestrallen *aZ*. 't Is duidelijk, dat de lichtbundel de Maan zal omvangen volgens het in *U* ontworpen beloop, en dat

(*) Daar de aantrekkingskracht, gelijk wij reeds in de theorie der dubbele Sterren gezien hebben, in omgekeerde reden van het vierkant der afstanden is, behoeft men, om het getal te bekomen dat de aantrekking van de maansoppervlakte voorstelt, slechts de massa $\frac{1}{75}$ door het vierkant $\frac{1}{13,5}$ van den straal te deelen. Het verkregen quotient $\frac{13,5}{75}$ is juist gelijk aan $\frac{1}{5,56}$.

het verlichte gedeelte het halfronnd lml' zal zijn, dat lijnrecht staat tegenover het voor ons zichtbare halfronnd lnl' (*). Daar

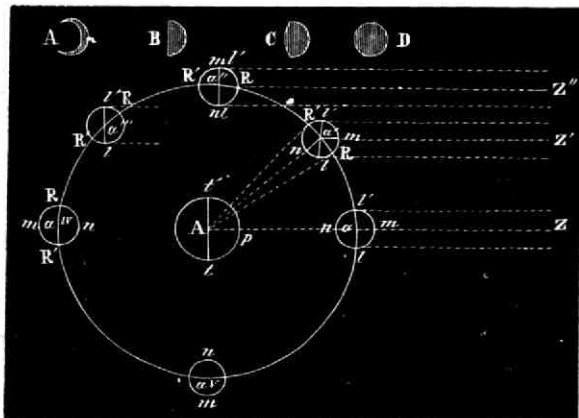


Fig. 166

dit laatste intusschen van rechtstreeks licht beroofd is en geen ander licht ontvangt dan wat de Aarde terugkaatst; daar de Maan bovendien ongeveer terzelfder tijd als de Zon onderen opgaat, zoo kunnen wij haar bij de verlichting der atmosfeer niet bespeuren, tenware zij, door eene exceptioneele richting van de lijn der knoopen, zich juist op de zonneschijf mocht afteekenen. In dit geval brengt zij het verschijnsel te weeg, dat wij later onder den naam van *eclips* zullen behandelen, maar waarvan voor 't oogenblik hier geen sprake kan zijn.

In den stand, dien wij zoo even beschouwden, wordt de Maan gezegd in *conjunctie* of samenstand, of wel *nieuw* te zijn; maar alras verplaatst hare snelle beweging naar 't Oosten haar in a' , en wanneer de Zon in Z aan den horizon ondergaat, zien wij haar op eene hockhoogte $a'Aa$. De stralen, die haar in de richting $Z'a'$ nagenoeg parallel aan Za , beschijnen, maken het halfronnd $lRml'$ lichtgevend, terwijl het voor ons zichtbare halfronnd $RlnR'$ is, waarop alleen het segment $la'R$ verlicht wordt. Wij zullen dan alleen dit segment zien onder de gedaante eener

(*) Strikt genomen, zijn het verlichte en het voor ons zichtbare gedeelte het eerste grooter en het andere kleiner dan de helft der Maan, omdat het van de Zon komende lichtomhulsel het volumen van onzen trawant verre overtreft, weshalve het dezen laatste een weinig aan gene zijde van het middelpunt naar A moet snijden; terwijl de kegel, gevormd door de van de Aarde uitgaande lichtstralen hem een weinig aan deze zijde en insgelijks naar A heen snijden zal. Maar de verschillen zijn klein genoeg om ze hier te mogen verwaarloozen.

sikkel A, welker buitenrand (de omtrek des kegels, die, van het punt A uitgaande, op den cirkel ll' rust) de boog eener ellips is.

Wanneer de Maan in a'' is gekomen, in het punt, dat men *eerste kwartier* heet en op 90° afstands van a ligt, ziet de waarnemer A haar in den meridiaan omstreeks het oogenblik waarop de Zon voor hem ondergaat. Zij zelve gaat dan eerst ongeveer zes uren later, dat is tegen middernacht, onder; en het lichtgevend gedeelte, nu kennelijk de helft der maanschijf, neemt de gedaante van den half-cirkel B aan. Zij wordt in a''' overeenkomstig met C, en verandert in een geheelen cirkel D in 't punt a_{iv} der *oppositie* of des tegenstands, of wel der *volle Maan*, om vervolgens weder symmetrisch, tot aan de nieuwe conjunctie (ook *neomenie* van *néos*, nieuw, en *mē'nē*, maan, geheeten) dezelfde phasen te doorloopen, in welke zij zich achtereenvolgens van de nieuwe Maan tot aan de oppositie heeft vertoond (*).

343. — De uren van den ondergang en opgang veranderen daarenboven te gelijk met de phasen. Wij hebben zoo even aangemerkt, dat de Maan bij haren samenstand met de Zon ondergaat, en bij 't eerste kwartier zes uren later. Men kan onmiddellijk uit de enkele beschouwing van fig. 166 zien, dat de Maan bij hare oppositie a_{iv} moet opgaan als de Zon ondergaat, en ondergaan als deze opgaat, en dat zij, in den stand a_v , die beantwoordt aan 't geen men het *tweede kwartier* heet, eerst zes uren na den ondergang, dat is omstreeks middernacht, zal opkomen; met dien verstande, echter, dat de verschijnselen hier, als voor de Zon, zullen afhangen van de plaats des waarnemers op de oppervlakte des Aardbols, en dat de vooropgaande algemeene voorstelling inzonderheid van toepassing is op de streken, in de nabijheid des Aard-æquators gelegen, of althans op die, welke niet te hooge breedte hebben.

344. **Phasen der Aarde voor de Maan.** — **Aschgrauw licht.** — Gelijk de Maan onze nachten kan verlichten, evenzoo verlicht de Aarde de nachten der Maan. Dàt is de oorzaak dier lichtgrijze tint, bekend onder den naam van aschgrauw licht, waarvan de Ouden vruchteloos eene verklaring zochten, en dat ons vergunt het donkere gedeelte der maanschijf, inzonderheid omstreeks nieuwe maan, te bespeuren. Dan toch is de Maan voor ons in conjunctie of nieuw, terwijl de Aarde voor de Maan in oppositie of vol is; het verlichte gedeelte *tpt'* (fig. 166) van onzen Bol, met zijne $13\frac{1}{2}$ maal grootere oppervlakte dan die des satelliets, werpt dan op het donkere gedeelte *lnl'* van dezen laatste een veel helderder licht dan 't welk de

(*) De nieuwe en de volle Maan worden ook onder ééne benaming begrepen, dien van *syzygiën* (van *συσυγία*, koppeling).

volle Maan ons toezendt. Men behoeft zich dus niet te verwonderen, dat de satelliet, nu verlicht zooals wij hierbeneden het door 13 of 14 Manen zouden zijn, voor ons zichtbaar wordt.

345. **Veranderlijke tinten van het aschgrauwe licht, overeenkomstig met de kleur der weerkaatsende oppervlakten, die het voortbrengen.** — Voor 't overige, naarmate de Maan op haren weg vordert en de lichtende sikkel grooter wordt, neemt het aschgrauw licht allengs in sterkte af, om tusschen het eerste tot het laatste kwartier bijna geheel te verdwijnen, en vervolgens weer langzamerhand van het laatste kwartier tot aan de nieuwe maan toe te nemen.

Volgens al het bovengezegde schijnt het niet meer mogelijk, de waarheid der gegeven verklaring met eenigen grond in twijfel te trekken, en dit te minder daar de grootte der lichtende vlakke, die naar de donkere deelen der Maan uitstraalt, juist af- en toeneemt als het aschgrauwe licht zelve. Tijdens de nieuwe Maan, bij voorbeeld, wordt licht geleverd door het gansche gedeelte *tpt'*, terwijl het verschijnsel bij 't eerste kwartier alleen door de helft *pt'* van datzelfde gedeelte wordt te weeg gebracht. Van het eerste tot het laatste kwartier, bij volle Maan vooral, kunnen te nauwnood eenige bij *t'* of *t* gelegene deelen een weinig licht afzenden; en van het laatste kwartier tot aan de nieuwe Maan neemt de lichtgevende oppervlakte van *tp* tot *tpt'* in uitgebreidheid toe.

De verklaring stemt dus, gelijk men ziet, geheel overeen met de verschillende bijzonderheden van 't verschijnsel. Zij werd tegen 't einde der 16de eeuw bedacht door Mästlin, denzelfden aan wien de wetenschap het bezit moet dank weten van eenen Kepler, wiens genie hij had ingezien en die door hem tot de astronomische studiën werd aangespoord. Zonder de theorie van Mästlin te kennen, schijnt echter Galileï, en naar men wil ook de beroemde schilder Leonard da Vinci, daarvan een begrip gehad te hebben. En ofschoon ik geen beslissende uitspraak durf toekennen aan de zoo uiterst fijne waarnemingen aangaande deze vernuftige theorie, grijp ik toch gretig de gelegenheid aan om te zeggen, dat men in het aschgrauwe licht veranderingen van tint heeft meenen te bespeuren, die in verband staan met de kleur der weerkaatsende oppervlakten (zandige streken, zeeën, groote met groen bedekte vlakten of wouden, enz.), die het voortbrengen. Mocht er op zulke waarnemingen met zekerheid gebouwd kunnen worden, dan zouden de wolken des dampkrings op hare beurt de kleur en de sterkte van 't aschgrauwe licht wijzigen. En ware dit zoo, wat kon er dan voor een bewoner, bij voorbeeld van Europa, Azië of Afrika, zonderlinger

en tevens merkwaardiger zijn, dan dat hij op het maanvlak meteorologische tijdingen uit Amerika of Australië kon lezen?

346. De duur van de omdraaiing der Maan om zich zelve is gelijk aan dien van hare wenteling om de Aarde. — Terwijl het aschgrauwe licht ons de donkere gedeelten der Maan laat bespieden, vergunt het ons terzelfder tijd tot de overtuiging te geraken, dat dit Hemellichaam steeds dezelfde zijde naar de Aarde keert. De siderische dag duurt er alzoo 27,32 dag, en de zonnedag 29,53 dag, dat wil zeggen, even zoo lang als de siderische en synodische omwentelingen zelve duren.

Immers, wanneer wij zeggen dat de zijde n (fig. 166) altijd naar onze Aarde gericht is, dan beteekent dit zooveel als dat de tijd der omdraaiing der Maan rondom haar middelpunt gelijk is aan den tijd van hare wenteling om de Aarde. Wanneer toch de Maan, bij hare conjunctie, uit a gaat, is het punt n naar de Aarde en het punt m naar de Zon gekeerd: het is alzoo middag voor m en middernacht voor n . Maar na een halven omloop in a_{iv} gekomen, is het punt n te gelijk naar de Aarde A en de Zon Z gericht, terwijl het punt m , dat zich aanvankelijk onder de Zon bevond, nu het lijnrecht tegenovergestelde punt aan zijn zenith ziet; de middernacht en nacht hebben dus elkaar vervangen, en de helft van den dag is voorbij. In a' zien m en n beide de Zon aan den horizon; doch voor 't eerste dezer punten is de Dagtoorts gereed om onder te gaan, terwijl zij integendeel voor het tweede punt te nauwnood is opgekomen. In a_v gaat zij voor 't laatste punt onder, en komt op voor het eerste. Eindelijk, wanneer de omloop geheel is volbracht, staan de zaken weder gelijk ze bij den aanvang waren. Daar de Zon opnieuw het zenith van het punt m en het nadir van het punt n bereikt, is er voor die punten een volle dag verlopen, en klaarlijklijk dus ook voor den ganschen Bol, waartoe zij behooren.

347. — **Voorkomen der Aarde, uit de Maan gezien.** Indien de Maan bewoners heeft, moet het voorwaar een belangrijke reis voor die van 't halfrond m wezen, naar het tegenovergestelde halfrond te gaan, en daar de Sterren, gelegen aan beide zijden en in de nabijheid van de maanbaan, die slechts weinige graden helt op den $\text{\AE}quator$ van den satelliet, aliengs te zien verdwijnen achter de Aarde, die steeds onbeweeglijk blijft aan dezelfde punten des Hemels. Voor de eenen, in n bij voorbeeld (fig. 167), blijft de Aarde voortdurend in 't zenith; voor anderen aan den horizon in R en R' ; voor nog anderen, in i op de hoekhoogte $Ai\bar{n}$, en voor allen vertoont die zoq ontzettend groote Bol, 13 $\frac{1}{4}$ maal grooter dan voor ons de Maan of de Zon zijn, door zijne asomdraaiing in 24 uren, achtereenvolgens

de groote zeeën, die hem bedekken, en zijn verschillende vaste-

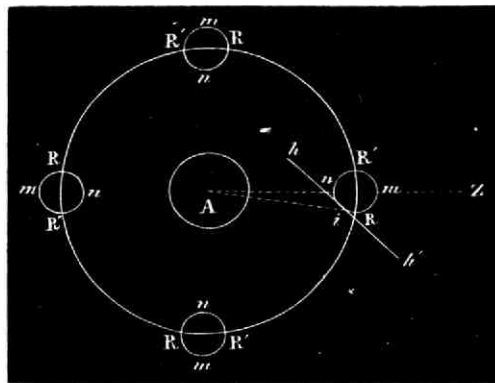


Fig 167.

pen, zich zelve te beschouwen als in 't middelpunt der wereld geplaatst? En wat moeten zij dan wel denken van die zonderlinge ordeverzaking, waardoor zij een groot lichaam, dat noch henensnellen noch vallen kan, tegen alle beginsels der natuur- en werktuigkunde aan, zonder beweging van verplaatsing, voortdurend in de ruimte zien hangen?

348. — Wanneer ik zeg *zonder beweging*, druk ik mij niet geheel nauwkeurig uit. De Aarde schijnt daarentegen, rondom haren middelbaren stand, eenige geringe schommelingen te volbrengen, die het verschijnsel nog geheimzinniger moeten maken, en die 't gevolg zijn van zekere bijzonderheden betreffende de beweging der Maan. 't Is vooral bij eenige plaatsen, waar de Aarde aan den horizon staat, die nu als herkenningspunt dient, namelijk bij R en R', dat de schommelingen merkbaar zijn, omdat men er, bij vergelijking, beter dan elders onzen Bol ziet rijzen en dalen, gelijk een ontzettend groote bal bij langzaam terugstuiten zou doen, terwijl de duur der schommeling omtrent gelijk is aan dien eener maanmaand.

Om het verschijnsel te begrijpen, behoeft men zich slechts te herinneren, dat de snelheid der Maan op haren elliptischen weg noodwendig, evenals die der Zon, volgens de wet der vlakken tusschen de voerstralen, veranderlijk moet zijn; terwijl men tevens moet weten, dat de omdraaiingssnelheid, aangegeven door de waarneming van de vlekken der maanvlakte, daarentegen volkomen gelijkmatig is, en dat bovendien de omdraaiingsas met de loodlijn op het vlak van de loopbaan der

landen, met de duizenden afwisselingen die zij opleveren, nu eens rechtstreeks door de Zon verlicht, dan weer in de schaduw gedompeld en alleen van de Maan een bleeken weerschijn ontvangende. Moet niet de meening, die ons zoo langen tijd aan onze eigen onbeweeglijkheid deed gelooven, ook de selenieten (van *selē'nē*, maan) no-

Maan, of, zoo men liever wil, dat het vlak van die loopbaan met den Maans-æquator eenen hoek maakt van ruim $6^{\circ}30''$ (juister $6^{\circ}37'33''$).

349. — Onderstelt nu, met deze gegevens, dat de Maan het perigæum in het punt a (fig. 168) verlaat, en dat het punt n

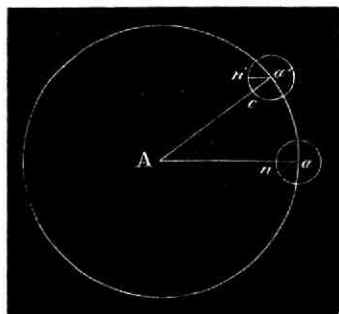


Fig. 168.

geplaatst is juist op de richting van den voerstraal, die het middelpunt der Maan met het middelpunt der Aarde verbindt. Wij hebben gezien, dat in het perigæum de snelheid van verplaatsing in de loopbaan het grootst is. Bijgevolg, terwijl de Maan naar a' loopt met eene snelheid grooter dan hare gemiddelde, laat de omdraaiingsbeweging, die op gelijkmatige wijze plaats heeft, het punt n ten achteren; en indien wij nu, ter vereenvoudiging, onderstellen, dat de straal an ,

parallel aan zijn eersten stand, in $a'n'$ verplaatst is, zoo zullen wij terstond inzien, dat de hoek $a'Aa$, door de Maan op haren weg afgelegd, of zijn door symmetrie gelijke hoek $n'a'c$, noodzakelijk grooter zal zijn dan de hoek, dien de Maan bij 't wentelen om hare as heeft gemaakt. Het punt n' zal dus nog niet zijn aangekomen op het middelpunt c , dat het punt n innam. De schijnbare afstand tusschen deze beide punten zal zelfs toenemen, zoolang de verplaatsingssnelheid de gemiddelde snelheid overtreft. Doch op hare beurt zal deze weldra de overhand krijgen op de eerste, die afneemt tot aan het apogæum; en het punt n' , dat nu (te rekenen van het tijdstip waarop de snelheden een oogenblik gelijk zijn geworden) den verloren weg inhaalt, zal weldra het middelpunt bereiken en vervolgens voorbijstreven, totdat de verplaatsingssnelheid, bij 't weder-aangroeien, het opnieuw ten achteren doet blijven, om het eindelijk na eene volbrachte omwenteling der Maan om de Aarde weder in zijn oorspronkelijken stand te brengen.

350. **Libratiën der Maan.** — 1° **Libratië in lengte.** — Volkomen dezelfde beschouwingen zou men kennelijk op alle punten der Maan kunnen toepassen. Voor die alle zal de Aarde gevolgelijk haren middelbaren stand schijnen te naderen of zich daarvan te verwijderen, terwijl de aardbewoners daarentegen de Maan om haar middelpunt zullen zien schommelen en de naar hare randen gelegen plaatsen periodisch verschijnen of verdwijnen zullen. Deze schijnbare schommelingen, welker *gemid-*

delde (*) duur eene siderische maand bedraagt, hebben parallel aan 't vlak der maanbaan plaats. Men noemt ze *libratie in lengte*, omdat de maanbaan zelve ongeveer parallel is aan 't vlak van de Ecliptica, waarop de astronomische lengten afgeteld worden.

351. 2° **Libratie in breedte.** — De hoek van $6^{\circ}37'$, begrepen tusschen den Maans-æquator en het vlak der loopbaan, brengt insgelijks eene libratie te weeg, die men *libratie in breedte* heet, ter aanduiding van de loodrechte of bijna loodrechte richting op de Ecliptica. Immers, laat MAM' (fig. 169) het vlak

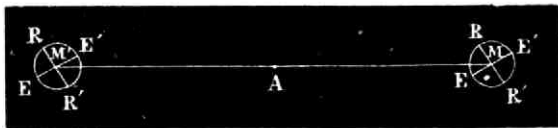


Fig 169.

der loopbaan en RR' de omdraaiingsas der Maan zijn. Wanneer deze in M is, kunnen wij uit de Aarde A de pool R zien, terwijl de pool R' voor ons bedekt is. Wanneer daarentegen de Maan na eene halve omwenteling in het punt M' is gekomen, zien wij de pool R niet meer en de pool R' is zichtbaar. Bij den overgang van den eersten stand tot den tweeden, schijnt dus een der polen zich van 't vlak der loopbaan te verwijderen, terwijl de andere het naderbij schijnt te komen. Derhalve zal ook voor de maanbewoners de Aarde loodrecht op dit vlak rijzen of dalen; met andere woorden, zij is, met betrekking tot den Maans-æquator EE' nu eens aan dezelfde zijde als R, dan weer aan dezelfde zijde als R'.

352. 3° **Dagelijksche libratie.** — Er is nog een andere soort van libratie, die den naam van *dagelijksche libratie* draagt, omdat zij elken dag plaats heeft. Doch deze is alleen merkbaar voor de bewoners der Aarde; want voor de Maan heeft zij geen ander gevolg dan dat zij de verschillende punten der aardoppervlakte achtereenvolgens en met onafgebroken beweging voorbij onzen satelliet doen gaan. Ziehier beknoptelijk waarin zij bestaat.

Wanneer de Maan M (fig. 170) aan den horizon des waarnemers a opgaat, wordt de schijnbare omtrek mm' van dit lichaam bepaald door een vlak, perpendicularair op de lijn aM. Hij zou bepaald worden door een vlak perpendicularair op AM voor den in 't middelpunt A der Aarde geplaatsten waarnemer. De beide lijnen mm'_2 , $m_1m'_1$ maken met elkander eenen hoek, gelijk aan dien

(*) Ik zeg *gemiddelde*, wegens de ongelijkheden van de elliptische beweging, onder anderen van die, welke uit de verplaatsing van 't maans-apogeum voortkomt.

der lijnen Ma , MA , die er loodrecht op staan, of aan de parallax aMA der Maan, die bijna een graad bedraagt.

Naarmate de Maan zich verheft, wordt de hoek, onder welken

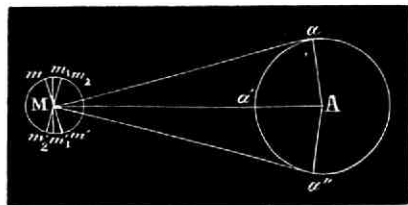


Fig. 170.

Aa zich aan haar voordoet en dien men *parallax van hoogte* noemt, kleiner; en wanneer wij, om 't verschijnsel beter te doen uitkomen, het uiterste geval nemen, waarbij de Maan door 't zenith van den waarnemer a gaat, dat is, waarbij deze, ten gevolge van de omdraaiing der Aarde, in

a' is gekomen, dan zal de schijnbare omtrek dezelfde zijn voor de beide waarnemers. Deze omtrek nu heeft kennelijk voor den waarnemer A niet moeten veranderen. Hij zal dus noodwendig veranderd zijn voor a , die ophouden zal het gedeelte mm_1 te zien en $m'm'_1$ zal bespeuren. Daar voorts de omdraaiing der Aarde voortgaat en den waarnemer eindelijk in a'' brengt, zal deze in zijn nieuwen stand, die aan het ondergaan der Maan beantwoordt, den boog $m'm'_2$ onderscheiden en niet langer mm_2 (omtrent twee graden) zien, totdat de Maan weder opgaat.

De amplitudo van 't verschijnsel doet zich in de werkelijkheid over 't algemeen kleiner dan twee graden voor, omdat men zelden op de Aarde derwijze geplaatst is, dat men de Maan door het zenith ziet gaan. Die amplitudo blijft echter steeds groot genoeg om door de meeste waarnemers gemakkelijk ontdekt te worden, mits deze zich evenwel niet te dicht bij de aardpolen bevinden, alwaar de dagelijksche libratie nul schijnt te zijn, dewijl de polen, als een deel van de omdraaiingsas uitmakende, zelve als het middelpunt der dagelijksche beweging beschouwd kunnen worden.

353. Schijnbare grootte der Maan aan den horizon.

— Merken we in 't voorbijgaan op, dat bij het opgaan of ondergaan der Maan hare afstanden Ma , Ma'' tot den waarnemer, in wiens horizon zij zich bevindt, nagenoeg gelijk zijn aan MA , terwijl integendeel, wanneer zij door den meridiaan bij 't zenith van a' gaat, de afstand Ma' eene in verhouding tot dien afstand goed waarneembare grootte Aa' (ongeveer $\frac{1}{8}$) kleiner is dan MA . De waarnemer, van a in a' verplaatst, is dus dichter bij de Maan gekomen, die zich gevolgelijk grooter aan hem moet voordoen. Waarom schijnt het tegendeel plaats te hebben? 't Is eenvoudig omdat de Maan aan den Horizon zich laat zien achter aardse voorwerpen, boomen, huizen, heuvels, enz., die wij ge-

woon zijn *van nabij* onder zeer groote hoeken te beschouwen, en die onze verbeelding, wanneer wij ze uit de verte vergelijken bij de in hunne richting geplaatste Maan, uit gewoonte te groot neemt. Maar wilt gij de uitwerksels van 't zinsbedrog doen ophouden, zoo meet nauwkeurig den diameter der Maan, en gij zult werkelijk bevinden, dat hij, hoog in den Hemel, is toegenomen. De Zon schijnt ook aan den horizon veel grooter te zijn; doch hier behoeft het zinsbedrog niet tegen afstandsveranderingen op te wegen; want de straal der Aarde, die in het tegenwoordige geval slechts het vier en twintig duizendste gedeelte van den afstand bedraagt, komt volstrekt niet in aanmerking. In strijd met hetgeen men waant te zien, moet dus de nauwkeurige meting der diameters — en zij doet het ook werkelijk — op $\frac{1}{250000}$ na, dat geheel wegvalt wanneer men de refractie in rekening brengt, een volkomen gelijkheid opleveren.

354. **Wezenlijke libratie.** — De verschillende libratiën, die wij behandeld hebben, bestaan alleen in schijn. Men heeft onderzocht of er geen bestonden, die werkelijk het gevolg waren van de schommelingen der omdraaiingsas van de Maan, met andere woorden, of de libratie in breedte, met betrekking tot het middelpunt der Aarde steeds dezelfde waarden behield. Maar de nauwlettendste waarnemingen hebben niets van dien aard doen bespeuren. Alleen heeft men bevonden — en aan Dominicus Cassini komt de eer der ontdekking toe — dat de Maansæquator steeds denzelfden hoek ($6^{\circ}37'33''$) met het vlak der loopbaan maakt, zoodat, daar de helling van dit laatste op de Ecliptica, gelijk wij gezien hebben, vermeerderd of vermindert binnen eene amplitudo van $17'34''$, ook de Æquator en gevolgelijk ook de omdraaiingsas der Maan binnen dezelfde amplitudo schommelen. Dit nu is eene werkelijke libratie, maar die voor ons onzichtbaar is, omdat de *schijnbare* libratie in breedte het gevolg is van de helling der omdraaiingsas op het vlak der loopbaan en deze helling nimmer verandert (*).

(*) Volgens de opmerking van Cassini blijft bovendien de enjding van den Maansæquator EE' (fig. 171) en het vlak der loopbaan MA steeds parallel aan de lijn der knoopen. De beide rechte lijnen moeten derhalve te gelijk en in denzelfden tijd draaien. Hieruit kan men opmaken, dat de loodlijn MR op het vlak dezer loopbaan en de rotatie-as MK — afgezien van de kleine schommeling der maanbaan ($17'34''$) — ieder eenen kegel beschrijven rondom de lijn MI , getrokken door het middelpunt der Maan, loodrecht op de Ecliptica. Nog kan men hieruit het gevolg trekken, dat de lijn MI zich voortdurend in het vlak der lijnen MR , MK bevindt, en dat zij met deze lijnen hoeken maakt van $5^{\circ}8'48''$ en $1^{\circ}28'45''$, die wel een weinig veranderen, maar wier som altijd $6^{\circ}37'33''$ bedraagt.

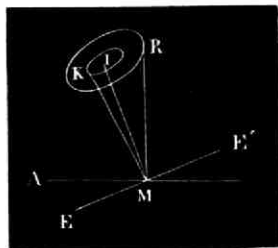


Fig. 171

355. **Lagrange's verklaring van de oorzaak, waaruit de gelijkheid der rotatie- en verplaatsingsbewegingen ontstaat.** — De wis- en natuurkundigen hebben zich veel bezig gehouden met de verschijnselen, welke voornaamste bijzonderheden wij daar ontvouwd hebben. Lagrange, bij voorbeeld, heeft ondersteld, dat de aantrekking der Aarde A op de Maan M (fig. 172), tijdens deze laatste bij hare wording nog in den toestand van taaie vloeistof verkeerde, haar eene langwerpige gedaante naar de zijde der Aarde heeft moeten geven, zoodat er een naar ons toegekeerden meniscus R ontstond, welks zwaarte, naar de meening des beroemden mans, als 't ware de dienst van *ballast* verricht en de Maan bestendig tot de Aarde in de richting RM houdt, waaruit dan de

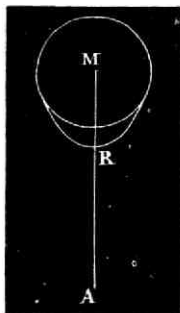


Fig. 172

gelijkheid der bewegingen van rotatie- en verplaatsing wordt geboren.

356. **Verhouding der lichtsterkten van de Maan en de Zon.** — Naar eene andere orde van denkbeelden hebben Bouguer en Wollaston op hunne beurt het lichtend vermogen eener kaars vergeleken bij de lichtsterkten van de Zon en de volle Maan, en respectievelijk voor de verhouding dezer intensiteiten de getallen 300 duizend en 801 duizend gevonden, dat wil zeggen, volgens de berekeningen van Lambert, getallen, waarvan het eerste met ongeveer een vierde, het tweede met acht elfde (nagenoeg twee derde) van het licht, dat de Maan van de Zon ontvangt, overeenkomt.

Maanwarmte. — **Verhouding van 't heldere licht tot het aschgrauwe.** — Waaruit mag zulk een groote wanverhouding voortspruiten? Ik zou zeer verlegen staan als ik het moest zeggen, vooral wanneer ik de groote bekwaamheid der beide waarnemers in aanmerking neem. Hoe dit wezen moge, anderen, met niet minder bekwaamheid toegerust, zijn vaak tot zeer uiteenloopende resultaten gekomen. Zoo, bij voorbeeld, terwijl Lahire had bevonden, dat het maanlicht niet de minste warmte bezit, bleek het in 1846 aan Melloni te Napels, geholpen door een, 't is waar, veel gevoeliger instrument (*) dan dat van Lahire, dat de Maan kennelijk warmte voortbrengt, en wel eene warmte, die, gelijk trouwens te voorzien was, verschilt met den ouderdom der Maan. Laugier heeft op zijne beurt in 1850,

(*) Namelijk met eene lens van een meter in middellijn en een thermo-electrischen toestel.

vijftien dagen na elkander, den 16den Mei en den 2den Juni, proeven genomen volgens eene dier zoo vernuftige methoden, welke wij aan Arago moeten dank weten, en heeft bevonden — maar ook, men moet het in aanmerking nemen, als mogelijk element van verklaring betreffende omgekeerde oppervlakten — dat de verhoudingen van licht-intensiteit voor het heldere en het aschgrauwe gedeelte der Maan worden uitgedrukt door de getallen 4000 en 7000, enz.

357. **Chemische werking der maanstralen.** — **Polarisatie van het door de Maan teruggekaatste licht.** — Nadat men eerst, door algemeene gevolgen uit veel te zeer beperkte proeven gemaakt te hebben, de meening was toegedaan, dat onze bijplaneet geheel en al buiten staat was om chemisch op de gevoeligste reagentia te werken, is het gelukt eene groote menigte zelfstandigheden te vinden, die in een oogenblik den invloed der maanstralen aan den dag leggen, ja men kan tegenwoordig zelfs zeer goede photographieën door middel van het maanlicht bekomen. Voegen we hierbij, dat Arago reeds in 1811 en na hem andere Sterrenkundigen (Secchi in den jongsten tijd) meermalen gepolariseerd licht gevonden hebben in de van de Maan komende straalbundels, vooral omstreeks het eerste en het laatste kwartier, de tijden waarop het licht, dat ons wordt toegezonden door geometrische terugkaatsing (de zoogenaamde speculaire reflexie of spiegelweerkaatsing) hoeken van 45 graden moet maken met de kleine facetten of ruiten der terugkaatsende (kristallijnen) oppervlakten. Daar toch de Maan en de Zon

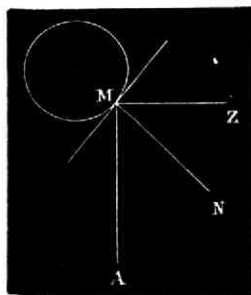


Fig. 173.

alsdan eenen hoek van 90 graden met elkander maken, zoo is ieder der stralen MA (fig. 173), die *speculair* naar de Aarde afgekaatsd worden (§ 27) perpendicular op den overeenkomstigen straal ZM, die van de Zon op de Maan valt; en bij gevolg hellen de normalen MN op de gladde oppervlakten, die soort van weerkaatsende spiegels, met 45 graden op de stralen MZ, MA. Voegen we er eindelijk bij, dat het aschgrauwe licht, volgens Galilei, Hevelius, Schröter, enz., bij afnemende Maan een weinig sterker is dan bij wassende Maan. Dit moet, volgens sommigen,

voortkomen uit de verandering van de verlichtende deelen der Aarde op die beide tijden; volgens anderen uit eene ongelijkheid van 't weerkaatsend vermogen in de verschillende punten der maanvlakte, enz.; wellicht hangt het ook samen met eene

soort van phosphorescentie, die in de stof der Maan ontwikkeld wordt door de zoo langdurige zonnestoving van vijftien dagen, waaraan, zonder de merkbare tusschenkomst van dampkring, gelijk wij eerlang zullen zien, tijdens de wassende Maan die gedeelten van hare oppervlakten zijn blootgesteld, alwaar bij haar afnemen het aschgrauwe licht zich moet vertoonen.



NOOT.

OVER DE VOORNAAMSTE ONREGELMATIGHEDEN IN DE BEWEGING DER MAAN.

358. De loopbaan der Maan zou volkomen elliptisch zijn, indien dit Hemellichaam alleen gehoorzaamde aan de zwaartekracht der Aarde, in verband met de gevolgen van eene oorspronkelijke impulsie of voortdrijving. Maar de invloed der Zon en zelfs die van verschillende Planeten brengen storingen te weeg, die de regelmatigheid der bewegingen wijzigen. Men kan zich de verschijnselen, of althans hunne meest uitkomende bijzonderheden, op de volgende wijze voorstellen.

359. **Vereffening van het middelpunt of de loopbaan.** — In plaats van de gelijkmatige beweging, die plaats moest hebben in geval de cirkel in denzelfden tijd als de ellips doorloopen werd en die men de *gemiddelde* beweging noemt, vindt gij vooreerst zeven dagen na den doorgang der Maan, hetzij in 't perigæum, hetzij in 't apogæum, eene ongelijkheid van ongeveer 6° op den gemiddelden stand. Die ongelijkheid is allengs ontstaan tusschen het perigæum en het apogæum. Zij verdwijnt omstreeks den 14den dag, nadat zij langzamerhand minder is geworden, om weer opnieuw, maar in tegengestelden zin, aan te groeien tot aan den 21sten, en andermaal te verdwijnen op den 27sten, dat is op het einde der siderische omwenteling. Men noemt haar *æquatie* of *vereffening van 't middelpunt of de loopbaan*, omdat in de Sterrenkunde de groottheden, die door samentelling of aftrekking met gemiddelde waarden gecombineerd moeten worden, steeds den naam van *æquatie* of *vereffening* dragen. Zij is voor 't overige niets anders dan de ongelijkheid, die uit de elliptische beweging ontstaat; doch zij wordt elke maand niet weder dezelfde. Men ziet ze in hare maxima waarden zich tusschen 5° en $7^{\circ}40'$ bewegen, naar gelang van den stand der Zon ten opzichte van de Maan op het oogenblik van 't maans-perigæum, even alsof de loopbaan der Maan eene uitrekking en inkrimping onderging zoo vaak de Zon terzelfder tijd als de Maan door de richting van de groote as dezer loopbaan gaat.

360. **Evectie.** — Om de zoo even genoemde veranderingen uit te drukken, onderstellen de Sterrenkundigen vooreerst, dat de gemiddelde æquatie der loopbaan in haar maximum gelijk is aan $6^{\circ}20'$; en met die gemiddelde æquatie brengen zij eene tweede ongelijkheid in verband, die tot $1^{\circ}20'$ kan klimmen en die zij door samentelling of aftrekking met de eerste combineeren, zoodat zij naar de omstandigheden voor de æquatie der loopbaan al de tusschen 5° en $7^{\circ}40'$ liggende waarden bekomen. De tweede door Ptolemeus ontdekte ongelijkheid werd door Bouilland *evectie* (van *evehere*, verheffen) geheeten, omdat zij de æquatie van 't middelpunt in toeneming of afnemning verheft. Haar analytische vorm is $(1^{\circ}20') \sin (2T - A)$, zijnde T den aan de Aarde gevormden hoek tusschen de Maan en de Zon en A de gemiddelde anomalie der Maan. Wat de æquatie van 't middelpunt betreft, zij wordt voorgesteld door de formule $(6^{\circ}20') \sin A$. Uit deze formules leidt men gemakkelijk al de daarmede overeenkomende grootheidsveranderingen af.

361. **Variatie.** Daar de vereffening van 't middelpunt en de evectie niet toe-

reikend zijn om de standen der Maan naar eisch voor te stellen, voegde Tycho-Brahé omstreeks 1600, en wellicht vóór hem de Arabieren, bij de beide voorgaande ongelijkheden eene derde, *variatio* geheeten, die tot 36' in vermeerdering of vermindering kan stijgen en die men algebraïsch uitdrukt door $(36') \sin 2T$. Hare maxima waarden, zoo positieve als negatieve, beantwoorden klaarblijkelijk aan de waarden van T, gelijk aan $45', 90' + 45', 180 + 45', 270' + 45'$, die men *octanten* noemt.

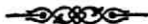
362. Algemeen denkbeeld van de oorzaak, die de ongelijkheden der Maan te weeg brengt. — Het is gemakkelijk de oorzaak der voorgaande ongelijkheden aan te wijzen, of althans eenigermate te doen inzien. Verandert, bij voorbeeld, de æquatie van 't middelpunt in haar maximum, dan is dit alsof de excentriciteit der maanbaan vergrootte of verkleinde. Onderstelt nu de Maan in 't apogæum op het oogenblik der conjunctie, zoo is het duidelijk dat de invloed der Aarde op de Maan alsdan een minimum is, dewijl de afstand op zijn grootst is en de zwaartekracht met dezen afstand vermindert. De werking der Zon om de Maan van de Aarde te verwijderen wordt dus door die omstandigheid begunstigd, en de loopbaan der Maan moet zich uitrekken, dat wil zeggen, de excentriciteit en gevolgelijk ook de æquatie van het middelpunt nemen toe. Daar de werking bij het maans-perigæum minder is, zal het maximum van de æquatie des middelpunts, in plaats van 7'40', slechts 5' bereiken; en het verschil 2'40' tusschen de beide maxima zal het dubbele zijn der evectie, die op hare beurt al de tusschenliggende waarden van nul tot 1°20' kan krijgen, al naarmate de Maan op het tijdstip der conjunctie het apogæum, het perigæum of een der tusschenstanden zal innemen.

363. Jaarlijksche æquatie of vereffening. — Deze verklaringen moeten voor 't overige enkel als aanwijzingen beschouwd worden; want om volledig te zijn, zouden zij een langwijlige en haarfijne ontleding behoeven, welke bijzonderheden alleen hare plaats kunnen vinden in de uitgebreide werken over de hemelsche Mechanica. Ik voeg hierbij, dat Kepler, bij 't berekenen der waarnemingen van Tycho-Brahé, op zijne beurt eene ongelijkheid ontdekte, die hij onder den naam van *jaarlijksche æquatie* of *vereffening* bekend maakte; zij heeft den vorm $(11'15'') \sin \alpha$, die gevolgelijk ieder jaar periodisch met de gemiddelde anomalie α van de Zon verandert. Wanneer de Zon zich in 't perigæum bevindt, is haar invloed ter wijziging van de loopbaan der Maan grooter, dan wanneer zij in 't apogæum staat. De omwenteling der Bijplaneet moet dan ook in 'teene geval sneller, dan in 't andere zijn; maar de gevolgen worden ieder jaar dezelfde, waardoor de naam, haar door Kepler gegeven, gerechtvaardigd wordt.

364. Versnelling van de gemiddelde beweging der Maan. — Oorzaak, die het verschijnsel te weeg brengt. — Er is eene andere ongelijkheid, die men versnelling van de gemiddelde beweging, ook wel de *seculaire vereffening* van de beweging der Maan noemt, en welke oorzaak Laplace heeft gevonden in de veranderingen, die de invloed der verschillende planeten op de excentriciteit van de loopbaan der Aarde te weeg brengt. Tegenwoordig nadert de ellips, die wij rondom de Zon beschrijven, met ieder jaar, onder den invloed der andere lichamen van 't planetenstelsel, bestendig tot den ronden vorm, terwijl de groote as onveranderlijk blijft. De jaarlijksche gevolgen te zamen gevat komen bij gevolg te staan op eene vermeerdering van afstand tusschen de Zon en de Aarde, gevolgelijk ook op eene vermindering van de kracht der Zon om ons van de Maan te verwijderen. De aantrekkingskracht der Aarde, die als 't ware de

aantrekkingen der Planeten doet terugwerken op de Maan, wordt alzoo van jaar tot jaar grooter en veroorzaakt tevens de toenadering alsook de versnelling der Maan, die ten laatste op onzen Bol zou neerstorten, indien 't verschijnsel steeds dezelfde richting moest behouden. Gelukkig zal 't in den loop der eeuwen (over 24 000 jaren) van teeken veranderen. De excentriciteit van de ellips der aardbaan zal, na tot op een zekere grens verminderd te zijn, later weder toenemen en daarmede dan 50 000 jaren aanhouden. De ellips zal dan bij hare voortgaande afplatting de werking der Zon weder toenemende waarden doen krijgen, en de Maan zal ophouden ons naderbij te komen, om opnieuw, bij hare meerdere verwijdering van ons, achtereenvolgens al de standen te doorloopen, die zij gedurende het tijdperk der toenadering heeft gehad.

365. **Talrijke onregelmatigheden, die de theorie oplevert.** — Andere zeer talrijke onregelmatigheden zijn door de theorie ontdekt, hetzij in de beweging in lengte, hetzij in de beweging in breedte, hetzij in de voerstralen; doch zij hebben geen bijzondere namen gekregen. Wij hebben reeds gezien, dat de aanzienlijkste van die, welke op de breedte werken, door Tycho werd ontdekt en 1734'' bedraagt. In allen gevalle mag men zeggen, dat de Maan een der hemellichamen is, die den Sterrenkundige de meeste zwaarigheden te overwinnen geeft; want om haren stand op eenige seconden na te bepalen zijn er niet minder dan een *veertigtal vereffeningen* noodig. Vóór Newton zou men niet voor een verschil van verscheidene minuten hebben durven instaan, hoewel men toch reeds gebruik maakte van de vijf eerste vereffeningen, van welke twee (de vereffening der loopbaan en de evectie) reeds vrij nauwkeurig door de Ouden en de drie andere (variatie, vereffening der breedte, jaarlijksche vereffening) door Tycho en Kepler bepaald waren.



VEERTIENDE LES.

Vervolg van de beschouwing der Maan. — Toepassingen op den kalender.

De Maan regelde den Kalender der Ouden en regelt nog dien van sommige hedendaagsche volken. — Zij brengt ten deele het hare toe aan de inlasschingen van den Gregoriaanschen kalender. — Maan-cyclus en Gulden-getal. — Kerkelijke maanmaanden. — Paaschmaan. — Benamingen der zonreemaanden, oneigenlijk toegepast op de maanmaanden. — Regel der Computisten te dezen opzichte. — Dionysische periode. — Juliaansche cyclus. — Maaneclipsen. — Lengte en breedte van den schaduwkegel. — Reden waarom er niet iedere maand eclips is. — Oorsprong van den naam Ecliptica. — Schaduw en btschaduw. — Physische verschijnselen. — Invloed der aard-atmosfeer. — Roodachtige tint der Maan gedurende de Eclipsen. — Verschillen tusschen den berekenden en den waargenomen duur der Eclipsen. — Gelyktijdige aanwezigheid van de Zon en de Maan boven zekere horizons tijdens de eclipsen, ten gevolge van de werking des dampkrings. — Waaron *voor elke plaats* de Maaneclipsen menigvuldiger zijn dan de Zoneclipsen, ofschoon werkelijk, over de geheele Aarde genomen, de laatste talrijker zijn dan de eerste. — Indrukken door de Maaneclipsen te weeg gebracht. — Toepassingen van de Maaneclipsen. — *Noot over het berekenen der Maaneclipsen.* — De periode van 18 jaren 11 dagen geeft 'in 'talgemeen de ecliptische syzygiën. — Beloop der betrekkelijke maanbaan op de snede, door den schaduwkegel gemaakt. — Berekening van het oogenblik der oppositie. — Geval der totale verduistering; voorwaarden van het verschijnsel. — Proeven van bepaling der maanparallax door de Eclipsen. — Kaart der Eclips op de oppervlakte der Aarde.

366. De Maan regelde den Kalender der Ouden en regelt nog dien van sommige hedendaagsche volken. — Zij brengt ten deele het hare toe aan de inlasschingen van den Gregoriaanschen kalender. — De beweging der Maan diende den Ouden, evenals die der Zon, tot maat voor den tijd, en nog tegenwoordig wordt alleen zij daartoe door eenige nieuwere volken (*) gebezigd. Uit het woord *maand*, onder anderen *მანა*, maan), waarvan wij ons bedienen, blijkt genoegzaam, dat ook de Gregoriaansche kalender getuigenis geeft van den invloed onzes wachters, wien daarenboven de eer is ten deel gevallen, de beweeglijke feesten der Kerk te bepalen. Zien wij welk aandeel de Maan heeft aan de inlasschingen van den Zons- en maans-kalender, waarvan wij ons tegenwoordig bedienen.

367. — Vooraf zij opgemerkt, dat de middelbare duur der maanmaand gelijk is aan 29,53 of nauwkeuriger aan 29,530592

(*) De Muhamedanen.

middelbare maanmaanden ; zoodat 235 maanmaanden 6939,68912 dag bevatten en dus bijna gelijk staan met 19 Zonnejaren, die 6939,60218 dag doen.

Maancyclus en Gulden-getal. — Toen Methon, 432 jaar vóór Christus, op de Olympische spelen de zoo even genoemde verhouding bekend maakte, waren de Grieken daarmede ten hoogste ingenomen, en men stelde vast, dat de ontdekking des Atheenschen wijsgeers met *gouden letters* op marmeren tafels zou geschreven worden. De periode van 19 jaren kreeg den naam van *Maancyclus*, daar deze cyclus opnieuw moest aanvangen zoo vaak de nieuwe Maan samenviel met den eersten dag des jaars. Het getal, dat het jaar van den loopenden maancyclus aanduidde, kreeg zeer natuurlijk den naam van *Gulden-getal*.

Behoef ik wel meer te zeggen van twee benamingen, die wij nog heden ten dage in onze Almanakken aantreffen, of van de toepassing, die men kon maken van de gedurende een tijdvak van 19 jaren waargenomen schijngestalten der Maan op de voorspelling der schijngestalten in de volgende perioden? Het zij dan genoeg alleen te zeggen, dat het Gulden-getal 2 was voor het eerste jaar onzer christen-jaartelling. Om dus voor een bepaald jaar het Gulden-getal te berekenen, behoeft men slechts bij dat jaartal 1 te tellen en deze som door 19 te deelen; het overschot der deeling zal dan het begeerde Gulden-getal wezen.

368. **Kerkelijke maanmaanden.** — Voor de behoeften der Kerk, die reeds in 325, tijdens het Concilie van Nicea, het Paaschfeest naar den loop der Maan wilde regelen, kwam men overeen om de maanmaanden beurtelings 29 en 30 dagen te geven, hetgeen hetzelfde was als of men haar gemiddeld ieder 29,5 dag liet duren. Bij zoodanigen duur zouden 235 maanmaanden slechts 6932,5 dag in plaats van de juiste waarde 6939,68912 dag bevatten; de fout zou derhalve voor den maancyclus 7,18912 dag belooopen, welke men op de volgende wijze zocht te vereffenen.

12 maanmaanden van 29,5 dag per jaar zullen in 19 jaar 228 maanmaanden geven. Om tot 235 te komen, moeten er dus 7 maanmaanden *ingelascht* worden, zoodat men om de drie jaren het jaar met eene nieuwe maanmaand moet vermeerderen. De duur van elke zes eerste dezer aanvullings-maanden is bepaald op 30 dagen, en die der zevende op 29; zoodat er, bij een gemiddelden duur van 29,5 dag, met de zeven ingelaschte maanmaanden ten slotte *zes halve dagen min een halve dag*, of *twee en een halve dag* werden gewonnen; deze, afgetrokken van het aan te vullen te-kort (7,18912 dag), verminderen die fout op 4,68912 dag.

Nu hebben wij in den cyclus van 19 jaar (afgezien van de

niet als schrikkeljaren tellende eeuwjaren van den Gregoriaanschen kalender), drie malen van de vier telkens vijf schrikkeljaren, namelijk de jaren 1, 5, 9, 13, 17; dan 2, 6, 10, 14, 18; vervolgens 3, 7, 11, 15, 19; waarbij dan nog komen 4, 8, 12 en 16; in 't geheel 19 schrikkeljaren voor 4 cyclussen of 76 jaren. Van den anderen kant bedraagt de fout van 4,68912 dag op de maanmaanden van elken cyclus, voor 4 cyclussen, 18,75648 dag (19 dagen min 0,24352 dag, zoodat de vereffening ten naastenbij in orde zal zijn, als men elke maanmaand, die in de schrikkeljaren den 29sten Februari bevat, met éénen dag vermeedert. Zoo doet men dan ook werkelijk. Er blijft dus niets meer te vereffenen dan het verschil van 0,24352 dag op 76 jaar of van éénen dag op 312 jaren; en men kan gemakkelijk, bij het doen dier verbetering, ook de eeuw-schrikkeljaren in rekening brengen, welke de Gregoriaansche kalender heeft uitgelaten, maar waarop wij geen acht geslagen hebben in de voorgaande berekeningen, die dus betrekking hebben op den Juliaanschen kalender.

369. **Epacta.** — De kunstgreep levert, gelijk men ziet, geenerlei zwarigheid op. Zij kan daarenboven met voordeel vervangen worden door het stelsel der *Epacta* of der bij te voegen dagen, dat door het Concilie van Nicea werd ingevoerd bij de *Berekening van den Kerkelijken Kalender*, en door hetwelk men al de maan-fasen van een jaar kan bepalen, wanneer men de *epacta* kent, dat is, den ouderdom der Maan op den 1sten Januari; want men behoeft bij de *epacta* slechts het getal dagen te tellen, dat er sedert het begin des jaars is verlopen, en te zien hoeveelmaal de 29,5 dag van een gemiddelde maanmaand in de dus verkregen som begrepen is. Het overschot der deeling door 29,5 zal den ouderdom der Maan in de loopende maanmaand, en gevolgelyk ook de daarmede overeenkomstige maanphase, aangeven.

Wat de opeenvolging der *epacta* betreft, daar 12 maanmaanden van 29,5 dag 354 dagen geven, zoo blijkt daaruit, dat, ingeval de *epacta* nul is, met andere woorden, ingeval de nieuwe Maan op den 1sten Januari valt, de Maan ook nieuw zal zijn op den 355sten dag; zij zal dus op den eersten Januari van 't volgende jaar elf dagen tellen, en de *epacta* zal dan 11 zijn. Zij zal 22 worden op den eersten Januari van het 3de jaar; voorts 33, of, na aftrekking van de 30 dagen, die ongeveer den duur eener maanmaand vertegenwoordigen, eenvoudig 3; daarna weder 14, 25, 36 of 6, 17, enz., enz. In een woord, met de 19 jaren van eenen maancyclus of de 19 gulden-getallen zullen achtereenvolgens de onderstaande *epacta* overeenkomen, wordende de schrikkeljaren der cyclussen bijna geheel vereffend door aan

de opgeheven maanmaanden 30 dagen in plaats van 29,5 toe te kennen,

Gl. get. 1—2—3—4—5—6—7—8—9—10—11—12—13—14—15—16—17—18—19
Epacta 0—11—22—3—14—25—6—17—28—9—20—1—12—23—4—15—26—7—18
 waarna de epacta van 't eerste jaar in den volgende cyclus, voor dezen keer, ter voltooiing van de vereffening, 12 dagen in plaats van 11 bij te voegen, weder nul zal worden. Nogtans zal de fout van ééne dag, die wij boven vonden voor de gezamenlijke maanmaanden van 312 Juliaansche jaren, in het tijdsverloop van 2496 jaren (zeggen we in rond getal 2500 jaren) 8 dagen beloopt; daar alzoo de Maan na verloop van die 2500 jaren *acht dagen* oud zou zijn, terwijl de epacta haar *nieuw* zouden maken, zoo bepaalde het Concilie, dat men trapsgewijs de acht dagen in de som der maanmaanden van 25 eeuwen zou weglaten, of, wil men liever, dat men ze bij gedeelten zou toevoegen aan den ouderdom der Maan, door achtereenvolgens zevenmaal om de driehonderd jaar en den 8sten keer na 400 jaar de voorgaande epacta met eene eenheid te vermeerderen, hetgeen dan ook werkelijk de vereffening van 8 dagen in 2500 jaren ten gevolge zou hebben.

Daar de Gregoriaansche verbetering, op hare beurt, drie eeuw-schrikkeljaren van de vier opheft, zoo moet de van 't Juliaansche schrikkeljaar afgenomen dag natuurlijk ook afgenomen worden van den ouderdom der Maan of van de *epacta* in ieder der volgende jaren. Wanneer dus het eeuwjaar, dat volgens de regels van 't Concilie van Nicea om de driehonderd jaar met eene eenheid voor de epacten (*) moet vermeerderd worden, een van de eeuw-schrikkeljaren is, welke de Gregoriaansche kalender heeft opgeheven, dan zullen de epacta weder dezelfde blijven als in de voorafgaande periode van 300 jaren (behoudens echter de storingsen, ontstaande uit nieuwe, geen schrikkeljaren zijnde eeuw-jaren), dewijl men deze epacta terzelfder tijd met eene eenheid zou moeten vermeerderen en verminderen. Voor 't overige is het klaarblijkelijk, dat de phasen der Maan, die door de epacta of de gulden-getallen aangegeven worden, slechts benaderend zijn, en dat men de resultaten eenvoudig moet beschouwen als middelbare standen, die somwijlen een of twee dagen van de ware standen der Maan kunnen verschillen. Maar ik mag niet langer met dit onderwerp, dat bovendien van luttel *astronomisch* belang is, mij bezig houden, en dit te minder met het oog op de uitvoerige verklaringen, die het bij een volkomen uiteenzetting in al zijne deelen zou vereischen.

(*) Aan de vermeerderingen en verminderingen der epacta met eene eenheid geeft men de namen van *maansvereffening* of *proemptosis* (*prò én ptósis*, val naar voren), en *soos-vereffening* of *metemptosis* (*met' én ptósis*, val naar achteren).

370. — 't Was vooral om het Paaschfeest en al de *beweeglijke* feesten gemakkelijk te regelen, dat het Concilie van Nicea de eerst met dat doel gebruikte gulden-getallen door het stelsel der epacta deed vervangen. Volgens de uitspraken van dat Concilie werd de Lente-nachtevening beschouwd als onveranderlijk plaats hebbende op den 21sten Maart; en de *grootte Paschen* (dus geheeten om het feest der Opstanding te onderscheiden van de andere plechtige feesten, die in de eerste Kerk insgelijks den naam van Paschen droegen) werd vastgesteld op den eersten Zondag, volgende op de volle Maan, die op of na den 21sten Maart valt.

Paaschmaan. — Hieruit volgt, dat het Paaschfeest niet vóór den 22sten Maart noch na den 25sten April kan gevierd worden; want valt de volle Maan juist op den 21sten Maart, dan is 't *op zijn vroegst* de 22ste daaraanvolgende, dat het Paaschfeest kan plaats hebben. Maar is het den 20sten, éénen dag voor de Nachtevening, volle Maan geweest, dan is de paaschmaan eerst de volgende wenteling der Maan, die *op zijn laatst* den 18den April vol zal wezen; en ingeval deze dag een Zondag mocht zijn, zal het Paaschfeest eerst den volgenden Zondag den 25sten worden gevierd (*).

Beweeglijke feesten. — Wat de andere beweeglijke Kerkfeesten betreft (van welke de Protestanten alleen den Hemelvaartsdag en Pinksteren vieren), Septuagesima is de 9de Zondag vóór Paschen, Sexagesima de 8ste, enz.; Aschdag valt op den Woensdag vóór Quadragesima; Hemelvaartsdag is de 40ste dag na Paschen; Pinksteren komt 10 dagen later of 7 weken na Paschen; de Heilige-Drievuldigheidsdag is de Zondag die op het Pinksterfeest volgt; de Heilige-Sacramentsdag is de Donderdag, die op den Drievuldigheidsdag volgt, enz. Evenwel — gelijk een ieder voorzeker reeds opgemerkt heeft — deze soort van middelbare Maan, welke de kerkelijke Paaschmaan oplevert, valt niet altijd samen met de astronomische Maan. In 1721, bij voorbeeld, had, volgens de berekening van J. Bernouilli, te Lausanne in 't licht gegeven, de volle Maan werkelijk plaats op Zaterdag 8 April des avonds te 4 u. 21 m., en het Paaschfeest zou bijgevolg op Zondag den 9den moeten gevierd zijn geworden. Dit gebeurde echter eerst den 16den, omdat volgens de aanwijzingen der epacta de volle Maan op den 9den viel. In 1744 en 1798 werd insgelijks het Paaschfeest eene week te laat gevierd. Het tegendeel had plaats in 1818, want men hield

(*) In 1598, 1693, 1761, 1818 viel het Paaschfeest op den 23sten Maart; op denzelfden dag zal 't ook vallen in de jaren 2285, 2437, 2505, enz. Het werd op den 25sten April gevierd in 1546, 1666, 1734, en dit zal weder plaats hebben in 1886, 1943, 2038, enz.

toen Paschen op 22 Maart, volgens de Epacta, terwijl de ware volle Maan de viering op den 29sten had moeten bepalen, enz. Doch deze onregelmatigheden worden vergoed door de mogelijkheid om de bewegelijke feesten lang van te voren met zekerheid te kunnen aangeven, zonder dat men zich heeft te bekommeren over wijzigingen of afwijkingen, die steeds voortgaande vorderingen in de wetenschap van jaar tot jaar in de astronomische Tafels brengen.

371. **Benamingen der zonnemaanden oneigenlijk toegepast op de maanmaanden.** — Vele leden van 't Concilie behielden in hunne brieven de aan de Maankalenders ontleende namen en heetten de Paaschmaan *Maartsche maan*. Vandaar het tot op onzen tijd gebleven gebruik van haar dus te noemen, al valt ze somwijlen geheel en al binnen de maand April. Met de bovenvermelde bijzonderheden moet men intusschen inzien, dat de maanmaanden redelijkerwijze niet met onze zonnemaanden kunnen samengaan, en dat de door zekere bisschoppen gezegde aanduiding enkel ten doel had om de bedoelingen van 't Concilie duidelijk uit te drukken in eenen tijd, toen de Paaschmaan met de maand Maart samentrof.

Regel der Computisten of Berekenaars van den kerke-lijken Calender. — Als men in 't oog houdt met welke stijfhoofdigheid de menschen zich aan gewoonten vasthouden, dan moet het nog wel het minst ongerijmd schijnen, dat men met de meeste Computisten, al hebben dan ook de namen onzer zonnemaanden, toegepast op de maanmaanden, geenerlei astronomischen zin meer, aan de Maan den naam gaf van de maanden, waarin hare wenteling volbracht is. Daar een maansomloop, die den 1sten Januari aanvangt en den 30sten eindigt, niet wel een anderen naam dan dien van *Januari-maan* kon bekomen, moet de volgende maansomloop noodwendig *Februari-maan* heeten, al begint hij ook in Januari; vervolgens *Maartsche maan*, die welke den 28 Februari begint en den 29sten Maart eindigt, enz. Jammer maar, dat die naamgeving, aanvankelijk vrij juist, alras fout wordt; want reeds in het 3de jaar komt men tot *twee* maansomloopen, die in October eindigen, en die gevolgelijk beide denzelfden naam moeten dragen. Daarna beginnen de maanmaanden weder, eerst vrij wel overeenstemmend, dan met al grooter en grooter afwijkingen en met aanvullingsmaanden om de drie jaar, tot op het einde van den cyclus, als wanneer de neomenieën of nieuwe manen weer op dezelfde dagen der zonnemaanden als in den vorigen cyclus vallen.

372. **Dionysische periode.** — De verbinding van den acht en twintigjarigen zonnecyclus, die in den Juliaanschen kalender de dagen der week op dezelfde dagen der maand terugvoerde,

met den negentienjarigen maancyclus, die de schijngestalten der Maan weder op dezelfde datums brengt, geeft tot product het getal 532, dat men Dionysische cyclus heet, ter gedachtenis van Dionysius den Kleine, wien men de invoering van dit getal in de Tijdrekenkunde heeft dank te weten. 't Is duidelijk, dat iedere Dionysische cyclus datums, dagen en maan-phasen weer periodisch doet samentreffen, dewijl van den eenen kant de maancyclus, en gevolgelijk al zijne veelvoud, de maneschijnen weer doen samenvallen met de datums der vorige cyclussen, en dewijl van den anderen kant de zonnecyclus de datums en de dagen der week weder in overeenstemming brengt.

Juliaansche cyclus. — Het product 7980 der getallen 28, 19 en 15, hetwelk Jozef Scaliger onder den naam van Juliaansche cyclus bedacht, maakt mede eene periode uit, na welke men achtereenvolgens in den Juliaanschen Kalender dezelfde combinatiën van datums, weekdagen, maanphasen en eindelijk *indictie*-jaren zou zien te voorschijn treden; eene periode, wier aanvang in het jaar 4713 vóór onze jaartelling gesteld moet worden, als men den Juliaanschen cyclus te gelijk wil zien beginnen met de drie cyclussen (zonne-, maan, Romeinsche-indictie-cyclus), waaruit hij is samengesteld.

373. Andere koppelingen, met de vorige gelijksoortig, hebben op hare beurt het aanzijn aan nieuwe perioden gegeven. — Maar reeds te lang heb ik mij opgehouden bij vermoeiende bijzonderheden, die meer tot het gebied eener andere wetenschap schijnen te behooren. 't Is alzoo aan de Chronologie, voor welke het in-verband-brengen van zekere getallen nuttige opheldering en bevestiging kan geven, dat ik de zorg der verdere uiteenzetting dezer studie moet overlaten, om zelve die der astronomische verschijnselen te kunnen voortzetten. — Ik ga alzoo zonder verdere voorafpraak tot de behandeling der eclipsen over.

374. **Maaneclipsen.** — Somwijlen gebeurt het, dat de Maan, terwijl zij vol is, aan den Hemel verdwijnt en gedurende een of twee uren verborgen blijft. Daar zij haren glans ontleent aan het van de Zon uitgaande licht, moet er noodwendig een donker lichaam tusschen de beide hemelbollen getreden zijn. Daar bovendien de maansverduisteringen nimmer plaats hebben dan tijdens den tegenstand, wanneer met betrekking tot ons, de Maan aan de eene zijde, de Zon aan de andere staat, zoo mag men *a priori* vermoeden, dat het licht der Zon onderschept wordt door de Aarde.

Ons vermoeden zal bevestigd worden, wanneer wij ons weten te overtuigen, dat de achter de Aarde gevormde schaduwkegel buiten de loopbaan der Maan reikt, en dat hij breed genoeg is om onzen wachter geheel te bevatten; want aangezien wij geen

andere lichamen kennen, die het verschijnsel te weeg kunnen brengen, zullen we ook, zoodra wij bevinden dat de Aarde aan al de gevorderde voorwaarden voldoet, gerechtigd zijn tot de gevolgtrekking, dat het door haar ontstaat.

375. Lengte en breedte van den schaduwkegel. — Zij dan Z (fig. 174) het middelpunt der Zon, zs' haar diameter, A

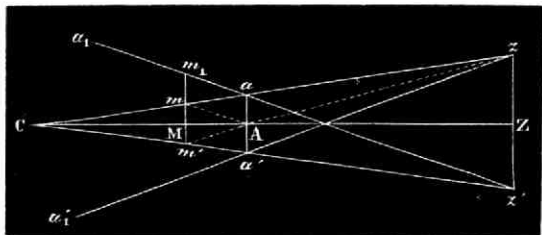


Fig. 174.

het middelpunt en aa' de diameter der Aarde, aCa' eindelijk de snede des schaduwkegels door het vlak der Ecliptica (*). Wanneer men de figuren volgens de schaal construeert, of wel wanneer men eenvoudig een regel van drieën toepast op de beide gelijkvormige driehoeken aCA , zCZ , waarin de straal Zz der Zon 112maal, en de afstand ZA 24 000maal den straal CA der Aarde doet, vindt men gemakkelijk, dat de lengte CA gelijk is aan 216maal denzelfden straal (\dagger), dat is aan ongeveer drie en een half maal den gemiddelden afstand (60 maal den aardstraal) van de Maan tot de Aarde. Bij gevolg reikt de schaduwkegel ver buiten de loopbaan der Maan, en aan de eerste der beide vooropgestelde voorwaarden is dus voldaan.

Snijden we, om te zien of ook aan de tweede voldaan wordt, den schaduwkegel in de streek der Maan, op den afstand AM , gelijk aan 60maal den straal van onzen Bol. De vergelijking der beide gelijkvormige driehoeken, hetzij met behulp van den passer, hetzij door een regel van drieën, zal ons toonen, dat mM het acht elfde gedeelte van aA' , en mm' dus ook acht

(*) Strikt genomen, zijn zs' en aa' niet nauwkeurig diameters van de Zon en de Aarde: de middelpunten Z en A liggen een weinig buiten de op zs' en aa' geprojecteerde cirkels, dewijl de lijnen zaC en $z'a'C$ eenen hoek van ongeveer 30 tot 32 minuten bevatten. Maar men mag deze geringe oorzaak van dwaling verwaarloozen, die daarenboven niet meer zou bestaan, indien men Zz , Aa , Zz' , Aa' respectievelijk loodrecht op zaC , $z'a'C$ onderstelde. De figuur zou dan evenwel wat omslachtig worden voor den bij-schaduwkegel.

(†) Drukken we CA door x , CZ door $24\,000 + x$ uit, zoo zullen wij hebben:

$$(zZ = 112) : (aA = 1) = (ZC = 24\,000 + x) : (AC = x)$$

waaruit men vindt, door de volgende termen van de voorgaande af te trekken,

$$112 - 1 : 1 = 24\,000 : x = \frac{24\,000}{111} = 216.$$

elfde van *aa'* is (*), terwijl de diameter der Maan, zooals wij gezien hebben, slechts *drie elfde* van den diameter der Aarde bedraagt. De Maan zal dus zeer ruim begrepen kunnen worden in den schaduwkegel, en aan de tweede voorwaarde is niet minder volkomen voldaan dan aan de eerste.

376. **Reden waarom er niet elke maand eclips is.** — Het vlak der Ecliptica, waarin bestendig de middelpunten der Zon en der Aarde zijn gelegen, verdeelt kennelijk den schaduwkegel in twee symmetrische deelen. Zal er dus verduistering plaats hebben, dan moet de Maan, op het oogenblik van de oppositie of den tegenstand bij dit vlak zijn, of de knopenlijn der maanbaan moet een te grooten hoek met de as CAZ van den schaduwkegel maken. Want was het anders, was de knopenlijn, bij voorbeeld, loodrecht op CAZ geplaatst op het oogenblik dat de Maan omstreeks M in oppositie komt, zoo zou onze wachter, die dan ten minste 5 graden breedte heeft, buiten den schaduwkegel heen gaan, op een zeer gemakkelijk te bepalen afstand van de Ecliptica (†), die gelijk is aan ongeveer $5\frac{1}{2}$ maal den aardstraal, alzoo veel grooter dan de straal des schaduwkegels vermeerderd met den straal der Maan, welker som slechts ten naastenbij aan dien straal gelijk is.

Oorsprong van den naam Ecliptica. — Men begrijpt nu, waarom de verduisteringen niet iedere maand plaats hebben: hare mogelijkheid, immers, hangt af van de onderlinge standen der Zon en der knopenlijn op het oogenblik der oppositie. Men begrijpt nu ook, dat het de stand der Maan is gedurende de eclipsen, waarom men den naam van Ecliptica heeft gegeven aan het vlak, in welks nabijheid zich onze wachter moet bevinden, zal het verschijnsel plaats hebben, dat overigens ook slechts gedeeltelijk kan zijn.

377. **Schaduw en Bijschaduw.** — Wanneer de Maan verdwijnt, wordt haar licht niet plotseling uitgedoofd. Wegens den

$$(*) (AC = 216) : (MC = 216 - 60) = (aA = 1) : mM = \frac{216-60}{216} = \frac{156}{216}$$

$$\text{nagenoeg} = \text{aan } \frac{160}{220} = \frac{16}{22} = \frac{8}{11}$$

Algemeener genomen: als men de beide driehoeken CAm , CAz beschouwt, heeft men: Buitenhoek aan den 1ⁿ driehoek . . . ($a mA = \text{parallax van de } \odot = \omega_{\odot}$)

Buitenhoek aan den 2den driehoek . . . ($zAZ = \text{halve schijnbare diameter van de } \odot = d_{\odot}$) = $zCA + CAz = C + a zA = C + \text{parallax van de } \odot = C + \pi_{\odot}$

De uitdrijving van C geeft $\omega_{\odot} - d_{\odot} = mAM - \pi_{\odot}$, en gevolgelijk $mAM = \text{halven schijnbaren diameter des schaduwkegels in de streek der Maan,} = \omega_{\odot} + \pi_{\odot} - d_{\odot}$.

(†) De afstand tot de as des schaduwkegels of tot de Ecliptica zou dan zijn $60 \cdot \text{tang } (5^{\circ}8'48'') = 5,4047$; veel grooter dan $(\frac{8}{11} + \frac{3}{11})$.

diameter der Zon toch is de geometrische schaduwkegel aCa' omgeven door een bij-schaduwkegel, bepaald door de binnen-tangenten ($za'a_1, z'aa_1$) aan de Zon en aan de Aarde, welken kegel de Maan moet doortrekken eer zij in de geometrische schaduw komt, en in welks binnenste zij al minder en minder talrijke stralen ontvangt, naargelang zij van de grens aa_1 , alwaar zij nog door de gansche Zon kan beschenen worden, nadert tot de grens aC , waar de stralen der Zon haar niet meer bereiken. De lichtverzwakking zal dus van lieverlede plaats hebben, en als de Maan in den schaduwkegel treedt, zal hare uitdooving bijna volledig zijn; waardoor het vrij moeielijk wordt, het oogenblik van 't begin der verduistering, en gevolgelijk ook dat van 't einde, waar weder symmetrisch dezelfde verschijnselen als bij den aanvang optreden, nauwkeurig waar te nemen. Overigens verdient het nauwelijks aangemerkt te worden, dat de breedte mm_1 van den bij-schaduwkegel in de streek der Maan gemakkelijk bepaald wordt door dezelfde berekening als wij voor de volstrekte schaduw bezigden (*).

378. **Physische verschijnselen. — Invloed van den dampkring der Aarde.** — Het verduisterd gedeelte der Maan vertoont vaak een roodachtige tint, een zwak koperkleurig licht, dat ons, evenals het aschgrauwe licht, onze bijplaneet nog doet bespeuren op het oogenblik wanneer hare verduistering volledig moest zijn. Dit zonderling verschijnsel wordt te weeg gebracht door den dampkring der Aarde, die de stralen $za, z'a'$ (fig. 175)

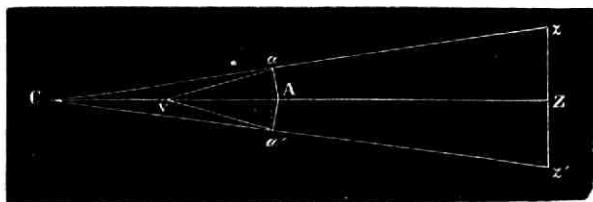


Fig. 175.

buigt en ze doet convergeeren in een punt V, veel dichter bij de Aarde dan de geometrische top C van den schaduwkegel.

Wij weten toch, dat de stralen $za, z'a'$, die horizontaal tot de waarnemers op den in aa' geprojecteerden omtrek komen, reeds

(*) De driehoeken zos', mam_1 van fig. 174 geven ongeveer ($za = 24000$): ($am = 60$) = $zz' = 2 + zZ = 224$): $mm_1 = \frac{224 \times 60}{24000} = 0,56$, of, in eene gewone breuk met den reeds gebezigden noemer, ten naastenbij $\frac{6}{11}$, juist de diameter der Maan, de aardstraal steeds tot eenheid genomen zijnde. — Nauwkeuriger: de breedte mm_1 van den bij-schaduwkegel onderspant eenen hoek mam_1 gelijk aan zas' , dat is aan den schijnbaren diameter der Zon, die te nuwernood van dien der Maan verschilt.

eene buiging van ongeveer $33' 30''$ ondergaan hebben; 't is dus, alleen op gronden van symmetrie, reeds duidelijk, dat zij, door zich van a naar V te verwijderen, eene identische buiging zullen ondergaan. Hieruit kan men opmaken, dat de lijnen aV , $a'V$ ieder, respectievelijk, met de lijnen za , $z'a$ hoeken maken van $67'$ (tweemaal $33' 30''$); zoodat men dan gemakkelijk (*) de plaats van het punt V kan bepalen, van welk punt af naar C toe de schaduwkegel licht ontvangt, dat in den dampkring der Aarde is gebroken. Na gedane berekening vindt men voor AV ruim 41 maal den straal der Aarde, dat is eene veel kleinere lengte dan de gemiddelde afstand (60maal dien straal), die ons van de Maan scheidt.

379. Roodachtige tint der Maan gedurende de Eclipsen. — De voorgaande verklaring is dus volkomen rationeel. Alleen mag men vragen, waarom het op de Maan geworpen licht een roodachtige tint heeft. Ik antwoord, dat dit schijnt af te hangen van eene eigenschap der dampkringslucht, waardoor zij de minst breekbare stralen van het witte licht, dus het rood en de daaraan verwante, beter doorlaat; terwijl zij daarentegen de breekbaarder stralen, die het violet of het blauw nabijkomen, opslorpt, of liever, door de onregelmatige terugkaatsing, die stralen in alle richtingen verspreidt, waaraan de lucht — om dit in 't voorbijgaan te zeggen — hare gewone helderblauwe kleur ontleent. Men moet hierbij tevens in 't oog houden, dat het verschijnsel (naar men zegt) niet altijd plaats heeft, en dat het meermalen gebeurd is dat de verduisterde Maan geheel en al onzichtbaar is geworden, ongetwijfeld wegens den bewolkten toestand des dampkrings boven den verlichten omtrek des Aardbols, in welk geval toch de binnen het wolkgewest onderschepte stralen buiten machte worden om een weinig licht in de dikke duisternis der geometrische schaduw af te zenden.

380. Verschil tusschen den berekenden en den waargenomen duur der Eclipsen. — Men bevindt over 't algemeen een verschil tusschen den berekenden en den waargenomen duur der Maansverduisteringen. De fout, steeds in denzelfden zin, bewijst dat de aan den schaduwkegel toegekende breedte ongeveer een zestigste te klein is; want al de Maaneclipsen beginnen iets vroeger en eindigen iets later, duren in één woord langer dan zij moesten doen.

(*) De hoek aCA (fig. 175), gegeven door $\tan aCA = \frac{aA}{CA} = \frac{1}{216}$, geldt ongeveer 16 minuten. Daar av met een hoek van 67 minuten op aC helt, zal de buitenhoek aVA van den driehoek aVC de waarde hebben van $16' + 67'$ of $1^{\circ} 23'$, en de afstand AV , aangegeven door de genoegzaam nauwkeurige vergelijking $AV = \frac{aA}{\tan aVA}$, bedraagt 41,41maal den aardstraal.

't Is hoogst waarschijnlijk weder onze dampkring, die de afwijking te weeg brengt, en wel door 't geheel en al uitdooven der stralen, die zoodanig gericht zijn, dat zij over een groote uitgestrektheid ab (fig. 176) door de luchtlagen, in aanraking met de aardoppervlakte, heen gaan; hetgeen inderdaad gelijk staat met eene toeneming des diameters der vaste aardkorst.

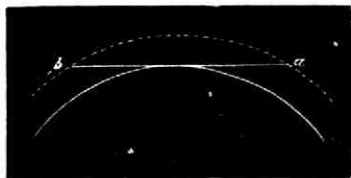


Fig. 176.

381. **Gelijktijdige aanwezigheid der Zon en der Maan boven zekere horizons, gedurende de Eclipsen, veroorzaakt door de werking des dampkrings.** — Een ander nog veel vreemder verschijnsel wordt somwijlen in 't aanzijn geroepen door het ons omgevende gasvormige hulsel. Ik bedoel de gelijktijdige aanwezigheid van de Zon en de verduisterde Maan boven den horizon van zekere waarnemers, wanneer de stand der beide Hemelbollen intusschen zoodanig is, dat zij geheel en al beneden den horizon moesten zijn. Nogtans heeft dit verschijnsel niets dat onze verbazing wekt, wanneer wij ons herinneren, dat de horizontale straalbreking elk der beide hemellichamen 33 minuten kan verheffen, bedragende alzoo die verheffing eenen hoek grooter dan hunne gansche diameters. De as des schaduwkegels wordt niet verplaatst: de verduistering moet bij gevolg plaats hebben. Doch de lichtstralen, die ons de beide bollen te zien geven, hebben afwijkingen ondergaan, waarvan de uitwerking zich juist door eene schijnbare onregelmatigheid openbaart.

382. **Waarom zijn voor elke plaats de Maaneclipsen menigvuldiger dan de Zoneclipsen, ofschoon werkelijk, over de geheele Aarde genomen, de laatste talrijker zijn dan de eerste?** — De Maansverduisteringen zijn natuurlijk zichtbaar op alle plaatsen des Aardbols, voor welke de Maan, als het verschijnsel plaats heeft, boven den horizon staat, want ze zijn 't gevolg eener werkelijke uitdooving van licht, die iedereen gemakkelijk kan waarnemen. Anders is 't gelegen met de Zonsverduisteringen, waarmede wij weldra ons zullen bezig houden, en die niet ontstaan uit eene werkelijke vernietiging van licht, maar uit het treden der Maan tusschen de schitterende Zonneschijf en ons. Want uit hoofde van de groote afmetingen der Aarde zal de Maan zich op die schijf kunnen projecteeren voor zekere landen en voor andere niet, ofschoon de Zon zoowel voor deze als voor gene boven den horizon is.

Wien blijkt het daaruit niet, dat de Maansverduisteringen voor

iedere plaats zich meermalen moeten voordoen dan de Zonsverduisteringen? Dat is dan ook werkelijk het geval. En toch, in

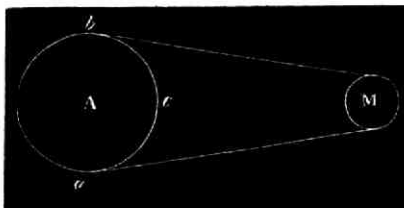


Fig. 177.

haar geheel genomen zijn de eerste niet zoo talrijk als de laatste, om eene reden, die wij al spoedig zullen leeren kennen. Maar — nog eens — de aardgordels, die de verduisteringen van onzen wachter kunnen gadeslaan, zijn van veel grooter uitgestrektheid, daar zij kennelijk een geheel halfrond bevatten, dat is het gedeelte *acb* (fig. 177) des aardbols, voor hetwelk de Maan op is, zijnde *ab* de basis des kegels, die gelijktijdig de Aarde en de Maan zou omwikkelen; terwijl daarentegen een eenvoudige afstand van eenige kilometers tusschen twee landen veroorzaken kan, dat eene Zonsverduistering, die voor het eene plaats heeft, in het andere geheel niet gezien wordt.

383. **Indrukken te weeg gebracht door de Maaneclipsen.** — Men had reeds in den vroegsten tijd opgemerkt, dat de schaduw zich boogvormig afteekent op het maanvlak, en de oude wijsgeeren hadden daaruit besloten tot de rondheid der Aarde, aan welke zij het verschijnsel toeschreven. Maar voor den volkshoop, en vaak zelfs voor schrandere koppen, verlieden er nog veel eeuwen alvorens deze begrippen werden aangenomen, of althans eer men de bedekking van een Hemellicht niet voor een verschijnsel van bovennatuurlijken invloed hield. Zou men 't bij voorbeeld kunnen gelooven, dat Baco, de beroemde Engelsche kanselier, zoodanigen indruk van de Maaneclipsen had, dat hij zoolang ze duurden in bezwijming lag? En toch schijnt dit, volgens verschillende geschiedschrijvers, een feit te wezen. Zoo weet men ook, dat Alexander van Macedonië, eer hij den veldslag van Arbela begon, offeranden aan Zon, Aarde en Maan gebood te brengen, ten einde daarmede zijn leger gerust te stellen, dat bij den aanblik eener Maansverduistering zijn gewone onversaagdheid had verloren. Ik noem u nog den Atheenschen veldheer Nicias, die onder den indruk van een dergelijk luchtverschijnsel, in Sicilië, een kostbaren tijd liet verloren gaan, hetgeen den ondergang van zijn leger, zijne eigen gevangenschap en vervolgens zijne terdoodbrenging door de Syracusanen ten gevolge had.

Nog noem ik u hier, maar uit een geheel ander oogpunt, den man, die meesterlijk partij wist te trekken van eene Maansver-

duistering tegenover de nog woeste volken van Jamaica, den doorluchtigen zeevaarder, die het eerst den weg naar de Nieuwe Wereld heeft ontsloten. Gebrek aan levensmiddelen hebbende, liet Christophorus Columbus den opperhoofden des lands aanzeggen, dat hij de inwoners met de zwaarste rampen zou trefpen, en beginnen zou met de Maan van haar licht te berooven, indien men voortging hem den benoodigden mondvoorraad te onthouden. Men lachte eerst met deze bedreigingen; maar toen men werkelijk de Maan zag verduisteren, haastte men zich den Europeanen al wat zij konden wenschen aan te voeren.

In China en in zekere gedeelten van Indië heeft het volk langen tijd geloofd, en gelooft misschien nog heden, dat een hemeldraak den verduisterenden bol met zijne klauwen aangrijpt en verslindt. En er gaat dan een groot geschreeuw op, onder 't geraas van trommels, tamtams, enz., ten einde daarmede het monster te verjagen. Anderen, die zich overtuigd houden dat de vorstin van den nacht hevig vertoornd is, knielen uit vroomheid neder of storten zich in de stroomen, om zóó hare gramschap te stillen en ze tot hervatting van haar vroegeren glans te bewegen, enz., enz.

384. **Toepassingen van de Maaneclipsen.** — Dan, reeds te lang verwijld bij bijzonderheden, die enkel van onze zwakheden getuigen. Tegenover het bespottelijk bijgeloof, door de Eclipsen uitgelokt, kan ik de edelste vergoeding stellen, en u ten slotte zeggen, dat de mensch, door nadenken zoowel als door studie gerijpt, nuttige toepassingen heeft weten te vinden van diezelfde verschijnsels, welke hem zoo vaak met schrik vervuld hadden. Veeltijds toch mochten de verduisteringen, door bekwame waarnemers aangewend, het hare toebrengen tot de vorderingen der Aardrijkskunde; want zij geven de uren aan, en gevolgelijk ook de *betrekkelijke lengten* der verschillende landen, alwaar men (in tijd van die verschillende landen) de oogenblikken der phasen, het begin, het einde der Eclipsen, de achtereenvolgende doorgangen van sommige vlekken in de schaduw, enz., dat is de overal terzelfder tijd plaatshebbende verschijnsels, met zorgvuldigheid waarneemt. En om u eindelijk, eer wij tot de beschouwing der Zonsverduisteringen overgaan, nog een wetenswaardig resultaat der Maaneclipsen mede te deelen, voeg ik hierbij, dat de verduistering, die slechts weinige uren vóór den dood van Herodes plaats had, volgens de berekeningen van Lalande, moet voorgevallen zijn in den nacht van den 12den op den 13den Maart van het 4de jaar vóór onze jaartelling. Hieruit volgt, dat, zal de christen-tijdrekening een aanvang nemen met de geboorte des Leeraars van Nazareth, zij ten minste drie jaren moet teruggezet worden, daar Herodes nog leefde, toen Jezus werd geboren.

N O O T

OVER DE BEREKENING DER MAANSVERDUISTERINGEN.

385. **De periode van 18 jaren en 11 dagen geeft in 't algemeen de ecliptische syzygiën aan.** — De periode van 18 jaren en 11 dagen (§ 337) welke de syzygiën of nieuwe en volle Manen weder nagenoeg in dezelfde standen met betrekking tot de Zon en de knoopen terugbrengt, vergunt ons in 't algemeen te weten wanneer er eene Maansverduistering moet plaats hebben. Waar die periode te kort schiet, zullen de astronomische tafels, die den afstand der Maan tot den knoop opgeven, voorloopige aanwijzingen verschaffen, die doorgaans toereikend zijn om te voorkomen, dat de Sterrenkundige een nuttelooze berekening onderneemt. Volgens Delambre toch kan men met zekerheid op eene Eclips rekenen, wanneer de hoekafstand van de Maan tot den knoop minder dan $7^{\circ}47'$ bedraagt op het oogenblik der oppositie in lengte, dat wil zeggen op het oogenblik wanneer de lengten van Zon en Maan 180 graden verschillen. — De Eclips is daarentegen onmogelijk, wanneer op hetzelfde tijdstip de gezegde afstand $13^{\circ}21'$ belooft. Tusschen die beide grenzen bestaat er twijfel, hetzij wegens de schommelingen van het vlak der maanbaan, hetzij wegens de veranderlijke afstanden van de Zon en de Maan, die de breedte des schaduwkegels wijzigen en de ecliptische voorwaarden veranderen naar de onderlinge standen der hemellichamen met betrekking tot hunne perigæums of apogæums tijdens de volle Maan. Men zal dus alleen in 't laatste geval tot voorafgaande proefberekeningen genoodzaakt zijn.

386. — Herinneren we ons nu, dat de breedte des schaduwkegels in de streek

der Maan, voorgesteld in eene functie der horizontale parallaxen τ_{\odot} , $\omega_{\text{☾}}$ van de Zon en de Maan, en des diameters d_{\odot} van de Zon, tot uitdrukking heeft (noot van § 375):

$$\omega_{\text{☾}} + \tau_{\odot} - d_{\odot}.$$

Neemt (fig. 178) eenen straal ZA gelijk aan deze grootheid, welke in minuten en seconden door de astronomische tafels wordt aangegeven, en beschrijft den cirkel

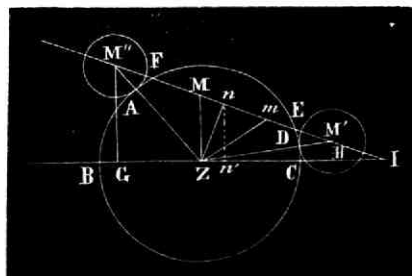


Fig. 178.

ABCDEF. Gij hebt dan, uit de Aarde gezien, de snede van den schaduwkegel in de streek der Maan door een vlak, loodrecht op de as.

Beloop van de betrekkelijke maanbaan op de in den schaduwkegel gemaakte snede. — Zij IG het beloop der Ecliptica op deze snede, en ZM de breedte λ der Maan op het oogenblik der oppositie in lengte. Drukt, voor hetzelfde oogenblik, door $d_{\text{☾}}$ en d_{\odot} de *uurbewegingen* in lengte van de

Maan en de Zon uit (in de Astronomische tafels aangegeven en ongeveer gelijk voor de Maan aan 32',3, voor de Zon aan 2',5). Drukt ook door $d\lambda$ de uurbeweging der Maan in breedte uit, zijnde deze soort van beweging nul voor de Zon, die de Ecliptica niet verlaat. Merkt bovendien op, dat de schaduwkegel in de ruimte rondom het middelpunt der Aarde loopt met eene hoeksnelheid, gelijk aan die van $d\odot$ der Zon; waaruit volgt, dat, met betrekking tot de schaduw, de *schijnbare* hoekbeweging der Maan in lengte, of de hoek, waarmede dit lichaam in een uur het zich verwijderend punt Z nadert, niet $d\zeta$ maar $d\zeta - d\odot$ zal zijn.

Gij verkrijgt dan klaarblijkelijk voor de schijnbare helling op IG van den boog IM'MM', die genoegzaam rechthoekig beschreven wordt door de Maan gedurende de Eclips, of, zooals men gewoonlijk zegt, voor de helling I van de *betrekkelijke loopbaan*,

$$\text{tang I} = \frac{d\lambda}{d\zeta - d\odot},$$

zijnde de tangens der *ware* declinatie $\frac{d\lambda}{d\zeta}$; want zoo gij de Zon onbeweeglijk onderstelt, moet gij, om de schijnbare loopbaan te bekomen, aan de betrekkelijke beweging der Maan ten opzichte van het middelpunt des schaduwkegels, slechts het verschil $d\zeta - d\odot$ van de beide bewegingen toekennen. Gij kunt overigens, tot grooter nauwkeurigheid, zoo gij de ongelijkheden van beweging in rekening wilt brengen, den duur der Eclips in deelen splitsen, door berekening der achtereenvolgende waarden van tang I met die van $d\lambda$, $d\zeta$, $d\odot$, welke aan verschillende momenten van 't verschijnsel beantwoorden.

Vergeet daarbij niet, dat de grootheden $d\lambda$, $d\zeta$ en $d\odot$, als betrekking hebbende tot het middelpunt der Aarde, onafhankelijk zijn van de parallax. En wat de straalbreking betreft, zij kan wel de Maan verheffen, maar zij zal dit ook den schaduwkegel doen, of liever, zij zal alleen de verduisterde Maan verheffen. De uren zelve van de achtereenvolgende fasen zullen dus op geenerlei wijze door onzen dampkring gewijzigd worden.

387. — Om thans de verschillende bijzonderheden van 't verschijnsel te bepalen, onderstellen we dat het tijdstip T der syzygie door de Astronomische tafels op een half uur of zelfs op een uur na bekend is. Berekenet voor dat tijdstip T met behulp der tafels de nauwkeurige lengte \odot der Zon, haren halven diameter, hare parallax en hare uurbeweging in lengte. Berekenet insgelijks de lengte ζ , de breedte λ , de parallax, den halven diameter $d\zeta$, en de uurbewegingen der Maan, hetzij in lengte, hetzij in breedte: gij zult terstond hebben, zooals wij reeds opmerkten,

$$\text{tang I} = \frac{d\lambda}{d\zeta - d\odot},$$

zijnde $d\lambda$ positief of negatief naargelang de breedte λ vermeerderd of vermindert.

Berekening van het oogenblik der oppositie. — Gij bekomt ook $180^\circ + \odot$ voor de lengte van het centrum Z der schaduw, die altijd klaarblijkelijk gelijk is aan 180° graden van de Zon; en bijgevolg zal $(180^\circ + \odot - \zeta)$ den afstand in lengte van 't middelpunt der Maan tot aan 't middelpunt der schaduw uitdrukken. Het zal u dan gemakkelijk vallen den tijd t te bepalen, die er verlopen moet tusschen het tijdstip T, waaraan het voorgaande verschil van lengte

beantwoordt, en het juiste oogenlik der oppositie. Want daar de Maan, in hare betrekkelijke beweging, van het eene tot het andere dezer beide oogenblikken, den hoek $(180^\circ + \odot - \zeta)$ op het middelpunt der schaduw en lengte winnen moet, terwijl zij in een uur slechts $(d\zeta - d\odot)$ wint, zal de genoegzaam nauwkeurige evenredigheid der hoeken met den tijd u opleveren:

$$(d\zeta - d\odot) : (180 + \odot - \zeta) = (1 \text{ u.} = 3600 \text{ s.}) : t \cdot 3600 \cdot \frac{(180^\circ + \odot - \zeta)}{(d\zeta - d\odot)},$$

waaruit gij het uur der oppositie $\left[T + 3600 \frac{(180 + \odot - \zeta)}{(d\zeta - d\odot)} \right]$ zult afleiden.

388. — Dit uur gevonden zijnde, hebt gij de variatie $\left(\frac{td\lambda}{3600 \text{ s.}} \right)$ van breedte der Maan tusschen de tijdstippen T en $(T+t)$; gevolgelijk ook de breedte $\left(\lambda + \frac{td\lambda}{3600 \text{ s.}} = ZM \right)$

bij de oppositie; bijgevolg almede de loodlijn $\left[Zm = ZM \cos I = \left(\lambda + \frac{td\lambda}{3600 \text{ s.}} \right) \cos I \right]$ op de betrekkelijke loopbaan, of den kortsten afstand der middelpunten. Nog zult gij hebben, met den straal $ZM' = ZM'' = \omega_{\zeta} + \pi_{\odot} - d_{\odot} + \delta_{\zeta}$, de punten M' , M'' van de betrekkelijke loopbaan, welker afstand tot den schaduwomtrek (met een straal gelijk aan $\omega_{\zeta} + \pi_{\odot} - d_{\odot}$) gelijk zal zijn aan δ_{ζ} , en op welke punten gevolgelijk het middelpunt der Maan zich moet bevinden, zal de schijf van dit lichaam tangens aan de schaduw zijn, dat wil zeggen, zal de Eclips beginnen of eindigen.

Berekening der phasen. — Duur der Eclips. — Het punt m komt kennelijk met het midden der Eclips overeen; de tijd, door de Maan besteed om nM' of nM'' te doorloopen is de halve duur, en de projectiën Hn' , $n'G$ van nM' of van nM'' op de Ecliptica drukken de variatie van betrekkelijke lengte gedurende denzelfden tijd uit. Om de bepaling der phasen te voltooien, zult gij dan eerst berekenen

$$nM' = nM'' \sqrt{\frac{-2}{M'Z - Zn}} \\ = \sqrt{(\omega_{\zeta} + \pi_{\odot} - d_{\odot} + \delta_{\zeta})^2 - \left(\lambda + \frac{td\lambda}{3600 \text{ s.}} \right)^2 \cos^2 I}.$$

Het product $nM' \cos I$ zal u vervolgens de waarde der projectie Hn' geven; en de evenredigheid $(d\zeta - d\odot) : Hn' = 3600 : T'$ zal u den halven duur T' der Eclips doen kennen. Wat het uur van 't midden aangaat, gij zult het vinden door af te trekken van het uur $T + t$ den tijd $t' = \frac{nM \cos I \cdot 3600}{d\zeta - d\odot}$, besteed door de Maan tot

het doorloopen van $nM = ZM \sin I = \left(\lambda + \frac{td\lambda}{3600 \text{ s.}} \right) \sin I$; want deze tijd wordt, gelijk die van nM' , verkregen door nM op $n'Z$ te projecteeren, dat is door nM te vermenigvuldigen met $\cos I$.

Gij zult dus ten slotte hebben:

$$\begin{aligned} \text{Uur van 't begin der Eclips} &= T + t + t' - T'. \\ \text{„ „ „ midden „ „} &= T + t + t'; \\ \text{„ „ „ einde „ „} &= T + t + t' + T'. \end{aligned}$$

389. — Naarmate de Maan van M' naar n voortgaat, vermindert haar afstand tot het middelpunt Z der schaduw. Het verduisterde gedeelte zal klaarblijkelijk ($M'Z - mZ$) wezen, eene grootheid wier maximum beantwoordt aan de minima waarde Zn van mZ of aan

$$M'Z - Zn = (\omega_{\odot} + \pi_{\odot} - d_{\odot} + \delta_{\odot}) - \left(\lambda + \frac{td\lambda}{3600\text{ s.}}\right) \cos I.$$

Maar de Eclips zal totaal kunnen zijn lang voor en na deze grens. De Maan zal, bij voorbeeld, geheel in de schaduw gedompeld zijn, zoodra ($M'Z - mZ$) gelijk zal zijn aan den diameter $2\delta_{\odot}$ der Maan; hetgeen geeft, voor het begin der totale Eclips,

$$\begin{aligned} mZ = MZ - 2\delta_{\odot} &= (\omega_{\odot} + \pi_{\odot} - d_{\odot} + \delta_{\odot}) - 2\delta_{\odot} \\ &= (\omega_{\odot} + \pi_{\odot}) - (d_{\odot} + \delta_{\odot}), \end{aligned}$$

eene waarde, die men natuurlijk ook voor het einde der Eclips zal vinden. Teekent nu (fig. 179) uit het punt Z , projectie van 't middelpunt der Zon op den schaduwkegel, met den straal $[(\omega_{\odot} + \pi_{\odot}) - (d_{\odot} + \delta_{\odot})]$, de beide punten m' , m'' op de betrekkelijke loopbaan aan, en beschrijft uit deze punten, met δ_{\odot} tot straal, de beide omtrekken, die *inwendig* tangenten aan den schaduwkegel zullen wezen; gij zult dan hebben:

$$\begin{aligned} nm' = nm'' &= \sqrt{Zm'^2 - nZ^2} \\ &= \sqrt{[(\omega_{\odot} + \pi_{\odot}) - (d_{\odot} + \delta_{\odot})]^2 - \left(\lambda + \frac{td\lambda}{3600\text{ s.}}\right)^2 \cos^2 I}; \end{aligned}$$

en de halve duur der totale Verduistering zal zijn $\left(\frac{nm' \cos I \cdot 3600}{d_{\odot} - d_{\odot}}\right)$, naar wel-

ker berekening men den straal der schaduw vergroot in de verhouding van 60 : 61, ter wille van onzen aardschen dampkring, die de langs den grond gaande lichtstralen onderschept, evenals zulks eene vermeerdering van $\frac{1}{60}$ op de lengte van den aardstraal zou doen.

Men geeft gemeenlijk het maximum der Eclips in duimen aan, door de verhouding

$$\text{maxim. der Eclips} : x \text{ duim} = 2\delta_{\odot} : 12 \text{ duim};$$

$$\text{waaruit} \quad x = \frac{\text{maxim. der Eclips}}{12} 2\delta_{\odot}.$$

390. **Geval der totale Eclips. — Voorwaarden van het verschijnsel.** — Onderstelt de breedte der Maan nul te zijn op het oogenblik der oppositie. Het maximum der Eclips ($M'Z - Zn$) (fig 178) zal dan zijn $(\omega_{\odot} + \pi_{\odot} - d_{\odot} + \delta_{\odot})$; en daar d_{\odot} en δ_{\odot} nagenoeg gelijk zijn, zoo wordt deze waarde herleid tot $(\omega_{\odot} + \pi_{\odot})$, eene grootheid van omtrent 60 minuten, gevolgelijk veel grooter dan $2\delta_{\odot}$, die niet veel boven 32 minuten gaat. De Eclips zal dus alsdan totaal zijn.

391. — Zal de totale Verduistering slechts een oogenblik duren, zoo moet men hebben $ZM' - Zn = 2\delta_{\odot}$; de vergelijking van het maximum der Eclips zal dus zijn:

$$(\omega_{\odot} + \pi_{\odot} - d_{\odot} + \delta_{\odot}) - \left(\lambda + \frac{td\lambda}{3600}\right) \cos I = 2\delta_{\odot}.$$

Hieruit kunt gij de breedte $\left(\lambda + \frac{td\lambda}{3600}\right)$ der Maan vinden op het oogenblik der oppo-

sitie = $\frac{(\omega_{\odot} + \pi_{\odot}) - (d_{\odot} + \delta_{\odot})}{\cos I}$, eene grootheid, die ten minste $\frac{53' - 31'}{\cos I} = \frac{22'}{\cos I}$, doet, alzoo grooter dan 22 minuten, omdat $\cos I$ eene breuk is. Derhalve, als de breedte der Maan op het oogenblik der oppositie beneden $\frac{22'}{\cos I}$ is, en dus zooveel te meer als zij beneden 22' is, zal de Eclips gedurende een zekeren tijd totaal zijn.

392. Proeven van bepaling der maanparallax door de Eclipsen.

— Wanneer men het maximum E der Eclips gemeten heeft:

$(MZ - Zn)$ (fig. 179) = $(\omega_{\odot} + \pi_{\odot} - d_{\odot} + \delta_{\odot}) - \left(\lambda + \frac{td\lambda}{3600}\right) \cos I$, kan men ω_{\odot} bepalen in eene functie van π_{\odot} , d_{\odot} , δ_{\odot} , E. Maar deze berekenwijze is den Ouden niet gelukt, wegens de fout, veroorzaakt door den bij-schaduwkegel, welks breedte is = $2d_{\odot}$, en omtrent welke gij lichtelijk dezelfde berekeningen zult maken, als wij zoo even ten opzichte van de schaduw gedaan hebben.

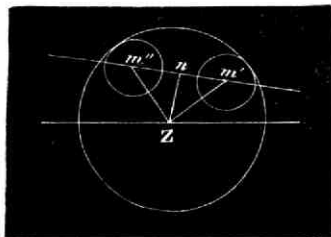


Fig. 179.

als het uur van 't midden der Eclips, berekend in tijd van Amsterdam, bedraagt: gij zult dan de gezochte plaats in 't zenith hebben, en het bovenste half-rond zal het midden der Eclips zien.

Kaart der Eclips op de oppervlakte der Aarde. — Wendt de globe gelijk zij wezen zal op de oogenblikken van het begin en het einde, met de declinatie der Maan, gevolgelyk met de hoogten der pool, die aan deze oogenblikken zullen beantwoorden, en teekent op de globe met een potlood het beloop des horizons. het gedeelte, dat aan de dus bepaalde drie half-ronden gemeen is, zal de Eclips geheel zien; de beide zijstrooken zullen er slechts een gedeelte van te zien krijgen, omdat de Maan voor eene der strooken verduisterd op-, voor de andere verduisterd ondergaan zal. Strikt genomen nogtans zou er iets afgetrokken moeten worden voor den invloed der *parallax* min de *refractie*. Daar de *parallax* der Maan meer verlaagt dan de *straalbreking* haar verheft, zoo zouden de half-ronden werkelijk met het gezegde verschil verminderd moeten worden. Maar 't i nutteloos ons daarbij op te houden.



VIJFTIENDE LES.

Zonsverduisteringen.

De fasen der Zoneclipsen zijn veel scherper begrensd dan die der Maaneclipsen. — De Zoneclipsen zijn, over 't geheel der Aarde genomen, talrijker dan de Maaneclipsen. — Voorspelling der Eclipsen door de Ouden, met behulp der Chaldeeſche periode van 18 jaren en 11 dagen, *saros* geheeten. — Ontoereikendheid dezer periode. — Totale Verduisteringen. — Lichtkroon. — De polarisatie van haar licht wijst op eenen dampkring der Zon. — Het physisch voorkomen der lichtkroon schijnt de gevolgtrekkingen, die de polarisatie oplevert, te bevestigen. — Rozeroode vlammen of wolken. — Waarschijnlijke hoogte des dampkrings, die de Zon omgeeft. — Grootte der zonnevlammen of zonne-wolken. — Metalen tot de Zon behoorende. — Schitterend punt van Ulloa. — Bliksemstralen op het maanvlak gedurende de totale verduistering. — Afkoeling bij de Zoneclipsen. — Indrukken, die de Zoneclipsen te weeg brengen. — *Noot over het berekenen der Zoneclipsen.* — Ecliptische samenstanden of conjunctiën. — Betrekkelijke loopbaan der Maan in den lichtkegel. — Fasen der algemeene Eclips. — Pant der Aarde, dat de eerste aanraking der Zon en Maan ziet ten gevolge van de horizontale parallax. — Plaatsen, die achtereenvolgens de Eclips zien aanvangen ten gevolge van de hoogteparallaxen. — Ligging der plaatsen, die de centrale Eclips zullen zien. — Werking der schuinsche parallaxen. — Sterbedekkingen. — Gang der schaduw over de oppervlakte der Aarde. — Fasen op eene geveene plaats. — Methode der projectiën.

394. **De fasen der Zoneclipsen zijn veel scherper begrensd dan die der Maaneclipsen.** — De Zoneclipsen hebben plaats tijdens de nieuwe manen, de conjunctiën of tegenstanden, alzoo bij omgekeerde standen van die, waarbij de Maaneclipsen voorvallen. Deze laatste — wij hebben 't reeds aangemerkt — laten altijd iets onbepaalds, onzekers over, omdat noch de schaduwkegel noch de bij-schaduwkegel scherp begrensd zijn. Wanneer daarentegen eene Zonsverduistering optreedt, verdwijnt het onderschepte gedeelte der lichtvlakte geheel en al; en ingeval de waarnemer gewapend is met eenen kijker, die genoegzaam vergroot om de omtrekken gade te slaan, en hij tevens met voldoende bedrevenheid is toegerust, kan hij het tijdstip van elke phase of lichtafwisseling met bijna volkomen nauwkeurigheid waarnemen.

395. **De Zoneclipsen zijn, over 't geheel der Aarde genomen, talrijker dan de Maaneclipsen.** — Ik heb gezegd, dat de Verduisteringen der Zon, ofschoon zij voor eene bepaalde plaats der Aarde niet zoo dikwijls voorvallen als die der Maan, nochtans over 't geheel genomen talrijker zijn. Men telt toch niet

zelden vier Zons- en slechts twee Maansverduisteringen in een jaar. Somwijlen echter heeft men vier Zons- en drie Maansverduisteringen; maar ook nu en dan worden er geen Maan-eclipsen gezien, terwijl er nog twee Zoneclipsen zijn waar te nemen.

Gemiddeld genomen zijn er op 70 Eclipsen 41 Zons- en 29 Maansecclipsen. Wilt gij weten waaruit dit verschil geboren wordt? Vergelijkt de breedte MM' (fig. 180) van den lichtkegel,

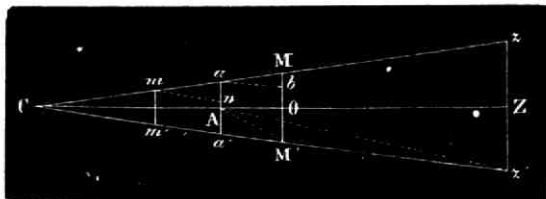


Fig. 180.

waarin de Maan moet treden om eene Zonsverduistering voort te brengen met de breedte mm' van den schaduwkegel, die de Maanecclipsen veroorzaakt, en gij zult lichtelijk bevinden, na het trekken der lijnen ab , mn , parallel aan Cz' , dat MM' bijna het dubbel, $\frac{14}{8}$, van mm' is (*). Het is derhalve niet te verwonderen, dat de Maan in den lichtkegel komt, en na een tijdsverloop van 14 a 15 dagen, dus onder nagenoeg dezelfde voorwaarden van afstand tot de Ecliptica, den schaduwkegel zelfs niet kan raken; met andere woorden: 't is zeer natuurlijk, dat het getal der Maansverduisteringen veel kleiner dan dat der Zonsverduisteringen is (†).

(*) Men heeft $mm' = \frac{8}{11} aa'$ ten naastenbij (§ 375), zoodat $an = Mb = aa' - mm' = \frac{3}{11} aa'$ is. Bijgevolg is $MM' = aa' + Mb = aa' + \frac{3}{11} aa' = \frac{14}{11} aa'$. De verhouding van MM' tot mm' is dus die van 14 : 8. Om overigens MM' op een meer algemeene wijze te bekomen, zoo verbindt AM' en As' ; de driehoek CAM' zal u geven

$$(C + M' = C + \omega_{\odot}) = OAM';$$

de driehoek CAz' geeft ook

$$(C + z' = C + \pi_{\odot}) = ZAz' = d_{\odot};$$

waaruit gij, door C te verdrijven, bekomt

$$\omega_{\odot} - \pi_{\odot} = OAM' - d_{\odot},$$

en gevolglijk,

$$\text{halve hoekbreedte } OAM' \text{ des lichtkegels} = \omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot}.$$

(†) Door de voorgaande beschouwingen komt men ook zeer gemakkelijk tot de gemiddelde waarde van den langsten duur, dien de Eclipsen, hetzij van de Zon of van de Maan, kunnen hebben; want door te nemen

$$mm' = \frac{8}{11} aa', \quad MM' = \frac{14}{11} aa',$$

396. **Voorspelling der Eclipsen door de Ouden met behulp der Chaldeeſche periode van 18 jaren en 11 dagen, Saros geheeten.** — Wij bezitten eene lijst van Eclipsen (in *l'Art de vérifier les dates*), door Pingré voor 3000 jaren vooruit berekend. Dat is, gelijk men ziet, een ruime greep in de toekomst gedaan! De Ouden konden zulk een hooge vlucht niet nemen, want zij bezaten in geenen deele astronomiſche tafels, waarmede zij met zekerheid de ſtanden der hemellichamen op eenigszins verwijderde tijdstippen konden bepalen. En toch hadden zij het middel ontdekt om veel jaren vooruit de Verduisteringen te voorzeggen, en wel door zich te bedienen van de periode van 18 jaren en 11 dagen, bevattende eensdeels 223 maansomwentelingen, anderdeels 19 achtereenvolgende terugkomsten der Zon in denzelfden ſtand met betrekking tot de knopen der Maan.

Deze knopen toch worden, uit hoofde van hunne *achterwaartsche* beweging op de Ecliptica, door de *rechtstreeks* loopende Zon meermalen ontmoet, dan plaats zou hebben indien zij onbeweeglijk bleven; want in dit laatste geval zou er tusschen twee achtereenvolgende ontmoetingen een vol ſterrejaar verlopen, terwijl er nu werkelijk niet meer verloopt dan 346,619 dag, dat is een dagental, welks vermenigvuldiging met 19 tot product geeft 6585,761 dag of 18 jaren 11,40 dag; een tijdduur, die bijna volkomen dezelfde is als die van 223 maansomlopen, namelijk 6585,3220 dag of 18 jaren 10,9624 dag. Na iedere der gezegde perioden — reeds opgemerkt door de Chaldeeën, die haar den naam *Saros* gegeven hadden — zullen Zon en Maan weer achtereenvolgens in identische omſtandigheden komen, behoudens de ongelijkheden van beweging, waarvan wij reeds spraken, maar op welke wij nu geen acht slaan. De afstanden van

vindt men voor de door mm' , MM' onderspannen hoeken, uit de Aarde gezien op den afstand van 60maal den ſtraal of 30maal den diameter des aardbols,

$$\text{tang} \cdot mAm = \frac{8}{11} : 30 = \frac{8}{330}; \quad \text{tang} \cdot MAM' = \frac{14}{11} : 30 = \frac{14}{330};$$

waaruit $Am' = 1^{\circ} 23' 20'' = 5000''$; $MAM' = 2^{\circ} 25' 45'' = 8745''$;

en daar de Maan, in hare beweging rondom de Aarde, nagenoeg eene *halve graad-seconde* in eene geheele tijd-seconde op de Zon wint, gelijk men lichtelijk inziat uit de omwentelingstijden, zoo geven de voorgaande waarden 10000 seconden = 2 u. 46 m. 40 s. voor den langsten duur der Maansverduisteringen, en 17490 seconden of 4 u. 51 m. 30 s. voor dien der Zonsverduisteringen.

Aangezien nu bij de voorgaande getallen de Zon en Maan onderſteld worden tot punten te zijn herleid, moet men er nog ongeveer een uur bij voegen voor den doorgang van ieder der diameters, die beide nagenoeg gelijk zijn aan 30 minuten; daarenboven nog, bij de Maaneclipsen, twee uren voor de beide biſchaduw, welke breedten wij ten naastenbij gelijk aan die der zonnediameters bevonden hebben, en die alzoo te zamen 1 graad of 60 minuten doen, overeenkomende met 120 minuten tijd. Hieruit volgt ten slotte eene som van 5 u. 46 m. 40 s. (diameter, ſchaduw en biſchaduw) voor den langsten duur der Maaneclipsen, en 5 u. 51 m. 30 s. voor de langste Zoneclipsen. Men moet evenwel in 't oog houden, dat deze getallen eenige minuten grooter of kleiner kunnen worden naar de ſchijnbare diameters, die met de afstanden veranderen, en dat ik bovendien hier alleen spreek van de centrale Eclipsen, dat is van dezulke, waarbij het middelpunt der Maan juist in de lijn komt, die de middelpunten van de Zon en de Aarde vereenigt.

de Maan tot de Ecliptica, die der Zon tot de knopenlijn, de onderlinge standen van beide hemellichamen en hunne loopbanen tijdens de samenstanden, de tegenstanden, enz., in één woord, de verschillende bijzonderheden, welke het optreden der Eclipsen veroorzaken of beletten, zullen weer dezelfde phasen als de vroeger doorloopene vertoonen, en uit de waarneming der Eclipsen van een zeker tijdperk zal men de Eclipsen van het daarop volgende tijdperk vooraf kunnen aankondigen.

Merkt intusschen op, dat de storingen, die de Maan ondergaat, zeer talrijk zijn, en dat de voorspellingen allicht zouden kunnen falen, inzonderheid voor die (zeer geringe) Eclipsen, waarbij de Maan te nauwnood het kegelvormig omhulsel van de Maan en Zon raakt. Daar bovendien de duur van 228 maansomloopen niet juist gelijk is aan dien van 19 *synodische omwentelingen* van de knopen der Maan (zoo heet men het bovengenoemde tijdsverloop van 346,619 dag), en daar de wenteling der Aarde om zich zelve spoedig verandering brengt in den stand der punten, over welke hierbeneden de schaduw der Maan bij de Zonsverduisteringen heen strijkt, zoo zou men zich aan grove misrekeningen blootstellen, wanneer men het waagde, ten opzichte van de laatstgenoemde Eclipsen, door het aanwenden van den *Saros* alleen, iets anders dan de *algemeene* verduisteringen te voorspellen, en het hemelverschijnsel met betrekking tot bepaalde plaatsen in verband te willen brengen. Wat de nieuwere Sterrenkundigen betreft, hoewel zij zekerder rekenwijzen bezitten, bedienen zij zich evenwel nog van den *Saros*, doch enkel om vooruit te weten op welke tijdstippen Verduisteringen mogelijk zijn, ten einde niet tevergeefs de conjunctiën of oppositiën te beredeneeren, die, na gedane uitrekening, blijken zouden geen resultaat op te leveren.

397. **Waarneming der partiële Eclipsen of gedeeltelijke Verduisteringen.** — Ingevolge eener oude gewoonte, verdeelt men de oppervlakte of liever den diameter der Zon, soms ook den diameter der Maan, in twaalf gelijke deelen, die men *duimen* noemt; en ter aanduiding van de gedeeltelijke Eclipsen geeft men het getal duimen op, die verdwijnen. Voor 't overige leveren de bij deze Verduisteringen waar te nemen verschijnselen niet veel op, dat bijzonder merkwaardig is. Door gaans bepaalt men zich dan ook, hetzij ter wille van de behoeften der Aardrijksbeschrijving, hetzij om de juistheid der astronomische tafels te onderzoeken of volkomener te maken, tot de opgave van het begin en het einde, somwijlen ook tot het verdwijnen van zekere vlekken.

Ringvormige en centrale Eclipsen. — Nogtans wil ik onder de gedeeltelijke verduisteringen der Zon in 't bijzonder

gewag maken van de *ringvormige* Eclipsen, een zeer fraai verschijnsel, waarbij men den omtrek der Zon buiten de maanschijf ziet uitsteken en rondom deze laatste een lichtenden ring vormen, die, wanneer het middelpunt der Maan zich omstreeks het midden van 't verschijnsel juist over dat der Zon beweegt (in welk geval de Eclips centraal heet), gedurende ongeveer zes minuten kan in stand blijven (*). Intusschen ligt daarin niet veel meer dan 't geen de nieuwsgierigheid kan streelen. Wat de totale Verduisteringen betreft, deze leveren daarentegen bijzonderheden op, die ons — wij merkten 't reeds aan — inlichting kunnen geven omtrent de physische gesteldheid der Zon.

398. **Totale Verduisteringen. — Lichtkroon; de polarisatie van haar licht wijst op eenen dampkring der Zon.** — In de aureool of lichtkroon, die zich vertoont op het oogeblik dat de Zon bij eene Verduistering verdwijnt, en zelfs verscheidene minuten te voren, had Arago in 1842 en later d'Abbadie bij de totale Eclips van 1851 gepolariseerd licht gevonden, zonder dat zij echter de verhouding van dat licht konden bepalen. Dit was een eerste stap tot de oplossing van belangrijke vraagstukken; want gaat er werkelijk gepolariseerd licht van de aureool uit, dan mag men niet aarzelen haar te beschouwen als een tot de Zon behoorenden dampkring; omdat gasvormige lagen, rondom dit Hemellichaam geplaatst, zeer goed voldoende zouden zijn om haar licht door terugkaatsing te polariseeren; terwijl het anders gelegen is met het verschijnsel bekend onder den naam van *diffRACTIE* of *straalbuiging*, waaraan verschillende Sterrenkundigen het verschijnsel hebben toegeschreven.

Wat kon er alzoo gepaster zijn, dan de waarnemingen van Arago en d'Abbadie derwijze aan te vullen, dat men ontdekte of het gepolariseerde licht van de aureool der totale Eclipsen niet geboren wordt uit menigvuldige terugkaatsingen, die in onzen eigen dampkring plaats grijpen. Dit nu juist werd den 18den Juli 1860 beproefd door Prazmowski, wien wij 't moeten dank weten, dat het vraagstuk aanmerkelijk is toegelicht.

Door het aanwenden van een doelmatig toegestelden polariscope

(*) De schijnbare diameter der Zon in 't perigæum is $\approx 32'36''$; die der Maan in 't apogæum bedraagt slechts $29'34''$. Het verschil ($3'2''$), dat de breedte des rings uitmaakt, hetzij bij de eerste inwendige aanraking, hetzij bij de tweede, of, wil men liever, als de ringvormige Eclips begint en als zij eindigt, beantwoordt in dit geval aan een duur van omtrent 6 m. $\frac{1}{2}$ s., omdat de Maan, met betrekking tot de Zon, nagenoeg eene halve graadseconde in iedere tijdseconde doorloopt. Dit is klaarblijkelijk de langste duur der ringvormige Eclipsen.

Stond de Zon in 't apogæum, de Maan in 't perigæum, dan zou de schijnbare diameter der eerste ($31'30''$) kleiner zijn dan die ($33'$) der tweede, en de Eclips, zelfs de centrale, zou niet ringvormig kunnen zijn.

Bij de andere afstanden van Zon en Maan zullen de *centrale* of *bijna centrale* Eclipsen nu eens ringvormig, dan weder totaal zijn, naar gelang van de grootten der schijnbare diameters.

bleek het den Warschauschen Sterrenkundige, dat het gepolariseerde licht wel degelijk van de lichtkroon uitging, en dat het polarisatievlak zelfs voor ieder punt loodrecht op den omtrek der Maan stond. Daar de polarisatie tevens zeer sterk was, kon Prazmowski daaruit met eene schier volstrekte zekerheid opmaken, dat de gasmoleculen, op welke de terugkaatsing geschiedde, licht uitzonden onder den grootsten polarisatiehoek. Die hoek is voor de gassen gelijk aan 45 graden; „waaruit volgt,” voegt Prazmowski er bij, „dat de weerkaatsende gasmoleculen zich in „de nabijheid der Zon moesten bevinden, aan welke voorwaarde „alleen een zonedampkring schijnt te kunnen voldoen.”

Intusschen — 't is billijk het te zeggen — reeds in 1842 had Victor Mauvais de aanvullingstinten van den polariscoop minder helder meenen te zien dan op de lichtkroon, die alsdan haar eigene polarisatie gevoegd zou hebben bij die van onzen vóór de Maan geprojecteerden dampkring. Maar — 't is mede billijk het te zeggen — de waarneming van den Franschen Sterrenkundige, inderhaast en nagenoeg onvoorbereid gedaan, schijnt niet denzelfden graad van zekerheid met zich te brengen als de sinds geruimen tijd voorbereide waarneming van Prazmowski, aan wien bijgevolg schier uitsluitend de eer van zulk een belangrijk resultaat toekomt.

399. **Het physisch voorkomen der lichtkroon schijnt de gevolgtrekkingen, die de polarisatie oplevert, te bevestigen.** — Hoe het voor 't overige te dezen opzichte gelegen moege zijn, de twijfel schijnt te nauwernood meer mogelijk te zijn; en ik voeg er bij, dat mijn eigen gevoel, buiten ieder andere beweegreden, mij zeer sterk zou nopen de gevolgtrekkingen van Prazmowski te omhelzen, althans voor 't gedeelte der lichtkroon, dat onmiddellijk op de photosfeer rust. Immers in de meeste der tot dusverre waargenomen totale Verduisteringen was de lichtkroon doorgaans gevormd uit twee of drie concentrische ringen van zeer verschillend voorkomen. De eerste, verreweg de helderste, had in 1860 (fig. 181) eene hoekbreedte van 7'30" en vertoonde voor 't oog een stil licht, ik zou schier zeggen een rustig, bedaard voorkomen, hetwelk mede den tweeden ring kenmerkte, die minder helder was en eene breedte van 9'30" had, maar vrij sterk afstak bij de onregelmatigheden, de dwarrelingen (gelijkende naar die van vuurwerkzonnen), die men opmerkte in den derden ring, wiens breedte zich tot 28' boven den tweeden uitstreckte, zoodat de gansche lichtkroon eene totale breedte had van bijna 45 minuten.

't Is aangaande dezen derden ring, waarbij, zoover ik weet, Prazmowski zijne aandacht niet in 't bijzonder bepaald en hem op zich zelve bestudeerd heeft, dat men, strikt genomen, be-

denkingen zou kunnen maken, gelijk dan ook door verscheidene Sterrenkundigen is geschied. Maar de bovenvermelde belangrijke proefneming schijnt niet te veroorloven de lichtkroon in

haar geheel als eene speling van 't licht te beschouwen. En dan nog, al onderstelde men dat de derde ring eenvoudig een gevolg der diffractie was, zou men moeten verklaren waarom zekere Eclipsen straalbundels vertoond hebben, gelijkende naar die, welke de schilders aanbrenge-
 gen in de gloria's, waarmede zij de hoofden der heiligen omgeven (vier in 1860, slechts twee in 1842, enz.), en die door de lichtkroon over hare

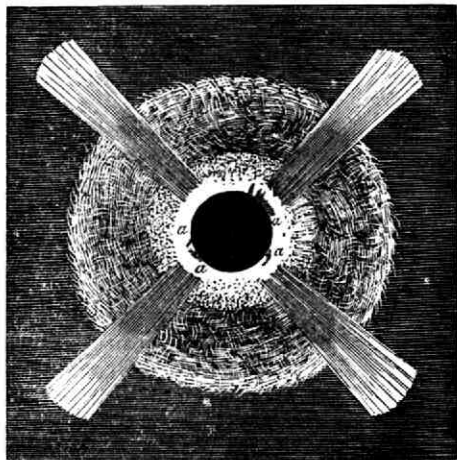


Fig. 181.

gansche breedte gaan, van de photosfeer tot aan de uiteinden van den derden ring, ja somtijds zich nog daarbuiten uitstrekken, terwijl andere Eclipsen daarentegen niets dergelijks hebben doen zien; — waarom de aureool, die in 1860 de breedte van 45 minuten had, in 1842 slechts 8 tot 10 minuten, in 1851 weder 30 minuten breed was, enz.; — waarom de vrij kennelijke scheidingen der drie ringen van 1860, der twee ringen van 1842, niet bestonden, volgens Kutzeycki, in de lichtkroon der eclips van 1850, noch, volgens Mauvais, in die van 1851, enz.; — bijzonderheden, die, naar 't gevoelen van Swan, zouden verklaard kunnen worden door wolkenlagen, die tot de zons-atmosfeer behooren en die, naar gelang van hare dikte, onderlinge schikking, enz. grooter of kleiner hoeveelheden licht doorlaten; waaruit dan of de scheiding des dampkrings in concentrische ringen, of de afwezigheid van ringen en de trapsgewijze afneming van het licht, of het verschil van schijnbare uitgestrektheid tusschen de lichtkronen der verschillende Eclipsen zou ontstaan, terwijl eindelijk de straalbundels eenvoudig 't gevolg zouden zijn eener lichtverspreiding, die verder voortgezet werd door de openingen van de wolkenlagen heen, enz.

400. **Rozeroode vlammen en wolken.** — 't Is waar, dat men ook wellicht de onderstelling der straalbuiging kan te baat

nemen om de verschijnselen te verklaren. Doch de rozeroode vlammen *a* (fig. 181), die zich rondom de Maan vertoonen en waarvan sommige buiten de loodrechte richting (Eclips van 1860) of zelfs geheel afgescheiden van de maanschijf (Eclips van 1851) gezien zijn, zetten, mijns inziens, de onderstelling eener atmosfeer een hooge mate van waarschijnlijkheid bij. Dan toch zouden verbazend groote wolken mede rekenschap geven van 't afwisselend voorkomen der vlammen, van hare afzondering in 't binnenst der lichtkroon, van hare verschijning eerst bij het oostelijk gedeelte van den omtrek der Maan, vervolgens bij het westelijk gedeelte; van de trapsgewijze afnemning dier vlammen, welke de Maan al meer en meer gaat bedekken, en van de toeneming daarentegen derzulke, die zich van achter onzen wachter vrij maken; van de verdwijning der eerste, 30 tot 40 seconden vroeger dan de andere op hare beurt verdwijnen, enz.

401. **Waarschijnlijke hoogte van den dampkring, die de Zon omgeeft. — Grootte der Zonnevlammen of Zonnewolken.** — Ik vermeen mij niet langer te moeten ophouden bij de uiteenloopende gevoelens, die het vraagstuk heeft uitgelokt, en voeg er enkel bij, dat uit een ander oogpunt de rozeroode vlammen, door de afwezigheid van gepolariseerd licht, eene zonderlinge overeenkomst met de wolken van onzen eigen dampkring aan den dag leggen. Bovendien wil ik doen opmerken, dat, ingeval men de gansche in 1860 waargenomen lichtkroon als de dampkring der Zon wilde beschouwen, de hoekwaarde (45 minuten) van deze lichtkroon eene hoogte van 2 millioen kilometers zou geven, maar dat die hoogte met den hoek ($7^{\circ}30''$), dien de binnenste ring onderspant, slechts 332 000 kilometers, en met dien ($17'$), welken de beide eerste ringen onderspannen, 760 000 kilometers zou bedragen. Nog voeg ik hierbij, ten einde een denkbeeld van de grootte der zonnevlammen en zonnewolken te geven, dat verscheidene daarvan, in 1860, eene lengte van 8 minuten bij dikten van 50 tot 100 seconden hadden, hetgeen hare werkelijke afmetingen op 360 000 bij 36 000 tot 72 000 kilometers brengt; — dat eene der vlammen van dezelfde Eclips afgezonderd van en gevolgelijk schuins op den maanotrek was, over eene uitgestrektheid van 30 seconden, dat is van 22 500 kilometers; eindelijk, dat in de eerste dagen der maand Augustus 1860 de oostelijke rand der Zon eenige vlekken liet zien, welker optreden ik niet ongepast in verband meende te kunnen brengen met dat der rozeroode vlammen van den 18den Juli.

402. **Metalen tot de Zon behoorende.** — Zoo zijn we dan — bedrieg ik mij niet — door de gezamenlijke voorafgaande beschouwingen teruggevoerd tot de reeds ontwikkelde

theorie aangaande de physische gesteldheid der Zon. Om niets gewichtigs over te slaan, willen wij hier herinneren, dat de schoone ontdekkingen der tegenwoordige natuurkunde (§ 307, noot) ons onlangs hebben bekend gemaakt met eene nieuwe en zeer belangrijke bijzonderheid: ik bedoel het aanwezig-zijn op de Zon van eenige onzer metalen, sodium, potassium, calcium, ijzer, nikkel, kobalt, koper, zink, enz., blijkbaar, volgens Kirchoff en Bunsen, uit zekere strepen der zonnenspectra, geboren uit de straalbreking door prisma's heen (*). Schijnt het dienvolgens niet geoorloofd ook te onderstellen, dat de pieken of liever de rozeroode vlammen der totale Verduisteringen niets anders dan dampophooping, ten deele metaaldampen zijn, die oprijzen uit de menigvuldige groote kraters van de zonnekern?

403. **Blinkend punt van Ulloa.** — Ik keer terug tot de Verduisteringen. In 1778 meende de Spaansche zeevaarder Don Antonio d'Ulloa, gedurende de totale Verduistering, een zeer blinkend lichtpunt te bespeuren in de noordwestelijke streek van onzen wachter; en om dit verschijnsel te verklaren, onderstelde hij dat er in de Maan eene door en door gaande opening *ab* was (fig. 182), door welke heen men de Zon had gezien. Vol-

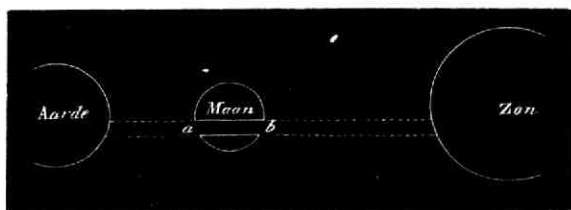


Fig. 182

gens Lalande's berekening, gegrond op de schijnbare plaats van het lichtpunt, zou de opening 436 kilometers lengte gehad moeten hebben. Men begrijpt tevens, dat eene verplaatsing, eene vrij geringe zelfs, de oriëntering des waarnemers betrekkelijk de as der opening moet veranderen en hem alzoo de Zon uit het oog doet verliezen. Maar men bevroedt ook niet hoe een zoodanige put *ab schuins* aan de oppervlakte der Maan zou kunnen aanwezig blijven.

Evenwel, in 1842 zagen andere waarnemers blinkende punten, overeenkomende met dat van Ulloa, onder anderen: Valz te Marseille, Pinaud te Narbonne, Pedro Vieta, geneesheer te Bar-

(*) Die verschillende metalen bevinden zich in den buiten op de photosfeer aanwezigen dampkring. 't Is vreemd, dat men daaronder noch zilver noch goud, zoomin als tin, lood, spiegelglans, kwik, enz. aantreft. Deze kunnen echter op andere punten van het zonnelichaam voorhanden zijn.

celona, enz. Waarom werd er niets van bespeurd door de Sterrenkundigen, die hun verblijf tusschen de genoemde waarnemingspunten hebben? Ik kan mij dat bezwaarlijk verklaren, en ik beken dat ik daarin zeer ernstige redenen van twijfel vind, ondanks de erkende bekwaamheid van eenige der waarnemers, vooral van Valz, een volleerd Sterrenkundige, die voor 't overige rekenschap van 't feit meende te kunnen geven door eene vallei ter lengte van ongeveer 600 kilometers, zich uitstrekkende aan de oppervlakte der Maan. De meening van een man als Valz verdient voorzeker geëerbiedigd te worden. Toch zie ik niet wel in, hoe men er toe gerake om, zonder ontzettende overhellingen, de vallei van boven te sluiten enkel door, met hem, „de tusschenkomst in te roepen van de bij wijze van projectie „plaats hebbende overdekking door de uitspringende hoeken der „haar begrenzendende bergzijden, terwijl de bodem, ter diepte van „32 kilometers beneden het algemeene oppervlak der Maan na- „tuurlijk rechthoekig zou gebleven zijn.” Zou 't niet veeleer mogelijk wezen, dat de waarnemer, ook de bedrevenste, aan eenige zinsbegoocheling blootstaat onder den levendigen indruk eener gewaarwording, opgewekt door een verschijnsel, dat zoo kort moet duren, en gejaagd door de zucht om partij te trekken van de te vluchtige oogenblikken, die hij moet vreezen nimmer voor hem te zien terugkeeren? Zou 't niet wezen kunnen, dat hij, bij voorbeeld, voor lichtende, tot de Maan behoorende punten hield de eerst door zijn oog, dan op het oogglas van zijn kijker teruggekaatste beelden hetzij van de Sterren, gedurende de duisternis der Eclips zichtbaar geworden, hetzij van eenig ander licht, hetwelk toevallig derwijze geplaatst is, dat het tweemaal teruggekaast wordt?

404. **Bliksemstralen op de Maan gedurende de totale Verduistering.** — Vaak ziet men ook, gedurende de totale Zoneclipsen, eene soort van bliksemstralen, die de Maanvlakte klieven. Maar hier heeft de verklaring niets bezwarends; want alles schijnt aan te duiden, dat het verschijnsel ontstaat door zoogenaamde vallende Sterren, wier glans zich verliest in de lichtkroon, na zich eerst op den door de Maan gevormden donkeren grond vertoond te hebben. Wat betreft het vaak geopperde denkbeeld van nog brandende vulkanen, 't schijnt niet wel mogelijk dat redelijkerwijze nog te blijven aankleven, dewijl men tijdens de nieuwe Manen geen spoor van lichtende punten ziet, die toch klaarblijkelijk te een of ander tijd met genoegzame lichtsterkte zouden optreden om somwijlen bemerkt te worden.

405. **Afkoeling bij de Zoneclipsen.** De Zoneclipsen brengen ook afkoeling te weeg, en iedereen begrijpt reeds gewis, dat de meerder of minder sterke afkoeling in verhouding moet

staan tot de grootte van het hemelverschijnsel. Dit heeft ook over 't geheel genomen plaats. Evenwel, het klimaat, het uur der Verduistering, de hoekhoogte der Zon, de hoogte des waarnemers boven den zeespiegel, enz., enz., en duizend toevallige omstandigheden kunnen afwijkingen doen ontstaan. Den 18den Juli 1860, bij voorbeeld, daalde te Briviesca (Spanje) de honderddeelige thermometer, die in de schaduw vóór de Eclips $16,5^{\circ}$ wees, gedurende de Verduistering niet lager dan tot $14,1^{\circ}$; terwijl hetzelfde werktuig te Toulouse, waar de Eclips niet totaal was (11,5 duim), mede in de schaduw, van 26° tot $20,5^{\circ}$ daalde. In 1842 werd te Perpignan (Zuid-Frankrijk) het veld gedurende de totale Verduistering van den 8sten Juli met dauw overdekt, en toch bedroeg de thermometer-daling in de schaduw niet meer dan 3 graden. Milaan zag eene daling van $3,4^{\circ}$, Venetië van $3,1^{\circ}$, enz. Maar in 't zonnelicht zijn de verschillen doorgaans grooter. Zoo bedroegen deze, den 18den Juli 1860, te Briviesca, naar de waarnemingen van Otanô, Mallaina, Collantès, niet minder dan $13,3^{\circ}$ (van 33° tot $19,7^{\circ}$). In 1842 hadden zij te Perpignan op een thermometer met gewonen glasbol $5,5^{\circ}$ en op een thermometer met zwartgemaakten bol $8,7^{\circ}$ bedragen, enz.

406. **Indrukken, die de Zoneclipsen te weeg brengen.**
 — De Zonsverduisteringen hebben vaak, evenals de Maansverduisteringen, grooten schrik verspreid. Iedereen kent, onder anderen, het voorval van Pericles en den stuurman, over wiens oogen de Atheensche held zijnen mantel moest werpen, ten einde hem begrijpelijk te maken dat de verduistering der Zon werd te weeg gebracht door een donker lichaam, dat voorbij dit hemellichaam trok. Somwijlen echter hadden de verschijnsels, waarvan wij spreken, een gunstigen invloed op de zedelijkheid, getuige die van 't jaar 31 onzer jaartelling, welke eenen keizer van China aanleiding gaf tot deze zonderlinge verklaring: „De Maan,” zeide de potentaat, „is het beeld der onderdanen, de „Zon het beeld der vorsten. Sinds eenige jaren is er stoornis „in de bewegingen der Hemellichamen. Dat alzoo een ieder „zich beijvere mij de raadgevingen der wijsheid te brengen, „want de gebreken der onderdanen hebben hunnen oorsprong „in de ondeugden der vorsten.”

Maar van alle indrukken, door de Zoneclipsen te weeg gebracht, heeft de vrees het langst de overhand behouden en somwijlen zelfs aanleiding gegeven tot aardige anecdoten. Heb ik, bij voorbeeld, niet gelezen, dat in 1654 de vrees voor eene Eclips de menschen bij menigte naar den biechtstoel dreef, zóó zelfs, dat een goede en geestige pastoor uit den omtrek van Parijs, niet opgewassen zijnde tegen zijn nieuwe drukte, zich verplicht zag zijnen kersverschen bekeerlingen te doen aanzeggen,

dat de Eclips veertien dagen uitgesteld was. 't Valt intusschen niet te loochenen, dat de Zonsverduisteringen, de totale vooral, iets eigenaardigs hebben, dat indruk maakt en tot somberheid stemt. De voorwerpen krijgen een vale tint; de heldere Sterren laten zich aan den Hemel zien. En toch is het, bij de bleeke verlichting die uit de lichtkroon ontstaat, niet geheel en al donker, 't is een soort van dof, geelachtig schemerlicht, gedurende hetwelk men zekere planten (*Colutea*, *Julibrissin*, *Convolutulus*, enz.) zich ziet sluiten; de vogels snellen naar hunne nesten (*); de mieren staken hun werk en haasten zich naar hare onderaardsche woningen; de paarden, de runderen dringen zich in de weide oopen, als dreigde hun een groot gevaar; de kuikens zoeken de beschermende vleugels hunner moeder; de vleurmuizen, de uilen verlaten hunne schuilhoeken; hongerige honden laten hunnen buit los; de menschen eindelijk, de menschen, ofschoon zij tegenwoordig, dank hebbe de vooruitgang van 't onderwijs, geen andere drijfveer tot het beschouwen eener Zonsverduistering dan die der weet- en nieuwsgierigheid hebben, zij worden toch onbeschrijfelijke indrukken gewaar: verbazing, bewondering, eene geestvervoering, eerst in zelve gekeerd en zwijgend, maar weldra, bij den eersten straal der weer te voorschijn komende Zon losbarstend in kreten, in gejuich, in tranen.

Voorwaar, als wij getuige zijn van den invloed, te weeg gebracht door de grootsche plechtstatigheid van 't hemelverschijnsel bij hen, die er op voorbereid zijn, zal 't ons dan nog verwondering kunnen baren, dat het zoo langen tijd ontsteltenis in 't hart joeg van de menschen, die het onverwachts zagen optreden, en deswege zoo natuurlijk geneigd moesten zijn om het als een voorloopig teeken van 's Hemels gramschap en wraak te houden? Wilt gij te dezen opzichte de natuur — gelijk men zegt — op de daad betrappen? Ziehier wat mij in 1842 de heer Eugène Bouvard vertelde, die van Digne kwam, waar hij de Zonsverduistering had waargenomen.

„Een herdersknaap der Neder-Alpen was in den morgenstond van den 8sten Juli, bij een heerlijken hemel, naar buiten gegaan om zijne kudde te hoeden. Toen hij zag dat het daglicht allengs verflauwde, de Zon boogvormig uitgehold werd en meer en meer verdween, zonder dat een enkele wolk hem verklaring van dit verschijnsel kon geven, beving hem de grootste onrust; en toen het licht ganschelijk werd uitgedoofd, ijde de arme jongen, radeloos van schrik en vrees, steeds om hulp roepende, naar de

(*) Men heeft vogels dood gevonden in hunne kooien, anders op de straten en op de daken. Maar 't is zeer mogelijk, dat dit minder een gevolg van den schrik was, dan van de zich zelven toegebrachte beleedigingen gedurende de donkerheid, hetzij tegen de spijlen der kooien, hetzij tegen de muren der huizen.

dichtstbijzijnde woningen. Juist toen men hem tot bedaren kwam brengen, trad de Zon weer te voorschijn, en in eene soort van zielsverrukking, geknield, met de armen ten hemel geheven, terwijl groote tranen langs zijne wangen biggelden, riep hij met saamgevouwen handen uit: „O beou Souleou! ó beou Souleou! (O mooie Zon, o mooie Zon!)” (*)

Pythagoras raadde dan ook bovenal twee studiën aan als de nuttigste voor den mensch: de zedeleer ter besturing van het hart, de natuur ter verlichting van 't verstand. „Want,” zeide hij, „om ingetogen te zijn, niet uit zwakheid, maar uit be-
„ginsel, daartoe moet men geraken door krachtig te denken,
„dat is door zich los te maken van de vooroordeelen, die ons
„verhinderen de eeuwige onveranderlijkheid der scheppende
„macht in hare wezenlijke grootheid te schatten.”

— Nog eene laatste anecdote betreffende ons onderwerp, daar ik toch zoo natuurlijk er aanleiding toe vind. Ik geef ze hier, zooals mijn geheugen mij haar herinnert, zonder nu juist te kunnen opgeven waar ik ze heb gevonden; ik zorg intusschen zekere uitdrukkingen te behouden, om hare pittigheid, hare pittoreske platheid niet te verzwakken (†).

Eenige filosofen der vorige eeuw, op zekeren dag aan 't redekavelen zijnde over het bestaan van God, richtten eene rechtbank op, voor welke advocaten benoemd werden om beurtelings het voor en tegen te bepleiten. Toen de bewijsredenen voor het atheïsme in 't breede uiteengezet waren door hem die het ambt van *openbaar aanklager* bekleedde, nam de *advocaat van God* (zoo veel mij heugt een kardinaal, en zoo 'k mij niet bedrieg, tevens een man van verstand) het woord en vergenoegde zich met doodeenvoudig te antwoorden:

„Ik speel met de dobbelsteenen en gooi drie zessen; ik zeg, „dat 's mooi. Ik gooi weer, en nogmaals drie zessen. Ik zeg „opnieuw: dat 's mooi; maar ik sta verwonderd. Vervolgens „drie-, vier-, vijfmaal, honderdmaal, ..., duizendmaal, altijd drie „zessen!... Ho, ho! roep ik uit, 't kan niet anders: de steenen zijn er op gemaakt (*les dés sont pipés*)! — Eveneens, wanneer ik de Hemelverschijnsels steeds met een volmaakte regelmatigheid zie terugkeeren, de opgangen en ondergangen en

(*) Wat de totale Zonverduisteringen zoo indruk makend doet zijn, is hare groote zeldzaamheid, vooral op eene en dezelfde plaats. Zoo zullen wij, tot op het einde der 19^{de} eeuw niet meer dan vier totale Eclipsen hebben, namelijk:

1° Den 22sten December 1870; zichtbaar in Algerië, Zuid-Spanje, Sicilië en Turkije.

2° Den 19den Augustus 1887; zichtbaar in 't noordoosten van Duitschland, Zuid-Rusland en Middel-Azië.

3° Den 9den Augustus 1896; zichtbaar in Groenland, Lapland en Siberië.

4° Den 28sten Mei 1900; zichtbaar in de Vereenigde Staten van Noord-Amerika, in Spanje, Algerië en Egypte.

(†) Dat pittige en pittoreske moest echter bij de vertaling ten deele verloren gaan.

„de bewegingen der Sterren, de Eclipsen eindelijk, voortdurend
 „weer zie plaats grijpen, overeenkomstig met de uitkomsten der
 „berekening, dan zeg ik ook: 't kan niet anders: de natuur is
 „er op gemaakt (*la nature est pipée*).”

Te zeggen dat de natuur er op gemaakt is, beteekent dat niet
 tevens zooveel (men vergeve mij 't gebruik van zegswijzen uit
 een ander tijdperk) alsof men zeide, dat er achter haar „een
 God is, die ze er op maakt (*un Dieu qui la pipe*).”



NOOT

OVER HET BEREKENEN DER ZONSVERDUISTERINGEN.

407. **Ecliptische samenstanden of conjunctiën.** — De ecliptische conjunctiën of de samenstanden in de Ecliptica worden aangegeven door de periode van 18 jaren en 11 dagen. Maar bij gebreke van deze somtijds foutieve periode (§ 396), kan men den afstand van de Maan tot den knoop tijdens de conjunctie gebruiken en zich bedienen van Delambre's regel. — *Zekere Eclips*, wanneer de afstand der Maan tot den knoop, bij de conjunctie in lengte, beneden $13^{\circ}33'$ is. — *Onmogelijke Eclips*, wanneer die afstand meer dan $19^{\circ}44'$ bedraagt. — De twijfel en het tasten of beproeven zullen dus alleen binnen vrij enge grenzen plaats hebben.

408. **Betrekkelijke loopbaan der Maan in den lichtkegel.** — Dit vooropgesteld hebbende, herinneren wij ons, dat de straal van den lichtkegel, in de

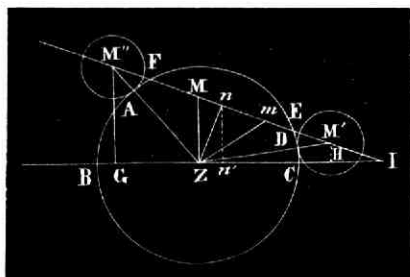


Fig. 183.

$\omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot} = SA$ (fig. 183) den omtrek ABCD, omvang des lichtkegels, beschrijft; en als gij op het vlak van dezen omtrek, door middel van de vergelijking $\tan I = \frac{d\lambda}{d_{\odot} - d_{\odot}}$, de betrekkelijke loopbaan IM'M'' der Maan plaatst, zoo zal de doorsnede dezer baan in M'M'', door den beschreven cirkelboog van den straal $(\omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot} + \delta_{\odot})$ u de punten M'M'' geven, welke het middelpunt der Maan zal moeten innemen bij het begin en het einde der algemeene Eclips.

409. **Phasen der algemeene Eclips.** — Door volkomen dezelfde berekeningen als die wij reeds voor de Maansverduisteringen gemaakt hebben, zult gij het tijdstip $T + t$ van de conjunctie en M, den kortsten afstand Zn der middelpunten en den tijd van nM' of van nM'' dat is den halven duur der algemeene Eclips kunnen bepalen. Immers gij zult hebben

$$ZM = \left(\lambda + \frac{t d \lambda}{3600 \text{ s.}} \right), Zn = ZM \cos I, nM = ZM \sin I, \text{ tijd van } nM = \frac{nM \cdot 3600 \text{ s.} \cos I}{d_{\odot} - d_{\odot}}$$

$$ZM' = ZM'' = (\omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot} + \delta_{\odot}), nM' = nM'' = \sqrt{ZM'^2 - Zn^2}$$

streek der Maan, tot uitdrukking heeft $\omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot}$ (1e noot van § 395). Wanneer de rand der Maan den kegel raakt, zal dus het middelpunt des wachters op den afstand

$(\omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot} + \delta_{\odot})$ van de as zijn, en de algemeene Verduistering zal een aanvang nemen. Als gij, bij gevolg, met

$$Hn' = n'G = nM' \cos I, \text{ halve duur} = \frac{Hn' \cdot 3600 \text{ s.}}{d\zeta - d\odot},$$

vergelijkingen, die u al de bijzonderheden der algemeene Eclips zullen doen kennen door middel van de lengten, breedten, parallaxen en uurbewegingen, bepaald tot een tijdstip T dicht bij de conjunctie.

410. — Om nu te vinden in welke plaatsen men de phasen zal zien, zij HEH' (fig. 184) de horizon (*) der plaats, waarvoor men, voor een bepaald uur, de standen van Zon en Maan heeft berekend; HPNH' de meridiaan dier plaats; P de pool; T het toppunt of zenith; eindelijk Z, M de middelpunten der Zon en der Maan herleid tot het middelpunt der Aarde.

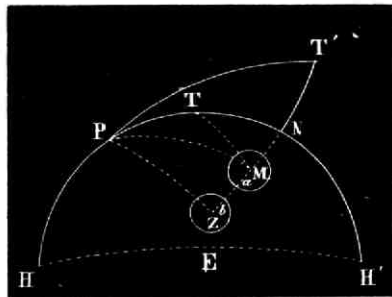


Fig. 184.

Wanneer de afstand ab der randen tot eenige minuten zal gebracht zijn, zal de parallax, door de Maan in het vlak TM te doen dalen, haar op de Zon kunnen voeren. Maar zoo gij de volle werking der parallax wilt hebben, verlengt dan den hoog ZM tot aan een zeker zenith T' , en onderstelt dat de punten a en b voor dat zenith aan den horizon zijn. 't Is duidelijk, dat de zenithsafstanden $T'a$, $T'b$, herleid tot het middelpunt der Aarde, dat wil zeggen de ware zenithsafstanden, tot waarden hebben $(90^\circ - \omega_\zeta)$, $(90^\circ - \pi_\odot)$; waaruit volgt, dat de hoog ab gelijk is aan $(\omega_\zeta - \pi_\odot)$, en dat bovendien de parallax haar grootst effect doet, daar zij aan den horizon zelven werkt

Punt der Aarde, dat de eerste aanraking van de Zon en de Maan ziet, door de werking der horizontale parallax. — Het punt der Aarde, waarvan T het toppunt of zenith is, zal dus het eerst eene aanraking aan den horizon zien; en gij zult gemakkelijk de plaats van dit punt bepalen door de driehoeken MPZ , $T'PZ$, in welke gij, voor het begin der algemeene Eclips, dat is voor 't oogenblik waarop $ab = (\omega_\zeta - \pi_\odot)$ is, bekend zijt met

$$PZ = 90^\circ - \text{Decl. der Zon} = 90^\circ - D_\odot,$$

$$PM = 90^\circ - \text{Decl. der Maan} = 90^\circ - D_\zeta,$$

$MPZ = R. O. \odot - R. O. \zeta =$ verschil van rechte klimming der \odot en der ζ ,
eindelijk

$$T'Z = 90^\circ - \pi_\odot + d_\odot,$$

in welk geval inderdaad de afstand MZ van het middelpunt M der Maan tot het middelpunt der Zon gelijk is aan

$$(\omega_\zeta - \pi_\odot + d_\odot + \delta_\zeta)$$

gelijk wij boven bevonden hebben.

(*) HEH' is het oostelijk gedeelte in de figuur, waar de Maan, van M tot Z naderende, van 't westen naar 't oosten loopt. Alzoo liggen dan M en Z op de tegenwoordige figuur in 't oosten.

De eerste der beide voorgaande driehoeken MPZ zal u eerst geven

$$\begin{aligned} \cos PM &= \sin D = \cos PZ \cdot \cos MZ + \sin PZ \cdot \sin MZ \cdot \cos Z \\ &= \cos D \cos (\omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot} + \delta_{\odot}) \\ &\quad + \cos D \sin (\omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot} + \delta_{\odot}) \cos Z; \end{aligned}$$

waaruit gij de waarde van Z kunt vinden.

Vervolgens, uit hoofde van $T'b = 90^{\circ} - \pi_{\odot}$ en gevolgelyk $T'Z = 90^{\circ} - \pi_{\odot} + d_{\odot}$,

zult gij hebben in den tweeden driehoek T'PZ,

$$\begin{aligned} \cos T'P &= \cos PZ \cdot \cos T'Z + \sin PZ \cdot \sin T'Z \cdot \cos Z \\ &= -\sin D \sin (d_{\odot} - \pi_{\odot}) + \cos D \cos (d_{\odot} - \pi_{\odot}) \cos Z, \\ \cot T'PZ &= \frac{\cot T'Z \cdot \sin PZ}{\sin Z} - \cos PZ \cdot \cot Z \\ &= \frac{\text{tang } (d_{\odot} - \pi_{\odot}) \cos D}{\sin Z} - \sin D \cot Z; \end{aligned}$$

vergelijkingen, die u het complement T'P van de breedte, of de breedte zelve zullen geven van de gezochte plaats, waarvan T' het zenith is, alsook den hoek T'PZ.

En daar de stand der Zon bij 't begin der berekening bekend is, zult gij ook den waren uurhoek NPZ kennen, die, afgetrokken van T'PZ, u als verschil de lengte T'PN der gezochte plaats zal geven met betrekking tot den meridiaan HPNH', tot welken de verschillende bepalingen betrekking hebben. Deze plaats zal dan zelve volkomen bepaald zijn, daar gij hare beide geographische coördinaten. de breedte en de lengte met betrekking tot een gegeven meridiaan zult hebben.

§11. **Plaatsen, die achtereenvolgens de Eclips zien beginnen door de werking der hoogte-parallaxen.** — Weldra, bij 't verminderen van den afstand der Zon tot de Maan, zal *ab* achtereenvolgens waarden krijgen, die van het maximum $(\omega_{\odot} - \pi_{\odot})$, dat het begin der algemeene Eclips uitdrukt, zullen loopen tot het minimum $(Zn - (d_{\odot} + \delta_{\odot}))$, beantwoordende aan 't midden derzelfde Eclips. Gij zult gemakkelijk, door interpolatie of op eene andere wijze, de onderscheidene waarden voor verschillende uren, bij voorbeeld van 10 tot 10 minuten, kunnen vinden; en gij zult op de volgende wijze de ligging der andere plaatsen z'' , z''' , z^{iv} , enz. bekomen, die de Eclips zullen zien aanvangen.

Merkt eerst op, dat gij, om eene aanraking te bekomen als *ab* kleiner dan $(\omega_{\odot} - \pi_{\odot})$ zal zijn, niet meer een zoo grooten zenithsafstand zult behoeven, en dat de hoogte-parallax voldoende zal zijn.

Laat dan ϑ'' , ϑ''' , enz. de schijnbare zenithsafstanden zijn van de beide randen in aanraking voor de zeniths ζ'' , ζ''' , enz. De benedenrand der Maan en de bovenrand der Zon, respectievelijk verlaagd door de parallax van $(\omega_{\odot} \sin \vartheta''$, $\pi_{\odot} \sin \vartheta''$), van $(\omega_{\odot} \sin \vartheta'''$, $\pi_{\odot} \sin \vartheta''$) enz. (§ 319), zullen achtereenvolgens tot de verschillen $(\omega_{\odot} - \pi_{\odot}) \sin \vartheta''$, $(\omega_{\odot} - \pi_{\odot}) \sin \vartheta'''$, enz. naderen. Brengt deze verschillen in vergelijking tot de berekende waarden $a''b''$, $a'''b'''$, enz. van *ab*; gij verkrijgt dan de waarden van ϑ'' , ϑ''' , enz. en bijgevolg ook de ware zenithsafstanden $(\vartheta'' - \pi_{\odot} \sin \vartheta'')$, $(\vartheta''' - \pi_{\odot} \sin \vartheta''$), enz., die beantwoorden aan de achtereenvolgende schijnbare aanrakingen. Voegt er den halven diameter *Zb* van de Zon bij, zoo zullen de hoeken $(\vartheta'' - \pi_{\odot} \sin \vartheta'' + d_{\odot})$, $(\vartheta''' - \pi_{\odot} \sin \vartheta''' + d_{\odot})$,

enz. de zenithsafstanden $T''Z$, $T'''Z$, enz. zijn, overeenkomstig met den vroeger gebruikten zenithsafstand $T'Z$; en de driehoeken $(PMZ, T''PZ)$, $(PMZ, T'''PZ)$, enz. zullen u, als vroeger, de geographische coördinaten der verschillende plaatsen geven, waarvan T' , T'' , T''' , enz. de zeniths zullen wezen, dat wil zeggen van de plaatsen, die achtereenvolgens de Eclips zullen zien aanvangen op de uren, voor welke ϑ'' , ϑ''' , enz. berekend zijn.

412. **Ligging der plaatsen, die de centrale Eclips zullen zien.** — Er zal een oogenblik komen, waarop de hoog ZM zelf gelijk zal worden aan $(\omega_{\odot} - \pi_{\odot})$. Als gij, in dat oogenblik, de standen der Zon en der Maan bepaalt door dezelfde berekeningen als die wij zoo even volbracht hebben, zult gij de plaatsen der Aarde vinden, die, daar zij door de werking der parallax het punt M en het punt Z boven op elkander zien, eene centrale Eclips zullen hebben. Deze Eclips zal totaal of ringvormig zijn naar gelang van het positieve of negatieve teeken van $(\delta_{\odot} - d_{\odot})$.

413. **Werking der schuinsche parallaxen.** — Zoodra de afstand ab der randen kleiner zal zijn dan $(\omega_{\odot} - \pi_{\odot})$, en gevolgelijk die der middelpunten kleiner dan $(\omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot} + \delta_{\odot})$; zult gij niet alleen u kunnen bedienen van de hoogte-parallax, maar ook van de schuinsche parallaxen, om nieuwe punten van de Aarde te bekomen, die de Eclips zullen zien beginnen of centraal worden, enz. Zij dan ZM kleiner dan $(\omega_{\odot} - \pi_{\odot} + d_{\odot} + \delta_{\odot})$. Maakt op deze zijde ZM (fig. 185), met $ZV = (d_{\odot} + \delta_{\odot})$ en $MV = (\omega_{\odot} - \pi_{\odot})$, den driehoek ZVM ,

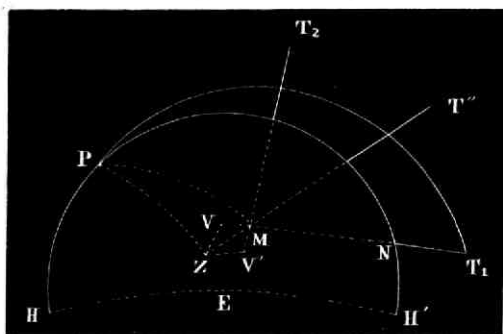


Fig. 185

die u, omdat zijne drie zijden bekend zijn, de waarde van den hoek ZVM zal geven. Daar nu de driehoek PMZ u op zijne beurt de waarde van den hoek PMZ levert, zoo bekomt gij door het verschil $(PMZ - VMZ)$ den hoek PMV en zijn supplement PMZ_1 .

— Zij T_1 het punt gelegen op 90 graden van V , op de verlenging van den boog VM ; MT_1 zal gelijk zijn aan $(90^\circ - VM) = [90^\circ - (\omega_{\odot} - \pi_{\odot})]$ in den driehoek PT_1M ; gij bekomt alzoo den hoek PMT_1 en de zijden

$$MT_1 = 90^\circ - (\omega_{\odot} - \pi_{\odot}), \quad PM = (90^\circ - D_{\odot}).$$

't Zal u bijgevolg gemakkelijk vallen, het complement PT_1 van de geographische breedte der plaats wier zenith T_1 is, alsook den hoek MPT_1 te berekenen. Trekt van dezen hoek MPT_1 den waren uurhoek MPN af, die bekend is door den stand der Maan; het verschil NPT_1 zal de lengte zijn der plaats T_1 , die, op het oogenblik, voor hetwelk gij MZ hebt berekend, door de werking der parallax schuins op MZ , eene aanraking bij den horizon zal zien. Ik zeg *bij* den horizon, omdat, strikt genomen, als het punt V aan den horizon zelve door de parallax MV wordt gebracht, het middelpunt Z der Zon een weinig daaronder zal zijn, zoo ook het aanrakingspunt der beide randen, dat geplaatst zal wezen op de lijn ZV gelijk aan $(d_{\odot} + \delta_{\oplus})$. Maar voor deze soort van berekening behoeft men de stiptheid niet tot het uiterste te drijven; en bovendien zou de straalbreking, door Z en V te verhoogen, de uit onze onderstelling voortspruitende kleine onnauwkeurigheid vereffenen.

Brengt MV aan de andere zijde van MZ , in MV' , dan zult gij een tweede zenith T_2 bepalen, dat de aanraking op hetzelfde uur als T_1 zal zien. Gij kunt daarenboven gemakkelijk de soortgelijke bepalingen vermeerderen, en na het midden der Eclips eene reeks van punten aan de oppervlakte der Aarde vinden, voor welke de horizontale parallax, de hoogte-parallaxen en de parallaxen schuins op de lijnen ZM der middelpunten, ook aanrakingen zullen geven, dat wil zeggen, het einde van 't verschijnsel zullen aanduiden.

414. **Sterbedekkingen.** — Onderstelt nu den straal alsook de beweging der Zon gelijk nul, en gij zult door dezelfde methode de verschillende bijzonderheden eener sterbedekking bekomen.

415. **Gang der schaduw over de oppervlakte der Aarde.** — **Phasen op eene gegeven plaats.** — De voorgaande berekeningen, van 10 tot 10 minuten, bij voorbeeld, gedaan, zullen u vrij nauwkeurig de voorstelling geven van den aardgordel, dien de maanschaduw doorloopt, en de uren van 't begin of het einde der Verduistering op de verschillende punten van dien gordel. Ten einde nu de phasen te kennen voor eene bijzondere plaats, behoorende tot den dus bepaalden gordel, zoo berekent voor 't vermoedelijke uur van 't begin en het einde de betrekkelijke parallaxen van lengte en breedte of de verschillen der parallaxen van de Maan en de Zon. Past deze parallaxen toe op de *ware* plaatsen, om ze in *schijnbare* plaatsen te veranderen. Gij zult op die wijze de *schijnbare* verschillen α , β van lengte en breedte bekomen. Neemt $\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$; indien de waarde dezer grootheid gelijk is aan de som der stralen $(d_{\odot} + \delta_{\oplus})$, zijn de gekozen tijdstippen voor de berekening juist die van 't begin en het einde. Zoo niet, doet dan dergelijke berekeningen voor momenten, die eenige minuten van de vorige verwijderd zijn, en de verandering van $\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$ geeft u door eenvoudige regels van drieën, de beide oogenblikken der aanraking of het begin en het einde van 't verschijnsel op de plaats, voor welke gij berekent. Maakt $d_{\odot} = 0$, en gij zult voor diezelfde plaats de uiterste uren van eene sterbedekking door de Maan bekomen.

Soortgelijke bewerkingen zullen u bekend maken met het tijdstip van 't midden en den kortsten afstand der middelpunten of de minima waarde van $\sqrt{\alpha^2 + \beta^2}$. De elementen, die de astronomische tafels aangeven, zullen bovendien de berekeningen aanmerkelijk bekorten. Maar zoo 't u niet om eene grooter nauwkeurigheid dan eene *minuut* in tijd te doen is, kunt gij het werk nog meer bekorten door de graphische methode, die men methode der projectiën heet.

416. **Methode der projectiën.** — Zij daartoe ZA (fig. 186) de richting van den zonnestraal, onbeweeglijk genomen in den meridiaan EPE'P', dien men *universeel* of *algemeen* noemt. Projecteert in MAM'B, in de streek der Maan, den scheidingscirkel van schaduw en licht op de oppervlakte der Aarde, alsook den parallel pp', voor een van welks punten (Amsterdam bij voorbeeld) gij de phasen der Eclips wilt zoeken. Die dubbele projectie laat zich gemakkelijk uitvoeren.

Brengt door ZA een vlak *eme'm'* perpendicularair op de Ecliptica, welk vlak

klaarblijkelijk ZA, de lijn der middelpunten van Zon en Aarde, bevat. In den driehoek *emE* hebt gij $e =$ schuinscheider der Ecliptica $= \omega$, $E = 90^\circ$, $em =$ lengte van de Zon $= \odot$;

hieruit zult gij vinden $\cot . emE = \cos em$. $\text{tang } e = \cos \odot \text{ tang } \omega$, hetgeen u ook geven zal *emE*, alsook het complement $(90^\circ - emE)$, de hoek van het vlak perpendicularair op de Ecliptica of van de as der Ecliptica met den algemeenen Meridiaan. De figuur zal u aanwijzen hoe gij die as moet plaatsen op de projectie MAM'B, waarin M'M de lijn noord en zuid is; dit zal afhangen van de lengte der Zon grooter of kleiner dan 90 graden, waardoor het teeken van \cos

\odot wordt bepaald.

Maar gij kunt de berekening vervangen door een der eenvoudigste graphische constructies. Beschrijft op $ab = 2 \text{ tang } \omega$, een halven omtrek *acb*. Neemt, van 't westen *a* uitgaande, eenen boog $ac = \odot$. Laat uit *c* de loodlijn *cd* neder en trekt *Zd*. De lijn *Zd* zal de projectie van de as der Ecliptica zijn. Immers is $M'd = Mc \cdot \cos ac = M'c \cdot \cos \omega$; en daar $M'c = M'a = \text{tang } \omega$ is, zoo hebt gij, door substitutie in $M'd$, $M'd = \text{tang } \omega \cdot \cos \omega = \cot emE$. Derhalve is *Zd* het beloop van het projecteerend vlak van de as der Ecliptica, omdat, daar $M'd$ de cotangens is van *emE*, geprojecteerd in *fZM*, $M'd$ ook de tangens van het complement, of van den hoek der as van de Ecliptica met den algemeenen meridiaan M'M moet zijn. Gij ziet daarenboven uit de figuur, dat van $\odot = 90^\circ$ tot $\odot = 270^\circ$ de as der Ecliptica

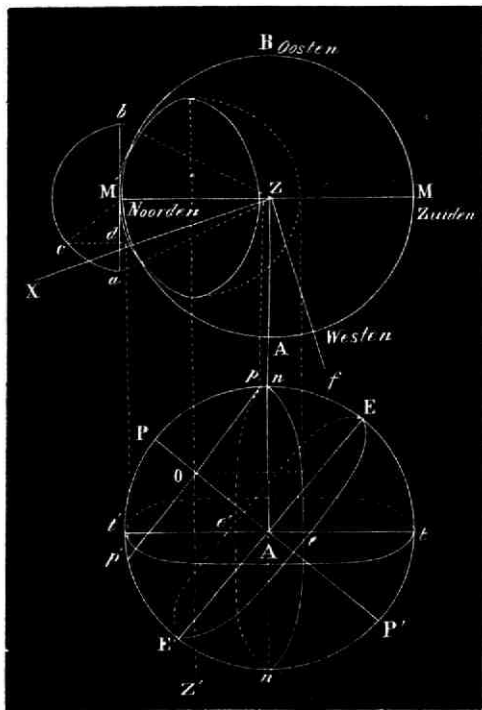


Fig. 186

in zooveel deelen als er minuten boog in de horizontale parallax der Maan zijn. In 58, zoo gij wilt, ten einde eene schaal te bekomen, die voor uwe constructiën bruikbaar is.

Laat, op het oogenblik der conjunctie in lengte, Zl de breedte zijn (genomen op de schaal ZA) van het middelpunt der Maan. Het punt l is een der punten, door welke de betrekkelijke loopbaan moet gaan. Neemt, om deze loopbaan te trekken, loodrecht op en parallel aan ZH , lengten lh , hk , die gelijk zijn de eene aan de *betrekkelijke* uurbeweging in lengte ($d\zeta - d\odot$), de andere aan de uurbeweging $d\lambda$ der Maan in breedte. Zet de eerste dezer lijnen van l naar het westen uit, en de tweede van h naar het *zuiden* of naar het *noorden*, naargelang de Maan naar het *noorden* of naar het *zuiden* van de Ecliptica loopt, en trekt de betrekkelijke loopbaan Kl . Bij het punt l teekent gij het uur der conjunctie (in waren zonnetijd) aan, en bij het punt K een uur minder; gij zult dan Kl , alsook den dagboog der ellips, overeenkomende met hetzelfde tijdsverloop, verdeelen in een zeker getal deelen, bestemd om dit tijdsverloop in gedeelten voor te stellen; vervolgens neemt gij op de schaal ZA eene passeropening gelijk aan de som ($d\odot + \delta\zeta$) van de halve diameters der Zon en Maan, en laat de punten van uwen passer, bij beproeving, derwijze loopen dat zij uitkomen aan hetzelfde uur, het eene op de betrekkelijke loopbaan, het andere op de projectie der parallel. Zoo zult gij het uur van den aanvang der Eclips gevonden hebben. Aan de andere zijde van het punt l naar K' , zal dezelfde handelwijs u het uur van 't einde aangeven, en 't gemiddelde uur zal dus dat van het midden der Verduistering wezen, welke duur blijken zal uit den afstand der middelpunten, op dit gemiddelde uur genomen op de betrekkelijke loopbaan en op de geprojecteerde parallel.

Daar de parallax der Zon als niet bemerkbaar wordt beschouwd, zoo is het duidelijk, dat de lijnen, die uit de verschillende punten van de aardparallel naar het middelpunt der Zon getrokken worden, allen onderling evenwijdig en loodrecht op het vlak van projectie $MAM'B$ zullen zijn. Gevolgelyk zal het middelpunt der Zon zich achtereenvolgens in dezelfde punten projecteeren als de waarnemer zelve, terwijl het middelpunt der Maan haar betrekkelijke baan zal doorloopen. De constructie en de voorgaande gevolgtrekkingen komen dus volkomen overeen.

417. — Merkt ten slotte op, dat gij, op het oogenblik wanneer de Verduistering voor eene gegeven plaats moet beginnen, bekend zijt met de ware uurhoeken TPZ TPM (fig. 188) van de Zon en de Maan, met de poolsafstanden PZ , PM van de

beide bollen, en met het complement PT van de breedte der plaats. Gevolgelyk zult gij de hoeken PTZ , PTM der verticalen met den Meridiaan, en de ware zenithsafstanden TZ , TM kunnen berekenen. Past op deze afstanden de hoogte-parallaxen ZZ' , MM' toe, en gij zult de schijnbare zenithsafstanden TZ' , TM' bekomen, waardoor gij in staat zult zijn tot de oplossing der beide driehoeken PTZ' , PTM' , waarvan gij twee zijden en den ingesloten hoek zult kennen;

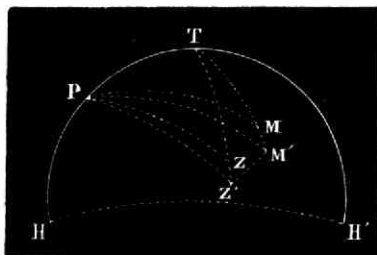


Fig. 188.

PT , TZ' ($PTZ' = PTZ$) voor den eersten; PT , TM' ($PTM' = PTM$) voor den

tweeden. Daaruit zult gij afleiden de hoeken TPZ' , TPM' en hun verschil $Z'PM'$; alsook de zijden PZ' , PM' , die gij overigens ook vinden zoudt, maar niet zoo spoedig, met behulp der parallaxen van rechte klimming en poolsafstand, toegepast op de ware standen. Voorts, daar de driehoeken $PZ'M'$, $PZ'T$ u de hoeken $PZ'M'$ en $PZ'T$ opleveren, zal het verschil $TZ'M'$ dezer beide hoeken (welk verschil gij ook door den driehoek $Z'TM'$ zoudt bekomen) de hoekafstand zijn tusschen het bovengedeelte van den verticalen Zonsdiameter en het aanrakingspunt, gelegen op de lijn der middelpunten $Z'M'$. Gij zult bijgevolg weten, naar welke plaats der zonschijf gij u moet gereed houden om de Maan te zien intreden, en zoo zult gij minder gevaar loopen van het oogenblik der aanraking te verzuimen. Dergelijke berekeningen zou men ook kunnen doen voor het einde der Eclips alleen, doch deze zijn veel minder nuttig, omdat hier de waarnemer de voortgaande afnemings van het verduisterd gedeelte volgt.



ZESTIENDE LES.

Physische gesteldheid der Maan.

De vlekken der Maan zijn blijvend. — De terugkaatsing geschiedt op de Maan evenals op gerimpelde vlakten. — Voorkomen der vlekken. — Namen van de vlekken der maanbergen. — De Maan schijnt geen dampkring te hebben. — Meening van Faye aangaande de mogelijkheid van eenen dampkring in het voor ons verborgen gedeelte der Maan. — Is de Maan bewoonbaar? — Uitwerking van den zonneschijn op onzen Wachter. — Invloed aan de Maan toegekend. — Rosse Maan. — Voorspellingen aan de Maan ontleend. — *Noot over het bepalen van de hoogte der maanbergen.*

418. **De vlekken der Maan zijn blijvend.** — Wanneer wij de oppervlakte der Maan beoefenen, gelijk wij die der Zon gedaan hebben, dan zullen wij onmiddellijk bevinden, dat onze Wachter in zijne verschillende punten onderscheiden tinten vertoont. Doch terwijl de vlekken der Zon van gedaante veranderen, elkander snijden en somtijds zelfs onder 't oog des waarnemers verdwijnen, bezitten de maanvlekken daarentegen eene bestendigheid, welke bewijst dat zij behooren tot de vaste stof van den Bol, op welken men ze bespeurt.

De terugkaatsing geschiedt op de Maan evenals op gerimpelde vlakten. — In haar geheel beschouwd, worden die vlekken of, juister, de voor het bloote oog bemerkbare tinten, kennelijk veroorzaakt door den aard der terugkaatsende oppervlakten in de verschillende streken der Maan. Het licht nu, dat zij ons toezendt, heeft niet die eigenschappen, welke het hebben zou indien het weerkaatst werd door gladde oppervlakten, zooals de groote vloeibare massa's (*). De ongelijkheden in

(*) Volgens de proefnemingen van Secchi bereikt de hoeveelheid gepolariseerd licht,

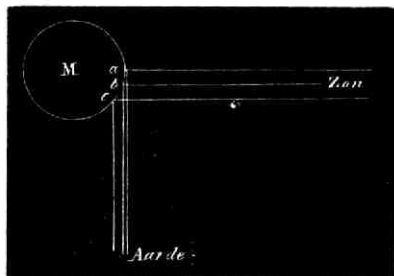


Fig. 189.

ons door de Maan toegezonden, haar maximum omstreeks het eerste kwartier, en die verhouding is nagenoeg dezelfde over 't gansche verlichte gedeelte. Hieruit volgt, dat de polarisatie moet voortgebracht worden, niet door gladde, maar door hobbelige en weerschijnende oppervlakten, zooals onregelmatige massa's van kristalstoffen, vulkanische zanden die mica, enz., enz. bevatten, omdat er in die ophoopingingen steeds facetten of zijden gevonden worden, die schuin genoeg zijn om naar de Aarde eene zelfde hoeveelheid gepolariseerd licht uit te zenden, onder den algemeenen weerkaatsingshoek (ZaA , ZbA , ZcA , enz.) der zonnestrallen (fig. 189). Wat de gladde oppervlakten betreft, gelijk de draipbare vloeistoffen die aanbieden, 't is duidelijk dat zij hoeveelheden gepolariseerd licht moeten opleveren, verschillend volgens de punten der verlichte oppervlakte, die men onderzoekt, dewijl de weerkaatsingshoek, en gevolgelijk ook de van dezen hoek afhingende hoeveelheid gepolariseerd licht, van 't eene punt tot het andere moeten verschillen.

licht moeten dus voortkomen uit verschillen in de geaardheid zelve der aard- of steendeelen, die het uitwendig omhulsel van onzen Wachter uitmaken.

419. **Voorkomen van de Maanvlekken.** — Ziedaar de slotsom, welke het verschijnsel in 't gros genomen, als men 't zoo noemen mag, oplevert. Maar wanneer gij, in plaats van met het bloote oog te zien, gebruik maakt van eenen kijker ter waarneming van de verschillende bijzonderheden, dan zullen u zekere veel belangrijker zaken blijken. Gij zult, bij voorbeeld,

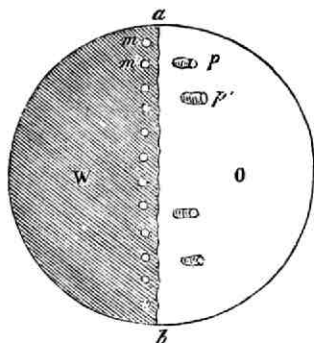


Fig. 190

punten van helderder glans bemerken, die op de omgevende verlichte deelen vooruitkomen; en bij deze punten p , p' , enz. (fig. 190), wier standen onveranderd blijven, zult gij kleine zwartachtige plaatsen bespeuren, die in grootte en stand in verhouding staan tot de heldere punten, maar die met den dag in vorm en afmeting veranderen, afnemende van de nieuwe tot de volle Maan, om dan van de volle tot de nieuwe Maan weder toe te nemen onder schijn-gestalten, die elke maand geregeld dezelfde zijn, die, in een woord, zich door hun gansche voorkomen doen kennen als wezenlijke schaduwen, die door achter haar, tegenover de Zon staande bergen geworpen worden over aanzienlijker of geringer lengten, naar gelang van de onderlinge standen van Zon en Maan. Gij zult ook de lijn ab , die het verlichte deel O van het donkere W scheidt, vol oneffenheden zien, veroorzaakt door afwisselende indiepingen en verhevenheden. Gij zult eindelijk in de geometrische schaduw, in de nabijheid van ab , kruinen m , m' , enz. ontwaren, die reeds verlicht worden als de nacht nog heerscht aan den voet der bergen, tot welke m , m' enz. behooren.

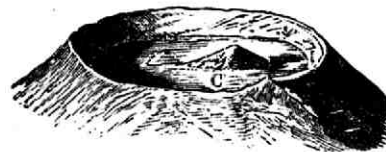


Fig. 191.

keelvormigen wal (fig. 191), waarvan het ingesloten gedeelte door-

420. Bepaalt nu de hoogte der bergen (*) en de diepte der dalen. Slaat nauwlettend de gedaante der schaduwen en die der hoogten, waarvan ze komen, gade. Weldra zult gij ontdekken, dat de meeste dier hoogten bestaan uit een cir-

(*) Zie de Noot aan 't einde dezer les, § 433.

gaans lager is gelegen dan de gemiddelde oppervlakte der Maan, en bij welks midden *c* een top ligt, die, gelijk de cirkelvormige wal zelf, gevormd schijnt te zijn ten koste van eerst in horizontale lagen geplaatste stoffen. De cirkelwallen hebben daarbij grootendeels zeer aanzienlijke afmetingen. Er zijn er, onder anderen die welke de namen Riccioli, Ptolemeus, Clavius, enz. dragen, wier diameters zelfs 160 of 180 kilometers bedragen; terwijl, als een klaarblijkelijk bewijs van indieping, de schaduw, die in de door hen omsloten ruimte valt, doorgaans meer uitgestrektheid heeft dan de naar buiten vallende schaduw.

Wij hebben op onze Aarde maar enkele cirkelvormige gebergten, die zich laten vergelijken bij de zeer talrijke gebergten van dien aard op de Maan: dat van Cantal, bij voorbeeld, met zijne breedte van 10 000 meters; dat van Ceylon, met een 35- a 40maal grootere oppervlakte, en toch nog veel kleiner dan de cirkelvormige maangebergten Ptolemeus, Clavius, enz.; wellicht is dit een gevolg van de intensiteit der zwaartekracht, die zes en een half maal geringer op de Maan dan hier beneden is, waardoor het uitwendig omkleedsel niet zwaar genoeg is om, zoo goed als dat des Aardbols, weerstand te bieden aan de oorzaken van uiteendrijving. Moet men die bergformatiën toeschrijven aan vulkanische natuurverschijnsels? Voorzeker hangen zij samen met de werking der centrale warmte, maar veeleer als kraters van opheffing dan als kraters van uitbarsting. Want bezwaarlijk kan men die ontzettend wijde monden beschouwen als van éénen oorsprong met de grootste openingen (700 a 800 meters) van onze tegenwoordige aardsche vulkanen.

Hoe dit wezen moge, de Maan vertoont, gelijk onze Bol, onmiskenbare sporen van achtereenvolgende geologische omwentelingen. Zoo ziet men vaak rondom een grooter walgebergte eenen bijwal verrijzen, veel kleiner dan de hoofdwal en kennelijk ten koste van dezen gevormd, daar zijn binnenste een lager niveau heeft dan de algemeene omvang van 't hoofdgebergte. Doorgaans ook schijnt het, dat de piek en somwijlen de beide pieken, die zich in 't midden der groote walvlakten vertoonen, na eene eerste opheffing des bodems ontstaan te zijn. Wat de cirkelvormige wallen zelve betreft, zij zijn meestal met elkaar verbonden door eene soort van heuvels, alsof de ondergrondsche gassoorten, welke werking de omwentelingen veroorzaakt moeten hebben, soortgelijke gevolgen als die wij op Aarde waarnemen op de Maan gehad en den grond tusschen de bezwijkende punten omhoog gedreven hebben.

421. **Namen van de vlekken der Maanbergen.** — Men heeft aan de bergen en groote vlekken der Maan namen gegeven, die meest ontleend zijn òf aan onze geographie òf aan be-

roemde Sterrenkundigen en andere vermaarde personen. Hevelius, die, ter samenstelling eener maankaart, de vroeger door Galileï, na de uitvinding der verrekijkers, ondernomen hoogtemetingen voortzette, voerde op onzen Wachter eerst de namen in van landen, zeeën en plaatsen op de Aarde, daar hij het, volgens zijn zeggen, niet durfde wagen de jaloerschheid gaande te maken door het invoeren van menschnamen. Riccioli, minder schroomvallig, zette de naamgeving van den Dantziger Sterrenkundige voort, en op de kaart, die Grimaldi op zijne beurt ontwierp, deelde hij zonder aarzelen leengoederen in de Maan aan zijne tijdgenooten, alsmede aan de groote geesten der verloopene eeuwen uit. Na hem zijn andere selenographieën of maanbeschrijvingen vervaardigd, zooals door Cassini tegen 't einde der 17de eeuw, door Lahire, Tobias Mayer, Lambert gedurende de 18de eeuw; eenige jaren geleden door Mädler en Beer, en telkenmale zijn er nieuwe namen aan de vroeger aangenomene toegevoegd. Van daar dat men naast die van Archimedes, Aristoteles, Hipparchus, Plato, Herodotus, Ptolemeus, Pythagoras, Thales, . . . Arzachel, Purbach, Clavius, Scheiner, Fabricius, Mästlin, Copernicus, Galileï, Kepler, Hevelius, Gassendi, enz., enz., en naast de geographische namen: Pyreneën, Cordilleras, Apennijnen, Uralisch gebergte, Hercynisch gebergte, enz., enz. . . ., mare Australe, mare Nubium, mare Fecunditatis, mare Serenitatis, enz., palus Somnii, palus Nebularum, palus Putredinis, enz., lacus Somniorum, lacus Mortis, enz., sinus Æstuum, sinus Roris, enz., enz., welke van vroeger tijd dagteekenen, thans de namen vindt van Newton, d'Alembert, Huygens, Bouguer, Flamsteed, Lalande, Herschel, Cuvier, Arago, Delambre, Linneus, Struve, Laplace, Élie de Beaumont, Boussingault, enz., en 't gebergte Leibnitz, 't gebergte Dörfel, enz., de zee van Humboldt, enz., enz.

Van de maanbeschrijvers sprekende, wil ik niet vergeten te zeggen, dat vóór Hevelius de Franschman Peyresc en zijn vriend Gassendi reeds in 't zuiden van Frankrijk maankaarten gemaakt hadden, die te Aix in 1634 en 1635 werden gegraveerd door zekeren Mellan, terwijl die van Hevelius eerst in 1647 verscheen. Nog moet ik zeggen, dat heden ten dage, zoo ik mij niet bedrieg, de bekwame directeur van het observatorium te Algiers, de heer Bulard, voorzien van een veel vermogenden telescoop met verzilverden spiegel, zich onledig houdt met het voltooiën van het werk zijner voorgangers.

422. **Hoogte der maanbergen.** — Galileï — ik zeide 't zoo even reeds in 't voorbijgaan — oefende zich het eerst in 't meten van de hoogten der maanbergen, en de voortreffelijke Sterrenkundige bevond, dat de afstand der verlichte toppen (in het donkere gedeelte der Maan) tot het heldere gedeelte der

Maan somtijds een twintigste van den diameter des Bols bedroeg, hetgeen hem tot hoogten van ongeveer 8 800 meters bracht. Hevelius verminderde de door Galilei bekomen maat ($\frac{1}{20}$) op $\frac{1}{25}$, hetgeen de hoogste ramingen tot op 5200 meters deed dalen. Later vermeende Herschel de resultaten zijner voorgangers nog merkelyk te mogen besnoeien en de getallen van Galilei en Hevelius tot 2800 te verlagen. Maar Mädler en Beer hebben aangetoond, dat die grenzen veel te eng zijn gesteld; en op de 1095 gemeten bergen, waarvan zij eene tafel hebben opgemaakt, zijn er 6 boven 5800 meters, 22 boven 4800 meters, enz., getallen, die de door Hevelius gegevene merkelyk nabijkomen, en tevens bewijzen, dat de geologische omwentelingen op de Maan moeten plaats gehad hebben in eenen graad van hevigheid, te vergelijken bij die der groote omkeeringen hierbeneden. Overigens, om zich daarvan te overtuigen, behoeft men enkel eenige resultaten, die men sedert tweehonderd jaar voor de Maan en de Aarde heeft bekomen, tegenover elkander te houden. Ik zeg sedert tweehonderd jaar, want het is opmerkenswaardig, dat men, dank zij Hevelius, de hoogten der voornaamste bergen in de Maan heeft gekend, eer men zelfs nog de hoogte van die der Aarde kende.

Hoogten der bergen op de Maan.

Dörfel	7603 meters.
Newton	7264 "
Clavius	7091 "
Casatus	6956 "
Curtius	6769 "
Tycho	6151 "
Sint-Catharina	5707 "
Huygens	5550 "
Picart	5175 "

Hoogten der bergen op de Aarde.

Piek Kunchinginga in den Himalaya (Thibet).	8588 meters	} de hoogste van Azië.
Nevada de Sorata (Amerika)	7696 "	
Chimborazo (Amerika)	6530 "	} de hoogste van Amerika.
Piek van Teneriffe	3710 "	
Mont Blanc (Alpen)	4810 "	} de hoogste van Afrika.
Mont Rose (Alpen)	4636 "	
Malahite of Nethou (Pyreneën).	3404 "	} de hoogsten van Europa.
Mont Perdu (Pyreneën).	3351 "	
		} Europa, enz.

423. De Maan schijnt geen dampkring te hebben. —

Wij hebben gezien (§ 418), dat de Maan, naar alle waarschijnlijkheid geen druijbare vloeistoffen heeft. De waarneming van haren overgang voorbij de Sterren zal ons toonen, dat zij ook geene, of althans genoegzaam geene veerkrachtige vloeistoffen bezit. Immers, bij hare snelle beweging door de Sterrenbeelden heen, ontmoet zij nu en dan Sterren aan de hemelvlakte, en *bedekt* deze, dat is, zij maakt ze gedurende haren voorbijgang voor ons onzichtbaar. Ware nu de Maan omgeven van gasvormige lagen, van eenen dampkring, dan zouden de lichtstralen, die tot ons komen van eene Ster, welke op het punt is van bedekt te worden, allengs moeten verzwakken bij haren tocht door de steeds dichter wordende gedeelten van de atmosfeer des Wachters, en de Ster zou in helderheid moeten afnemen alvorens zij geheel verdween; zij zou dan zelfs gekleurd worden en achtereenvolgens de verschillende tinten krijgen, waaruit het witte licht bestaat; want de dampkring zou op de stralen, die hem in zeer schuinsche richting doorklieven, de verstrooiende werking van een prisma hebben. Doch zoo is het niet: de Ster verdwijnt

plotseling; plotseling komt zij ook weer van achter de maanschijf te voorschijn in plaats van allengs aan te groeien en symmetrisch de verschillende kleuren te vertoonen, die hare bedekking waren voorafgegaan. Ziedaar dus zeer krachtige redenen om ons te doen gelooven dat de Maan zonder dampkring is.

Nog krachtiger redenen van overtuiging vindt men in de vergelijking tusschen den *berekenden* en den *waargenomen* duur der bedekkingen. Beide toch stemmen met merkwaardige nauwkeurigheid overeen, hetgeen natuurlijk niet plaats zou hebben, als de dampkring der Maan de van de Sterren uitgaande stralen, eer zij tot ons komen, naar dat lichaam heen buigen konden. Want op het oogenblik dat de rand *m* van onzen Wachter (fig. 192), bij 't onderscheppen van den rechtstreekschen straalbundel *SmA*, de Ster

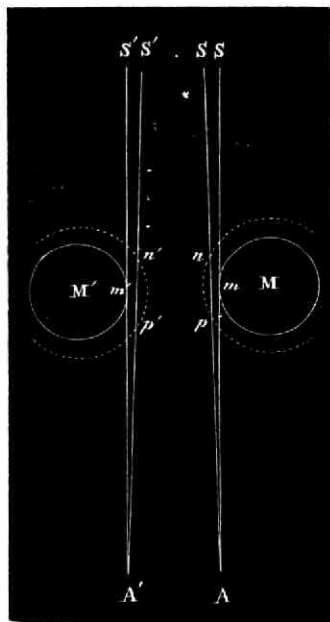


Fig. 192.

moest doen verdwijnen, zou de gebogen bundel *Sn_pA* nog tot ons

komen en ons haar doen zien. Zoo ook zou de Ster, eer zij weer te voorschijn trad door den straal S'm'A' nadat de Maan haar is voorbijgetrokken, reeds voor ons zichtbaar worden door den gebogen straal S'n'p'A', en de duur der bedekking zou op die wijze dubbel verkort worden.

Eene straalbreking van twee a drie seconden, eene zoodanige als te weeg gebracht zou worden door de geringe hoeveelheid lucht, die er in den ontvanger van onze beste luchtpompen overblijft nadat men het zoogenaamde ijdel of ledig daarin heeft gemaakt, zou voor ons nog merkbaar zijn en de aanwezigheid van eene maanatmosfeer, hoe dun of fijn dan ook, stellig bewijzen, op voorwaarde nochtans — het moet gezegd worden — dat de diameter der Maan vooraf zeer nauwkeurig bepaald was. Ondanks enkele redenen van twijfel aangaande dit laatste punt, hebben de voorgaande overwegingen bijeengenomen de Sterrenkundigen in 't algemeen genoopt, de Maan te beschouwen als een hemellichaam, dat geen bemerkbaren dampkring heeft. Evenwel heeft men somwijlen, gedurende de Zonsverduisteringen, het zeer fijne uiteinde der maansikkel stomp zien worden. Laussedat onder anderen, heeft bij de *Académie des Sciences* te Parijs eene photographie van Girard ingeleverd, welke den 18den Juli 1860 is gemaakt, en waarin die bijzonderheid zich op een merkwaardige wijze voordoet.

Meening van Faye aangaande de mogelijkheid van eenen dampkring in het voor ons verborgen gedeelte der Maan. — Hoe dan waarnemingen overeengebracht, die tot lijnrecht tegenovergestelde gevolgtrekkingen schijnen te voeren? Onlangs heeft Faye dienaangaande zeer aannemelijke meeningen geuit.

424. — Door eene vernuftige verbinding van Lagrange's theorie van den langwerpigen vorm der Maan met de nasporingen van den wereldberoemden Hansen betreffende de onderlinge standen van 't middelpunt der figuur en 't middelpunt der zwaartekracht van de Maan — nasporingen volgens welke het zwaartepunt van onzen Wachter op een afstand van bijna 60 kilometers van zijn figuurmiddelpunt moet liggen en wel in het van ons afgekeerde halfmond — scheen het den Franschen Sterrenkundige als ontegenzeggelijk te zijn, dat de dampkring der Maan, evenals onze zeeën, die het beneden 't algemeen niveau gelegen halfmond der Aarde ganschelijk overdekken, terwijl de vastelanden van 't andere halfmond daarentegen geheel uit haar opduiken, zich noodwendig heeft moeten begeven naar de minst hooge zijde om daar eene soort van luchtoceaan te vormen, wiens diepte in 't midden wel 60 kilometers kan bedragen, zonder dat men uit de Aarde het geringste spoor daarvan ziet.

Alleen dan, wanneer, gelijk bij de nieuwe Manen, de tijdstip-

pen waarop de Zoneclipsen plaats hebben, het van de Aarde afgewende halfrond, dat waarop juist de dampkring moet rusten, reeds een langdurigen zonneschijn heeft ondervonden, dan zouden de gasvormige lagen, uitgezet door de warmte, den cirkel van 't gemiddeld niveau, die het naar ons gekeerde halfrond begrenst, overschrijden en zijne randen als omzoomen. Bij volle Maan daarentegen — altijd volgens Faye — tegen den tijd waarop de meeste sterbedekkingen plaats hebben, zou de dampkring, na de voortdurende afkoeling van een langen, 7- a 8maal 24 uren durenden nacht ondergaan te hebben, weer binnen zijne grenzen getreden zijn, om ganschelijk voor ons te verdwijnen of, op zijn hoogst, om op de randen van onzen Wachter de bovenste minst dichte en minst straalbrekende van zijne lagen achter te laten.

Deze verklaring, gelijk men ziet, schijnt aan alles te voldoen. 't Is waar, andere Sterrenkundigen hadden reeds vóór Faye het denkbeeld geopperd van de trapsgewijze verplaatsing des dampkrings en zijnen overgang van 't eene halfrond naar 't andere, onder den verwarmenden invloed der zonnestrallen, die hem als 't ware voor zich uit drevén. Maar de gevoelens van Faye, als overeenstemmende met de mathematische theorieën, schijnen aannemelijker voor 't verstand dan weifelende en onbewezen stellingen.

Hoe dit zij, de Maan moge werkelijk eenen dampkring hebben, hoogst bezwaarlijk kan men toch aannemen, dat er op hare ons toegekeerde zijde doorgaans luchtvormige massa's van eenig aanbelang rusten; want in dat geval zou men er den een of anderen tijd voorzeker wolken zien, die de zuiverheid van hare vlekken deerden, en voor zoo ver ik weet heeft men iets dergelijks nooit waargenomen. Behoudens de randoverschrijding tijdens de nieuwe Manen, volgens Faye, en wellicht ook behoudens eenige achtergebleven veerkrachtige vloeistoffen in de diepten der maangroeven, moet men, naar mijn gevoelen, tot het besluit komen, dat het ons aanziende halfrond der Maan, zoo al niet de Maan in haar geheel, zonder gasvormig omhulsel is en bijgevolg ook geen druipbare vloeistoffen heeft, die anders niet missen konden eene atmosfeer van dampen voort te brengen.

425. Is de Maan bewoonbaar? — Uitwerking van den zonneschijn op onzen Wachter. — Met een zoodanige physische gesteldheid is de Maan voorzeker onbewoonbaar, althans voor zulke wezens als hierbeneden hun verblijf hebben. De brandende hitte van dien zonnegloed op eenen bodem, die gedurende eenen dag van bijna een halve maand lang van alle beschutting tegen de verschroeiende stralen ontbloot is, wordt bij 't invallen van den nacht opgevolgd door de vinnigste koude, dewijl geen beschermend dampkleed meer daar is om, gelijk op

de Aarde, de uitstraling naar de ijzige gewesten der ruimte te keer te gaan; en zoodanige afwisselingen binnen zulk een kort tijdsverloop schijnen even ongunstig voor den plantengroei als voor de gezondheid, gezwegen nog, dat de ademhaling zelfs onmogelijk moet zijn.

Ik wil daarmede echter niet beweren, dat de Maan volslagen woest moet wezen. Hij, die op onze Aarde zulk een rijke verscheidenheid in de bewerktuiging heeft gelegd, die grond en lucht en wateren met zulk een tal van verschillende wezens heeft bevolkt, kan Hij ook niet myriaden planten en dieren op de Maan hebben geworpen? En al onthield hij den laatsten de middelen, die hij ons heeft geschonken om door tusschenkomst der lucht te hooren, kan Hij den maanbewoners als vergoeding niet volmaakter zinnen toebedeeld hebben, wellicht den electrischen zin, waarvan wij menschen slechts een flauwen grondtrek bezitten, evenals zekere dieren den zin des lichts ook enkel als een zweem van orgaan hebben?

Dan, ik stuit mij zelve op deze glibberige helling, die mij van de stellige waarheden zou verwijderen, om mij in 't gebied der begoochelingen en droombeelden te voeren; en ten besluite wil ik, als een bewijs van 't belang dat men doorgaans in dergelijke vraagstukken stelt, u alleen den grooten opgang herinneren, dien vijf en twintig jaar geleden een boek maakte, hetwelk zijn ongenoemde schrijver had durven in 't licht geven onder den naam van een beroemden afwezige (*), ten einde daarmede te doen gelooven aan de ontdekking van *geveulegde* bewoners in de Maan (†). De zwaarte is overigens — vergeten we 't niet — vijf en een half maal geringer op de Maan dan op de Aarde, zoodat de lichaamsoefeningen er zeer gemakkelijk moeten vallen, en de liefhebbers van den dans er zonder te veel inspanning heerlijke kuitflickers zouden slaan.

426. **Invloed aan de Maan toegekend.** — Wat is er waars in den te aller tijd aan de Maan toegekenden invloed? Door waarnemingen in den loop van acht en twintig jaar in Duitschland gedaan, bevond Schubler, nu dertig jaar geleden, dat het gedurende de wassende Maan (van de nieuwe tot de volle) gemiddeld zesmaal regent, terwijl er gedurende de afnemende Maan (van de volle tot de nieuwe) slechts vijfmaal regen valt. Ofschoon de waarnemingen, in de vorige eeuw te Montpellier gedurende tien jaren door Poitevin gedaan, dezen tot eene omgekeerde uitkomst gebracht hadden, hebben toch de meteoro-

(*) Sir John Herschel, toenmaals aan de Knap de Goede Hoop.

(†) Hier volgen in 't oorspronkelijke Werk een paar regels, die door eene woordspeling, welke de Schrijver zelf als bijloen stempelt, niet wel vertaalbaar zijn. Zij luiden: *Certes, si quelqu'un volait dans cette affaire, qu'on me pardonne un mauvais jeu de mots, ce n'était pas le sélénite à coup sûr.*

logische opgaven van Parijs en die van de Gasparin te Orange (departement Vaucluse) een minimum van regendagen tijdens de afnemende Maan opgeleverd; terwijl Flaugergues daarenboven bevonden heeft, dat de barometerhoogte in het tweede octant (tusschen het eerste kwartier en de volle Maan) omtrent 1½ millimeter beneden de barometerhoogte van het laatste kwartier is; en daar deze hoogte doorgaans geringer is bij slecht weder, zoo schijnt men uit een en ander, tot op bewijs van het tegendeel, te mogen aannemen, dat het tijdperk, waarin de maan aan 't afnemen is, een weinig minder regen oplevert.

427. Daaruit zou men kunnen verklaren: waarom de bosch-wetten voorheen verboden hout te vellen tijdens de wassende Maan; waarom Plinius den raad gaf het tot den verkoop bestemde graan met de volle Maan, en daarentegen het ter bewaring bestemde met de nieuwe Maan te maaien; want tegen nieuwe Maan, na het drogere tijdperk van de afneming, moeten de minder vochtig gevelde en gemaaide gewassen ook voorzeker minder blootstaan aan bederf, terwijl het bij volle Maan neêrgelegde, als het vochtige tijdperk voorbij is, meer uitgezet en grooter in omvang moet zijn, hetgeen echter van den kant des verkoopers — om dit in 't voorbijgaan te zeggen — als die theorie steek hield, niet zeer kiesch zou gehandeld zijn. Datzelfde redenen zouden 't ook begrijpelijk maken, dat de meer aan rotting onderhevige zaden uitgestrooid moesten worden omstreeks het midden van den maanomloop, wanneer de vochtigheid gaat afnemen, en de meer duurzame in 't begin, als wanneer men kans heeft de regens te zien toenemen, enz.

428. — Maar worden die verschillende regels werkelijk gerechtvaardigd? Uitstekende landbouwkundigen, Duhamel du Monceau, onder anderen, verklaren in hunne lange practijk niets gevonden te hebben, waaruit zij tot een bepaald besluit kunnen komen. Zou 't niet eveneens gesteld zijn met den beweerdten invloed, dien de Maan in haar perigæum en de Maan in haar apogæum zou uitoefenen en die, volgens Pilgram aan Oostenrijks hoofdstad, de eerste 36, de tweede slechts 20 regendagen zouden geven op de 100 waargenomen fasen voor ieder der beide standen. En het zoo opgehemelde vermaarde stelsel van Toaldo, dat zes kanssen tegen *eene* op weersverandering aan de nieuwe Maan, *vijf* aan de volle Maan, *twee* aan ieder der kwartieren, *vijf* aan het perigæum, *vier* eindelijk aan 't apogæum toeschrijft, zal ook dat stelsel, ondanks de gunst waarin 't bij het volk staat, niet meer dan éenen twijfel moeten doen oprijzen, wanneer men in aanmerking neemt, dat de natuurkundige van Padua, bij de bearbeiding van de vijf en veertig jaren lang gedane waarnemingen, waarop hij zijne gevolgtrekkingen heeft gebouwd, *a priori* aan-

nam, dat de voornaamste maanphasen het langst haren invloed moeten aan den dag leggen, en aan dien invloed de weersveranderingen (een onbepaalde term) toeschreef, die er voorvielen twee en drie dagen hetzij vóór hetzij na het oogenblik waarop zij plaats grepen? Dat Toaldo's gevolgtrekkingen niet gaaf aangenomen kunnen worden, schijnt te natuurlijker daar andere physici, en onder dezen Pilgram, door waarnemingen, gedurende vijf en twintig jaren te Weenen gedaan, tot uitkomsten kwamen, die op verre na niet met de in Italië bekomene overeenstemden.

429. **Rosse maan.** — Alzoo niets zekers tot dusverre betreffende den meteorologischen invloed der Maan. Lange reeksen van waarnemingen zullen er ongetwijfeld nog vereischt worden, alvorens men dienaangaande tot eenigszins vertrouwbare gegevens kan geraken. Ik moet evenwel zeggen, dat, volgens Toaldo, 646 van de 760 regens zouden begonnen zijn (op een half uur na) bij den opgang, den ondergang en de doorgangen des Meridiaans van onzen Wachter. Ik moet er almede bijvoegen, dat dit Hemellichaam, volgens Schubler (in Duitschland) de *Zuiden- en Westenwinden* tijdens zijnen aanwas, de *Noorden- en Oostenwinden* daarentegen tijdens zijne afneming scheen te verwekken. Wat den verderfelijken invloed betreft, dien de Maan in zekere tijden des jaars zou uitoefenen op den plantengroei (rosse Maan), en te aller tijd op de gelaatskleur, op de vleeschspijzen, op verschillende ziekten, onder anderen op die der hersenen (*), wij hebben reeds gezien, bij 't behandelen der uitstraling onder een helderen hemel, wat wij te denken hebben van de *rosse Maan* (§ 273). Wij kunnen ons van de andere werkingen rekenschap geven door dezelfde theorie, want eene daling van 6 tot 8 graden beneden de omgevende temperatuur schijnt voldoende te wezen om den gewonen toestand der opperhuid te veranderen; om gevolgelijk, evenals zulks met eene buitengewone warmte 't geval zou zijn, zekere chemische werkingen en het afzetten van koolachtige zelfstandigheden op het inwendige der huidweefsels te weeg te brengen. Moeten onder soortgelijke voorwaarden de sterk afgekoelde spijzen ook het vocht des dampkrings niet verdichten, zoodat zij met eene soort van dauw bedekt worden, die hare ontbinding bespoedigt? Maar wat zou de Maan met dat alles te maken hebben? Zou zij niet doodeenvoudig de getuige en geenszins de bedrijfster van 't kwaad wezen?

(*) Voor de alchimisten was het menschelijk lichaam een klein heelal, dat met de Hemelbollen in verband stond. De Zon bestuurde de bewegingen van het hart, de Maan die der hersenen, enz. Vandaar de naam van *maanzieken*, als gelijkbeteekenend met *waan-sinnigen* toegepast op de lichthoofden, wier denkbeelden schijnen te veranderen met de afwisseling van de schijn gestalten der Maan.

430. **Voorspellingen aan de Maan ontleend.** — En nu de voorspellingen, afgeleid uit de verschillende *aspecten* van onzen Wachter, verdienen zij op hare beurt, nog in onze dagen met ernst beredeneerd worden? Wie, bij voorbeeld, zal zich inlaten met de weerlegging van het door Aretus beweerde, dat de horens der Maan, als zij den derden dag fijnpuntig zijn, eene maand mooi weer aankondigen? En die andere bewering van Varro, dat de bovenste maanhoren, als hij bij 't ondergaan stomp is, regen voorspelt gedurende het afnemen der Maan, terwijl er daarentegen regen zal vallen vóór de volle Maan, ingeval dat afgestompte zich aan den benedenhoren vertoont, — zou zij den minsten toets kunnen doorstaan? Men behoeft immers slechts van plaats te veranderen om beurtelings op het boven- en het ondergedeelte der Maan de projectie der dampen te zien, die haar ten deele bedekken, enz.

431. — Wanneer men nogtans zekere uitwerksels in verband brengt met de schijnbaar onbeduidende oorzaken, die ze te voorschijn roepen; als men, bij voorbeeld, ziet hoe enkele hoogst fijne pokstofdeeltjes de kiemen der geduchte ziekte dooden, die weleer zooveel slachtoffers maakte; als men een lancetprik den dood ten gevolge ziet hebben, omdat er op de punt van 't werktuig enkele onbespeurbare lijkdeeltjes waren achtergebleven; als men dolheid, borstziekten, enz., enz. schier zonder aanleiding ziet optreden; als men daarenboven denkt aan de strijdige meeningen van zeer groote geesten, van welke sommigen, zooals Galenus, Hippocrates, en in onze dagen Hoffmann, Gall, enz., bij de zieken geloof slaan aan critische dagen (den 7den, 14den, 21sten enz.) der Maan, terwijl anderen, waaronder Olbers, die groote autoriteit der 19de eeuw, verklaren, dat zij den invloed dier dagen nooit ontwaard hebben, — dan wordt men wel genoopt, ondanks de zwakke redenen die er voor pleiten, nog niet zoo onvoorwaardelijk en volstrekt die meeningen te verwerpen, waarop een lange jarenreeks den stempel van goedkeuring heeft gedrukt.

432. — Een jonge dame, wie 't verdroot gedurig rampen te hooren voorspellen, die, naar men beweerde, eerlang ten gevolge van zekere hemelverschijnsels moesten plaats grijpen, liet zich, nu vijftig jaar geleden, aanmelden bij Bouvard, toenmaals directeur van 't Observatorium te Parijs, ten einde dezen heer te raadplegen. „Zeg mij de ronde waarheid,” sprak zij tot hem, „het carnaval is ophanden; maar als wij moeten sterven, ga ik regelrecht naar mijn biechtvader. Zoo niet, dan wacht ik de vasten af en ga eerst naar mijn modemaakster.”

De vorm zelve, waarin de jonge dame hare vraag kleepte, geeft duidelijk te kennen, dat zij voor zich zelve geenszins be-

hoefde gerustgesteld te worden, en dat zij vooruit wist waaraan zij zich met opzicht tot den schijnbaar geduchten invloed der hemelverschijnsels te houden had. Wij zouden ongeveer als zij kunnen handelen met betrekking tot de Maan. Overijlen we ons echter niet te zeer; en den raad, dien onze dame verlangde van den Sterrenkundige, die overigens in staat was met zekerheid op de hem gestelde vraag te antwoorden, — trachten we dien zelven te bekomen door onze waarnemingen des hemels, die wellicht ook eenmaal, wanneer zij over een genoegzaam jarental voortgezet en naar eisch beredeneerd zijn, ons het gewenschte antwoord zullen geven.

NOOT

OVER HET BEPALEN VAN DE HOOGTE DER MAANBERGEN.

433. — Niets eenvoudiger dan 't bepalen van de hoogte der maanbergen. Neemt, bij voorbeeld, het geval waarin de Maan in haar eerste of laatste kwartier is, en de scheidslinie van schaduw en licht zich afteekent volgens AB (fig. 193). Zij

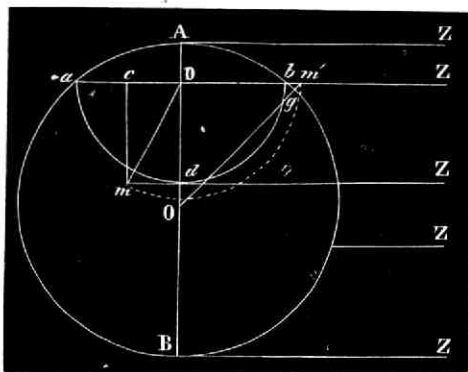


Fig. 193.

$A\delta B$ het verlichte en AaB het donkere gedeelte; ZA , Zb , ZB de zonnestrallen genoegzaam loodrecht op het cirkelvlak AB , aan welks omvang zij de Maan raken; eindelijk, om eerst de door Galilei en Hevelius gevolgde methode te bezien, zij c een verlichte bergtop, in de schaduw gelegen op den schijnbaren afstand cD van AB .

Laat volgens adb den kleinen in ab geprojecteerden cirkel dalen, trekt den zonnestraal Zdm als tangens van den cirkel in het punt d tot daar waar hij de lijn cm , perpendicular op ba , ontmoet. Het dus bepaalde punt m zal de top des bergs zijn op zijn kleinen cirkel, en om hem op de verticaal of op den maanstraal te bekomen, behoeft gij slechts, daar O het middelpunt der Maan is, den rechthoekigen driehoek ODm te construeeren, gevormd uit OD , Dm , als zijden van den rechten hoek, en uit de hypotenusa Om , welke verschil met den straal der Maan de gezochte hoogte zal zijn.

Wilt gij de constructie graphisch verrichten? Snijdt uit het punt D als middelpunt, met Dm tot straal, DbZ in m' , en verbindt het punt m' met het middelpunt O der Maan. Daar g de doorsnede is van den omtrek $A\delta B$ en de lijn Om' , zal gO de straal der Maan en gm' de hoogte van den berg zijn. De vergelijking van cD met ba en met BA zal tevens klaarblijkelijk al de getallen-elementen der bepaling opleveren.

Men kan de vraag ook oplossen door de lengten der slagschaduwten. Aan deze ma-

nier schijnen Mädlér en Béer de voorkeur te hebben gegeven, omdat men door haar de grootte der indiepingen kan bepalen. Volkomen dezelfde constructie en berekening als de voorgaande zou overigens op dit tweede geval toepasselijk zijn. Als kf , bij voorbeeld (fig. 194) de schijnbare lengte der schaduw is, zal de nederlating van den in ab geprojecteerden cirkel u den top m van den berg op den straal Dm van dezen kleinen cirkel geven, en de constructie van den driehoek mDO , rechthoekig in D , dien gij in DOm' kunt laten vallen, zal u op de verticaal Om' de hoogte gm' van den berg geven

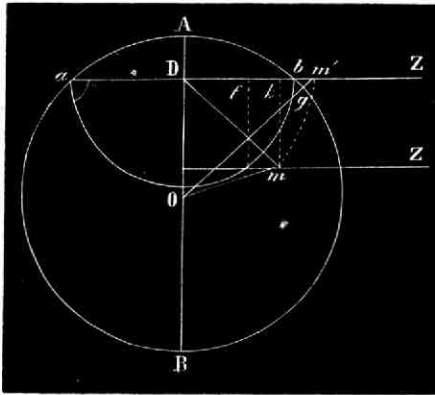


Fig. 194.

vallen, zal u op de verticaal Om' de hoogte gm' van den berg geven



ZEVENTIENDE LES.

De Planeten

Kenmerken der Planeten. — Betrekking tusschen de namen van de dagen der week en die der Planeten. — Vermoedelijke oorsprong der aan de planeten gegeven namen. — Oude Planeten. — Ontdekking van Uranus in 1781. — Wet van Bode of van Titius — Ontdekking der kleine Planeten, gelegen tusschen Mars en Jupiter, op den gemiddelden afstand van ongeveer 28. — Theorie van Olbers aangaande de uiteenbarsting eener groote Planeet. — Ontdekking van Neptunus. — Denkbeeld van de methode door Le Verrier aangewend. — Planeten, tusschen Mercurius en de Zon ondersteld. — *Vulcanus*; waarneming van doctor Lescarbault. — Derde wet van Kepler. — Vreemde verschijnselen, die de bewegingen der Planeten opleveren, als men de Aarde tot middelpunt dezer bewegingen aanneemt. — Stelsel van Ptolemeus. — Eenvoudigheid der bewegingen, daarentegen, als men ze in verband brengt tot het middelpunt der Zon. — Stelsel van Copernicus. — Verklaring van de schijnbare stilstanden en teruggaande bewegingen der Planeten. — Stelsel van Tycho-Brahé. — *Noten*: 1^o Over de asteroïden tusschen Mars en Jupiter. — 2^o Over de ontdekking van Kepler's wetten; oplossing van Kepler's problema. — Bepaling van de knopen en voerstralen eener Planeet. — Helling der loopbaan op de Ecliptica. — Lengten der Planeet in de loopbaan, te rekenen van de lijn der knopen. — Omgekeerd problema. — Ontwikkeling van de anomalie en den voerstraal in eene functie van tijd. — Berekening der lengte en rechte opklimming. — Toepassing op de berekening van de *tijsvereffening*.

434. **Kenmerken, die de Planeten onderscheiden.** — Men noemt *Planeten* (Grieksch *planetes*, dwalend, dolend) hemellichamen, die op het eerste gezicht het voorkomen van vaste Sterren hebben, maar zich van deze onderscheiden door eene *eigen beweging* te midden der Sterrenbeelden heen. Zoodanig was het bijzonder kenmerk, door de Ouden aangegeven. Sedert de uitvinding der verrekijkers hebben de nieuweren een tweede kenmerk gevonden, dat sterk uitkomt voor de meest nabijzijnde en helderste, veel minder echter voor de kleine of zeer ver verwijderde, maar dat toch de veelvermogende kijkers eindelijk op de voornaamste ontwaren. Ik bedoel hare *schijf*, vaak aanzienlijk, vergeleken bij de *lichtpunten* die de vaste Sterren vertoonen. Wij hebben gezien dat de grootte dezer schijf *de vonkeling belet*, een derde reeds door de Ouden opgemerkt maar niet verklaard kenmerk, dat evenwel niet zoo volstrekt algemeen is als het voorgaande, als het eerste vooral, daar de Planeet, die in glans doorgaans al de andere overtreft, Venus, wanneer zij onder zekere omstandigheden een kleinen schijnbaren diameter heeft, somwijlen vonkelt.

Ondanks de stellige verzekering van enkele verheven geesten, die voor en na het juk der ingewortelde meeningen afschudden, bleef het tot in de eerste jaren der 17de eeuw een schier eenparig geloof, dat de Planeten zich wentelden rondom de Aarde, van welke men de verschillende bewegingen aan den hemel afhankelijk waande. Bij zoodanig geloof was het niet onnatuurlijk, dat men den Dwaalsterren, wier beschouwing ons nu zal bezig houden, allerlei invloed op onzen Aardbol toekende. Het behoeft ons alzoo niet te verwonderen, als wij een kennelijk verband aantreffen tusschen de namen der Planeten en de namen die nog heden, bij de meeste nieuwere volken, aan de zeven dagen der week worden gegeven. Ziehier hoe dit verband, volgens Herodotus en Dio Cassius, sinds de hoogste oudheid schijnt vastgesteld te zijn.

435. **Verband tusschen de namen der weekdagen en die der Planeten.** — Door de Zon en de Maan onder de Planeten op te nemen, terwijl men de afstanden tot de Aarde naar zekere aan de schijnbare omwentelingen ontleende teekenen beoordeelde, telde men tot in 1781 zeven Planeten, die men, naar volgorde van vermeenden afstand, door de volgende namen en teekens voorstelde:

Maan.	Mercurius.	Venus.	Zon.	Mars.	Jupiter.	Saturnus.
☾	♿	♀	☉	♂	♃	♄

Deze Hemellichamen hadden beurtelings het toezicht over de verschillende uren van den dag, welks naam ontleend werd aan die Planeet, welke met het eerste uur overeenkwam, wanneer men, beginnende bij de verst afgelegene en voortgaande tot de meest nabijzijnde, al de Planeten zooveelmalen had afgeteld als vereischt werd op de vier en twintig uren van den voorgaanden dag. Daar nu Saturnus het eerste uur van zekeren dag regeerde, aan welken dag hij zijnen naam gaf: *Zaterdag* (*Saturni dies* der Latijnen, *Saturn-day*, *Saturday* der Engelschen, *Samedi* der Franschen, enz.), zoo regeerde Jupiter het 2de uur van denzelfden dag, Mars het 3de, de Zon het 4de, Venus het 5de, Mercurius het 6de, de Maan het 7de; verder Saturnus het 8ste, . . . het 15de, . . . het 22ste, Jupiter het 23ste, Mars het 24ste, eindelijk de Zon het 25ste of het eerste uur van den volgenden dag, die nu den naam kreeg van *Dag der Zon*, *Zondag* (*Sun-day* der Engelschen, *Sonntag* der Duitschers, enz.), *dag des Heeren*, *dies Dominica*, bij verbastering in 't Fransch *Dominqua*, *Dominque*, *Dominche* . . . , *Dimanche*. Vervolgens regeerde Venus het 2de uur van den Zondag, Mercurius het 3de, enz., de Zon het 8ste, . . . het 15de, . . . het 22ste, Venus het 23ste, Mercurius het 24ste,

en de Maan of Luna het 1ste uur van den volgenden dag *Lunae dies*, *Maandag* (*Lundi* der Franschen, *Monday* der Engelschen, *Montag* der Duitschers, *Mandag* der Denen en Zweden, enz.). Op gelijke wijze komt men op *Mars* voor het eerste uur van de *dies Martis*, den dag van Mars (der Franschen *Mardi*, dien de Nederlanders *Dinsdag*, de Duitschers *Dienstag* of *Dinstag*, de Engelschen *Tuesday*, de Denen *Tirsdag*, de Zweden *Tisdag* heeten, naar het Germaansche evenbeeld van den krijgsgod Mars, den god *Tuesco*, *Tuisco*, *Tiëg*, *Diu*, *Die*, enz.); — zoo ook op *Mercurius* voor de *dies Mercurii* (der Franschen *Mercredi*, bij de meeste Germaansche volken benoemd naar 't evenbeeld van den romeinschen Mercurius, den god *Wodan* of *Odin*: Nederlandsch *Woensdag*, Engelsch *Wednesday*, Deensch en Zweedsch *Onstag*, enz.); — op *Jupiter* voor de *dies Jovis* (Fransch *Jeudi*, in de Germaansche talen benoemd naar den Scandinavischen Jupiter, den god *Thor*, den *Dondergod*: Nederlandsch *Donderdag*, Hoogduitsch *Donnerstag*, Engelsch *Thursday*, Zweedsch *Thorsdag*, Deensch *Törsdag*, enz.); — op *Venus* voor de *dies Veneris* (Fransch *Vendredi*, bij de Noordsche volken benoemd naar Venus' evenbeeld, de gemalin van Odin, *Frigga* of *Freya*: Nederl. *Vrijdag*, Hoogd. *Freitag*, Eng. *Friday*, Deensch en Zweedsch *Fredag*, enz.); — waarna men weder op *Saturnus* komt, die eene nieuwe reeks opent.

In de middeleeuwen bezigden de Astrologen tot hetzelfde doel

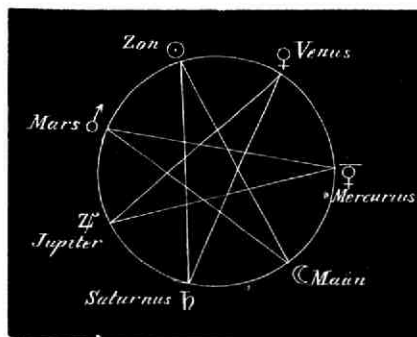


Fig. 193.

eene soort van kabalistische Sterren, die beter in overeenstemming waren met al hun geheimzinnig werk. Verdeelt (fig. 195) eenen cirkelomtrek in zeven gelijke deelen en plaatst op de deelpunten de zeven Planeten in de boven aangegeven orde. Trekt vervolgens van de eene Planeet naar de andere rechte of kromme lijnen, op de wijze zooals de figuur doet zien, en gij zult tot dezelfde uit-

komst geraken als bij de vorige combinatie. Zoo voert u de Zon tot de Maan, de Maan tot Mars, Mars tot Mercurius, Mercurius tot Jupiter, Jupiter tot Venus, Venus tot Saturnus, eindelijk Saturnus tot de Zon, en daarmee is de week afgehoopen.

436. — Het was dienvolgens zeer natuurlijk, dat men de

teekens, die de Planeten voorstellen, tevens toepaste op de dagen, die de namen dezer Planeten dragen. Werkelijk duidt men dan ook de zeven dagen der week op deze wijze aan:

Maandag.	Dinsdag.	Woensdag.	Donderdag	Vrijdag.	Zaterdag.	Zondag.
☾	♂	♃	♃	♀	♁	☉

Vermoedelijke oorsprong der aan de Planeten gegeven namen. — Wat den oorsprong der namen en vooral der teekens betreft, zij verliest zich in den nacht der tijden. De eenen hervinden er de Chaldeeſche, Griekſche of Egyptiſche godheden in, met hare kenmerkendſte attributen; anderen meenen er de latere godheden der Latijnen in te herkennen. Evenwel ziet men vrij algemeen eenen *caduceus* of slangenſtaf in 't zinnebeeld van Mercurius; eenen ſpiegel met zijn handvatſel in dat van Venus, de Planeet wier ſchitterende ſchoonheid inderdaad wel aanspraak ſcheen te mogen maken op het ſymbool van de moeder der Gratiën. De roode kleur van Mars, die het door den oorlog vergoten bloed in de gedachte brengt, ſchijnt aanleiding te hebben gegeven tot de ſamenvoeging van een ſchild en een pijl. Jupiter, de koning des Hemels in de classieke Mythologie, moest natuurlijk, naar men beweert, voorgesteld worden door den *zigzag* des blikſems, anderen zeggen, doodeenvoudig, door de eerste letter van zijn Griekſchen naam (*Zeus*, god), eene Z, met eene ſtreep er door. Saturnus eindelijk, de vader des Tijds, kon niet beter afgebeeld worden dan door 'them altijd bijblijvend moordwapen, de zeis, bestemd om de ſtervelingen voor en na weg te maaien.

437. Oude Planeten. — Ontdekking van Uranus in 1781. — Veel eeuwen achtereen zou men 't, op enkele ſchaarsche uitzonderingen na, voor eene ſoort van ketterij beſchouwd hebben, als iemand onderſteld had, dat er in den Hemel meer dan zeven Planeten waren. Zelfs tot in de tweede helft der vorige eeuw zouden de Sterrenkundigen niet hebben durven gelooven, dat er nog onbekende Planeten beſtonden. Geen wonder dan ook, dat Herschel, wiens naam men nog te nauwernood kende, toen hij den 13den Maart 1781 bij de Ster H der Tweelingen een beweeglijk Hemellichaam met waar te nemen afmetingen beſpeurde, zich wel wachtte in zijne ontdekking aanvankelijk iets anders te zien dan eene *Komeet zonder ſtaart*. Vooraf moesten de Sterrenkundigen, en onder hen de president Saron het eerst, het onderscheidend kenmerk der planeetbanen herkennen aan de kromme lijn, die het nieuwe hemellichaam beſchreef, om te kunnen beſluiten het als eene Planeet te beſchouwen.

Ten tijde van Herschel toch twijfelde men niet meer aan de

beweging der Aarde; en onze Bol werd reeds sedert ruim honderd en vijftig jaren niet meer beschouwd als het middelpunt van het Heelal. Men wist dat de dwalende lichamen des Hemels, in plaats van zich om ons heen in de ruimte te bewegen, integendeel rondom de Zon liepen: de Planeten in bijna cirkelvormige ellipsen, de Kometen in verbazend langwerpige ellipsen, die zeer veel naar parabolen, ja somtijds naar hyperbolen gelijken. Eene slechts zeer weinig uitmiddelpuntige loopbaan moest alzoo Herschel's Ster onder de Planeten doen plaatsen.

Alzoo was dan, in strijd met de best gevestigde meeningen, de Astronomie der Planeten met een achtste lichaam verrijkt. Herschel maakte aanspraak op het recht van een naam aan de nieuwe Planeet te geven en sloeg dien van *Georgium Sidus* (Ster van George) voor, ter eere van zijnen weldoener den koning van Engeland George III. Maar Lalande drong op den naam van Herschel zelve aan, terwijl anderen ten gunste van Astrea, Cybele, enz. pleitten, en Bode, een Berlijnsch Sterrenkundige, den naam *Uranus* begeerde, als eene herstelling in eere, die men den oudsten der goden verschuldigd was. Deze laatste naam behield het veld. Doch door Lalande's bemoeiing werd de voorletter van Herschel's naam vereeuwigd in 't astronomisch zinnebeeld (Υ) der Planeet, wier middelbare afstand van de Zon werd gelijk bevonden aan ongeveer negentienmaal den afstand, die ons van 'tzelfde Hemellichaam scheidt.

438. **Wet van Bode of van Titius.** — De ontdekking van Herschel en de plaats, die Uranus aan den Hemel kwam innemen, bracht een oud denkbeeld van Kepler in herinnering. Deze beroemde Man was door 't overwegen der harmonie in de schepping op het vermoeden gebracht, dat er nog twee onbekende Planeten bestonden, de eene tusschen Mars en Jupiter, de andere tusschen Venus en Mercurius; doch later had hij ter wille van zekere vrij vreemdsoortige combinatiën zijn eerste denkbeeld laten varen. Inderdaad, het moest wel natuurlijk schijnen, voortaan te gelooven aan 't bestaan van nieuwe Planeten; want de Ster van Herschel beantwoordde volkomen aan een der termen van de volgende reeks, vroeger openbaar gemaakt door den hoogleeraar Titius te Wittemberg, als voorstellende (de Aarde δ medegerekend) de afstanden van de Planeten tot de Zon, in welke reeks men nog eene gaping ziet voor 't getal 28:

4	7	10	16	28	52	100	196
\varnothing	♀	♁	♂	.	♃	♅	♁

Deze reeks, die men verkrijgt door achtereenvolgens bij het getal 4 de termen eener zeer eenvoudige meetkunstige reeks

(0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, ... enz.) op te tellen, duidde vrij wel de bekende afstanden aan;

$$\left(\begin{array}{cccc|ccc} 3,87 & - & 7,23 & - & 10 & - & 13,24 & - & 52,03 & - & 93,39 & - & 191,83 \\ \text{♁} & & \text{♀} & & \text{♁} & & \text{♂} & & \text{♃} & & \text{♄} & & \text{♅} \end{array} \right).$$

doch daar zij louter empirisch was, bleef zij onopgemerkt in het werk van den Witterbergschen hoogleeraar, totdat Bode haar weer te berde bracht in een zijner eigen geschriften, waardoor deze reeks, — om dit in 't voorbijgaan te zeggen — ten gevolge van een misverstand, waartegen trouwens de Berlijnsche geleerde zelf eerlijk is opgekomen, den naam van *wet van Bode* heeft bekomen, terwijl men haar veeleer *wet van Titius* had moeten heeten. Hoe dit zij, daar de nieuwe Planeet op zeer weinig na aan de gestelde wet gehoorzaamde, mocht men bilijkerwijze hopen, dat de gaping op den term 28 te een of ander tijd zou aangevuld worden (*).

439. **Ontdekking der kleine Planeten tusschen Mars en Jupiter op den middelbaren afstand van ongeveer 28.** — 't Was op den eersten dag dezer eeuw dat Piazzì, directeur van 't observatorium te Palermo, bij het opsporen eener Ster, die Wollaston in zijne Lijst onder den naam van 87° van Mayer had opgenomen, omstreeks de aangeduide plaats eene andere zeer kleine Ster (van de 8° grootte) bespeurde, die hij verscheidene dagen achtereen gadesloeg en bij welke hij alras eene verplaatsing waarnam. 't Was dus een nieuwe Planeet. Piazzì noemde haar Ceres en gaf haar een teeken, dat in onbruik is geraakt. Olbers bepaalde op zijne beurt hare loopbaan, die hem eerst cirkelvormig toescheen, maar die Burckhart en Gauss weldra elliptisch bevonden, met een gemiddelden afstand van 27,7 van de Zon.

De gaping 28 was alzoo verwonderlijk wel aangevuld. Niets scheen er gevolgelijk voortaan aan 't planetenstelsel te ontbreken. En toch ontdekte Olbers, sterrenkundige en geneesheer te Bremen, op den 28sten Maart 1802, terwijl hij Piazzì's planeet opzocht, op zijne beurt eene andere, Pallas. Maar, nog verwonderlijker uitkomst! de door Gauss berekende ellips gaf opnieuw den gemiddelden afstand van 27,7.

Zulk een samentreffen moest de Sterrenkundigen wel ten

(*) De Lezer loope intusschen niet te hoog met deze zoo vaak opgevijzelde wet van Bode. Onze voortreffelijke Sterrenkundige F. Kaiser velt er het volgende oordeel over (*De Sterrenhemel*, deel I, blz. 89, 3de druk): Wij moeten het [vermeende verband door de wet van Titius uitgedrukt] alle waarde en alle betekenis ontzeggen en kunnen het hoogstens geschikt achten als een hulpmiddel, om de getallen lichtelijk in het geheugen te bewaren, die ten naaste bij de verhouding uitdrukken tusschen de afstanden, waarop de planeten van de Zon verwijderd zijn."

hoogste verbazen, te meer daar Ceres en Pallas eenige zeer bevreemdende verschijnsels opleverden. De oude Planeten en ook Herschel's planeet bewegen zich toch in vlakken, die zeer weinig helling op de ecliptica hebben; want de breedte des gordels, die haar bevat en die wij onder den naam van *Zodiak* of *Dierenriem* leerden kennen, gaat, uit de Aarde gezien, niet meer dan een hoek van 8 graden hetzij boven hetzij beneden dit vlak. De banen van Ceres en Pallas, daarentegen, vooral die van Pallas, bleken zeer aanzienlijke hellingen met betrekking tot het middelpunt der Zon te hebben; $10^{\circ}37'$ voor de eerste,

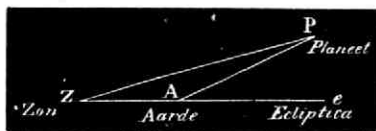


Fig. 196.

$34^{\circ}37'$ voor de tweede. Hieruit moet volgen, dat de beide Planeten, uit de Aarde gezien in zekere standen, waarbij de hoek PAe (fig. 196) grooter wordt dan PZa zich nog veel verder van de Ecliptica moeten verwijderen. De

volumens dezer nieuwe Planeten waren daarenboven schier onbeduidend, daar, volgens Herschel, de diameter der eene niet meer dan 260, die der andere dan 180 kilometers bedroeg. Ondanks hare kleinte, schenen de nieuwe Planeten ook grove oneffenheden op haren omvang te vertoonen. Eindelijk, hoewel de gemiddelde afstanden tot de Zon dezelfde waren, doorliep Ceres eene weinig excentrische ellips, terwijl de ellips van Pallas zeer uitmiddelpuntig was.

Theorie van Olbers aangaande de uiteenbarsting eener groote Planeet. — Bij zoodanige omstandigheden meende Olbers de beide kleine Planeten te mogen houden voor stukken eener groote Planeet, die op het kruisingspunt der loopbanen was uiteengesprongen; want zóó viel het niet moeielijk, zich rekenschap te geven en van de groote veranderingen, die de oorspronkelijke helling en excentriciteit voor ieder afgescheurd deel onder de verschillende werkingen der uiteenbarsting hadden ondergaan, en van de onregelmatigheid der omtrekken en schier volkomen gelijkheid der gemiddelde afstanden, en van de hooge dampkringen als gevolg van de aanzuiging des oorspronkelijken dampkrings door de grootste stukken, enz. Nam men deze onderstelling voor waarheid aan, dan mocht men ook verwachten dat men de nog onbekende stukken zou opsporen tijdens hunnen loop door die soort van engten, gevormd door de beide loopbanen omstreeks hare snijpunten (*). Dit juist ge-

(*) Volgens de gronden der Werktuigkunde moeten al de loopbanen elkander op het punt der uiteenbarsting snijden, behoudens de wijzigingen, die de wederzijdsche storingen der verschillende Planeten kunnen te weeg gebracht hebben.

beurde den 2den September 1804 met Juno, die door Harding werd ontdekt als eene Ster van de 8ste grootte bij de Ster 98 van de Visschen (Lijst van Bode), en den 29sten Maart 1807 met Vesta, die door Olbers gevonden werd met het voorkomen eener Ster van de 5de tot de 6de grootte onder de Sterren van de Maagd.

De schrandere gissing van den Bremer Sterrenkundige werd daarenboven gewettigd door de middelbare afstanden, weinig verschillende van de vorige (26,7 en 23,6), samenvallende met tamelijk uiteenlopende hellingen op de Ecliptica ($13^{\circ}3'$ en $7^{\circ}8'$), met eene aanzienlijke excentriciteit en onregelmatige omtrekken voor Juno, eene geringe excentriciteit voor Vesta, enz. Lalande leende, in de *Connaissance des Temps* van 1814, het gezag van zijne goedkeuring aan deze zonderlinge onderstelling, door het bepalen van de ontploffingskracht, die er vereischt was om het verschijnsel voort te brengen, en door aan te toonen dat die kracht, *op zijn hoogst*, in staat moest geweest zijn om aan de waargenomen fragmenten snelheden mede te deelen, gelijk aan twintigmaal de snelheid (ongeveer 460 meters) van een vier-en-twintig-ponder.

Wanneer men denkt aan de ontzettende zuilen lava, die de vulkanen opwerpen, en vooral aan de groote omkeeringen, die de werking der centrale hitte vaak op onzen Aardbol heeft te weeg gebracht, vindt men in de cijfers van den Franschen meetkunstenaar niets, dat buiten verhouding staat tot de krachten der natuur. Uit zekere oogpunten zouden de vorige resultaten ontleend schijnen aan de hooge waarschijnlijkheid der ontdekkingen, die, na een stilstand van acht en dertig jaren, bijna slag op slag nieuwe *asteroïden* (zoo noemt men naar Herschel's voorslag de kleine Planeten) kwamen voegen bij de vier *asteroïden*, die men in 1807 kende.

Immers, sedert den 8sten December 1845 tot den 4den November 1866 hebben eenige Sterrenkundigen, die met onvermoeibare vlijt den Hemel doorzoeken, het aanzijn gestaafd van 85 tot dusverre onbekende kleine Planeten, zich vertoonende als Sterren van de 10de, 11de of 12de grootte, en alle begrepen tusschen Mars en Jupiter, met gemiddelde afstanden die weinig van 28 verschillen, maar met onderling zeer uiteenlopende excentriciteiten en hellingen, somwijlen zelfs met onregelmatige omtrekken, evenals die der vroeger ontdekte *asteroïden* (*). Al mogen ook zoodanige bijzonderheden de waarheid der haar verklarende onderstelling niet buiten allen twijfel stellen, men moet toch bekennen dat zij sterk in haar voordeel pleiten; want de

(*) Zie de eerste Noot, aan het einde der 17de Les.

planeten-storingen zouden, volgens het onderzoek van Le Verrier, onvermogen geweest zijn om de oorspronkelijk zeer kleine helingen en excentriciteiten derwijze te vergrooten, gelijk eene ontploffing dit vermag te doen. Nogtans, bij een reeds zoo aanzienlijk getal asteroïden, dat naar allen schijn nog veel zal toenemen, begint men thans vrij algemeen te gelooven, dat de tusschen Mars en Jupiter begrepen stofgordel zijne tegenwoordige gesteldheid niet ontvangen heeft door eene uiteenbarsting, maar door dezelfde oorzaken, die het aanzijn gaven aan de andere lichamen van het planetenstelsel.

440. **Ontdekking van Neptunus.** — Acht en dertig jaren na de ontdekking van Uranus, dus in 1819, ondernam Bouvard de samenstelling van Tafels betreffende deze Planeet (*). Uit de vóór de ontdekking gemaakte aantekeningen was hij in staat gesteld om met de na 1781 gedane waarnemingen zeventien waarnemingen te vergelijken, opklimmende tot het jaar 1690 (ééne van Mayer, ééne van Bradley, drie van Flamsteed en twaalf van Le Monnier, die de Planeet voor eene vaste Ster hadden aangezien); bij dien arbeid bespeurde hij alras, dat er kennelijke onbestaanbaarheden tusschen de beide waarnemingsstelsels werden aangetroffen, en hij zag zich genoodzaakt de oude vaarwel te zeggen, om zich alleen aan de nieuwere te houden, „aan de toekomstige tijden de taak overlatende,” zegt hij in de Inleiding zijner Tafels, „om aan te wijzen of de zwarigheid van 't overeenbrengen der beide stelsels gelegen is in de onnauwkeurigheid der oude waarnemingen, dan wel of zij afhankelijk is van een of anderen *vreemden en nog niet waargenomen* invloed, die op de Planeet moet gewerkt hebben.”

Het vraagstuk van een onbekend Hemellichaam, welks aantrekkingskracht zich gevoegd zou hebben bij die, welke men van de andere Planeten had *berekend*, was, gelijk men ziet, vrij duidelijk in de aangehaalde regels uitgedrukt. Toen Bouvard in 1838 de samenstelling zijner Tafels weder opvatte, ten einde er de reeks van verstrooide waarnemingen betreffende den sedert 1819 doorloopen boog bij te voegen, kwam hij bovendien tot dezelfde uitkomst als de eerste maal. Ook heb ik hem menigmaal in zijn vertrouwelijke gesprekken hooren vertellen, dat Laplace hem vaak had aangezet de Planeet op te zoeken. „Maar,” voegde hij er bij, „ik heb nooit den moed in mij gevoeld om „den tijd te wagen, dien zulk een zoeken noodwendig zou vereischen; want in plaats van ééne Planeet, zijn er misschien „twee, misschien drie, misschien nog meer, verdeeld over pun-

(*) Tafels, namelijk, die bestemd waren om voor een naar willekeur gegeven tijdstip de plaats aan te geven, die de Planeet alsdan aan den Hemel moet innemen.

„ten geheel verschillend van dat, hetwelk eene enkele Planeet „zou moeten innemen om dezelfde uitwerking als vele met elkaar „verbonden krachten voort te brengen. — Kunt ge begrijpen,“ „sprak toen ook die voortreffelijke man, „hoe Le Monnier zich de „ontdekking van Uranus kon laten ontglippen, hij die ze *twaalf-* „*maal* van 1750 tot 1771 heeft gezien, en die, om de verplaat- „sing der Planeet te staven, alleen met een oogopslag de waar- „nemingen van den vorigen dag met die van den volgenden „behoefde te vergelijken (*).” En toch, zonderlinge overeenkomst! dezelfde Sterrenkundige, die zich over de onverschilligheid van Le Monnier verbaasde, hield eene veel schitterende ontdekking als 't ware in de hand, maar liet zich die op zijne beurt ontglippen.

Dit zij, voor 't overige, gezegd, zonder oogmerk om ook slechts de schaduw van een blaam te werpen op de nagedachtenis van hem, die mijn eerste meester was, en wien ik steeds met den diepsten eerbied blijf gedenken. Maar 't is niet minder waar, dat één stap verder Bouvard, die reeds op het spoor der waarheid was, gevoerd zou hebben tot de volledige ontdekking, welke in 1846 zulk een luisterrijke populariteit aan den naam van Le Verrier mocht schenken.

Men herinnert zich nog de levendige ontroering, te weeg gebracht door deze ontdekking en door de gloeiende geestdrift, waarmee de beroemde secretaris van de *Académie des Sciences* te Parijs, Arago, voor de eindelijk op Le Verrier's aanwijzingen ontdekte Planeet den naam verlangde van den Sterrenkundige, wiens diepgaande berekeningen de luisterrijkste bekrachtiging mochten ontvangen.

Na den dood van Bouvard, die zijne nieuwe Tafels onafgewerkt achterliet, had Le Verrier op zijne beurt de studie van Uranus ondernomen; en toen hij, evenals zijn voorganger, na het grondigst onderzoek tot het inzicht kwam, dat er eene onbekende storende Planeet moest bestaan, had hij zich, ondanks de mogelijke ondankbaarheid van zulk eene taak, moedig toegewijd aan 't voltooiën zijner nasporingen, ten einde de plaats te vinden, welke de Planeet, wier aanzijn hij betoogde, op den 1sten Januari 1847 aan den hemel zou innemen. Men weet hoe nauwkeurig de plaatsaanwijzing van Le Verrier was; immers toen de Berlijner Sterrenkundige Galle den 23sten September 1846 den hemel vergeleek bij de pas door Bremiker afgewerkte kaart van het 21ste uur rechte opklimming, bespeurde hij op

(*) Het schijnt dat Le Monnier zijne waarnemingen op losse bladen schreef, waarvan hij vervolgens liassen maakte. Bouvard, die mij dit mededeelde, heeft in een zijner geschriften gezegd, dat de registers van dezen Sterrenkundige zich in de grootste wanorde bevonden.

slechts $0^{\circ}52'$ van de voor dienzelfden 23sten September berekende plek eene Ster van de 8ste grootte, die niet op de kaart stond, ofschoon zelfs die van de 10de grootte er op aangeteekend waren, en welker verplaatsing, hoewel zeer langzaam, hij reeds den volgenden dag met zekerheid kon waarnemen. 't Was juist de verwachte Planeet; en men begrijpt licht waarom de andere Sterrenkundigen, nog verstoken van de uitvoerige kaart, die den hemelgordel voorstelde waarin de nieuwe Planeet zich bewoog, haar niet opgemerkt hadden.

441. **Schets van de door Le Verrier gevolgde methode.**
— Wie verlangen mocht te weten welke reeks van bewerkingen Le Verrier had moeten uitvoeren om tot zijne ontdekking te geraken, herinnere zich ten eerste, dat de wet van Bode de Planeet op eenen afstand van de Zon plaatste omtrent tweemaal zoo groot als die van Uranus, en ten andere, dat de elliptische banen der groote Planeten bijna cirkelvormig zijn. Daar tevens de storingsen, perpendiculair op het vlak der Ecliptica, waarmede de baan van Uranus genoegzaam samenvalt, weinig merkbaar waren, zoo moest de onbekende Planeet zich klaarblijkelijk ook ongeveer in hetzelfde vlak bevinden, want anders zou zij door hare aantrekking Uranus moeten omhoog gevoerd hebben.

Als eerste ruw ontwerp kon Le Verrier alzoo eenvoudig eenen cirkelomtrek nemen, getrokken op de Ecliptica rondom de Zon als middelpunt met den door Bode's wet aangegeven straal. En wat de plaats der storende Planeet betreft, zij moest, als het vraagstuk tot zijn eenvoudigste uitdrukking werd herleid, gevonden worden uit twee andere vroeger op bekende tijdstippen ingenomen plaatsen, dewijl, bij de onderstelling van een gelijkmatig doorloopen cirkel (*), de tijd, die er verloopen is gedurende den overgang uit de eerste plaats tot de tweede, de snelheid leert kennen en gevolgelijk ook de plaats waar de Ster zich op den gegeven dag bevinden zal.

Hoe nu de beide vroegere plaatsen gevonden, die de oplossing vereischt? Theoretisch is niets gemakkelijker. Immers, laat u , u' (fig. 197) de beide *berekende* plaatsen van Uranus op zijne ellips zijn, of, juister, op de nabijheid van den omtrek dier ellips, uit hoofde van de storingsen door de *bekende* (†) Planeten, die den elliptischen loop een weinig veranderd zullen hebben; verbeeldt u in v , v' de *waargenomen* plaatsen; de lijnen

(*) Overeenkomstig met de wet der vlakke-uitgebreidheden (§ 197), die, in 't geval van een cirkelvormige loopbaan, niet dan bij eene gelijkmatige beweging kan plaats hebben. Deze wet bestaat niet enkel voor de Zon, of, juister gezegd, voor de Aarde; men vindt haar in al de bewegingen der Planeten terug.

(†) Jupiter en Saturnus, de grootste Planeten van het zonnestelsel en het dichtst bij Uranus, zijn ook de eenige wier storende invloed in het onderhavig geval bepaald moesten worden. De andere Planeten oefenen, wegens hare geringe massa en haren afstand, slechts een onmerkbaan invloed op Uranus uit.

uv , $u'v'$, de verschillen tusschen de berekening en de waarne-
ming, zullen dan den invloed der onbekende Planeet voorstellen.
Verlengt ieder van deze lijnen tot waar zij in n en n' den als

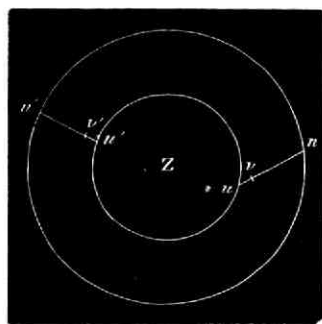


Fig. 197

loopbaan aangenomen cirkelomtrek raken, en de punten n , n'
zullen dan juist de gezochte punten zijn. Gij zult zelfs ook de
massa der storende Planeet kunnen bepalen, want gij weet —
wij merkten het reeds bij de beschouwing der dubbele Sterren
aan — dat de voortgebrachte uitwerking in rechte reden tot die
massa, maar in omgekeerde reden tot het vierkant des afstands nu
staat. De maat van uv en van nu , en de vergelijking dezer groot-
heden met hare soortverwanten, tusschen de Aarde en de Maan
bij voorbeeld, tusschen de Aarde

en den vallenden steen, zoo gij liever wilt, zal u de verhouding
der storende massa tot de massa van onzen Bol leeren kennen.

442. — In de practijk echter, in de werkelijkheid, is de op-
lossing van 't vraagstuk op verre na zoo eenvoudig niet. Ge-
ringe fouten betreffende de punten uv , $u'v'$ zouden van grooten
invloed kunnen zijn op de richtingen uv , $u'v'$ en gevolgelyk op
de gezochte punten n , n' . 't Was dus in geen en deele met het
opsporen van twee punten, dat Le Verrier zich kon vleien het
vraagstuk op te lossen. Hij verschafte er zich dan ook onge-
veer 300 (281, waaronder 19 vóór en 262 na 1781), die hij
zeer schrander groepeerde, zoodat hij ten slotte was toegerust
met drie en dertig voorwaarden, of, om met de algebraïsten te
spreken, met drie en dertig *equatiën* of vergelijkingen tusschen
de elliptische elementen (*) der storende Planeet, de massa dezer

(*) De elliptische elementen eener Planeet, in het vlak waarin zij zich beweegt, zijn
ten getale van vijf, te weten:

- 1° De duur T van de geheele (of siderale) omwenteling rondom de Zon;
- 2° De gemiddelde afstand van de Zon, of de halve groote as a van de ellips;
- 3° De excentriciteit e , uit welke de grootste en kleinste afstand van de Zon (*aphelium*
en *perihelium*) voortvloeien;
- 4° De stand der groote as, of de lengte van 't perihelium, gerekend hetzij op de Eclip-
tica, uitgaande van de lijn der Nachteveningen, hetzij op het vlak der loopbaan zelve,
uitgaande van de doorsnede dezer baan met de Ecliptica;
- 5° De plaats der Planeet in hare baan op een gegeven tijdstip, of wat men de lengte
van het tijdstip noemt.

Bij welke elementen men nog twee andere moet voegen, welke dienen om het vlak der
loopbaan te bepalen, zijnde:

- 1° De helling van de loopbaan op de Ecliptica;
- 2° De hoek, begrepen tusschen de doorsnede van de loopbaan met de Ecliptica, of
knoopenlijn, en de lijn der Nachteveningen.

In alles, bijgevolg, *zeven elementen*, die op *zes* neerkomen, omdat Kepler, getijk we

Planeet en de correctiën, op de elliptische elementen van Uranus te maken. Daar de onbekenden slechts ten getale van *negen* zijn, onder welke de plaats der storende Planeet een bepaald tijdstip heeft, zoo kon Le Verrier gemakkelijk de waarschijnlijkste waarden bekomen van de verschillende grootheden, die tot de gezochte oplossing voerden. Hij kwam dan ook werkelijk tot de volgende getallen, die hij aan de *Académie des Sciences* op den 31sten Augustus 1846 mededeelde:

Halve groote as der loopbaan of gemiddelde afstand van de Planeet tot de Zon	361,54	} De afstand van de Aarde tot de Zon = 10 zijnde.
Excentriciteit	0,1076.	
Duur der omwenteling	217,387 jaar.	
Heliocentrische lengte voor 1 Jan. 1847.	326°32'.	
Massa	$\frac{1}{3100}$ van de massa der Zon.	

En toen Galle den 23sten September 1846 de Planeet op 326°52' heliocentrische lengte had bemerkt, leidde Le Verrier uit bovenstaande getallen voor dienzelfden 23sten September eene heliocentrische lengte af gelijk aan 326°00'. Daar nu Galle uit de waarneming 326°52' had bekomen, zoo kwam de dwaling neer op 0°52'. Op minder dan een graad derhalve was de plaats der storende planeet vooruit berekend.

443. — Ofschoon nu de waarneming later eenigszins verschillende elementen heeft opgeleverd: de gemiddelde afstand van de Zon, bij voorbeeld, tot 300,4, de excentriciteit tot 0,00872, en de duur der omwenteling tot 164,622 jaar is herleid, hetgeen ook de massa tot slechts een *zeventien duizendste* deel van de zonnemassa heeft doen herleiden, dewijl bij verminderenden afstand een kleinere massa dezelfde uitwerking kan doen, zoo moet men evenwel erkennen, dat de voorgaande bepaling door hare nauwkeurigheid getuigde zoowel van het werkelijk bestaan der planeet-aantrekking als van de bekwaamheid des Sterrenkundigen, wien men haar moet dank weten. Waarom dan heeft de naam Planeet Le Verrier, door Arago voorgesteld

weltra zullen zien, den duur der omwenteling aan den gemiddelden afstand heeft verbonden, en een dezer grootheden onmiddellijk volgt uit het bekend-zijn der andere.

Ten gevolge, eensdeels, van de wet der vlakke-uitgebreidheden (§ 197), welke wil dat de hoekbeweging der Planeet toeneme naar het perihelium en symmetrisch zij ter linker- en rechterzijde van de groote as, waardoor men *a priori* weten kan, hoe *drie* waarnemingen van eene Planeet gelegen zijn met betrekking tot de lijn der absiden, en of twee van haar, bij voorbeeld, het perihelium bevatten, enz.; ten gevolge, anderdeels, van dat klaarblijkelijk beginsel, dat de drie plaatsen (niet in rechte lijn) van eene Planeet, welke kunnen dienen om een doorloopen boog te bepalen, ook vergunnen den stand van het vlak der loopbaan te bekomen, — gevoelt men dat men de zes voorgaande elementen door twee equatiën heeft kunnen verbinden; dat alzoo drie waarnemingen van eene Planeet, achtereenvolgens gesubstitueerd in de beide equatiën en dus *zes* equatiën opleverende, toereikend zijn ter bepaling van de *zes* elementen: hetgeen waar is.

voor eene zoo exceptioneel teweeggebrachte ontdekking, niet de overhand mogen behouden. Het is omdat de niet-Fransche Sterrenkundigen de beweegredenen deden gelden, die indertijd belet hadden Herschel's naam voor de planeet Uranus aan te nemen, en zoo kreeg dan en behield de nieuw ontdekte Planeet den naam van Neptunus, met den drietand op eene sfeer (Ψ) tot astronomisch zinnebeeld.

Ook verbiedt mij de rechtvaardigheid te verzwijgen dat Adams, een Engelsch Sterrenkundige, te Cambridge, wiens naam thans eervol bekend is, maar die toen zijne eerste schreden in de wetenschappelijke loopbaan zette, terzelfder tijd als Le Verrier, en geheel onafhankelijk van dezen, de plaats der storende Planeet had gevonden. Twijfeling daaraan zou ongeoorloofd wezen, dewijl het Opstel van Adams, aan de beoordeeling van Airy onderworpen en al dadelijk onder een stapel papieren uit het oog verloren, vervolgens kort na de ontdekking werd in 't licht gegeven, terwijl men te Parijs dat van Le Verrier drukte. Was het wel mogelijk, terzelfder tijd het oor te sluiten en voor de te laat komende vordering des beroemden directeurs van 't Observatorium te Greenwich ten behoeve van zijn jongen landgenoot, en voor de bedenkingen, die de Engelschen in het laatst der vorige eeuw bewogen hadden den naam van Herschel op te offeren aan dien van Uranus? De ontdekking bleef eene Fransche; de jaarboeken der wetenschap moesten toch de gedachtenis van den Sterrenkundige, die haar gedaan had, in wezen doen blijven. Meer was er niet noodig om de meeningen tot een te brengen, en de gewoonte der mythologische naamgeving bleef in hare kracht.

444. Planeten vermoed tusschen Mercurius en de Zon. — In eenen aan Faye gerichtten brief en door dezen laatste aan de *Académie des Sciences* den 12den September 1859 medege-deeld, bracht Le Verrier, die zijne navorschingen van de planetenstorings voortzette, ter kennis van de beoefenaars der wetenschap, dat eene seculaire toeneming van 38 seconden in de vooruitgaande beweging van de groote as der door Mercurius beschreven loopbaan (eene beweging geheel en al overeenkomstig met die van de groote as der zonsellips) „op minder dan eene seconde en soms zelfs op minder dan eene halve seconde na,” de *waargenomen* overgangen van Mercurius over de zonnescijf deed overeenstemmen met de berekende overgangen. Bij zulk een resultaat aarzelde Le Verrier niet, den seculairen aanwas in snelheid van de groote as, door de theorie gevorderd, als werkelijk bestaande te beschouwen; en het zoeken naar de oorzaak daarvan bracht hem op het vermoeden, dat er, dichter nog bij de Zon dan Mercurius, of eene Planeet, of een ring van

lichaampjes, gelijk aan die zwermen van meteoren, die de loopbanen der Aarde ontmoeten, of aan de asteroïden, die tusschen Mars en Jupiter loopen, moest aanwezig zijn. Bij eenen afstand van de Zon iets minder dan 1,935 (helft des afstands 3,87 van de Zon tot Mercurius), zou de massa der onbekende Planeet zoo groot als die van Mercurius zijn; bij een minderen afstand zou zij dien overtreffen. In elk geval echter zou de onderstelde Planeet, indien zij eenig ware, niet dan met moeite bespeurd kunnen worden, daar zij steeds in de nabijheid der Zon blijft, en gevolgelijk des daags door een helder licht omgeven, des morgens of des avonds door de dampen des horizons omsluierd wordt; nog moeilijker zou dit natuurlijk moeten wezen, ingeval er veel kleine asteroïden ter vervanging der ééne Planeet aanwezig waren.

Ter versterking van dit opmerkenswaardig vermoeden ontving Le Verrier alras van Buys-Ballot en Herrick verschillende, toen nog weinig bekende waarnemingen, loopende deels over periodische veranderingen van temperatuur, die Buys-Ballot verklaart door een of meer ringen, welke zich in 27,56 en 27,68 dagen omwentelen; deels over twee *ronde, zwarte vlekjes van ongelijke grootte*, op de Zon gezien door Gruithuizen den 26sten Juni 1819, door Pastorff den 23sten October 1822, den 24- en 25sten Juli 1823, zesmaal (zonder opgave van datum) in den loop van 1834; eindelijk den 18den October en den 1sten November 1836, en den 16den Februari 1837. Deze vlekken hadden in 1834 diameters van 3 seconden en van 1',25, wordende de grootste somwijlen voorafgegaan en somwijlen ook gevolgd door de kleinste op eenen hoekafstand, die niet boven 1'16" ging. In 1836 en 1837 werden bogen van 12, 6 en 14 minuten in 52, 54 en 30 minuten tijds doorloopen.

445. **Vulcanus; waarnemingen van doctor Lescarbault.**
 — Ziedaar voorzeker belangrijke aanwijzingen, waarmede men misschien in verband moet brengen de zoo talrijke zwarte bolletjes, die Messier den 17den Juni 1777 vijf minuten achtereen tegen den middag over de zonneschijf zag trekken. Eene laatste waarneming, op 26 Maart 1859 gedaan te Orgères in Frankrijk door doctor Lescarbault, die sinds verscheidene jaren, vooral sinds 1858, vlijtig en aanhoudend de omstreken der Zon en de Zon zelve gadesloeg, op hoop van nieuwe Planeten tusschen dat Hemellicht en ons te ontdekken, schijnt voortaan elken twijfel onmogelijk te moeten maken. Deze waarneming werd, 't is waar, eerst den 22sten December 1859 door Lescarbault aan Le Verrier medegedeeld; en sommige lieden, onder anderen Liais, die juist den 26sten Maart 1859 de Zon had gadeslagen zonder iets anormals op de lichtende schijf te be-

speuren, hebben in de zoo lange vertraging van zulk eene gewichtige mededeeling ernstige redenen tot betwijfeling gevonden.

En toch, de eenvoudige en bescheiden zeden des waarnemers van Orgères, de stempel van goede trouw, niet te miskennen in zijn bericht, welks bijzonderheden daarenboven getuigenis geven van een onderzoekenden geest, wien 't veel meer te doen is om zijnen smaak voor de beoefening des Hemels te voldoen dan om naam en faam na te jagen; eindelijk, de overeenstemming der verschillende bijzonderheden betreffende den overgang voorbij de Zonneschijf van een klein zwart en rond, goed begrensd punt met een schijnbaren diameter van zeer weinig minder dan het vierde gedeelte des schijnbaren diameters van Mercurius in 't perigæum, welk punt op den 26sten Maart van 4 u. 8 m. 11 s. tot 5 u. 25 m. 18 s. (middelbare tijd van Parijs) eenen boog van $9^{\circ}13'6''$ moet doorloopen hebben, heeft vrij algemeen het bestaan der Planeet doen aannemen (*).

Bij de reeds gegeven lijst, zou men dus nog (ten minste) ééne tusschen de Zon en Mercurius zich ophoudende Planeet moeten voegen. Volgens Le Verrier geeft de waarneming van Lescarbault, in de onderstelling van een cirkelvormige loopbaan en een middelbare dichtheid gelijk aan die van Mercurius, aan deze Planeet tot massa het zeventiende gedeelte der massa van Mercurius; tot afstand van de Zon 0,1427 van den middelbaren afstand der Zon van de Aarde; tot duur der omwenteling 19,7 dag; eindelijk tot grootste *elongatie* (hoek begrepen tusschen de Planeet en de Zon, uit de Aarde gezien) eene waarde, die nimmer boven 8 graden zou kunnen gaan. Evenwel zou, bij gezegden afstand, een zeventiende massa niet voldoende zijn om rekenschap te geven van de 38 seconden toeneming in de seculaire beweging van 't perihelium van Mercurius; en de aanwezigheid van *Vulcanus* (zóó heeft Babinet de onderstelde Planeet genoemd) zou alsdan eene krachtige drangreden worden om het bestaan van andere gezellen dezer Planeet te vermoeden.

(*) In eenen brief, door Aristide Coumbary uit Constantinopel aan Le Verrier gericht en door dezen laatste op den 29sten Mei 1865 aan de *Académie des Sciences* te Parijs medegedeeld, verklaart de schrijver „dat hij den 8sten Mei 1865 een klein zwart punt „gezien heeft, hetwelk zich afzonderde van eene groep vlekken, gelegen nabij den oostelijken bovenrand der zonneschijf, om 48 minuten later aan den westelijken rand dier „schijf te gaan verdwijnen.”

Coumbary voegt er nog deze vreemde bijzonderheid bij: „het kleine zwarte lichaam „scheen bij het einde van zijnen overgang, toen 't op het punt stond de zonneschijf te „verlaten, een ovalen vorm aan te nemen en in 't midden eene scheiding te vertoonen, even „alsof er twee lichamen zeer dicht bij elkander geweest waren. Ik kan echter niet ver- „zekeren, dat de vermoeidheid mijner oogen mij hierin niet misleid heeft.”

Le Verrier betuigt, dat de brief van Coumbary, dien hij overigens alleen uit dit zijn schrijven kent, in zich zelven den stempel van nauwkeurigheid en waarheidsliefde draagt, en voegt er bij: „Hoe dit zijn moge, 't is te wenschen dat deze waarnemingen steeds tal- „rijker worden, opdat het ons eindelijk vergund zij een bepaalde uitspraak omtrent het „bestaan der binnenringen te doen.”

446. **Derde wet van Kepler.** — Ziedaar dus, tot op heden, ons gansche Planetenstelsel. Tot aanvulling der algemeene benamingen, die op het gezamenlijke stelsel van toepassing zijn, moet ik hier zeggen, dat men gemeenlijk *Binnen- of Benedenplaneten* noemt die, welke zich tusschen de Aarde en de Zon bevinden, en *Buiten- of Bovenplaneten* die, welke haren loopkring buiten dien der Aarde hebben. Ik moet er mede bijvoegen, dat Kepler in de bewegingen der Planeten *met betrekking tot de Zon* niet alleen de beide ons reeds bekende wetten vond (ellipsen in wier gemeenschappelijk brandpunt de Zon zich bevindt, en vlakke-uitgebreidheden evenredig aan de tijden), maar dat hij nog eene derde wet aan 't licht bracht, die men dus in woorden kan brengen:

De derde machten der halve groote assen gedeeld door de vierkanten der omwentelingstijden geven, voor al de Planeten, een zelfde quotient ().*

Hieruit vloeit dit belangrijk gevolg voort, dat men, na den afstand eener nieuwe Planeet tot de Zon gemeten te hebben, zeer nabij den duur van hare als cirkelvormig onderstelde omwenteling kan bekomen (dienende alsdan de gemeten afstand tot halve groote as); en omgekeerd, dat men, na den duur door waarneming bekomen te hebben, daaruit de lengte der halve groote as kan afleiden. Want het quotient zal geleverd worden door de derde macht der halve groote as en door het vierkant van den omwentelingstijd van een der bekende Planeten (de Aarde zoo men wil); en zoo verkrijgt men vervolgens gemakkelijk voor de nieuwe Planeet dien term van de twee (deeltal of deeler, dat is den cubus van de halve groote as of het vierkant van den omwentelingstijd, bijgevolg ook de groote as of den omwentelingstijd zelve) welken de waarneming niet heeft opgeleverd (†).

447. **Vreemde verschijnselen, die de bewegingen der Planeten opleveren, als men de Aarde tot middelpunt van deze bewegingen neemt.** — **Stelsel van Ptolemeus.** — Eene laatste opmerking alvorens wij de bijzondere beschouwing van iedere Planeet beginnen. Als men zich de bewegingen der

(*) Zie de 2de Noot, aan het einde der 17de Les.

(†) Zij a de halve groote as van de aardbaan (voorgesteld door 10 in de reeks van Titius of van Bode), en T de duur (365,25637 dag) van de siderale omwenteling der Aarde; terwijl a' en T' de overeenkomstige grootheden voor een andere Planeet vertegenwoordigen. Volgens het bovengezegde zult gij dan hebben:

$$\frac{a'^3}{T'^2} = \frac{a^3}{T^2} = \frac{1000}{(365,25637)^2} = 0,007495569;$$

bijgevolg,

$$a' = \sqrt[3]{0,007495569 T'^2}, \text{ of } T' = \sqrt[3]{\frac{a'^3}{0,007495569}}$$

Planeten voorstelt als geschiedende rondom de Aarde, dan stait men op een aantal vreemde verschijnsels, tot welker verklaring Ptolemeus den eenen epicyclus op den anderen had moeten stapelen (§ 182).

Al de Planeten toch schijnen zich eerst eenen tijd lang van het Westen naar 't Oosten te bewegen, gelijk de Zon en de Maan.

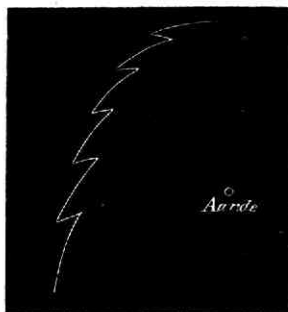


Fig 198.

Doch weldra gedragen zij zich geheel anders dan deze lichamen: zij staken haar voorwaartschen loop om voor een korte poos achteruit te gaan, dan stil te houden om vervolgens hare eerste rechtstreeksche beweging te hervatten, en zoodoende beschrijven zij eene soort van zigzagvormige kromme lijnen (fig. 198), die een voor elke Planeet verschillend tijdsverloop behoeven om in zich zelve terug te keeren. De Binnen-planeten verwijderen zich tevens nooit tot op 180 graden van de Zon, en kunnen gevolgelijk met deze niet in oppositie

of tegenstand komen, zooals dat met de Maan plaats heeft; terwijl de Boven-planeten zich aan ons vertoonen op allerlei elongatie (afstandshoek tusschen Planeet en Zon, uit de Aarde gezien), van nul af tot 360 graden toe.

448. **Eenvoudigheid der bewegingen, wanneer men ze om het middelpunt der Zon laat plaats hebben. — Stelsel van Copernicus; verklaring van den stilstand en rugwaartschen loop der Planeten.** — Neemt gij echter, niet de Aarde, maar de Zon tot middelpunt der bewegingen aan — hetzij ge daarbij dit laatste hemellichaam u als in rust denkt, terwijl de Aarde er omheen draait, volgens de meening van Copernicus, hetzij ge u de Zon voorstelt als zelve zich rondom de Aarde bewegende, terwijl zij de planeetbanen met zich rondvoert, gelijk Tycho-Brahé leerde — dan zult gij onmiddellijk de zwarigheden zien verdwijnen, om plaats te maken voor de allereenvoudigste verklaringen. Want indien gij, in het stelsel van Copernicus, bij voorbeeld, de snelheden der verschillende Planeten bepaalt (*), zult gij bevinden, dat de verst verwijderde ook die zijn, welker loop het langzaamst is (†); waaruit volgt dat wij, op het oogenblik der *oppositie* van eene *Bovenplaneet* — daar zij in de tijdseenheid, eenen dag bij voor-

(*) Wanneer men de lengte van de ellips of, eenvoudiger, van den beschreven omtrek deelt door den duur der omwenteling.

(†) Dit volgt, op eene algemeene wijze, uit de derde wet van Kepler. Daar de vol-

beeld, den weg PP' (fig. 199) doorloopt, die korter is dan den weg AA' , welken de Aarde heeft afgelegd — die Planeet in de richting van de Ster S zullen zien, terwijl wij haar den volgenden dag in de richting van de Ster S' , ten Westen van S ,

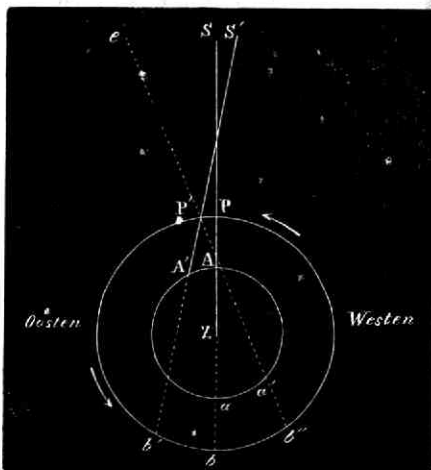


Fig 199.

zullen bespeuren. Het zal dus schijnen alsof de Planeet zich van 't Oosten naar het Westen, dat is met eene teruggaande beweging, verplaatst had. Bij de *conjunctie* daarentegen zullen wij de Planeet, aangezien zij den weg PP' aflegt, terwijl de Aarde aa' doorloopt, zich van de westelijke Ster S naar de oostelijke Ster e , alzo met eene rechtstreeksche beweging, zien verplaatsen. Tusschen de beide vorige toestanden zal er bovendien noodwendig nog een derde wezen, waar-

bij de Planeet moet schijnen stil te staan, daar eene beweging, zij moge wezenlijk of schijnbaar zijn, klaarblijkelijk niet in twee tegenovergestelde richtingen kan plaats hebben, zonder dat de snelheid nul wordt op het oogenblik als de richting der beweging gaat veranderen, en bijgevolg zonder dat het bewegende lichaam voor een zekeren tijd tot stilstand komt. Deze toestand laat zich voor 't overige gemakkelijk inzien. Hij beantwoordt aan de punten (fig. 200), op welke de snelheden AA' , aa' van de Aarde schuins genoeg op de lijnen AP , $A'P'$, aP , $a'P'$ zijn

streckte gemiddelde snelheden van twee Planeten gelijk zijn van $\frac{2\pi a'}{T'}$, $\frac{2\pi a}{T}$, en de

vergelijking $\frac{a'^3}{T'^2} = \frac{a^3}{T^2} = 0,007495569 = \text{de standvastige grootheid } k$

u oplevert

$$\frac{a'}{T'} = \sqrt{\frac{0,007495569}{a'}} = \sqrt{\frac{k}{a'}}, \quad \frac{a}{T} = \sqrt{\frac{0,007495569}{a}} = \sqrt{\frac{k}{a}}$$

als a' grooter is dan a , zal $\frac{k}{a'}$, of $\frac{a'}{T'}$ kleiner zijn dan $\frac{k}{a}$ of dan $\frac{a}{T}$. Bijgevolg zal ook $\frac{2\pi a'}{T'}$ kleiner zijn dan $\frac{2\pi a}{T}$.

gericht, om ze evenwijdig te doen worden, ondanks het verschil dat er tusschen AA' of aa' en PP' bestaat.

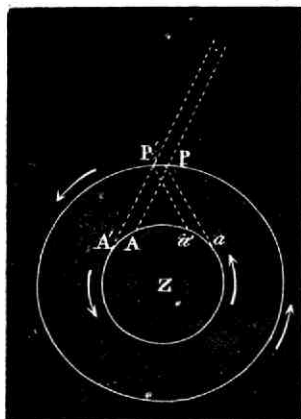


Fig. 200.

dat PP' , AA' en $PP' aa'$ fig. 200 terzelfder tijd de wederzijds schijnbare stilstandpunten van de beide lichamen voorstellen, gevolgelijk het stilstandpunt der binnenplaneet voor het eene, der Buitenplaneet voor het andere. Eindelijk zal men lichtelijk begrijpen, dat de afwijkingen der Binnenplaneten rechts en links van de Zon niet gaan kunnen boven de hoeken onder welke de stralen der loopbanen uit de Aarde worden gezien; maar dat de Buitenplaneten, die in hare bewegingen de Zon en de Aarde omvatten, alle mogelijke elongatiën kunnen bereiken.

449. **Stelsel van Tycho-Brahé.** — Alles laat zich dus met bewonderenswaardige eenvoudigheid verklaren in het stelsel van Copernicus, waarop wij trouwens later zullen terugkomen, maar dat ik toch bij deze gelegenheid reeds moest vermelden, omdat het op de natuurlijkste wijze de zwarigheden opruimt, die de bewegingen aan den Hemel uit de Aarde gezien opleveren. 't Is echter billijk te erkennen, dat ook het stelsel van Tycho-Brahé een zeer eenvoudige oplossing van de schijnbare onregelmatigheden van den loop der Planeten geeft. Wilt ge daarvan het bewijs? Beschouwt dan eerst eene Binnenplaneet (fig. 201). Daar thans de snelheden SS' en ss' van de Planeet in hare baan, naar Kepler's derde wet, grooter zijn dan de snelheid ZZ' van de Zon, maar in dezelfde richting (SS') als deze laatste tijdens de buiten-conjunctie en in omgekeerde richting bij de binnen-conjunctie, zoo kunt gij terstond inzien, dat de beweging der Planeet bij de *buiten-conjunctie*, als wanneer de beide

Wat de *Binnenplaneten* betreft, dezelfde figuren doen zien, dat de gezichtsstralen PA , $P'A'$, bij de *binnen-conjunctie* (doorgang der Planeet tusschen de Aarde en de Zon), stellende PP' thans de snelheid der Aarde en AA' die van Mercurius of van Venus voor, de Planeet A van b naar b' , in omgekeerde richting van de rechtstreeksche beweging, zullen voeren; terwijl daarentegen bij de *buiten-conjunctie* (overgang der Planeet in aa' aan gene zijde der Zon), de lijnen Pa , $P'a'$ de Planeet van b naar b'' in de richting van de rechtstreeksche beweging zullen verplaatsen.

't Is bijna overbodig er bij te voegen,

snelheden bijeengevoegd worden, dewijl de loopbaan der Planeet door de Zon van Z in Z' wordt verplaatst, zich als *rechtstreeks* en *zeer snel* zal voordoen, terwijl bij de *binnen-conjunctie* datgene wat ss' grooter is dan ZZ' eene *teruggaande* beweging zal opleveren.

Voor de *Buitenplaneten* zal fig. 202 u eveneens doen zien, dat de beweging ZZ' van de Zon, bij de conjunctie, daar zij de

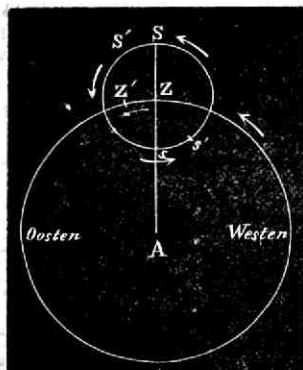


Fig. 201.

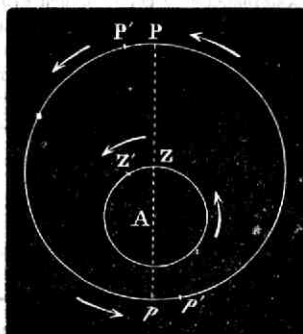


Fig. 202.

loopbaan met zich voert, nog komt bij de beweging PP' van de Planeet, om eene *rechtstreeksche* en *snelle* beweging voort te brengen. Zij zal u mede toonen, dat, aangezien bij de oppositie de snelheid ZZ' van de Zon (altijd volgens Kepler's derde wet) nu grooter is dan de snelheid pp' van de Planeet, en de gansche loopbaan, gevolgelyk ook den boog pp' parallel aan ZZ' , verplaatst, het meerdere van ZZ' op pp' ten gevolge zal hebben dat de plaats p' van de Planeet in hare baan ten achteren is bij de plaats p , en dus aan de waargenomen beweging het karakter van eene *teruggaande* beweging zal geven.

De stilstandpunten, op hunne beurt, zullen, evenals in het stelsel van Copernicus, overeenkomen met combinatiën van schuinsche snelheden in verhouding tot de gezichtsstralen, ten gevolge waarvan deze stralen parallel zullen schijnen.

Alzoo geven dan beide stelsels rekenschap van de verschijnselen, en doen dat ongeveer even ongedwongen. Wij zullen later uit die twee eene keus moeten doen, want van dat hetwelk hen voorafging en dat eeuwen lang alleen in eere was, het stelsel van Ptolemeus of der epicyclen, kan thans in ernst geen sprake meer zijn.

NOOT I.

OVER DE ASTEROÏDEN TUSSEN MARS EN JUPITER

450. - De negen eerste asteroïden, die sedert 1845 ontdekt werden, kregen verlegenwoordigende teekens, gelijk de oude Planeten. Maar toen een tiende hemellichaam de verwarring nog kwam vermeederen, reeds ontstaan door te menigvuldige zinnebeelden, die men met reden vreesde nog veel talrijker te worden, moest men wel afzien van deze aanduidingswijze en zich bepalen tot het uitdrukken der Asteroïden door cijfers binnen kringetjes. Ziehier, tot aan den 4den November 1866, de volgcijfers, de namen der Asteroïden en die der Sterrenkundigen, welke ze ontdekt hebben, de datums der eerste waarnemingen, eindelijk de middelbare afstanden van de Zon, de duur der omwentelingen, de uitmiddelpuntigheden en de hellingen der loopbanen op de Ecliptica.

Namen der Asteroïden.	Namen der Ontdekkers.	Datum der Ontdekking.	Middelbare afstand van de Zon.	Duur der Omwenteling.	Excentriciteit, de middelb. afstand van de Zon = de eenheid.	Helling op de Ecliptica.
① Ceres	Piazzi, te Palermo	1 Jan. 1801	27,67	1680,751	0,080	10°36'28"
② Pallas	Olbers, te Bremen	28 Ma ^t . 1802	27,70	1683,523	0,239	34 42 41
③ Juno	Harding, te Li- lenthal	1 Sept. 1804	26,69	1592,304	0,257	13 3 21
④ Vesta	Olbers, te Bremen	23 Ma ^t . 1807	23,61	1324,767	0,090	7 8 16
⑤ Astræa	Hencke, te Dries- sen	8 Dec. 1845	25,77	1511,369	0,189	5 19 23
⑥ Hebe	Hencke	1 Juli 1847	24,25	1379,635	0,202	14 46 32
⑦ Iris	Hind, te Londen.	13 Aug. 1847	23,86	1346,371	0,231	5 28 2
⑧ Flora	Hind	18 Oct. 1847	22,02	1193,281	0,157	5 53 3
⑨ Metis	Graham, te Marc- kree	25 Apr. 1848	23,87	1346,727	0,123	5 35 58
⑩ Hygieia	De Gasparis, te Napels	14 Apr. 1849	31,51	2043,386	0,101	3 47 11
⑪ Parthenope	De Gasparis	11 Mei 1850	24,52	1462,106	0,100	4 37 1
⑫ Victoria of Cllo	Hind	13 Sept. 1850	23,33	1301,419	0,219	8 23 19
⑬ Egeria	De Gasparis	2 Nov. 1850	25,77	1510,893	0,089	16 32 14
⑭ Irene	Hind	19 Mei 1851	25,85	1518,287	0,189	9 6 44
⑮ Eunomia	De Gasparis	29 Juli 1851	26,44	1570,050	0,187	11 44 17
⑯ Psyche	De Gasparis	17 Ma ^t . 1852	20,23	1825,591	0,135	3 3 56
⑰ Thetis	Luther	17 Apr. 1852	24,73	1420,130	0,127	5 35 28
⑱ Melpomene	Hind	24 Juni 1852	22,96	1270,437	0,218	10 9 17
⑲ Fortuna	Hind	22 Aug. 1852	24,41	1393,301	0,158	1 32 31
⑳ Massilia	De Gasparis	19 Sept. 1852	24,00	1365,949	0,144	0 41 7
㉑ Lutetia	Goldschmidt	15 Nov. 1852	24,35	1388,236	0,162	2 5 9

Namen der Asteroiden.	Namen der Ontdekkers.	Datum der Ontdekking.	Middelbare afstand van de Zon.	Duur der Omwenteling. dagen.	Excentriciteit, de middelh. afstand van de Zon = de eenheid.	Helling op de Ecliptica.
22 Calliope	Hind	16 Nov. 1852	29,09	1812,275	0,104	13°44'52"
23 Thalia	Hind	15-Dec. 1852	26,29	1556,575	0,232	10 13 11
24 Themis	De Gasparis	6 Apr. 1853	31,42	2033,839	0,123	0 49 26
25 Phocæa	Chacornac	6 Apr. 1853	24,01	1358,948	0,253	21 35 54
26 Proserpina	Luther	5 Mei 1853	26,56	1581,093	0,087	3 35 48
27 Euterpe	Hind	8 Nov. 1853	23,47	1313,566	0,173	1 35 31
28 Bellona	Luther	1 Ma. 1854	27,75	1688,546	0,155	9 22 33
29 Amphitrite	Marth.	1 Ma. 1854	22,55	1491,591	0,072	6 7 50
30 Urania	Hind	22 Juli 1854	23,66	1328,945	0,126	2 5 56
31 Euphrosine	Fergusson	1 Sept. 1854	31,56	2048,029	0,216	26 25 12
32 Pomona	Goldschmidt	26 Oct. 1854	25,87	1519,643	0,082	5 29 3
33 Polyhymnia	Chacornac	28 Oct. 1854	28,65	1771,588	0,338	9 7 20
34 Circe	Chacornac	6 Apr. 1855	26,87	1608,933	0,108	5 26 28
35 Leucothea	Luther	19 Apr. 1855	30,05	1902,442	0,214	8 10 48
36 Atalanta	Goldschmidt	5 Oct. 1855	27,50	1665,600	0,298	18 42 9
37 Fides	Luther	5 Oct. 1855	26,42	1568,875	0,175	3 7 11
38 Leda	Chacornac	12 Jan. 1856	27,40	1656,604	0,156	6 58 26
39 Lætitia	Chacornac	8 Feb. 1856	27,71	1684,447	0,111	10 20 58
40 Harmonia	Goldschmidt	31 Ma. 1856	22,68	1247,333	0,046	4 15 52
41 Daphne	Goldschmidt	22 Mei 1856	27,67	1681,535	0,270	16 5 31
42 Isis	Pogson	23 Mei 1856	24,40	1392,137	0,209	8 34 30
43 Ariadne	Pogson	15 Apr. 1857	22,04	1194,998	0,168	3 27 48
44 Nysa	Goldschmidt	27 Mei 1857	24,23	1377,979	0,150	3 41 43
45 Eugenia	Goldschmidt	11 Juli 1857	27,21	1639,809	0,082	6 34 58
46 Hestia	Pogson	16 Aug. 1857	25,30	1470,161	0,166	2 17 49
47 Aglaïa	Luther	15 Sept. 1857	28,83	1788,379	0,131	5 0 0
48 Doris	Goldschmidt	19 Sept. 1857	31,09	2002,686	0,077	6 29 28
49 Pales	Goldschmidt	19 Sept. 1857	30,82	1976,746	0,237	3 8 46
50 Virginia	Luther	19 Oct. 1857	26,51	1576 562	0,287	2 47 46
51 Nemausa	Laurent	22 Jan. 1858	23,66	1329,667	0,066	9 56 55
52 Europa	Goldschmidt	6 Feb. 1858	31,00	1993,498	0,101	7 24 35
53 Calypso	Luther	4 Apr. 1858	26,13	1542,697	0,180	5 3 39
54 Alexandra	Goldschmidt	10 Sept. 1858	27,09	1628,850	0,000	0 0 0
55 Pandora	Scarle	10 Sept. 1858	27,59	1673,945	0,145	7 13 50
56 Melete (*)	Goldschmidt	9 Sept. 1857	25,98	1529,217	0,237	8 1 49

(*) Eerst voor Daphné gehouden, doch in Sept. 1858 door Schubert als een nieuwe Asteroïde bekend gemaakt.

Namen der Asteroiden.	Namen der Ontdekkers.	Datum der Ontdekking.	Middelbare afstand van de Zon.	Duur der Omwenteling. <small>dag-en</small>	Excentriciteit, de middell. afstand van de Zon = de eenheid.	Helling op de Ecliptica.
67 Mnemosyne . . .	Luther	22 Sept. 1859	31,57	2049,128	0,104	13° 8' 2"
68 Concordia . . .	Luther	10 Apr. 1860	26,99	1619,863	0,042	5 1 50
69 Olympia	Chacornac	12 Sept. 1860	27,14	1633,270	0,117	8 37 35
60 Erato	Forster en Lesser	14 Sept. 1860	31,31	2023,443	0,171	2 12 21
61 Echo	Fergusson	15 Sept. 1860	23,93	1552,006	0,185	3 34 27
62 Danae	Goldschmidt . . .	19 Sept. 1860	29,85	1881,103	0,182	18 17 10
63 Ausonia	De Gasparis . . .	10 Feb. 1861	23,97	1353,639	0,127	5 45 25
64 Angelina	Tempel	4 Ma ^t . 1861	26,81	1603,004	0,129	1 19 52
65 Maximiliana . .	Tempel	8 Ma ^t . 1861	34,20	2309,978	0,120	3 28 10
66 Maia	Tuttle	9 Apr. 1861	26,64	1387,770	0,134	3 2 25
67 Azië	Pogson	17 Apr. 1861	24,21	1375,824	0,184	5 59 33
68 Leto	Luther	29 Apr. 1861	27,80	1693,400	0,188	7 57 35
69 Hesperia	Schiaparelli . . .	29 Apr. 1861	29,72	1871,126	0,174	8 28 19
70 Panope	Goldschmidt . . .	5 Mei 1861	26,29	1537,083	0,195	11 31 57
71 Niobe	Luther	13 Aug. 1861	27,56	1671,299	0,174	23 18 50
72 Feronia	Peters en Saffort.	12 Feb. 1862	22,75	1253,308	0,116	5 25 56
73 Clytia	Tuttle	7 Apr. 1862	26,69	1592,972	0,041	2 24 34
74 Galathea	Tempel	29 Aug. 1862	27,79	1691,676	0,238	3 58 19
75 Eurydice	C. H. F. Peters.	22 Sept. 1862	26,66	1589,838	0,305	4 59 9
76 Freia	Darrest	21 Oct. 1862	33,86	2276,197	0,187	2 1 32
77 Frigga	C. H. F. Peters.	15 Nov. 1862	26,74	1596,906	0,136	2 27 55
78 Diana	Luther	15 Ma ^t . 1863	26,24	1552,224	0,204	8 38 29
79 Eurynome	Watson	14 Sept. 1863	24,44	1395,160	0,195	4 36 49
80 Sappho	Pogson	2 Mei 1864	00,00	0000,000	0,000	0 0 0
81 Terpsichore . . .	Tempel	30 Sept. 1864	27,80	1693,021	0,131	8 45 43
82 Alcmene	Luther	27 Nov. 1864	27,43	1670,605	0,198	3 3 14
83 Beatrix	De Gasparis . . .	26 Apr. 1865	25,29	1468,634	0,139	4 45 37
84 Cllo	Luther	25 Aug. 1865	23,62	1326, . . .	0,236	9 22 23
85 Io	Peters	19 Sept. 1865	26,54	1579, . . .	0,191	11 53 10
86 Semele	Tletjen	4 Jan. 1866	30,91	1985, . . .	0,205	4 47 43
87 Silvia	Pogson	16 Mei 1866	35,28	2420, . . .	0,147	10 59 0
88 Thisbe	Peters	15 Juni 1866	27,69	1683, . . .	0,163	5 14 30
89 (onbenoemd) . .	Stephan	6 Aug 1866	25,50	1487, . . .	0,160	16 11 25
90 Antiope	Luther	1 Oct. 1866	31,39	2031, . . .	0,175	2 16 48
91 (onbenoemd) . .	Stephan	4 Nov. 1866	25,58	1495, . . .	0,089	2 9 25

NOOT II.

OVER DE ONTDEKKING DER WETTEN VAN KEPLER.

451. **Oplissing van het vraagstuk van Kepler.** — Men mag zich afvragen hoe Kepler zijne drie zoo gewichtige wetten ontdekte. Om dit zoo eenvoudig mogelijk in te zien, zoo neemt *a priori* aan, dat de Planeten hare loopbanen beschrijven in vlakken, die door 't middelpunt der Zon gaan en zich met dat Hemellicht parallel aan zich zelve verplaatsen. Gij zult vervolgens zien of deze onderstelling door de waarneming wordt bekrachtigd.

Zoekt dan eerst de doorsnede van het vlak der loopbaan met de Ecliptica, welke doorsnede, evenals bij de Maan, den naam draagt van *knoopenlijn*

Zij A de Aarde (fig. 203) AY de lijn der Nachteveningen, ZN die der knoopen

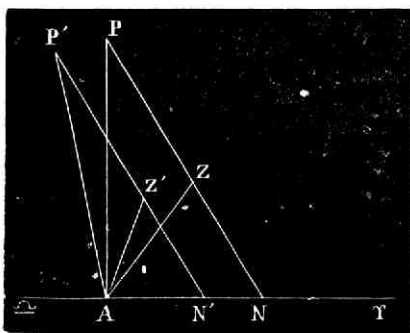


Fig. 203.

van de Planeet en P de plaats der Planeet op de Ecliptica als zij door een van hare knoopen gaat. Men kan gemakkelijk, door het overbrengen der waargenomen rechte klimmingen en declinatieën in lengten en breedten, het juiste oogenblik bepalen waarop de Planeet door 't vlak der Ecliptica gaat, omdat eene interpolatie of zelfs een eenvoudige evenredigheid toereikend zal zijn om dit oogenblik te doen kennen onder die, welke er dicht genoeg bij liggen en aan breedten van tegenovergestelde teekens beantwoorden. Daar de

waarneming of de tafels voor hetzelfde oogenblik de lengte YAZ van de Zon aangeven, kent gij ook den hoek PAZ, die gelijk is aan 't verschil der lengten van de Planeet en de Zon of aan $(P - \odot)$, stellende P en \odot de lengten der beide Hemellichamen voor.

Drukt door R en r de afstanden AZ en PZ van de Aarde en de Planeet tot de Zon uit, en door N den hoek PNY, begrepen tusschen de lijn der knoopen en de lijn der Nachteveningen; de driehoek PAZ, waarin de hoek ZPA of NPA gelijk is aan $(PNY - PAY = N - P)$, geeft u tusschen de beide onbekenden r en N de vergelijking:

$$(1) \quad \frac{(ZA = R)}{(ZA = r)} = \frac{\sin ZPA = \sin (N - P)}{\sin ZAP = \sin (P - \odot)}$$

Wij merken hier in 't voorbijgaan aan, dat Kepler de waarde van R niet had. Doch daar de planeten-afstanden in verhouding gebracht worden tot deze voor eenheid aangenomen grootheid, doet haar onbekend-zijn niets af aan de wetten der beweging, noch aan de gedaante der loopbanen, welke afmetingen alleen verandering ondergaan, terwijl ze toch evenredig blijven. R mag dus als bekend ondersteeld worden, en zoo ook de verschillende voerstralen R', R'', enz. van de Zon, aangegeven door den vooraf bepaalden vorm der zonsellips.

Bepaling der knoopen en voerstralen eener Planeet. — Om u zelve een tweede vergelijking tusschen r en N te verschaffen, zoo wacht een nieuwen overgang der Planeet door denzelfden knoop af. 't Is duidelijk dat alsdan de voerstraal r (gij kunt het althans onderstellen, om later te zien of de waarneming uwe onderstelling bevestigt) wezen zal wat hij was bij de eerste waarneming, dewijl de Planeet haar geheele baan zal doorloopen hebben. Wat den hoek N betreft, daar de knoopenlijn zich parallel aan zich zelve verplaatst (wij hebben dit *a priori* aangenomen), zoo verandert hij niet van waarde. Wanneer gij nu, voor deze nieuwe standen P' der planeet, Z' der Zon en $Z'N'$ der knoopenlijn, door R' , \odot , P' den bekenden voorstraal en de bekende lengte der Zon, alsook de mede bekende lengte der Planeet uitdrukt, zult gij voor de gezochte verhouding vinden:

$$(2) \quad \frac{R'}{r} = \frac{\sin(N - P')}{\sin(P' - \odot)}$$

en de verbinding der vergelijkingen (1) en (2) zal u r en N opleveren.

Zijn nu uwe gemaakte onderstellingen $Z'N'$ (parallel aan ZN , en $Z'P' = ZP = r$) onnauwkeurig, dan zullen de door twee waarnemingen gevonden waarden van r en N over 't algemeen moeten verschillen van de waarden dierzelfde grootheden, bekomen door een tweede, een derde enz. stelsel van twee nieuwe waarnemingen, waarin (R , \odot en P), (R' , \odot' en P') geheel zullen veranderd zijn. Beproof de aanwending dezer verschillende stelsels voor alle mogelijke standen der Zon in de Ecliptica op het oogenblik wanneer de Planeet zelve er door gaat, en altijd zult gij — behoudens eenige nauwelijks merkbare storingsen, waarvan gij u bovendien door de theorie der planeten-aantrekkingen rekenschap zoudt kunnen geven —, dezelfde waarden voor uwe beide onbekenden (r en N) vinden. Hieruit kunt gij besluiten, dat uwe onderstellingen, zoo al niet volstrekt zeker, ten minste hoogst waarschijnlijk zijn.

452. Helling van de loopbaan op de Ecliptica. — Maar er is meer. Zoekt nu de helling op de Ecliptica van de als vlak en steeds parallel aan zich zelve onderstelde planeetbaan. Gij zult dan weder, door ieder der door u gezegde waarnemingen, steeds identische waarden vinden, welke ook de onderlinge

standen van de Zon en de Planeet mogen wezen. Dit zal klaarblijkelijk een nieuwe en veelbeteekende waarschijnlijkheid zijn, die sterk voor uwe onderstellingen pleit.

Neemt, ter berekening van uw oogmerk, den bijzonderen stand, waarbij de uit de Aarde naar de Zon getrokken voerstraal samenvalt met de knoopenlijn der Planeet. Zij dan (fig. 204) P de planeet, en p hare projectie op de Ecliptica; de hoek PKp , bepaald door een vlak perpendiculair op de knoopenlijn

AN , doorsnede der loopbaan en Ecliptica, zal de gezochte helling H zijn, voor welke gij zult hebben:

$$\sin H = \frac{Pp}{PK} = \frac{PA \cdot \sin PAp}{PA \cdot \sin PAK} = \frac{\sin^2 PAp}{\sin PAK} = \frac{\sin^2 \lambda}{\sin \alpha};$$

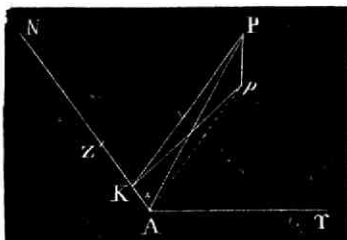


Fig. 204.

zijnde λ de bekende breedte der Planeet en α de hoek begrepen tusschen de Planeet en de Zon, een hoek welks waarde zal blijken uit den driehoek OPZ (fig. 205), waarin OZ, OP en ZOP de poolsafstanden ($90^\circ - \text{declinatie}$) der Zon, ($90^\circ - D'$) der Planeet en het verschil van rechte opklimming (R.O. — R.O.) der beide lichamen zijn. Gij zult dan dien hoek vinden door de vergelijking

$$\begin{aligned} (\cos PZ = \cos \alpha) &= \cos PO \cdot \cos ZO + \sin PO \cdot \sin ZO \cdot \cos ZOP \\ &= \sin D \cdot \sin D' + \cos D \cdot \cos D' \cdot \cos (O.R. - O.R.). \end{aligned}$$

Herhaalt uwe bepaling zoo vaak de knopenlijn door de Aarde gaat, en hoewel

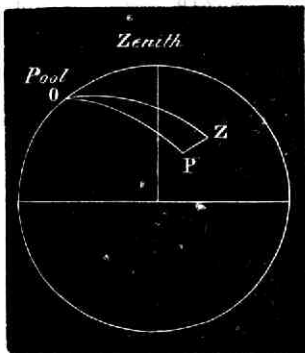


Fig. 205.

wraakbaar bewijs voor de zekerheid van onze onderstellingen.

453. **Lengten van de Planeet in de loopbaan, te rekenen van de knopenlijn af.** — De stand der loopbaan uit hare helling en richting op de Ecliptica bekend zijnde, wordt het zeer gemakkelijk, ieder oogenblik de plaats der Planeet aan den Hemel te bepalen. Deze Planeet toch bevindt zich aan de

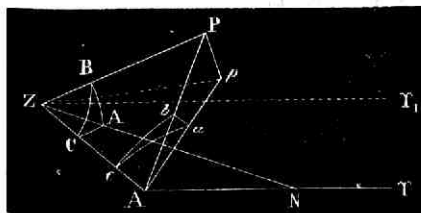


Fig. 206.

sne de van het vlak der loopbaan met den van de Aarde getrokken straal AP. Wilt gij haar schrede voor schrede in het vlak zelf der loopbaan volgen? Berekent dag aan dag haren afstand PZ (fig. 206) van de Zon, en den hoek PZN van haren voerstraal met de knopenlijn. Begint daartoe eerst met de oplossing van den kleinen bolvormigen driehoek *bca* rechthoekig in *a*, welks zijden *ba*, *ca* de breedte *PAP* der Planeet en het verschil ($ZAY - pAY = ZAp$) in lengte tusschen de Planeet en de Zon voorstellen. Gij verkrijgt dus den hoek ZAP, gemeten door de zijde *bc* en de helling *bca* van het vlak PZA op het vlak der Ecliptica ZAY. Daarna geven u eensdeels de bolvormige driehoek BCA, anderdeels de vlakke driehoek PZA: de eerste, den hoek PZN, gemeten door den hoog BA tusschen de Planeet en de knopenlijn; de

λ en α veranderd zijn, zult gij steeds dezelfde waarde voor H bekomen. Ware de stelling valsch, dat de loopbaan vlak en steeds parallel aan zelve is, dan zou men natuurlijk zulk eene uitkomst niet altijd bekomen. Daar bovendien, wanneer men de Zon onbeweeglijk en de Aarde in beweging onderstelt, de loopbaan van deze laatste insgelijks vlak en nagenoeg onveranderlijk in de ruimte is (men kan voor het tegenwoordig geval de zoo geringe jaarlijksche variatie $0'',30$ buiten aanmerking laten), zoo wordt de overeenkomst tusschen de Aarde en de Planeten, wier loopbanen mede onbeweeglijk zouden zijn en zich niet dan ten gevolge van de beweging der Aarde moesten schijnen te verplaatsen, eenigermate een on-

met de oplossing van den kleinen bolvormigen driehoek *bca*

tweede, den voerstraal ZP getrokken van de Zon tot de Planeet, en zoo gij 't verkiest, ook den afstand PA van de Planeet tot de Aarde; want gij hebt al de noodige gegevens om deze beide driehoeken op te lossen. In den bolvormigen driehoek toch kent gij den hoek C gelijk aan den hoek c van den driehoek abc de zijde CA , maat van den hoek

$$NZA = ZNr - ZAr = (N - \odot),$$

eindelijk den hoek A , supplement van de helling H der loopbaan op de Ecliptica, bijgevolg gelijk aan $180^\circ - H$; en in den vlakken driehoek hebt gij de zijde ZA , afstand der Zon van de Aarde, met de hoeken ZAP , gemeten door de zijde cb van den driehoek abc , en PZA , gemeten door de zijde BC van den driehoek ABC .

Zoo kunt gij dan, zonder theoretische gegevens, enkel door de waarneming, punt voor punt de ware loopbaan der Planeten rondom de Zon bepalen, en zoodoende vinden, gelijk Kepler deed:

1° Dat de loopbanen vlak zijn, en dat de vlakke-uitgebreidheden door de voerstralen rondom de Zon beschreven, evenredig zijn aan den tot hunne beschrijving gebezigten tijd;

2° Dat de doorloopen kromme lijnen ellipsen zijn, in welker brandpunt de Zon zich bevindt;

3° Dat de derde machten der middelbare afstanden (halve groote assen) tusschen de Planeten en de Zon tot elkander staan als de tweede machten van de omwentelingstijden.

454. **Omgekeerd vraagstuk. — Ontwikkeling van de anomalie en van den voerstraal in eene functie van den tijd. — Berekening van de lengte en de rechte opklimming.** — Zijn deze wetten eenmaal aangenomen, dan valt het licht ze voor de gewone behoefte der Sterrenkunde toe te passen op de bepaling van de anomalie v en van den voerstraal r , in eene functie van den tijd t . De evenredigheid der vlakke-uitgebreidheden met den tijd en de elliptische beweging voeren u toch zeer gemakkelijk tot de bekende formules;

$$r = a (1 - e \cos u)$$

$$\text{tang } \frac{1}{2} (v + l) = \sqrt{\frac{1+e}{1-e}} \text{ tang } \frac{1}{2} u$$

$$nt = u - e \sin u$$

welker betoog hier zonder doel zou wezen, en waarin e de excentriciteit is van de loopbaan, a de halve groote as, n de gemiddelde beweging der Planeet, l eene willekeurige standvastige grootte, voortspruitende uit de integratie, eindelijk u de hoek, onder den naam van *excentrische anomalie*, in 't midden zelf der ellips, begrepen tusschen de groote as en den voerstraal, die uit het middelpunt der kromme lijn naar de Planeet wordt getrokken.

Men ontwikkelt hieruit in de hemelsche Mechanica (van Laplace).

$$\begin{aligned} (v + l) = & nt + \left(2e - \frac{e^3}{4} + \frac{5e^5}{96} \right) \sin nt + \left(\frac{5}{4} e^3 - \frac{11}{24} e^4 + \frac{17}{196} e^6 \right) \sin 2 nt \\ & + \left(\frac{13}{12} e^3 - \frac{45}{64} e^5 \right) \sin 3 nt + \left(\frac{103}{96} e^4 - \frac{451}{480} e^6 \right) \sin 4 nt \\ & + \frac{1097}{960} e^5 \sin 5 nt + \dots = nt + E, \end{aligned}$$

zijnde E datgene wat men equatie van 't middelpunt heet, of wel het algebraïsch overschot der anomalie in de ellips op de gemiddelde cirkel-anomalie nt .

$$r = a \left(1 + \frac{e^2}{2} \right) - e \cos nt - \frac{e^2}{2} \cos 2nt - \frac{e^3}{2^2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3} (3 \cos 3nt - 3 \cos nt) - \frac{e^4}{2^3 \cdot 3 \cdot 4} (4^2 \cos 4nt - 4^2 \cos 2nt) + \dots$$

Wat de lengte betreft, om deze in eene functie van den tijd te bekomen, zal 't genoeg zijn de willekeurige standvastige grootheid l derwijze te nemen: 1° dat $(v + l)$ gerekend worde van 't Nachteveningspunt en niet van 't Perigæum, in geval het de Zon betreft; 2° dat dezelfde hoek gerekend worde van den knoop, als het eene Planeet betreft, en dat men in dit laatste geval $(v + l) = NZp$ (fig. 206) verandert in zijne projectie $L = NZp$ op de Ecliptica door middel van de vergelijking $\tan L = \tan(v + l) \cos H$; vervolgens dat men algebraïsch bij L de heliocentrische lengte ($r_1ZN = ZNA$) van den knoop voegt, hetgeen de lengte r_1Zp zal opleveren.

455. **Toepassing op de berekening van de tijds-vereffening.** — Wilt gij als toepassing, de vereffening van den tijd berekenen? Merkt dan eerst op, dat de formule $\tan R.O. = \tan \odot \cdot \cos \omega$ u onmiddellijk geeft de rechte opklimming R.O. van de Zon door hare lengte \odot , die gij voor eenig gegeven oogenblik kent, en door de schuinsheid ω van de Ecliptica. Deze formule, behoorlijk ontwikkeld, voert tot de volgende vergelijking, die gij hier zonder betoog kunt aannemen:

$$\tan^2 \frac{1}{2} \omega \cdot \sin 2 \odot \quad \tan^2 \frac{1}{2} \omega \cdot \sin 4 \odot$$

$$(\alpha) R.O. \odot = \odot - \frac{\sin 1''}{\sin 1''} + \frac{\sin 2''}{\sin 2''} - \dots = \odot + R.$$

Laat P de som zijn van de storings door de planeten op de Aarde uitgeoefend en welker waarden de Zonnetafels opgeven, volgens de aanwijzingen der hemelsche Mechanica. De ware lengte der Zon, gerekend van de middelbare Nachtevening (die welke beantwoordt aan de wereldas, geplaatst op den kegel der præcessie), zal tot uitdrukking hebben $nt + E + P$. En daar, wegens de nutatie (gelijk wij later zullen zien) het verschil op de Ecliptica tusschen de *middelbare* en de *schijnbare* Nachtevening gelijk is aan

$$\left[9'',6 \frac{\cos 2 \omega}{\cos \omega} \operatorname{cosec} \omega \cdot \sin \Omega = 18'' \cdot \sin \Omega. \right]$$

(zijnde Ω de lengte van den knoop der Maan), zal de *ware* lengte van de Zon, gerekend van de *schijnbare* Nachtevening zijn:

$$(nt + E + P + 18'' \sin \Omega = \odot).$$

Nu is, krachtens de vergelijking (α) , de *ware* R.O. van de Zon gelijk aan $\odot + R$. Derhalve zal deze *ware* rechte opklimming, ook gerekend van de *schijnbare* Nachtevening, volgens de voorgaande waarde van de lengte \odot der Zon, tot uitdrukking hebben

$$(nt + E + P + 18'' \sin \Omega = \odot) + R = nt + E + P + 18'' \sin \Omega + R.$$

Van een anderen kant is de *middelbare* rechte opklimming van de Zon, gerekend van de middelbare Nachtevening, gelijk aan nt . Doch daar de beweging der Nachtevening op den Aequator, wegens de nutatie, gelijk is aan

$$9'',6 \frac{\cos 2 \omega}{\cos \omega} \cotang \omega \cdot \sin \Omega = 9'',6 \frac{\cos 2 \omega}{\cos \omega} \operatorname{cosec} \omega \cdot \cos \omega \cdot \sin \Omega = 18'' \cos \omega \cdot \sin \Omega,$$

zoo zal de middelbare rechte opklimming, gerekend van de schijnbare Nachtevening, deze zijn:

$$nt + 18'' \cos \omega \sin \Omega.$$

Waaruit: tijdsvereffening = ware R.O. — middelbare R.O.

$$= nt + E + P \ 18'' \sin \Omega + R - nt - 18'' \cos \omega \cdot \sin \Omega$$

$$= E + P + R + 18'' \sin \Omega (1 - \cos \omega)$$

en in tijd (met $\omega = 33^\circ 27' 23''$)

$$= \frac{1}{15} (E + P + R) + 0,00917 \text{ s.} \sin \Omega.$$

$$\text{E} + \text{P} + \text{R} + 18'' \sin \Omega (1 - \cos \omega)$$



$$\text{E} + \text{P} + \text{R} + 18'' \sin \Omega (1 - \cos \omega)$$

De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening. De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening. De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening. De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening.

$$\left[\frac{1}{15} (E + P + R) + 0,00917 \text{ s.} \sin \Omega \right]$$

De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening. De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening.

$$\text{E} + \text{P} + \text{R} + 18'' \sin \Omega (1 - \cos \omega)$$

De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening. De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening. De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening.

De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening. De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening. De rechte opklimming van een ster is de hoek die zij met de ecliptica maakt, gerekend van de vroege Nachtevening.

ACHTTIENDE LES.

Vervolg van de beschouwing der Planeten.

Elongatiën van Mercurius. — Duur der synodische en der siderische omwenteling. — Moeilijkheid om Mercurius met ongewapend oog te zien. — Snelheid van Mercurius; elementen zijner loopbaan. — Schijngestalten van Mercurius. — Maxima en minima afstanden van de Aarde. — Grootte, massa en dichtheid der Planeet. — Zwaarte aan hare oppervlakte. — Blijken van eenen dampkring. — Bergen. — Wenteling om eene as. — Seizoenen. — Schijnbare grootte der Zon. — Intensiteit van het licht en de warmte der Zon. — Sporen van werkende vulkanen. — Venus. — Afstandshoeken en teruggangen. — Schijngestalten. — Elementen der loopbaan. — Middelbare snelheid. — Volumē. — Zwaarte, licht en warmte aan de oppervlakte van Venus. — Mars. — Wenteling om eene as. — Wolken en dampkring. — Seizoenen. — Bergen. — Zichtbaarheid van Venus bij vollen dag en met ongewapend oog. — Phosphorescentie of aschgrauw licht. — Onderstelde wachter. — Niet waar te nemen afplating. — Ontdekking der schijngestalten; hare belangrijkheid in het Wereldstelsel. — Overgang van Venus voorbij de Zon; toepassing op de bepaling van de parallax der Zon. — Het historische der berekening. — Reizen en waarnemingen, daardoor uitgelokt. — Parallax der zon, mede afgeleid uit die van Mars. — Helling en excentriciteit van de loopbaan dezer planeet. — Beoefening van Mars. — Siderische en synodische omwenteling. — Diameter, volumē, massa en dichtheid. — Licht en warmte der Zon. — Schijnbare diameters. — Afplating. — Schijngestalten. — Roodachtige kleur. — Vlekken — Wenteling om de as. — Saeuw- en ijs gordels aan de poolstreken van Mars. — Dampkring. — Overeenkomst tusschen de seizoenen van de Aarde en die van Mars. — Asteroiden.

456. **Elongatiën of afstandshoeken van Mercurius.** — Duur der synodische en der siderische omwenteling. — De algemeene zaken, in de vorige Les behandeld, zullen nu de afzonderlijke behandeling van iedere Planeet merkelyk verlichten en ons vergunnen zekere uiteenzettingen te bekorten. Immers ter voltooiing van deze behandeling zal 't voldoende wezen de bijzondere kenmerken en hoedanigheden aan te geven, waaraan men de verschillende Dwaalsterren van elkander kan onderscheiden.

Beginnen we dan al aanstonds met de Planeet Mercurius, die zich het dichtst bij de Zon bevindt. Bij hare grootste elongatiën of afstandshoeken, gaat zij nauwelijks boven 22 a 23 graden, zij kan evenwel tot 29 graden komen of niet verder dan 16 graden gaan, al naar gelang van de onderlinge standen van de Aarde en de Zon (middelbare afstanden, aphelium, perihelium, enz.), waaraan de uiterste afwijkingen beantwoorden. Eerst, bij hare boven-conjunctie in *m* (fig. 207), bedolven in 't zonnelicht, treedt zij weldra van lieverlede oostwaarts

daaruit, en alras ziet men haar ondergaan na de Zon; vervolgens, nadat zij in A haar grootsten afstandshoek bereikt heeft,

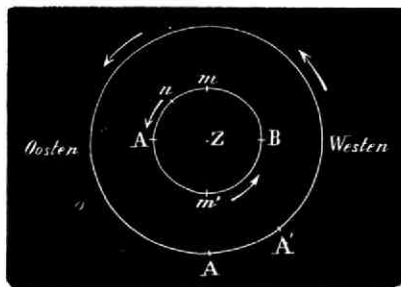


Fig. 207

komt zij de Zon weer naderbij, dompelt zich andermaal bij de beneden-conjunctie, omstreeks m' , in haar licht, treedt daarna des morgens te voorschijn, bereikt haar westelijken grootsten afstandshoek in B en verdwijnt vervolgens opnieuw bij de boven-conjunctie, die plaats zal hebben bij een punt n , oostelijk met betrekking tot het punt m der voorgaande conjunctie, omdat de Aarde, gedurende de omwenteling der Planeet, AA' heeft doorloopen, zoodat de *synodische* omwenteling noodwendig, evenals bij de Maan, langer moet zijn dan de *siderische*. De laatste duurt dan ook slechts 87,97 dag, en de eerste 116 dagen of, nauwkeuriger, 115,88 dag (*), van welke ongeveer 23 gebezigd worden tot de teruggaande beweging, die plaats heeft in een boog van gemiddeld 13 graden.

457. **Moeielijkheid om Mercurius met ongewapend oog te zien.** — **Snelheid van Mercurius.** — **Elementen van zijne loopbaan.** — Daar Mercurius zich nimmer ver van de Zon verwijderd, veroorzaken de dampen des horizons, in welke nabijheid hij zich gevolgelijk vóór den opgang en na den ondergang van dit Hemellicht bevindt, dat men hem vrij zelden met het bloote of ongewapende oog kan zien (†). Men beweert dat Copernicus, die toch volgens de waarnemingen van anderen Tafels van deze planeet heeft gemaakt, haar nooit zelf heeft gezien, daar de verrekijkers in zijnen tijd nog niet bekend waren. Een Sterrenkundige van Toulouse, Vidal (‡), verwierf zich daarentegen omstreeks het begin der 19de eeuw veel vermaardheid door zijne waarnemingen op Mercurius, dien hij nog schier bij aanraking met de Zon wist gade te slaan, ondanks het gering vermogen van zijne optische hulpmiddelen. Hoe dit zij, om u

(*) Men kan gemakkelijk den duur x van de middelbare synodische omwenteling vinden door middel van de formule, die wij reeds voor de Maan gebruikten:

$$\frac{2\pi}{t} x - 2\pi = \frac{2\pi}{T} x;$$

door $t = 87,97$ d. en $T = 365,25637$ d. te nemen, vindt men $x = 115,88$ d.

(†) Daar Mercurius zich zelden vertoont dan in 't halve donker van 'tschemerlicht, werd hij door de Ouden als de God der dieven beschouwd. Wegens de snelheid zijner beweging had men hem vleugels gegeven.

(‡) Lalande had dezen Sterrenkundige den bijnaam *Hermophilus* (Mercurius' vriend) en dien van *Tresmegistus* (driemaal groote) gegeven.

de verdere bijzonderheden betreffende de beweging van verplaatsing mede te deelen, zal ik u zeggen dat Mercurius eene gemiddelde snelheid heeft van 4 456 000 kilometers per dag; dat de excentriciteit zijner loopbaan gelijk is aan 0,206; de helling op de Ecliptica aan $7^{\circ}0'8''$; eindelijk, dat hij nu en dan (na tijdsverloopen van 3, 7, 10 enz. jaren) over de Zonneschijf gaat, bij welke gelegenheid de verrekijkers hem kunnen volgen en zoo tot de zekerheid kunnen leiden dat de beide Sterren, waarvan de eene beurtelings des morgens verschijnt of verdwijnt, wanneer de andere des avonds verdwijnt of verschijnt, ééne en dezelfde Ster zijn.

458. **Phasen of schijngestalten van Mercurius. — Maxima en minima afstanden van de Aarde. — Grootte, massa en dichtheid van de Planeet. — Zwaarte aan hare oppervlakte.** — Uit een ander gezichtspunt beschouwd, levert Mercurius ons phasen of schijngestalten, evenals de Maan. Hij heeft derhalve geen licht van zich zelve, maar ontleent zijn licht alleen aan de Zon. Zijn gemiddelde afstand 3,87 van de Zon, uitgedrukt in kilometers bedraagt (daar 152 688 000 kilom. den gemiddelden afstand 10 van de Zon tot de Aarde uitdrukken) ongeveer 59 092 000 kilom. Bij de beneden-conjunctie, in m' , zal Mercurius gevolgelijk geen grooteren afstand van ons hebben (wordende de banen beschouwd als cirkelvormig en als beide gelegen in hetzelfde vlak), dan het verschil beloopt tusschen de beide vorige getallen, namelijk 93 596 000 kilom.; terwijl bij de boven-conjunctie, in m , zijn afstand zal voorgesteld worden door de som (211 780 000 kilom.) van dezelfde getallen (*). Hieruit volgt, dat de diameter en oppervlakte der Planeet ons zeer uiteenloopende afmetingen moeten vertoonen. Dit heeft dan ook inderdaad plaats; want de diameter $6'',70$, voor een gemiddelden afstand gelijk aan dien, welke ons van de Zon scheidt, zweeft voor de bovengenoemde uiterste afstanden tusschen $10'',93$ en $4'',83$. Wat de volstreckte grootte van dezen diameter betreft, zij bedraagt ongeveer 4800 kilom. (38 honderdste deelen van den diameter der Aarde); hieruit vindt men gemakkelijk de getallen 0,14 (vierkant van 0,38) en 0,055 (kubiek van 0,38) voor de oppervlakte en het volumen van Mercurius in verhouding tot de oppervlakte en het volumen der Aarde, telkenmale tot eenheid genomen. Tevens hebben de berekeningen van de Mechanica des hemels geleerd, dat de massa

(*) Werkelijk zijn de periheliums- en de apheliums-afstanden van Mercurius gelijk aan 46 916 000 en 71 264 000 kilometers. De onderlinge stand der groote assen van Mercurius op de Ecliptica bekend zijnde, valt het licht de uiterste afstanden te berekenen, die tusschen de Aarde en de Planeet kunnen bestaan. Deze afstanden zijn 75 178 000 en 204 900 000 kilometers. De schijnbare diameters onderspannen dan hoeken van $13'',81$ en $4'',99$.

der Planeet gelijk is aan 81 duizendste der aardmassa; de zwaarte aan 57 honderdste van die hierbeneden, en de dichtheid aan anderhalfmaal (1,501) de gemiddelde dichtheid van onzen Bol.

459. **Blijken van eenen dampkring.** — Volgens Harding en Schroeter, die in 1801 het eerst het verschijnsel waarnamen, ziet men somwijlen plotseling donkere banden, doorgaans zonder vlekken, op de schijf der Planeet ontstaan. Andere waarnemers hebben, gedurende de schijngestalten, zekere verflauwingen van het verlichte gedeelte, of ook wel, tijdens den doorgang tusschen de Zon en de Aarde, een zwak lichtend lichtkroontje rondom Mercurius meenen te bespeuren; en hoewel er twijfelingen gezeten zijn aangaande die beweringen, welke overigens, bij de ongunstige omstandigheden onder welke de waarnemingen gedaan kunnen worden, zeer moeielijk te staven zijn, is men nochtans vrij algemeen overeengekomen ze als blijken van eenen dampkring te beschouwen.

Bergen. — **Wenteling om eene as.** — **Seizoenen.** — **Schijnbare grootte der Zon.** — **Intensiteit van het licht en de warmte der Zon.** — Bij den eersten opslag zou men ook aanduidingen van denzelfden aard kunnen zien in de afstomping, welke het zuidelijk einde van Mercurius *op geregeld wederkerende tijden* te zien geeft, als hij de gedaante van een sikkelvormig maantje aanneemt. Maar de aandachtige beoefening van dit verschijnsel heeft Schroeter, die het ontdekt heeft, genoopt het te beschouwen als een gevolg van de schaduw, achter zich geworpen door een hoogen berg (van 19 700 meters) zich met de gansche Planeet in 24 u. 5 m. middelbaren tijd wentelende rondom eene as, die met een hoek van omtrent 20 graden op het vlak der loopbaan helt. Hieruit moet volgen, dat Mercurius uiterst scherp begrensde seizoenen heeft; dat de Zon, tijdens de stilstandtijden bij voorbeeld, met betrekking tot den horizon der Polen niet slechts 23°27' beurtelings rijst en daalt, maar dat hij zulks doet tot 70 graden toe. Daar tevens de middelbare afstand van Mercurius tot de Zon niet meer dan ongeveer vier tiende van dien der Aarde is, zoo zullen de diameter en de oppervlakte der Zon, die in omgekeerde verhouding tot dien afstand en zijn vierkant staan, zich aldaar voordoen, de eerste twee en een half maal (in de verhouding van 10 tot 4) grooter dan zij ons toeschijnt, de tweede met eene zes en een vierde maal (vierkant van 2,5) grootere uitgestrektheid. Het licht en de warmte, als op hunne beurt dezelfde wet als de oppervlakte volgende, zullen er mede zes en een vierde maal meer intensiteit dan op de Aarde hebben, waardoor de *Æquator* van Mercurius, alles in verhouding gerekend met hetgeen hierbeneden plaats heeft, eene gemiddelde temperatuur van bijna 200 graden

zou bekomen, gevolgelijk veel te hoog dan dat wezens, bewerktuigd zooals wij, er kunnen leven. 't Is waar, dat de uitdamping er aanzienlijk moet wezen, en dat de afkoeling van den nacht overvloedige regens kan ten gevolge hebben, zonder nog mee te rekenen dat de groote excentriciteit, de sterke helling des *Æquators* op het vlak der loopbaan, enz. wel geschikt schijnen om de resultaten te helpen wijzigen.

Sporen van werkende vulkanen. — Doch 'tis noodeloos verder uit te weiden over bijzonderheden, die nog te zeer op onderstelling berusten, daar de gesteldheid van den bodem, die van den dampkring, van 't inwendige van Mercurius ons onbekend zijn; en ik besluit de geschiedenis dezer Planeet met u te zeggen, dat Schröeter, Harding, Kœhler, enz., tijdens haren overgang van 1779 voorbij de Zon, op de donkere schijf een lichtend puntje bespeurden, dat voor een waarschijnlijk teeken van werkende vulkanen aan het oppervlak van Mercurius werd gehouden.

460. Venus. — Afstandshoeken en achteruitgang. — Phasen. — Elementen der loopbaan. — Middelbare snelheid. — *Venus* — de *Vesper* en *Lucifer* der Ouden, die aanvankelijk niet bemerkt hadden dat de *Avondster* en de *Morgenster* of *Herdersster* een en hetzelfde hemellichaam waren — levert ons in hare bewegingen bijzonderheden op, die geheel overeenkomstig zijn met die van Mercurius; doch in plaats van zich niet verder dan tot 23 graden te verwijderen, bereiken hare afstandshoeken waarden van 48 graden, en haar achteruitgang met betrekking tot de Sterren geschiedt volgens eenen boog van 15 graden, dien zij in 42 of 43 dagen doorloopt. Zij heeft merkwaardige schijngestalten; hare siderische en synodische omwentelingen duren, de eerste 224,70, de andere 583,92 d.; de helling harer baan op de *Ecliptica* is gelijk aan $3^{\circ}23'35''$; de excentriciteit bedraagt slechts 0,007; eindelijk, de gemiddelde snelheid rondom de Zon belooft 3 088 000 kilometers per dag.

461. Volumen. — Massa en dichtheid. — Zwaarte, Licht en Warmte aan de oppervlakte der Planeet. — De schijnbare diameters van Venus loopen zeer uiteen; want de middelbare afstand (7,23) van de Planeet tot de Zon staat in rond getal gelijk aan 110 392 000 kilometers, die, gevoegd bij of afgetrokken van den middelbaren afstand (152 688 000 kilom.) van de Aarde tot de Zon, voor de uiterste afstanden van Venus tot de Aarde, tijdens de beide conjunctiën (boven en beneden) de getallen 263 080 000 en 42 296 000 kilom. geven, afgezien van de helling en de excentriciteit (*). Daar de schijnbare

(*) Wil men de excentriciteit in rekening brengen, zoo vindt men voor Venus' afstanden in 't perihelium en aphelium 7,18 of 109 628 000 en 7,28 of 111 156 000 kilom., voor den kleinste mogelijke afstand tot de Aarde 39 000 000 kilometers.

diameter van Venus, voor een afstand gelijk aan den middelbaren afstand van de Zon tot de Aarde, $16''{,}9$ bedraagt, volgens de metingen van Arago, zal deze diameter dus tot $60''{,}9$ klimmen bij de beneden-conjunctie, en daarentegen bij de boven-conjunctie niet boven $9''{,}8$ gaan. Daar bovendien de middelbare parallax der Zon, dat is de hoek, onder welken men uit dat Hemellichaam den diameter der Aarde op den afstand van 152 688 000 zou zien, gelijk is aan $17''{,}16$, zoo moet het volumen van Venus zeer weinig verschillen van dat der Aarde (0,955, dat der Aarde 1 zijnde), waaraan het zelfs geheel gelijk zou wezen (0,999), indien men, in plaats van $16''{,}9$, de waarde $17''{,}14$, in 1836 door Beer en Mädler gevonden, wilde aannemen voor den schijnbaren diameter van Venus op den middelbaren afstand, die ons van de Zon scheidt. Met de parallax $17''{,}72$, welke de nieuwste nasporingen schijnen aan te geven, zou het volumen verminderen tot op 0,868, en de massa van Venus zou dan worden voorgesteld door 0,859, hare gemiddelde dichtheid door 0,987, de zwaarte op hare oppervlakte eindelijk door 0,94, altijd de overeenkomstige grootheden voor de Aarde tot eenheden genomen. Wat de intensiteit van de warmte en het licht der Zon betreft, deze hebben beide het getal 1,91 tot uitdrukking.

462. **Zeeën. — Wenteling om de as. — Wolken en dampkring.** — Bij het opletend onderzoeken van de oppervlakte der Planeet bleek aan Bianchini reeds in 1726 het bestaan van zekere donkere vlekken, die hem toeschenen zeeën te zijn, aan welke hij de namen van eenige beroemde personen gaf, en welker periodische terugkeer, na omstreeks 1840 te Rome door de Vico beter ontleed te zijn dan Bianchini zulks gedaan had, voor de rotatie of wenteling van Venus om zich zelve een duur van 23 u. 21 m. 24 s. geeft (*). Overigens zijn deze donkere vlekken niet de eenige vlekken, die men op de oppervlakte van Venus bespeurt. In 1666 en 1667 bemerkte Cassini het eerst blinkende vlekken, die, naar allen schijn, veroorzaakt werden door in een dampkring drijvende wolken, en door welke hij ongeveer 24 uren voor den duur der rotatie vond.

Seizoenen. — Bergen. — Schröter, die op zijne beurt, van 1788 tot 1793, zich onledig hield met de afstomping van Venus' maansikkeltje, reeds in 1700 door Lahire bemerkt, maar niet berekend, verkreeg een rotatie-duur van $23^{\circ}21'$ met eenen hoek van bijna 15 graden tusschen de omdraaiingsas en het vlak der Ecliptica. Hieruit volgt, evenals voor Mercurius, dat de afwisseling der seizoenen op deze Planeet zeer groot moet wezen,

(*) Bianchini vond 24 d. 8 u.

daar de zonsafwijkingen in de stilstandspunten er ongeveer 75 graden bereiken. Uit de grootte der afstompingen vond Schröter tevens voor de bergen van Venus hoogten van bijna 44 kilometers, meer dan het dubbele van de bergen op Mercurius en het vijfvoudige van de grootste hoogten, die men op 's Aardbols oppervlakte kan waarnemen. Nog andere zeer merkwaardige bijzonderheden, geheel in overeenstemming met hetgeen er op de Maan en de Aarde plaats heeft, werden door Schröter aan 't licht gebracht: ik bedoel een blinkend punt, ongetwijfeld een sterk beschenen piek of wellicht werkenden vulkaan, dien de Sterrenkundige van Lillienthal in het donkere gedeelte, zeer dicht bij de scheidslinie van licht en schaduw, bespeurde; alsook, langs dezelfde lijn, eene soort van half-schaduw, gelijk die te weeg gebracht zou worden door dampkringslagen, wier schemerlichtvermogen beantwoordt aan 15 graden zonedaling beneden den horizon (§ 147 en vgg). De dampkring van Venus moet dan een weinig minder dichtheid hebben dan de onze, die beantwoordt aan een schemerings-zonedaling van 18 graden; maar de verschillen zijn toch zoo aanzienlijk, dat wezens zooals die hier beneden bestaan, er niet wel in zouden kunnen leven.

463. Zichtbaarheid van Venus bij vollen dag, met ongewapend oog. — Phosphorescentie of aschgrauw licht. — Onderstelde wachter. — Niet waar te nemen afplatting. — Somwijlen ziet men Venus met het bloote oog bij vollen dag, zóó levendig is haar licht. Men onderkent ook menigmaal het donkere gedeelte door eene soort van phosphorescentie of misschien aschgrauw licht, dat zij òf van de Aarde, òf van Mercurius krijgt (*), en van gelijken aard moet zijn als dat, hetwelk Venus zelve nu en dan op ons werpt. Eindelijk hebben verschillende Sterrenkundigen, onder anderen Dominicus Cassini, eenen Satelliet of Wachter meenen te zien, die zich, evenals de Planeet, onder schijn gestalten vertoonde, eenen diameter moest hebben nagenoeg als die van onze Maan, en meestentijds door de zwakheid van zijn terugkaatsend vermogen voor ons onzichtbaar zou zijn. Ik voeg er bij dat de pogingen, in 't werk gesteld om te weten of Venus afgeplat is gelijk de Aarde, tot dusverre vruchteloos zijn gebleven, en dat de Planeet zich altijd als volkomen rond heeft voorgedaan, hetgeen trouwens geen verwondering kan baren wanneer men bedenkt, dat eene afplatting gelijk aan die der Aarde zich zou te kennen geven door de grootheid $0",2$ op het oogenblik van den kleinsten afstand, dat is op het oogenblik wanneer de nabijheid ons de afplatting het best bemerkbaar zou moeten maken.

(*) Wellicht ook een gevolg van de hevige zonnearmte.

464. Ontdekking der schijngestalten. — Hare belangrijkheid in het Wereldstelsel. — Toen Copernicus zijn stelsel openbaar maakte, wierp men hem 't gemis van schijngestalten bij Venus voor de voeten, „want,” zeide men, „ware de „Aarde eene Planeet die zich rondom de Zon beweegt, gelijk „Venus, dan zou deze klaarblijkelijk een donker lichaam zijn als „de Aarde; en in dat geval zou zij ook fasen of schijngestalten „moeten hebben, die men evenwel niet bespeurt.” Hierop gaf Copernicus ten antwoord: „Ik erken dat ik voor het tegenwoordige daarop niets heb te antwoorden; maar als mijn stelsel waar „is, weest dan verzekerd, dat God niet in gebreke zal blijven „er vroeg of laat het bewijs van te leveren.” En ziet, nog waren er sinds den dood van Copernicus geen zeventig jaren verlopen, toen de uitvinding der verrekijkers Galilei in staat stelde het bestaan te bewijzen van een verschijnsel, welks beweerd gemis men als eene niet weg te ruimen tegenwerping had voorgesteld.

Galilei wist overigens de eer der ontdekking, terwijl hij toch den tijd nam om haar tot klaarheid te brengen, voor zich zelve te waarborgen door dezen zoo fraaien als juisten logogrief, dien hij den 11den December 1610 nederschreef:

Haec immatura a me iam frustra leguntur. O. Y.

Deze onrijpe zaken zijn door mij reeds vruchteloos ingezameld (of gelezen). O.Y.

uit welken logogrief op den 1sten Januari 1611 door letterver-zetting de volgende zin aan 't licht kwam:

Cynthiae figuras aemulatur mater Amorum;

De moeder der Liefdegoden (Venus) evenaart de figuren (schijngestalten) van Cynthia (Diana of de Maan).

Zoo is dan Venus door hare fasen op het nauwst verbonden aan een der gedenkwaardigste triumpfen van den menschelijken geest, „aan die verplaatsing van den tempel van Vesta, waar- „van het denkbeeld alleen,” zegt een oud wijsgeer, „voor de „Grieken voldoende had moeten zijn, om den vermetelen nieu- „wigheidszoeker (Pythagoras), die zich daaraan dorst schuldig „maken, voor hunne vierschaar te dagen en hem wegens heil- „ligschennis te veroordeelen.” Door hare overgangen voorbij de Zonneschijf heeft zij mede deel aan de gewichtige bepaling der eenheid, die tot maat dient voor al de hemelafstanden.

465. Overgang van Venus voorbij de Zon. — Toepassing op de bepaling van de Zonsparallax. — Wilt gij dienaangaande enkele aanwijzingen? Houdt dan vooreerst in 't oog, dat de loopbaanhelling van Venus op de Ecliptica, hier van denzelfden invloed als zulks bij de Maan en Mercurius

plaats heeft, te weeg brengt dat de overgangen voorbij de Zonneschijf niet bij iedere beneden-conjunctie plaats hebben (*), en dat deze overgangen paarsgewijze gescheiden zijn door tijdsafstanden van 8 jaar, van 105,5 jaar, van 121,5 jaar, van 243 jaar, enz. Vergeet daarbij niet, dat daarenboven, bij het plaatsgrijpen van 't verschijnsel, de anders doorgaans in de nabijheid der Zon onzichtbare Planeet, als zij over de Zonneschijf gaat, integendeel volkomen waarneembaar wordt onder de gedaante van een rond plekje.

Hare parallax kan derhalve alsdan onder de gunstigste omstandigheden gemeten worden, daar Venus zich nu op haren minima afstand van de Aarde bevindt en de parallactische hoek dus een maximum is, in welk geval de waarnemingsfouten van veel geringer invloed zijn op de waarde van dien hoek. Daar nu Kepler's derde wet, bij de siderale omwentelingstijden van de Aarde en Venus (365,25637 d., en 224,71 d.), de verhouding

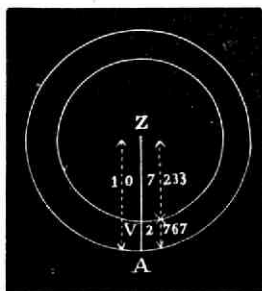


Fig. 208.

geeft van 10 tot 7,233 voor de middelbare afstanden ZA, ZV (fig. 208) van de beide Planeten tot de Zon, gevolgelijk die van 10 tot $(10 - 7,233 =)$ 2,767 voor de afstanden ZA, VA van de Zon en Venus tot de Aarde tijdens de beneden-conjunctie (afgezien van de geringe helling der loopbaan), zoo moet de parallax zelve van Venus grooter zijn dan die der Zon in de verhouding van 10 tot 2,767, dit wil zeggen bijna viermaal zoo groot, of gelijk aan ongeveer 32 seconden, indien de parallax der Zon 8 a 9 seconden bedraagt.

Maar gelijk de derde wet van Kepler de verhouding der afstanden ZA, ZV aangeeft, zoo brengt zij ook door een zeer eenvoudig verband, het verschil AV van die afstanden tot een der beide grootheden ZV of ZA in verhouding. De parallax van Venus bij hare beneden-conjunctie, of den afstand AV, te meten, zegt juist daardoor zooveel als den afstand AZ te vinden. Doch indien de dwaling in de waarnemingen aan eene seconde, bij voorbeeld, gelijk is, zal zij slechts het twee en dertigste gedeelte van de parallax van Venus bedragen, terwijl zij het achtste of negende gedeelte van de zonsparallax zou zijn; en als men deze uit de eerste afleidt, zal de begane dwaling slechts voor een twee en dertigste invloed hebben op de berekende parallax, terwijl zij op de rechtstreeks waargenomen

(*) Zie de Noot aan het einde der 18de Les.

parallax een verschil van een achtste of een negende zou veroorzaakt hebben (*).

(*) Stelt dat α, β (fig. 209) twee waarnemers aan 't oppervlak der Aarde zijn, voor een van welke, α , de Planeet Venus V op de Zon de koorde mm' doorloopt, terwijl zij voor den anderen β de koorde nn' beschrijft. De duur van de overgangen zal de lengte

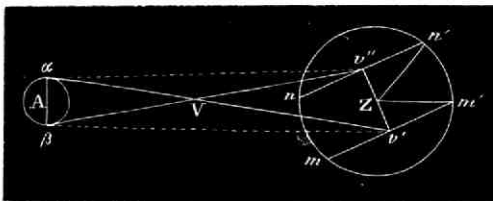


Fig 209.

der beide koorden, gevolgelyk ook den boog $v''v'$, die deze koorden scheidt, opleveren; want noemt men k, k' de lengten der beide koorden, uitgedrukt in bogen van een grooten cirkel, en d den halven diameter der Zon, dan bekomt men door de rechthoekige driehoeken $Zv'm', Zv''n'$

$$Zv' = \sqrt{d^2 - k^2}, \quad Zv'' = \sqrt{d^2 - k'^2};$$

en hieruit

$$v''v' = \sqrt{d^2 - k^2} + \sqrt{d^2 - k'^2}.$$

Verbindt de punten α en β met de punten v'' en v' ; de berekende lengte van $v''v'$ zal de beide gelijke hoeken $v''\alpha v'$ en $v''\beta v'$ meten, die kennelyk nwl zouden zijn ingeval de parallax van Venus dezelfde als die der Zon was, en welke waarde in verhouding zal zijn met de parallax der Planeet. Derhalve is het meten van $v''v'$ of van de hoeken α, β , zooveel als het middellyk meten der parallax van Venus. Voorts heeft men in een der beide driehoeken $\alpha V v''$ of $\beta V v'$ den uitwendigen hoek $V = \alpha + v'' = \beta + v'$, en indien men deze (zeer kleine) hoeken vervangt door hune trigonometrische tangentes,

$$(\text{tang } \alpha \text{ of tang } \beta, \text{ eene bekende groothed, daar de hoeken } \alpha \text{ en } \beta \text{ gegeven zijn door de koorde } v''v') = \text{tang } V - \text{tang } v' = \frac{\alpha\beta}{a' - a} - \frac{\alpha\beta}{a'}.$$

De derde wet van Kepler geeft daarenboven

$$\frac{a'}{a} = \sqrt[3]{\frac{A'^2}{A^2}}.$$

Daar bovendien de rechtlyjnye afstand $\alpha\beta$ der beide waarnemers α en β ook bekend is, zullen de voorgaande vergelykingen de waarden der middelbare afstanden a, a' van Venus en van de Aarde tot de Zon geven.

Voor 'toverige is het nuttig hier op te merken, dat deze rekenwyze tot een groote nauwkeurigheid kan leiden; want aangezien, volgens Delambre's berekening, de invloed der parallax bijna 30 minuten verschil kan veroorzaken in den waargenomen duur der overgangen voor twee naar behooren op den afstand der Aarde geplaatste waarnemers, zoo zal, wanneer men het in- en uittreden der Planeet op 4 of 5 tydseconden nu waarneemt, de grootste fout op het verschil niet meer dan 20 seconden of het 90ste gedeelte van dat verschil bedragen; eene fout die, op hare beurt voor ongeveer $\frac{1}{30}$ neerkomende op de parallax (8 a 9 seconden) der Zon, deze zou aangeven op $\frac{1}{90}$ van 8 a 9 seconden, dat is op $\frac{1}{10}$ seconde na.

Volgens de combinatiën der waarnemingen twee aan twee, loopen de waarden, gevonden uit de overgangen van 1761 en 1769 veel aanmerkelyker uiteen. Doch men had ook de plaatsen van waarneming niet zoodanig kunnen kiezen, dat zij het maximum van uitwerking voortbrachten, want de verschillen in duur beliepen niet meer dan 22 a 23 minuten, en bovendien was de nabijheid des horizons hinderlyk voor verscheidene waarnemingen. De bekomen waarden van de parallax der Zon verschilden van $8'',2$ tot $9'',2$. Echter gaf de gemiddelde der 14 gunstigste combinatiën $8'',57$ voor den overgang van 1769; doch, gelyk ik (noot van § 207) gezegd heb, in 1864 heeft een nieuw onderzoek van dienzelfden overgang $8'',86$ opgeleverd. De vraag zal ongetwyfeld voor goed opgelost worden door de aanstaande overgangen van 1874 en 1882.

466. Het historische der berekening. — Ziedaar den geheel gang der berekening, zooals zij uitgedacht werd door Halley, die voorsloeg haar toe te passen op de aanstaande overgangen, welke hij voor de jaren 1761 en 1769 aankondigde, *met verzoek aan het nageslacht zich te herinneren dat het denkbeeld van een Engelschman kwam.* Nogtans had Kepler reeds vóór Halley het verschijnsel voorspeld, maar zonder er iets anders in te zien dan eene zeldzame bijzonderheid, die bij gebrek van verrekijkers tot dusverre niet was gadeslagen. 't Is alzoo werkelijk aan Halley dat de eer der toepassing moet toegekend worden. Toen hij ze aangaf als een voortreffelijk middel om de parallax der Zon te bekomen, wist echter de beroemde Sterrenkundige zeer goed, dat hij naar alle waarschijnlijkheid zelf geen gebruik van zijne methode zou kunnen maken, en dat hij sinds lang niet meer onder de levenden zou behooren (hij was geboren in 1656), als het oogenblik daar zou zijn om ze aan te wenden. Hij beval ze evenwel met zelfvoldoening aan, veel meer vervuld met het denkbeeld om den menschen nog van nut te wezen nadat hij reeds uit hun midden verdwenen was, dan met sombere klachten over zijn leven hierbeneden, te kort om hem de aanschouwing te vergunnen van 't hemelverschijnsel, waarvan hij het eerst de hooge belangrijkheid had ontdekt. Treffende openbaring van die verheven aandrift, ons door de Voorzienigheid geschonken, en van het innig bewustzijn, dat ons door de voorbijgaande beroeringen van dit leven heen eene onvergankelijke toekomst doet aanschouwen!

Vindt de rechtschape mensch, gelijk een Halley, een Kepler, en zooveel andere edele harten aan verheven geesten gepaard, zijn hoogst genot in den plicht dien hij vervult, in de bewustheid van 't goede dat hij verricht, meer, veel meer dan in de eerbewijzingen, het aanzien en de ijdele voldoeningen des hoogmoeds, dan is dit voorzeker omdat God heeft gewild, dat na het vluchtig zingenot van 't stof de opgetogenheid des gevoels en der gedachte ons voor eeuwig zouden bijlijven.

467. Reizen en waarnemingen, daardoor uitgelokt. — Gespoord door die heldhaftige toewijding aan den plicht, waarvan Halley's naam voor 't overige meer dan een roemrijk voorbeeld in herinnering bracht, verstrooiden zich de Sterrenkundigen over 's Aardbols oppervlak, ten einde de aankondigde overgangen van Venus waar te nemen. Een hunner, onder anderen, Le Gentil de la Galaisière, uit Indië vertrokken in de maand Maart 1760 en belemmerd door den oorlog, dien de Franschen toenmaals tegen de Engelschen voerden, had den moed acht lange jaren te Pondichery op den overgang van 1769 te wachten, stellende daarmede zijne ambtsbetrekking aan de *Académie*

des Sciences te Parijs in de waagschaal, zoodat hij daar werkelijk, dewijl er geene berichten van hem inkwamen, door een ander werd vervangen; brengende zodoende tevens zijn vaderlijk erfgoed in gevaar, dat hij liet beheeren door een ontrouwen vriend, uit wiens handen hij het dan ook nimmer heeft teruggekomen; terwijl hij nog tot overmaat van smart het doel zijner onuitputtelijke zelfverzaking geheel en al verijdeld zag, want nadat hij den overgang der Planeet in 1761 van 't verdek van zijn schip enkel had kunnen beschouwen zonder hem te kunnen waarnemen, bevond hij zich toen 't verschijnsel van 1769 plaats had onder een met wolken dicht bezetten hemel, zoodat hij er niets van te zien kreeg.

De abbé Chappe d'Auteroche, reeds bekend door een eerste reis naar Siberië tijdens den overgang van 1761, begaf zich op zijne beurt naar Californië, en stierf daar den 1sten Augustus 1769 op 41jarigen ouderdom aan de gele koorts, doordien hij, onder de inblazing van een overdreven ijver in de vervulling zijner taak, zijn verblijf te midden der epidemie, zonder merklijk nut, nog veertien daag had willen rekken, ten einde zijne waarneming van den overgang van Venus nog te vermeerderen met die van eene maansverduistering en van enkele andere Sterbedekkingen.

Van hunne zijde de uiterste grenzen van Europa's bewoonbaar vasteland tot standpunten van waarneming kiezende, begaven Hell en Planmann zich, de eerste naar Wardehuus (de noordelijkste vesting op aarde, in Noorweegsch Lapland), de tweede naar Kajaneburg (Finland); terwijl Green, Cook en Solander naar Tahiti, Dymond en Wales naar de Hudsonsbaai vertrokken, enz.; terwijl Cassini, Messier, Bernouilli, Du Séjour, Maskeline, Dolières, enz. zich te Parijs, Londen, Sint-Petersburg, Peking, enz. voorbereidden om zelve het hemelverschijnsel waar te nemen.

468. — Zoo veel samenwerkende pogingen konden niet onvruchtbaar blijven. De zelfopofferende zucht tot onderzoek ontving dan ook hare belooning, en men kent eindelijk met een bijna volmaakte nauwkeurigheid — die daarenboven buiten twijfel nog bevestigd zal worden door de aanstaande overgangen van 1874 en 1882 — men kent de eenheid der hemellengten, den waren afstand van de Aarde tot de Zon.

469. **Parallax der Zon, mede afgeleid uit die van Mars.** — **Helling en excentriciteit van de loopbaan dezer Aarde.** — Bij gebrek aan overgangen van Venus, had reeds Mars in oppositie of tegenstand de parallax der Zon, ofschoon minder nauwkeurig, opgeleverd. Daar de gemiddelde afstand der Zon tot deze Planeet 15,24, en de excentriciteit harer loopbaan 0,093

bedraagt, moeten hare uiterste afstanden 16,66 en 13,82 wezen. Daar tevens de helling der baan van Mars op de Ecliptica niet boven $1^{\circ}51'2''$ gaat, zou, afgezien van deze helling, eene oppositie, beantwoordende aan 't perihelium van Mars en aan den middelbaren afstand der Aarde — welken middelbaren afstand men werkelijk op den tegenwoordigen tijd bijna in de richting van 't perihelium van Mars vindt — 13,82 min 10, of 3,82 voor den afstand der beide Planeten geven. Het zou dus alsdan, evenals bij Venus, zeer voordeelig zijn de parallax der Zon af te leiden van de parallax van Mars, omdat deze laatste bijna het drievoud van de andere zou wezen. De berekenwijze zou zelfs in al de gevallen gelukken, daar de ongunstigste combinatie, die van het perihelium der Aarde en van 't aphelium van Mars (thans onmogelijk wegens den weerzijdschen stand der groote assen) nog slechts eenen afstand van 6,83 geeft. Ook hebben Cassini eerst en Lacaille later haar met goed gevolg aangewend, want zij vonden eene parallax begrepen tusschen 9 en 10 seconden, gevolgelyk niet veel meer dan de waarde $8'',58$, die Venus oplevert. Wij hebben reeds gezien (noot van § 207) dat de oppositie van 1862 ook eene uitkomst ($8'',95$) heeft gegeven, die de waarheid zeer nabijkomt.

470. **Beoefening van Mars.** — Een gelukkig toeval richtte Kepler's bespiegelingen op Mars, die onder de van ouds bekende Planeten, na Mercurius, de grootste excentriciteit heeft; en wij hebben het die aanzienlijke excentriciteit dank te weten, dat de onsterfelijke wetgever der Sterrenkunde de ongelijkheden kon ontdekken, waaruit hij de drie wetten, voortaan onafscheidelyk van zynen naam, deed aan 't licht komen (*). Uit het oogpunt der ontdekkingen, waartoe deze Planeet geleid heeft, alsook uit dat der parallax, moet zij ons de levendigste belangstelling inboezemen.

471. **Siderische en synodische omwenteling.** — **Diameter, volumen, massa en dichtheid.** — **Licht en warmte der Zon.** — **Schijnbare diameters.** — **Afplatting.** — **Schijngestaten.** — **Roodachtige kleur.** — **Vlekken.** — **Wenteling om de as.** — Ten opzichte van de bijzonderheden, die betrek-

(*) Het zou bij den eersten opslag verwondering kunnen baren, dat Kepler juist Mars, en niet Mercurius, wiens loopbaan zoo zeer excentrisch is, heeft gekozen. Maar die verwondering zal ophouden, wanneer men nadenkt eensdeels over het bezwaar om Mercurius, vooral omstreeks de conjunctiën, waar te nemen, en anderdeels over het gewichtig voordeel, dat de *oppositiën* van Mars opleveren, inzonderheid voor het bepalen der *heliocentrische* plaatsen, dewijl men alsdan uit de Aarde de Planeet ziet in de richting zelve, waarin een op de Zon geplaatste waarnemer haar zien zoude. Toen Kepler de bewegingen met betrekking tot dit laatste Hemellichaam wilde bestudeeren, moest hij dus, ter verwijdering van de onnauwkeurigheden, die uit de fouten in de parallax zouden ontstaan, de waarnemingen kiezen, welke onafhankelyk waren van den afstand der Zon tot de Aarde. Voor 't overige doen hetzelfde nog tegenwoordig de Sterrenkundigen, die, bij gebreke van de altijd onwaarneembare conjunctiën, als de Planeten niet over de Zon gaan, zich bepalen tot de oppositiën, om daaruit de heliocentrische plaatsen te bekomen.

king hebben hetzij op de beweging der Planeet Mars, hetzij op hare physische gesteldheid, zal ik, ter voltooiing van de reeds vermelde, kunnen volstaan met u in weinig woorden te zeggen, dat de siderische omwenteling 686,98 d. en de synodische 779,96 d. duurt; dat de teruggaande beweging 72 a 73 dagen aanhoudt en zich uitstrekt over eenen boog van omtrent 16 à 17 graden; dat de afstand (15,24) en de gemiddelde snelheid neerkomen de eerste op 232 696 000, de tweede op 2 128 000 kilometers; dat de diameter, de oppervlakte en het volumen der Planeet, vergeleken bij de afmetingen der Aarde, respectievelijk gelijk zijn aan 0,54 (6876 kilom.), 0,29, en 0,16; dat de middelbare dichtheid, de massa en de zwaarte, vergeleken bij diezelfde grootheden op onzen Bol, achtereenvolgens worden uitgedrukt door 0,779, 0,119, 0,417; dat het licht en de warmte der Zon, naar verhouding van hetgeen ze voor ons zijn, worden voorgesteld door de breuk 0,43; dat de schijnbare diameter der Planeet, gezien op een afstand als die ons van de Zon scheidt, onder den hoek van 8",9, van 3",3 tot omtrent 23",5 verandert; dat de afplatting, volgens de metingen van Arago, omtrent gelijk is aan $\frac{1}{30}$; dat Mars, omstreeks de quadraturen, de tijden waarop het van uit de Aarde zichtbare gedeelte *cmbd* (fig. 210) het

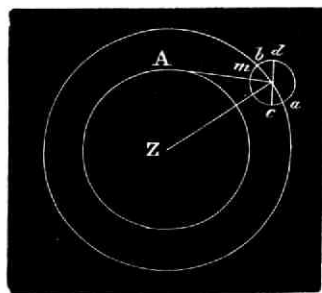


Fig. 210.

meest verschilt van het verlichte gedeelte *acmb*, een zeer merkbare phase of schijngestalte vertoont, overeenkomende met die van onze Maan, twee of drie dagen vóór zij vol is; eindelijk, dat de oppervlakte der Planeet een zeer duidelijken rooden gloed heeft (*), en tevens groenachtige blijvende vlekken vertoont, alsof het zeeën, meren of stroomen waren, uit welker regelmatige verplaatsing Dominicus Cassini, reeds in 1666, de rotatie of wenteling om de as op 24 u. 40 m. kon bepalen, en Herschel later de helling van den Æquator der Planeet op het vlak van hare loopbaan gelijk aan 28°42' bevond; terwijl zij eenige jaren geleden aan Mädler en Beer de gelegenheid gaven om den duur der rotatie te stellen op 24 u. 37 m. 23 s., welk getal tegenwoordig algemeen is aangenomen.

(*) Men heeft die roodachtige kleur van Mars willen verklaren, hetzij door roode planten, gelijk de struikgewassen van de *Bougainvillea*, hetzij door den okerachtigen aard des bodems, wiens kleur overeenkomst zou hebben met die van zekere groeven rood zand, welke men op onzen Bol vindt, enz.

472. Sneeuw- en ijsgordels aan de polen van Mars. — **Dampkring.** — Deze laatste bijzonderheden doen Mars treffend op onze Aarde gelijken. Er bestaat nog een andere niet minder sprekende trek van gelijkenis. Men bespeurt aan de beide Polen van Mars ophooping van witte stoffen, die (naar Arago's bepaling) een meer dan dubbelen glans hebben dan het overige der Planeet, trapsgewijs grooter worden en zich tot op vrij aanzienlijke afstanden op het eene halfronde gedurende den herfst en winter uitbreiden, om daarentegen af te nemen op het andere halfronde, waar alsdan de lente en zomer heerschen, terwijl zij vervolgens op dit laatste weder aangroeien en op het andere verminderen, wanneer de jaargetijden verwisseld zijn.

Dampkring. — Dit verschijnsel, achtereenvolgens tot in zijn kleinste bijzonderheden onderzocht door Maraldi, door Herschel, door Mädler en Beer, enz., heeft geleerd, dat zich bij elken Pool op geregeld terugkeerende tijden sneeuw- en ijsvelden vormen, die in het koude seizoen aangroeien en bij het naderen van den zomer ten deele wegsmelten, evenals zulks op de Aarde plaats heeft, waaruit het hoogst waarschijnlijk wordt, dat er een dampkring aanwezig is, uit welken de sneeuw nederslaat. Bezwaarlijk kan men het bestaan van dien dampkring ontkennen bij die blinkende lichtkroon, welke zich op den omvang der Planeet vertoont, of den invloed zijner dikte voorbijzien in de gesteldheid der vlekken bij hare randen; bezwaarlijk laat zich anders dan uit zijne met de seizoenen veranderende doorschijnendheid verklaren, waarom, volgens Maraldi, vooral volgens Mädler en Beer, de blijvende vlekken van Mars beurtelings onbepaald, flauw en verward, of zuiver, helder en scherp begrensd worden, al naargelang de winter of de zomer zich rondom haar doet voelen.

473. Overeenkomst tusschen de seizoenen der Aarde en die van Mars. — Alles veroorlooft ons alzoo, in Mars als 't ware het evenbeeld onzer Aarde te zien, want de beide Planeten verschillen om zoo te zeggen enkel door haar volumen, dat bij de laatste meer dan het zesvoud der andere is. Daar de hellingen der Æquators op de vlakken der loopbanen nagenoeg dezelfde zijn, en de temperaturen der Aarde bij de Keerkringen, volgens de vierkanten der afstanden, de overeenkomstige temperaturen van Mars niet meer dan 12 of 14 graden te boven gaan, zoo moeten de seizoenen der beide Planeten veel meer op elkander gelijken dan die van de Aarde en Venus.

Wat de schijnbare afmetingen der Zon betreft, haar diameter, slechts een derde kleiner voor de bewoners van Mars dan voor die der Aarde, geeft aan de vlakke-uitgebreidheid der lichtgevende schijf eene nog vrij aanzienlijke grootte (0,43), inzonder-

heid als men die grootte vergelijkt bij die, onder welke de Zon zich moet vertoonen aan de bewoners der Asteroïden, die zich tusschen Mars en Jupiter rondwentelen.

474. **Asteroïden.** — De vierkanten der afstanden, in omgekeerde verhouding tot de oppervlakten, geven de getallen 748 en 100 voor de betrekkelijke grootten eener zelfde Ster, uit de afstanden 10 en 28 gezien. En daar het licht en de warmte van de Zon in rechte verhouding tot diezelfde getallen zijn, kan men zeggen dat de kleine Planeten gemiddeld achtmaal minder verlicht en verwarmd worden dan wij. Voegt bij deze bijzonderheden de onregelmatige omtrekken, die eenige Asteroïden vertoonen; de veranderingen in licht, bij velen van haar waargenomen, waaruit men, volgens Goldschmidt, zou mogen besluiten dat zij in 24 uren om zich zelve wentelen; de hooge dampkringen van Ceres, Pallas en Juno; het ontbreken van een merkbaar luchtomhulsel bij de meeste andere; de kleinte van hare saamgenomen massa's, die, volgens Le Verrier's onderzoek naar de storingsen van Mars, *op zijn hoogst* gelijk kan zijn aan een vierde van de massa der Aarde; hare gemiddelde snelheid van plaatsverandering (ongeveer 1 640 000 kilom. per dag) rondom de Zon; de geringe zwaartekracht aan hare oppervlakte ($\frac{1}{100}$ ongeveer op Ceres, $\frac{1}{200}$ op Pallas); voegt eindelijk bij al de hier opgesomde resultaten de in de algemeene Lijst (Noot § 450) vervatte opgaven der hoofdelementen van de elliptische beweging der Asteroïden, en gij zult een vrij volledig overzicht hebben van onze tot dusverre verworven kennis betreffende den ring der kleine Planeten, die aan den Hemel schijnen geplaatst te zijn om een scherpe scheidslinie te trekken tusschen de Planeten van klein volumen, geringe massa's maar groote dichtheden, en de met veel minder dichtheid bedeelde groote Planeten, met welke wij ons nog moeten bezig houden.



NOOT

BETREFFENDE DE OVERGANGEN VAN VENUS VOORBIJ DE ZON

(Aanvulling van § 463).

475. — Daar de synodische omwenteling van Venus volbracht wordt in 583,92 d. legt de Aarde in dat tijdsverloop gemiddeld eenen boog van $375^{\circ}52'$ of $360^{\circ} + 215^{\circ},52'$ af. Het zal dus schijnen alsof de Zon zich over dienzelfden boog had verplaatst; en de lengten der hemelpunten, waar twee achtereenvolgende conjunctiën zullen

plaats grijpen, moeten gevolgelijk 213^o,32 verschillen. Vijf conjunctiën geven een verschil van 1077^o,60, bijna 1080 graden of drie omtrekken. Van een anderen kant duren vijf synodische omwentelingen van Venus 2919,60 d., en 13 siderische omwentelingen, op 1½ d. na 7 jaar 362,91 d. (zeggen we in rond getal 8 jaar).

Hieruit volgt, dat Venus, de Aarde en de Zon, acht jaar na een eersten overgang, zich weder in bijna identische omstandigheden met betrekking tot den knoop der Planeet zullen bevinden, en dat men verwachten mag dat deze zich andermaal op de Zonneschijf zal projecteeren. Daar echter de identiteit niet volkomen is, aangezien de gezegde getallen niet juist elkanders veelvoudten zijn; daar die getallen bovendien aan middelbare bewegingen en niet aan de ware bewegingen beantwoorden, zoo zullen de *heliocentrische* breedten van Venus in 't algemeen op de beide overgangen een verschil opleveren van 8 a 10 minuten, die, overgebracht in geocentrische breedten, 20 a 24 minuten zullen geven, alzoo in eene tijdruimte van 16 jaar verschillen van 40 tot 48 minuten, dat wil zeggen, meer dan de schijnbare diameter der Zon bedraagt. Drie achtereenvolgende overgangen zullen dus niet telkens na acht jaar tusschentijd kunnen plaats hebben, en over 't geheel zal er een vrij lange tijd moeten verlopen alvorens er een derde overgang plaats heeft.

Eene tijdruimte van 121,5 jaar, bij voorbeeld, die zeer nabij overeenkomt met 76 synodische of 197,5 siderische omwentelingen van Venus, en met 121,5 siderische omwentelingen der aarde, zal conjunctiën voortbrengen in de nabijheid der beide knopen, dewijl de lengten der Aarde, van de eene tot de andere conjunctie, eenen hoek van 180 graden (wegens het halve jaar) zullen verschillen, en de Zon en Venus zich alzoo voor ons in twee lijnrecht tegenoverstaande punten des hemels zullen projecteeren. Derhalve, zoo ge bij den overgang van 5 Juni 1751 de grootheid 121,5 jaar voegt, zult gij den overgang van 6 December 1882 bekomen; en trekt gij van dit laatste getal 8 af, dan krijgt ge ten naasten bij den datum van den overgang, die plaats moet hebben den 8sten December 1874, maar welks juiste tijdstip, zal het nauwkeurig bepaald zijn, nog eene grondiger berekening vordert, evenals zulks het geval is met de Verduisteringen van Zon of Maan, aangeduid door de periode van 18 jaar en 10 dagen.

In plaats van 121,5 jaar, die u van 1761 op 1882 voeren, zou eene tijdruimte van 105,5 jaar, bevattende 66 synodische of 171,5 siderische omwentelingen van Venus en 105,5 siderische omwentelingen der Aarde, u van 1769 op 1874 brengen. De tijdruimte van 113,5 jaar, uitmakende 71 synodische omwentelingen van Venus en 113,5 siderische omwentelingen der Aarde zou u op hare beurt van 3 Juni 1769 op 6 December 1882 brengen, enz.

Gij bezit dus daarin verschillende middelen van vermoeden om de conjunctiën te bepalen, die ecliptisch kunnen zijn, en om niet dan met eenige kans op goed gevolg volledige berekeningen te ondernemen.

476. Wat deze berekeningen betreft, zij geschieden als die eener Verduistering van de Zon door de Maan, met dit verschil dat de betrekkelijke beweging van Venus in lengte *teruggaande* en niet rechtlopend zal zijn. Wanneer gij de bijzonderheden der algemeene Verduistering, dat is de tijdstippen van den aanvang, het midden en het einde, hebt berekend, behoeft gij slechts eene aardglobe derwijze te stellen, dat de as der Wereld hoven den horizon der globe eenen hoek maakt gelijk aan de declinatie der Zon, en dat de uurwijzer met den Meri-

diaan der plaats, in wier tijd men gerekend heeft, hoeken maakt, overeenkomende met de uren der phasen, om zoo op ieder dier uren het verlichte halfroond der Aarde (dewijl de Zon in 't zenith der globe is) te bekomen, en om gevolgelijk de geschiktste punten voor het vinden der parallax van Venus te leeren kennen, waaruit men vervolgens door Kepler's derde wet de parallax der Zon afleidt. Daar deze parallaxen overigens zeer klein zijn met betrekking tot den diameter der Zon, zullen de gevolgen, die zij op de betrekkelijke standen van Venus en de Zon moeten hebben, zelve van weinig belang zijn; zoodat, op geringe uitzonderingen na, al de plaatsen der Aarde, voor welke de Zon boven den horizon is, het verschijnsel zien zullen.



NEGENTIENDE LES.

Vervolg van de behandeling der Planeten.

Jupiter. — Grootte, afplatting en rotatie — Massa en dichtheid; zwaarte aan de oppervlakte; licht en warmte der Zon. — Synodische en siderische omwenteling; schijnbare diameter; gemis van phasen. — Strepen en dampkring. — Regelmatige winden; hun schijnbaar onregelmatige invloed op den voor de rotatie gevonden duur. — Wachters. — Bestaan der wetten van Kepler in de bewegingen der vier Wachters. — Snelheid van het licht afgeleid uit de Eclipsen van den eersten Wachter. — Lengten op Aarde. — Tafels der Wachters. — De duur der rotatiën schijnt voor elken Wachter gelijk te zijn aan dien der omwentelingen. — Kleurveranderingen der Wachters. — Sporen van dampkringen rondom de Wachters. — Licht van de randen en het midden van Jupiter. — De afstandshoeken der Aarde uit Jupiter gezien, zijn kleiner dan die van Mercurius uit de Aarde gezien. — Saturnus; zijne bewoners zijn waarschijnlijk onbekend met het bestaan van Mercurius, Venus, de Aarde en Mars. — Siderische en synodische omwenteling; elliptische elementen der loopbaan; gemis van phasen; sneeuw en ijs van de Polen. — Afmetingen van Saturnus; massa; dichtheid; intensiteit der zwaarte. — Herschel's opmerking betreffende de gedaante van Saturnus. — Ring. — Zijn periodisch verschijnen en verdwijnen. — Licht en rotatie van den ring; vreemde bijzonderheden. — Verdeeling van den ring in verscheidene smalle binnenringen — Mechanische voorwaarden van zijn instandblijven. — Afmetingen van den ring; zijne voortgaande afnemng door Struve beweerd, maar door Secchi betwist. — Donkere streep binnen den ring, wiens dampkring zij schijnt te zijn. — Meeningen over den oorsprong van den ring. — Wachters van Saturnus; het historische hunner ontdekking. — De acht wachters van Saturnus volgen de wetten van Kepler. — Voorkomen van den Hemel voor de bewoners van Saturnus. — Uranus; zijne afmetingen. — Massa; dichtheid; warmte en licht; intensiteit der zwaarte. — Elementen der loopbaan. — Afplatting en rotatie, door Herschel bespeurd; Wachters, aan Kepler's wetten gehoorzamende. — Neptunus; volumen, massa en dichtheid; Wachters. — Sporen van eenen ring; siderische en synodische omwenteling; schijnbare grootte der Zon; licht en warmte. — Wijziging in de wet van Bode, door Babinet opgeworpen voor Planeten, die nog aan gene zijde van Neptunus aanwezig kunnen zijn. — Vallende Sterren; snelheden en hoogten. — Oorzaken van de ontvlaming en uitdooving. — Onheilen veroorzaakt door het neerkomen van vallende Sterren. — Meeningen aangaande den oorsprong der meteorsteenen; banen van deze lichamen; hunne afmetingen; hunne snelheden. — Levendige kracht van zekere luchtsteenen; hun val kan op het geheel onzes Aardbols niet van merkbare gevolgen zijn.

477. **Jupiter.** — Grootte, afplatting en rotatie. — Wanneer men Jupiter met het bloote oog beschouwt, vertoont hij een levendiger witter licht dan dat van Mars en somtijds zelfs dan dat van Venus. In eenen kijker doet zijne schijf zich zeer aanzienlijk voor; en de æquatoriale as is, volgens de metingen van Arago, $\frac{1}{7}$ grooter dan de poolas, wordende de stand dezer assen bepaald door de verplaatsing van zekere toevallige vlekken (wolken), die tevens voor de rotatie of wenteling om de as

(afgeleid uit de gemiddelde grootheid der waarnemingen van Cassini, Herschel, Airy, Mädler en Beer, enz.) eenen duur van 9 u. 54 m. 45 s. geven.

478. **Massa en dichtheid.** — **Zwaarte aan de oppervlakte.** — **Licht en warmte der Zon.** — De werkelijke grootte van Jupiter's diameter is gelijk aan 11,160 maal den diameter der Aarde of aan 71 048 kilometers. Zijn volumen overtreft gevolgelyk dat van onze Planeet in de verhouding van 1390 (derde macht van 11,160) tot de eenheid. Maar daar zijne massa 337 niet in evenredigheid staat met dit ontzettend volumen, bedraagt zijne dichtheid slechts ongeveer een vierde (0,243 van de gemiddelde dichtheid des Aardbols. Deelt men de massa 337 door het vierkant 125 van den straal, zoo verkrijgt men echter voor de intensiteit der zwaarte aan zijne oppervlakte een getal, dat bijna het drievoud (2,70) is van dat, hetwelk de zwaarte hierbeneden zou voorstellen. Wat de intensiteit van de warmte en het licht betreft, zij is 27maal (vierkant der verhouding van de gemiddelde afstanden 52 : 10) zwakker dan bij ons. Men moet hierbij evenwel in 't oog houden, dat zulk een groot nadeel gewis eenigszins vergoed wordt eensdeels door de vier Manen, waarover wij weldra zullen spreken, anderdeels door de geringe helling (3 graden) van Jupiter's *Æquator* op het vlak der loopbaan; eene omstandigheid, die er de seizoenen vrij gelijkmatig moet maken, zoodat er als 't ware eene altyddurende lente heerscht.

479. **Synodische en siderische omwenteling.** — **Schijnbare diameters.** — **Gemis van merkbare phasen.** — Deze seizoenen duren voor 't overige zeer lang; want terwijl de synodische omwenteling van Jupiter volbracht wordt in 399 dagen, besteedt hij tot zijne siderische omwenteling of zijn jaar niet minder dan 4332,58 jaar (bijna 12 jaren). Ik voeg er bij, om niets terug te houden van hetgeen de beweging der Planeet betreft, dat de helling der loopbaan op de *Ecliptica* gelijk is aan $1^{\circ}18'40''$; de excentriciteit aan 0,048; de gemiddelde verplaatsingssnelheid rondom de Zon aan 1 176 000 kilom. daags (13,6 kilom. in de seconde), en de ronddraaiingssnelheid van een punt des *Æquators* aan 12 600 meters in de seconde, terwijl die van zoodanig punt op de aarde slechts 464 meters bedraagt. De schijnbare diameter bedraagt, naar gelang van de afstanden, 31 tot ongeveer 46". Wat de phasen of schijngestalten betreft, deze zijn niet te bemerken.

480. **Strepen en dampkring.** — Men bespeurt op Jupiter zeer kennelijke dampkringsverschijnsels. Men ziet er onder anderen twee eenigszins donkere, bijna altijd blijvende strepen, gelegen ter rechter- en ter linkerzijde van den *Æquator*, met

welken zij parallel loopen, somtijds, doch zelden, vergezeld van twee of zelfs vier andere strepen, die insgelijks loodrecht op de kortste as zijn gelijk de eerste, en zich, als deze, voor oogenblikken oplossen in een tallooze menigte vlekjes, doormengd met blinkende punten, als waren het onafgebroken gordels, die met afzonderlijke wolken bedekt werden.

In die laatste onderstelling zou, volgens Herschel, het licht der blinkende deelen voortkomen uit een wolkachtig omhulsel, meer terugkaatsend dan het lichaam zelf van de Planeet; en de donkere strepen zouden eenvoudig het gewrocht zijn van het minder sterke licht, dat ons wordt toegezonden van de vaste of vloeibare oppervlakte door de evenwijdige en heldere deelen des dampkrings heen. Hoe het voor 't overige moge gelegen zijn met de theorieën, die men te hulp roept om het verschijnsel te verklaren, men kan bezwaarlijk weigeren aan te nemen, dat het voorkomt uit de aanwezigheid van een gasachtig omhulsel, waarin zelfs vrij hevige winden moeten heerschen, aangezien de duur der wenteling om de as verschilt, naargelang men, om dien te bepalen, vlekken meer in de nabijheid of op grooter afstand van den Æquator kiest.

Regelmatische winden. — Hun schijnbaar onregelmatige invloed op den voor de rotatie gevonden duur. — De evenwijdigheid der strepen schijnt tevens te wijzen op eene neiging der wolklagen om zich gordelsgewijs te schikken onder den invloed van regelmatische winden, gelijkende naar onze passaatwinden. 't Is daarbij echter opmerkelijk, dat deze winden, afgeleid uit de beweging der toevallige vlekken, snelheden van bijna 400 kilometers in 't uur bereiken, en bovenal dat hunne richting juist de omgekeerde is van die, welke bij ons plaats heeft. Want die æquatoriale vlekken geven doorgaans den kortsten duur, als werden zij, niet in omgekeerde richting, maar in de richting der rotatie zelve voortgedreven. Het feit heeft iets dat verwondering baart. Men zou het toch misschien kunnen verklaren door deze omstandigheid, dat de ter berekening gebezigde vlekken, daar zij nimmer groote breedte hebben, steeds een gedeelte uitmaakten van den beneden-passaat, die zich meer doet voelen in de omgekeerde richting der rotatie, op een zekeren afstand van den Æquator, waar de toeneming der parallellen snel is, dan aan den Æquator zelve, waar de parallellen zeer langzaam aangroeien (*). Hieruit toch zou voortvloeien en de

(*) Als R de radius of straal der Aarde is, zal de omtrek van eene parallel, gelegen onder de breedte λ , gelijk zijn aan $2\pi R \cos \lambda$; eene uitdrukking, welke differentiaal $2\pi R \sin \lambda d\lambda$ de wet van verandering der verschillende parallellen voorstelt, en aantoot dat die verandering, evenredig aan $\sin \lambda$ met de breedte aangroeit, dat zij gevolgelijk al sneller en sneller wordt naarmate men zich van den Æquator verwijderd.

teruggaande beweging der van den *Æquator* verwijderde vlekken met opzicht tot die des *Æquators*, en de gevolgtrekking dat de rotatie, afgeleid uit de vlekken van den *Æquator*, hoewel ongetwijfeld nog een weinig te lang, nogtans het dichtst bij de waarheid zou wezen (*).

481. **Wachters.** — Ik heb reeds (§ 478) een woord gezegd van Jupiter's vier Manen. Ter voltooiing van hetgeen ik hier aangaande hare geschiedenis vermag aan te halen, zal ik er bij voegen, dat Galileï den 7den Januari 1610 bij de Planeet drie kleine Sterren van de zesde tot de zevende grootte zag, welke zich den volgenden dag aanmerkelijk verplaatst hadden. Daar hij bovendien op den 10den slechts twee van de drie zag, vermeende de uitstekende waarnemer, dat deze Sterren Jupiter moesten volgen en soms door zijne schaduw verduisterd worden. Eenige dagen waren toereikend om hem inderdaad te toonen, dat vier kleine lichamen, waaraan hij den naam van Sterren van Medicis wilde geven, maar die men zich gewend heeft eenvoudig *Wachters* of *Satellieten* te noemen, rondom de Planeet liepen met eene rechtlopende beweging (van het Westen naar het Oosten); en twee maanden later, den 12den Maart 1610, had hij reeds sterk benaderend de vier omloopstijden der Wachters bepaald (†).

Bestaan der wetten van Kepler in de bewegingen der vier Wachters. — Weldra bevonden Kepler en de Nederland-sche Sterrenkundige Wendelin, dat de Wachters, met betrekking tot Jupiter, een stelsel vormden, geheel overeenkomstig met dat der Planeten zelve in verhouding tot de Zon, dat is, met andere woorden, dat de Wachters ellipsen beschrijven, in een van welker brandpunten zich de Planeet bevindt; dat de vlakke-uitgebreidheden tusschen de voerstralen evenredig zijn met den tijd; eindelijk, dat de derde machten der halve groote

(*) Men moet niet vergeten, dat de beneden-passaat zich op geringe breedten doet gevoelen, terwijl de boven-passaat den bodem eerst bereikt op hooge breedten. Tusschen deze laatste breedten en den *Æquator* is de rotatie der Planeet dus veel sneller dan die van de beneden-lagen des dampkrings en van de wolken, die zich er in bevinden. Het tegendeel zou plaats hebben voor wolken tot hooge breedten behoorende.

(†) Ziehier de middelbare afstanden tot het middelpunt van Jupiter (de straal der Planeet tot eenheid genomen zijnde), alsmede de omwentelingstijden, de afmetingen en de massa's der Wachters:

Wachters.	AFSTANDEN.	Omwen- wentelings- duur.	VOLUMEN (dat der Aarde = 1.)	Diameters.	MASSA'S (die der Aarde = 1).	De massa van de Maan is 0,013
1	6,049 of in kilom. 432 280	1,7691 d.	0,033	kilom. 4080	0,005746	
2	9,623 " 687 680	3,5512 "	0,020	3440	0,007774	
3	15,330 " 1096 920	7,1546 "	0,104	6000	0,029744	
4	26,998 " 1929 280	16,6888 "	0,036	4200	0,014534	

assen of der gemiddelde afstanden gedeeld door de vierkanten der omwentelingstijden, voor de vier Wachters, gelijke quotienten geven (*).

Door Galilei's ontdekking was men nu in staat te verklaren hoe de Aarde, vergezeld van de Maan, zich kon voortwentelen, terwijl die ontdekking tevens een nieuwe waarschijnlijkheid voegde bij al de andere, die reeds ten gunste van Copernicus' stelsel pleitten. Alras baarde zij ook de nuttigste toepassingen op de natuurkunde, de aardrijkskunde, de zeevaart, enz. Immers, aan die nieuwe Werelden, „welke echter noch bloed noch tranen gekost hebben,” gelijk een beroemd geschiedschrijver der Sterrenkunde (†) heeft gezegd, aan die Werelden moeten wij het dank weten, dat de snelheid des lichts in 1675 door Roëmer, een Deensch Sterrenkundige, werd gemeten, of liever dat de onafgebroken voortplanting van het licht bewezen werd, terwijl de Tafels der Wachters aanleiding gaven tot belangrijke verbeteringen in het bepalen der lengten, zoo te land als ter zee. Wilt gij weten hoe? Ziehier enkele bijzonderheden aangaande die beide punten.

482. **Snelheid van het licht, afgeleid uit de Eclipsen van den eersten Wachter.** — Daar Jupiter een zeer breeden schaduwkegel voortbrengt, zoo wordt de eerste Wachter bij iedere zijner synodische omwentelingen verduisterd. Neemt gij verscheidene achtereenvolgende verdwijningen des Wachters waar bij willekeurige standen van de Aarde en Jupiter, dan zult gij, zoolang als de afstand der beide Planeten niet al te veel verandert, die verdwijningen zien plaats grijpen na volkomen regelmatige tusschentijden, beantwoordende aan ongeveer 110 Verduisteringen in 200 dagen; gij zult dan ook zeer nauwkeurig de synodische omwenteling des Wachters, of het tijdsverloop dat twee achtereenvolgende Eclipsen scheidt, kunnen berekenen.

Onderstelt nu dat gij uitgaat van eene waargenomen Verduistering, wanneer de Aarde, tijdens de oppositie of den tegenstand (‡), in A (fig. 211), de Zon in Z en Jupiter in J is, om door middel van de synodische omwenteling het oogenblik der

(*) De quotienten zijn onderling gelijk voor de vier Wachters; maar zij verschillen van de mede gelijke quotienten, die de Planeten opleveren. Wendelin was de eerste, die, steunende op de waarnemingen van Peyresc en Gassendi, voor de vier Wachters de geligheidheid van Kepler's derde wet aantoonde.

(†) Bailly.

(‡) Bij de oppositie zelve, evenals bij de conjunctie, wordt Jupiter's schaduwkegel voor ons door de Planeet bedekt, en de Eclips kan niet worden waargenomen. Men moet alzoo de waarneming eenigen tijd vóór of na doen. De berekening brengt de zaken dan terug tot hetgeen ze zijn zouden op de tijdstippen der syzygiën. In 't algemeen kan men slechts eene van de beide fasen der Eclips (*immersie*, intrede, of *emergie*, uittrede) waarnemen, omdat eene van de zijden des schaduwkegels, die der intrede of der uittrede, voor ons altijd achter de Planeet is, uit hoofde van de kleinthe der aardbaan en van den grooten afstand alsook van 't volumen van Jupiter.

Eclips te berekenen, welke plaats moet hebben bij de conjunctie, wanneer de Aarde in A' en Jupiter in J' zal gekomen zijn. In plaats van de waarneming in overeenstemming met de berekening te bevinden, zult gij de Eclips omtrent 16 m. 36 s. later zien plaats hebben dan gij ondersteld hadt.

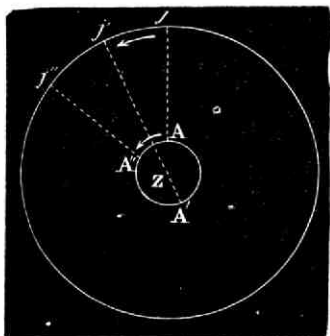


Fig 211.

Gaat thans uit van de waargenomen Eclips tot de conjunctie, om te bepalen (altijd uit den bekenden duur der synodische omwenteling) op welk oogenblik eene Eclips zal plaats hebben bij de nieuwe oppositie $A''J''$; de waarneming zal u, niet een te-laat, maar een te-vroeg van 16 m. 36 s. opleveren.

Waaruit mogen zoodanige verschillen ontstaan? Is 't niet natuurlijk hunne oorzaak eenvoudig te zoeken in het verschil der afstanden van Jupiter tot de Aarde, en in den tijd dien het licht noodig heeft om dat verschil, gelijk aan den diameter der aardbaan, te doorloopen? Het zou inderdaad onmogelijk zijn, anders te verklaren waarom de Eclipsen elkander geregeld opvolgen zoolang als de afstanden niet veranderen, en waarom het resultaat der waarneming vroegd of vertraagd is bij dat der berekening, naargelang Jupiter nader bij de Aarde komt of zich van haar verwijderd. De verklaring is daarenboven des te natuurlijker, omdat de vroeging of de vertraging voor tusschen de oppositie en de conjunctie gelegen afstanden juist evenredig zijn aan de verandering der afstanden.

483. — Wij zien derhalve de hemelverschijnsels niet op hetzelfde oogenblik waarin zij ontstaan. Eerst dan ontwaren wij hen, wanneer de straal, die belast is ons er kennis van te geven, na een grootere of kleinere reis in ons oog aankomt; hetgeen niet belet dat hunne schijnbare opeenvolging even regelmatig als de wezenlijke plaats heeft, zoolang de afstanden niet veranderen; en hetgeen bij 't veranderen der afstanden ongelijkheden te weeg brengt, die eerst onbepaald door Descartes vermoed, vervolgens door Roëmer of zelfs door Cassini in de Eclipsen van Jupiter's eersten Wachter bespeurd, later door Madley in de schijnbare sterrenstanden waargenomen, maar voor de eerste maal door Roëmer buiten allen twijfel gesteld werden. De Deensche Sterrenkundige schijnt echter verzuimd te hebben de gevolgen zijner ontdekking tot op de getalwaarden voort te

zetten, dewijl door Huygens, uitgaande van deze ontdekking, 22 minuten, door Duhamel *bijna een half uur*, door Horrebow en Cassini 28'21" werden aangenomen voor den tijd, dien het licht besteedde om de aardbaan te doorloopen. In onze dagen hebben Delambre en Struve 16'26".4 en 16'35".56 gevonden, getallen die veel beter bij elkander komen dan de voorgaande, en die, bij den afstand van 152 688 000 kilometers tusschen de Zon en de Aarde, voor de snelheid van het licht, de eene 309 720, de andere 306 600 kilom., dus gemiddeld 308 160 kilom. in de seconde opleveren.

484. — Reeds Galilei had zich in 1610 met het vraagstuk bezig gehouden; maar de basis waarop hij werkte was veel te klein, en zoo werden de bekomen resultaten volkomen ontken- nend. Twee waarnemers A en B waren gescheiden door eene tusschenruimte van eenige kilometers. De eerste bluschte eens- klaps eene fakkel B uit; zoodra de tweede die vlam zag ver- dwijnen, bedekte hij plotseling op zijne beurt eene naast hem geplaatste vlam. De tijd, verlopen tusschen het uitdooven der fakkel A en het oogenblik waarop de waarnemer A het ver- dwijnen der fakkel B zag, moest natuurlijk den tijd uitdrukken, dien het licht besteed had om van A naar B te gaan en uit B tot A terug te keeren. Maar die tijd bleef altijd onwaarneem- baar, en Galilei kwam gevolgelijk tot het besluit, dat de snel- heid des lichts onmetelijk was met betrekking tot de lengten op aarde, die men gebruikt om ze te meten.

Intusschen, zonder verder uit te weiden in bijzonderheden, die meer tot het gebied der natuurkunde behooren, moet ik nog zeggen, dat Fizeau in 1849 de snelheid des lichts wist te bepalen door eene vernuftige verbinding van draaiende rade- ren, tusschen welker tanden lichtbundels heen gingen, die op eenen afstand van 8,633 meters (van Suresnes tot Montmartre) teruggekaatst werden, om *langs denzelfden weg* terug te keeren en te breken op de radertanden zelve, die, gedurende de heen- en weerreis van den lichtbundel de plaats hadden ingenomen, waar zich bij 't heengaan van den bundel de ledige tusschen- ruimten der tanden bevonden. Zóó vond Fizeau getallen, na- genoeg gelijk aan die (*), welke door Delambre en Struve waren aangegeven. Ik voeg er bij, dat Foucault van zijnen kant, in September 1862, ook bijna dezelfde waarden (†) verkreeg; merk- waardige uitkomsten, die ons vergunnen zullen om voortaan zonder plaatsverandering — gelijk zulks ons eerlang blijken zal bij de behandeling van 't verschijnsel, onder den naam van

(*) Gemiddelde van 28 proefnemingen; 70 948 mijlen van 25 in den graad van 411 414 meters, of 78 823 mijlen van 4 000 meters, gelijk aan 315 292 000 meters.

(†) 298 millioen meters, of 74 500 mijlen van 4 000 meters.

aberratie bekend — de juistheid der maten te onderzoeken, die door verre reizen in de vorige eeuw met zoo veel moeite voor den afstand van de Zon tot de Aarde verkregen zijn.

485. **Lengten der Aarde.** — Wat de bepaling der lengten door de eclipsen der Wachters betreft, onderstelt dat gij goede Tafels van de beweging dezer kleine hemellichamen hebt, Tafels die u het middel aan de hand doen om met juistheid in tijd van Amsterdam, Londen, Parijs enz. de intreden, de uitreden, de schijnbare afstanden der Wachters tot de Planeet, enz. met nauwkeurigheid te berekenen, en teekent, op de *onbekende* plaats waar ge zijt, in tijd van diezelfde plaats, geregeld naar de door-gangen des meridiaans hetzij van de Zon, hetzij van de Sterren, het oogenblik aan, waarop het verschijnsel plaats heeft: het verschil der uren, opgeleverd door de waarneming en de berekening zal u den hoek geven, begrepen (tegen 15 graden per uur) tusschen uwen meridiaan en den meridiaan van vergelijking. Het zal u gevolgelijk zeggen wat uwe lengte is (*) met betrekking tot dien meridiaan. Het zal u zelfs het middel leveren om uwe chronometers naar den tijd van Parijs, Londen, enz. te regelen, hun gang te onderzoeken, enz., in één woord, om te weten of gij kunt staat maken op lengten, die, bij voorbeeld, ontleend zijn aan den middag, dien de culminatie der Zon u op zee geeft, en op de uren van Parijs, Londen, enz., die u op hetzelfde oogenblik worden aangewezen door uwe bij de afreis geregelde chronometers (†).

486. **Tafels der Wachters.** — Galileï gevoelde hoeveel partij er van zijne ontdekking moest te trekken zijn. Ook draalde hij niet met het meten der omwentelingstijden voor de vier Wachters. Ongelukkig verloor hij zijn gezicht, eer hij de laatste hand had kunnen leggen aan de Tafels, waarmede hij zich, naar men zegt, sedert zeven en twintig jaren had bezig gehouden,

(*) De lengte is *oostelijk* wanneer het uur der waarneming later is dan dat der berekening, *westelijk* in 't omgekeerde geval. Immers, onderstelt dat gij uwe standplaatsen in verhouding wilt brengen tot den meridiaan van Parijs, en dat de Zon door dien meridiaan gaat een, twee, drie enz. uren nadat zij door den uwen gegaan is, zoo is het duidelijk; dat gij ten oosten van Parijs zult zijn, of, zoo gij liever wilt, dat Parijs voor u ten westen zal liggen, en dat gij tevens *een, twee, drie* enz. uren van den middag zult tellen wanneer men te Parijs twaalf ure of middag heeft. Uw uur zal dus later zijn dan dat van Parijs zoo gij onder eene oostelijke lengte zijt. 't Is overbodig er bij te voegen, dat westelijke lengten gevolgelijk waargenomen uren zouden opleveren, die ten achteren zijn op de voor Parijs berekende uren.

(†) De oogenblikken der schijnbare in- en uitrede hangen af van 't vermogen der kijkers, uit hoofde van den bij-schaduwkegel, die den Wachter van lieverlede doet versnauwen of weder laat te voorschijn komen. Om door de Eclipsen tot nauwkeurige bepalingen te geraken, is het van gewicht dat men vooraf, door zorgvuldige gedane waarnemingen, bekend is met den invloed des kijkers op het uur van de schijnbare Verduistering. En daarbij nog kunnen zelfs de meer of minder zuivere toestand des dampkrings, de zenithafstand van Jupiter, enz., op hunne beurt, afwijkingen te weeg brengen, zoodat het schijnt, dat men, bij den tegenwoordigen staat van zaken, over 't algemeen de voorkeur moet geven aan de waarneming der hoekafstanden boven die der Eclipsen.

zonder haar den door hem verlangden graad van nauwkeurigheid te kunnen geven.

De Staten van Holland, destijds in 't bezit van eene sterke zeemacht, zonden gezanten naar Galileï, toenmaals, ten gevolge van een vonnis van de rechtbank der inquisitie, gevangene te Arcetri bij Florence, zooals zij dat gedaan zouden hebben naar het paleis van een soeverein, die roem en rijkdom te zijner beschikking had. Deze gezanten hadden in last aan Galileï eene gouden keten aan te bieden, en hem zoo beleefd als dringend te verzoeken, zijne Tafels te voltooien, bij welker bezit de zeevarende natiën zooveel belang hadden. Galileï, gestuit in zijnen arbeid, vermaakte de zorg der voortzetting daarvan aan zijnen leerling Reineri, die zich tien jaren daarmede onledig hield, doch wiens manuscript men bij zijnen dood niet kon vinden. De Franschman Peyresc, lid van het Parlement van Provence, deed op zijne beurt met hetzelfde doel tal van waarnemingen met Gautier en Gassendi, terwijl Hodierna van den eenen kant, Cassini van den anderen, eindelijk de eerste Tafels volbrachten, in welke Hodierna aan de vier Wachters de namen gaf van *Principharus* (pharos of vuurtoren van den prins-regent van Etrurië); *Victripharus* (pharos van Victoria, de prinses-regentes); *Cosmipharus* (pharos van Cosmo dei Medici); en *Fernipharus*, bij samentrekking voor *Ferdinandi pharus* (pharos van Ferdinand); Cassini gaf ze eenvoudig die van *Pallas*, *Juno*, *Themis* en *Ceres*.

Bailly, de uitstekende man, die op het omwentelings-schavot de gevaarlijke eer van een schitterende populariteit moest boeten, vervaardigde, enkel naar de theorie der aantrekking, maar met nog onvolkomen gegevens, nieuwe Tafels, die weinig gebruikt en weldra vervangen werden door die van den Zweed Wargentin; voorts, tot in 1739, door die van Delambre, gegrond op belangrijke verbeteringen, die men te danken had aan de mathematische nasporingen van Laplace; vervolgens, eindelijk, door die van Damoiseau, eveneens der volmaaktheid meer nabij gebracht door de weldadige hulp van de *Mechanica des Hemels*.

487. **De duur der rotatiën schijnt voor elken Wachter gelijk te zijn aan dien der omwentelingen. — Kleurveranderingen der Wachters.** — Uit andere oogpunten leveren Jupiter's Wachters nog merkwaardige bijzonderheden op. Herschel, die ze met zorg bestudeerde, bemerkte in hun licht een zekere geregeld wederkeerende afwisseling op in verband met den duur hunner omwentelingen; en als slotsom meende hij het besluit te kunnen opmaken, dat iedere Wachter, evenals onze Maan, om zich zelve draait in eenen tijd, die gelijk is aan dien zijner wenteling rondom Jupiter, zoodat hij steeds hetzelfde half rond naar de Planeet houdt toegekeerd, en gevolgelijk den

bewoners der Aarde de verschillende meer of minder weerkaatsende deelen van zijne oppervlakte achtereenvolgens vertoont. Uit den duur van de intrede in de schaduw verkreeg de vermaarde Sterrenkundige insgelijks de betrekkelijke grootten der Wachters, rangschikte deze lichamen, met betrekking tot hun volumen, in de volgende orde: derde, vierde, eerste en tweede, en geraakte tot de boven voor hunne diameters aangegeven getallen. Maar, vreemde zaak! terwijl hij het licht van den eersten en derden Wachter volkomen wit, dat van den tweeden naar 't blauw en dat van den vierden naar 't rood of oranje zweemende bevond, hebben later Mädler en Beer den eersten, tweeden en vierden altijd blauwachtig, den derden daarentegen steeds met eene vrij duidelijke gele tint gezien.

Sporen van dampkringen rondom de Wachters. — Zouden er wellicht tusschen de beide waarnemingstijden geologische verschijnsels zijn opgetreden, waardoor die oppervlakten zijn veranderd? of wel zouden die oppervlakten gewijzigd zijn door plantengroei en bebouwing? Bij deze laatste onderstelling moeten we ons Jupiter's Wachters als bewoond denken. Inderdaad, eene schoone waarneming van Cassini schijnt ons te veroorloven die kleine bijplaneten te beschouwen als voorzien van dampkringen, die haar bewoonbaar zouden maken; want menigmaal zag de bekwame Hemelbespieder den eersten der Wachters voorbij de Planeet gaan zonder het minste spoor te bemerken van de schaduw, die hij anders op de lichtende schijf werpt: eene bijzonderheid, die bijna onverklaarbaar is, tenzij men rondom den Wachter een gasvormig omhulsel aanneemt, dat, als het zeer zuiver ware, de binnenwaarts gebogen zonnestrallen in de geometrische schaduw zou werpen, gelijk zulks het geval is voor zekere eclipsen, waarbij de Maan verhelderd wordt door het licht dat onze dampkring breekt.

488. Licht van de randen en het midden van Jupiter. — Gelijk men ziet, er zijn daar nog hoogst gewichtige navorschingen te doen. Wat den dampkring der Planeet zelve betreft, gezwegen nog van de strepen en toevallige vlekken, die nauwelijks vergunnen aan zijn bestaan te twijfelen, hij doet zich met een nieuwe klaarlijkheid kennen uit de aanzienlijker verflauwing, dien hij het van de randen komende licht doet ondergaan, eene verflauwing, die werkelijk blijkt hetzij uit eenige waarnemingen van Maraldi, Pound, Messier, enz., gedurende de overgangen der beide eerste Wachters voorbij de verlichte schijf, hetzij inzonderheid uit de latere proefnemingen, bij welke Arago, deze overgangen naar welgevallen weder voortbrengende door de splitsing van het licht in dubbeldbrekende kristallen, den Wachter over de verschillende punten der Planeet liet trekken, en

hem als een blinkend punt zich scherp zag afteekenen bij de randen, terwijl hij daarentegen verdoofde en zich verloor in den glans van het midden.

489. **De afstandshoeken der Aarde, uit Jupiter gezien, zijn kleiner dan die van Mercurius, uit de Aarde gezien.** — Ik heb gemeend over de geschiedenis van Jupiter breeder te moeten zijn, wegens de belangrijkheid dezer Planeet, de aanzienlijkste door haar volumen en hare massa onder de lichamen van het zonnestelsel, en ook een van die, welke den bewoners der Aarde de nuttigste toepassingen verschaffen. Merken wij ten slotte nog aan, dat de bewoners van Jupiter, terwijl wij van hunne zoo groote woonplaats partij trekken voor de behoeften der wetenschap, der zeevaart of der aardrijkskunde, zeer waarschijnlijk het bestaan zelfs van onzen kleinen Bol niet vermoeden, want voor hen zijn wij op den duur gedompeld in de stralen der Zon, gelijk Vulcanus, zoo hij bestaat, zulks is voor ons, gelijk Mercurius het menigmaal is, daar onze grootste elongatiën of afstandshoeken, uit Jupiter gezien, weinig meer dan 11 graden bedragen.

490. **Saturnus.** — Zijne bewoners zijn waarschijnlijk onbekend met het bestaan van Mercurius, Venus, de Aarde en Mars. — Zooveel te meer moet hetzelfde 't geval zijn met de bewoners van Saturnus, die onder eenen hoek van slechts 6 graden den straal van de loopbaan der Aarde zien, en die naar allen schijn, tenware zij overgangen op de zonneschijf mochten bemerkt hebben, noch het bestaan der Aarde, noch dat van Venus en Mercurius, noch wellicht zelfs dat van Mars vermoeden, beloopende de grootste afstandshoeken der laatstgenoemde Planeet niet meer dan omtrent 9 graden. Hunne Sterrenkunde, voor zoover het Planetenstelsel betreft, moet dus vrij eenvoudig zijn, als zijnde beperkt tot de studie van Jupiter, Uranus, Neptunus en misschien tot eenige der grootste asteroiden tusschen Mars en Jupiter of tot eenig ander ons onbekend lichaam, dat aan gene zijde van Neptunus rondwentelt. Maar de acht Wachters, die de Planeet vergezellen, en de ring, die haar omgeeft, leveren ongetwijfeld, als vergoeding, stof tot navorschingen op, van welke de zoo ingewikkelde storingen onzer Maan, nog vermeerderd door de onderlinge storingen van zulk een groot getal Wachters, ons niet dan een flauw denkbeeld geven.

491. **Siderische en synodische omwenteling.** — **Elementen der loopbaan.** — **Gemis van phasen.** — **Licht en warmte der Zon.** — De siderische omwenteling van Saturnus geschiedt in 10 759,22 d. (omtrent 29,5 jaar); zijne synodische omwenteling in 378,08 d., waaronder 239 dagen van rechtloopende beweging en 139 van teruggaande beweging. De

gemiddelde afstand tot de Zon (95,39), in kilometers uitgedrukt, bedraagt 1 456 492 000, hetgeen eene gemiddelde snelheid van beweging in de loopbaan van 852 000 kilom. per dag geeft. Laat men de helling ($2^{\circ}29'36''$) van de loopbaan op de Ecliptica, en de excentriciteit (0,056), als beide onbeduidend, buiten berekening, dan vindt men voor de uiterste afstanden van Saturnus tot de Aarde de getallen 1608 miljoen en 1304 miljoen kilometers. Daar onze grootste afstandshoeken, uit de



Fig. 212.

Planeet gezien, nauwelijks boven 6 graden gaan, zijn gevolgelyk het verlichte gedeelte *abcd* van Saturnus (fig. 212) en het voor ons zichtbare gedeelte *bcde*, op zeer weinig na, altijd dezelfde, waardoor de

phasen of schijngestalten niet zijn waar te nemen. Wat de intensiteiten van het licht en de warmte, die de Zon hem toezendt, betreft, uit de omgekeerde verhouding van het vierkant der afstanden blijkt, dat zij 91 maal zwakker dan op de Aarde moeten zijn.

492. **Dampkring. — Rotatie. — Afplatting. — Sneeuw en ijs aan de Polen.** — Gelyk Jupiter, vertoont Saturnus kenmerkelyke, hoewel niet zoo beslissende atmosferische verschijnselen. Hij heeft flauw zichtbare strepen, welke evenwijdig loopen aan zynen Æquator, die met het vlak der loopbaan eenen hoek maakt van ongeveer 30 graden. Deze strepen zijn niet bestendig. Zij behooren dus tot eenen dampkring, dien men reeds wegens het *veranderlyke* licht der Planeet genoopt wordt aan te nemen. Uit eenige onregelmatigheden, die men daarin geregeld terugkeerend waarneemt, staafden Cassini, Huygens, enz. de wenteling van Saturnus om zich zelve; maar Herschel bepaalde het eerst den duur zynner rotatie, voor welken hij 10 u. 16 m. vond. De roemrijke Sterrenkundige bevond bovendien, dat de Planeet afgeplat is, en gaf de breuk $\frac{1}{1}$, aan voor de waarde der afplatting (*). Hij ontdekte ook dat witte vlekken, evenals op Mars, ongetwijfeld het gevolg van ophooping van ijs of sneeuw aan de Polen van Saturnus, beurtelings toe- en afnemen naar gelang van de seizoenen.

493. **Afmetingen van Saturnus. — Massa, dichtheid. — Intensiteit der zwaarte.** — Op den afstand van 1456 miljoen kilometers, de gemiddelde straal der loopbaan, onder-

(*) Micrometrische metingen, in 1817 op het Observatorium te Parijs gedaan, hebben de breuk $\frac{1}{5,2}$ opgeleverd, welke niet veel van de door Herschel verkrogene verschilt.

spant de gemiddelde straal van Saturnus eenen hoek van $16^{\circ},13$, waaruit, afgezien van de excentriciteit, schijnbare diameters moeten volgen, begrepen tusschen de uiterste waarden $15^{\circ},15$ en $18^{\circ},68$. Met deze gegevens valt het gemakkelijk den werkelijken diameter te bekomen, die 9,30 (*) in verhouding tot onzen Aardbol bedraagt, dat is 118 400 kilometers. De oppervlakte en het volumen zijn gevolgelyk op hunne beurt 86 en 804 (vierkant en cubiek van 9,30), als de oppervlakte en 't volumen der Aarde achtereenvolgens tot eenheid worden genomen. En daar de massa slechts 100maal (juister 100,806maal) de massa des Aardbols overtreft, zoo is de gemiddelde dichtheid veel geringer (op zeer weinig na zeven en een vierde) dan die van onze Planeet; waaruit men heeft kunnen opmaken, dat Saturnus op het water zou kunnen drijven. Alles in rekening gebracht zijnde, is de intensiteit der zwaartekracht gelijk aan 1,17.

494. **Herschel's opmerking omtrent de gedaante van Saturnus.** — Men moet aan Herschel eene andere hoogst merkwaardige opmerking betreffende de gedaante der Planeet dank weten. Volgens hem zouden de meridianen, in plaats van elliptisch te zijn, zoodat hunne grootste diameters in de richting des *Æquators*, de kleinste in die der Polen loopen, eenigermate vierkant wezen, als vormden zij eenen op zijne vier hoeken afgestompten rechthoek, welks afmetingen *ad*,

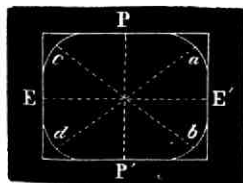


Fig. 213.

cb (fig. 213) omtrent $\frac{1}{2}$ grooter zouden zijn dan de *æquatoriale* afmetingen *EE'*. Die zonderlinge gedaante hield stand bij 't gebruik van verschillende telescopen, terwijl Jupiter daarentegen volkomen elliptisch bleef. Zij kon dus niet uit eenig gebrek aan de instrumenten voortkomen. Ook werd zij door Herschel toegeschreven aan de aantrekking van eenen

ring, die de Planeet omgeeft en die op haar, alvorens zij nog tot den vasten staat was gekomen, den invloed gehad zou hebben, waaraan zij hare tegenwoordige gedaante ontleent.

495. **Ring.** — Zulk een feit, uitgegaan van een zoo geëerbiedigd gezag, moest op de Sterrenkundigen wel een diepen indruk maken. Evenwel beschouwt men het over 't algemeen als twijfelachtig, vooral sedert Bessel de mathematische ontoereikendheid van Herschel's verklaring heeft aangetoond. Hoe dit zij, de ring, door laatstgenoemden ter sprake gebracht, is een geheimzinnig aanhangsel, dat Galilei ontdekte, maar niet kon verklaren. Want al dadelijk scheen het bezwaarlijk te bevroeden,

(*) De parallax $8^{\prime},86$ zou 9,006 in plaats van 9,30 geven.

dat het de zoogenaamde handvatten of ooren *m*, *n* (fig. 214) moesten zijn, die ter zijde van de Planeet aangebracht waren, vooral toen later die ooren verdwenen, als hadden zij ter taak

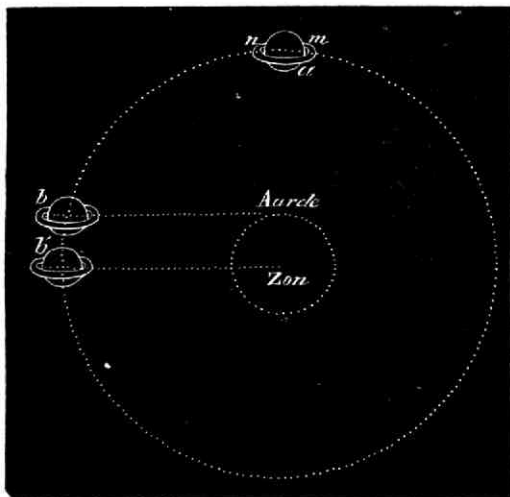


Fig. 214.

gehad het mythologisch geloof te verwezenlijken betreffende den ouden Saturnus, vader des Tijds (*), vergezeld van twee geleiders, die zijn zwakken ouderdom moesten schragen, terwijl hij vervolgens zijne eigen kinderen verslond.

Galileï waarborgde zich zelve de eer van de eerste ontdekking door middel van een logogrief, waarvan Kepler vruchteloos de oplossing zocht, en die ook op verre na niet zoo gelukkig is uitgevallen als die, welke op de phasen van Venus betrekking heeft. Hij volge hier met de vertaling:

„*Smaismirmil me poeta levmitbnevgttaviras.*

„*Altissimum Planetam tergenismum observavi.*

„Ik heb een drievoudig (of liever *driemaal dubbel*) lichaam aan de hoogste Planeet gezien (zijnde Saturnus toen het laatste bekende lichaam van het zonnestelsel).”

Zijn periodisch verschijnen en verdwijnen. — Hiermede werd intusschen alleen het stoffelijke der ontdekking gestaafd.

(*) Ongetwijfeld met zinspeling op den grooten afstand der Planeet, op de traagheid van haren loop, op haar verblijf in de diepten des Hemels, waar hare bijzonderheden voor ons verloren gaan, evenals de overleveringen der geschiedenis zich in den nacht der tijden omsluijeren en verdwijnen, enz.

Er bleef nog over rekenschap te geven van de bijzonderheden des verschijnsels. Huygens slaagde daarin op de uitnemendste wijze, door te verklaren dat er rondom Saturnus een zeer breed, zeer dunnen ring bestond, die steeds evenwijdig was aan zich zelve en aan den *Æquator* der Planeet, ongeveer 30 graden op het vlak der *Ecliptica* helde, gevolgelijk onder de gedaante eener ellips (*) zichtbaar voor ons was wanneer hij ons schuins in *a* (fig. 214) zijne verlichte zijde toekeert, onzichtbaar daarentegen van den stand *b* af, alwaar de verlengde vlakke van den ring door den waarnemer *A* gaat, tot aan den stand *b'*, waar die verlenging de Zon *Z* ontmoet, omdat hij van de eene tot de andere van die standen *b*, *b'* het licht ontvangt op de zijde tegenover die, welke men uit de Aarde *A* ziet, en zijn kant of snede, hoewel zelf verlicht zijnde, voor ons een lichte draad wordt, die zich te nauwernood door kijkers van 't grootst vermogen laat bespeuren.

496. **Licht en rotatie van den ring. — Vreemde bijzonderheden.** — De ring doet zich doorgaans een weinig helderder voor dan de Planeet, wier eenigszins geelachtig en veranderlijk licht veel flauwer dan dat van Jupiter is. Men onderscheidt gemakkelijk en zijne schaduw op het lichaam van Saturnus, en de schaduw van Saturnus op het gedeelte des rings, dat in tegenstand met de Zon is. Op de tijden van 't verdwijnen en wederverschijnen, bespeurt men een der zoogenaamde ooren niet meer, of wel het vertoont zich verscheidene dagen vóór het andere, hetgeen, oppervlakkig beschouwd, kwalijk schijnt overeen te brengen met eene wenteling om zich zelve, dewijl de verschillende deelen van den ring bij het ronddraaien achtereenvolgens al de punten rondom Saturnus moesten innemen, in welk geval men het helderste oor nu eens aan de eene, dan weder aan de andere zijde, en niet steeds aan denzelfden kant zou zien. De waarneming echter van zekere lichtvlekken op den omvang des rings deed Herschel besluiten, dat deze in 18 u. 32 m. 15 s., dat is in iets minder tijd dan de Planeet, ronddraait, doch in dezelfde richting (van 't Westen naar 't Oosten); alsof de beide lichamen oorspronkelijk één waren geweest, aangedaan met eene en dezelfde rotatie-beweging, en ten laatste gescheiden waren door de afkoeling, die, terwijl zij de moleculen, welke bestemd waren om den inwendigen Bol te vormen, dichter bij het middelpunt bracht, zonder hare snelheden rondom dat punt te veranderen, noodwendig voor ieder van haar den

(*) Zij α de helling van den ring op den uit de Aarde getrokken gezichtsstraal. De beide assen der ellips, projectie van den cirkel dezes rings, zullen evenredig zijn aan 1 en aan $\sin \alpha$. Door hunne meting zal men dus α kunnen bepalen. Hieruit zal men gemakkelijk den hoek van den ring met het vlak der loopbaan van Saturnus kunnen vinden.

tijd moest verkort hebben, vereischt tot het doorloopen van kleiner geworden omtrekken.

De beide resultaten (wederverschijning van een der ooren vóór het andere en omdraaiing des rings om zijne as) zijn onvereenigbaar met elkander. Nogtans schijnen ze beide boven twijfel verheven. Om de onbestaanbaarheid te verminderen, zou men ze in verband kunnen brengen met eenige opmerkingen van Gallet, geestelijke te Avignon, van Cassini, Maraldi, Herschel, enz., volgens welke de ring een weinig uitmiddelpuntig zou zijn,

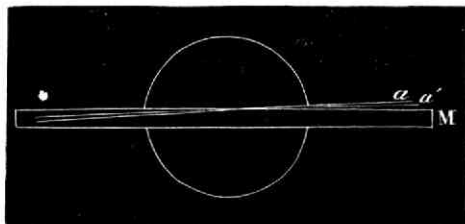


Fig 215.

en samengesteld (fig. 215) uit verscheidene ringen de een binnen den anderen, maar ongelijk hellende, derwijze dat aan de eene zijde de kleinsten over de anderen heen reikten, als bergen in a , a' , . . . terwijl zij aan de tegenovergestelde zijde bedekt bleven

in 't binnenste van den grooten ring. Men begrijpt toch, dat de arm M. als hebbende eene *schijnbaar* aanzienlijker dikte, alsdan een weinig langer zou zichtbaar zijn, zonder dat daarom de rotatie ophield plaats te hebben.

497. **Verdeeling van den ring in verscheidene binnen elkander liggende ringen. — Mechanische voorwaarden van zijn instandblijven.** — Deze denkbeelden zijn voor 't overige in geen deele louter hypothetisch; want de uitmiddelpuntigheid blijkt uit zekere metingen, die verschillen hebben aangetoond tusschen de lengte der ooren of handvatten. Daarenboven is de onderverdeeling van den ring klaarblijkelijk geworden (fig. 216) door eene onafgebroken zwarte lijn (*), die op ten minste twee concentrische ringen wijst, bij welke men tevens somwijlen op een der ooren twee of drie andere concentrische lijnen ziet, die wel 't gevolg konden zijn van onderverdeelingen, vormende drie, vier of zelfs vijf ringen. En bovendien nog leeren ons Laplace's navorschingen, als om de waarschijnlijkheid tot zekerheid te maken, dat de ring, hij zij vast of vloeibaar, zal hij in zijn samenstel degelijke voorwaarden van instandblijving bezitten, zijn zwaartepunt een weinig buiten 't figuurmiddelpunt moet hebben; dat zijn omvang elliptisch en zijne dikte veranderlijk kan zijn; dat de beneden- en bovenoppervlakte zelve niet vlak kunnen

(*) Ofschoon men deze zwarte en met den ring concentrische lijn bij vergissing de streep van Herschel noemt, is het zeker, dat Maraldi en Cassini haar bespeurd hadden.

wezen; eindelijk dat de rondwenteling van 't zwaartepunt om het figuurmiddelpunt, overeenkomstig met die van eenen Wachter,

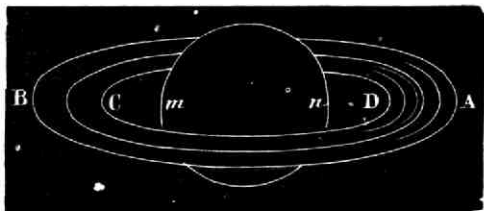


Fig. 216.

moet plaats hebben juist in 10,25 u., gelijk Herschel ongeveer eveneens had bevonden.

498. **Afmetingen van den ring.** — Zijne voortgaande afnemings door Struve beweerd, maar door Secchi betwist. — De dikte van den ring bedraagt niet meer dan 400 kilometers, en onderspant op den afstand van Saturnus ter nauwernood eenen hoek van $0^{\circ},05$. De buiten-diameter AB van den ring is gelijk aan nagenoeg 284 000 kilometers; de binnen-diameter CD aan 188 000 kilom. De breedte AD of BC zal bij gevolg de helft van 't verschil 96 000 tusschen deze twee getallen of 48 000 kilom. zijn. Daar de diameter mn van de Planeet 118 400 kilom. bedraagt, zal de afstand nD van den ring gelijk zijn aan de helft van CD min mn , dat is aan 34 800 kilometers. Toen Otto Struve zorgvuldig de verschillende hoekwaarden naging, die men bekomen had sedert Cassini het bestaan van twee concentrische ringen had ontdekt, meende hij te bemerken, dat deze ringen, vaneengescheiden door eene tusschenruimte van ongeveer 3200 kilometers, de Planeet allengs naderbij komen, zonder hun onderlingen afstand te veranderen, behoudende de buitenring zijne breedte van 26 800 kilom., terwijl de binnenring, nu 18 000 kilom. breed, zich daarentegen meer en meer naar Saturnus uitzet, zoodat hij in oppervlakte toeneemt en bijgevolg, zoo zijne dikte dezelfde blijft, in dichtheid vermindert, of wel in dikte afneemt, ingeval zijne dichtheid niet verandert. Volgens de wet van het door Struve waargenomen verschijnsel, zou de ring omstreeks het jaar 2068 in aanraking met de Planeet moeten komen en in 2800 geheel verdwenen zijn. En toen Secchi op zijne beurt de gevolgtrekkingen van den Petersburger Sterrenkundige onderzocht, vermeende hij de door Struve bevonden ongelijkheden te moeten toeschrijven aan den elliptischen vorm van den ring, die ons beurtelings elke zijner assen te zien geeft, en hoeken onderspant, die van 40 tot omtrent 43 seconden veranderen, naar

gelang van den hoek der diameters, onder welken hij zich schuins aan ons vertoont (*).

499. **Donkere streep binnen den ring, wiens dampkring zij schijnt te zijn.** — Ondanks de sedert langen tijd erkende bekwaamheid van Struve, schijnen toch de in zulk een teedere zaak verkregen uitkomsten nieuwe bevestiging te vereischen. Dit geschiedde eerst omtrent de denkbeelden, in 1838 geëit aangaande eene soort van donkere streep, welke Galle afhankelijk van den ring zelven meende te moeten maken, maar wiens bestaan, na eerst te zijn betwijfeld, weldra bevestigd werd door waarnemingen, die mede de theorie van den Berlijner Sterrenkundige staaften. Immers, den 11den November 1850 bemerkte Bond te Cambridge (Vereenigde Staten van Amerika), met eenen te Munchen vervaardigden kijker van 16 duim, de donkere streep buiten de schijf van Saturnus binnen en in aanraking met de ooren, alwaar hare breedte ongeveer een vijfde van de ledige ruimte tusschen den ring en de Planeet scheen te beslaan; en veertien dagen later zag Dawes te Waterbury, zonder kennis te dragen van Bond's ontdekking, dien donkeren ring binnen in den helderen ring over eene breedte, die hij onderstelde, zooals zij ook werkelijk moet wezen, gelijk aan ten minste twee vijfde van den afstand nD ; terwijl Bond zelf, te zamen met Otto Struve, op den 14den Augustus 1851, te Pulkowa, niet meer een vijfde, maar 56 honderdste van de ledige ruimte zag ingenomen door de breedte van den donkeren ring.

Ziedaar dus, naar allen schijn, een tot dusverre niet waargenomen dampkring aan de buitenzijde van den ring, maar zestien a twintig duizend kilometers boven den binnen-omtrek, werwaarts hij ongetwijfeld gedreven wordt door de aantrekking van de Planeet, en waar hij, volgens Lassel, een krippen sluier gelijkt, donker grijs in zijne projectie op den Hemel, zeer licht grijs daarentegen op de verlichte schijf, en volkomen onderscheiden, al werd hij er ook soms mede verward, van de slagschaduw, die de ring op de Planeet of de Planeet op den ring werpt.

500. **Meeningen over den oorsprong van den ring.** — Er is veel geredekaveld over den oorsprong van den ring. Volgens eenigen zou dit lichaam niets anders zijn dan een overblijfsel van den ouden *Æquator* der Planeet, van welken hij, volgens Mairan, zou afgescheiden zijn door de afkoeling en de

(*) De hoogleeraar Kaiser heeft de bovengenoemde stelling van Struve aan een nauwgezet onderzoek onderworpen, en bevonden „dat er geene de minste gegronde reden bestaat, om den ring van Saturnus eene verandering in zijne afmetingen toe te kennen.” Dezelfde Sterrenkundige heeft Secchi's ontdekking van de electriciteit des rings op het strengst getoetst, en voldoende bewezen, „eerstelijk door eene lange reeks van metingen volbracht op het observatorium te Leiden, en later door eene nieuwe reeks van metingen volbracht op dat te Rome, dat van die vermeende afwisseling in de schijnbare lengte des rings van Saturnus niets bestaat.” (Zie *De Sterrenhemel*, door F. Kaiser, 3de druk, § 74).

daaruit volgende verdichting, volgens Buffon daarentegen door de middelpuntvliedende kracht. Anderen, bij voorbeeld Maupertuis, hielden hem voor den staart eener Komeet, geslingerd om Saturnus heen, die tevens de kern zou veranderd hebben in eenen Wachter. Nog anderen eindelijk, en onder dezen Jacques Cassini, waren van gevoelen, dat de ring ontstond uit eene reeks van bijna elkander rakende Satellieten, die gevolgelijk nog on-eindig veel dichter waren dan die myriaden lichaampjes, die op hunne beurt ringen rondom de Zon vormen, en die, als ze door de wrijving der lucht in onzen dampkring ontvlammen, zich aan ons voordoen als vallende sterren, vuurballen, enz. Doch over die zaken meer uit te weiden zou doelloos wezen; zij voeren ons echter zeer natuurlijk tot de behandeling van de Satellieten, wier aanzijn naar eisch bewezen is.

501. **Wachters van Saturnus.** — **Het historische hunner ontdekking.** — De eerste dezer wachters werd ontdekt door Huygens den 25sten Maart 1655, met behulp van een veelvermogend objectief, dat de uitstekende Sterrenkundige zelf had geslepen. Van nu af kende men dus, met de Maan en Jupiter's vier Wachters, zes Bijplaneten, alzo even zooveel als Hoofdplaneten (Mercurius, Venus, de Aarde, Mars, Jupiter en Saturnus). In de overtuiging dat het getal der eerste niet boven dat der tweede kon gaan, zag Huygens dan ook af van verdere soortgelijke nasporingen, die daarenboven een nauwlettende waakzaamheid en vermoeiende ooginspanning vereischten, uit hoofde van het flauwe licht der nieuwe Hemellichamen of wegens hunne bedekking door de Planeet. Maar eenige jaren later, in October 1671 en in December 1672, ontdekte Dominicus Cassini twee nieuwe Wachters, de eene dichter bij, de andere verder af van Saturnus dan de Wachter van Huygens. Cassini huldigde er zijnen weldoener Lodewijk XIV mede, en wel in de volgende *curieuse* opdracht, die hij aan 't hoofd van een werkje niet grooter dan 20 bladzijden plaatste: „Hoe zeer zou Uwe Majesteit niet benijd worden door den grooten Alexander, die tweemaal tranen stortte, ééns toen hij zijne veroveringen door den Oceaan zag beperkt, en andermaal toen een wijsgeer hem inlichtte aangaande het bestaan eener talloze menigte werelden, van welke hij nog slechts eene enkele had veroverd! De oudheid had niet meer dan zeven Planeten gekend; deze eeuw had nog vijf andere er bij ontdekt, en zie, daar verschijnen thans nog twee nieuwe ter vòlmaking van 't getal *veertien*, dat nu de eer heeft met den doorluchtigen naam van Lodewijk te zijn verbonden. Hoedanig ook de natuur dezer Werelden moge wezen, het ontdekkingsrecht geeft er reeds twee aan Uwe Majesteit, wiens veroveringen, daar zij binnen de grenzen der

Aarde niet kunnen besloten worden, zich uitstrekken tot in de hoogverheven gewesten der Hemelen."

Ongelukkig voor zijn uitverkoren getal veertien, moest Cassini zelve het eerlang van den astronomischen krans, dien hij 't had opgedrukt, berooven; immers hij ontdekte in Maart 1664 een vierden en een vijfden Wachter van Saturnus, beide op geringere afstanden dan de toen reeds bekende rondom de Planeet loopende.

Een gansche eeuw was er voorbijgegaan, toen W. Herschel op zijne beurt tusschen de Planeet en de vroeger waargenomen Wachters twee nieuwe Manen bespeurde, ondanks de nabijheid van den ring, die ze als 't ware in zijnen glans verzwelgt. Hij ontdekte de *zesde* op den 28sten Augustus 1789, en spoedig daarop, namelijk den 17den September van hetzelfde jaar, eene *zevende*, de minst verwijderde van allen en tevens die, welke ons naar het scheen het minste licht toezond, doch die echter niet de flauwst schijnende van Saturnus' Manen is, want in September 1848 ontdekte Lassell, te Liverpool, en Bond, te Cambridge (Vereenigde Staten van Amerika), bijna terzelfder tijd een *achtsten* Wachter, dien men tot dusverre niet had waargenomen en die de zevende plaats in de orde der afstanden tot de Planeet kwam innemen.

502. De acht Wachters van Saturnus, gehoorzamende aan de wetten van Kepler. — Ziedaar de tot dusverre bekende omgeving van Saturnus. Ik moet er bijvoegen, dat de acht Wachters van deze Planeet, evenals de vier van Jupiter, de wetten van Kepler volgen en zich van het *westen naar het oosten* bewegen in loopbanen, die op weinig na in het verlengde vlak van den ring vallen; dat de duur hunner ronddraaiingen om zich zelve, te oordeelen naar zekere periodische lichtveranderingen, die men bespeurd heeft op den eersten Wachter van Cassini (de achtste naar rang van afstand tot Saturnus), gelijk schijnt te zijn aan den duur hunner wentelingen om de Hoofdplaneet; dat de grootste onder hen, de Wachter van Huygens, omtrent zevenmaal onze Maan overtreft, en dat Herschel somwijlen, maar toch zeer zelden, de schaduw dezes Wachters over de verlichte schijf der Planeet heeft zien trekken; dat Herschel almede — ongetwijfeld door eene werking van straalbuiging, hetgeen op zich zelve voldoende zou zijn om het bestaan van eenen dampkring te bewijzen — de van Saturnus minst verwijderde Wachter gedurende 20 minuten schijnbaar aan den rand der Planeet heeft zien kleven; eindelijk, dat Sir John Herschel, om een einde te maken aan de verwarring, voortvloeiende uit de volgnommers der Wachters, nu eens geordend naar de ontdekkingstijden, dan weer naar de afstanden van de Planeet, het

voorstel heeft gedaan om aan de Satellieten van Saturnus de mythologische namen te geven, die men in 't volgende Tafeltje vermeld vindt:

VOLGNOMMERS.		NAMEN door Sir John Herschel gegeven.	AFSTANDEN tot de Planeet, de ge- middelde straal van deze als eenheid genomen	DUUR der omwente- lingen.
naar de afstanden v de Planeet.	naar den rang der ontdekking.			
1	7	Mimas . .	kilometers. 198 320	dagen 0,493
2	6	Encelades .	254 560	1,370
3	5	Tethys . .	312 560	1,888
4	4	Dione . .	403 760	2,739
5	3	Rhea . .	563 600	4,517
6	1	Titan . .	1 307 120	15,945
7	8	Hyperion .	1 585 360	21,297
8	2	Japhet . .	3 810 120	79,330

503. — In weerwil van de geringe warmte en het weinige licht, dat Saturnus van de Zon ontvangt, is deze Planeet ongetwijfeld bewoond gelijk de andere; want men kan zich moeielijk voorstellen, inzonderheid wanneer men denkt aan de zoo verbazend rijke verscheidenheid des levens op onzen kleinen Aardbol, hoe zulk een groot Hemellichaam ledig en woest zou kunnen zijn. Het moet alzoo een zeer vreemd, waarschijnlijk bezwaarlijk te begrijpen schouwtooneel wezen, dat de hemel oplevert voor de bewoners der Planeet, des rings en der Satellieten.

Voorkomen des hemels voor de bewoners van Saturnus.

— De beide zijden des rings, bij voorbeeld, hebben dagen en nachten van ongeveer vijftien jaar (helft der siderische omwenteling van Saturnus), daar de Zon zich beurtelings vijftien jaar boven en beneden iedere dier zijden bevindt, gelijk zij zulks beurtelings gedurende zes maanden voor de Aarde ten noorden en ten zuiden des *Æquators* is. Doch aangezien van een anderen kant de ronddraaing om de as achtereenvolgens in tien en een half uur al de punten des rings achter de Planeet doet heengaan, zoo heeft ieder bewoner ten naasten bij om de tien uren Zon-eclips, te weeg gebracht door het lichaam van Saturnus, zonder nog de Verduisteringen te rekenen, welke de Wachters bijgeval moeten veroorzaken. Het gering verschil van vijftien minuten tusschen den duur der aswenteling van de planeet en des rings doet bovendien de verschillende punten van dezen laatste achtereenvolgens voorbij de verschillende punten der schijf trekken, en vergunt alzoo den beiden Werelden elkander wederzijds over haar ganschen omvang gade te slaan in een tijdsverloop van 41 dagen van Saturnus, na welken tijd dezelfde punten van

de Planeet en den ring weder in conjunctie zijn. De aantrekkingen moeten ook de richtingen der verticalen grootelijks wijzigen, en naar allen schijn moet voor vele plaatsen het overeindstaan een zeer aanzienlijk hellen naar den horizon wezen.

Op zijne beurt voert de schaduw des rings eene aanhoudende Zoneclips en ongetwijfeld ook een vinnige koude juist over die streken van Saturnus heen, waar men, op de Aarde, de meeste warmte gevoelt. Omstreeks de polen van Saturnus, daarentegen, laat de onder den horizon verborgen ring den hemel steeds zuiver zichtbaar, terwijl hij voor de tusschenbeide liggende streken gordels van sterren bedekt, die veranderen met de breedte des waarnemers, enz. Maar ik mag niet langer verwijlen bij bijzonderheden, die een ieder zich gemakkelijk voor den geest kan brengen, en ik ga over tot de behandeling der laatste bekende lichamen van het Planetenstelsel.

504. **Uranus.** — **Zijne afmetingen.** — *Uranus* en *Neptunus*, in de diepte des hemels als 't ware verloren en altijd schijnbaar zeer klein, zijn op verre na niet zoodanig beoefend kunnen worden als dat het geval is geweest met Venus, Mars, Jupiter en Saturnus. Te nauwernood toch onderspant de eerste, die als eene Ster der vijfde a zesde grootte zichtbaar is, voor ons eenen hoek van 4 seconden, ofschoon zijn werkelijke diameter en volumen, de eene 4,221maal, het andere 75maal den diameter en het volumen der Aarde overtreffen.

Massa, Dichtheid, Warmte en Licht. — **Intensiteit der zwaarte.** — Zijne massa gaat insgelijks verre (17,208maal) de onze te boven; maar zijne dichtheid is daarentegen veel geringer (slechts 0,23), zoo ook de intensiteiten van de warmte en het licht, die hij van de Zon ontvangt (omtrent 0,003), wordende de overeenkomstige grootheden voor de Aarde hierbij respectievelijk tot eenheid genomen. Wat de zwaarte betreft, hare waarde wordt uitgedrukt door 0,963.

Elementen der loopbaan. — De gemiddelde afstand tot de Zon (191,83) komt overeen met 2 932 millioen kilometers; de excentriciteit der loopbaan bedraagt 0,047; de helling op de Ecliptica $0^{\circ}46'30''$; de duur der siderische omwenteling 30 686,82 dag (84 jaar); die der synodische omwenteling 369 dagen; eindelijk, de boog van teruggang ongeveer 4 graden.

505. **Afplatting en wenteling om zich zelve, door Herschel bespeurd.** — **Wachters, die aan de wetten van Kepler gehoorzamen.** — Herschel, wien wij schier alles danken wat wij van Uranus weten, heeft gemeend eene werkelijke afplatting waar te nemen, die later ook door Mädler bevestigd, maar door andere waarnemers ontkend is. Herschel meende ook eene rotatie-beweging te bemerken, welker duur hij niet

kon bepalen, en die, naar zijn gevoelen, plaats moest hebben rondom eene bijna op het vlak der Ecliptica liggende as. Hij ontdekte eindelijk zes bij uitstek flauwe Wachters, gelijk aan Sterren van de zestiende tot de achttiende grootte, gehoorzame, als die van Jupiter en Saturnus, aan de wetten van Kepler, terwijl zij tevens de zonderlinge afwijking vertoonen, dat zij — als zoodanig eenig in 't planetenstelsel — met betrekking tot het middelpunt der Planeet eene teruggaande of *van 't westen naar 't oosten* gerichte beweging hebben (*). De beide eerste, bij welke Herschel veranderlijk licht vond, dat hij door rotatiën of door dampkringen verklaarde, zijn de eenige, die gedurende meer dan veertig jaren door de waarnemers teruggevonden werden. Sedert 1844 schijnen Sir John Herschel, Lamont, Lassell, enz. verscheidene andere Wachters gezien en zelfs het getal der door W. Herschel gevondene vermeerderd te hebben; immers Lassell van Liverpool ontdekte den 24sten October 1851 nog twee Wachters, wier omwentelingen van 2,520 en 4,144 jaar aanmerkelijk verschillen van de vroeger door W. Herschel bepaalde omwentelingstijden. Ziehier voor 't overige een kort overzicht van de geschiedenis der Wachters van Uranus:

Wachters.	MIDDELBARE afstanden tot de Planeet, den diameter van deze tot eenheid genomen.	DUUR der omwentelingen.	DATUM der ontdekkingen.	ONTDEKKERS.
		dagen.		
1	7,44	2,520	24 October 1851	Lassell.
2	10,37	4,144	24 October 1851	Lassell.
3	13,12	5,893	18 Januari 1790	W. Herschel.
4	17,01	8,986	11 Januari 1787	W. Herschel.
5	19,85	10,961	26 Maart 1794	W. Herschel.
6	22,75	13,846	11 Januari 1787	W. Herschel.
7	43,71	38,075	9 Februari 1790	W. Herschel.
8	91,01	107,694	28 Februari 1724	W. Herschel.

Ik moet ten slotte zeggen, dat Herschel eerst het bestaan van twee loodrecht op elkander staande ringen had aangenomen, maar dat hij later dit denkbeeld geheel liet varen.

(*) Omtrent deze beweging van 't westen naar 't oosten zegt de hoogleeraar Kaiser het volgende: „Terwijl de loopbanen van de wachters der overige planeten geene groote hoeken maken met de vlakke van de loopbaan der aarde, staan de loopbanen der wachters van Uranus bijna loodrecht op die vlakke, en dit heeft ten gevolge, dat de richting, in welke de wachters van Uranus zich bewegen, niet gevoelig kan vergeleken worden bij die, in welke de planeten en de overige wachters voortgaan. Men kan niet zeggen, dat zij zich bepaaldelijk van het westen naar het oosten, of van het oosten naar het westen bewegen, evenmin als men de beweging van een lichaam, dat bijna loodrecht op den grond valt, bepaaldelijk eene beweging naar deze of gene streek van den horizon kan noemen.” (De Sterrenhemel, Deel I, blz. 189, 3^{de} druk).

506. Neptunus. — Volumen, Massa, Dichtheid. — Wachters. — De Planeet Neptunus, op anderhalf maal grooteren afstand dan Uranus (30,04maal den afstand van de Aarde tot de Zon, of 4588 millioen kilometers), met een diameter en volumen ongeveer gelijk aan die van Uranus (4,407maal den diameter en 86maal het volumen der Aarde) moet zich nog veel flauwer voordoen (zij gelijkt naar eene Ster van de zevende tot de achtste grootte) en moet gevolgelijk nog veel moeilijker te beoefenen zijn. Ook weten wij omtrent haar tot dusverre niets anders dan dat Lassell eenen Wachter bij haar zag, wiens loopbaan 27 a 28 graden op de Ecliptica helt, en wiens siderische omwenteling, volgens Otto en Gustavus Struve, geschieden moet in 5,8769 jaar, hetgeen voor de Planeet, bij een afstand van 368 duizend kilometers tusschen haar en den Wachter, eene massa zou opleveren gelijk aan 20,231maal de massa der Aarde, en eene middelbare dichtheid iets minder dan een vierde (0,23 a 0,24) van de middelbare dichtheid onzes Aardbols.

Sporen van eenen ring. — Siderische en synodische omwentelingen. — Schijnbare grootte van de Zon, licht en warmte. — Ik voeg er bij, dat Bond een tweeden Wachter en Lassell eenen ring meent gezien te hebben; dat de Planeet, alvorens zij ontdekt werd, reeds in 1795 was waargenomen als eene Ster van de achtste grootte door Lalande, en in 1845 en 1846 als eene Ster van de achtste en negende grootte door Lamont van Munchen; dat de duur van hare siderische omwenteling 60 127 dagen, die van hare synodische omwenteling 367 dagen belooft; eindelijk, dat hare bewoners, zoo zij die heeft, van de Zon, die zij onder een nauwelijks merkbaren hoek (ééne minuut) zien, ongeveer 900maal minder licht en warmte ontvangen dan wij.

507. Wijziging in de wet van Bode, voorgesteld door Babinet voor de Planeten aan gene zijde van Neptunus vermoed. — De wet van Bode gaat op verre na niet door voor Neptunus, daar de afstand tusschen deze planeet en de Zon, in plaats van 384 te zijn, zooals de wet vordert, werkelijk slechts 300,4 is, die der Aarde 10 zijnde. Hieruit meende Babinet tot het besluit te mogen komen, dat aan gene zijde van Uranus de reeks van Bode vervangen moet worden door eene nieuwe reeks, die hij afleidde uit Kepler's derde wet, in de onderstelling van omwentelingstijden, die elkanders tweevoud zijn, overeenkomstig ten naasten bij met de beide getallen 60 127 en 30 687 dagen, siderische omwentelingen van Neptunus en Uranus. Werkelijk zou men, bij omwentelingstijden van 84 en 168 jaar, in ronde getallen juist de afstanden 190 en 300 tot de Zon bekomen,

welke de waarneming oplevert (*), hetgeen voor nieuwe Planeten zou geven:

Duur der omwenteling	336 jaar;	afstand tot de Zon	480
—	672	"	—
			760

Niets intusschen bewijst tot dusverre het bestaan van deze *buiten-neptunische* Planeten, wier eerste reeds in 1848 van Babinet bij voorraad den naam Hyperion (zoon van Uranus en vader van de Zon) kreeg, een naam, die kort daarna aan den achtsten Wachter van Saturnus werd gegeven. Al schijnt men ook weinig of niet op eene onmiddellijke bevestiging van Babinet's gevoelen te mogen rekenen, toch kwam het mij voor, dat ik in eene algemeene geschiedenis van de Planeten melding moest maken van de opmerkenswaardige wijziging in Bode's wet, opgeworpen door een voortreffelijk Sterrenkundige.

508. **Vallende Sterren.** — Hetzelfde mag ik zeggen van de talrijke kleine lichamen, die mede aan de Zon onderworpen zijn, en zich aan ons oog vertoonen onder de gedaante van vuurbollen, vallende Sterren, enz.

Snelheden en Hoogte. — **Oorzaken der ontvlaming en uitdooving.** — Somwijlen gaan deze Sterren zeer dicht langs onze Aarde met snelheden van 30 000, 40 000 en zelfs 80 000 meters in de seconde. Dikwijls ook schitteren en ontvlammen zij ver buiten de grenzen, die men algemeen aan 't ons omgevend gashulsel toekent, in welk geval men hare ontvlaming zou moeten verklaren door de wrijving van een anderen onbeweegbaren dampkring, ontstaan uit den ether verdicht onder de aantrekkingskracht des Aardbols, tenware men liever, gelijk men trouwens volgens zekere bij den *Æquator* gedane waarnemingen schijnt te mogen doen, de gegiste afstanden der laatste luchtlagen aanzienlijk wilde vermeerderen.

De uitdooving, op hare beurt, zou, indien zij in den dampkring plaats heeft, moeten toegeschreven worden aan de vorming eener laag smeltbaar metaal-oxyde, die, terwijl zij de inwendige deelen voor de aanraking der lucht beveiligt, de verbranding stuit; of wel, volgens Lubbock, aan het doordringen der vallende Ster in den schaduwkegel der Aarde, hetgeen — om dit in 't voorbijgaan te zeggen — gelegenheid zou geven om de meteorparallax op het oogenblik des verdwijns te bepalen.

509. **Onheilen te weeg gebracht door de nederstorting**

(*) Uit $\frac{a^3}{T^2} = \frac{a'^3}{T'^2}$ vindt gij $a' = a \sqrt[3]{\left(\frac{T'}{T}\right)^2}$ Wanneer gij met $a = 190$, afstand van Uranus tot de Zon, achtereenvolgens $\frac{T'}{T} = 2, \frac{T'}{T} = 4, \frac{T'}{T} = 8, \dots$ maakt verkrijgt gij voor a de waarden 301,6, 478,8, 760,0 of, in ronde getallen 300, 480, 760.

van vallende Sterren. — Hoe het overigens gelegen moge zijn met de verschillende verklaringen, die men heeft bedacht om rekenschap van 't verschijnsel te geven, zeker schijnt het te zijn, dat het op Aarde nederkomen van vallende Sterren, welke in dit geval den naam van *aërolithen* (luchtsteen) krijgen, ernstige ongelukken kan te weeg brengen. Van dien aard waren, bij voorbeeld, de val van 616, die, gelijk de Chineesche jaarboeken vermelden, wagens verbrijzelde en tien menschen doodde; die van 944, welke, volgens de kroniek van Frodoard, huizen in brand stak; die van 7 Maart 1618, die het Paleis van justitie te Parijs in vlam zette; die van 1647, waardoor twee mannen op zee, en die van 1654, waardoor een Franciskaner monnik te Milaan werden doodgeslagen; die van 13 Juni 1759, van 12 November 1761, van 13 November 1835, van 3 Augustus 1840, van 25 Februari 1841, van de maand Juli 1842, van de Novembermaand 1843, van 16 Januari en van 22 Maart 1846, eindelijk van 1 Augustus 1862, door welke brand ontstond in de Fransche departementen van de Gironde, Côte d'Or, Ain, het Kanaal, de Opper-Marne, de Oost-Pyreneën, de Saône-en-Loire, de Opper-Garonne, enz., en die bewijzen hoe voorzichtig de justitie moet zijn in het beoordeelen of er bij dergelijke voorvallen al of niet misdaad in 't spel is. Van dien aard is nog de val van luchtsteen, die door Laugier vermeld wordt, als hebbende in Amerika eene hut verpletterd, eenen boer alsook eenig vee gedood en in den grond een gat van twee meters diepte geslagen, enz.

510. **Meeningen aangaande den oorsprong der luchtsteen.** — **Banen van deze lichamen.** — Eerst was men van gevoelen geweest, dat de aërolithen of luchtsteen door maanvulkanen naar de Aarde geslingerd werden; want volgens de berekeningen van Laplace, Poisson, enz. zou eene aanvankelijke snelheid van 2500 meters voldoende zijn om een lichaam, dat in de vereischte richting door onzen Wachter wordt weggegooid, tot op onze Aarde te brengen. Dit gevoelen ontleende tevens een zeker gewicht uit de samenstelling der luchtsteen, die over 't algemeen ongeveer dezelfde bestanddeelen hebben, namelijk zwavel, phosphorus, kool, silicium, aluminium, magnesium, calcium, potassium, sodium, ijzer, nikkel, kobalt, chromium, mangaan, koper, tin en titanium. Tegenwoordig echter heeft men de theorie der maansteen schier geheel laten varen, en wel sedert de cosmische verhevelingen het voorwerp werden van een lang voortgezet onderzoek, eerst door Brandes en Benzenberg, later door Quetelet, Ermann, Boguslawski, Coulvier-Gravier, Herschel en anderen, en sedert ik zelf voor eenige dier verhevelingen, als *grensbanen* die de ongunstigste onderstellingen

aangaande de waargenomen snelheid opleverden, elliptische of zelfs hyperbolische loopkringen rondom de Zon heb bekomen. Dit kenmerkt voorzeker geene uit de Maan geworpen massa's, maar ware Planeten in den vollen zin des woords, of wel lichamen, die in de hemelruimte van de eene Ster naar de andere dwalen, en die gevolgelijk, als zij op aarde vallen, ons *stoffelijke* tijdingen brengen van die eindelooze diepten, uit welke het licht zelve, ondanks zijne verbazende snelheid, duizendtallen van jaren noodig heeft om ons te bereiken.

't Is waar, dat men voor eenige *boliden* (zoo heet men de lichtende aërolithen wier diameters zich als meetbaar voordoen) als waarschijnlijke banen ellipsen rondom de Aarde vindt. Die gevallen zijn evenwel zeldzaam en schijnen bovendien te wijzen, niet op lichamen die uit eenen afstand van 360 duizend kilometers komen, maar op Wachters, gelijksoortig met de eerste Wachters van Jupiter en Saturnus, dat is, toegerust met eene zeer snelle omloopsbeweging, maar met te geringe excentriciteiten om hen uit de maangewesten te doen komen.

511. **Hunne afmetingen.** — De aërolithen en boliden hebben dikwijls zeer aanzienlijke afmetingen. Als een der grootste onder de eerstgenoemden vermeldt men dien, welke den 14den December bij Weston in Connecticut neerkwam, en waarvan de talrijke stukken zich over eene ruime uitgestrektheid lands verspreidden. Zóó groot waren zijne afmetingen, dat velen dergenen die hem zagen, van meening waren dat de Maan nederviel. Men noemt ook de drie groote steenen, die ten jare 452 in Thracië vielen; den vervaarlijken steen, die, volgens Lycosthenes, in 956 uit den hemel werd geworpen; de zware steenen van 963, 1009, 1057, 1093, van Juni en Juli 1178, van 1300, 1474, 1492 (*), 1528, 1583, 1591, 1654, 1731, 1795, 1810, 1812, 1818, 1821 (†), 1824, 1826, 1840, 1847, enz., waarbij men nog den luchtsteen kan voegen, die op den 9den December 1858 zoo veel ontsteltenis baarde in het Fransche departement der Opper-Garonne, alwaar zijne verschillende stukken na vele ontploffingen en herhaalde losbarstingen neerkwamen.

512. — Wat de boliden aangaat, hunne schijnbare diameters evenaren somwijlen die der Zon en Maan. Zoodanig was onder anderen die van den 19den Maart 1718, welke zich, volgens Halley, op 476 kilometers van de Aarde bewoog, bijna evenzoo schitterend als de Zon, en wiens werkelijke diameter 2560 meters bedroeg. Daartoe behoort ook de bolide van den 26sten* April 1803, omstreeks één uur des namiddags gezien uit de Fransche

(*) Hij woog 138 kilo's, en viel den 7den November 1492 te Eusisheim (Bovenrijn), dicht bij den roomschen keizer Maximiliaan I neder.

(†) Hij viel bij Juvenas (dep. Ardèche) te gelijk met veel andere, en woog 12 kilo's.

steden Caen, Alençon, Falaise, enz., en wiens geweldige ontploffing, 30 uren in 't rond gehoord, in de omstreken van Aigle (in 't Fransche departement der Orne), over eene uitgestrektheid van 40 tot 45 vierkante kilometers, eene aanmerkelijke hoeveelheid steenen neerwierp, waaronder zich klompen van meer dan 8 kilo's bevonden.

Nog verdienen, onder de, om zoo te zeggen dagelijks, waargenomen boliden, wanneer wij ons tot de tegenwoordige eeuw bepalen, hier aangehaald te worden die van den 20sten April 1810, welke, volgens Boussingault, te Santa-Rosa (Nieuw-Grenada) eenen meteorsteen van 750 kilo's op de Aarde wierp; die van 10 April 1812, welke, naar het bericht van de Puymaurin, bij Toulouse een overvloedigen steenerval veroorzaakte; die van 15 April en 5 Augustus deszelfden jaars, in Brunswijk en in de Vendée, welke beide aërolithen deden nederstorten, waarvan de eene, die te Chatonnay viel, volgens Brochant de zwaarte had van 34 kilo's.

Hunne snelheid. — Verder: de bolide van den 15den Februari 1818, gezien uit Pan, Toulouse, Bordeaux, Limoges, etc., die gevolgd werd door een hevige ontploffing en den val van eenen aërolith te Limoges, waar de steen, zegt men, in den grond „eene holte maakte gelijk aan den omvang van een groot fust;” de uiteenbarstende bolide van den 5den Mei en die van den 5den Juni 1819, beide gezien op vollen middag bij een volkomen helderen hemel; de bolide van den 17den Juli 1835, wiens ontploffing gehoord werd van Milaan tot Heilbron, gevolgelijk over eene uitgestrektheid van omtrent 80 uren; die van den 12den Februari 1836, wiens losbarsting in 't arrondissement van Coutances naar het lossen van verscheidene stukken geschut geleek; die eindelijk van 5 Januari 1837, 18 Augustus 1841, 23 Juli 1846, 6 Juli 1850, 2 April 1852, enz., voor welke ik werkelijke diameters heb gevonden van 2200, 3900, 98, 215, 32 meters, enz., op afstanden van de Aarde bedragende respectievelijk 272, 728, 44, 188, 16 kilometers, enz., met snelheden, geheel te vergelijken bij de snelheid der Aarde, zoodat het gevolgelijk niet mogelijk is, in de meeste boliden iets anders te zien dan wezenlijke Planeten, welker beschouwing alzoo zeer natuurlijk hier hare plaats inneemt.

513. **Levende krachten van zekere boliden.** — Een laatste woord tot besluit van deze beschouwing. Daar de boliden meestal zeer dicht bij de Aarde heen gaan, is het natuurlijk dat men zich afvraagt, wat de uitwerking zou zijn wanneer boliden van 2 tot 3 duizend meters in doorsnede bij eene gering genomen snelheid van 8 tot 12 duizend kilometers in de seconde op de Aarde kwamen neer te vallen. De werktuigkunde

nu leert, dat het resultaat wordt uitgedrukt door de helft van hetgene men de *levende kracht* noemt, dat is, door het product van het vierkant zijner snelheid met de halve massa van het vallende lichaam.

Onderstelt nu een bolide met eene doorsnede van 2000 meters, eene gemiddelde dichtheid gelijk aan die der steensoort, welke de aardkorst uitmaakt of aan ongeveer driemaal de dichtheid van water, en laat hij tien duizend meters in de seconde doorloopen. De halve levende kracht van zulk een lichaam, vergeleken bij die van den 24pounds (12 kilo) kogel, die het geschut verlaat met eene snelheid van 500 meters, is gelijk aan *vierhonderd negentien biljoenen* (*) en het aantal schoten, dat in *tachtig duizend jaar tien duizend kanonnen* zouden doen, werpende ieder, gedurende al dien tijd en onafgebroken een *vierentwintigponder* elke minuut.

Hun val kan geen merkbaar gevolg voor den Aardbol in zijn geheel hebben. — Voorzeker, dat is genoeg om schrikbarende verwoestingen aan te richten. Maar men mag zich geruststellen, bedenkende dat de onheilen louter plaatselijk zouden zijn, geheel zonder invloed op onze Planeet in haar geheel genomen; want na gedane berekening vindt men, dat zij, zelfs bij de overdrevenste onderstelling, den duur van den sterredag te nauwernood voor een *honderdste* seconde zouden veranderen (†). Daar bovendien de boliden van 2 tot 3 duizend meters in doorsnede niet talrijk schijnen te wezen, worden de valkansen voor dergelijke lichamen vrij gering; rekt men daarbij, dat de onbewoonde landen, de zeeën, enz. een zeer aanzienlijke ruimte op den Aardbol innemen, dan wordt de waarschijnlijkheid van be-

(*) Voor den bolide zou men hebben: volumen en kub. meters = $\frac{4}{3} \pi (1000)^3$; dichtheid = 3; gewicht van den kub. meter = 3000 kilo; snelheid = 10 000 met.; waaruit volgt: halve levende kracht = $\frac{2}{3} \pi (1000)^3 \times 3000 \text{ kilo} \times (10 000)$. De halve levende kracht des kanonskogels zou zijn 6 k. $\times (500)^2$. Verhouding der beide getallen = 419 000 000 000 000. Getal minuten in het jaar = 525 040. Quotient van 419 biljoenen met dit getal minuten = 796 430 000, of, in ronde getallen 800 millioenen, product van 80 000 met 10 000.

(†) Is ω de eigene omdraaiingssnelheid, M de massa en R de radius of straal der Aarde; ω' de snelheid die de Aarde na den val van den bolide aanneemt, m' de massa, en s de snelheid van dezen laatste, eindelijk r de afstand van eenig molecule dm tot de rotatie-as, dan zou men voor den tangentiëlen schok (geval der grootste uitwerking) bekomen:

$$\omega' \int_0^M + m r^2 dm = \omega \int_0^M r^2 dm \pm m s R.$$

Waaruit $\omega' \left(\frac{2}{5} M + m \right) R^2 = \frac{2}{5} M R^2 \omega \pm m s R;$

en nagenoeg $\omega' = \omega \pm \frac{m s}{\frac{2}{5} m R},$

eene vergelijking, die, met $\omega = 86 400 \text{ s.}$, in getallen geeft:
 $\omega' = 86 400 \text{ s.} + 0,0098634 \text{ s.}$

langrijke schokken in de bevolkte oorden nog merkelyk minder, en het persoonlijk gevaar voor ieder onzer genoegzaam nul.

514. — Koesteren we alzoo deswege geenerlei bezorgdheid. Ondanks de myriaden van groote en kleine lichamen, waarvan de Hemel wemelt, zal hij buiten allen twijfel steeds genadig blijven voor onze Planeet en voor hen die zij voedt. De aandachtige beschouwing dier majestueuze verhevelingen, wel verre van ons met vrees voor den Hemel te vervullen, moet veeleer dienen om ons gerustheid in te boezemen; en zoo 't mij vergund ware hier een uitstap op bovennatuurkundig gebied te doen, ik zou er bijvoegen, dat die beschouwing ook geschikt is om ons den weg naar den Hemel te wijzen. Immers, te leeren inzien, dat de Schepper als 't ware voortdurend handelt en werkt om de schepping in hare bewonderenswaardige harmonie te onderhouden, is dat niet tevens te leeren erkennen, dat arbeid de wet is voor den mensch, die wenscht zedelyk te zijn en God naderbij te komen? En wanneer men bij elke schrede, onder den bedwelmenden luister der natuur, ontwaar wordt, dat de gaven die hij met zoo milde hand ons toedeelt, het uitvloeisel zijn van de verwonderlijkste oeconomie, wordt men dan niet onmiddellyk tot de gevolgtrekking geleid, dat men, om goed en edelmoedig te kunnen wezen als zij, ook als zij de kunst moet verstaan om niet zonder doel of overleg zijn tijd en krachten te verspillen? Het ontastbare stofdeeltje, dat zonder uitzondering nuttig wordt aangewend in de natuurlijke orde der wereld, predikt ons dezelfde verschijnselen in de zedelyke wereldorde. Gaat er nimmer iets verloren in de eene, gewis zal er ook niets in de andere te loor gaan. Om met zekerheid het geluk deelachtig te worden, moet de mensch alzoo streven naar al wat rechtschapen en deugdzaam is; want het volbrachte goed en 't bedreven kwaad, zij worden onfeilbaar, hetzij vroeg of laat, door belooning of straf gevolgd.



TWINTIGSTE LES.

De Kometen.

Bijzondere kenmerken. — Parabolische elementen. — Gevoelen van de Ouden en van eenige Nieuweren. — Eerste pogingen tot het bepalen der loopbanen. — Halley's gelukte poging. — Nasporingen van Clairaut. — Periodische Kometen. — 1^o Komeet van Halley. — Oude verschijningen van deze Komeet. — 2^o Komeet van 1770; volslagen verandering van hare loopbaan door den invloed van Jupiter. — 3^o Komeet van Pons of van Encke. — Versnelling van deze Komeet. — Verklaring van Encke uit de tegenstandbieding des ethers. — Theorie van Faye. — 4^o Komeet van von Biela en Gambart. — Merkwaardige bijzonderheid door Damoiseau opgemerkt. — Ommekeer op de Komeet. — Hare splitsing in twee afzonderlijke Kometen. — Verschijnselen overeenkomstig met dat van 1846. — 5^o Komeet van Faye. — 6^o Kometen van Brorsen en d'Arrest. — Kometen, die men voor periodisch houdt, maar met zeer lange omloopstijden: 1^o Kometen van 1264 en 1556, of van Urbanus IV en Karel V. — 2^o Kometen van Bremiker, Pons, Galle, enz. — Parabolische Kometen. — Invloed aan de Kometen toegekend. — Wat van dien invloed te denken? — Natuurlijke gesteldheid der Kometen: kern, hoofd en staart. — Droge nevels toegeschreven aan staarten van Kometen. — Zonderling verschijnsel, den 13den Mei 1858 te Toulouse en omstreken waargenomen en waarschijnlijk toe te schrijven aan cosmische stof. — Verschillende gevoelens over de voornaamste bijzonderheden, die de staarten der Kometen vertoonen. — Veelvoudige staarten. — Licht en geringe dichtheid der staarten. — Hoofden; aanzienlijke vermindering in volumen, die zij bij het naderen der Zon ondergaan. — Waarschijnlijkheid dat zij van gasachtigen aard zijn. — Kernen; hare afmetingen; hare natuur. — Het licht der Kometen is in 't algemeen teruggekaatst licht. — Omstreeks het perihelium kan echter het teruggekaatste licht in zekere gevallen met eigen licht gemengd zijn. — Theorie van Buffon betreffende de vorming van het planetenstelsel door den schok eener Komeet. — Wat men van die theorie te denken heeft, volgens de tegenwoordig verkregen wetenschappelijke gegevens. — Geringheid der Kometen-massa's. — De schok eener Komeet zou nagenoeg zonder gevaar voor de Aarde zijn. — De Kometen worden somtijds zichtbaar bij vollen dag. — Zij zijn echter zonder invloed op den Aardbol en inzonderheid op de aardsche temperaturen. — Hare snelheden zijn soms verbazend groot. — Bij eene ontmoeting met de Aarde zou de Komeet voornamelijk te lijden hebben.

515. **Bijzondere kenmerken.** — De Kometen (*) of Staartsterren zijn, evenals de Planeten, dwalende lichamen, die over 't algemeen rondom de Zon loopen en aan Kepler's wetten gehoorzamen; doch zij beschrijven zeer uitmiddelpuntige ellipsen, welker vlakken, in plaats van, als die der Hoofdplaneten, bijna met de Ecliptica samen te vallen, daarentegen allerlei hellingen hebben. Daar de Zon het algemeen brandpunt dezer ellipsen

(*) Van *kómē*, haar, hoofdhaar.

inneemt, zoo kan men eene Komeet zelden dan in de nabijheid van haar perihelium waarnemen, waarna zij zich in de ruimte verliest en uit ons oog verdwijnt, totdat zij weder omstreeks hetzelfde punt is teruggekeerd.

516. **Parabolische elementen.** — Van dag tot dag doen de Kometen zich anders aan ons voor. Men kan ze dus doorgaans niet aan haar voorkomen herkennen. Om zeker te zijn dat twee op verschillende tijden waargenomen kometen een en dezelfde zijn, moet men gevolgelijk zijne toevlucht nemen tot de doorloopen kromme lijn. Zoodra dan ook eene Komeet zich vertoont, beijveren zich de Sterrenkundigen om *de drie* waarne- mingen van *rechte opklimming* en *declinatie* te doen, welke mathematisch voldoende zijn om hare elementen te kunnen bepalen. Daar echter de ellips, wegens hare groote uitmiddelpuntigheid, bijna overeenstemt met eene parabool in dat gedeelte van de loopbaan der Komeet, waar zij voor ons zichtbaar wordt, dat is in den kleinen boog die den top der ellips uitmaakt, omstreeks het perihelium, zoo beschouwt men aanvankelijk de kromme lijn als parabolisch, ten einde zich niet bloot te stellen aan al te groote fouten in de berekening der groote as, en men bepaalt dan:

Elementen, die de ligging van het vlak der loopbaan vaststellen.

- 1° De helling van het vlak des loopkrings op de Ecliptica;
- 2° De ligging van de lijn der knopen (gemeenlijk de lengte van den klimmenden knoop);

Elementen der loopbaan in haar vlak.

- 3° De afstand van het perihelium;
- 4° De ligging of de lengte van het perihelium;
- 5° Eindelijk de plaats der Komeet op een gegeven tijdstip, of de lengte der Epoche, gewoonlijk het tijdstip waarop de Komeet door haar perihelium gaat;
- 6° De (rechtlopende of teruggaande) richting der beweging:

Wanneer men later dezelfde elementen voor eene andere Komeet vindt, beschouwt men de beide lichamen als een en hetzelfde; en daar alsdan de duur van den omloop bekend is, kan men daaruit door Kepler's derde wet de lengte der groote as afleiden (*).

(*) a en T halve groote as en duur der siderische omwenteling voor de Aarde; a' en T' halve groote as en duur der siderische omwenteling voor eene Komeet. De wet van Kepler $\frac{a^3}{T^2} = \frac{a'^3}{T'^2}$ geeft $a' = a \sqrt[3]{\left(\frac{T'}{T}\right)^2}$, gelijk wij bij de behandeling der Planeten gezien hebben.

517. Gevoelens van de Ouden en van eenige Nieuwenren. — Op enkele uitzonderingen na beschouwden de oude wijsgeeren de Kometen hetzij als verhevelingen in onzen dampkring, hetzij als louter voorbijgaande hemelverschijnsels. Voor de eenen waren die lichamen *aardsche uitwasemingen*, die in het vuurgewest ontvlamden; voor de anderen waren zij *de zielen der groote mannen*, die naar den Hemel opvoeren en bij 't verlaten van onze arme Planeet deze prijs gaven aan de plagen, waarmede zij zoo vaak wordt bezocht. Hevelius, Cassini, Kepler zelfs, hielden over tot het gevoelen, dat de Kometen uitvloeisels of een soort van uitwerpsels der Aarde en der andere Planeten waren, enz. Men begrijpt licht, dat het bepalen van de bewegingen der Kometen bij zoodanige meeningen niet sterk ter harte werd genomen. Dit geschiedde eerst met eenigen ernst tegen het einde der 16de eeuw; en wij danken het den pogingen, eerst van Tycho, vervolgens van Cassini, Newton, Halley, enz., vooral van de nieuwere Sterrenkundigen der 18de en 19de eeuw, dat de kennis der kometenbanen de hoogte heeft bereikt, waarop wij ze thans vinden.

Eerste pogingen ter bepaling van de loopbanen. — Pythagoras schijnt evenwel een vrij juist begrip van de Kometen gehad te hebben, daar hij ze voor wezenlijke Gesternten hield, die zich rondom de Zon bewogen; maar in geen deele vermoedde hij den elliptischen vorm harer banen. En, zonderlinge zaak! hij die zoo gelukkig de eigenlijke wetten des Planetenhemels had ontdekt, Kepler, kende den Kometen rechtlignige bewegingen toe, terwijl Cassini daarentegen die beweging kringvormig maakte, nu eens rondom de Zon, dan weder rondom de Aarde of de Planeten, en Hevelius tot het inzicht kwam, dat de kromme banen der Kometen tot de uitmiddelpuntige kegelsneden behoorden.

518. Gelukte poging van Halley. — **Nasporingen van Clairaut.** — Een groote schrede verder ging Halley. Door de toepassing van eene door Newton aangewezen rekenwijze op drie merkwaardige kometen, welke Hevelius, Flamsteed en anderen in 1682, Kepler in 1607, Apianus te Ingolstadt in 1531 hadden waargenomen, vond Halley voor de drie verschijningen parabolische elementen, die nagenoeg overeenkwamen. Daar bovendien het tijdsverloop van 75 jaar tusschen 1607 en 1682, en dat van 76 jaar tusschen 1531 en 1607 als genoegzaam gelijk konden beschouwd worden, aarzelde de beroemde Sterrenkundige niet te verklaren, dat de Komeet van 1682 zich weder omstreeks 1758 of 1759 zou vertoonen. Toen later Clairaut, die trouwens beschikken kon over hulpmiddelen die Halley ontbeerde, nog nauwkeuriger den loop der Komeet wilde bepalen, ondernam hij

de berekening der storingen door de Planeten te weeg gebracht, en bevond dat de invloed van Jupiter haren terugkeer in 't perihelium 518 dagen, en die van Saturnus 100 dagen (samen 618 dagen) vertragen zouden, hetgeen half-April 1759 als tijdstip van doorgang in 't perihelium aanwees, met eene mogelijke fout van 30 dagen meer of minder, wegens zekere kleine grootheden, die Clairaut uit tijdsgebrek had moeten verwaarloozen.

Periodische of geregeld wederkeerende Kometen. — De uitkomst beantwoordde aan de voorspelling, en de Komeet ging den 12den Maart 1759 door haar perihelium, met elementen overeenkomende met die van Clairaut, dat is met de helling $17^{\circ}17'$, de lengte van den knoop $53^{\circ}50'$, de lengte van 't perihelium $303^{\circ}10'$, de richting der beweging *teruggaande*, eindelijk de afstand van 't perihelium gelijk aan 58 honderdste van den gemiddelden afstand tusschen de Aarde en de Zon, of aan 88 millioen kilometers (*).

519. **1° Komeet van Halley.** — Zoo was dan de terugkeer van eene Komeet voldingend bewezen. De twijfelingen, die er nog aangaande deze wederverschijning gekoesterd waren, konden alzoo redelijkerwijze voor een volgenden terugkeer geen plaats vinden. Ook berekenden Pontecoulant en Damoiseau, ieder op zich zelve, de storingen met een volkomen vertrouwen op den periodischen omloop der Komeet; en de uitkomst beschaamde hunne cijfers in geen deele; want de Komeet ging door het perihelium den 16den November 1835, nauwelijks drie dagen na het door de Pontecoulant bepaalde tijdstip (13 Nov.), en 12 dagen na dat, hetwelk Damoiseau had berekend, derhalve met eene schier volstreckte nauwkeurigheid, daar zulke kleine afwijkingen geheel onbeduidend zijn met betrekking tot den langen duur der omwenteling.

Oude verschijningen van deze Komeet. — Klimt men voor 't overige tot vroeger tijden op, dan vindt men nog andere verschijningen van Halley's Komeet. Volgens de berekeningen van Pingré, bij voorbeeld, die gegrond zijn op de bescheiden van eenige schrijvers uit dien tijd, moet de vermaarde Komeet van 1456 eene dier verschijningen wezen. Eveneens moet dit, volgens Laugier, het geval zijn met de Komeet, welke standen Eduard Biot heeft aangewezen uit de gegevens der Chineesche teksten voor het jaar 1378. En zonder twijfel moeten ook, of-

(*) Eene omwenteling van 76 jaren geeft voor de halve groote as

$$a' = a \sqrt[3]{\left(\frac{T'}{T}\right)^2} = a \sqrt[3]{76^2} = 17,94 a = 2\ 739\ 500\ 000 \text{ kilometers,}$$

$$2a = 5\ 479\ 120\ 000$$

Waaruit
en gevolgelijk

apheliums-afstand der Komeet = $2a$ — periheliums-afstand = 5 391 120 000 kilometers.

schoon de bepaling der elementen hier veel twijfelachtiger wordt, eenige der Kometen van 1305, 1230, 1006, enz., identisch zijn met de Komeet van 1759.

520. 2° Komeet van 1770. — Volslagen verandering van hare loopbaan door den invloed van Jupiter. — Na de Komeet van Halley is de eerste mede voor periodisch gehouden Komeet die van Juni 1770, ontdekt door Messier (*). Lexell bepaalde hare loopbaan, wier kromming hem sterk genoeg voorkwam om onmiddellijk de ellips zelve op te leveren, met eene groote as gelijk aan slechts driemaal den diameter van de aardbaan, hetgeen voor den omlooptijd 5 jaar en eenige maanden geeft. Natuurlijk moest men dus hare herhaalde wederverschijning verwachten; doch de Komeet van Lexell heeft zich niet weder laten zien. Zoo iets bevreemdends moest wel den Sterrenkundigen ter harte gaan, die bovendien menigen schimpscheut deswege te verduren hadden. Bij slot van rekening is gebleken, dat de onregelmatigheid werd te weeg gebracht door de planetenstoringsen. In 1767, bij voorbeeld, had de nabijheid van Jupiter eene ellips van 50 jaren en een periheliums-afstand van 760 millioen kilometers veranderd in de ellips en den afstand van het jaar 1770. In 1776 moet zij in de nabijheid der Aarde zijn geweest, zonder dat men haar heeft opgemerkt; terwijl zij in 1779 zoo nabij Jupiter kwam, dat de aantrekking dezer Planeet andermaal hare loopbaan geheel veranderde, zoodat zij nu eene ellips van 174 jaren beschrijft en uit ons gezicht is verdwenen, om eerst later weder in Jupiter's nabijheid te komen.

521. 3° Komeet van Pons of van Encke. — De tijdsorde vereischte van zelf de bovenstaande bijzonderheden over de Komeet van Lexell; doch de periodische omloop is ditmaal niet door de waarneming gestaafd kunnen worden. Anders is 't gelegen met de Komeet, die Pons (†) den 26sten November 1818 te Marseille ontdekte, en welker elementen het eerst door Bouvard bepaald werden; want zoodra deze (parabolische) elementen werden medegedeeld aan het *Bureau des Longitudes*, maakte Arago

(*) Messier ontdekte zestien Kometen. Volgens Delambre was zijne zucht voor deze soort van nasporingen zoo groot, dat hij, toen hem zijne vrouw was ontvallen juist als Montagne op zijne beurt eene Komeet ontdekte, aan zijne hem condoleerende vrienden ten antwoord gaf: „Ik had er reeds vijf ontdekt: waarom moest die Montagne mij de twaalfde wegnemen!” Toen hij bemerkte, dat men hem over 't verlies zijner vrouw, niet over dat der Komeet sprak, voegde hij er bij: „Och ja! 't was een heel goede vrouw.” Maar hij ging toch voort, zegt Delambre, met zijne Komeet te betreuren.

(†) Pons was concierge van het observatorium te Marseille, en ontdekte verscheidene Kometen, evenals Messier, die zelf een volslagen vreemdeling was in de wiskundige wetenschappen, die een Sterrenkundige toch bezwaarlijk kan ontberen, zonder onvolledig te zijn. Om een einde te maken aan zekere botsingen, die er, naar men mij zeide, tusschen den directeur van het observatorium en den komeetontdekkenden concierge plaats vonden, deed de baron van Zach dezen laatste als astronomisch helper beroepen aan een der observatoriën van Italië, te Parma, meen ik, alwaar hij omstreeks 1825 overleed.

terstond oplettend op hunne groote overeenkomst met die van eene andere, in 1805 waargenomene Komeet. Daar bovendien de beroemde Encke, van zijnen kant, in wetenschappelijke schriften waarnemingen van 1786 en 1795 had gevonden, die kenelijk tot hetzelfde Hemellichaam betrekking hadden, werd het weldra door de berekeningen van den Berlijnschen Sterrenkundige onbetwistbaar, dat de Komeet van Pons, van nu af Komeet van Encke geheeten, zich in eene elliptische baan van ongeveer 1200 dagen beweegt.

522. **Versnelling van deze Komeet. — Verklaring van Encke uit de tegenstandbieding des ethers.** — Bij het nog zorgvuldiger gadeslaan zijner Komeet, bespeurde Encke alras, geheel en al buiten allen invloed van planetenstoringsen, eene zeer geringe, maar aanhoudende versnelling bedragende op weinig na twee dagen op vijf geheele omloopstijden. Waaruit kan deze ontstaan? Encke zelf verklaart ze uit de tegenstandbieding der etherstof, die op den langen duur zich op de Kometen doet gevoelen, terwijl ze integendeel zonder merkbaaren invloed is op de dichtere Planeten, gelijk zulks plaats heeft met de veder en den looden kogel, die zich in de lucht bewegen. Bij den eersten opslag schijnt het ondertusschen vreemd, dat de weerstand des ethers zich openbaart door een snelleren omloop, maar die tegenstrijdigheid baart geen verwondering meer zoodra men opmerkt (fig. 217), dat de tangentiale kracht CF onder den invloed van dien weerstand vertraagd en, bij voorbeeld, tot CF' verminderd wordt, terwijl de aantrekking CD der Zon dezelfde is gebleven. In plaats van de diagonaal CG van het parallellogram $CFGD$ (§ 82) te volgen, zal de Komeet dus volgens de diagonaal CG' van het parallellogram $CF'G'D$ loopen; en de loopbaan $CGH\dots$, die nu kleinere afmetingen krijgt, zal $CG'H'\dots$ worden. Daar nu, krachtens de derde wet van Kepler, de omloopstijden der Planeten toe- en afnemen met de groote assen der loopbanen, is het duidelijk dat in het tegenwoordige geval, bij het afnemen der groote as, ook de duur der omwenteling korter zal worden.

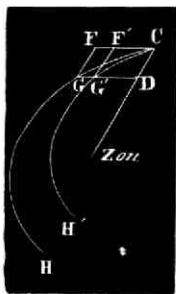


Fig. 217.

523. **Theorie van Faye.** — In plaats van den eenigermate *statischen* of evenwichts-tegenstand van Encke, onderstelt Faye, terwijl hij uit nieuwe gezichtspunten de denkbeelden van Kepler, Euler, Laplace, enz. weder opvat, eene soort van *dynamischen* tegenstand, die ontstaan zou uit den warmtevlloed, die van de Zon en alle lichtende lichamen uitgaat, en wier invoering in de hemelsche Mechanica Newton's theorie der zwaartekracht vol-

toeien zou. Ik kan hier niet treden in de uiteenzetting van denkbeelden, tegen welke zich nog vele Sterrenkundigen van naam verzetten; maar ik wensch toch de gelegenheid waar te nemen om de belangrijke nasporingen van mijn schranderen ambtgenoot loffelijk te vermelden, en te verklaren dat hij inderdaad op de gelukkigste wijze door zijne onderstelling rekenschap geeft van verscheidene verschijnselen, die zich vroeger tegen elke verklaring aankantten, onder anderen van de gedaante, die zekere komeetstaarten aannemen, enz.

524. 4^e Komeet van von Biela en Gambart. — Wij zullen den naam van Faye alras weder aantreffen in de geschiedenis der periodische Kometen; maar vooraf moet ik, om de datums te volgen, melding maken van de Komeet, die den 27sten Februari 1826 te Johannesburg door den Oostenrijkschen kapitein von Biela, en tien dagen later door Gambart te Marseille werd ontdekt; want bij de enkele inzage van de algemeene Tafel, die de Sterrenkundigen bezitten en waarop al de berekende Kometen met hare elementen staan opgeteekend, zag Gambart onmiddellijk in, dat die welker parabolische baan hij zelf pas bepaald had, zich reeds in 1805 en 1772 had vertoond. Hij ging dus onverwijld van de parabool tot de ellips over, terwijl Clausen van zijnen kant dezelfde berekening deed; en dank zij de aanzienlijke kromming van den waargenomen boog, de beide Sterrenkundigen vonden bijna gelijktijdig een siderischen omloop van omtrent 7 jaren.

525. Merkwaardige bijzonderheid door Damoiseau opgemerkt. — Ten einde de bijzonderheden betrekkelijk de aanstaande terugkomst der Komeet van von Biela te voorspellen, deinsde Damoiseau niet terug voor de bezwaarlijke berekening der stoornissen, die de Planeten moesten te weeg brengen. Hij vond dan ook eene bijzonderheid wel geschikt om een diepen indruk te maken. Den 29sten October moest de Komeet door het vlak der Ecliptica gaan, een weinig binnen (omtrent 28 000 kilom.) de loopbaan der Aarde, omstreeks het punt waar wij zelve ons den 30sten November daaraanvolgende moesten bevinden. En daar de waarnemingen van Olbers, in 1805, 32 000 kilom. lengte aan den straal der verwachte Komeet hadden toegerekend, zoo mocht men vreezen, of dat nog onbekende storingen, of dat de samenhooping der door kleine, maar zeer talrijke grootheden vertegenwoordigde invloeden, die altijd bij berekeningen van dezen aard tegen wil en dank verwaarloosd worden, eene vertraging van dertig dagen te weeg brengen, en gevolglijk ook de ontmoeting van de Komeet en de Aarde met al de schrikbarende onheilen van de botsing veroorzaken zouden.

Het publiek bleef dan ook niet in gebreke zich met de door

Damoiseau aangekondigde resultaten bezig te houden. Volgens eenigen was de botsing onvermijdelijk, ofschoon de Aarde op den 29sten October op ten minste 80 millioen kilom. afstands van de Komeet moest wezen. Volgens anderen zou het vlak der Ecliptica verplaatst worden, alsof dit vlak iets stoffelijks ware, dat door den stoot bewogen kon worden, enz. Gelukkig bevond Neptunus, toen nog onbekend, zich veel te ver om te kunnen werken op de Komeet, wier apheliïums-afstand nauwelijks 944 millioen kilom. bereikt en bijgevolg weinig buiten de loopbaan van Jupiter gaat. De navorschingen van Damoiseau werden dan ook door de waarneming ten volle bevestigd. De Komeet, stipt op de loopplaats, haar door de schrandere berekeningen van den Franschen Sterrenkundige aangewezen, keerde tot haar perihelium terug na eenen omloop van 2412 dagen, en de voorbijgang geschiedde, zonder dat de bewoners der Aarde het geringste ongeval te betreuren hadden.

526. Ommekeer op de Komeet. — Hare splitsing in twee afzonderlijke Kometen. — Anders ging het later met de Komeet zelve, die, tijdens hare verschijning in 1846, als het ware onder de oogen der Sterrenkundigen onverwachts in tweeën werd gesplitst, vertoonende nu twee onderscheidene kernen, ieder omgeven door eene bijzondere nevelvlek, en welker bestaan nog in 1852 kon blijken; want Secchi bevond, dat een afstand van ongeveer 2 millioen kilom. haar van elkander scheidde. In 1859 is zij niet waargenomen kunnen worden, omdat de Aarde zich tijdens den doorgang der Komeet, in de maand Mei, bijkans in de richting van haar perihelium bevond, en zij door het zonnelicht voor ons werd verborgen.

527. Verschijnselen overeenkomstig met dat van 1846. — De oude waarnemingen hebben ons overigens in de gelegenheid gesteld om ook voor andere Kometen soortgelijke verschijnselen als dat van 1846, te erkennen, verschijnselen die eerst aan zinsbegoocheling werden toegeschreven. Volgens de Chineesche Jaarboeken, door Eduard Biot vertaald, moeten drie *gekoppelde Kometen, elkaar begeleidend*, gevolgelijk naar allen schijn uit eene enkele Komeet voortgekomen, in 896 gezien zijn. Kepler, op zijne beurt, geloofde aan de scheiding eener Komeet, die zich in 1618 als dubbel had vertoond. Ook Hevelius bemerkte meermalen in 1652, in 1661, enz. veelvoudige kernen uit eene enkele kern gevormd, enz.; een bijna onwraakbare getuigenis van die innerlijke werkingen, waarschijnlijk het gevolg der warmte, wier tusschenkomst Olbers te baat neemt bij de vorming van den gordel der kleine Planeten, en wier gelijktijdige uitwerkselen ons eenigermate de geschiedenis schetsen van de oude omkeeringen in het uitspansel.

528. 5° Komeet van Faye. — De vierde der als periodisch bekende Kometen is die van Faye, dus geheeten omdat zij het eerst door dezen Sterrenkundige werd gezien op den 22sten November 1843, en omdat hij ook een der eersten was, die de ellipticiteit van hare beweging waarnamen. Volgens Le Verrier heeft zij eenen omloopstijd van 7,44 jaar, eenen periheliums-afstand van 260 kilom., eindelijk eene helling van $11^{\circ}22'$. Deze Komeet is teruggekomen tegen het einde van 1850, alsook in 1858. Haar periodische omloop kan alzoo niet betwijfeld worden; en daar Alex. Møller, een Zweedsch Sterrenkundige, voor haar, evenals Encke voor die van 1200 dagen, ongelijkheden heeft bevonden, die eveneens van eene tegenstandbieding getuigen, zoo heeft Faye edelmoediglijk het voorstel gedaan, haar voortaan niet langer Komeet van Faye, maar Komeet van Møller te heeten.

529. 6° Kometen van Brorsen en d'Arrest. — Men heeft almede, in 1857, twee Kometen teruggezien, ontdekt de eene op den 26sten Februari 1846 te Kiel (Denemarken), door Brorsen (*) (omloopstijd 5,58 jaar; afstand van 't perihelium 100 millioen kilom., afstand van 't aphelium 860 millioen kilom.; helling 31 graden); de andere op den 27sten Juni 1851 te Leipzig, door d'Arrest en teruggevonden aan de Kaap de Goede-Hoop door Maclear, volgens de juiste aanwijzingen van Villarceau (omloop 6,44 jaar; afstand van 't perihelium 180 millioen kilom.; afstand van 't aphelium 876 millioen kilometers; helling 14 graden) (†). Maar het is tot dusverre niet mogelijk geweest, nieuwe door-gangen waar te nemen van de Komeet, die de Vico den 22sten Augustus 1844 te Rome ontdekte en voor welke Faye weinig tijds daarna eenen omloopstijd van omtrent 6 jaren vond; evenmin den terugkeer van de Komeet, door Peters te Napels bemerkt in eene ellips van 16 jaren, noch die der Komeet van 5,54 jaar, den 8sten Maart 1858 ontdekt door Winnecke te Bonn, en die tegen het einde van 1863 weder in onze nabijheid moest komen; noch den periodischen omloop van eenige andere, die men *Binnen-kometen* noemt, omdat haar apheliums-afstand niet buiten de baan van Neptunus gaat, en wier elliptische bewegingen toch duidelijk door de waarneming was gebleken; noch eindelijk de wederverschijning of ten minste de identiteit van zekere Kometen, die men *Kometen met lange omloopstijden* noemt, wegens de overeenkomst van hare parabolische elementen.

(*) Deze Komeet werd bij hare doorgang van 1851 niet opgemerkt.

(†) Men heeft in Januari 1864 eene Komeet teruggezien, welker parabolische elementen (helling $64^{\circ}33'$; lengte van den knoop $304^{\circ}43'$; lengte van 't perihelium $60^{\circ}24'$; afstand van 't perihelium 117 876 000 kilom.) veel overeenkomst hebben met die van de Komeet, welke Pons den 29sten Augustus 1810 ontdekte (helling $62^{\circ}48'$; lengte van den knoop $308^{\circ}56'$; lengte van 't perihelium $63^{\circ}8'$; afstand van 't perihelium 147 976 000 kilom.). Of zij een en dezelfde zijn zal evenwel eerst tot zekerheid komen na een derde terugkomst, berekend volgens de elementen van 1864.

530. — **Kometen, die men voor periodisch houdt, maar met zeer lange omloopstijden: 1^o Kometen van 1264 en 1556 of van Urbanus IV. en van Karel V.** — Onder deze laatste is er eene, die zich zeer schitterend voordeed in 1556, en wier loopbaan, eerst bepaald door Dunthorne, vervolgens door Pingré naar de waarnemingen of liever naar een vrij ruwe kaart van Paulus Fabricius, Sterrenkundige van Karel V. aan het hof van Weenen, schijnt overeen te komen met die van eene andere, ook zeer schitterende Komeet, in 1264 verschenen. De tusschen-tijd van 292 jaren, begrepen tusschen 1264 en 1556, de verwantschap der bewegingen door de Sterrenbeelden van den Leeuw, de Kreeft, de Tweelingen, enz., de helderheid van het licht, de buitengewone lengte van den staart, enz., schenen vrijheid te geven om ook de Kometen van 975, 683 en 104, hoewel te gebrekkig door de gelijktijdig levende schrijvers beschreven om nauwkeurig berekend te worden, te vereenzelvigen met de Komeet van 1264.

Er was alzoo aanleiding om te meenen, dat men de Komeet omstreeks het jaar 1848 zou wederzien; maar zij is niet opgedaagd. Zou deze of gene onbekende invloed hare loopbaan onherkenbaar gemaakt hebben, of wel zou de vermeende eenzelvigheid bedriegelijk wezen? Om deze vraag op te lossen ondernam de heer Bomme te Middelburg de berekening van de storingen door de verschillende Planeten, en bevond dat de nieuwe door-gang in 't perihelium moest plaats hebben op den 2den Augustus 1858, met eene mogelijke fout van twee jaren *meer* of *minder*; doch het jaar 1860 is, als de vorige, voorbijgegaan, zonder de verwachting te verwezenlijken. Hoe dit zij, de verschijningen van 1264 en 1556 verdienen eene afzonderlijke vermelding, hetzij wegens den omstreeks dezen tijd verwachten terugkeer, hetzij wegens verschillende andere bijzonderheden, die in verband staan met die beide verschijningen. De eerste toch hield op in den nacht van den 2den October, juist toen paus Urbanus IV. den geest gaf; en zeer natuurlijk moest men, in eenen tijd toen de Aarde werd beschouwd als het middelpunt der schepping, als het belangrijke lichaam, waarvan noodwendig al de andere afhingen, in de meening verkeeren, dat de Staartster de voorbode van 't sterfgeval was geweest. Wat de Komeet van 1556 betreft, die men somwijlen ook *Komeet van Melanchton* noemt, ter herinnering van de talrijke verhandelingen, door den beroemden doctor in den vorm van brieven aan verschillende aanzienlijke mannen gericht, zij maakte zulk een diepen indruk op keizer Karel V., dat zij dezen monarch deed besluiten den troon te verlaten, om zich in een klooster van Estramadura te begeven, waarom zij dan ook den naam van Komeet van Karel V. heeft gekregen.

531. Komeet van Bremiker, Pons, Galle, enz. — Nog langduriger omloopstijden dan de vorige zijn voor andere Kometen berekend geworden. Götze, bij voorbeeld, kent eenen omloopstijd van 344 jaren toe aan de Komeet, die Bremiker den 22sten October 1840 ontdekte. Volgens d'Arrest moet die, welke Perny den 24sten October 1793 bemerkte, 422 jaren besteden om tot ons terug te keeren. De Komeet van den 6den Maart 1840, die wij Galle danken, zou, volgens Petersen en Rumker, eene wederverschijning zijn van de in 1097 door de Chineezen waargenomen Komeet en eerst om de 743 jaren in haar perihelium terugkeeren. Bessel, op zijne beurt, wil aan de groote Komeet van 1807 eenen omloopstijd van 1714 jaren geven. Verschillende Sterrenkundigen, Argelander, Hansen, Bessel, Encke, Plantamour, enz. berekenen den omloopstijd der beroemde komeet van 1811 op ruim 3000 jaren. Eindelijk, aan de Komeet van 15 Juli 1825 (door Pons ontdekt en een jaar lang zichtbaar gebleven); — aan die van 1680, op welke Newton bewees dat de Kometen zich evenals de Planeten om de Zon bewegen in kegelsneden; — aan de Komeet van 25 Januari 1840 (Galle); — aan die van 26 October 1780 (Messier); — aan die van 7 Juli 1844 (Mauvais), heeft men respectievelijk omloopstijden van 4 400, 8 000, 14 000, 76 000, 10 000 jaren toegekend.

532. Parabolische Kometen. — Er bestaan nog zeer veel Kometen, welker elliptische elementen berekend zijn, maar die wij, evenmin als de meeste der voorgaande, nog niet bepaaldelijk voor periodisch kunnen beschouwen, alvorens hun terugkeeren voldingend bewezen is. Wat de parabolische Kometen betreft, insgelijks berekend op de zes- a zevenhonderd Kometen, die men sinds den aanvang onzer jaartelling heeft waargenomen, zij zijn nog talrijker, daar de astronomische lijsten er ongeveer twee honderd bevatten, onder welke er *ten minste honderd* zijn, die tot de 19de eeuw behooren.

Dit laat zich licht begrijpen, wanneer men weet, dat de Sterrenkundigen zich vóór 1750 weinig bezig hielden dan met de Kometen, die voor 't bloote oog zichtbaar waren, of met die, welke tot hunne verrassing, om zoo te zeggen van zelf, voor hunne kijkers kwamen; en dan nog vergenoegde men zich meestentijds met eene ruwe opgave van haren loop door de sterrenbeelden heen. Maar tegen het einde der vorige eeuw begonnen onvermoeide waarnemers, Messier, Méchain, Miss Carolina Herschel, Bouvard, Pons, enz. de opsporing der telescopische Kometen onverpoosd te behartigen, en hunne geduldige navorschingen, later voortgezet door Gambart, von Biela, de Vico, Laugier, Mauvais, Faye, d'Arrest, Brorsen, Chacornac, Petersen, Goujon,

Dien, Klinkerfuss, Donati, Galle, enz., brachten weldra, ofschoon buiten kijf nog de meesten aan het zoekend oog ontsnaptten, jaarlijks *twee, drie, vier, ja vijf* nieuwe Kometen te onzer kennis, en wettigden zodoende Kepler's beweging; „dat de Kometen aan 't Uitspansel wemelen als de visschen in de zee;” terwijl zij tevens de bijgeloovige gevoelens omtrent de Staartsterren tot hun juiste waarde herleidden.

533. — **Invloed aan de Kometen toegekend.** — Hoe toch zal men, bij zulk een grooten overvloed van in de ruimte dwalende stof, in ernst kunnen gelooven, dat de Kometen het alleringste verband met onze lotsbestemming kunnen hebben? Hoe gelooven dat zij op eenige wijze hoegenaamd invloed kunnen hebben op de gebeurtenissen hierbeneden, daar er toch niet een enkel min of meer gewichtig voorval plaats grijpt, dat niet aan eene onder de zoo talrijke Kometen kan toegeschreven worden? Ook zijn degenen, welke, zooals Gregory, Sydenham, Forster, enz., ons met alle geweld aan haren invloed willen onderwerpen, daardoor tot de wonderlijkste samenvoegingen gevoerd: zij hebben, bij voorbeeld, verband gebracht tusschen deze of die Komeet en de sterfte der katten in Westphalen; tusschen eene andere en eenen sprinkhaanregen, tusschen eene derde, vierde, enz. en eene vulkanische uitbarsting, eene aardbeving, eenen hagelslag, eenen val van luchtsteen, eene zeldzame droogte, eene overmatige vochtigheid, enz.

534. **Wat er van te denken?** — Dat paus Calixtus III., diep getroffen door den voorspoed der Turken en het samen treffen daarvan met de verschijning der Komeet, aan welke later de naam van Halley werd verbonden, in 1456 het *Angelus* van 't middaguur heeft ingesteld, om dagelijks den geloovigen te herinneren, dat zij hunnen ijver en hunne gebeden moesten verdubbelen om de gramschap des Hemels te stillen, dat laat zich gemakkelijk begrijpen en uit de denkbeelden des tijds verklaren. Dat men ook in 1505, 1516, 1530, enz. de toen voor 't bloote oog zichtbare Kometen beschouwd heeft als onheilspellende luchtverschijnsels, bepaaldelijk bestemd om den dood te voorspellen van Philips I., koning van Spanje, van Ferdinand den Katholieke, koning van Aragonië, van de vorstin Margareta, dochter van keizer Maximiliaan, daarin ligt niets onnatuurlijks. Te minder nog is dit het geval met den samenhang, die men in 590 vond tusschen de verschijning eener schitterende Komeet en de verwoestingen der zonderlinge epidemie, waarbij men al niezende stierf (*).

Maar dat men in 't midden der 19de eeuw, nu men sinds

(*) Vandaar, zegt men het „Wel become 't u!” tegen iemand die niest, om hem daarmede een gelukkigen dood te wenschen.

ruim driehonderd jaren den meer dan nederigen rang kent, die onze kleine aardbol in de schepping bekleedt; nu men daarenboven, met de cijfers in de hand, met volle zekerheid weet, dat de Kometen niet den geringsten invloed hebben op de temperaturen, de regens, den hongersnood of den overvloed, enz. hierbeneden; nu de aannemelijkste redeneeringen, gegrond òf op de geringheid van de massa's der kometen, òf op hare verbazend groote afstanden, òf op de onbeduidendheid van warmte en licht, die zij ons toezenden, zich paren aan alles afdoende weerkundige waarnemingen, om aan te toonen hoe onhoudbaar de oude vooroordeelen zijn; nu eindelijk de kansberekening zelve een nieuw element van gerustheid bij de andere komt voegen, door aan te toonen dat men *tweehonderd een en tachtig millioen* tegen *één* (*) kan wedden, dat nimmer de Aarde geschokt zal worden door kernen (het eenige min of meer dicht gedeelte) van Kometen, bij de toch zeer ruime en misschien zelfs overdreven onderstelling van kerndiameters aan een vierde des aard-diameters gelijk — dat men nu, in 't hart der 19de eeuw, daar zoo veel drangredenen zich vereenigen om ons gerust te stellen, nog de allerminste vrees voor de Kometen kan koesteren, dat is volstrekt onaannemelijk; en voor mijn aandeel geloof ik liever, dat ook te dezen opzichte 's menschen verstand wezenlijk vooruitgaat; dat men zich tegenwoordig met de Kometen enkel bezig houdt om er een pikant onderwerp voor 't gesprek in te vinden.

535. **Natuurlijke gesteldheid der Kometen.** — **Kern, Hoofd, Staart.** — Men onderscheidt in 't algemeen bij de Kometen eene kern, een hoofd en een staart; niet zelden echter bestaan zij enkel uit het hoofd, eene soort van nevel- of wolkachtige vlek, doorgaans afgerond of eenigszins elliptisch, somwijlen ook geheel onregelmatig. Wil dit zeggen, dat de staart en de kern alsdan volstrekt ontbreken? Ik zou het niet durven bevestigen; want het gebeurt vaak, dat Kometen, die men eerst met het bloote oog voorzien zag met groote staarten en schitterende kernen, ten laatste bij haar aftrekken wegkrompen tot eenvoudige nevelwolkjes, en dat zelfs in den telescoop wanneer dit instrument niet een zeer groot optisch vermogen bezit (†). Het verdwijnen der kern zou zich dan ten naasten bij laten verklaren evenals dat der centrale Ster bij de planeetvormige ne-

(*) Nagenoeg dezelfde kans als die om geblinddoekt met eene speld één linzenertjie te prikken uit 281 uitgespreide mudden graankorrels, daar het mud van 65 kilo omtrent een millioen korrels bevat, ieder ter zwaarte van 53 duizendste van een gramme of wichtje. Deze kans is zestienmaal geringer dan die der quaterne in de getalloterij.

(†) De waarschijnlijke of althans zeer mogelijke aanwezigheid van kernen in al de Kometen schijnt mij wel wat afbreuk te doen aan de kracht van het door Babinet (zoo 'k meen) geüit gevoelen, „dat elke Komeet een *zichtbaar niets* is.” Ondanks mijnen eerbied voor den grooten natuurkenner, beken ik, afgaande op het uiterlijke voorkomen der kernen, niet ongeneigd te zijn te onderstellen, dat zij nog met eene zekere massa bedeed zijn.

velvleken (§ 96), alsook door de verdichting der dampen, waaruit hoofd en staart schijnen te bestaan.

Deze staart zou, volgens zekere Sterrenkundigen, zich op zijne beurt in de ruimte verstrooien, en daarin zou mede eene der oorzaken van zijn verdwijnen gelegen zijn. Er zijn staarten van Kometen, die inderdaad ontzettende afmetingen, lengten van 120 tot 160, ja zelfs (die van 1863) van 240 millioen kilometers hebben. Bij zoodanige afstanden nu schijnt de aantrekking van hoofd en kern bezwaarlijk vermogend genoeg te kunnen zijn om al de verstrooide stof terug te voeren, vooral bij de aanwezigheid van een krachtiger of minder verwijderd aantrekkend middelpunt, zooals bij voorbeeld de Aarde of andere Planeten.

536. **Droge nevels toegeschreven aan staarten van Kometen.** — **Zonderling verschijnsel, den 13den Mei 1858 te Toulouse en omstreken waargenomen en waarschijnlijk toe te schrijven aan cosmische stof.** — Hoe het daarmede zijn moge, men heeft somwijlen, zooals in 1783, in 1831, enz., soorten van volkomen droge nevels waargenomen, die gedurende gansche maanden aanzienlijke ruimten van 's Aardbols oppervlak besloegen, en die men gemeend heeft te kunnen verklaren uit den loop der Aarde door staarten van Kometen. Hoewel dit gevoelen, wat de nevels van 1783 en 1831 betreft, krachtige bestrijders heeft gevonden, onder anderen Arago, wiens wetenschappelijk gezag zooveel weegt, schijnt het mij toch ontegenzeggelijk, gelijk trouwens Arago zelve dacht, dat de Planeten zich somwijlen cosmische stof moeten toeëigenen; en ik neem, te dezen opzichte, de gelegenheid waar om een zonderling verschijnsel aan te halen, dat zich den 13den Mei 1858 te Toulouse vertoonde en dat mij bovendien bericht werd uit verschillende punten van het departement der Opper-Garonne (Cazères, Mondavezan, enz.); ik bedoel eene aanmerkelijke verzwakking van het daglicht, met een zeer kennelijken chloorreuk, van twee tot 7 uren des namiddags, in den tijd voorzeker toen de Aarde door een bij uitstek ijl gedeelte van den ring der asteroïden ging, dien wij omtrent dezen tijd des jaars ontmoeten.

537. — Maar ik keer tot mijn onderwerp terug. Apianus van Ingolstadt, een algemeen gevolg trekkende uit eene bijzonderheid, die de Komeet van 1531 opleverde, verkondigde dat de staarten der Kometen altijd recht van de Zon afgekeerd waren. Deze opmerking, die, volgens Eduard Biot, reeds in de 9de eeuw onzer jaartelling ook door de Chineezen was gemaakt, is vrij algemeen waar. Zij laat evenwel menigvuldige uitzonderingen toe, en zeer dikwijls buigen zich de staarten CQ (fig. 218), vóór de Komeet door 't perihelium gaat, naar d , in tegengestelde richting van de beweging der verplaatsing CB, terwijl zij

na den doorgang integendeel weer opstijgen naar CE in dezelfde richting der beweging, zoodat zij in 't eene geval de kern schijnen te volgen, in 't andere haar vooruit te gaan.

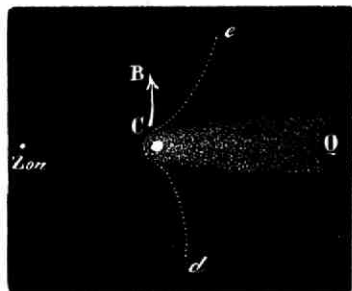


Fig 218.

538. Verschillende gevoelens over de voornaamste bijzonderheden, die de staarten der Kometen opleveren. — Men kan alzoo het verschijnsel niet verklaren door de weerstandbieding van den ether; want de staart der Komeet moest dan altijd achter de kern wezen. Evenmin kan zulks natuurlijk ook, gelijk toch anderen beproefd hebben, door een uitgestrekten dampkring dien de zonnewarmte onzichtbaar zou maken door hem uit te zetten overal, waar de kern der Komeet den warmtestroom niet belette door te dringen; noch ook, gelijk Kepler wilde, enkel door de aandrijving der zonnestrallen, welker stoot de fijnste deelen der Komeet naar de zijde tegenover de Zon zou verplaatsen; en minder nog uit de verbrijzeling op de etherdeeltjes, zooals Cardanus, Tycho-Brahé, zelfs Galileï, enz. dachten, door de verbrijzeling van den lichtbundel, die in de kern der Komeet zou gebroken zijn, en zich al divergeerende zou verwijderen van het achter die kern gevormde brandpunt. Wat betreft de verbinding der gevolgen van de uitzetting door de warmte en van den stoot der zonnestrallen tegen de uitgezette deelen, door onderscheidene aanzienlijke Sterrenkundigen aangenomen, nadat zij door Gregory was bedacht, zij is in gronde niets anders dan 't gevoel van Kepler en staat aan dezelfde tegenwerpingen bloot. Eindelijk, de theorieën van Olbers en Bessel aangaande de wederzijdsche electricische of magnetische afstootingen tusschen de Kometen en de Zon, hebben op hare beurt verzet gevonden bij verscheidene Sterrenkundigen, die met weerszin de tusschenkomst der electriciteit zagen opnemen in de speling der op groote afstanden ontstaande verschijnselen. En bovendien schijnt die tusschenkomst geen rekenschap te kunnen geven van de verschillende bijzonderheden bijeengenomen.

539. — Men ziet het, er doen zich overal wezenlijke zwarigheden op. Faye en Roche hebben het vraagstuk een goed eind vooruitgebracht door het opnemen van twee nieuwe elementen; de eerste, de afstootende kracht der zonnewarmte; het verschil van de aantrekkingen der Zon op de deelen *a* en *b* van de Komeet (fig. 219), ten gevolge der afstandsverschillen, gelijk zulks op de

Aarde plaats heeft, zooals wij later zullen zien bij de behandeling der verschijnsels van eb en vloed. De ongelijkheid der aantrekkingen moet werkelijk twee tegenovergestelde uitvloeingen te weeg brengen in de richting van den voerstraal, gaande van de Zon naar de Komeet; en daar de warmte-afstooting in verhouding, niet van de massa's, maar van de oppervlakten plaats heeft, zoo moet zij op



Fig. 219.

hare beurt naar de kern de voorgaande uitvloeijing terugwerpen, zoodat zij deze, naar gelang van de veranderlijke of standvastige dichtheid der haar samenstellende stoffen, dat is naar gelang die stoffen meer of minder gevoelig voor de afstooting zijn, omvormen hetzij tot veelvoudige straalbundels, hetzij tot die soort van ingekorten staart, die men *baard* noemt. Wat de veelvoudigheid van zekere staarten, hunne krommingen, enz. betreft, Faye heeft dienaangaande zeer voldoende oplossingen verkregen uit de standsveranderingen van de Aarde en den waarnemer met betrekking tot de Komeet, uit de ongelijkheden in de dichtheid der verdampde stoffen, uit den tijd die vereischt wordt tot de voortplanting der warmte-afstootingen, welker overgang niet oogenblikkelijk moet zijn gelijk die der zwaartekracht, en die dan ook schijnbaar zou uitgaan van een ander middelpunt dan dat der Zon; eindelijk uit de verscheidenheid der kromme lijnen, die de moleculen der van de kern uitgaande stroomen, krachtens hare verschillende uitgangspunten, rondom de Zon beschrijven.

540. **Veelvoudige staarten.** — Ik wil niet verzuimen te zeggen, dat beroemde Sterrenkundigen de staarten der Kometen ook beschouwd hebben als holle kegels of cilinders, omdat het licht, vrij algemeen, helderder is naar de randen dan naar de middelgedeelten, waaruit doorgaans staarten ontstaan, die gescheiden zijn door eene overlangs loopende, betrekkelijk donkere streep. Bij deze onderstelling toch begrijpt men licht, dat voor elke *dwarssnede* van den staart de stralen, die uitstroomen volgens de richtingen *ab*, *cd* (fig. 220), al-

waar zich de lichtdeeltjes in grooter aantal bevinden, ook grooter hoeveelheden licht afzenden dan die, welke van de beide dikten *ef*, *gh* te zamen uitgaan.



Fig. 220.

waar zich de lichtdeeltjes in grooter aantal bevinden, ook grooter hoeveelheden licht afzenden dan die, welke van de beide dikten *ef*, *gh* te zamen uitgaan.

Maar 't gebeurt ook somwijlen, dat de Kometen, in plaats van éénen staart, die overlans door de donkere streep in tweeën wordt gedeeld, twee, drie, vier en zelfs zes staarten (zooals die van 1744) vertoonen, elk gescheiden gelijk een enkele staart het is en ook eveneens zich waaiersgewijs uitspreidende naar het flauwer verlichte einde; waarom dan ook de Chineezen, om dit in 't voorbijgaan te zeggen, aan de Kometen den naam van *Bezems* gaven.

Mag men in dit geval even zooveel kegel- of cilindervormige strooken onderstellen, die van de kern uitgaan? De wenteling van het hoofd rondom eene as in de richting van den staart zou, strikt genomen, door de samenwerking der middelpuntvliedende krachten en de uitvloeisels van de kern, het verschijnsel van een enkelen staart kunnen verklaren. Maar hoe zal men daaruit rekenschap geven van het samengestelde verschijnsel? Bij de dienaangaande nog bestaande zwarigheden, al moge Faye over de voornaamste bijzonderheden van eenige kometen genoegzame opheldering gegeven hebben, is 't misschien het veiligst om voorshands de zich voordoende gevallen op te zamelen en met het opmaken eener algemeene theorie nog te wachten.

541. **Licht en geringe dichtheid der staarten.** — Ik heb gezegd, dat men de staarten van enkele kometen 240 milioen kilometers lang heeft bevonden. Ik moet er bijvoegen, dat men somwijlen het hoofd in 't zenith ziet, als de staart nog den horizon raakt; maar ook dat het geringste licht, zooals bij voorbeeld dat van Venus, voldoende is om een aanzienlijk gedeelte van de staartvlakte te doen verdwijnen, welker zichtbaarheid, althans grootendeels, schijnt voort te komen uit de weerkaatsing der zonnestrallen. Hieruit kan men met voldoende waarschijnlijkheid opmaken, dat de dichtheid van dit lichtaanshangsel hoogst onbeduidend moet wezen.

542. **Hoofd; aanmerkelijke afneming in volumen, die het bij 't naderen der Zon ondergaat.** — Ongetwijfeld is het omtrent eveneens, maar toch in minderen graad, met het hoofd der Komeet gesteld, dat insgelijks bijna geheel verdwijnt bij het licht der Maan of bij het eerste schemerlicht. Eene zonderlinge omstandigheid, die door Hevelius bekend gemaakt is en waarop sedert de opmerking des beroemden Sterrenkundige slechts enkele uitzonderingen zijn voorgekomen, strekt inderdaad tot een bewijs voor den gasvormigen toestand der Kometenhoofden. Ik bedoel de aanzienlijke vermindering in volumen, die deze laatsten bij 't naderen der Zon ondergaan. Newton schreef dat afnemen toe aan het opslorpend vermogen van den staart, Herschel aan de onzichtbaarheid der uitgezette dampen, enz.; Valz eindelijk heeft in den jongsten tijd, hoewel eenigszins in strijd met de

neiging der luchtvormige vloeistoffen om zich te vermengen, het verschijnsel willen verklaren uit de samendrukking, die de als een dampkring verdichte ether tot op een grooten afstand rondom de Zon moet te weeg brengen.

543. **Waarschijnlijkheid van de gasvormige natuur der hoofden.** — Daar het verschijnsel nu en dan in verbazend groote verhoudingen optreedt (soms heeft men het hoofd 1600-maal kleiner zien worden dan het eerst was), mag men voor zeker aannemen, dat de stof, waaruit het ontstaat, van gasachtigen aard is. 't Is tevens niet zeldzaam, dat men door het komeethoofd heen Sterren bespeurt. Die hoofden nu hebben somtijds zeer groote afmetingen, van 24 a 28 duizend tot $1\frac{1}{2}$ a 2 miljoen kilometers. Hoe zou door zoodanige dikten heen het licht eener Ster tot ons kunnen komen, als er zich op zijnen weg iets anders bevond dan uiterst verdunde dampen, iets anders, om met Babinet te spreken, dan eene *soort van zichtbaar niets*, dat enkel zichtbaar is door zijn contrast met den donkeren grond des hemels?

544. **Kernen. — Hare afmetingen.** — Wat de kernen betreft, wier diameters men nu eens slechts 40 a 50, dan weer tot 12 000 kilometers groot heeft bevonden, zoo 't waar is, gelijk sommige Sterrenkundigen vermeend hebben te zien, dat zij het sterrenlicht door zich heen laten gaan, kan men ze bezwaarlijk voor iets anders dan gas of vocht houden. Men moet evenwel in aanmerking nemen, dat het voorbarig zou wezen eene algemeene gevolgtrekking te maken uit de waargenomen doorschijnendheid, waartegen men ernstige bedenkingen heeft ingebracht, gegrond op de schijnbare kleinte der kernen, op het onbegrensde van haren omtrek, enz. Doch die onbegrensde zelfde, in verband vooral met de donkere ringen waarmede sommige kernen omgeven zijn, wel verre van 't vermoeden eener vaste zelfstandigheid bij haar te begunstigen, schijnt integendeel op kernen te wijzen, gevormd uit dampen of gassen, dichter dan die van het hoofd, en welker verdichting gedeeltelijk ten koste van dit laatste moet plaats gehad hebben. Dit is het meest voorkomende geval. 't Is echter waarschijnlijk, dat de kernen ook somwijlen vast zijn.

545. **Hare gesteldheid. — Het licht der Kometen is over 't algemeen teruggekaatst licht.** — Cacciatore meende phasen of schijngestalten te bemerken aan de kern van de eerste der beide Kometen, die zich in 1819 vertoonden. Uit een zoodanige waarneming zou onmiddellijk volgen, dat het licht der kernen teruggekaatst licht is, evenals dat der Planeten. Maar er is te dezen opzichte twijfel gerezen uit de door Cacciatore zelve aangegeven standen van de horens der kernsikkel met

betrekking tot de richting der zonnestralen, en men heeft gedacht, dat de vermeende phasen enkel ontstonden uit gedaante-veranderingen, door de kern zelve ondergaan. Arago echter is er op andere gronden toe geraakt om de Kometen een ontleend licht toe te kennen. Die hemellichamen toch verdwijnen doorgaans, alvorens zij tot niet waar te nemen afmetingen zijn gekomen. Nu hebben wij in de theorie der planeetvormige nevelvlekken gezien, dat dit bij eene uit zich zelve lichtgevende oppervlakte geen plaats kan hebben; want naargelang de afstand toeneemt, wordt de vermindering der lichtsterkte van elk harer punten nauwkeurig vergoed door de vermeerdering van licht, die de schijnbare verdichting dezer punten te weeg brengt. Voor beschenen oppervlakte, daarentegen, waarvan ieder punt slechts een licht ontvangt, verzwakt in verhouding van het vierkant des afstands tusschen de lichtbron en het terugkaatsend lichaam, vermindert het licht, en de oppervlakte kan gevolgelijk verdwijnen, alvorens zij te niet gaat.

Daarenboven hebben, in 1835, de Komeet van Halley, en vroeger, in 1819, de door Cacciadore waargenomen komeetstaart aan Arago kennelijke sporen van polarisatie opgeleverd, hetgeen voor het licht, dat van gasvormige zelfstandigheden, zooals de Kometen in haar geheel zijn, voortkomt, alleen dan plaats heeft, wanneer dit licht wordt teruggekaatst.

546. **Omstreeks het perihelium kan het teruggekaatste licht nogtans in zekere gevallen met eigen licht gemengd zijn.** — 't Is evenwel mogelijk, dat de Kometen omstreeks het perihelium ontgloeien, en dat alsdan onder het teruggekaatste licht zich ook eigen licht vermengt. Dit moet voornamelijk plaats hebben, als de Kometen, gelijk die van 1680 en 1843, bijna rakelings voorbij de Zon gaan (*), in welk geval de tegenstand van den buiten-dampkring aan het lichtomhulsel ten laatste deze Kometen, na een vereischt getal terugkeeringen, vroeg of laat op de Zon zal doen vallen.

547. **Theorie van Buffon aangaande de vorming van het planetenstelsel.** — Wat men daarvan te denken heeft volgens de thans verkregen wetenschappelijke gegevens. — 't Is voor 't overige uit een dergelijk verschijnsel, dat Buffon de vorming van het planetenstelsel meende te kunnen verklaren. De voortreffelijke natuurkenner onderstelde den val eener Komeet, door welker schok stroomen stofs moesten opgeworpen zijn, die zich in kleine bollen hadden verstrooid, om bij hare

(*) Die van 1680 was, toen zij in 't perihelium kwam, op 212 000 kilometers afstand van de photosfeer; die van 1843, volgens Laugier en Mauvais, op slechts 136 000 kilom. Plantamour van Geneve had zelfs voor deze laatste, zóó gering is haar periheliums-afstand, eene lengte gevonden, minder nog dan de radius der Zon, in welk geval de Komeet door de photosfeer had moeten heen gaan.

afkoeling de Planeten en hare Wachters te vormen. Doch al kan men op die wijze begrijpen waarom de voortgaande beweging in de ruimte en de rotatie genoegzaam in dezelfde richting (*) plaats hebben, niet zoo gemakkelijk valt het zich ook rekenschap te geven van de storende oorzaken, wier werking krachtig genoeg zou geweest moeten zijn om te beletten, dat de Planeten bij iedere van hare omwentelingen — gelijk dit door de beginselen der werktuigkunde gevorderd wordt — weer door hetzelfde punt der zonsoppervlakte gingen, van hetwelk zij waren uitgegaan. Men weet bovendien tegenwoordig, dat de photosfeer geene druijbare vloeistof is; en men weet tevens, dat in 't algemeen de Kometen-massa's veel te gering zijn, om van de Zon eenigszins aanzienlijke lichamen te kunnen losrukken.

Geringheid der Kometen-massa's. — De Komeet van Lexell, bij voorbeeld, in 1770, ging slechts op 2 400 000 kilometers afstands voorbij de Aarde, die de omwenteling van dit lichaam daardoor *twee dagen* langer deed duren, terwijl voor ons daarentegen de duur van 't jaar 1770 met geen *twee seconden* veranderd werd. Bij gelijke massa's nu zou de Komeet den loop der Aarde derwijze gestoord hebben, dat zij eene verandering van 2 u. 47 m. 13 s. of 10 033 seconden had te weeg gebracht, waaruit men door eenvoudige evenredigheden kan opmaken, dat de massa der Komeet niet het *vijf duizendste gedeelte* van die onzes Aardbols uitmaakt. Dezelfde Komeet scheen tweemaal (in 1767 en in 1779) tusschen Jupiter en zijne Wachters door te gaan, zonder eenige stoornis in het stelsel te veroorzaken. De komeet van von Biela of van Gambart, die bij elke verschijning slechts tot op ongeveer 28 000 kilom. afstand van de loopbaan der Aarde komt, moet, vóór zij nog ontdekt was, enige malen zeer dicht bij de Aarde geweest zijn, en toch blijkt het uit niets, dat ons jaar sedert verscheidene eeuwen eenige onregelmatige wijziging door den invloed van onbekende Hemellichamen heeft ondergaan.

548. **De schok eener Komeet zou bijna zonder gevaar voor de Aarde zijn.** — De botsingen van Kometen met de Aarde zouden alzoo hoogst waarschijnlijk voor ons weinig of niet gevaarlijk zijn, omdat de algemeen luchtvormige staat dier lichamen gepaard gaat met eene bovenmatig geringe massa. En men mag het inderdaad als nagenoeg zeker achten, dat, indien er ooit dergelijke voorvallen, ondanks hun geringe waarschijnlijkheid, hebben plaats gehad, de kracht der botsingen niet toereikend geweest is om op 's Aardbols oppervlakte, sedert hare

(*) De rotatie van Uranus en de bewegingen van de Wachters dezer Planeet, die ten tijde van Buffon nog onbekend was, schijnen hierop alleen eene uitzondering te maken (Zie § 505; maar ook de Noot op blz 441).

vastwording, of den *Æquator* of de as der wereld te doen veranderen; want de uitzetting van den *Æquator* en de afplating aan de Polen, die ongeveer 10 kilometers bedragen, zouden, zoo 't schijnt, eenige moeite gehad hebben, zich in eene vastgeworden korst te verplaatsen, om in dezelfde verhoudingen weer te voorschijn te komen.

549. — Nooit zou dan ook Wiston, Newton's opvolger aan de universiteit te Cambridge, had hij gekend wat wij tegenwoordig van de physische gesteldheid en de geringe massa der Staartsterren weten, het in 't hoofd gekregen hebben om den zondvloed van Mozes uit den invloed eener Komeet te verklaren. Hij oordeelde, bij gebrek aan nauwkeuriger waarnemingen, over de identiteit der Kometen van 1680, 1106, 531 en het jaar 43 vóór onze jaartelling (*), wier verschijningen door bijna gelijke tusschentijden (574, 575 en 574 jaren) gescheiden zijn, uit de helderheid van het licht, waarmede zij, naar 't bericht der tijdgenooten, prijkten, en maakte daaruit op, dat dezelfde Komeet, vier verschijningen of 2300 jaren vroeger, dat is omstreeks het jaar 2349, waarin de Hebreuwsche tekst den Zondvloed plaatst, in de nabijheid der Aarde moest zijn: dat zij zich daar ook moest bevinden 575 of 576 jaren vroeger, omstreeks het jaar 2926, waartoe, volgens den Samaritaanschen tekst, de Zeventig en Josephus, dezelfde gebeurtenis behoort. En daar, volgens Wiston, aan de schijnbare grootte een vijf- a zesmaal aanzienlijker massa dan die der Maan moest beantwoorden, bij eenen afstand van slechts 20 a 24 duizend kilometers, zoo moesten de neergeslagen dampen van den door Ararat gestuitten staart, de onderaardsche wateren, door de aantrekking der kern opgeheven, enz. de geduchte overstroming veroorzaakt hebben.

550. De kometen worden somtijds zichtbaar bij vollen dag. — Zij hebben echter geen invloed op den Aardbol, ook niet op de aardsche temperaturen. — Hare snelheden zijn somwijlen ontzettend groot. — Maar dat alles is slechts een droombeeld; voorzeker, noch de Kometen, die nu en dan, als in de jaren 400, 1006, 1106, 1402 (†), 1577, 1744 en 1843, bij vollen dag gezien kunnen worden, noch die, welke men alleen met den telescoop kan bespeuren, kunnen zoodanige rampen te weeg brengen. Wel verre dat zij op de dichte deelen des Aardbols, zooals het gesteente en de zeeën, zouden werken, schijnen de Staartsterren, wat men daarvan ook

(*) Deze laatste, bij vollen dag zichtbaar, werd gehouden voor de ziel van Julius Caesar, die weinig dagen vóór de verschijning der Komeet was omgebracht.

(†) In 't jaar 1402 verschenen twee Kometen, zichtbaar bij vollen dag. De tweede van deze werd beschouwd als de voorzegster van den dood van Gian Galeazzo Visconti, die werkelijk van schrik stierf.

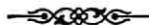
geloofd moge hebben, zonder invloed te zijn op de gasachtige zelfstandigheden, die onzen dampkring uitmaken, althans zomen mag oordeelen uit het gemis van alle warmtewerking van hare zijde.

De schitterende Komeet van 1843, bij voorbeeld, liet de horizontale naald van een thermo-electrischen toestel genoegzaam zonder beweging, en toch werd die naald door eene enkele op 10 meters afstand brandende kaars 15 graden voortbewogen, en vermocht zelfs het zodiakale licht haar zeer merkelyk uit den evenwichtsstand te brengen. Tegen 't einde van 1835, tijdens de verschijning der Komeet van Halley, toen Parijs in October en November eene zeer zachte temperatuur had, was het koud in 't Zuiden van Frankrijk; terwijl in de Decembermaand van 't zelfde jaar, toen de Komeet in haar perihelium zeer veel warmte had opgedaan en ook de Aarde had moeten verwarmen, de temperatuur te Parijs op hare beurt zeer laag was geworden. De vermaarde Komeet van 1811, die andermaal na haren loop door het perihelium in 1812 verscheen, wel verre van zich te kenmerken door een soortgelijken invloed op de beide jaren, waartoe zij behoort, belette niet dat de gemiddelde temperatuur te Parijs voor 1811 12 graden en voor 1812 9,9 waren, alzoo de eene hooger, de andere lager dan de temperatuur der gewone jaren. Meer dan voldoende bewijzen van den nietsbeduidenden invloed der Kometen op onzen Aardbol, nog daarenboven bekrachtigd door deze tweede opmerking: dat de Maan, die men doorgaans als bijna zonder meteorologischen invloed op onze Aarde beschouwt, evenwel dichter bij ons is dan de Kometen doorgaans zijn; dat zij eene onvergelykelyk grootere massa dan deze laatste heeft; eindelijk, dat zij bestendig in de nabuurschap der Aarde blijft, in plaats van, gelijk de meeste Staartsterren zich slechts te vertoonen voor korten tijd, als begaafd zijnde met vaak verbazende snelheden (*) van 200, 300 en meer kilometers in de seconde voor de kern, van veel duizenden kilom. misschien voor zekere punten van den staart. 't Is gelukkig — om dit in 't voorbijgaan te zeggen — dat zulke snelheden alleen bij het naderen en in de dichte nabijheid van de Zon, gevolgelyk vrij ver van de Aarde bestaan, want ondanks de geringheid van hare

(*) De Komeet van 1843 doorliep bij haren loop door 't perihelium in 2 u. 11 m. eenen boog van 180° rondom de Zon. Het middelpunt der kern was toen 840 000 kilometers en het einde van den staart 240 millioen kilom. van de Zon verwijderd. Indien de staart, volgens de onderstelling van Apianus, gedurende den loop door 't perihelium van de Zon afgekeerd bleef, hetgeen de waarneming niet vermocht te staven, dan doorliep het uiteinde bijna 800 millioen kilom. in 2 u. 11 m., dat is omtrent 100 000 kilom. in de seconde. De snelheid der kern bedroeg toen ongeveer 320 kilom. Hierbij wordt echter ondersteld, dat de staart aanhoudend gevormd is uit dezelfde stofdeeltjes, en niet uit dampen, die voor en na achter de kern worden geworpen in een uitgestrekten dampkring, welke de zonnehitte onzichtbaar zou maken.

massa, zouden Kometen, die met zulk eene vaart tegen ons aan botsten, zoo zij althans uit een weinig stof in vasten toestand bestonden, in staat zijn onzen loop merkelyk te verstoren. En God weet wat er van ons zou worden! bedolven door de zeeën, die 't geweld van den schok uit hare bedding zou jagen, of ge-roost door de Zon, op welke wij in 64,5 dag zouden neerstorten, indien de schok sterk genoeg mocht zijn om geheel en al de oorspronkelijke snelheid des Aardbols te niet te doen.

551. **Bij eene ontmoeting met de Aarde zou de Komeet voornamelyk te lijden hebben.** — Laten die spelingen der verbeelding ons geen schrik aanjagen. Wij weten, dat er geen reden is om de minste vrees te koesteren; en zoo 't noodig ware, tot schraging der boven (§ 545) ontwikkelde astronomische redenen, de overlevering in te roepen, om aan te toonen dat bij eene botsing niet de Aarde maar wel de Komeet zou te lijden hebben, zou ik er bijvoegen, dat de Arcadiërs zich weleer beroemden de eerstgeboren kinderen der Maan te wezen! Hoe derhalve de wording van onzen Wachter verklaard, tenzij door eene Komeet, waarvan de Aarde zich heeft meester gemaakt?



EEN EN TWINTIGSTE LES.

Beweging der Aarde.

Leer van Pythagoras en Ptolemeus. — Verhandeling van Copernicus over de wentelingen des Hemels. — Weifelingen van Copernicus. — Aandrang van den kardinaal von Schönberg en den bisschop Gisius. — Inleiding en opdracht aan den Heiligen Vader. — Uitgave van het werk in 1543. — Copernicus bemerkt de ellipticiteit der bewegingen niet; het stelsel der excentrieken en epicyclen, dat Ptolemeus aan de Aarde toekende, wordt door hem rondom de Zon verplaatst. — Verzet tegen het stelsel van Copernicus. — Stelsel van Tycho-Brahé. — Galilei omhelst het gevoelen van Copernicus. — Eerste decreet van de Inquisitie, den 25sten Februari 1615. — Uitgave der Samenspraken door Galilei, in 1632. — Opdracht aan den groothertog van Toscane. — Inleiding. — Samenspraken. — Vonnis van Galilei. — Afzwering. — Vernietiging van het vonnis door paus Benedictus XIV. — Beschouwingen. — De kerker van Galilei schijnt slechts een kerker pro forma geweest te zijn. — Wederlegging der Samenspraken door Riccioli. — Zonderlinge bewijsgronden van Riccioli. — Bewijzen voor de beweging der Aarde. — Dagelijksche rotatie of wenteling om eene as, eerst bij inductie opgemaakt. — Rotatie bewezen door de proefneming. — 1^o Afwijking der lichamen, die naar het Oosten, en, voor het noordelijke half rond der Aarde, naar het Zuiden vallen. — 2^o Opmerkingen, door Arago ontleend aan de achtereenvolgende voortplanting van het licht. — 3^o Slingering en gyroscoop van Foucault. — Noten.

552. **Leer van Pythagoras en Ptolemeus.** — Eenige oude wijsgeeren, onder anderen Pythagoras, leerden — wij hebben 't reeds gezegd — de beweging der Aarde, maar als het ware in 't geheim en alleen aan uitgekozen leerlingen, „ten einde zoodanige leer,” zegt Pythagoras, „niet bloot te stellen aan de verachting van den dommen hoop.” Onder deze omstandigheden, gevoegd bij de neiging van den mensch om zijne eigen waarde te overdrijven, kon de onderdanigheid der Aarde aan de Zon (een noodwendig gevolg van onze verplaatsing), bezwaarlijk een volksbegrip worden, vooral toen Ptolemeus omtrent het jaar 125 van onze tijdrekening, in zijnen *Almagest* al de oude waarnemingen had verzameld, om daarvan de verklaring te geven door het stelsel der epicyclen rondom de Aarde.

Een zoodanig stelsel, dat aan ons de meerderheid en 't gezag liet, strookte juist daardoor te beter met onzen natuurlijken hoogmoed. Het behoeft ons alzoo niet te verwonderen, dat dit stelsel gedurende veertien eeuwen bij uitsluiting tot grondslag der Sterrenkunde heeft gediend.

553. **Verhandeling van Copernicus over de wentelingen des Hemels.** — Verschillende pogingen waren reeds ach-

tereenvolgens in 't werk gesteld door de Arabieren of door de Europeesche Sterrenkundigen der *Renaissance*, om de astronomische Tafels in de theorie van Ptolemeus te verbeteren, toen in 1507 een jong geneesheer der hoogeschool van Krakau, vol zucht voor de beoefening der mathematische wetenschappen, partij trok van de vrije uren, die het domheerschap te Frauenburg, hem bezorgd door Waisselrod von Alten, bisschop van Ermeland (Warmië), zijn oom van moederszijde, te zijner beschikking liet, om al zijne aandacht te vestigen op het stelsel van 't Heelal. Copernicus — dus heette de nieuwe Sterrenkundige — vreesde intusschen, dat hij, als de vrucht van zijn onderzoek, *al te buitengewone zaken* zonder doorslaande bewijzen zou verkondigen, en wilde daarom vooraf iedere Planeet onderzoeken om zelf hare bewegingen te bepalen. Hij liet dan optische werktuigen vervaardigen, met welke behulp hij nu op zijne beurt nieuwe astronomische Tafels maakte, die ten grondslag dienden voor het groote werk Over de omwentelingen der Hemelbollen (*De orbium caelestium revolutionibus*), waarin de leer van de beweging der Aarde, die in de stelsels der oude Grieksche wijsgeeren eene loutere onderstelling was gebleven, thans met bewijzen omkleed en ontwikkeld werd.

554. **Weifelingen van Copernicus. — Aandrag van den kardinaal von Schönberg en den bisschop Gisius.** — Om evenwel de stoutheid zijner denkbeelden te omsluiëren, stelde Copernicus ze niet zoo zeer voor als de uitdrukking der waarheid, maar veeleer als eene onderstelling, die geschikt was om de verklaring van de bewegingen des Hemels te vereenvoudigen. Hij aarzelde echter zijn leven lang ze het licht te doen zien, en wilde liever, evenals Pythagoras had gedaan, hun zakelijken inhoud alleen mondeling aan eenige begunstigde vrienden mededeelen, ten einde zoo de dubbele klip te vermijden, welke gevaar voor zijn stelsel hij inzag, eensdeels van den kant der mannen van de wetenschap, die het konden verwerpen, anderdeels en vooral van de godgeleerden, die het met den banbliksem der Kerk konden treffen 't Was dan ook eerst na langdurig weifelen en dralen, dat hij gehoor gaf aan de dringende verzoeken van den kardinaal von Schönberg en van Gisius, bisschop van Kulm, en omstreeks 1542 liet hij zijn reeds sedert 1530 voltooid werk ter perse gaan, het opdragende aan paus Paulus III, ten einde zoo de vervolgingen te ontduiken, die maar al te vaak tegen de nieuwe waarheden opkomen en die later dan ook den grooten Galilei moesten treffen.

Inleiding en opdracht aan den heiligen Vader. — Voor 't overige laat hij niet na, zich in de voorrede en in zijnen brief aan den heiligen Vader te verontschuldigen. „De plicht van

een Sterrenkundige," zegt hij, "is hypothesen te scheppen, die de bewegingen des Hemels kunnen voorstellen en de berekeningen verlichten; maar niets vereischt dat die hypothesen waar, noch zelfs *waarschijnlijk* zijn." Hij voegt er bij, dat het gevoelen der oude wijsgeeren aangaande de beweging der Aarde de verklaring der verschijnselen zoo eenvoudig maakt, dat men er niets in kan veranderen zonder verwarring in het samenstel des Hemels te brengen. Ten slotte geeft hij de verzekering, dat hij, wel verre van zich aan de uitspraak der Kerk te willen onttrekken, den heiligen Vader, wien hij zijn boek opdraagt, beschouwt als den verlichtsten beoordeelaar, als den waren beschermer der letteren en wetenschappen. "En nu," roept hij uit, "indien enkele onkundige en lichtzinnige menschen misbruik willen maken van zekere uitdrukkingen der Schrift, welker zin zij verdraaien, zoo blijft mij niets over dan hunne aanvallen te verachten, en te herinneren dat *Lactantius*, anders een beroemd schrijver, maar geheel onbekend met de mathesis, den spot dreef met hen, die aan de Aarde de gedaante van eenen bol gaven." En om zijne rechtvaardiging volledig te maken, plaatste hij aan 't hoofd van zijn boek eenen brief, zeven jaren te voren geschreven door den kardinaal von Schönberg, waarin deze kerkvorst, na hem geluk gewenscht te hebben met zijne wetenschap en met het denkbeeld van de Aarde zich rondom de Zon te laten bewegen, aandrang op de uitgave van het werk, terwijl hij intusschen als een gunst verzocht, er op eigen kosten een afschrift van te doen nemen.

Doch bij paus Paulus III waren zoodanige voorzorgen overbodig. Deze opperpriester bezat een te verlichten geest om niet te begrijpen, dat het boek van Copernicus zeer wel kon samengaan met het kerkgeloof en de gewijde Schriften, zonder op deze de minste inbreuk te maken.

555. **Uitgaaf van het Werk in 1543.** — Gisius, die het handschrift onder zijne berusting had, liet het te Neurenberg drukken. Het schijnt nogtans, dat Copernicus, uit eene soort van innerlijk bewustzijn, zijn laatsten dag had afgewacht, om de onweders, die er stonden op te komen, buiten de grenzen zijns levens te brengen; want de beroemde Sterrenkundige had te nauwernood zijn boek aanschouwd, toen hij voor altijd de oogen look. Het eerste exemplaar, zegt men, was hem den 24sten Mei (naar andere opgaven den 11den Juni) 1543 slechts sedert weinige uren ter hand gekomen, toen een plotselinge dood hem wegrukte. Hij was den 19den Januari 1472, of volgens enkele schrijvers den 19den Februari 1473 geboren te Thorn, op de grenzen van Polen. Zijn overschot werd in de domkerk te Frauenburg bijgezet, alwaar eene marmeren plaat met een

opschrift 's Mans rustplaats aanwijst. Later liet graaf Sierakowski voor hem in de St. Annakerk te Krakau een waardig gedenkteken oprichten met het aan Jozua X vs. 12 ontleende opschrift: „*Sta, sol, ne moveare!*”, en in 1829 verrees te Warschau zijn standbeeld. Ook te Thorn is een gedenkteken voor hem opgericht.

556. **Copernicus bemerkt de ellipticiteit der bewegingen niet; het stelsel der excentrieken en epicyclen, dat Ptolemeus aan de Aarde toekende, wordt door hem rondom de Zon verplaatst.** — Ofschoon Copernicus de beweging der Aarde bewees, hij voltooide toch geenszins de ontdekking der natuurwetten. Immers, hij nam, als Ptolemeus, aan, dat al de hemelbewegingen *uitmiddelpuntig cirkelvormig* waren; en om de ongelijkheden in den loop der Planeten te verklaren, behield hij het stelsel der epicyclen of bijcirkels, latende zijnen opvolgers den roem over, de cirkels te vervangen door ellipsen, meer of minder gewijzigd door storende werkingen. Het boek van de *Omwentelingen der Hemelbollen*, hoewel in meer dan één opzicht onvolkomen, had toch den weldadigsten invloed op den vooruitgang der Sterrenkunde. Want nu de verplaatsing der Aarde den mensch gelegenheid gaf om, bij hare jaarlijksche reis rondom de Zon, meetbakens te stellen op een kromme lijn, wier diameter ongeveer 288 millioen kilometers bedraagt, kreeg hij juist daardoor bases van genoegzame grootte om de meeste hemelafstanden, bij welker kennis hij belang heeft, te vinden, en werd hij tevens geleid tot de meest indrukmakende begrippen omtrent de onmetelijke grootte des Heelals.

557. **Verzet tegen het stelsel van Copernicus. — Stelsel van Tycho-Brahé.** — 't Was echter niet zonder hevig verzet te ervaren, dat het nieuwe denkbeeld, krachtig ondersteund door Rheticus, den volijverigen leerling van Copernicus, ten laatste algemeen ingang vond, zóóveel moeite kost het vaak, zelfs aan gezonde hoofden, zich van de oude dwaalbegrippen te ontdoen. Een der uitstekendste onder die hoofden, Tycho-Brahé, poogde — gelijk we reeds vroeger zagen — ter wille van zekere vrome gemoedsbezwaren, het stelsel van Copernicus te vervangen door een gemengd stelsel, dat de Aarde onbeweeglijk liet, en rondom haar de Zon, omgeven door haren planetenstoet, liet wentelen. Voorwaar, indien toenmaals iemand gerechtigd was om zijn eigen gevoelen op te werpen tegen eene schijnbaar allervermetelste meening, het was buiten kijf de man, dien geheel Europa beschouwde als den uitstekenden Sterrenkundige zijner eeuw, de man, wiens wetenschappelijk gezag, onderzocht door de volksmenigte aangenomen, nog een hoogere bekrachtiging scheen te ontleenen aan de vriendschap der ko-

ningen (*). En toch, ofschoon gerugsteund door overleveringen, op het zorgvuldigst van eeuw tot eeuw bewaard, bleek toch dat zoo groote gezag alras onvermogen te zijn tegenover de onweerstaanbare kracht der waarheid, welke de heerlijke ontdekkingen van Kepler en Galileï dag aan dag te beter deden uitkomen; terwijl een vermaard rechtsgeding, dat ik hier als van zelve vermelden moet, wellicht krachtig medewerkte om die waarheid spoediger te doen zegevieren.

558. **Galileï omhelst de gevoelens van Copernicus.** — Galileï, bijna een tijdgenoot van Tycho, evenals hij uit eene patricische familie gesproten en slechts 18 jaren na hem in 't leven gekomen, daarenboven reeds door Mæstlin tot het stelsel van Copernicus bekeerd — Galileï had nauwelijks de schijngestalten van Venus, de schijf en de wachters van Jupiter bespeurd, of het werd hem eene volstrekte behoefte de leer van de beweging der Aarde te verkondigen.

De nieuwingewijde Sterrenkundige was toen in den vollen luister zijns roems. Als omverwerper van de oude theorieën aangaande de mechanica, had hij het begrip der *zware* en *lichte* lichamen uit de wetenschap gebannen door aan te toonen, dat in het luchtledige alles met dezelfde snelheid valt. Hij had de wet van den val der lichamen ontdekt, en bewezen dat de in zekeren tijd doorloopen ruimten evenredig zijn aan het vierkant van dien tijd; dat gevolgelyk de reeks der onevene getallen de wegen voorstelt, die achtereenvolgens elk oogenblik doorloopen

(*) Tycho-Brahé behoorde tot een der oudste geslachten van Denemarken. Koning Frederik II, door den landgraaf van Hessen-Kassel, die zelf een gelukkig beoefenaar der Sterrenkunde was, bekend gemaakt met de verdienste van den jongen Sterrenkundige, bood Tycho, wiens ouders zijn wetenschappelyken smaak, wegens adellyke vooroordeelen, tegenwerkten, een leengoed aan met aanzienlyke inkomsten, op het eilandje Hven, tien uren van Kopenhagen. Dáár, was het, dat Tycho, van 1577 tot 1597, in zijn observatorium te Uranienburg, door zijne talryke nasporingen de grondslagen der nieuwere Sterrenkunde leide. Daar, door de wetenschap met eene soort van souvereiniteit bekleed, ontving hij de hulde zelfs van vorsten; want toen de koning van Schotland Jacobus VI de zuster van Frederik ging huwen, kon hij de zucht niet weerstaan om Tycho op zijn eiland een bezoek te brengen en den lof der Sterrenkunde in latynsche verzen te bezingen.

Ongelukkig werden de dood van Frederik, die in 1588 plaats had, en de jaloerschheid van eenen minister tijdens de minderjarigheid van den nieuwen monarch, de oorzaak van de intrekking van 't leengoed en het vertrek van Tycho, die vrijwillig in ballingschap ging en de wijk nam bij zijnen vriend Hendrik Rantzow te Hamburg, van waar keizer Rudolf hem later, na eenigen tegenstand, naar Praag wist te lokken. Tycho-Brahé, voortdurend gekweld door de herinnering aan Uranienburg, stierf in den ouderdom van 55 jaar, den 24sten October 1601, en blies den adem uit met de woorden: „Ik heb niet vergeefs geleefd.” Waar is het, dat zijne menigvuldige waarnemingen ten grondslag dienden voor Kepler's schitterende ontdekkingen; dat men hem daarenboven het vinden van menige ongelijkheid in den maanloop, onder anderen die der *jaarlijksche æquatie* en der *knoopenbeweging* moet dank weten; dat hij insgelijks de *variatie* schijnt bemerkt te hebben, zonder dienaangaande kennis te dragen van hetgeen de Arabieren verricht hadden; dat hij, door het vergelijken van zijn eigene waarnemingen met die van Ptolemeus, de verandering in de schuinschheid der Ecliptica inzag. enz.; eindelijk, dat hij zich met goed gevolg bezighield met de beoefening der Zou, der Planeten, der Kometen, der parallaxen, der straalbrekingen, enz., en dat zijne werkzaamheden, ondanks zekere dwalingen, ten volle rechtvaardigen zoowel den hoogen dunk, dien hij van zich zelve schijnt gehad te hebben, als de bekrachtiging, door 't nageslacht aan dien dunk gegeven.

worden. Hem dankte men almede de verklaring van de versnelling der vallende lichamen door de werking der zwaartekracht; de wetten der kromlijnige beweging ontleend aan die van de samenstelling der krachten; de ontdekking van het isochronismus der schommelingen van den slinger, en de verhouding die er bestaat tusschen den duur eener schommeling en de lengte van het schommelende lichaam; daarbij nog belangrijke leerstellingen over de geluidsgolven, enz. Eindelijk wist hij, naar hetgeen hij omtrent het zeldzaam geval te Middelburg had gehoord, het verwonderlijke werktuig te bedenken en te vervaardigen, welks optisch vermogen hem reeds zoo veel geheimen openbaarde, en 't welk den mensch scheen te beloven, dat hij voortaan daarmede de verborgenheden des Uitspansels zou lezen.

Eerste decreet van de Inquisitie, den 25sten Februari 1615. — Zooveel voortreffelijke werkzaamheden, de opgang van zijn openbaar onderwijs te Venetië, Padua, Pisa, enz., de vriendschap der Italiaansche vorsten, die elkaar de eer betwistten hem aan hunne universiteiten te verbinden, waren toch niet vermogend genoeg om Galileï te beveiligen tegen de slinksche ijverzucht der oude scholen, alwaar men, ondanks de reeds drie eeuwen te voren gedane pogingen van den monnik Roger Baco, om eindelijk het gezag der rede en der ervaring in de plaats te stellen van het gezag des menschen en der overlevering, nog altijd voortging met bij Ptolemeus en Aristoteles te zweren. De verdediger van Pythagoras en Copernicus werd weldra aangeklaagd bij de Inquisitie, die aan Galileï bij een decreet van den 25sten Februari 1615 en bij monde van den kardinaal Bellarmin, het bevel gaf zijne leer vaarwel te zeggen, en hem verbood die of mondeling of in zijne geschriften te verkondigen. Bij hetzelfde decreet werd het boek van Copernicus ingetrokken; men besliste dat de daarin vervatte al te stellige beweringen zouden verbeterd worden; men veroordeelde eindelijk eenen brief van den monnik Foscarini, waarin deze geestelijke zocht te bewijzen, dat de denkbeelden van Copernicus geenszins in strijd met de Schrift en geheel overeenkomstig met de waarheid waren.

559. **Uitgave der Samenspraken door Galileï, in 1632.** — **Opdracht aan den groothertog van Toscane.** — **Inleiding.** — Het decreet van den 25sten Februari scheen het kwaad bij den wortel weg te snijden, want gedurende zestien jaren tijds was er noch van Copernicus, noch van de beweging der Aarde sprake meer. Maar in 1632 liet Galileï, waarschijnlijk vrezende dat zijn zwijgen de nieuwe leer geheel in minachting zou brengen, zijne *Samenspraken* over het Wereldstelsel het licht zien; en daar eene eerste terechtwijzing hem voorzichtig had gemaakt, droeg hij zijn boek op aan den groothertog van Toscane, zeg-

gende in zijne Voorrede, dat er, eenige jaren geleden, van Rome een *heilzaam* edict was uitgegaan, hetwelk, om alle ergernis te voorkomen, het stilzwijgen opleide aan het Pythagorisch gevoelen betreffende de beweging der Aarde; dat echter eenige vermetelen zich verstout hadden dit decreet toe te schrijven aan opgewonden driften en niet aan een oordeelkundig onderzoek" „Mijn ijver,” voegde hij er bij, „kon die dwaze klachten niet verdragen. Ten volle bekend met dit *zoo voorzichtig* decreet, heb ik der waarheid gerechtigheid willen doen weervaren, en den vreemden natiën willen toonen, dat men in Italië, evengoed als overal elders, wist wat er ter gunste van Copernicus valt aan te voeren. Mogen de Italianen,” zegt hij iets verder, „niet zooveel gereisd hebben als andere natiën, zij hebben toch naar mijne overtuiging evenveel nagedacht; en al hebben zij zich ook onthouden het gevoelen van de beweging der Aarde bij te vallen, dit is geenszins omdat zij *allen* onbekend waren met de gronden, door anderen ter handhaving van dit gevoelen bijgebracht, maar omdat zij genoopt werden door andere redenen, ontleend aan de vroomheid, aan de godsdienst, aan de goddelijke almacht en aan de zwakheid van 't menschenverstand.”

Samenspraken. — Wat de samenspraken betreft, zij hebben plaats tusschen drie sprekers: de eene, *Salvati*, een adellijk Florentijner, een warm aanhanger van Copernicus; de andere, *Simplicius*, een voorstander van Aristoteles, en de derde *Sagredo*, een adellijk Venetiaan, meer een man naar de wereld dan een geleerde. 't Is overbodig er bij te voegen, dat Copernicus zoodanig verdedigd wordt, dat hij de overhand behoudt op Aristoteles, hoewel de schrijver den schijn aanneemt alsof hij tot zoodanige gevolgtrekking niet wenscht te komen, daar hij ten slotte zegt, dat al zijne redeneeringen ten voordeele van Copernicus wellicht even zooveel hersenschimmen kunnen zijn.

560. **Rechtsgeding van Galileï.** — **Afzwering.** — **Verrietiging van het vonnis door paus Benedictus XIV.** — De Samenspraken, ofschoon wat wijdloopig, vonden allerwege weerklank. Geen wonder dan, dat het Heilig Officie, deswege verontrust, andermaal Galileï voor hare rechtbank daagde, om hem tot den *kerker pro forma* (*formalis carcer*) te veroordeelen, na zijne dwalingen te hebben afgezworen. Ziehier, naar Delambre's vertaling, de voornaamste uittreksels van het afzwerings-formulier, zooals het de jezuiet Riccioli in zijnen *Almagest* heeft bewaard.

„Ik, Galileï, zeventig jaar oud, geknield liggende voor u, zeer „voortreffelijke kardinalen, met de oogen gevestigd op de heilige „en gewijde Evangelieën, die ik met mijne eigen handen aanraak,

„ik zweer dat ik geloofd heb, dat ik geloof, en dat ik met Gods
„hulpe altijd gelooven zal aan hetgeen door de heilige Kerk wordt
„geleerd.

„En omdat ik eene zoodanige leer niet staande houden, noch
„verdedigen, noch onderwijzen kon, nadat mij verklaard was ge-
„worden, dat de gezegde leer in strijd was met de heilige Schrift;
„en omdat ik toch een boek heb in 't licht gegeven, waarin ik
„redenen *van eene groote krachtdadigheid* bijbreng ten voordeele
„van die veroordeelde leer, *zonder er eenige oplossing bij te voegen*,
„zoo moest ik wel geoordeeld worden als onder zware verden-
„king van ketterij te liggen.”

„Willende alzoo uit den geest van Uwe Eminentien en uit
„dien van ieder catholiek christen die zware, met recht tegen
„mij opgevatte verdenking van ketterij ganschelijk uitdelgen, zoo
„verklaar ik de gezegde dwalingen en ketterijen af te zweren,
„te verdoemen en te verfoeien. . . . En in geval ik eenen ket-
„ter of van ketterij verdacht persoon mocht kennen, *zal ik hem*
„*bekend maken* aan dit Heilig Officie of aan den bisschop der
„plaats, waarin ik mij zal bevinden. Ik zweer daarenboven,
„dat ik al de boetedoeningen, die dit Heilig Officie mij opge-
„legd heeft of zal opleggen getrouwelijk zal volbrengen, en dat
„ik, zoo ik ontrouw aan mijne beloften mocht worden, mij on-
„derwerp aan alle straffen en *kastijdingen*, in de heilige kanons
„en andere constitutiën yervat.”

„Ik, Galileï, heb alzoo, gelijk hier boven, beloofd, beëdigd,
„afgezworen. In oorkonde der waarheid heb ik eigenhandig het
„voor mij liggend handschrift mijner afzwering ondertekend, en
„het woord voor woord uitgesproken te Rome, in het klooster
„van Minerva, den 22sten Juni 1833.”

„Ik, Galileï, heb, als boven met mijne eigen hand afgezworen.”
Men zegt, dat Galileï, toen hij zich uit zijn knielende hou-
ding ophief, op den grond stampte en binnensmonds zeide: „*E*
pur si muove!” (en toch beweegt zij zich).

Eene eeuw later werd het vonnis der Inquisitie, dat het werk
van Galileï veroordeelde, door paus Benedictus XIV vernietigd;
en de catholieke gemoederen hadden voortaan volle vrijheid om
over de zaak te oordeelen.

561. Ziedaar, zonder eene enkele aan- of opmerking, de ge-
schiedenis van dit zonderling proces. Beoordeeld uit het ge-
zichtspunt, waarop wij tegenwoordig staan, is 't voorzeker een
bedroevend schouwspel, dien grijsaard daar geknield te zien voor
het heilige boek, en hem tegen de inspraak van zijn eigen ge-
weten, voor de ooren van het door zijne ontdekkingen verlichte

Italië, de waarheid te hooren afzweren, die hij zijn gansche leven had gezocht. Verplaatst men zich evenwel in den tijd toen het vonnis gewezen werd, toen allerwege de onbeweeglijkheid der Aarde werd onderwezen, in de scholen op het gezag van Aristoteles, in de Kerk op het gezag van teksten, die, zooals later Riccioli zeide, „indien hun letterlijke zin ter wille van Sterren- of Natuurkunde werd verdraaid, allicht aanleiding konden geven tot gelijksoortige aanrandingen van heilige leerstellingen,” dan staat men er minder verbaasd over, dat de Kerk, eene uit haren aard behoudende instelling, de toekomst heeft willen waarborgen tegen gebeurlijke zaken, voor welker gevaren zij beducht was.

562. **Beschouwingen.** — Tegenwoordig kunnen we, dank zij den Hemel, vrij van elk vooroordeel, ons over die groote zaak van Galileï's proces uitlaten. D'Alembert beklagt zich ergens, dat men te vaak de geschiedenis der ondankbaren heeft geschreven, zonder er ooit aan te denken om ook die der weldoeners op te stellen, „die toch een zoo merkwaardig aanhangsel tot de geschiedenis der tyrannen zou wezen.” Zou 't niet gepast zijn, dat men nu en dan op de onderdrukten, ondanks de belangstelling, die zij inboezemen, hetzelfde beginsel van onpartijdige critiek toepaste? Men zou dan voorzeker, schier altijd, bevinden, dat de Voorzienigheid, door der menschen onoverdachte, misschien egoïstische begeerten, om zoo te zeggen gerechtvaardigd wordt, als zij voor 't oogenblik partij kiest voor de onderdrukkers.

Hoe toch kon Galileï, bij voorbeeld, toen zijn wetenschappelijke arbeid hem reeds met zulk eenen straalkrans had omgeven, hoe kon hij zich tot veinzerij verlagen, ten einde zóó een boek uit te geven, dat overigens vrij middelmatig en bovendien niet onmisbaar voor de wetenschap was? Waarom vooral nam hij, de zoo rijk met kennis bedeelde Man, niet vooraf de maat van zijn moed en krachten, om te weten of hij in staat zou zijn de vervolgingen, den dood zelfs te braveeren, liever dan zich te vernederen tot het onderteekenen van die ongelooflijke afzwering, waarin hij de verplichting op zich neemt om de van ketterij verdachte personen bij het Heilig Officie aan te geven? Ware hij minder verlangend geweest om opzien te verwekken, hij zou gewis zich zelve niet misleid hebben omtrent de gepaste tijdsgelegenheid van zijn boek; en hij zou, gelijk Kepler, wiens mathematische ontdekkingen reeds van lieverlede de denkende hoofden aan het nieuwe denkbeeld begonnen te gewinnen, hebben begrepen, dat zijne eigene ontdekkingen in de physische samenstelling van het Uitspansel den triomf der waarheid moesten voldingen, veel beter nog dan bladzijden, die reeds bij hare geboorte zich achter vernederende uitvluchten moesten verschuilen.

Maar Galileï beminde waarschijnlijk het redetwisten over ge-

loofspunten en zocht de gelegenheid daartoe. Wellicht ook lag er in zijne ten jare 1615 veroordeelde lessen een weinig bedekte spotternij en schamperheid, waarvoor dan het rechtsgeding van 1633 tot boetedoening zou gestrekt hebben. Zóó zou men zich kunnen verklaren waarom noch Copernicus, noch Mæstlin, noch Kepler om hunne meeningen verontrust werden, en waarom Galileï alleen dat smartelijk terechtstaan voor de vierschaar der Inquisitie had te verduren.

Gelijk Newton, die later zoovele thans vergeten verhandelingen over de Openbaringen van Johannes schreef, handelde ook Galileï gewis verkeerd, toen hij, tegen de eigenlijke verstandelijke richting zijner natuur, en onder den druk van de overhelling zijns tijds tot bovennatuurlijke zaken, noodeloos en nutteloos zijne rust ten offer bracht door zich te mengen in de teedere vraagstukken der theologie, gelijk later, toen de stroom der denkbeelden eene andere richting had genomen, zooveel anderen te vergeefs hunne rust op het spel zetten in de vinnige worstelingen der Staatkunde. Zwakheid van groote geesten, die de hemelstreek, waarin zij als lichten schitteren, moedwillig schijnen te versmaden, om zich te begeven in sferen, waar hun licht taant en die zij nimmer hadden moeten kennen (*).

Dat alles echter, wij moeten 't erkennen, sluit geen vrijspraak in zich voor de bewerkers van de vervolgingen, uitgeoefend tegen een van de eerbiedwekkendste wetenschappelijke personiteiten van de nieuwere tijden. Maar erkennen moeten we 't ook, dat rechters, die de laatste woorden des veroordeelden „*pe pur si muove*” niet wilden hooren, voorzeker minder heftige vervolgers van Galileï moesten zijn, dan zekere voorvechters *quand même* der wegstervende leer van Aristoteles.

563. De kerker van Galileï schijnt slechts een kerker *pro forma* te zijn geweest. — Voor 't overige, de kerker, waartoe Galileï werd veroordeeld en in welken de beroemde grijsaard, ondanks de warme bescherming des groothertogs van Toscane, eenige jaren moest doorbrengen, schijnt niets meer dan een kerker *pro forma* te zijn geweest, zooals dat trouwens duidelijk wordt uitgedrukt door de woorden *formalis carcer*. Want die *carcer* van Aretri bestond uit een groot paleis, omgeven door uitgestrekte tuinen, waar de gekerkerde toegang kon verleenen aan zijne vrienden en aan de bezoekers, die verlangden hunne hulde te komen brengen aan zijne glorie. Daar ontving hij, onder anderen, de afgevaardigden, die hem uit naam der Staten van

(*) Zoo verhaalt men ook, dat de uitstekende Fransche schilder David, die een hoogst middelmatig vioolspeler was, zich er geenszins over belgde als men zijne schilderstukken slecht vond, maar het volstrekt niet kon dulden, dat men zijn talent als toonkunstenaar durfde in twijfel trekken.

Holland, kwamen verzoeken om, ten behoeve der aardrijkskunde en zeevaart, zijne tafels van Jupiter's Wachters te voltooiën. Men gaf hem ten laatste de vrijheid weder, want hij stierf op het land in 1642, zonder dat hij verlof had kunnen bekomen om zich neer te zetten te Florence, waar hij geboren was.

564. **Weerlegging der Samenspraken door Riccioli.** — **Zonderlinge bewijsvoering des schrijvers van den Almagest.** — Ter voltooiing van de voornaamste historische bijzonderheden van het vraagstuk, zal ik nog mededeelen, dat Riccioli de Samenspraken weerleide, maar daarbij soms gebruik maakte van bewijsredenen, die vrij vreemd klinken in den mond van een mathematischen Sterrenkundige. Wilt gij, bij voorbeeld, met Copernicus en Galilei zeggen, dat duizenden Sterren zich dagelijks om ons wentelen met eene regelmaat, hoogst moeielijk te begrijpen bij lichamen, die van elkander onafhankelijk zijn? Dat hunne dagelijksche bewegingen in strikte evenredigheid moeten staan tot den afstand? Dat de grootte der Zon met betrekking tot onzen Aardbol een bijna onweerlegbaar bewijs is voor de beweging van dit laatste lichaam?, enz. Riccioli zal u antwoorden: „hoe moeielijker het valt de beweging des Hemels te verklaren, des te heerlijker openbaart zich Gods grootheid in 't verschijnsel. De voortreffelijkheid van den mensch gaat verre boven die der Zon. 't Zegt weinig voor den mensch, om wiens wille alle dingen geschapen zijn, of duizenden Sterren rondom hem heen rollen, enz. . . .”

Bewijsredenen van zoodanige kracht behoeven op hare beurt geene lange weerlegging. Voorwaar, Lalande gaf later eene heel wat natuurlijker uitlegging van het *Sol, sta* (Zon, sta stil) van Jozua, toen hij herinnerde, dat wij nog heden zeggen: „de Zon gaat op of gaat onder”, ofschoon wij zeer goed weten, dat zij noch op- noch ondergaat. Ik laat dus de Samenspraken en Riccioli varen, om eindelijk over te gaan tot de bewijzen voor de beweging der Aarde.

565. **Bewijzen voor de beweging der Aarde.** — **Dagelijksche rotatie, eerst opgemaakt bij inductie.** — En vragen we dan al dadelijk: wanneer men zich op zulk een eenvoudige wijze rekenschap kan geven van de *dagelijksche* beweging des Sterrenhemels door de wenteling der Aarde rondom eene as, die door 't middelpunt des bols gaat, strookt het dan met de rede aan te nemen, dat de Aarde onbeweeglijk is en dat de gansche Hemel elken dag rondom dit zoo kleine lichaampje draait? De omwenteling der Aarde van het *Westen* naar het *Oosten* zou voor den waarnemer, die van A naar A' werd gevoerd en naar 't onbeweeglijk hemellichaam Z zag (fig. 221), hetzelfde verschijnsel opleveren als voor den onbeweeglijken

waarnemer in A de verplaatsing van het punt Z naar Z' of van het Oosten naar het Westen.

566. — De beide hypothesen geven alzoo volkomen dezelfde uitkomsten. Maar welk eene eenvoudigheid bij de eene, en welk een verwickeld samenstel bij de andere!

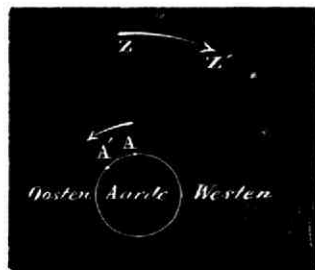


Fig. 221.

Hier miljoenen, of liever duizenden miljoenen mijlen, die de Sterren elken dag te doorloopen zouden hebben; bijgevolg ontzettende centrifugale krachten, waartegen de aantrekkingskracht van een bolletje als onze Aarde op verre na niet kan opwegen. Bijgevolg ook, eene neiging der Hemelbollen om,

gelijk men in de mechanica zegt, volgens de tangens, dat is in eene rechte lijn, te ontsnappen, om zich te gaan verliezen in de diepten van het Uitspansel; en bovendien — daar de Sterren van den eenen dag tot den anderen onderling onveranderlijke standen behouden — eene volmaakte evenredigheid van de snelheden met de afstanden van de wereldas voor de tallooze hemellichamen, die wij zoo regelmatig rondom ons zien wentelen; hetgeen in het samenstel des Heelals eene wonderlijke verwickeling zou brengen.

Daar, eenvoudig eene rotatie-snelheid, die *op zijn hoogst*, dat is voor verschillende punten des *Æquators*, 40 miljoen meters (lengte des omtreks) in 24 uren, of slechts 463 meters in de seconde bedraagt. Daarenboven — wat Copernicus en Galileï niet wisten ofschoon zij 't vermoedden, maar wat door Dominicus Cassini werd ontdekt — rotatie der Planeten, waarvan sommige veel grooter zijn dan de Aarde, met welke zij overigens, gelijk we reeds zagen, zooveel overeenkomst in gesteldheid hebben.

567. — „Wanneer twee tegenovergestelde verklaringen,” zegt Fontenelle, „rekenschap van een feit kunnen geven, weet dan „verzekerd, dat de menschelijke geest doorgaans beginnen zal „met de verkeerde te kiezen.” En voorzeker, wanneer men denkt aan de langdurige populariteit, die Ptolemeus' stelsel mocht genieten, en tevens aan den volhardenden tegenstand, die de leer van Copernicus ondervond, dan schijnt men moeielijk zijnen bijval aan Fontenelle's zonderlinge stelling te kunnen onthouden. Eene maar al te vaak herhaalde tegenwerping schijnt hare geldigheid mede te staven: „Indien de Aarde draaide,” heeft men gezegd, „hoe zou dan een vogel, zoodra hij maar een oog- „blik zijn nest verliet, het ooit weer bereiken kunnen, daar het

„hem toch met zulk een groote snelheid ontvlucht? . . . Waar-
 „om blijft de steen die van den top eens torens, het blad dat
 „van een boom valt, niet ten achteren bij den voet des torens
 „of des booms, daar deze toch door de rotatie des Aardbols zoo
 „snel naar 't Oosten gevoerd worden, enz.?”

Maar 't valt niet moeielijk deze zwarigheden op te ruimen.

Alvorens het zich bewegend lichaam (de steen, het blad, de vogel, enz.) het punt A, den top van een toren of boomtak (fig. 222), verliet, was het, evenals het punt B der Aarde, aangedaan met eene beweging AC, die het van 't Westen naar 't Oosten voerde en die, in verband met de volgens AB werkende zwaartekracht, als resultante de diagonaal AD van het op de beide krachten geconstrueerde parallellogram zal voortbrengen. De steen, het blad, enz. zullen dus in het punt D op den grond aankomen, en dat punt zullen ook te gelijker tijd de voeten van toren of boom bereiken; de vogel zal zich van 't nest niet

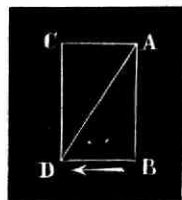


Fig. 222.

verwijderen dan ten gevolge van zijn streven tegen de algemeene beweging, die hem met zijn verblijf meevoerde; en alles zal in schijn hebben plaats gegrepen, als hadde de Aarde niet gedraaid.

Juist hetzelfde neemt men waar, als men uit den mast van een schip, uit een rijtuig, enz. een gewicht laat vallen, of wanneer men op het verdek van een vaartuig eenen bal horizontaal voortstoot, enz. Laat het schip, het rijtuig, enz. in beweging zijn of in rust, het vrijgelaten voorwerp zal, voor den proefnemer, de verticaal schijnen te volgen, want het zal in beide gevallen op dezelfde punten van het schip of het rijtuig te land komen. De voortgedreven bal zal insgelijks alleen aan den ontvangen stoot schijnen te gehoorzamen, enz. Maar een oplettend waarnemer, naar behooren geplaatst buiten de punten der proefneming, zal er zich niet in vergissen; hij zal altijd het vrijgelaten voorwerp de diagonalen zien volgen, welke de resultanten zijn der ingedrukte krachten.

568. **Rotatie door de proefneming bewezen.** — Er is meer, en hier inzonderheid vindt het woord van Fontenelle eene treffende toepassing. De tegenwerping, die men eerst inbracht als een bewijs voor de onbeweeglijkheid der Aarde, heeft ten laatste, na behoorlijk ontleed te zijn, een onwraakbaar bewijs voor de rotatie opgeleverd.

1° **Afwijking der vallende lichamen naar 't Oosten en, voor 't noordelijk halfrond der Aarde, naar 't Zuiden.** — Zij O (fig. 223) het middelpunt der Aarde, A de top en B de voet van eenen toren. Op het oogenblik dat gij in A den steen

aan zich zelve overlaat, heeft hij, indien de Aarde draait, evenals de top des torens, eene beweging AC, die grooter is dan de beweging BD van den voet des gebouws. En het parallellogram

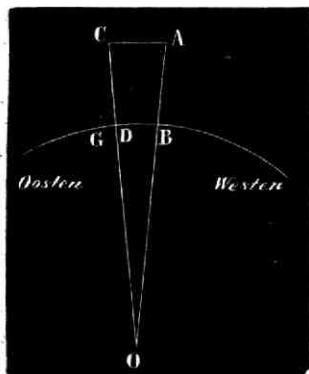


Fig. 223.

der beide krachten AC, AB, waarvan AC de horizontale voortdrijving van het punt A, en AB de verticale uitwerking der zwaartekracht voorstelt, zal uwen steen in het punt G brengen, terwijl de voet des torens niet verder dan tot in D zal komen. Wel verre dus van ten achteren te blijven of westwaarts af te wijken, gelijk men beweerde, moet de steen afwijken naar voren of oostwaarts.

De proefneming heeft beslist. Waarnemingen, te Boulogne door Guglielmini, voorts in Duitschland en Holland door Reich, Beuzenberg, Heyneberger, enz. gedaan, hebben af-

wijkingen opgeleverd, die, naar gelang der valshoogte (78 tot 158 meters), tusschen 11 en 28 strepen begrepen waren. Men heeft zelfs andere afwijkingen (naar 't Zuiden) gevonden, welke niet uit de berekeningen van Laplace en Gauss gebleken waren, maar waarvan Dupré eene volkomen voldoende verklaring heeft gegeven (*). Zoo moesten de schijnbare afwijkingen zelve tot eene nieuwe bevestiging van het te staven verschijnsel strekken.

569. 2^o **Opmerkingen, door Arago ontleend aan de achtereenvolgende voortplanting van het licht.** — Daar het licht een zekeren tijd noodig heeft om de hemelruimten te doorloopen, zien wij de Hemellichamen niet op de plaats waar ze werkelijk zijn, maar op de plaats waar ze zich bevonden, toen de ons bereikende lichtstraal hen verliet. Uitgaande van dit klaarblijkelijk beginsel, maakt Arago de opmerking, dat er, indien het meridiaanvlak des aardschen waarnemers zich niet zelf kwam plaatsen in de richting van den lichtstraal, dat wil zeggen, indien de Aarde niet draaide, alsdan in de *rechte klimmingen* der *Buitenplaneten*, Mars, Jupiter, Saturnus, enz. — wier afstand tot de Aarde, tusschen den samenstand en den tegenstand, verandert met eene grootheid gelijk aan den diameter der aardbaan — ongelijkheden zouden bestaan, die, van den samenstand tot den tegenstand, omtrent 16 minuten 35 seconden konden bedragen. De *rechte klimmingen* van elke der composanten, die

(*) Zie Noot I aan 't einde der Een en twintigste Les.

de veelvoudige Sterren vormen, zouden insgelijks aanmerkelijke ongelijkheden opleveren, voortspruitende uit de afstandsveranderingen tot de Aarde; want eene verwijdering of toenadering slechts ten bedrage van den diameter onzer loopbaan zou in het tijdpoint des doorgangs door den Meridiaan eene verandering van 16 minuten 35 seconden brengen, en zou ons derhalve de verschillende composanten schijnbaar zeer ver van elkander vertoon, ofschoon zij, *hoekswijze*, elkander bijna raken. Daaruit zouden aan den Hemel vreemde zaken geboren worden, die de waarneming voorzeker zou geboekt hebben, maar die zij niet heeft bemerkt (*).

570. 3° Slinger en gyroscoop van Foucault. — Eindelijk gelukte het in 1851 aan Foucault, door middel van eene gemakkelijk te nemen proef, de rotatie-beweging des Aardbols voor het oog merkbaar te maken. Om deze proef te begrijpen, verbeeldt u eerst eenen proefnemer aan de Aardpool zelve, voorzien van twee verticale zuilen *am*, *bn* (fig. 224), waarop de dwarsstang *ab* rust; deze stang draagt den slinger *SG*, verticaal boven de Pool *P*.

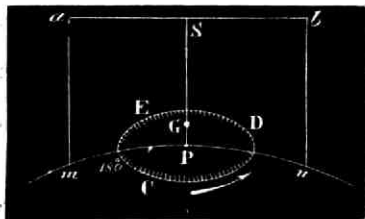


Fig. 224.

Indien de draad *SG* van dezen slinger zeer fijn en zeer buigzaam is, zal de bal *G*, nadat men hem uit zijn evenwichtsstand verwijderd en dan aan zich zelve overgelaten heeft, natuurlijk beginnen te slingeren in 't vlak der eerste verwijdering, in hetwelk twee waarnemers *a* en *b*, buiten den Aardbol in dit vlak geplaatst, hem beurtelings naar zich toe en van zich af zouden zien gaan. Maar voor een waarnemer, daarentegen, op de Aarde geplaatst en met deze draaiende, zouden de verschillende afdeelingen van de horizontale wijzerplaat *CDE* zich achtereenvolgens komen plaatsen in het schommelvlak des slingers, die alzoo tot kenmerk voor de rotatie der Aarde zou dienen en waaraan men deze als 't ware aanschouwelijk zou kunnen gadeslaan.

De eenige zwarigheid, die het recht begrip dezer proef met zich brengt, ontspruit uit de verbinding van het ophangpunt *S* met de Aarde. Bij den eersten opslag is men licht geneigd te onderstellen, dat de draaiing van het raam *maSbn* met onzen

(*) Met dit resultaat, dat, naar de afstandsveranderingen, kennelijk eene fout van 24 wren op de rechte klimmingen zou kunnen te weeg brengen, moet men niet verwarren het verschijnsel, dat wij eertlang onder den naam van *aberratie* zullen behandelen, en dat op de standen der Sterren slechts eenen invloed heeft van *hoogstens* 20",5.

Bol ook het schommelvlak des slingers moet met zich voeren. Maar bij een weinig nadenken zal men weldra inzien, dat kleine omdraaiingsdeelen geheel en al zonder invloed zijn op de *wringing* van een langen draad, en op geenerlei wijze de richting kunnen wijzigen, waarin de zware bol aan 't einde van dezen draad schommelt.

Verplaatst nu den slinger onder den *Æquator*. Dáár zal, de schommeling moge van *Noord* naar *Zuid*, van *Oost* naar *West*, of in daartusschen liggende richtingen plaats hebben, het schommelvlak altijd onveranderlijk blijven met opzicht tot den op de Aarde zelve geplaatsten waarnemer. Gij zult u daarvan gemakkelijk overtuigen door deze eenvoudige opmerking, dat aan de *Noordpool* de rotatie (van *West* naar *Oost*) het horizontale wijzerbord, met betrekking tot het schommelvlak, van de rechter- naar de linkerzijde van eenen op dat bord geplaatsten beschouwer medevoert; terwijl aan de *Zuidpool* daarentegen het bord zich van de linker- naar de rechterzijde beweegt. Hieruit moet volgen, dat op de tusschenliggende plaats, onder den *Æquator*, de betrekkelijke standen van het wijzerbord en het schommelvlak niet zullen veranderen.

Plaatsst u eindelijk onder eene breedte naar welgevallen tusschen de Pool en den *Æquator*, en onderstelt, ter vereenvoudiging, dat gij uwen slinger begint te doen schommelen in het vlak zelf van den Meridiaan volgens den boog *ab* (fig. 225),

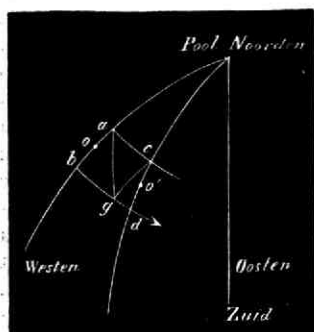


Fig. 225

terwijl de voet der verticaal in *o* is. Wanneer nu de bol des toestels eerst eene kleine poos onbeweeglijk is gehouden op het punt *a*, welks rotatie-snelheid zij derhalve zal aangenomen hebben, is het niet duidelijk dat deze bol, aan zich zelve overgelaten zijnde, gedrongen zal worden om terzelfder tijd en den parallelboog *ac* en den meridiaanboog *ab* te doorloopen? Terwijl de Meridiaan *Pab* den stand *Pcd* gaat innemen, zal de slinger dus de diagonaal van het op *ac* en *ab* geconstrueerde parallellogram *abgc* volgen. Derhalve zal dan ook de bol belanden in het punt *g*, een weinig ten *Westen* van het punt *d* gelegen, omdat de boog *bd*, door het divergeeren der Meridianen naar den *Æquator*, grooter is dan de boog *ac*.

Wanneer de bol des slingers niet van het punt *a*, maar van het punt *b* uitging, zou het u, aangezien de rotatie-snelheid van

dit tweede punt grooter is dan die van het eerste, volgens eene soortgelijke redeneering als de vorige blijken, dat de beschreven boog bh (fig. 226) zou zijn, welks noordeinde h oostwaarts van 't punt c afwijkt.

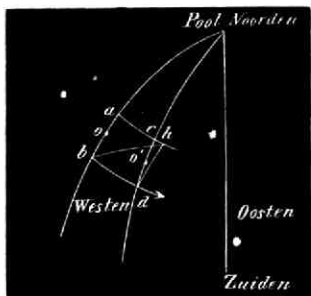


Fig. 226.

571. In plaats van eenen slinger heeft Foucauld later, ten einde een onveranderlijk vlak van vergelijking te hebben, den toestel gebruikt, dien hij *Gyroscop* heeft geheeten, en die, van al zijne bijzaken ontdaan, bestaat uit den ring met cirkelvormige dwarsnede *omn* (fig. 227), dien men naar welgevallen door

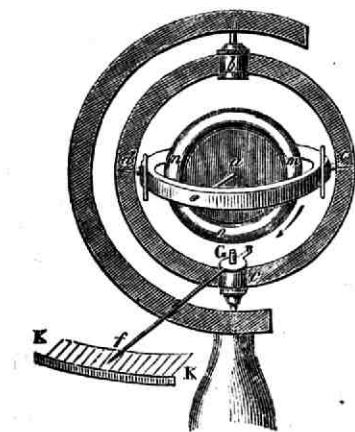


Fig. 227.

een boog fK zal glijden door de verplaatsing van dien boog met den horizon.

(*) Zie Noot II, aan het einde der Een en twintigste Les.

572. „Men moge praten wat men wil,” zeide Mercier, lid der Fransche Academie, „men zal mij nimmer doen gelooven, dat ik draai als een hoen aan 't spit.” Tegenwoordig zou het Academielid van 1814 gewis zulk eene taal niet durven voeren bij de menigvuldige *materiële* bewijzen; want als hij met eigen oogen de beweging zag plaats hebben, zou hij wel genoodzaakt wezen, zijns ondanks te erkennen: „*inderdaad, ik draai!*”

NOOT I.

573. Zij AZ (fig. 228) de richting der zwaartekracht; AV de verticaal, gewij-

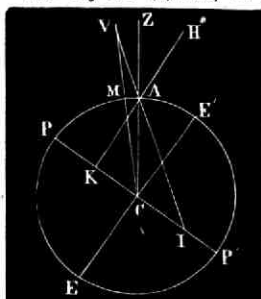


Fig. 228.

zigd door de centrifugale kracht AH; VC de richting der aardaantrekking op het uit het punt V vallende lichaam. Dit lichaam, onderworpen aan de tangentiale kracht en ook aan de aantrekkingskracht VC, zal zich bewegen in het vlak VMC der beide krachten, perpendicular op den Meridiaan PAP'.

Nu snijdt, volgens Dupré, het vlak van den grooten cirkel VMC de parallel AK in het punt, waar het in 't luchtledige uit V vallende lichaam de Aarde zou ontmoeten. En daar de valtijd in de lucht langer is dan die in 't luchtledige, de horizontale snelheid behouden blijvende, zal het lichaam, dat in het vlak van den grooten cirkel VMC valt, naar 't Oosten aankomen in het vlak VMGBC (fig. 229) van den cirkel VMC der fig. 228, een weinig verder in N dan het snijpunt B van den grooten cirkel en de parallel, bijgevoelgen zuiden van de parallel GAB, waarop de voet staat des verticalen torens, van welks top het lichaam gevallen is. Vandaar de in Duitschland waargenomene afwijkingen naar het Zuiden.

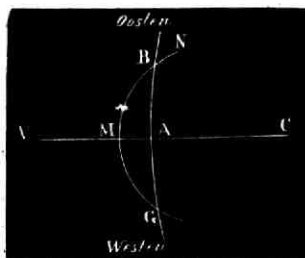


Fig. 229.

AV (fig. 228) geworpen wordt, dan werken op dit lichaam de zwaartekracht AC en de aanvankelijke snelheid AV. Het neigt gevolgelyk naar AM, en die neiging

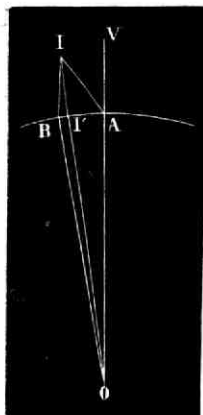


Fig. 230

zal opwegen tegen de scheiding van de intersectiën der aardoppervlakte door de vlakken AV. AK; eenescheiding, die het in 't vlak AV vallende lichaam verre ten Zuiden van de parallel AK zou voeren.

Wat de afwijking naar het Westen betreft, zij zal buitengemeen groot zijn krachtens de wet der vlakte-uitgebreidheden, die evenredig moeten zijn aan den tijd, gelijk bij de beweging der Planeten met betrekking tot de Zon. De hoek AOI (fig. 230), overeenkomende met de vlakte-uitgebreidheid, die het bewegend lichaam gedurende de opstijging beschrijft, is kennelijk kleiner dan de hoek AOB, die beantwoordt aan de gelijkwaardige vlakte-uitgebreidheid, welke het punt A beschrijft, van waar het lichaam is uitgegaan. Met de nederdaling zal het eveneens gesteld zijn, en als het lichaam weder op Aarde valt, zal het ten achteren of ten *Westen* zijn van de plaats, die het punt A is komen innemen, ten bedrage van eenen hoek gelijk aan het dubbele van BOI' en BOI.

NOOT II.

574. Zij ω de rotatie-snelheid der Aarde, λ de breedte van het punt a (fig. 231) ($-\lambda$) het verschil der breedten van a en b , eindelijk R de aardstraal en $R \cos \lambda$ de straal der parallel ac ; de rotatie-hoek baf in de tijdseenheid wordt gegeven door de vergelijking

$$\sin baf = baf = \frac{bf}{ab} = \frac{d \cdot ac}{ab} = \frac{d \cdot R \cos \lambda}{-R d \lambda} = \frac{-R \omega \sin \lambda d \lambda}{-R d \lambda} = \omega \sin \lambda;$$

zijnde ac de parallelboog, die aan de tijdseenheid beantwoordt.



Fig. 231.

Aan de Pool, waar $\sin \lambda$ gelijk is aan de eenheid, zou de rotatie-hoek ω zijn. De rotatie-snelheid, en bij gevolg de voor een geheele omdraaiing gebezigde tijd, veranderen dus in verhouding tot den sinus der breedte.

Merkt daarbij op, dat bij de dalende schommeling ab (fig. 225) het vlak der diagonaal ag , gevolgd door den slinger, zich altijd ten *Westen* van den voet O der verticaal zal bevinden; dat het daarentegen steeds ten *Oosten* zal zijn bij de opgaande schommeling bh (fig. 226). Dit vlak zal dus zelf nu eens van *West* naar *Oost*, dan weer van *Oost* naar *West* willen schommelen; hieruit zullen voor den bol des slingers snelheden ontstaan, die samengesteld zijn uit twee andere, parallel aan en loodrecht op den meridiaan; en vandaar voorzeker de elliptische schommelingen, door verschillende waarnemers opgemerkt, maar tot dusverre, zoo ik 't wel heb, niet verklaard.

Men kan voor 't overige de hoeksnelheid van horizontale rotatie langs andere methoden bekomen, onder anderen door het beginsel van de ontbinding der snelheden, geheel overeenkomende met die van het parallellogram der krachten, en hierin bestaande: wanneer de rotatie-snelheid rondom de as PP' (fig 232) wordt voorgesteld door ω , dan zijn de componenten van deze snelheid, rondom twee rechthoekige lijnen AO en Od , getrokken door het middelpunt der Aarde in den Meridiaan PAP' , respectievelijk gelijk aan

$$\omega \cos AOP = \omega \sin \lambda \text{ en } \omega \cos Pod = \omega \cos \lambda.$$

Nu is, voor het punt A , de rotatie om Od , perpendicular op OA , kennelijk zooals de rotatie van OP voor den $\text{\AA}equator$, dat is zonder invloed op het schommelvlak des slingers. Er blijft dus, met opzicht tot dit vlak, niets over dan de rotatie om AO , of de component $\omega \sin \lambda$, zooals boven. De andere component der rotatie om Od zou dienen om reenschap te geven van de elliptische slingeren, voort-

spruitende uit de verplaatsing van den voet der verticaal des slingers met betrekking tot het schommelvlak.

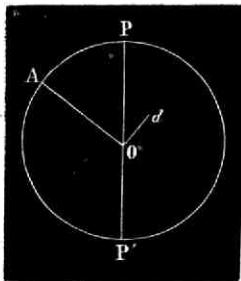


Fig. 232



TWEE EN TWINTIGSTE LES.

Voortgaande beweging der Aarde in de ruimte.

Voortgaande beweging der Aarde in de ruimte, bewezen door het verschijnsel bekend onder den naam van aberratie of afdwaling des lichts. — Aberratie-hoek. — Aberratie eener Ster gelegen aan de Pool der Ecliptica. — Het verschijnsel is geen uitwerksel der parallax. — Aberratie eener Ster gelegen in het vlak der Ecliptica. — Aberratie eener Ster gelegen tusschen de Ecliptica en de pool van dit vlak. — Algemeene formule van aberratie. — Aberratie in lengte. — Aberratie in breedte. — Aberratie in rechte klimming. — Aberratie in afwijking. — Bepaling der *constante* of standvastige grootheid. — Aberratie der Zon. — Aberratie der Planeten en Kometen. — Dagelijksche aberratie in rechte klimming. — Dagelijksche aberratie in poolsafstand. — Betrekkingen tusschen de aberratie en de jaarlijksche parallax. — Nutatie. — Het historische daarvan. — Geometrische ontleding van het verschijnsel. — Berekening van de uitwerkselen der nutatie op de coördinaten der Sterren. — Voorloopige bepalingen: — 1^o Verandering der schuinschheid ω . — 2^o Verandering der lengte Ω van den knoop. — 3^o Verandering der nachteveningspunten. — De uitwerkselen der nutatie zijn in lengte nul, en in breedte dezelve voor al de Sterren. — Uitwerkselen der nutatie in rechte klimming en in declinatie. — Wijzigingen, in de voorgaande theorie te brengen. — Maximum en minimum der nutatie. — Bepaling der constanten

575. Voortgaande beweging der Aarde in de ruimte, bewezen door het verschijnsel, bekend onder den naam van aberratie of afdwaling des lichts. — Wij hebben reeds (achttiende Les, §§ 448 en 449) doen zien, dat de loop der Aarde om de Zon, of het stelsel van Copernicus, en de loop der Zon, met de Planeten in haar gevolg, om de Aarde, dat is het stelsel van Tycho-Brahé, beide evenzeer voldoen aan de verschillende verschijnselen bij de planetenbewegingen. Doch, reeds de kleinte der Aarde met betrekking tot de Zon moet een sterk vermoeden van onbeweeglijkheid voor dit laatste Hemellichaam doen opkomen (*); en evenals de Copernici der eerste tijden zouden wij daaruit, zonder andere gegevens, tot de beweging der Aarde kunnen besluiten. Maar wij steunen, sedert meer dan eene eeuw, op iets beters dan loutere gevolgtrekkingen; want de bewonderenswaardige nasporingen, door Bradley van 1725 tot 1728 volbracht, betreffende de kleine verplaatsingen der Sterren, zijn voor den loop der Aarde in de ruimte eenigermate de tegenhanger van Foucault's nasporingen aangaande hare wente-

(*) Het spreekt van zelf, dat ik hier geen acht sla op de algemeene beweging, die de Zon met hare Planeten naar het sterrenbeeld van Hercules voert.

ling om eene as geworden, en vergunnen ons, om zoo te zeggen, dien loop in de ruimte gade te slaan.

Begeert gij een juist denkbeeld van Bradley's ontdekking?

Onderstelt eene rechte buis, waarin op dezelfde verticaal twee gaten A, B (fig. 233) zijn geboord, en laat door het gat A een knikker vallen. Deze knikker zal natuurlijk, ingeval de buis onbeweeglijk blijft, door het gat B moeten heen gaan.

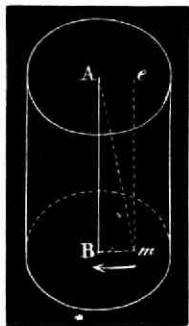


Fig. 233.

Maar wanneer de buis, in plaats van onbeweeglijk te zijn, parallel aan den horizon in de richting mB voortschuift, dan zal de knikker, om de buis te verlaten, eene andere opening m , achter het punt B gelegen, moeten vinden, zoodat de buis den afstand mB doorloopt in denzelfden tijd, dien de knikker gebruikt om verticaal de hoogte AB te doorloopen.

576. — Vervangt nu den knikker door eenen lichtstraal, die volgens de richting AB invalt, neemt voor de buis eenen verrekijker, en onderstelt dat de Aarde eene lengte mB loodrecht op den lichtstraal AB doorloopt, en gij zult dan de richting mA hebben, waarin de optische as van den kijker geplaatst moet worden, om naar de Ster te zien, waarvan de lichtbundel AB uitgaat.

Aberratie-hoek. — 't Is alzoo niet rechtstreeks naar de Ster, of volgens de lijn me , parallel aan BA, dat gij, ingeval de Aarde zich beweegt, uwen kijker moet richten, maar volgens de lijn mA , die eenigszins helt in de richting van uwe eigene beweging en met me den hoek emA maakt, dien men *aberratie-hoek* noemt. De waarde van dien hoek hangt klaarblijkelijk af van de verhouding tusschen de snelheid van de Aarde en de snelheid van het licht (*). Zij is gemiddeld gelijk aan $20''{,}44$.

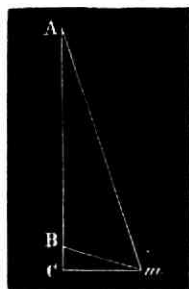


Fig. 234.

577. — Ingeval de beweging der Aarde schuins op den van de Ster komenden lichtstraal mocht zijn, dat is ingeval de Ster, in plaats van op 90° breedte (pool der Ecliptica) (noot van § 127) te staan, eene andere breedte mocht hebben, zou men weder zeer gemakkelijk den aberratie-hoek mAB (fig. 234) vinden.

(*) Neemt men de lengten mB , AB voor de snelheden v , v' van de Aarde en het licht, hetgeen men altijd kan doen, omdat de tijdseenheid willekeurig is, dan zal men voor den aberratie-hoek α hebben:

$$\text{tang } (\alpha = emA = mAB) = \frac{mB}{AB} = \frac{v}{v'}$$

Daartoe toch zou men slechts de snelheid mB des waarnemers behoeven te projecteeren volgens de perpendicular mC op den lichtstraal AB , om onmiddellijk tot de waarde van dien hoek te geraken, die kennelijk kleiner dan in 't voorgaande geval zou wezen, en die zelfs geheel en al nul zou worden, indien de Aarde zich volgens de richting AB naar de Ster heen bewoog of zich van haar verwijderde, omdat alsdan de *schijnbare* plaats der Ster met hare *ware* plaats samenvloeit (*).

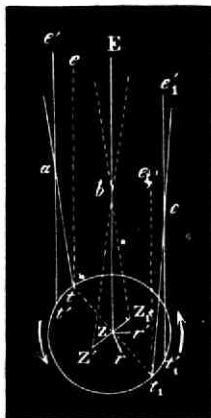


Fig. 235.

578. — Passen wij de voorgaande beschouwingen op het sterrengekwelf toe, dan zullen wij inzien, dat het moet schijnen alsof de Sterren aan de Pool E (fig. 235) der Ecliptica, dat is op de perpendicular ZE , die uit het middelpunt zelf der Zon op dit vlak getrokken wordt, ieder jaar (afgezien van de ellipticiteit der aardbaan) een kleinen cirkel van $20'',44$ straal beschrijven; want als de Aarde t de ruimte tt' aflegt, terwijl het van de Ster afkomend licht den afstand at' doorloopt, dan zullen wij de Ster volgens de richting ta en niet volgens te zien. Bevond de Aarde zich in t_1 , zoo zouden wij dezelfde Ster volgens t_1c , en niet volgens t_1c' , parallel aan te , bespeuren, enz. (+).

Aberratie van eene Ster gelegen aan de pool d'ér Ecliptica. — Daar nu de afmetingen van de loopbaan der Aarde onbeduidend zijn met betrekking tot den afstand der Sterren, zoo zal het, indien men zich de Aarde in 't middelpunt dier baan verplaatst denkt, voldoende zijn, om de achtereenvolgende richtingen te bekomen, waarin de Ster gezien zal worden, dat men op de perpendicular ZE eene lengte Zb neemt, gelijk aan de snelheid van het licht, vervolgens uit het punt Z lijnen ZZ' , ZZ'' ,

$$(*) \text{ Tang } \alpha = mAB) = \frac{mC}{AC} = \frac{mB \cdot \sin mBC}{AB + BC} = \frac{u \sin mBC}{v + u \cos mBC} = \frac{u}{v} \sin mBC$$

zeer klein (omtrent een tienduizendste), uithoofde van de geringe snelheid u der Aarde bij de snelheid v van het licht; en als men door I de helling mBA van de beweging der Aarde op de richting van den lichtstraal uitdrukt (zijnde $\sin mBA$ gelijk aan $\sin mBC$), dan heeft men

$$\text{tang } \alpha = \frac{u}{v} \sin I;$$

eene algemeene formule, die aantoonst, dat $\text{tang } \alpha$ eerst toeneemt van 0 tot $\frac{u}{v}$ voor de waarden van I begrepen tusschen 0 en 90 graden, en dan afneemt van $\frac{u}{v}$ tot 0 voor de waarden van I , die van 90 tot 180° loopen.

(+) Daar de jaarlijksche parallax of de afmetingen der aardbaan niet in aanmerking komen, zijn de lijnen te , t_1a' , t_1c_1 , t_1c_1' onderling en met de lijn SE evenwijdig.

Zr , Zr' , enz. trekt, respectievelijk gelijk en parallel aan de snelheden tt' , t_1t_1' , enz., van de Aarde in hare baan, om eindelijk de uiteinden dezer verschillende lijnen in het punt b te vereenigen; hierdoor zal (daar wij de ellipticiteit onzer loopbaan wegdenken, in welk geval de snelheid der Aarde gelijkmatig wordt) een rechte kegel met cirkelvormige basis ontstaan, wiens opening $Z'bZ_1$, het dubbel van $Z'bZ$ of van $20'',44$, gevolgelijk de waarde van $40'',88$ zal hebben en op welks zijden de Ster zich achtereenvolgens zal vertoonen. Deze Ster zal dus eenen cirkel, als doorsnede van den rechten kegel en de hemelsfeer, schijnen te beschrijven; en dat is ook werkelijk de uitkomst, die Bradley door zijne waarnemingen verkreeg.

579. **Het verschijnsel is geen uitwerksel der parallax.** — Merkt daarbij tevens op, dat deze uitkomst niet aan de parallax kan toegeschreven worden; want zij ontstaat juist in een vlak $Z'Z_1b$, parallel aan tt' of aan t_1t_1' , en loodrecht op het vlak tt_1b , waarin de parallax werkt. Deze wil steeds de Ster naar de Zon projecteeren, terwijl de aberratie haar integendeel projecteert loodrecht op den voerstraal of als tangens aan de loopbaan der Aarde.

580. **Aberratie eener Ster gelegen in het vlak der Ecliptica.** — Onderstelt eindelijk eene Ster gelegen in het vlak der Ecliptica. Gij zult gemakkelijk inzien, dat de aberratie alsdan eenvoudig een kleine boog van $40'',88$ wordt. Want uit de beide punten t en t_1 (fig. 236), waar de richting van de beweging der Aarde juist

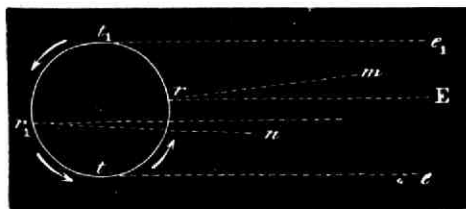


Fig. 236.

op de Ster uitkomt, zult gij deze Ster bemerken op de plaats zelve waar zij staat; terwijl gij, na òf in r òf in r_1 gekomen te zijn, haar verplaatst zult zien, in 't eerste geval naar m , in het tweede naar n , $20'',44$ ter rechter- of ter linkerzijde van hare ware plaats. Hieruit blijkt dan klaar, dat de Ster, zonder het vlak der Ecliptica te verlaten, jaarlijks eene schommeling van $40'',88$ schijnt te maken.

581. **Aberratie eener Ster gelegen tusschen de Ecliptica en de Pool van dit vlak.** — Onderstelt eindelijk de Ster op deze of gene breedte, en gij zult voor de jaarlijksche schijnbare kromme lijn eene ellips vinden, op de hemelsfeer voortgebracht door den kegel, die nu schuinsch is, doch steeds met cirkelvormige basis, en die ontstaat, gelijk in 't geval waarbij de

Ster op 90° breedte was, uit de verplaatsing der opeenvolgende snelheden van de Aarde rondom het middelpunt zelf der Ecliptica. De groote as der ellips zal klaarblijkelijk altijd gelijk zijn aan $40'',88$, welke waarde geleverd wordt door de standen t, t_1 (fig. 237), welke de waarnemer inneemt wanneer de Aarde zich

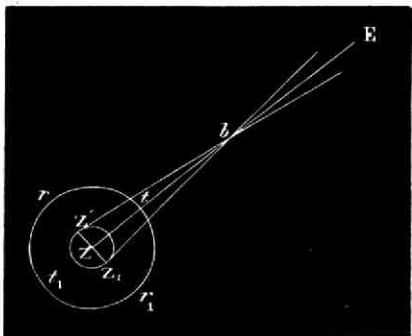


Fig. 237

parallel beweegt aan lijnen Z, Z, ZZ' , die perpendicular zijn op den gezichtsstraal ZbE ; en de kleine as, aangegeven door de punten r, r_1 , waarin onze beweging volbracht wordt onder den kleinst mogelijken hoek met den gezichtsstraal, zal, volgens de breedte der Ster, veranderen tusschen de uiterste grenzen 0 en $40'',88$, waarvan de eerste aan de breedte nul, de andere aan

de breedte van 90 graden beantwoordt (*).

582. Ziedaar de voornaamste verschijnselen, die, wanneer de Aarde om de Zon loopt, moeten volgen uit het verband van onze eigen beweging met den voortgaanden loop van het licht. De waarneming bevestigt te dezen opzichte geheel en al, wat de theorie leert; en 't is eene groote eer voor Bradley, dat hij, te midden van talrijke oorzaken van misvatting, de regelmaat der jaarlijksche bewegingen van aberratie heeft weten te onderkennen. Ofschoon het verschijnsel, op het eerste gezicht, moeilijker valt te staven dan de overgang van het schommelvlak in de verschillende azimuths, volgt het echter met volkomen klaarblijkelijkheid uit de opletende beredeneering der waarnemingen; en de standvastige overeenstemming van de waarneming met de berekening, wanneer men òf de *ware*, òf de *schijnbare* plaats der Sterren, de eene door de andere, bepaalt, wordt voor het verstand een even tastbaar bewijs, als zulks voor het oog de proef met den slinger of met den gyroscop is (†).

(*) Daar de groote as $40'',88$ is, diameter van de cirkelvormige basis des kegels, zal de kleine as klaarblijkelijk de projectie van dien diameter, loodrecht op den gezichtsstraal, wezen. Duidt men door λ de breedte der Ster aan, dan zal men $40'',88$ op λ hebben voor de kleine as, wier uiterste waarden (0 en $40'',88$) werkelijk zullen overeenkomen met $\lambda = 0$, en $\lambda = 90$.

(†) Daar men den aberratie-hoek als ook de snelheid des lichts gemakkelijk rechtstreeks kan bekomen, zoo zal het, als deze bepaald zijn, gemakkelijk vallen, daaruit onmiddellijk de snelheid van de beweging der Aarde in de ruimte en gevolgelijk de lengte van den omtrek der baan, die wij in een jaar doorloopen, af te leiden. Hieruit zal men, gelijk Foucault onlangs gedaan heeft, den straal dier baan, of de parallax der Zon, kunnen vinden.

583. — Noch de rotatie-beweging, noch de voortgaande beweging onzer Aarde kunnen alzoo voortaan redelijkerwijs in twijfel worden getrokken; en de Aardbol, die vermeende koning van 't Heelal, nu beroofd van zijn oud gezag, is niets meer dan een nederig *vazal*, verwezen tot bijna den minsten rang onder lotgenooten, die met hem veroordeeld zijn steeds rondom de Zon te loopen (*).

(*) Zie de volgende noten over de aberratie en de nutatie.

NOOT I.

OVER DE ABERRATIE OF AFDWALING DES LICHTS.

Ziehier, volgens Delambre, een zeer eenvoudige manier om de uitwerkselen van de aberratie op de coördinaten (lengte, breedte, rechte opklimming en declinatie) der Sterren te berekenen.

381. **Algemeene formule van aberratie.** — Zij B'B (fig. 238) de Ecliptica; IS een of andere groote cirkel, gaande door de ster S en snijdende de Ecliptica in I; en Aa den door de Aarde afgelegden weg in den tijd (493,2 s. volgens Delambre, 497,8 s. volgens Struve). dien het licht gebruikt om van de Zon tot ons te komen. Trekken we uit A en a de grootte-cirkelbogen Am, am loodrecht op den boog IS, alsook de sinussen dezer bogen AM₁, am₁, wordende de gemiddelde afstand van de Aarde tot de Zon tot straal van de hemelsfeer of tot eenheid genomen. Zij daarenboven de kleine-cirkelboog AG parallel aan het vlak van IS, en Au eene parallel aan de rechte lijn M₁m₁.

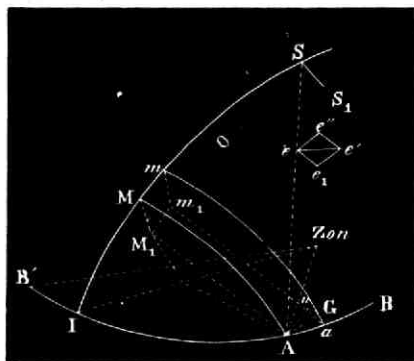


Fig. 238.

Neemt men op de lijn AS, die de Aarde met de Ster verbindt, eene lengte Ae, gelijk aan den straal der hemelsfeer, en trekt men door het punt e de lijnen ee', ee'', ee'', respectievelijk gelijk en parallel aan Aa, Au, au, dan vertegenwoordigen deze lijnen kennelijk: de eene de geheele aberratie der Ster, de beide andere de composanten der aberratie, parallel aan en loodrecht op het vlak IS. Men zal dus voor de laatste hebben:

$$au = dAM_1 = d \text{ (distantie van de } \delta \text{ tot het vlak IS).}$$

Daar de driehoek AIM_1 rechthoekig is in M_1 , en de hoek AIM_1 van dezen driehoek gelijk is aan den hoek ($AIM = I$) van den sferischen driehoek AIM , zoo is het duidelijk dat AM_1 gelijk is aan $Ai \cdot \sin I$. Daar tevens de rechthoekige driehoek ZAi ons geeft:

$$Ai = AZ \cdot \sin AZi = AZ \cdot \sin AZI = R \cdot \sin AZI,$$

zijnde R de voerstraal der Aarde, zoo komt er ten slotte:

$$AM_1 = Ai \cdot \sin I = R \cdot \sin I \cdot \sin AZI.$$

$$tu = dAM_1 = d(R \cdot \sin I \cdot \sin AZI)$$

$$= dR \cdot \sin I \cdot \sin AZI + R \cdot \sin I \cdot \cos AZI \cdot dAZI;$$

want R en AZI veranderen alleen ten gevolge van de verplaatsing der Aarde.

Drukken we door ϑ de ware anomalie (afwijkingshoek) der Aarde uit, gerekend hetzij van 't perigæum, hetzij van 't apogæum B' , zoo hebben wij

$$AZI = \vartheta - \text{const } IZB'.$$

Hieruit vinden we $dAZI = d\vartheta$, en gevolgelijk

$$au = dR \cdot \sin I \cdot \sin AZI + Rd\vartheta \sin I \cdot \cos AZI,$$

of eenvoudiger, wanneer wij den hoek AZI door den boog AI uitdrukken,

$$au = dR \cdot \sin I \cdot \sin AI + Rd\vartheta \cdot \sin I \cdot \cos AI,$$

eene uitdrukking, waarin wij de waarden van dR en $Rd\vartheta$, voortkomende uit de elliptische beweging, moeten substitueeren.

Om deze waarden te bekomen, duiden we door e de excentriciteit der aardellips aan, welker halve groote as de eenheid zal zijn; door A den duur van de siderische omwenteling der Aarde; eindelijk door n de gemiddelde hoekige beweging $\frac{2\pi}{A}$. De elliptische beweging en de wet der vlakke-uitgebreidheden zullen geven, naargelang men de anomalieën van het perigæum of van 't apogæum af telt,

$$R = \frac{1 - e^2}{1 \pm e \cos \vartheta}$$

$$R^2 d\vartheta = \frac{2\pi \sqrt{1 - e^2}}{A} da = nda \sqrt{1 - e^2};$$

waaruit

$$Rd\vartheta = \frac{nda \cdot \sqrt{1 - e^2}}{R};$$

waaruit ook, met eene meer dan voldoende benadering,

$$dR = \pm e \sin \vartheta d\vartheta$$

$$\begin{aligned} Rd\vartheta &= \frac{nda \cdot \sqrt{1 - e^2} (1 \pm e \cos \vartheta)}{1 - e^2} = nda (1 \pm e \cos \vartheta) (1 - e^2)^{-\frac{1}{2}} \\ &= nda (1 \pm e \cos \vartheta) \left(1 + \frac{1}{2} e^2\right) \\ &= nda \left[\left(1 + \frac{1}{2} e^2\right) \pm \left(1 + \frac{1}{2} e^2\right) e \cos \vartheta \right]. \end{aligned}$$

Dit zijn de grootheden, die in au gesubstitueerd moeten worden; zijnde de gemiddelde beweging nda in den tijd da , dien het licht besteedt om van de Zon tot ons te komen, volgens Delambre gelijk aan $20'',25$, en volgens Struve aan $20'',445$.

Berekenen we nu de waarden van I en van IA voor de verschillende cirkels SI , perpendicular op welke cirkels wij de aberratie willen vinden.

585. **Aberratie in lengte.** — Zij de hoek I gelijk aan 90 graden; IS zal de breedte der Ster, IA de lengte der Aarde min die der Ster, $= \delta - S$, zijn. En daar de lengte der Aarde altijd gelijk is aan de lengte \odot der Zon, vermeerderd met 180 graden,

gelijk men zich gemakkelijk daarvan overtuigen kan door de beide constructiën

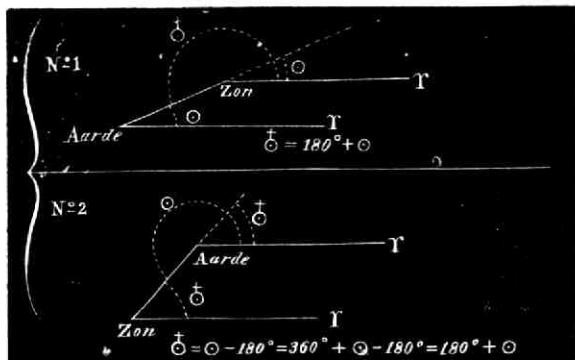


Fig 239.

van fig. 239, waarin de voerstraal, uit de Aarde naar de Zon getrokken, met de evenachtslijn, van welke de lengten geteld wordt, eenen hoek maakt, die nu eens kleiner, dan weder grooter dan 180 graden is, zoo kan men \ominus vervangen door $180^\circ + \odot$, ten einde \odot op te zoeken in de astronomische tafels, die \ominus niet aangeven. De waarde van au wordt dan:

$$\begin{aligned} au &= \text{aberratie perpendicular op den breedtecirkel SI} \\ &= \text{aberratie parallel aan de Ecliptica} \\ &= dR \sin (180^\circ + \odot - S) + Rd\vartheta \cos (180^\circ + \odot - S). \end{aligned}$$

Om deze waarde, die tot de streek der Ster behoort, tot de Ecliptica te herleiden, heeft men haar kennelijk slechts te deelen door den cosinus der breedte; want men heeft (fig. 240) $\frac{SS_1}{II_1} = \frac{R \cos \lambda}{R}$, zijnde λ de breedte IS der Ster.

Hieruit krijgt men

$II_1 =$ aberratie in lengte geteld op den cirkel zelve der Ecliptica.

$$\begin{aligned} &= \frac{SS_1}{\cos \lambda} = \frac{au}{\cos \lambda} = \frac{dR \cdot \sin (180^\circ + \odot - S)}{\cos \lambda} + \frac{Rd\vartheta}{\cos \lambda} \cos (180^\circ + \odot + S) \\ &= \frac{dR}{\cos \lambda} \sin (S - \odot) - \frac{Rd\vartheta}{\cos \lambda} \cos (S - \odot). \end{aligned}$$

586. **Aberratie in breedte.** — Onderstellen we nu, dat de cirkel IS van fig. 240 loodrecht zij op den breedtecirkel, die door de Ster S gaat, zoo is het duidelijk, dat alsdan het punt I de pool van dezen grooten breedtecirkel zal zijn, en dat de hoek I de breedte λ der Ster tot maat zal hebben. De loog IA zelf zal gelijk zijn aan de lengte der Aarde min de lengte van het punt I; en daar de lengte van het punt I gelijk is aan de lengte der Ster min 90° , $S - 90^\circ$, zoo zal er komen

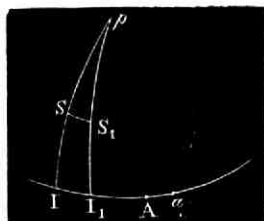


Fig 240.

$$\begin{aligned} IA &= \zeta - (S - 90^\circ) = (180^\circ + \odot) - (S - 90^\circ) \\ &= 270^\circ + \odot - S = 360^\circ + \odot - S - 90^\circ = \odot - S - 90^\circ \end{aligned}$$

waaruit volgt, omdat $I = \lambda$ is,

au = aberratie in poolsafstand van de Ecliptica (omdat de Ster met die grootheid van S naar S_1 schijnt te dalen)

$$\begin{aligned} &= dR \sin \lambda \cdot \sin (\odot - S - 90^\circ) + Rd\vartheta \sin \lambda \cdot \cos (\odot - S - 90^\circ) \\ &= -dR \sin \lambda \cdot \cos (\odot - S) + Rd\vartheta \sin \lambda \cdot \sin (\odot - S). \end{aligned}$$

En gevolglijk, omdat het effect in breedte klaarblijkelijk het omgekeerde is van het effect in poolsafstand:

aberratie in breedte = $dR \sin \lambda \cos (\odot - S) - Rd\vartheta \sin \lambda \sin (\odot - S)$.

387. **Aberratie in rechte opklimming.** — Zij nu (fig. 241) $\vee B$ de Ecliptica; $\vee c$ de Aequator; P de pool der wereld; Pc, Pb de declinatiecirkels, die door de ware en schijnbare plaatsen S, S_1 der Ster gaan; zijnde S_1 de plaats, waar de aberratie in RO de Ster zou voeren. Daar SS_1 de aberratie in de parallel is, zal $\frac{SS_1}{\cos D}$ (zijnde D de declinatie der Ster) de aberratie cb zijn, geteld op den Aequator; en stelt men in de boven gevondene algemeene formule voor IA de waarde $(\vee A - \vee I)$ in de plaats, dan zal men hebben

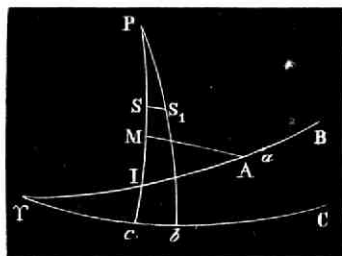


Fig. 241.

SS_1 = de waarde au der fig. 239

$$\begin{aligned} &= dR \sin I \cdot \sin (\vee A - \vee I) + Rd\vartheta \sin I \cdot \cos (\vee A - \vee I) \\ &= dR \sin I \cdot \sin \vee A \cos \vee I - dR \sin I \cdot \cos \vee A \cdot \sin \vee I \\ &\quad + Rd\vartheta \sin I \cdot \cos \vee A \cdot \cos \vee I + Rd\vartheta \sin I \cdot \sin \vee A \cdot \sin \vee I. \end{aligned}$$

Nu heeft men in den rechthoekigen driehoek $\vee Ic$ $\sin I \cdot \sin \vee I = \sin \vee c = \sin RO$; want $\vee c$ is de rechte opklimming (RO) van de Ster. Deze waarde van $\sin I \cdot \sin \vee I$ gebracht in de vergelijking

$$\sin I \cdot \cos \vee I = \sin I \cdot \sin \vee I \cdot \cotang \vee I,$$

geeft $\sin I \cdot \cos \vee I = \sin RO \cdot \cotang \vee I$; en wegens $\cotang \vee I = \cotang \vee c \cdot \cos \omega = \cotang RO \cdot \cos \omega$ (zijnde ω , volgens 't gebruik, de schuinsheid $c\vee I$ der Ecliptica), komt er eindelijk

$$\sin I \cdot \cos \vee I = \sin RO \cdot \cotang RO \cdot \cos \omega = \cos RO \cdot \cos \omega.$$

Men heeft daarenboven $\vee A = \zeta = 180^\circ + \odot$; waaruit $\cos \vee A = -\cos \odot$, $\sin \vee A = -\sin \odot$;

en de substitutie dezer verschillende waarden in SS_1 geeft

$$\text{aberratie in } RO = \frac{EE_1}{\cos D}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{-dR \sin \odot \cos RO \cos \omega + dR \cos \odot \sin RO - Rd\vartheta \cos \odot \cos RO \cos \omega - Rd\vartheta \sin \odot \sin RO}{\cos D} \\ &= \frac{dR}{\cos D} (\sin \odot \cos RO \cos \omega - \cos \odot \sin RO) - \frac{Rd\vartheta}{\cos D} (\cos \odot \cos RO \cos \omega + \sin \odot \sin RO). \end{aligned}$$

588. **Aberratie in declinatie.** — Zij eindelijk de cirkel IS perpendiculair op den declinatie-cirkel Sc (fig. 242), de beide hoeken S en c zullen ieder van 90 graden zijn. De hoek V zal Sc , gelijk aan de declinatie D der Ster, tot maat hebben. De hoek IA zal gelijk zijn aan

$$IV + VA = IV + \delta = IV + 180' \odot;$$

en de waarde SS_1 der aberratie in poolsafstand zal in dit geval worden SS_1 of au van fig. 238 = aberratie in poolsafstand

$$\begin{aligned} &= dR \sin I \sin (IV + VA) + Rd \vartheta \sin I \cos (IV + VA) \\ &= dR \sin I (-\sin IV \cdot \cos \odot - \cos IV \cdot \sin \odot) \\ &\quad + Rd \vartheta \sin I (-\cos IV \cos \odot + \sin IV \sin \odot). \end{aligned}$$

Maar de driehoek VVI geeft

$$\sin V : \sin I = \sin IV : (\sin VV = \cos Vc = \cos RO).$$

Waaruit $\sin I \cdot \sin IV = \sin V \cdot \cos RO = \sin D \cos RO$;

en bijgevolg

$$(\sin I \cdot \cos IV = \sin I \cdot \sin IV \cotang IV) = \sin D \cdot \cos RO \cdot \cotang IV.$$

Daarenboven heeft men, in denzelfden driehoek VVI , door de formule der cotangenten

$$\begin{aligned} (\cos VV \cos VVI = \sin RO \cos \omega) &= \sin VV \cotang IV - \sin VVI \cotang VVI \\ &= \cos RO \cotang IV - \sin \omega \cotang (180' - D), \end{aligned}$$

bijgevolg

$$\cos RO \cotang IV = \sin RO \cos \omega - \sin \omega \cotang D;$$

en door substitutie

$$\begin{aligned} (\sin I \cos IV = \sin D \cos RO \cotang IV) \\ &= \sin D \sin RO \cos \omega - \sin D \sin \omega \cotang D \\ &= \sin D \sin RO \omega - \sin \omega \cos D. \end{aligned}$$

De waarden van $\sin I \cdot \sin IV$ en van $\sin I \cdot \cos IV$ in SS_1 gebracht, geven vervolgens

$(SS_1 = \text{aberratie in poolsafstand} = - \text{aberratie in declinatie})$

$$\begin{aligned} &= -dR \cos \odot \sin D \cos RO - dR \sin \odot \sin D \sin RO \cos \omega + dR \sin \odot \sin \omega \cos D \\ &\quad - Rd \vartheta \cos \odot \sin D \sin RO \cos \omega + Rd \vartheta \cos \odot \sin \omega \cos D + Rd \vartheta \sin \odot \sin D \cos RO. \end{aligned}$$

589. **Bepaling der constante.** — Deze formules worden veel vereenvoudigd als men de uitmiddelpuntigheid der aardbaan verwaarloost, in welk geval de termen in dR verdwijnen. Wat den coëfficiënt Rd , hij wordt standvastig en vormt dan wat men noemt de *constante a van de aberratie*, welke bepaling gemakkelijk op de volgende wijze kan bekomen worden:

Laten RO en D de gemiddelde coördinaten der Ster zijn; en onderstellen we dat de waargenomen variatiën geheel en alleen uit de aberratie voortkomen (de nutatie heeft er ook zeker deel aan, dat wij later zullen leeren berekenen). Verwaarloozen we tevens, om te bekorten, de zeer geringe termen, die uit de excentriciteit der loopbaan ontstaan. Daar de waarden $\alpha' \alpha''$ der aberratie in poolsafstand beantwoorden aan de lengten $\odot' \odot''$ der Zon, zoo worden zij

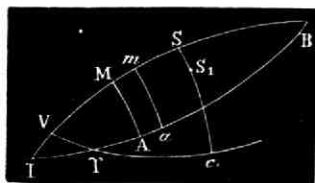


Fig. 242

tatie heeft er ook zeker deel aan, dat wij later zullen leeren berekenen). Verwaarloozen we tevens, om te bekorten, de zeer geringe termen, die uit de excentriciteit der loopbaan ontstaan. Daar de waarden $\alpha' \alpha''$ der aberratie in poolsafstand beantwoorden aan de lengten $\odot' \odot''$ der Zon, zoo worden zij

$$\alpha' = a \sin D (\sin \odot' \cos RO - \cos \odot' \sin RO \cos \omega) + a \cos D \cos \odot' \sin \omega,$$

$$\alpha'' = a \sin D (\sin \odot'' \cos RO - \cos \odot'' \sin RO \cos \omega) + a \cos D \cos \odot'' \sin \omega;$$

en gevolgelijk

(1) $(\alpha'' - \alpha')$ = verschil der waargenomen poolsafstanden op de beide tijden

$$\begin{aligned} &= a \sin D \cos RO (\sin \odot'' - \sin \odot') \\ &\quad - a \sin D \sin RO \cos \omega (\cos \odot'' - \cos \odot') \\ &\quad + a \cos D \sin \omega (\cos \odot'' - \cos \odot'), \end{aligned}$$

eene formule, die, na substitutie van \odot' , \odot'' , de waarde van a zal geven, dewijl $(\alpha'' - \alpha')$ bekend zal zijn uit de waarneming der beide poolsafstanden.

Differentieër deze formule, en gij zult de waarden van \odot' , \odot'' hebben, die het effect der grootste aberratie zullen aangeven. Gij zult alzoo vinden:

$$\begin{aligned} d(\text{aberratie in } D) = 0 &= a \sin D \cos RO (\cos \odot'' d\odot'' - \cos \odot' d\odot') \\ &\quad + a \sin D \sin RO \cos \omega (\sin \odot'' d\odot'' - \sin \odot' d\odot') \\ &\quad - a \cos D \sin \omega (\sin \odot'' d\odot'' - \sin \odot' d\odot'), \end{aligned}$$

en daar klaarblijkelijk de lengten \odot' , \odot'' onafhankelijk van elkander zijn, zult gij ieder der coëfficiënten van $d\odot'' d\odot'$ gelijk moeten maken aan 0; hierdoor verkrijgt gij twee identische voorwaarden of eene enkele vergelijking

$$\begin{aligned} \text{(2) } \cotang \odot' &= \cotang \odot'' = \frac{\cos D \sin \omega - \sin D \sin RO \cos \omega}{\sin D \cos RO} \\ &= \frac{\cotang D \sin \omega - \sin RO \cos \omega}{RO}, \end{aligned}$$

eene waarde, juist gelijk aan de boven (§ 387) gevondene voor $(-\cotang IV)$.

Hieruit volgt $\odot' = -IV$ of $= 180^\circ - IV = VB$ (fig. 242).

\odot' kan bovendien niet gelijk zijn aan \odot'' , omdat alsdan α' en α'' gelijk zijnde, $\alpha'' - \alpha'$ nul zou wezen, hetgeen het geval van 't minimum zou zijn; neemt men $\odot' = -IV$, zoo moet men $\odot'' = VB = 180^\circ - IV$ nemen, want VB en $-IV$ hebben dezelfde cotangens. De grootste aberratie in declinatie zal dus plaats hebben wanneer men de beide aberratiën neemt, die tot de standen I en B der Zon behooren, dat is tot de *knoopen* op de Ecliptica van den grooten cirkel, die door de Ster gaat.

Wilde men, om zich onafhankelijk van de straalbreking des dampkrings te maken, enkel Sterren bij 't zenith gebruiken, zooals Bradley deed, dan zou men, daar de waarde van D bepaald is, alleen te beschikken hebben over RO (onafhankelijk, wel te verstaan, van \odot' en \odot'' , die men weet dat 180° moeten verschillen), ten einde de uitwerkselen der aberratie het grootst te maken; en men ziet onmiddellijk, dat men, door $\odot' = 90^\circ$, $\odot'' = 270^\circ$ en $RO = 0$ te nemen, in dit geval de waarde van $\alpha'' - \alpha'$ herleidt tot $2a \sin D$, eene zeer eenvoudige waarde, die $a = \frac{\alpha'' - \alpha'}{2 \sin D}$ geeft. Voor ieder ander geval zal de willekeurige keus van drie der vier grootheden \odot' , \odot'' , RO , D (verschillende \odot' , \odot'' altijd 180 graden, wegens de boven gevondene voorwaarde $\cotang \odot' = \cotang \odot'' = \text{enz}$) de vierde bepalen, alsook a door de vergelijkingen (1) en (2).

Men zou a ook kunnen bepalen door de aberratie in RO, maar dit is minder gemakkelijk, en men verkiest de methode der declinatieën te gebruiken, omdat de declinatie-verschillen, vooral omstreeks het zenith, zekerder zijn dan de verschillen van rechte opklimming.

Bradley vond, door verscheidene merkwaardige Sterren, $2a = 40''$, 4 en $40''$, 5, terwijl hij twee Sterren verwierp, die door eene geringere amplitudo in de aberratie minder overeenstemmend werden. Neemt men het tweede resultaat $40''$, 5 aan, dan komt men juist op dat, hetwelk Delambre heeft afgeleid uit 1000 Eclipsen van Jupiter's eersten wachter, terwijl het tevens weinig verschilt van dat ($40''$, 99), hetwelk Struve later heeft bekomen.

Alzoo bestaat dan de aberratie, en bevestigt op hare beurt de beweging der Aarde.

590. Aberratie van de Zon. — De Zon, de Maan en de Planeten onder vinden insgelijks de uitwerkselen van de voortgaande beweging des lichts, dat is, eene soort van aberratie, evenals de Sterren. Wat de Zon betreft, die eigenlijk zelve niets anders is dan eene Ster, het zal voldoende zijn in de voorgaande formules voor de groottheden RO, D, S, λ de tot de Zon betrekkelijke waarden in de plaats te stellen. De aberratie in breedte zal evenwel altijd nul zijn, dewijl de factor $\sin \lambda$ dezer aberratie gelijk nul is. Wat de aberratieën in rechte opklimming en in declinatie betreft, men kan ze gewoonlijk missen, en, zonder zich over de aberratie te bekommeren, de coördinaten des Æquators berekenen door de schijnbare lengte, die slechts de bepaling der aberratie in lengte vordert. Men behoeft toch zelden de aberratie der Zon te kennen, dan om de geocentrische plaats der Planeten te berekenen. Daar nu de Tafels doorgaans deze aberratie in de tijden der gemiddelde lengte bevatten en bijgevolg de schijnbare plaatsen aangeven, zoo behoeft men, om de ware plaatsen te bekomen, slechts bij de plaats der Zon in de Tafels de aberratie ($Rd\beta = a$) in lengte te voegen.

591. Aberratie der Maan. — Bij de Maan komt de aberratie enkel voort uit de beweging van dat Hemellichaam met betrekking tot de als onbeweeglijk gedachte Aarde. Gedurende den tijd (omtrent 1,25 s.), die het licht besteedt om van onzen Wachter tot ons te komen, doorloopt hij gemiddeld eenen boog van $0''$, 8 in zijne bijna met de Ecliptica samenvallende loopbaan. 't Is deze boog $0''$, 8, dien men voor de aberratie in lengte neemt. Wat de aberratie in breedte betreft, men kan haar bekomen door de waarde $0''$, 8 te vermenigvuldigen met $\sin \lambda$, eene zeer kleine grootheid, omdat de breedte der Maan tot niet meer dan 5 graden gaat.

592. Aberratie der Planeten en Kometen. — Eindelijk, voor de Planeten en Kometen, die zich terzelfder tijd met de Aarde om de Zon bewegen, is m de betrekkelijke hoekige beweging van 't Hemellichaam in den tijd, dien het licht besteedt om van daar tot ons te komen, zoodat klaarblijkelijk die beweging m de aberratie-hoek zal zijn, want hij zal juist het verschil tusschen den waren en den schijnbaren stand uitdrukken; en naargelang nu m de betrekkelijke verplaatsing in RO, in D, in lengte l of in breedte λ zal zijn, zal men de eene of de andere der verschillende aberratieën bekomen. Om dus van de schijnbare tot de ware plaatsen der Planeten en Kometen over te gaan, heeft men enkel de waarde van m in de verschillende gevallen te berekenen. Zulk eene berekening is geenszins moeijlijk, maar hare ontwikkeling zou ons hier te ver voeren.

593. Dagelijksche aberratie in rechte opklimming. — Merken we ten slotte aan, dat de rotatie-beweging der Aarde op hare beurt eene dagelijksche

aberratie te weeg brengt, welke standvastige grootheid of constante, voor elke aardsche breedte B, gelijk is aan $0'',31 \cos B$ of aan het product der constante $20'',25$ van de voortbeweging in de ruimte met de verhouding

$$\left(\frac{2\pi r}{86400} : \frac{2\pi R}{365,25 \times 86400} \right)$$

der rotatie- en voortbewegings-snelheid der Aarde; zijnde R gelijk aan 23 984 maal den aardstraal r.

Zij PA (fig. 243) de aardmeridiaan des waarnemers, S het Hemellichaam en ISP zijn declinatie-cirkel. Wij hebben gezien (§ 584), dat de aberratie, perpendicular op dezen of genen cirkel, gelijk is (onderstellende R standvastig) aan $Rd\varphi \sin I \cdot \cos AI =$

$a \sin I \cdot \cos AI$. Geldt het nu de dagelijksche aberratie, dan zal de formule worden $0'',31 \cos B \cdot \sin I \cdot \cos AI$.

Wilt gij dat deze formule u de aberratie in RO geve, dan behoeft gij enkel $I = 90$, $AI = A =$ uurhoek van de Ster te maken, en gij zult hebben $SS_1 = 0'',31 \cos B \cdot \cos P$, waaruit gij, door deze grootheid op den Aequator over te brengen om II_1 te bekomen, vinden zult

$$II_1 = \text{aberratie in RO geteld op den Evenaar} = \frac{0'',31 \cos B \cdot \cos P}{\cos D}$$

Zoolang $\cos P$ positief zal zijn, dat is, zoolang P zal begrepen zijn tusschen $+90'$ en $-90'$, helgeen plaats heeft voor de Sterren gelegen in den uurhoek MAN, zijnde de bo- gen MA en AN ieder 90 graden, zal de aberratie de rechte opklimning $\sphericalangle VMI$ of $\sphericalangle VMI_1$ vermeerderen; immers zij zal de Ster van S in S' of van S_1 in S'_1 brengen, in dezelfde richting van de beweging des waarnemers A. Maar boven ± 90 graden, dat is voor de Sterren, gelegen in den uurhoek MQN, zal zij natuurlijk volgens $S_2S'_2$ werken, altijd parallel aan de dagelijksche beweging des waarnemers A, en zoodanig dat de rechte opklimning $\sphericalangle VMANQI$; vermindert met de grootheid II_2 , de projectie van $S_2S'_2$ op den Aequator. Dit kan echter

klaarblijkelijk in ons halfrond alleen plaats hebben voor de noordelijke Sterren, de eenige, die op 90 graden van den Meridiaan zichtbaar zijn.

594 **Dagelijksche aberratie in poolsafstand.** — Wat de dagelijksche aberratie in poolsafstand betreft, gij zult die gemakkelijk vinden door op te merken, dat de Aequator BAI en de cirkel IS (fig. 244), die door de Ster loopt, perpendicular zijn op den declinatie-cirkel PS van deze Ster, zoodat de hoek I de declinatie D tot

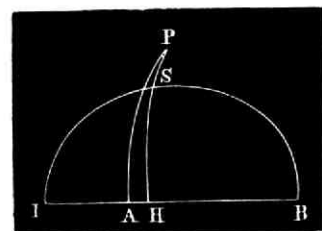


Fig. 244.

maat zal hebben: de boog IA zal op zijne beurt het complement zijn van den uurhoek $P = HPA$; en de formule $0'',31 \cos B \cdot \sin I \cdot \cos IA$ zal worden:

$$\text{dagelijksche aberratie in poolsafstand} = 0'',31 \cos B \cdot \sin D \cdot \sin P;$$

eene grootheid, die genoegzaam niets is en wier maximum niet boven $0'',31$ kan gaan, terwijl het maximum der aberratie in RO, wegens den noemer $\cos D$, vatbaar is om met D aanmerkelijk aan te groeien.

595. **Betrekkingen tusschen de jaarlijksche parallax en de aberratie.** — Nog eene opmerking betreffende de aberratie. — Houdt de boven gevonden formules tegen die, welke betrekking hebben op de jaarlijksche parallax der Sterren (§ 330 en vgg.), gij bekomt dan, zoo gij de excentriciteit van de loopbaan der Aarde verwaarloost:

ABERRATIE

PARALLAX

in rechte opklimming

$$\frac{-a}{\cos D} (\cos \odot \cos RO \cos \omega + \sin \odot \sin RO) + \frac{\omega}{\cos D} (\sin \odot \cos RO \cos \omega - \cos \odot \sin RO)$$

in poolsafstand

$$-a \cos \odot \sin D \sin RO \cos \omega \quad - \omega \sin \odot \sin D \sin RO \cos \omega$$

$$+ a \cos \odot \sin \omega \cos D + a \sin \odot \sin D \cos RO \quad + \omega \sin \odot \sin \omega \cos D - \omega \cos \odot \sin D \cos RO$$

in lengte

$$\frac{-a}{\cos \lambda} \cos (S - \odot) \quad - \frac{-\omega}{\cos \lambda} \sin (S - \odot)$$

in breedte

$$+ a \sin \lambda \sin (S - \odot) \quad - \omega \sin \lambda \cos (S - \odot)$$

Ken blik op deze formules is toereikend om aan te toonen, dat Flamsteed ongelijk had toen hij door de parallax de uitwerksels der aberratie wilde verklaren; want zij doen voor 't overige duidelijk blijken, hetgeen wij reeds geometrisch aangemerkt hebben, dat de parallax werkt in een vlak perpendicular op dat der aberratie, met andere woorden, dat zij maxima is, als de aberratie nul is, en omgekeerd, tot aan $\cos \odot$ en $\cos (S - \odot)$, gelijk aan de eenheid, beantwoorden achtereenvolgens de waarden 0 voor $\sin \odot$ en $\sin (S - \odot)$. Men kan dus van de aberratie tot de parallax overgaan door de verandering van a in ω en van \odot in $90^\circ + \odot$. Hieruit volgt, dat de Tafels, die voor de aberratie mochten geëind hebben, ook voor de parallax-berekeningen zouden kunnen dienen. Daartoe toch zou 't voldoende zijn 90 graden te voegen bij hetgeen men de plaats (RO of lengte) der Zon noemt, en de standvastige grootheid a te veranderen in de verhouding $a : \omega$.

NOOT II.

OVER DE NUTATIE.

596. **Het historische daarvan.** — De bijzonderheden betreffende de aberratie voeren ons als van zelve tot eene en andere uiteenzetting betreffende de

nutatie, die mede door Bradley werd ontdekt, en welker uitwerkselen de beroemde Sterrenkundige juist opmerkte bij de waarnemingen, die hij ondernomen had om de echtheid van zijne theorie der aberratie te onderzoeken. Want de verschijnselen, ofschoon in 't algemeen overeenstemmende met de regels der berekening, die Bradley zich gesteld had, brachten weldra veel langzamer veranderingen aan den dag, wier periode 18 jaar, evenals die van de omwenteling der maanknoopen, scheen te bedragen, en die de declinatieën der Sterren ongeveer 9 seconden grooter of kleiner maakten.

Bradley vond zich op die wijze genoopt, eene betrekking tusschen de omwenteling der maanknoopen en de bespeurde uitwerking te onderstellen, evenals de periode van een jaar voor de aberratie hem al dadelijk aanleiding had gegeven om een verband met de beweging der Aarde te vermoeden.

Reeds Newton had echter bemerkt, dat de aantrekking eene ongelijkheid verbonden aan den maanknoop moest te weeg brengen, waaraan hij ook den naam van *nutatie* of *schudding* gaf, maar die hij voor nauwelijks bespeurbaar hield. De analysis, toenmaals nog te weinig gevorderd om eene bepaling *a priori* van de variatieën, die onze Wachter op den Aardbol te weeg bracht, te vergunnen, kon dan ook eerst later, onder de handen van d'Alembert, en toen de Sterrenkundigen reeds sinds eenige jaren de door Bradley en Machin gegeven regels van becijfering bezaten, de oorzaak van het verschijnsel aan de aantrekking vastknoopen.

Er bestaat voor 't overige ook eene nutatie, te weeg gebracht door de Zon; doch de amplitudo en de duur van deze laatste zijn veel geringer dan hetgeen de nutatie der Maan dienaangaande oplevert. Daar het bovendien de theorie is, die een en ander aan 't licht heeft gebracht, zoo behoort de studie daarvan, alsook die van de ongelijkheden der maans-nutatie, meer bijzonder thuis in de Mechanica des hemels. Wat Bradley's ontdekking betreft, zie hier hoe de waarneming — in de onderstelling dat de uitwerkselen der nutatie gelijkmatig zijn, hetgeen nagenoeg waar is — haar het aanzijn gaf, en hoe men haren invloed op de plaatsen der Hemellichamen kan berekenen.

597. **Geometrische ontleding van 't verschijnsel.** — Zij $\vee\text{EK}$ (fig 245)

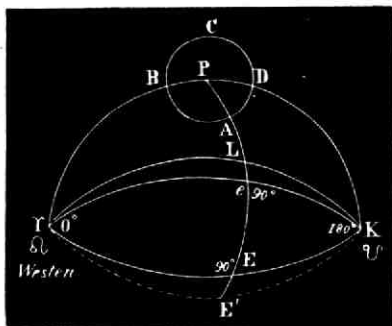


Fig. 245.

de Æquator ; $\vee\text{EK}$ de *Ecliptica*; PeE de colurus der Zonnestanden en P de Pool. In 1727 bevond zich de klimmende knoop Ω der maanbaan in \vee op 0 graden lengte; de loopkring der Maan had den stand $\vee\text{LK}$, en de dalende knoop Y was in K op 180 graden lengte. Wat de Pool P des Æquators betreft, Bradley bespeurde, dat zij in A gedaald was, dat bijgevolg de Æquator $\vee\text{EK}$ zelf in $\vee\text{E}'\text{K}$ was gekomen, en dat de declinatieën der Sterren, op den colurus PE gelegen, met 9 seconden vermeerderd waren; terwijl daarentegen op het verlengde van PE' de declinatieën even zooveel waren verminderd. De schuinsch-

verlengde van PE' de declinatieën even zooveel waren verminderd. De schuinsch-

heid ω van de Ecliptica had ook eene verandering van 9 seconden ondergaan ten gevolge van de geringe verplaatsing des *Æquators*.

Terwijl de maanknoop op de Ecliptica achteruitging, bij voorbeeld van 360 tot 270 graden, veranderden de declinatieën alsof de Pool van A naar B ging op den omtrek van den cirkel, beschreven met een straal $PA = 9''$, zoodat, toen de knoop op 270 graden lengte was gekomen, de Pool zich in B bevond op den colurus der Nachteveningen. Later, in 1736, toen de knoop der Maan op de lengte van 180 graden in K kwam, bevond de Pool zich in C. Hetzelfde punt kwam vervolgens in D, en hernam eindelijk zijn eersten stand A, toen de knoop op zijne beurt weder door de Nachtevening \mathcal{V} ging.

Bradley moest dus onderstellen, dat de Pool achtereenvolgens terugliep van A in B, in C, in D en in A, en zich steeds bevond op zijn kleinen cirkel ABCD, 90 graden verder, of minder achteruit dan zulks op de Ecliptica de klimmende knoop der Maan was, met welken hij terugliep.

598. **Berekening van de gevolgen der nutatie op de coördinaten der Hemelbollen.** — Om nu den invloed der nutatie op de coördinaten der Hemel-

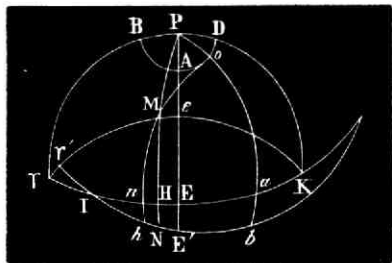


Fig 246.

bollen te berekenen, zoo onderstelt de Pool in o (fig. 246), zijnde oAB grooter dan 90 graden, zoodat de maanknoop zich gevolgelijk in het eerste quadrant der lengten bevindt op eenen afstand van \mathcal{V} gelijk aan den boog Ao , omdat de Pool in A gekomen zal zijn en den boog oA zal doorloopen hebben, wanneer de maanknoop in \mathcal{V} komt, na zelve op de Ecliptica eenen hoog gelijk aan oA doorloopen te hebben. Gij hebt dus klaarblijkelijk

$$BAo = 90^\circ + \text{lengte van den knoop} = 90^\circ + \Omega,$$

$$oPA = \text{lengte van den knoop} = \Omega.$$

Trekt Po door tot op den *Æquator*, in a . De boog $a\mathcal{V}$ zal ook gelijk zijn aan $90^\circ + \Omega$. Maakt door verlenging $ab = Po$; neemt $al = 90^\circ$ en vereenigt de punten lb door een grooten-cirkelboog bl . Deze boog bl zal de stand des *Æquators* zijn, beantwoordende aan dien in o van de Pool; en haar snijpunt \mathcal{V}' met de Ecliptica $\mathcal{V}eK$ zal u de Nachtevening geven, verplaatst door den invloed der nutatie. $\mathcal{V}\mathcal{V}'$ zal dus de invloed der nutatie op de lengten uitdrukken, of de hoek waarmede alle lengten verminderd moeten worden; want in plaats van van \mathcal{V} te tellen, moet gij 't van \mathcal{V}' doen; en de boog $\mathcal{V}I$ zal op zijne beurt gelijk zijn aan de lengte Ω van den knoop.

599. **Voorloopige bepalingen: 1° Verandering van de schuinschheid ω ; 2° Verandering der lengte Ω van den knoop; 3° Verandering der nachteveningspunten.** — De driehoek $\mathcal{V}\mathcal{V}'I$ vergunt ons gemakkelijk drie grootheden te berekenen, die vereischt worden om de gevolgen der nutatie te verbeteren. Gij kent van dien driehoek: $\mathcal{V} =$ schuinschheid ω van

de Ecliptica, $\mathcal{V}I = \Omega$, $I = ab = 9''$; en gij kunt gevolgelijk vinden $\mathcal{V}' = 180^\circ - \omega' =$ supplement van de door de nutatie gewijzigde schuinschheid, $\mathcal{V}'I$ die wij door Ω' zullen aanduiden, eindelijk $\mathcal{V}\mathcal{V}'$.

Gij hebt vooreerst:

$$\cos \omega' = \cos \omega \cos I - \sin \omega \sin I \cos \Omega = \cos \omega - I \sin \omega \cos \Omega$$

omdat I zeer klein is.

Hieruit volgt

$$\left[\cos \omega' - \cos \omega = 2 \sin \frac{1}{2} (\omega - \omega') \sin \frac{1}{2} (\omega + \omega') \right] = -I \sin \omega \cos \Omega;$$

of, op zeer weinig na,

$$(1) \quad (\omega - \omega') = I \cos \Omega = \text{verandering van schuinschheid.}$$

Vervolgens zult gij hebben

$$[\text{tang } \mathcal{V}'I = \text{tang } \Omega'] = \frac{\sin \Omega}{\cos I \cos \Omega + \sin I \cotang \omega} = \frac{\text{tang } \Omega}{1 + \frac{I \cotang \omega}{\cos \Omega}};$$

bijgevolg,
$$\text{tang } \Omega' \left(1 + \frac{I \cotang \omega}{\cos \Omega} \right) = \text{tang } \Omega;$$

bijgevolg ook

$$\begin{aligned} \left[\text{tang } \Omega' - \text{tang } \Omega = \frac{\sin \Omega'}{\cos \Omega'} - \frac{\sin \Omega}{\cos \Omega} = \frac{\sin (\Omega' - \Omega)}{\cos \Omega' \cos \Omega} \right] \\ = - \frac{I \cotang \omega \text{ tang } \Omega'}{\cos \Omega} = -I \cotang \omega \frac{\sin \Omega'}{\cos \Omega' \cos \Omega}; \end{aligned}$$

en

$$(2) \quad [\sin (\Omega' - \Omega) = \Omega' - \Omega] = -I \cotang \omega; \quad \omega \sin \Omega' = -I \cotang \omega \sin \Omega.$$

Eindelijk zult gij hebben

$$\text{tang } \mathcal{V}\mathcal{V}' = \frac{\sin \Omega}{\cos \Omega \cos \omega + \sin \omega \cotang I} = \frac{\sin \Omega \text{ tang } I}{\cos \Omega \cos \omega \text{ tang } I + \sin \omega}$$

of, door in den noemer den zeer kleinen term te verwaarloozen en $\text{tang } \mathcal{V}\mathcal{V}'$ te vervangen door $\mathcal{V}\mathcal{V}'$.

$$(3) \quad \mathcal{V}\mathcal{V}' = \frac{I \sin \Omega}{\sin \omega} = \sin \Omega \text{ cosec } \omega.$$

600. De invloed der nutatie op de breedte is nul, en is dezelfde op de lengte voor al de Sterren. — De vergelijking (1) geeft u de correctie van schuinschheid der Ecliptica; de vergelijking (2) verschaft u de correctie in RO, en de vergelijking (3) wijst de verplaatsing $\mathcal{V}\mathcal{V}'$ der nachteveningspunten op de Ecliptica aan, dat is de correctie in lengte, aan alle Sterren gemeen. Wat de invloed der nutatie op de breedten betreft, die is kennelijk nul, omdat de Ecliptica door de nutatie niet verplaatst wordt.

601. — Er blijft dus niets over dan het bepalen der veranderingen in RO en in D. Zij daartoe M (fig. 216) eene Ster; trekt de declinatie-cirkels PMH, oMh, die aan de beide standen P en o van de Pool beantwoorden; daar de hoeken H en h recht zijn, zoo hebt gij in de driehoeken MhH, MNh, wanneer gij de decli-

natiën der Ster, overgebracht op de beide standen des *Æquators*, door *D*, *D'* uitdrukt,

$$\text{tang } nH = \sin MH \cdot \text{tang } M = \sin D \cdot \text{tang } M$$

$$\text{of wel} \quad \text{tang } Nh = \sin Mh \cdot \text{tang } M = \sin D' \text{ tang } M.$$

Maar de driehoek *PMo* geeft

$$\begin{aligned} \text{tang } M &= \frac{\sin oPM}{\sin PM \cdot \cotang Po - \cos PM \cos oPM} = \frac{\sin aH}{\cos D \cotang I - \sin D \cos aH} \\ &= \frac{\cos IH \text{ tang } I}{\cos D - \sin D \sin IH \text{ tang } I} = \frac{\cos (RO - Q) \text{ tang } I}{\cos D}. \end{aligned}$$

Want $IH = \sqrt{H^2 - I^2}$ = rechte opklimming *RO* van de Ster, min lengte Q van den knoop = $RO - Q$.

Substitueert deze waarde van *tang M* in die van *tang nH* en van *tang Nh*, en gij verkrijgt

$$(\text{tang } nH = nH) = I \text{ tang } D \cos (RO - Q),$$

$$(\text{tang } Nh = Nh) = I \frac{\sin D'}{\cos D} \cos (RO - Q),$$

nagenoeg gelijke grootheden, die niets anders zijn dan de invloed der nutatie op de rechte klimming, aan elke Ster eigen. Immers de rechte klimming voor de pool *P* is \sqrt{H} ; zij is \sqrt{h} voor de pool *o*. Het verschil

$$\begin{aligned} (\sqrt{h} - \sqrt{H}) &= (\sqrt{I} - \sqrt{I}) + (Ih - IH) \\ &= (Q' - Q) - nH = -I \cotang \omega \sin Q - I \text{ tang } D \cos (RO - Q) \\ &= (Q' - Q) - Nh = -I \cotang \omega \sin Q - I \frac{\sin D'}{\cos D} \cos (RO - Q) \end{aligned}$$

drukt dus de gansche correctie in *RO* uit; en deze correctie bestaat, zooals men ziet, uit twee termen, waarvan de eene, aangegeven door de vergelijking (2), onafhankelijk van de coördinaten der Ster, gevolgelijk aan alle Sterren gemeen is, terwijl de tweede daarentegen verandert met de plaats van elke Ster, dewijl hij de coördinaten *RO*, *D* of *D'* bevat, die de verschillende Sterren van 't uitspannel kenmerken.

Invloed der nutatie op de rechte opklimming en op de declinatie.

— De driehoek *PoM* geeft u insgelijks

$$\begin{aligned} (\cos oM = \sin D') &= \cos Po \cdot \cos PM + \sin Po \cdot \sin PM \cos oPM \\ &= \cos I \sin D + \sin I \cos D \sin (RO - Q). \end{aligned}$$

Waaruit

$$\left[(\sin D' - D) = 2 \sin \frac{1}{2} (D' - D) \cos \frac{1}{2} (D' + D) \right] = I \cos D \sin (RO - Q)$$

$$\text{en} \quad (D' - D) = I \sin (RO - Q).$$

Gij hebt alzoo ten slotte

$$(4) \left\{ \begin{array}{l} \text{Correctie der nutatie in } RO \\ \quad = + I \cotang \omega \sin Q - I \text{ tang } D \cos (RO - Q) \\ \quad = + I \cotang \omega \sin Q - I \text{ tang } D \cos RO \cos Q - I \text{ tang } D \sin RO \sin Q \\ \text{Correctie der nutatie in } D \\ \quad = + I \sin (RO - Q) = I \sin RO \cos Q - I \cos RO \sin Q. \end{array} \right.$$

602. — Deze formules voldeden aan de waarnemingen van Bradley; maar de overeenstemming was nog volkomener in eene ellips met assen van 9 en 8 seconden. Later bewees d'Alembert, dat, als de groote as 9 seconden bedraagt, de kleine as $9'' \cdot \frac{\cos 2 \omega}{\cos \omega} = 6'',7$ zal zijn. Mayer maakte de groote as $9'',66$; Maskeline $9'',55$; Laplace $9'',58$, enz. Als middelterm kan men aannemen $9'',60 = a$.

De kleine as b wordt dan $a \frac{\cos 2 \omega}{\cos \omega}$.

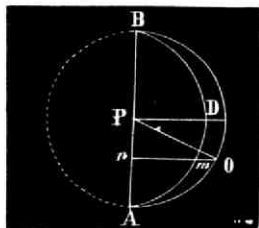


Fig. 247.

Wijzigingen in de vorige theorie te brengen. — Zij ADB (fig. 247) de ellips der nutatie; is m deze of gene ware stand van de Pool, dan zal het punt m juist liggen op de perpendicular nO , die uitloopt in het punt O , alwaar de Pool zou zijn in de onderstelling van een cirkel. In de vorige formules moet dus Ω vervangen worden door Ω_1 , en PO of I door

$$Pm = PO \cdot \frac{\sin O}{\sin m} = I \frac{\cos OPA}{\cos mPA} = I \frac{\cos \Omega}{\cos \Omega_1}$$

(zijnde Ω en Ω_1 de lengten van den knoop, die

tot de hoeken APo , APn zouden behooren).

Gij zult dan hebben

$$(1) \quad \omega' - \omega = I \frac{\cos \Omega}{\cos \Omega_1} \cos \Omega_1 = I \cos \Omega,$$

als vroeger,

$$(2) \quad \mathcal{V}\mathcal{V}' = \left(I \frac{\cos \Omega}{\cos \Omega_1} \right) \sin \Omega_1 \operatorname{cosec} \omega = I \cos \Omega \operatorname{tang} \Omega_1 \operatorname{cosec} \omega.$$

Nu is
$$\operatorname{tang} \Omega_1 = \frac{nm}{Pn} = \frac{On \frac{b}{a}}{Pn} = \frac{On}{Pn} \cdot \frac{b}{a} = \frac{b}{a} \operatorname{tang} \Omega;$$

waaruit

$$(3) \quad \mathcal{V}\mathcal{V}' = I \frac{b}{a} \sin \Omega \operatorname{cosec} \omega = b \sin \Omega \operatorname{cosec} \omega$$

wegens $I = PO = a$.

Eindelijk zult gij hebben

Nutatie in RO

$$(4) \quad \left\{ \begin{aligned} &= - \left(I \frac{\cos \Omega}{\cos \Omega_1} \right) \cotang \omega \sin \Omega_1 - \left(I \frac{\cos \Omega}{\cos \Omega_1} \right) \operatorname{tang} D \cos RO \cos \Omega_1 \\ &\quad - \left(I \frac{\cos \Omega}{\cos \Omega_1} \right) \operatorname{tang} D \sin RO \sin \Omega_1 \\ &= - b \sin \Omega \cotang \omega - u \cos \Omega \operatorname{tang} D \cos RO - b \sin \Omega \operatorname{tang} D \sin RO \end{aligned} \right.$$

Nutatie in D

$$\left\{ \begin{aligned} &= \left(I \frac{\cos \Omega}{\cos \Omega_1} \right) \sin RO \cos \Omega_1 - \left(I \frac{\cos \Omega}{\cos \Omega_1} \right) \cos RO \sin \Omega_1 \\ &= a \cos \Omega \sin RO - b \sin \Omega \cos RO. \end{aligned} \right.$$

603. Maximum en minimum der nutatie. — Differentieër deze laatste formules met betrekking tot Ω , en gij zult de plaats van den Ω bekomen, die de nutatie maxima maakt voor eene gegeven Ster, of de waar te nemen Ster voor eene gegeven waarde van den knoop. Doch, daar voor 't gebruik de nutatie in rechte opklimming minder gemakkelijk is dan die in declinatie ter bepaling van de beide constanten a en b , zoo bepalen we ons ter bekorting tot deze laatste, en vinden dan

$$\frac{d(\text{nutatie in } D)}{d \cdot \Omega} = -a \sin \Omega \sin RO - b \cos \Omega \cos RO = 0;$$

en gevolgelijk $\text{tang } RO \text{ tang } \Omega = -\frac{b}{a}.$

Door te differentieëren met betrekking tot RO zullen we vinden

$$\frac{d(\text{nutatie in } D)}{d \cdot RO} = a \cos \Omega \cos RO + b \sin \Omega \sin RO;$$

waaruit wij afleiden $\text{tang } RO \text{ tang } \Omega = -\frac{a}{b},$

formules, waaraan niet gelijktijdig kan voldaan worden dan door

$$RO = 90^\circ, \Omega = 0, \text{ of } RO = 0 \text{ en } \Omega = 90^\circ$$

omdat in beide gevallen de eerste getallen $0 \times \infty$ of onbepaald worden. Het eene dezer stelsels beantwoordt aan het maximum of grootst bedrag der nutatie, het andere aan het minimum of kleinst bedrag volgens de kleine as PD .

Met uitzondering van dit geval, hetwelk het *volstreckte* maximum en minimum kenmerkt en waarbij men geometrisch wel inzielt, wat er plaats heeft, geven de voorgaande formules, met opzicht tot een *betrekkelijk* maximum of minimum, of de waar te nemen rechte opklimming, wanneer men den knoop heeft, of de voor den knoop te verwachten plaats, wanneer men de rechte opklimming heeft. De differentiale coëfficiënten van de tweede orde zullen dan leeren welk van beide (maximum of minimum) men bekamt. Maar men kan, zonder zich met deze bijzonderheden in te laten, gemakkelijk geraken tot de *proefondervindelijke* bepaling van de constanten a en b door de volgende handelwijze.

604. Bepaling der constanten. — Als gij door $(RO$ en $D)$, $(RO'$ en $D')$ de middelbare coördinaten der beide Sterren, door α , α' , β , β' de waarden der nutatie in declinatie voor deze Sterren op twee verschillende tijden, en door Ω , Ω' de overeenkomstige lengten van den knoop voorstelt, zult gij achtereenvolgens bekomen:

$$D + \alpha = D + a \cos \Omega \sin RO - b \sin \Omega \cos RO,$$

$$D + \beta = D + a \cos \Omega' \sin RO - b \sin \Omega' \cos RO,$$

$$D' + \alpha' = D' + a \cos \Omega \sin RO' - b \sin \Omega \cos RO',$$

$$D' + \beta' = D' + a \cos \Omega' \sin RO' - b \sin \Omega' \cos RO',$$

vergelijkingen, die u deze geven:

$$[(\alpha - \beta) = \text{verschil der waargenomen declinatieën op de beide tijden voor de eerste Ster.}]$$

$$= a \sin RO (\cos \Omega - \cos \Omega') - b \cos RO (\sin \Omega - \sin \Omega'),$$

$$[(\alpha' - \beta') = \text{verschil der waargenomen declinatieën op de beide tijden voor de tweede Ster.}]$$

$$= a \sin RO' (\cos \Omega - \cos \Omega') - b \cos RO' (\sin \Omega - \sin \Omega').$$

in welke alles bekend is behalve a en b , en die gevolgelijk zullen dienen ter bepaling van deze constanten. Men ziet tevens dadelijk in, dat de eerste leden zoo groot mogelijk zullen zijn voor $Q' = 180^\circ + Q$, dat is, wanneer de waarnemingen om de 9 jaar zijn gedaan, omdat de knopen 18 jaar tot het doorloopen van 360 graden besteden.

Zulk een weg heeft Bradley, die de theorie niet kende, ongetwijfeld moeten in slaan om a en b te vinden.

Voor 't overige mag hier nog opgemerkt worden, dat de nutatie in RO , bij de onderstelling van een door de Pool doorloopen cirkel, uit twee termen bestaat, waarvan de eene $- I \cotang \omega \cdot \sin Q$ (§ 600) aan alle Sterren gemeen is, en de andere $I \tang D \cdot \cos (RO - Q)$ den factor $\tang D$ bevat, die zeer klein is voor de Sterren dicht bij den $\text{\AE}quator$. Daar de aberratie in rechte klimming zelve $\cos D$ tot noemer heeft, welke zijn maximum bereikt op 90° poolsafstand, zoo ziet men waarom de oude lijsten of catalogussen vrij nauwkeurig de rechte klimmingen der zodiakale Sterren aangeven, ofschoon noch aberratie noch nutatie bekend waren, of, met andere woorden, waarom de *middelbare* rechte klimmingen weinig van de *schijnbare* verschillen



DRIE EN TWINTIGSTE LES.

Gedaante en grootte der Aarde.

Eerste vermoedens aangaande de rondheid der Aarde. — Metingen van Eratosthenes, van Posidonius, van de Arabieren, van Fernel, van Snellius en van Norwood, van Picard, van Lahire en Cassini II; van de commissarissen der Fransche Academie in Peru en aan den poolcirkel, van Swanberg, van Lacaille en van Cassini III. — Nieuwere metingen. — Fransche meting, dienende tot grondslag voor het metrieke stelsel. — Meting der parallellen; zij bewijst dat de Aarde niet volkomen een omwentelingslichaam is. — Bepaling van de afplatting door den slinger. — Denkbeeld van de geodesische verrichtingen der trianguleering of opmeting door driehoeken. — Bepaling der breedten aan de beide uiteinden van den gemeten boog. — Meting van eenen parallelboog. — Bepaling der lengten aan de beide uiteinden van den gemeten parallelboog. — Meting der bases. — Herleiding tot het niveau der zee. — Herleiding tot het middelpunt der standplaats. — Vereenvoudigingen in de geodesische metingen, door Faye voorgesteld. — Bepaling der breedten op zee. — Graadboog van de zeevaarders der 15de eeuw. — Engelsch quadrant; reflexie- of spiegelwerktuigen; octant, sextant en geheele cirkel. — Onderzoek der reflexie-werktuigen. — Bepaling der lengten op zee. — Het varen naar gegist bestek; de log, de zandlooper en het kompas; compensator van Barlow. — Loxodromie en zee-kaarten of kaarten van Mercator. — Temperaturen der zee. — Stroomen. — Lagere tegenstroomen; zouthed. — Verschil van niveau in de kleine zeeën. — Veranderingen in de respectieve hoogten der zeeën en vastelanden. — Centrale warmte en waarschijnlijk vloeibare staat van het binnenste des Aardbols. — Vulcanische verschijnselen — Gevolgtrekkingen; cosmogonische theorieën; stelsel van Laplace aangaande de vorming der Planeten en Wachters. — Bepaling der afplatting met behulp van twee graden, gemeten op verschillende breedten. — De schommelingen des slingers op verschillende punten des Aardbols doen de afplatting blijken. — Waarden der afplatting, theoretisch verkregen door Huygens en Newton. — Nasporingen van verschillende Meetkunstenaars betreffende dat punt. — Maat der afplatting door den slinger. — Gebruik van den repetitie- of herhalingscirkel. — Orthographische projectiën: 1^o op den Meridiaan; 2^o op den Aequator. — Stereographische projectiën: 1^o op den Aequator; 2^o op den Meridiaan. — Projectiën door ontwikkeling voor landen van weinig uitgestrektheid; conische ontwikkeling van Ptolemeus. — Ontwikkeling van Flamsteed. — Gewijzigde projectie van Flamsteed.

605. **Eerste vermoedens aangaande de rondheid der Aarde.** — De maaneclipsen, bij welke de schaduw der Aarde cirkelvormig op onzen Wachter valt; het verschijnen en verdwijnen der schepen aan de oppervlakte der zee, waar men van den oever A den top der masten bespeurt, terwijl de romp van het schip onder den horizon is verborgen (fig. 248); de loop der rivieren, die de algemeene hellingen der omliggende gronden volgen, en die over 't algemeen zelve, wegens hare

doorgaans langzame strooming, gehouden kunnen worden voor de verlenging der zeeën, waarin zij zich uitstorten; de betrekkelijke kleinte der oneffenheden van de aardkorst (bergen, dalen, enz.), vergeleken bij de afmetingen des Bols, treffende, vrij talrijke bijzonderheden, in één woord, hadden de Ouden genoopt te onderstellen, dat de Aarde

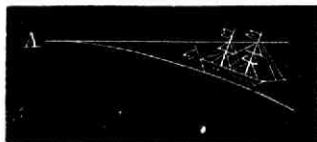


Fig. 248.

rond is. Ook was het in de overtuiging, zonder andere bewijzen, van de bolvormigheid onzer Planeet, dat Eratosthenes, 246 jaar vóór onze jaartelling, het eerst beproefde haren omtrek te meten.

606. **Meting van Eratosthenes.** — Deze Sterrenkundige wist, dat men te Syene, op den dag des zomerezenstands, te 12 uren des middags, den bodem der putten door de Zon rechtstreeks verlicht zag. Het Hemellicht, dat toen eenen hoek van $7^{\circ}12'$ met de verticaal van Alexandrië maakte, ging derhalve door het zenith van Syene. Hieruit, zonder zich te bekommeren noch met de straalbreking, die hij niet kende, noch met de kronkelingen van den langs den Nijl gemeten weg, dien *men hem gezegd had* 5000 stadiën lang te zijn, noch met het verschil in lengte (drie graden) tusschen Alexandrië en Syene; beschouwende daarenboven de lijnen OZ, O'Z' (fig. 249), getrokken van de beide standpunten O, O' naar de Zon, als parallel, dat is, geen acht slaande op de parallaxen en evenmin op de afmetingen der Zon, waarvan ieder ander punt zoowel als 't middelpunt de putten van Syene kon beschijnen, kwam Eratosthenes tot het besluit, dat de lengte OO' van 5000 stadiën, gemeten op den omtrek der Aarde, beantwoordde aan eenen hoek aan 't middelpunt, OCO', gelijk aan den hoek Z'OV ($7^{\circ}12'$), gevormd door den zonnestraal O'Z' en door de verticaal O'V van Alexandrië.

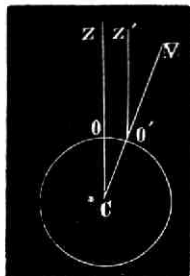


Fig. 249

En daar $7^{\circ}12'$ juist het vijftigste gedeelte van een geheel omtrek of 360 graden uitmaken, zoo behoefde hij slechts 5000 stadiën 50maal te nemen, om den geheelen omtrek (250 000 stadiën) van den Aardbol te bekomen.

607. **Meting van Posidonius.** — Omtrent eene eeuw na Eratosthenes vond Posidonius op zijne beurt — in de onderstelling dat Alexandrië en Rhodes op denzelfden meridiaan lagen, ofschoon de fout in lengte ten minste anderhalven graad bedroeg — 240 000 stadiën voor den omtrek der Aarde, en wel

door middel der heldere Ster van het schip *Canopus*, die zich langs den horizon van Rhodes bewoog en zich tot $7^{\circ}30'$ of een acht en veertigste omtrek boven den horizon van Alexandrië verhief. De hoek $s'O'H$ van $7^{\circ}30'$, gevormd door de Ster s

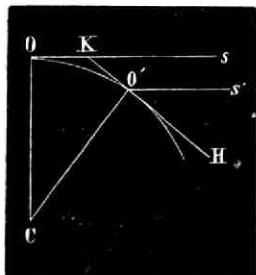


Fig. 250.

(fig. 250) met den horizon $O'H$ van Alexandrië, of de gelijke hoek sKH , gevormd door de beide horizons KH en OC van Alexandrië en Rhodes, was, afgezien van de straalbreking, inderdaad geen andere dan de hoek OCO' aan het middelpunt der Aarde, tusschen de verticalen der beide standpunten. Het was dus voldoende, den afstand OO' , dien de zeevaarders op 5 000 stadiën stelden, evenals dien van Syene tot Alexandrië, met 48 te vermenigvuldigen, hetgeen voor den omtrek

240 000 stadiën geeft: eene waarde, die niet veel van de door Eratosthenes gevondene verschilt, wanneer men de onvolkomenheid der gebezigde methoden in 't oog houdt. Maar waren de stadiën van Alexandrië en Rhodes dezelfde? Hoe dit zij, Ptolemeus verklaarde later, dat hij de berekening herhaald en dezelfde uitkomst als Eratosthenes bekomen had.

608. **Meting der Arabieren.** — Almamon, een arabisch kalief van de 8ste eeuw, deed de vorige metingen tot tweemaal toe zorgvuldig onderzoeken door zijne Sterrenkundigen, waarvan de eenen naar het Noorden, de anderen naar het Zuiden trokken, totdat de middaghoogte der Zon éénen graad verschil opleverde. De hoekverandering, vergeleken bij den doorloopen weg, gaf telkenmale, naar het verslag der waarnemers, de door Ptolemeus aangegeven waarde: een zonderling samen treffen, wel geschikt om menigen twijfel te doen oprijzen omtrent de oprechtheid van hen, die verslag gaven.

609. **Meting van Fernel.** — Later, in de 16de eeuw, toen de reizen rondom de wereld zelfs de mogelijkheid van den geringsten twijfel aangaande de rondheid der Aarde hadden weggenomen, begaf een Fransch geneesheer, Fernel geheeten, zich van Parijs naar Amiens, tellende op die reis het getal omwentelingen, die de raderen van zijn rijtuig maakten, om daaruit op te maken den rechtlijnigen afstand van twee punten, waar de zonsmiddaghoogten éénen graad verschilden. Het toeval, naar allen schijn, begunstigde bij uitstek deze meting; want de lengte (57 070 toises), die Fernel voor den graad van Amiens verkreeg, werd later bijna volkomen gelijk bevonden aan die (57 074 toises), welke Lacaille voor denzelfden graad door veel

volkomener handelwijzen bekwam. Men heeft echter beweerd, dat de toise van Fernel iets korter was (*).

610. **Metingen van Snellius en Norwood.** — Snellius maakte het eerst gebruik van echt wetenschappelijke handelwijzen, door de meetkunde toe te passen op het meten van eenen meridiaanboog tusschen Alkmaar en Bergen-op-Zoom. Zijne meting moet evenwel niet naar eisch ingericht zijn geweest, want de uitkomsten, die hij verkreeg, waren meer dan twee duizend toises bezijden de waarheid. Norwood, die kort daarna in Engeland zich van de meetwijze des Hollandschen Sterrenkundigen bediende, was niet gelukkiger, en gaf voor de booglengthe van éénen graad 57 424 toises: een veel te groot getal, dat Newton eerst gebruikte bij de beoefening van de wetten der zwaartekracht, en dat misschien door die overdreven grootte de ontdekking der zwaartekracht belet zou hebben, indien de nauwkeuriger bepalingen van Picard den Engelschen wiskundige niet in 't bezit gesteld hadden van de getallen-elementen, die tot deze groote ontdekking werden gevorderd.

611. **Meting van Picard.** — Picard, lid van de *Académie des Sciences* te Parijs, priester en prior te Rilly, was een der zuiverste parelen van de Fransche Astronomie in de 17de eeuw; want hij, die reeds beroemd was onder de eerste wetenschappelijke mannen van zijnen tijd, bezat nog de zeldzame verdienste zich verheven te toonen boven 't gevoel van jaloezie, dat zoo vaak bij de menschen den boventoon heeft: hij wist twee Sterrenkundigen van erkend talent bij zich te lokken, om hen aan Frankrijk te schenken: de Deen Roëmer, die zich later door de ontdekking van de voortgaande beweging des lichts onsterfelijk zou maken, en bovenal den eersten der Cassini's (Dominico), tegenwoordig den Groote bijgenaamd, dien men den moed had aan Picard voor te trekken, toen er voorzien moest worden in het bestuur van een Observatorium, waarvan Picard de fundamenten had gelegd. Hoe het zij, deze laatste beoefende opnieuw, maar met eene vóór hem nog ongekende omzichtigheid, den graad van Amiens, vroeger door Fernel bepaald.

In plaats, bij voorbeeld, van rechtstreeks den ganschen meridiaanboog te meten, hetgeen zeer groote bezwaren van uitvoering in zich had (†), vergenoegde zich Picard, in navolging van Snellius, met zeer nauwkeurig eene basis te meten, op welke hij, ten einde vervolgens door berekening de gezochte lengte af te leiden, een net van driehoeken oprichtte, met hunne toppen

(*) De Fransche *toise*, die in zes Fransche voeten verdeeld wordt, is gelijk aan 1,9490366 meters. Men noemt ze ook *toise van Peru*, omdat Bouguer zich er van bediende om den graad in Peru te meten.

(†) Hetzij wegens stoffelijke hindernissen, onvermijdelijk voorhanden op een langen weg, hetzij wegens de onregelmatigheid van het terrein, enz.

beurteilungen ter rechter- en linkerzijde van den te bepalen boog geplaatst. Doch, door beteren geest dan Snellius gedreven, bezigde Picard, nadat hij zijne basis met eene allertzorgvuldigst geijkte toise had gemeten, tot het waarnemen der hoeken quadranten, die van kijkers waren voorzien, en deed langs dien weg bijna geheel en al de fouten verdwijnen, die het werk zijner voorgangers ontsierd hadden.

Ongelukkigerwijs kende Picard noch de nutatie, noch de aberratie. Daarbij had hij nog, gelijk al zijne tijdgenooten, niet dan een onnauwkeurig begrip van de straalbreking, die hij in de nabijheid van het zenith voor onmerkbaar hield. Daarom moesten dan ook de uitkomsten, waartoe hij met eene tot dusverre voorbeeldelooze bekwaamheid was geraakt, later door Lacaille en Lemonnier verbeterd worden. Men mag niettemin verzeke- ren, dat de verbeteringen, door laatstgenoemde Sterrenkundigen aangebracht, wel verre van eene afkeuring in zich te sluiten, veeleer luide getuigenis geven van Picard's verdienste, daar zij doen zien, dat de eenige begane fouten juist die zijn, welke te zijnen tijde onmogelijk konden vermeden worden.

612. **Metingen van La Hire en Cassini II.** — De meting van Picard, tusschen Amiens en Parijs, werd door La Hire en Cassini II voortgezet, van de eene zijde tot aan Duinkerken, van de andere tot aan Perpignan. Toen deze nieuwe meting

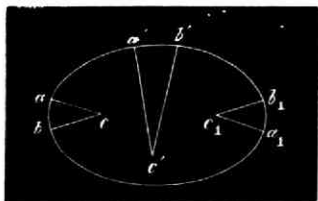


Fig. 251.

voor de graden ten Noorden eene iets grootere lengte dan voor die ten Zuiden had opgeleverd, gaf Cassini in 1718 een werk in 't licht *Over de grootte en de gedaante der Aarde*, waarin hij de verschillende resultaten te boek stelde, die La Hire en hij bekomen hadden, en die op eene afplatting schenen te wijzen, niet omstreeks de polen ab, a_1b_1 (fig. 251), zooals Huygens en Newton ondersteld hadden, maar omstreeks de gewesten des *Æquators* $a'b'$, waar de minder sterke buiging inderdaad een grooteren weg $a'b'$ moest vereischen, zouden de verticalen $a'c', b'c'$ zich eenen graad van elkaar verwijderen. Ongelukkig ontbrak het den metingen van La Hire en Cassini aan juistheid, en het voorgaande resultaat heeft geen ander spoor nagelaten dan een soort van schandteeken, in de wetenschap bekend gebleven onder den naam van *paradox van Cassini*.

613. **Meting der bogen van Peru en den poolcirkel door de commissarissen van de Academie der Wetenschappen te Parijs.** — Men wist bovendien, sedert de reis

van Richer naar Cayenne in 1672, en van Halley naar Sint-Helena in 1677, dat de secondeslinger korter is bij den Æquator en langer bij de Polen, hetgeen moeielijk aan iets anders scheen toegeschreven te kunnen worden dan aan de middelpuntvliedende kracht, ontstaande uit de dagelijksche omwenteling, en uit de toeneming der zwaartekracht, wanneer men, ten gevolge van de afplatting der Aarde, nader bij het middelpunt dezer laatste komt. 't Was dus van zonneklaar belang voor de wetenschap, dat het vraagstuk van de afplatting eindelijk werd opgelost. De *Académie des Sciences* te Parijs bepaalde, dat twee bogen gemeten zouden worden onder breedten, die genoeg verschilden om voortaan allen twijfel op te heffen, en met dat doel zond zij drie van hare leden, Bouguer, La Condamine en Godin naar Peru, terwijl Maupertuis, Clairaut, Outier en Lemonnier, vergezeld door den Zweedschen Sterrenkundige Celsius, naar Lapland gingen. Deze laatsten verkregen in 1736 aan den poolcirkel, onder de gemiddelde breedte van $66^{\circ}20'10''$ eene lengte van 57 419 toises voor den boog van eenen graad, afgeleid van eenen gemeten boog van 57 minuten. De Commissie van Peru, bijgestaan door twee Spaansche officieren, don Georges Juan en Antonio de Ulloa, mocht op hare beurt, na tien jaren arbeids, van 1735 tot 1745, en door ongelooflijke vermoeienissen, eenen boog meten van drie graden in het zuidelijk halfmond, onder eene gemiddelde breedte van $1^{\circ}51'$, waarmede eene waarde van 56 737 toises voor de lengte van den graad overeenkwam.

Bij een verschil van 682 toises, door de beide metingen opgeleverd, was het niet langer mogelijk te weifelen, en de graden van het Noorden moesten bepaald als langer beschouwd worden dan die van het Zuiden. De buiging der Aarde nam gevolgelyk naar de Polen steeds af, terwijl zij naar den Æquator toenam. De uitzetting onder den Æquator in E, E', de poolafplatting in P, P' (fig. 252) namen dan ook voortaan hare plaats onder de voor altijd besliste vraagstukken.

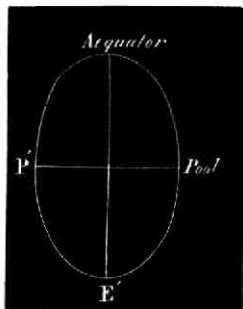


Fig. 252.

614. Meting van Schwanberg. — De vorige waarden geven voor de afplatting of, wil men liever, voor de verkorting van den door de Polen gaanden diameter de breuk $\frac{1}{78}$ (*).

Maar in 1801 vond Swanberg, nadat hij opnieuw den Lapland-

(*) Zie Noot I aan 't einde der Drie en dertigste Les.

schen graad gemeten had, 223 toises minder dan de Fransche academisten. In plaats van 57 419, bedraagt het door Swanberg bekomen getal niet meer dan 57 196,159 toises, en de afplatting komt neer op $\frac{1}{307,405}$, wanneer men de nieuwe me-

ting van den poolgraad vergelijkt met den Franschen graad, die tegen 't einde der vorige eeuw door Delambre en Méchain werd bepaald. Niettemin, ofschoon de gezamenlijke uitkomsten, afgeleid uit de schommelingen des slingers en uit de werking der Maan op de uitzetting aan den Aequator, in overeenstemming zijn met de door Swanberg aangegeven afplatting, zijn er twijfelingen gerezen omtrent de identiteit der *noordelijke* uiteinden voor de beide bogen van Lapland; en daar de grens, tot welke Swanberg zuidwaarts is gekomen, veel verder reikt dan die, waarbij de commissarissen van 1836 zich bepaald hadden, heeft men gemeend een aanzienlijk deel der verschillen aan plaatselijke aantrekkingen te mogen toeschrijven. Hoe het overigens hiermede gelegen zij, de afplatting bij de Polen blijkt zonneklaar zoowel uit de eene als uit de andere meting.

615. **Metingen van Lacaille en Cassini III (de Thury).** — Terwijl de Academisten den boog van Peru maten, onderzochten Lacaille en Cassini III (de Thury) in 1739 de Fransche graden tusschen Duinkerken en Perpignan. Het groote werk werd evenwel meer bijzonder door Lacaille bestuurd, die het in minder dan twee jaren wist te volbrengen. De verschillende bijzonderheden daarvan legde hij neder in zijn boek der *Méridienne vérifiée*, waarin men het bewijs vindt, dat de graden van 't Noorden naar 't Zuiden in lengte verminderen.

Later, in 1752, tijdens zijne reis naar de Kaap de Goede-Hoop, bepaalde dezelfde Sterrenkundige den boog, die met 33°18' zuiderbreedte overeenkomt; en daar deze boog, hoewel waarschijnlijk een weinig te groot (57 040 toises), als bedragende meer dan die (omtrent 57 020 toises), welke in 't noordelijk halfmond aan 45 graden breedte beantwoordt, nogtans begrepen is tusschen die van den poolcirkel en van Peru, zoo strekte hij tot een nieuwen steun voor de theorie der afplatting aan de Polen.

616. **Nieuwere metingen.** — Van dien tijd af hebben een aantal andere metingen, onder verschillende breedten volvoerd, die theorie meer en meer bevestigd, terwijl zij tevens nu en dan afwijkingen aan 't licht brachten, veroorzaakt door de aantrekking der bergen of allerlei afwisseling van terrein, die het paslood buiten de gewone richting brengen, *schijnbare* verticalen in plaats van de *ware* geven, en gevolgelijk ook af- of toeneming op de lengte van den boog eens graads te weeg bren-

gen. Als een der merkwaardigste van dien aard verdient de afwijking vermeld te worden, die Plana en Carlini aantroffen, toen zij van 1821 tot 1823, tusschen Andrate en Mondovi, den Piemontschen boog opnamen, die reeds vroeger (1762 en 1763) door Beccaria was gemeten; want de aantrekkende invloed der Alpen vermeerderde met 674 toises de waargenomen lengte van den graad, met betrekking tot de lengte, die eene berekening van het resultaat der metingen van den Franschen graad zou opleveren.

617. — Wat de minder door plaatselijke oorzaken gestoorde graadbepalingen betreft, het zijn voornamelijk die van Boscowich en Maire (1754) op eenen boog van twee graden tusschen Rome en Rimini; van Liesganig, in 1768, op de graden van Hongarije en Oostenrijk; van Dixon en Mason, die in hetzelfde jaar 1768, even als Fernel had gedaan, eenen boog in Pennsylvanië rechtstreeks over zijn gansche lengte maten; van generaal Mudge in Engeland, tusschen 1800 en 1802, op eenen boog van drie graden tusschen Dunnose en Clifton; van kolonel Lambton in Bengalen, in 1802 en 1803, en in Oost-Indië, onder medewerking van kapitein Everest, in 1825; die van W. Struve (1821 tot 1831) op den meridiaan van Dorpat, tusschen de Finsche golf en den parallel van Jakobstadt in Koerland; die van Gauss in Hannover, van 1821 tot 1824, tusschen Göttingen en Altona; van Schumacher omstreeks denzelfden tijd in Denemarken; van Bessel en generaal Baeyer in Pruisen; eindelijk en bovenal wegens de groote uitgestrektheid van den gemeten boog, die welke in 1792 Delambre en Méchain begonnen en Biot en Arago van 1806 tot 1808 volbrachten op eene lengte van meer dan twaalf graden, tusschen Duinkerken en Formentera op de Balearische eilanden, en die later door Arago, Mathieu, Kater en Colby aan de Engelsche werd vastgeknoopt.

Fransche meting, dienende tot grondslag voor het metrieke stelsel. — Men weet, dat deze belangrijke meting was vastgesteld bij decreet der Fransche nationale vergadering in 1790, op het voorstel van Talleyrand, met het bepaalde doel om aan de grootte van den omtrek der Aarde eene eenheid voor lengtematen te ontleenen, ten einde daarop vervolgens een eigenlijk *stelsel* van maten en gewichten te bouwen, dat men tot dusverre miste. Die eenheid moest juist het veertigmillioenste gedeelte van den omtrek des Aardbols zijn en den naam van *mètre* dragen, waaruit dan het *metrieke stelsel* zou geboren worden. Men weet ook, dat deze grootsche onderneming, na eerst te zijn belemmerd door de opbruising der politieke hartstochten van dien tijd, ten laatste het leven kostte aan Méchain in Spanje, alwaar eenige jaren later voor Arago, die met de voortzetting des arbeids was belast, een ware Odyssea begon, welker belangrijke bijzon-

derheden men lezen kan, hetzij in de *Base du système métrique*, hetzij in de geschiedenis van Arago's jeugd, door hem zelf aan 't hoofd zijner werken medegedeeld.

618. **Meting der parallellen.** — Zij bewijst dat de Aarde niet volkomen een omwentelings-lichaam is. — Ter zijde van het vraagstuk der afplating treedt als van zelve dit tweede: zijn al de meridianen identisch? Met andere woorden: Is de Aarde een omwentelings-lichaam of -sferoïde? De onregelmatigheden, boven toegeschreven aan plaatselijke aantrekkingen, en vooral de ongelijke waarden der afplating, die de in verschillende landen gemeten meridiaangraden opleveren, antwoorden op eene afdoende wijze. Ik voeg er bij, dat de bepaling der parallelgraden een nieuw licht op het vraagstuk geworpen, en op hare beurt getoond heeft, dat de doorgaans onderstelde sferoïdale omwentelings-figuur, niet dan benaderend was, omdat aan gelijke, op een zelfden parallel genomen lengten, door berekening tot den waterspiegel der zeeën herleid, niet altijd gelijke verschillen van lengte, dat is gelijke hoeken tusschen de meridianen, beantwoorden. Om zich daarvan te overtuigen heeft men slechts eenen blik te werpen op de resultaten, onder anderen bijeengezameld door kolonel Brousseau in het werk, getiteld: *Mesure d'un arc du parallèle moyen entre le Pôle et l'Équateur*.

619. — Bij het onderzoek van de voornaamste bijzonderheden der daarin beschreven groote meting, die, allereerst in Frankrijk ontworpen, op de ruimste schaal werd uitgevoerd door een samenhangend driehoekennet, van de kusten des Oceaans bij Bordeaux af tot aan de oevers van den Ticino in Italië toe, zal men zien, dat de verschillende graden van den parallel, gemeten onder de breedte van $45^{\circ}43'12''$, en eene amplitudo van $15^{\circ}32'26''$, 76, aanmerkelijke verschillen opleveren, die, bij voorbeeld, voor den boog tusschen Savagnac en Isson tot 103,078 m. *te weinig*, en voor den boog tusschen Padua en Weenen tot 164,459 m. *te veel* klimmen, in verhouding tot den gemiddelden graad 77 903,013 m., opgemaakt uit den geheelen boog. Daarboven schijnt het nauwelijks mogelijk aan de nauwkeurigheid der uitkomsten te twijfelen, als men bedenkt dat het werk werd uitgevoerd, voor het Fransch gedeelte door de officieren van het corps *ingénieurs géographes*, onder het bestuur van kolonel Brousseau; voor dat van Savoye door den uitstekenden Turijnschen Sterrenkundige Plana; voor Oostenrijk door Carlini, directeur van het observatorium te Milaan, en door de officieren van het topographisch bureau van Weenen, dat kolonel Fallon bestuurde; wanneer men eindelijk in aanmerking neemt, dat de uitkomst der triangulatie aan hare uiteinden onderzocht en bekrachtigd

zijn door het rechtstreeksch meten van twee bases, genomen de eene aan de oevers van den Ticino, de andere in de *landes* bij Bordeaux.

620. **Bepaling van de afplatting door den slinger.** — Men kan dus voortaan redelijkerwijze niet meer twijfelen. De Aarde is niet volkomen bolrond, noch een zuiver omwentelingslichaam. En behalve de geodesische metingen kan men te dezen opzichte zich ook beroepen op de talrijke waarnemingen van den slinger, die sedert meer dan een halve eeuw op verschillende punten des Aardbols gedaan zijn en die algemeen overeenstemmen in het toekennen van verschillende afplattingen voor de onderscheidene meridianen (*). Men beschouwt nogtans den Aardbol gemeenlijk als symmetrisch rondom zijne omdraaiingsas; maar uit de voorafgaande bijzonderheden moet men weten, dat dit slechts een benaderende aanduiding van zijne gedaante is, die weinig verschilt van eene zeer weinig afgeplatte sfeer.

621. — Ziehier nu eenige getallen, die de gezamenlijke verkregen uitkomsten hebben opgeleverd, en die een nauwkeuriger denkbeeld van de afmetingen en de afplatting der Aarde zullen geven.

As des Aequators	12 754 796 meters.	Halve groote as	= 6 377 398 meters.
As der Polen	12 712 160 "	Halve kleine as	= 6 356 080 "
Breedten.	Lengte van den Aardstraal.	Graadlengte in meters.	Lengte van den parallelgraad.
0°	6 377 398	110 563	111 307
15°	6 373 982	110 637	107 538
30°	6 372 103	110 842	96 475
45°	6 366 786	111 118	78 837
60°	6 361 444	111 399	53 793
75°	6 357 526	111 604	28 898
90°	6 356 080	111 680	0

622. **Denkbeeld van de geodesische verrichtingen der triangulatie.** — Beproeven we thans een beknopt denkbeeld van de handelwijzen der triangulatie of opmeting door driehoeken te geven. Zij daartoe MN (fig. 253) de te meten meridiaanboog. Neemt ergens op een zoo vlak mogelijk terrein eene lengte AB van acht tot tien duizend meters, die gij zeer nauwkeurig afmeet, en bepaalt met een in graden verdeelden cirkel de hoeken A en B van den driehoek ABM. In de Tafels, waarvan zoo vaak reeds sprake was, kunt gij zonder moeite de drie onbekenden van dezen driehoek, namelijk de zijden AM, BM en den hoek AMB vinden: dit is meer dan gij voor uw oogmerk noodig hebt.

Meet nu uit het punt A den hoek MAC, begrepen tusschen

(*) Zie Noot II, nan het einde der Drie en twintigste Les.

het punt M en een of ander sein of baken C, dat met betrekking tot den meridiaan tegenover het punt A is geplaatst; begeeft u vervolgens met uwen cirkel naar het punt M, en meet eerst den hoek AMa , begrepen tusschen de lijn MA en de (bekend onderstelde) richting MaN des meridiaans van het punt M. Meet insgelijks den hoek AMC tusschen het punt A en het sein C. Daar de Tafels altijd het middel aangeven om drie onbekenden eens driehoeks te berekenen, waarvan de drie andere elementen gegeven zijn, mits onder deze laatste elementen eene zijde voorkome, zoo kunt gij de beide driehoeken AMC , AMa geheel oplossen, want gij kent daarvan:

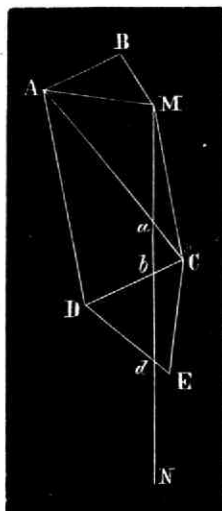


Fig. 253.

1° AM door de berekening van den vorigen driehoek ABM ; 2° de hoeken A en AMa , AMC door de rechtstreeksche waarneming. Gij verkrijgt zoo de waarden der zijden MC , AC , Aa ; gevolgelijk ook het verschil aC , de lengte Ma van een gedeelte des meridiaans; eindelijk den hoek

AaM of zijn tegenoverstaande CaN , en den hoek ACM , dien gij daarboven, als toetsing, ook rechtstreeks uit het punt C kunt meten.

Als gij nu den hoek ACD meet, begrepen tusschen het punt A en een tweede sein D, zult gij in staat zijn een ander deel ab van den meridiaan te berekenen met behulp van den driehoek abC , waarin gij, behalve dien hoek ACD , nog kent de zijde aC en den hoek Cab , gelijk aan AaM , reeds berekend. Gij zult insgelijks den driehoek ACD kunnen oplossen, waarvan gij al de hoeken kunt meten en welks zijde AC u bekend is, zoodat gij gevolgelijk ook zeer licht de zijde DC zult vinden.

Uitgaande van het punt D en u bedienende van DC , zult gij vervolgens langs denzelfden weg het gedeelte bd van den meridiaan berekenen, en zoo al verder en verder gaande, zult gij tot aan het uiteinde N van den te meten boog komen.

623. Bepaling der breedten aan de beide uiteinden van den gemeten boog. — Bepaalt vervolgens, op astronomische wijze, de breedten der uiteinden M, N, dat is de hoeken ZCE , $Z'CE$ (fig. 254), begrepen tusschen de verticalen CMZ , CNZ' en den $\text{\AE}quator$, hetgeen u gemakkelijk zal vallen met behulp eener Ster bij den $\text{\AE}quator$ (*), waarvan gij, als zij door

(*) Zie Noot III, aan het einde der Drie en twintigste Les

den meridiaan MN gaat, de zeniths-hoekafstanden ZMa , $Z'NE'$ zult meten, die gelijk zijn aan de gezochte breedten ZCE , $Z'CE$

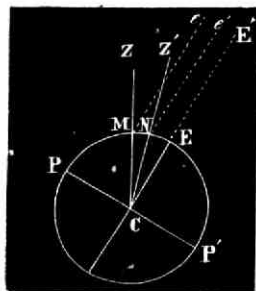


Fig. 254.

(daar de lijnen Me , Ne' , uit M en N naar deze Ster getrokken, parallel zijn). Gij verkrijgt op die wijze door eene eenvoudige aftrekking de waarde van den hoek MCN (verschil van MCE en NCE), die overeenkomt met de gemeten lengte MN , en gij zult daaruit bij evenredigheid de lengte van den boog van eenen graad voor de tusschen M en N gelegene breedte opmaken.

624. **Meting van eenen parallelboog.** — Soortgelijke trigonometrische verrichtingen zullen de lengte van eenen parallelboog geven, aan welks einden gij

de lengten (*) zult bepalen, om den hoek te bekomen, begrepen tusschen de beide meridiaanvlakken, die hem besluiten, en om de lengten van verschillende graden dezer parallel met elkander te kunnen vergelijken, door het werk op verscheidene punten van haren omtrek te herhalen.

625. **Bepaling der lengten aan de beide einden van den gemeten parallelboog.** — De bepaling der lengten geschiedt tegenwoordig hoogst nauwkeurig met behulp van den electrischen telegraaf, die als 't ware oogenblikkelijk naar een der standpunten overseint hoe laat het juist op 't andere is, waardoor men die beide uren* op hetzelfde oogenblik kan vergelijken en bijgevolg den uurhoek, begrepen tusschen de meridianen der beide standpunten, dat is het verschil der lengten, kan weten. Bij gemis van dit uitmuntend hulpmiddel, bedient men zich van de bedekkingen der Sterren door de Maan, of liever nog van oogenblikkelijke seinen, zooals, bij voorbeeld, de opstijging eener vuurpijl, de ontvlaming van een hoop buskruit, enz. Deze seinen kunnen op zeer groote afstanden, op 120, 160, zelfs



Fig. 255.

200 kilometers gezien worden; en wanneer bergen of andere oneffenheden van terrein ze voor een der beide standpunten maskeeren, bedient men zich van tusschenliggende punten C , D , enz. (fig. 255). De waarnemer C teekent den tijd aan, die er verloopen is tusschen 't verschijnen van het sein f en dat van het sein f' . De waarnemer D doet hetzelfde voor de seinen f'

(*) De Ouden kenden meer landen in de richting van oost en west dan in die van noord en zuid. Vandaar de namen lengten en breedten voor de beide respectieve stelsels van coördinaten.

en f'' , enz., en dus al verder en verder gaande, verschafft men zich het middel om te weten welk tijdsverloop de ontvlaming der uiterste seinen f , f'' scheidt, welk tijdsverloop men natuurlijk òf voegen moet bij een der waarnemingsuren in A, òf aftrekken moet van het andere in B, om gevolgelijk het gezochte verschil der lengten te bekomen.

626. **Meting der bases.** — Wat de lengte der bases aangaat, men vindt die door houten of metalen linialen, welker lengte bij eene gegeven temperatuur op het nauwkeurigst is bepaald. Men geeft tevens opmerkzaam acht op de veranderingen in lengte, die de afwisseling der temperatuur gedurende het geodesisch werk ondergaat, en brengt die veranderingen in rekening. Tevens beschut men die linialen tegen den rechtstreekschen invloed der Zon, door ze met een klein dak te overdekken. Men voegt ze overlans aaneen met behulp van verticale staafjes waarvan hun einde is voorzien, en vermijdt bij dat aaneenvoegen alle stooten of zelfs te sterke drukking, om hunne lengte niet in 't minst te deren. Een behoorlijk ingericht niveau of waterpas wijst hunne helling aan en veroorlooft bijgevolg hunne herleide lengte te berekenen, wanneer door de ongelijkheid des bodems de glooiing der eiken platen, waarop men ze neerlegt, zoo sterk is, dat hunne stelschroeven ze niet volkomen horizontaal kunnen maken (*).

627. **Herleiding tot het niveau der zee.** — De rechtlijnige driehoeken ABC (fig. 257), welker toppen doorgaans verschillende hoogten hebben, moeten ook herleid worden tot bolvormige driehoeken abc , die met de verlengde oppervlakte der zee samentreffen. Met dit doel meet men van een der punten A de zeniths-hoekafstanden ZAB, ZAC; en de bekende lengten der zijden AB, AC vergunnen vervolgens al de elementen des driehoeks abc voor eene willekeurige hoogte Aa te berekenen (†).

(*) Men kan in Arago's *Base du système métrique* en in geodesische geschriften vinden, hoeveel angstvallige voorzorgen bij verrichtingen van dien aard gevorderd worden: en men vindt daar tevens de herleidings-formules, die men gebruikt om eene gegeven lengte ABCD (fig. 256) tot het niveau of den waterspiegel der zee in $mnpq$ te herleiden. Overigens zullen eenvoudige evenredigheden voldoende zijn, wanneer deze lengte bij gedeelten geprojecteerd zal zijn volgens de horizontalen Aa, Bb, Cc, enz., dewijl de verhoudingen van mn , np , pq tot Aa, Bb, Cc, enz. eenvoudig gelijk zijn aan de verhoudingen

$$\frac{R}{R+h}, \frac{R}{R+h'}, \frac{R}{R+h''}, \text{ enz.}$$

zijnde R de straal Om, en h , h' , h'' de hoogten mA, nB, pC der verschillende punten A, B, C, D, boven de verlengde zee $mnpq$.

(†) De verticalen AO, BO, CO (fig. 257) van de toppen ABC zijn niet parallel; daarom, wanneer men met behulp van den theodoliet (§ 105), die klaarlijkelyk de tot den horizon herleide hoeken aangeeft, de hoeken van den driehoek ABC meet, vindt men gemeenlyk eene grootere som

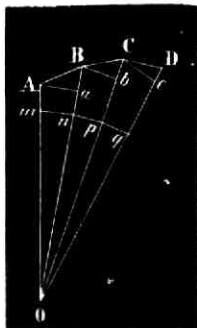


Fig. 256

628. Herleiding tot het middelpunt der standplaats.

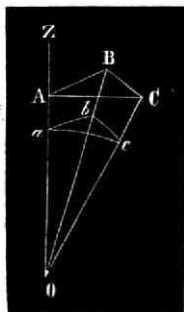


Fig. 257

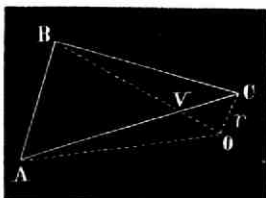


Fig. 258.

— Het gebeurt ook vaak, dat de waarnemer, om een der hoeken ACB te meten, zich niet op het punt C kan plaatsen, alwaar zich het sein bevindt, waarheen men uit de punten A en B ziet;

dit geval doet zich, bij voorbeeld, op, wanneer C de top is van een klokketoren, van eene obelisk, enz., uit welke men de seinen A, B niet zou bespeuren. Men plaatst zich dan op een punt O in de nabijheid van het punt C (fig. 258). Maar nu wordt er eene herleiding noodig, zal men uit den hoek AOB den hoek ACB leeren kennen (*).

629. Bepaling der breedten op zee. — Graadboog der oude zeevaarders van de 15de eeuw. — Op zee zijn de handelwijzen, die wij tot hertoe beschouwd hebben, niet meer voldoende. Men heeft voor de breedten instrumenten noodig, waarmede men de hoekige hoogten kan nemen ondanks de beweging van het schip. Het werktuig, dat men daartoe omstreeks het midden der 15de eeuw gebruikte, droeg den naam van *graadboog* (ook *Sint-Jakobsstaf*, *poolshoogtemeter*), en bestond uit een soort van kruis, welks dwarsstuk AB (fig. 259) *vizier* geheeten, kon schuiven over het langste stuk CD. Drie pinnen A, B, C, loodrecht staande op het vlak van het werktuig, bepaalden twee gezichtslijnen CA, CB, die gericht moesten zijn de eene naar

dan 180 graden, evenals bij de bolvormige driehoeken. Maar men weet dat het mogelijk is, indien de oppervlakte der driehoeken klein is in verhouding tot die der sfeer, waarvan zij een gedeelte uitmaken, de oplossing terug te voeren tot het geval der rechthoekige driehoeken.

(*) De beide hoeken V als overstaande hoeken gelijk zijnde in de driehoeken AVO, BVC, zoo moeten de sommen der twee andere hoeken $B + C$ en $A + O$ ook gelijk zijn, en men heeft bijgevolg $C + B = O + A$; dus $C = O + (A - B)$.

$O = AOB$ is de gemeten hoek. Wij moeten dus A en B, onbekende grootheden in de waarde van C, zoeken te vinden. Wegens de kleinte van OC, die wij door r zullen uitdrukken, zijn de zijden CB, CA of a , b van den driehoek ABC nagenoeg gelijk aan de zijden BO, AO, die door den driehoek AOB berekend zijn. Meet men nu den hoek AOC, dien men *richtingshoek* noemt en dien wij door O' zullen voorstellen, dan hebben wij in den driehoek AOC

$$\sin O' : \sin A = AC : OC = b : r ;$$

in den driehoek BFC

$$\sin BOC = \sin (O' - O) : \sin B = BC : OC = a : r ;$$

en gevolgteljk, daar A en B zeer klein zijn,

$$(\sin A = A) = \frac{r}{b} \sin O', \quad \left(\sin B = B = \frac{r}{a} \right) \sin (O' - O).$$

Dus is nu alles bekend in de uitdrukking, die de waarde van C voorstelt.

den horizon der zee, de andere naar de Zon of naar het hemellicht Z welks hoogte men wilde meten. In het meest voorkomend geval, dat der Zon, plaatste de waarnemer zijn oog in A en richtte AC parallel aan den horizon; daarop bracht hij 't vizier nader bij of verderaf van het punt C, vergrootte of verkleinde alzo den hoek ZCA, totdat de schaduw van de pin B op de pin C viel. Eene graadverdeling op het lange stuk wees zonder berekening de waarde van den gezochten hoek aan (*).

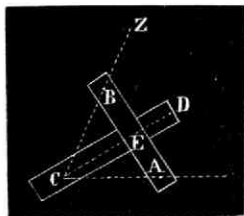


Fig. 259.

630. **Engelsch quadrant.** — **Reflexie- of spiegelwerktuigen.** — **Octant, sectant en geheele cirkel.** — De graadboog werd vervolgens vervangen door het *engelsch quadrant*, nu ook reeds vergeten, dank zij de reflexie- of spiegelwerktuigen, waarvan het eerste denkbeeld schijnt toe te komen aan Newton, ofschoon men het dikwijls heeft toegeschreven aan Hook, en dat Halley in gebruik bracht door eene Memorie, die hij in 1731 bij de Koninklijke Maatschappij te Londen indiende. Men onderscheidt bij deze laatste werktuigen het *octant*, het *sectant* en den *cirkel*, naargelang de *limbus* of de in graden verdeelde boog of rand, die er een gedeelte van uitmaakt, 45, 60 of 360 graden, dat is $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{6}$ of een geheel omtrek bevat. Ziehier hunne voornaamste bijzonderheden.

631. — Zij AB (fig. 260) een glazen plaatje met zeer vlakke en volkomen parallelle kanten, niet verder dan van A tot G verfoelied. Het oog O zal rechtstreeks door het niet verfoelied gedeelte GB den straalbundel ZG opvangen, die van het voorwerp Z uitgaat.

Trekt uit het punt G de perpendicular of normaal GN op AB. Maakt eenen hoek NGg gelijk aan NGO, en plaatst in een of ander punt g van de lijn

Gg den spiegel ab, parallel aan AB. Indien het voorwerp Z zich op verren afstand bevindt, zal de straalbundel, die van dit

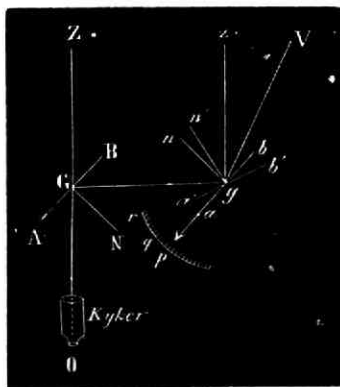


Fig. 260

(*) Men heeft voor dien hoek: $\text{tang } \frac{1}{2} \text{ ZCA} = \frac{\text{BE}}{\text{EC}} = \frac{\frac{1}{2} \text{ vizier}}{\text{EC}}$.

voorwerp op den spiegel ab valt, nagenoeg parallel aan ZG zijn. De loodlijn gn op den spiegel zal kennelijk parallel aan GN wezen en den hoek ZgG in twee gelijke deelen verdeelen. Bijgevolg zal de lichtbundel zg eerst terugkaatsen op ab volgens gG (§ 27), vervolgens op AG volgens GO , en zal aan het oog eene gewaarwording geven van het punt Z , die ineenvloeien zal met die, welke het rechtstreeks door den straalbundel ZG ontvangt.

Laat nu den spiegel ab draaien om g en brengt hem in $a'b'$. De loodlijn gn zal in gn' komen, na eenen hoek ngn' gelijk aan aga' beschreven te hebben. Zij zal zich dus evenveel van de lijn gG verwijderd hebben, als zij de lijn zg is genaderd, hetgeen zeggen wil, dat de hoek $ng'z$ (of ngz min ngn') tweemaal den hoek ngn' kleiner is dan de hoek $n'gG$ (of dan ngG plus ngn' , of wel, dan ngz plus ngn'). Hieruit volgt van zelve, dat een lichtbundel Vg , die met den bundel zg eenen hoek maakt gelijk aan tweemaal ngn' , met betrekking tot de loodlijn gn' op den spiegel $a'b'$, de gevorderde vereischten zal hebben om volgens de lijn gG terug te kaatsen. Het oog O zal dus terzelfder tijd in de richting OZ de boven elkander gebrachte beelden van het punt Z in het punt V zien.

Onderstelt nu, dat een in graden verdeelde boog pqr u den hoek aga' aangeeft, dien de spiegel ab heeft doorloopen; gij behoeft dan dien hoek slechts te verdubbelen om den hoek zgV te bekomen, die tusschen de punten Z en V is begrepen. Met eenen boog van 45 graden of met een octant kunt gij dus hoeken meten tot 90° toe, dat is, van den horizon tot aan het zenith. Met den boog van 60° of het sextant, meet gij hoeken van 120° . Eindelijk, met een geheelen cirkel, wanneer gij, als de spiegel ab in $a'b'$ is gekomen, den spiegel AB derwijze laat draaien dat hij met den kijker parallel aan $a'b'$ wordt, kunt gij uitgaan van de afdeeling a' des cirkels, gelijk gij eerst van de afdeeling a waart uitgegaan, en bij den boog aa' eene tweede maat van den gezochten hoek voegen. Gij kunt er zelfs een 3de, 4de, 5de enz. maat van dien hoek bij voegen, zoodat de op de uiterste aflezingen begane fout door de verdeeling van den dus verkregen boog bijna onmerkbaar wordt. De reflexie-cirkels, die Mayer niet had kunnen ten uitvoer brengen, werden in 1780 door Magellaan ten dienste der marine beschreven en omstreeks 1786 door Borda verbeterd. Sinds dien tijd is het herhalen der hoeken mogelijk geworden op zee, waar het gebruik van reflexiewerktuigen zich eerst tot het octant en het sectant bepaald had.

632. **Beproeving der reflexie- of spiegelwerktuigen.** — Ik behoeft u gewis niet te zeggen, dat de spiegels loodrecht op den limbus pqr moeten staan. Om zich te verzekeren, dat dit het geval is met den spiegel ab , beschouwt men een gedeelte

van den limbus rechtstreeks, en het andere door terugkaatsing op *ab*. De limbus zal gebroken schijnen, als de spiegel *ab* er niet loodrecht op staat. Wat den spiegel AB betreft, zijn loodrechte stand zal blijken uit de waarneming eener horizontale lijn, rechtstreeks en bij terugkaatsing op den spiegel *ab* gezien, die zelf reeds loodrecht op den limbus staat. Het teruggekaatste beeld moet nauwkeurig in een rechte lijn met het rechtstreeksche beeld liggen.

633. — Het nulpunt van den limbus beantwoordt aan den evenwijdigen stand der spiegels. Die evenwijdige stand kan gestoord worden door verschillende oorzaken, zooals de speelruimte van een der spiegels, de misvorming van den *index* of wijzer, enz., en de fout draagt dan den naam van *collimatie*. Om ze te verbeteren, neemt men een zeer ver verwijderd voorwerp waar. Daar de stralen op de beide spiegels alsdan parallel zijn, teekent men het nulpunt van het instrument daar, waar zich de *index* (*) van den spiegel *ab* bevindt als de voorwerpen samenvallen.

Op zee bepaalt men den evenwijdigen stand door de beide beelden der Zon op elkander te brengen, of liever door de beide beelden elkaar te doen raken in twee tegenovergestelde randen en dan de gemiddelde aanwijzing te nemen voor het nulpunt van den limbus, op welken men daarenboven, om den waarnemer zelfs van de moeite der verdubbeling te ontheffen, de hoeken dubbel teekent, dat is, met de waarde, die zij werkelijk moeten opleveren. Het werktuig heeft bovendien gekleurde glazen voor het

waarnemen der Zon, en doorgaans ook eenen kijker (ofschoon deze laatste geen volstrekt vereischte is), ten einde des te beter de aanraking der voorwerpen, wier hoekige afstand men zoekt, te kunnen waarnemen. Men moet altijd rechtstreeks naar het minst schitterende voorwerp zien; want de dubbele terugkaatsing op de spiegels verzwakt het licht der beelden aanmerkelijk. Ook behoort men, wanneer men uit het punt A van een schip naar den horizon der zee ziet, ook de *kimduiking* TAH (fig. 261), te weeg gebracht door de verhooging van het

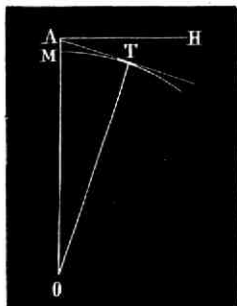


Fig. 261.

punt A, in rekening te brengen. Deze kimduiking kan gemakkelijk berekend worden voor iedere hoogte AM (+), die een weinig veranderlijk is met de breedte; zij is gemiddeld gelijk aan $2'10''$

(*) Ik zeg de *index* ter wille van meer eenvoudigheid in de figuur, maar inderdaad is 't het nulpunt van een nonius, dat zelf tot *index* dient.

(+) Men heeft: $\sec TAH = \sec TOA = \frac{OA}{OT} = \frac{R + h}{R}$,
zijnde R de straal der Aarde en *h* de hoogte MA van den waarnemer.

voor 1 meter, aan 6'10" voor 10 meters en aan 12'10" voor 40 meters hoogte.

634. — Wanneer de horizon der zee nevelachtig is, ziet men naar de Zon rechtstreeks en door terugkaatsing; men meet, in een woord, den hoek ZOz' (fig. 262), het dubbele van den gezochten hoek ZOH of zIk . Men bedient zich daartoe van een artificiëlen horizon of kunstkim, die vast is op het land, maar die op zee eenvoudig bestaat uit eenen op een tol geplaatsten kleinen spiegel, wiens omdraaiing, als de tol opgewonden is, twaalf of vijftien minuten duurt, en horizontaal geschiedt, ondanks de beweging van het schip.

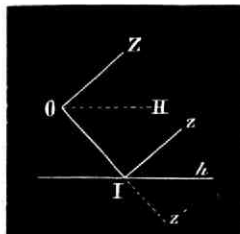


Fig. 262

635. Bepaling der lengten op zee.

— Ziedaar de voornaamste werktuigen, die de zeelieden bezigen om hunne *breedte* te weten. Wat de *lengte* betreft, men kan die met groote juistheid bekomen door middel van de chronometers, die tegenwoordig door onze werktuigmakers zoo voortreffelijk vervaardigd worden. Men behoeft toch, bij zijne afreis, deze chronometers slechts te regelen naar het uur van den tot aanvangspunt der lengten gekozen meridiaan, naar het uur, bij voorbeeld, van Amsterdam, Londen, Parijs, enz., en gedurende de reis aanteekening te houden van hun dagelijkschen, door vroegere waarnemingen bepaalden gang: zoodoende zal men op ieder gegeven tijdstip weten hoe laat het is te Amsterdam, te Londen, te Parijs. De doorgang van de Zon, van eene Ster, van eene Planeet door den meridiaan; de eenvoudige zenithsafstand van een dezer hemellichamen waargenomen op zee, wanneer men de breedte van het punt waar men zich bevindt heeft bepaald, enz. (*), geven vervolgens het uur aan

(*) Zij Z (fig. 263) het zenith des waarnemers O , P de Pool, s dit of dat hemellichaam, waarvan $R.O$ en de declinatie, gevolgelyk ook de poolsafstand bekend zijn. Zoo gij rechtstreeks Zs meet op een gegeven oogenblik van uwen chronometer, terwijl gij de straalbreking als ook de parallax in rekening brengt, zal de bolvormige driehoek ZPs onmiddellyk den uurhoek ZPs geven, zoodra gij uwe breedte of zijn complement PZ hebt bepaald, want gij zult alsdan de drie zijden hebben. Gij zult dan weten op welk uur van uwen naar Amsterdam, bij voorbeeld, geregelden chronometer de Ster door den Meridiaan PZ moet gaan, en daar gij ook weet op welk uur van denzelfden chronometer die Ster door den Meridiaan van Amsterdam gaat, zult gij uit het verschil der uren het verschil der lengten kennen.

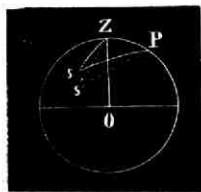


Fig. 263

Twee op bepaalde uren van uwen chronometer gemeten zenithsafstanden zouden u ook terzelfder tijd en de lengte en de breedte kunnen geven. Immers, drukt de breedte door B , de uurhoeken ZPs , ZPs' door P en P' , en de declinatie der Ster s door D uit; gij zult dan de twee vergelykingen hebben

$$\begin{aligned} \cos Zs &= \cos PZ \cdot \cos Ps + \sin PZ \cdot \sin Ps \cdot \cos P \\ &= \sin B \cdot \sin D + \cos B \cos D \cos P. \end{aligned}$$

van de plaats, en de vergelijking der beide uren geeft het verschil in lengten. Het onderzoek naar den gang der chronometers kan bovendien, gelijk wij reeds aanmerkten, van tijd tot tijd geschieden, hetzij door de Eclipsen van Jupiter's Wachters, hetzij door de bedekkingen van Sterren achter de Maan, of door de hoekige afstanden der verschillende hemellichamen, berekend voor bepaalde uren van Amsterdam, Parijs, Londen, enz. in de Astronomische Tafels, waarvan de zeevarenden steeds voorzien moeten zijn; hetzij eindelijk door de doorgangen der Hemellichamen door den Meridiaan, terwijl men eene kust of reede onder bekende lengte aandoet.

636. **Vaart op de log, het logglaasje en het kompas.** — **Compensator van Barlow.** — Tusschen twee astronomische bepalingen vaart men, gelijk men 't noemt, naar *gegist bestek* en *kaartpassen*, met behulp van de log, het logglaasje en het kompas. Het eerste dezer werktuigen is eenvoudig een drijver of plankje ABCP (fig. 264), dat men in zee werpt, terwijl men

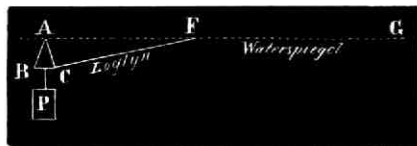


Fig. 264.

op het schip de lijn CF, waaraan de log bevestigd is, van eene rol, de *logrol*, laat afloopen. Het plankje is met eenen hanevoet aan de loglijn vast, en van onderen is het met eenig lood bezwaard, waardoor het plankje rechtstandig

in het water kan blijven staan. Zoodra nu het plankje zich in het water bevindt, zal het, door de minste trekking aan de lijn; zich rechtstandig achter het schip in 't water plaatsen; intusschen zal de lijn, door 't voortzeilen van 't vaartuig, van de rol loopen en het plankje in zee achter het schip blijven stil staan. Men heeft alsdan slechts op te merken, in hoeveel tijd een zeker bepaald gedeelte lijn van de logrol afloopt of wordt afgezeild, om daardoor vervolgens de vaart voor 4 uren te vinden. 't Is voor dezen tijd of 4 u, dat de Nederlandsche zeelieden steeds hunne vaart berekenen, en die bij elke opgave van vaart stilzweigend aangenomen moet worden; verder rekenen zij die vaart altijd in *geographische* of *Duitsche mijlen*, waarvan er 15 op eenen graad vervat zijn. De grootte van zulk eene mijl is 7 407,4 meter Als men nu het logplankje slechts 30 s. in het water

$$\begin{aligned} \cos Zs' &= \cos PZ \cdot \cos Ps' + \sin PZ \cdot \sin Ps' \cos P \\ &= \sin B \cdot \sin D + \cos B \cdot \cos D \cdot \cos P' \\ &= \sin B \cdot \sin D + \cos B \cdot \cos D \cdot \cos (P + K); \end{aligned}$$

zijnde K de hoek sPs' , dien men kent uit het verschil der uren, waarop men Zs, Zs' heeft gemeten. Er blijft dus niets over dan het bepalen van B en P, en de beide vergelijkingen zijn daartoe voldoende. De waarde van P zal vervolgens de lengte doen kennen.

laat, moet er 15,43 m. ($\frac{1}{8}$ van 7 407 m.) van de lijn uitloopen, zal men kunnen rekenen dat er 1 mijl in de 4 u. gezeild wordt; loopt het schip in den tijd van 30 s. twee-, drie- of meermalen dien afstand van 15,43 m., dan is het duidelijk dat het schip twee, drie of meer mijlen in 4 u. zal afleggen. Ten einde nu steeds die afstanden op de lijn zelve te kunnen bepalen, wordt er in de lijn bij de eerste 15,43 m. een dun lijntje met *een* knoopje, bij den tweeden gelijken afstand een lijntje met *twee* knoopjes, bij den derden afstand een lijntje met *drie* knoopjes, enz. gemaakt; deze knoopjes dienen nu, om gemakkelijk en op het gevoel die afstanden te kunnen bepalen. Om het plankje goed rechtstandig te doen zijn en het van de werking van het zog des vaartuigs te ontslaan, eer men de telling der genoemde afstanden begint, laat men tusschen het plankje en den eersten afstand, die de eerste mijl aanduidt, een gedeelte der loglijn vrij, welk gedeelte der loglijn men gemeenlijk de *voorlooper* noemt en die veelal gelijk aan of somtijds iets kleiner dan de lengte van het schip genomen wordt. — In plaats van horloges bezigt men bij het loggen veelal kleine zandloopers, *logglaasjes* genaamd, die met zand, fijn gestampt zink of andere stoffen gevuld zijn en die door het uitloopen den genoemden tijd van 30 s. meer of min nauwkeurig aangeven. Deze logglaasjes moeten van tijd tot tijd met een uurwerk vergeleken worden; ook dient men wel te onderzoeken of zij wel over beide zijden even lang of den gezetten tijd loopen" (*). — Het kompas eindelijk is die horizontale naald, welke

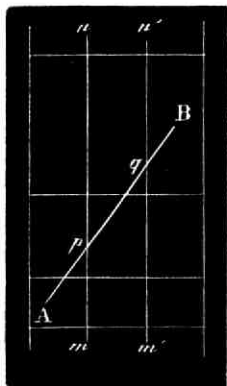


Fig. 265.

iedereen kent, en die op eene spil draait boven een in graden verdeelden cirkel, waarvan men de *zeilstreep*, dat is den diameter, die de deelstrepen 0 en 180 verbindt, juist evenwijdig aan de kiel van 't vaartuig plaatst. Daar de *declinatie* of, zooals de zeelieden zeggen, de *miswijzing* van de magneetnaald, dat is de hoek, dien de naald met den astronomischen Meridiaan maakt, weinig verandert voor geringe afstanden, zoo behoeft men, wanneer die hoek aan het punt A (fig. 265), waar men zich bevindt, bekend is, om in eene gegeven richting AB te zeilen, het vaartuig slechts in die richting te brengen en te zorgen dat er steeds, met behulp van het roer, dezelfde opening blijve tusschen de naald en de zeilstreep, na aftrek, wel te verstaan,

van den invloed van 't ijzer aan boord, een invloed, dien men

(*) Swart, Handleiding voor de praktische Zeevaartkunde.

door den zoo bekenden *compensator* of vereffenaar van Barlow met zeer voldoende nauwkeurigheid in rekening kan brengen.

637. **Loxodromie en zeekaarten en kaarten van Mercator.** — Men merke op, dat de dus afgelegde lijn AB, die op eene behoorlijk ingerichte kaart met de verschillende Meridianen *mn*, *m'n'* gelijke hoeken maakt, dat is, eene rechte lijn schijnt te zijn, inderdaad een boog met dubbele kromming *ApqB'* (fig. 266) is. Want met uitzondering van den *Æquator* snijdt een

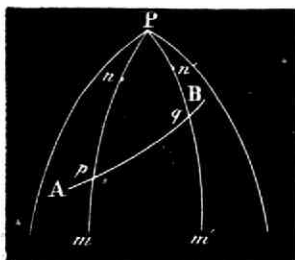


Fig. 266.

tusschen twee punten getrokken groote cirkel de Meridianen, die hij ontmoet, klaarblijkelijk onder ongelijke hoeken. De kromme lijn *ApqB'* draagt den naam van *loxodroom* of *loxodromische lijn* (*); en ofschoon zij op de sfeer niet de kortste weg tusschen twee punten moge wezen, vinden zeevarenden, die zich over den afstand niet behoeven te bezwaren, haar verkieslijk, omdat zij door haar te gebruiken met een oogopslag kunnen zien onder welk azimuth of, om

als zij te spreken, op welke *streek* $Apn = Aqn'$ zij moeten varen. Niets is overigens gemakkelijker dan de samenstelling van kaarten, waarop de *loxodroom* zich als een rechte lijn voordoet en die men daarom zeekaarten noemt, ook wel kaarten van Mercator, naar den naam des Aardrijkskundigen, die ze het eerst bedacht. 't Is toch daartoe voldoende, gelijk men licht kan bewijzen, dat men de Meridianen volgens evenwijdige rechte lijnen ontwikkelt, en dat men op deze Meridianen de lengte der graden vermeerdert in verhouding tot de verlengingen die de verschillende parallellen ondergaan, als zij zelve loodrecht op de Meridianen ontwikkeld worden (†).

638. **Temperatuur der zee.** — Nog eenige woorden, alvorens wij de beoefening des Aardbols vaarwel zeggen. Wij hebben reeds gezien, dat de temperatuur van dezen Bol omtrent een graad op 30 tot 40 meters diepte toeneemt; dat de temperatuur der lucht daarentegen eenen graad op 160 tot 200 meters hoogte afneemt. Voegen we hierbij, dat de temperatuur der zee insgelijks veranderlijk is, maar dat de temperatuur des zeebodems over 't algemeen 4 graden bedraagt, wat ook overigens de temperatuur der oppervlakte moge wezen. Ongetwijfeld een gevolg van de omstandigheid, dat de temperatuur van 4 graden

(*) Van het Grieksch *loxós*, schuinsch, en *drómos*, loop.

(†) Zie de Noot over de geographische kaarten, aan het einde der Vier en twintigste Les.

hoogst waarschijnlijk overeenkomt met het maximum van dichtheid voor het zoute water, zoowel als voor het zuivere.

639. **Stroomingen.** — Men heeft van de stroomingen rekenschap zoeken te geven door die temperatuur van 4 graden, welke de onderste lagen hebben. Het water toch, na zijn maximum van dichtheid bereikt te hebben, moet naar de diepte der zee dalen, alwaar de aanraking met den bodem en die met de hoogere vloeibare lagen weldra de temperatuur doen veranderen en de nederdaling van nieuwe lagen op 4 graden te weeg brengen. Nu is het zeer mogelijk, dat zulk eene beweging, ten deele althans, de oorzaak der stroomingen is. Ik zeg ten deele, want het kan ook wezen, dat de gedaante der vastelanden, de aantrekkende werking van zekere Hemellichamen (de Zon en de Maan), enz. mede iets toebrengen aan het ontstaan van 't verschijnsel, dat vooral met eene merkwaardige intensiteit optreedt in de groote strooming (de eenige die tot dusverre naar eisch onderzocht werd), wier uitgangspunt aan de Golf van Mexico is en wier loop zich uitstrekt langs de kust der Vereenigde Staten tot aan de IJslandsche Zee, alwaar de wateren nog iets behouden hebben van de hoogere temperatuur, die zij in de zeeën des *Æquators* hebben opgedaan.

640. **Lagere tegenstroomingen.** — **Zoutheid des waters.** — Er bestaan bovendien andere stroomingen met niet minder aanzienlijke verhoudingen, maar even moeielijk te verklaren, en die, in 't voorbijgaan gezegd, verschillende natuurkundigen genoopt hebben tot de onderstelling van lagere tegenstroomingen ter ontlasting van het te-veel, wanneer de verdamping niet toereikend schijnt om het niveau in stand te houden. Wat de zoutheid betreft, die zekere oorspronkelijk zoet water bevattende meren (*) op den langen duur aannemen, men kan ze bezwaarlijk toeschrijven aan iets anders dan aan deze laatste oorzaak (de verdamping), welke ten laatste waarschijnlijk eene ophooping der zouten (†) te weeg brengt, waarvan de stroomen, de bronnen, de regens, enz. allengs de gronden berooven, terwijl die verdamping tevens rekenschap van de zoutheid der zeeën zou kunnen geven.

641. **Vershil van niveau tusschen de kleine zeeën.** — 't Is ongetwijfeld in de verdamping, verbonden met de lagere tegenstroomingen, en waarschijnlijk ook in den tegenstand, dien de engten aan den doortocht der vloeibare massa's bieden, als-

(*) Het meer Mæris, bij voorbeeld.

(†) De zeeën van den tegenwoordigen tijd bevatten gemiddeld 0,037 zoutachtige stoffen, waarvan ongeveer drie vierden zeezout zijn. Het overschietende vierdedeel bestaat uit chloormagnesium en chloorpotassium; uit zwavelzuur magnesium en zwavelzure potasch; eindelijk uit koolzure kalk. Het zeewater bevat insgelijks een weinig ammoniak

mede in de snelheidsveranderingen als gevolg van de ongelijkheden der rotatie op de onderscheidene doorloopen parallellen, dat men de verklaring moet zoeken van het verschil in niveau, hetwelk men in de kleine zeeën aantreft. Hoe anders toch te verklaren, dat bij voorbeeld de Middellandsche en de Roode Zee, gescheiden, 't is waar, door de landengte van Suez, maar niettemin in gemeenschap met elkander door den Oceaan, meer dan 10 meters in niveau verschillen?

642. **Veranderingen in de respectieve niveaux der zeeën en vastelanden.** — Voor 't overige verandert somwijlen het niveau der zeeën zelve met betrekking tot de vastelanden. Zoo ziet men in de nabijheid van Cadix, bij laag tij, eenen tempel van Hercules onder het water. Te Ravenna ligt de vloer der Cathedraal tegenwoordig anderhalve palm beneden het niveau der Adriatische Zee, terwijl hij toch ongetwijfeld boven dat niveau gelegd is. De vloer van 't paleis van Tiberius te Caprea is insgelijks lager dan 't niveau der zee. De vermaarde zuilen van den vermeenden tempel van Serapis (*) bij Napels zijn vol gaatjes, geboord door *lithophagen* (steenknagers), niet aan de oppervlakte zelve van het water, alwaar de *pholaden* (boorschelpdieren) doorgaans aan de steenen knagen, maar in eenen op trent 6 meters hoogte aangebrachten gordel; de beide vloeren des tempels, ongetwijfeld op twee verschillende tijden gelegd, zijn zelve weder gescheiden door eene verticale hoogte van verscheidene meters. De grond van Zweden, eindelijk, rijst tegenwoordig ongeveer twee meters in eene eeuw, enz. Al deze feiten bijeengenomen strekken ten bewijze, dat de aardkorst, ten gevolge van inwendige werkzaamheid, op zekere punten opgeheven, op andere neergedrukt wordt; want men meent het verschijnsel niet wel te mogen toeschrijven aan het verbreken van 't niveau der zeeën, wier oppervlakte meer dan drie vierde gedeelten des Aardbols bedekt, en waarvan sommige, door onlangs gedane peilingen bepaalde diepten het verbazend cijfer van 14 kilometers bereiken, ja te boven gaan.

643. **Centrale warmte en waarschijnlijke vloeibare toestand van het inwendige des Aardbols.** — Die merkwaardige bewegingen van het uitwendig bekleedsel onzes Aardbols voeren ons tot de oorzaak, die ze kan voortbrengen. Vergelijkt de hooge temperaturen van verschillende warme bronnen, de 80 graden, bij voorbeeld, die men te Karlsbad vindt, de 68 graden, die men te Luchon waarneemt, de 45 graden, die Barèges oplevert, de toeneming van 1 graad warmte op elke 35 a 40 meters diepte, die bij het boren der Artesische putten blijkt, enz., bij de aard-

(*) Een tempel, die wellicht niets anders dan eene badinrichting was.

bevingen, de vulkanische verschijnselen, de in verschillende gronden bedolven fossielen, enz., enz.; en gij zult er geen oogenblik aan twifelen of onze Aarde, na geheel en al vloeibaar geweest te zijn bij hare wording, in het tijdvak waartoe de overleveringen den chaos brengen, bevindt zich nog in vloeibaren staat onder het vast geworden omhulsel, dat wij tegenwoordig bewonen.

644. **Vulkanische verschijnselen.** — Inderdaad, beschouwt de schelpen, vastgeklemd in 't gesteente zelve, waaruit zekere bergen bestaan, en dat zich, op de hellingen dezer laatsten, vaak uitbreidt in schuinsche lagen, om zich weldra in de omliggende vlakten als horizontale beddingen te vertoonen. Let op de overeenkomst, of liever op de volkomen eenzelveheid der gronden, gelegen aan weerszijden van verschillende zeeëngten, in de Iersche Zee, te Gibraltar, enz. Slaat de organische overblijfsels gade, die vervat zijn in de opeenvolgende trapsgewijze indiepingen, welke door de mijnschachten loopen, of die zich op de glooiing der hoogvlakten aan de oppervlakte des bodems vertoonen, enz. Toont dit alles niet duidelijk aan, dat de horizontale lagen, na afgezet te zijn door de wateren, waarin, als te onzen tijde, talrijke overblijfsels van dieren en planten dreven, moeten verbroken zijn geworden nu eens door de plotselinge opheffing, dan weder door het eensklaps inzinken van den bodem, dan weder, eindelijk, door diepe plooiën of kronkels, in de korst der Aarde ontstaan?

En hoe zal men dergelijke verschijnsels verklaren? Hoe zal men rekenschap geven van de zoo verbazend overvloedige uitwerpsels van lava? hoe van de trillingen en schuddingen des bodems, die zich als 't ware in één oogenblik tot op zeer groote afstanden voortplanten? Hoe zal men zich een begrip vormen aangaande de oude kraters van tien tot twintig duizend meters, van de aan talrijke groepen geschaarde vulkaanmonden, zooals men die, onder anderen, in Europa waarneemt, als men zich van den Vesuvius naar den Etna begeeft? Hoe dat alles opgelost, indien men niet aanneemt, dat er eene vloeïende gemeenschap bestaat tusschen het binnenste en het buitenste der Planeet, waarop wij die indrukmakende vertooningen gadeslaan? Heeft men niet de vulkanische uitstrooming van 1669 verscheidene dorpen in den omtrek des Etna's ter dikte van 6 a 7 meters zien overdekken? Hebben soortgelijke feiten niet plaats gehad, nauwelijks tweehonderd jaar geleden, aan den Vesuvius, dien schrikbarenden vernielers der steden Herculaneum en Pompeji, wier opdelving ons heden, als hadden we toenmaals geleefd, na eene vergetelheid van 18 eeuwen, eenen blik doet slaan op de zeden en gebruiken harer inwoners en op den smartelijken doodsangst van zooveel slachtoffers, toen zij radeloos de vlucht namen, be-

last met hun goud en kleinoodiën, door wolken van brandende asch of stroomen van slijkregens heen; te midden van het geroommel des donders en 't akelig geknal des vulkaans, om ten slotte onder zijn uitgeworpen gloed levend bedolven te worden? En zijn nog ten huidigen dage de werkzame vulkanen, die soort van veiligheidskleppen, door welke het te-vol ontsnapt, ontstaande uit de ontzettende drukking der gassen of dampen, die door de bodemspleten heen zich bij aanraking met de brandende lava's komen ontwikkelen — zijn zij niet krachtadig genoeg om, zooals onder anderen de Cotopaxi, steenblokken van 4 of 5 meters dikte tot op 10 of 12 kilometers afstand te werpen? Werd niet de aardbeving, die in 1755 zulke geduchte verwoestingen te Lissabon aanrichtte, gelijktijdig gevoeld van de Alpen af tot in Canada toe? Ging die van 1750, hoewel minder geweldig, nogtans niet van de Antilles tot aan den mond des Orinoco's? Heeft men niet almede zoodanige aardschuddingen zich zien voortplanten over eene uitgestrektheid van 2000 tot 3000 kilometers, van de Molukken tot aan Sumatra? enz., enz.? En terwijl zoodanige gevolgen onder de werking des vuurs optreden, pakken niet de neergeplofte bezinksels zelve zich samen op den bodem der zeeën, alwaar ze, gelijk in de onderscheidene geologische tijdperken, de overblijfsels der thans op den Aardbol levende wezens in zich vatten, wachtende slechts, om uit den schoot der wateren op te rijzen, op eene golving der aardkorst schuins op de ledige ruimten, ontstaan uit de trapsgewijze afkoeling en verdichting der in gloeienden toestand verkeerende inwendige stoffen?

645. Gevolgtrekkingen. — Cosmogonische theorieën.
 — **Stelsel van Laplace aangaande de vorming der Planeten en hare Wachters.** — En wat de waarneming ons heeft geopenbaard omtrent de oude onderstbovenkeeringen op onze Planeet en wat wij nog onder onze oogen zien plaats grijpen, en de evenwijdige loop der aardrimpels, die zich, volgens de merkwaardige nasporingen van Elie de Beaumont, bij elke omverwerping hebben gevormd, en de afgeronde oppervlakte des Aardbols, en zijne afplatting in verband met de middelpuntvliedende kracht, enz., enz., — alles geeft ons recht om te denken, dat de Aarde, oorspronkelijk vloeibaar, nog tegenwoordig van binnen, zool niet in volkomen druipbaar-vloeibaren staat (dewijl er geen dagelijksche getijen in plaats schijnen te hebben), althans in den toestand van een eenigszins verdikt vocht verkeert, weinig van de vloeistof verschillende. Wanneer men denkt aan de overeenkomst in gedaante, in rotatie en in afplatting, die zij met de andere Planeten oplevert, aan de rechtstreeksche bewegingen dier verschillende lichamen, alsook der om hen wettelende Wachters, aan de bijna samenvallende vlakken der loop-

banen van die Planeten (de voornaamste), welke niet, gelijk men zulks van de asteroïden tusschen Mars en Jupiter heeft gedacht, de uitwerking eener ontploffing hebben ondergaan, enz., enz., voelt men zich dan niet geneigd om met groote vernuften, zooals onder anderen Buffon en Laplace, te onderstellen, dat een gemeene oorsprong al de lichamen van ons planetenstelsel aan de Zon verwant maakt? Alleen kan men, naar hetgeen ons tegenwoordig van de geringe massa der Kometen bekend is, onmogelijk meer aannemen, gelijk Buffon deed, dat de botsing van eene Komeet alles heeft losgerukt van den centralen lichtgevendenden bol, op welchen bovendien de Planeten weder neergeploft zouden zijn, toen zij, na eene eerste volbrachte omwenteling, opnieuw door het uitgangspunt moesten gaan. Maar het schijnt met de rede vrij wel te strooken, als men, in overeenstemming met Laplace's denkbeelden, den bijbelschen chaos in verband brengt met het bestaan eener verbazend groote nevelster, die, om zich zelve wentelende en sterk afgeplat ten gevolge der uit de rotatie geborene centrifugale krachten, gedurende de achtereenvolgende phasen van hare afkoeling verschillende lagen heeft losgelaten, wier samenpakking tot kleine bollen (*) de oorsprong is van de Planeten en van al de hemellichamen (althans van de Planeten met hunne Wachters), die aan de Zon gehoorzamen.

(*) Deze samenpakking, beantwoordende aan de scheiding der duisternis van het licht, verklaart op zeer eenvoudige wijze, gelijk men in Laplace's *Système du Monde* kan zien, de rechtstreeksche bewegingen, hetzij van voortgaande verplaatsing in de ruimte, hetzij van wenteling om eene as, die den Planeten en Wachters eigen is. De theorie van Laplace verklaart insgelijks waarom de verst van de Zon verwijderde Planeten in 't algemeen ook de minst dichte zijn. Wat de zeer uitmiddelpuntige Kometen betreft, men kan ze beschouwen als geboren uit dwalende cosmische stoffen, die de Zon aan zich heeft onderworpen.



NOOT I.

BEPALING DER AFPLATTING MET BEHULP VAN TWEE GRADEN, ONDER VERSCHILLENDE BREEDTEN GEMETEN.

646. — Onderstelt den meridiaan elliptisch en weinig afgeplat, dat is, gelijk hem de waarneming leert kennen, als den cirkel zeer nabijkomende. Indien gij door A en B de beide assen, en door e de excentriciteit der ellips aanduidt, zult gij hebben

$$e^2 = \frac{A^2 - B^2}{A^2} = 1 - \frac{B^2}{A^2};$$

en neemt gij als uitdrukking der afplattung de verhouding $\frac{A-B}{A} = 1 - \frac{B}{A}$, dan zult gij bevinden, wanneer gij die afplattung, gelijk men doorgaans doet, door $\frac{1}{p}$ voorstelt,

$$\frac{B}{A} = 1 - \frac{1}{p}; \text{ waaruit } e^2 = 1 - \left(1 - \frac{1}{p}\right)^2 = \frac{2}{p} - \frac{1}{p^2} = \frac{2}{p}$$

wegens de zeer kleine afplattung $\frac{1}{p}$, die toelaat dat $\frac{1}{p^2}$ verwaarloosd wordt.

Bij gevolg,

$$\text{afplattung} = \frac{1}{p} = \frac{1}{2} e^2.$$

Er valt dus niets te bepalen dan e' .

Zij L de hoek MNA (fig. 267, die de normaal MN met den straal des *Æquators*

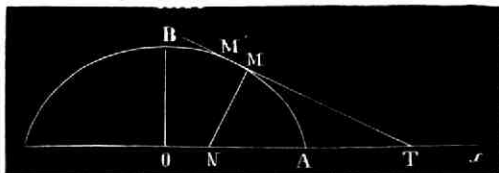


Fig. 267.

OA maakt of de breedte van het punt M, en $x'y'$ de coördinaten van dit punt; de vergelijkingen

$$\left(\text{tang MTN} = \text{cotg MNT} = \text{cotg L} = \frac{1}{\text{tang L}} \right) = \frac{B x'}{A y'}$$

$$\text{zullen u geven } x' = \frac{A^2 y'^2 + B^2 x'^2}{A \cos L \sqrt{1 - e' \sin^2 L}}, \quad y' = \frac{A^2 B^2}{A (1 - e') \sin L \sqrt{1 - e' \sin^2 L}}$$

en gevolgelijk

$$dx' = - \frac{A (1 - e') \sin L dL}{(1 - e' \sin^2 L)^{\frac{3}{2}}}, \quad dy' = \frac{A^2 (1 - e') \cos L dL}{(1 - e' \sin^2 L)^{\frac{3}{2}}}$$

$$\text{waaruit} \quad ds = \sqrt{dx'^2 + dy'^2} = \frac{A(1-e^2)dL}{(1-e^2 \sin^2 L)^{\frac{3}{2}}}$$

zijnde dL het verschil der uiterste breedten op den hoog $MM' = ds$. Meet dan onder twee breedten L' , L'' twee bogen ds' , ds'' en de verschillen dL' , dL'' van de breedten aan de uiteinden dezer bogen, zoo zult gij hebben

$$ds' = \frac{A(1-e^2)dL'}{(1-e^2 \sin^2 L')^{\frac{3}{2}}}, \quad ds'' = \frac{A(1-e^2)dL''}{(1-e^2 \sin^2 L'')^{\frac{3}{2}}}$$

vergelijkingen, die de beide onbekenden A , e zullen bepalen. Maar indien gij $dL' = dL''$ onderstelt, hetgeen zoo wezen zal als gij bogen van éénen graad neemt, dan vindt gij daaruit onmiddellijk

$$\frac{ds'}{ds''} = \frac{(1-e^2 \sin^2 L'')^{\frac{3}{2}}}{(1-e^2 \sin^2 L')^{\frac{3}{2}}} = \frac{1 - \frac{3}{2}e^2 \sin^2 L''}{1 - \frac{3}{2}e^2 \sin^2 L'}$$

u bepalende tot de termen in e^2 ; waaruit volgt

$$\frac{1}{2}e^2 = \frac{1}{3} \frac{(ds' - ds'')}{(ds' \sin^2 L' - ds'' \sin^2 L'')} = \text{afplatting } \frac{1}{p}$$

N O O T II.

647. De schommelingen des slingers op verschillende punten des Aardbols doen de afplatting blijken. — De lengte l van den slinger staat in verband met de intensiteit g der zwaarte op eene gegeven plaats der Aarde, en met den duur t der schommeling, wanneer de beschreven bogen zeer klein zijn, volgens de formule

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

zijnde π de verhouding van den omtrek tot den diameter.

Zoodat l en g in denzelfden zin veranderen. Vermindert de lengte l bij den Aequator, zoo vermindert er insgelijks de intensiteit g der zwaarte. De verkorting van den seconde-slinger (§ 612) toonde zoo aan Richer, en eenige jaren later aan Halley, de vermindering der zwaartekracht aan. Deze beide Sterrenkundigen aarzelden niet het verschijnsel toe te schrijven eensdeels aan de uitzetting onder den Aequator, die den slinger van het middelpunt der Aarde verwijderde, waaruit zij de aantrekking afleidden; anderdeels aan de uitwerking der middelpuntvliedende kracht, evenredig aan den straal der parallel, gevolgelyk nul aan de Pool, en zoo groot mogelijk aan den Aequator.

Waarden der afplatting, theoretisch verkregen door Huygens en Newton. — Huygens bepaalde op zijne beurt omstreéks denzelfden tijd de waarde der afplatting, daarbij aannemende eenen hevel POA (fig. 268), die tot de Pool P en een of ander punt A, gelegen op de breedte AE = L, ging. Als ω de rotatie-snelheid en r de straal der Aarde is, zal de straal der parallel AQ gelijk zijn aan $r \cos L$; en de centrifugale kracht, gericht volgens AB, zal, gelijk men

weet, $\omega^2 r \cos L$ tot uitdrukking hebben. Hare composante volgens de verticaal AZ, of in de tegenovergestelde richting van de zwaartekracht, zal dus zijn

$$\omega^2 r \cos L \times \cos L = \omega^2 r \cos^2 L.$$

Stelt g de intensiteit der zwaartekracht voor in de onderstelling van de onbeveelgijkheid der Aarde, dan zal g ook de zwaartekracht aan de Pool wezen, waar de middelpuntvliedende kracht nul is, gelijk men bovendien ziet, indien men in de uitdrukking dezer laatste $L = 90^\circ$ maakt; en $g - \omega^2 r \cos^2 L$ zal de aantrekking zijn, werkende op het punt A in de richting AO. Deze beide krachten leverden Huygens de meerdere lengte, die hij aan het been OA des hevels moest geven, zou het gewicht der beide vochtkolommen AO, PO met elkander evenwicht maken. De aldus voor de afplatting gevonden waarde was gelijk aan $\frac{1}{378}$.

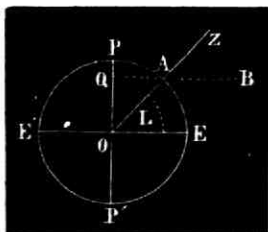


Fig. 268.

Newton, van zijnen kant, verkreeg door eene meer algemeene analysis, en door de aantrekkingen van al de moleculen in rekening te brengen, terwijl hij de Aarde als homogeen onderstelde, voor de afplatting $\frac{1}{230}$.

Nasporingen betreffende dit vraagstuk door verschillende meetkundigen. — De waarneming heeft getoond, dat de waarheid tusschen deze beide uitersten in ligt; en dank zij het analytische onderzoek van Clairaut, d'Alembert, Legendre, Laplace, enz., de theorie geeft inderdaad eene uitkomst, in overeenstemming met de waarneming, wanneer men de dichtheid van de oppervlakte af naar het middelpunt laat toenemen, hetgeen vrij nauwkeurig moet zijn, daar de gemiddelde dichtheid der Aarde gelijk is aan vijf en een half maal de dichtheid van water, terwijl de dichtheid der oppervlakte-lagen weinig meer dan 2,8 of 3,0 bedraagt, de dichtheid van het water tot eenheid genomen.

Maat der afplatting door den slinger. — De slinger geeft ook de maat der afplatting aan; want als A de lengte des seconde-slingers aan den Aequator, en A + B de lengte diens slingers aan de Pool uitdrukt, dan vindt men door de beginselen der hemelsche Mechanica voor de lengte l des slingers op de breedte L

$$l = A + B \sin^2 L,$$

en voor de afplatting

$$\frac{1}{p} = \frac{5}{2} \frac{\text{centrifug. kracht aan den Aequator}}{\text{zwaartekracht aan den Aequator}} - \frac{B}{A} = \frac{5}{2} \cdot \frac{1}{289} - \frac{B}{A} = 0,0086305 - \frac{B}{A};$$

zijnde de verhouding der centrifugale kracht tot de zwaarte onder den Aequator gelijk aan $\frac{1}{289}$.

Om B en A te bekomen, zoo meet twee lengten l' , l'' van den seconde-slinger onder twee bepaalde breedten L' , L'' ; verricht al de vereischte herleidingen om deze lengte op het luchtledige en op het niveau der zee over te brengen (men vindt het middel daartoe in verschillende geodesische verhandelingen), en gij zult dan hebben

$$l' = A + B \sin^2 L',$$

$$l'' = A + B \sin^2 L'';$$

vergelijkingen, waarin alles bekend is behalve A en B. Op deze wijze heeft Mathieu door zes metingen van l , uitgevoerd op de middaglijn van Duinkerken tot aan Formentera, $\frac{1}{298,2}$ voor de afplatting gevonden; zóó heb ik zelf $\frac{1}{285,7}$, of bij het

in-rekening-brengen van de plaatselijke aantrekkingen, $\frac{1}{307}$ bekomen, uit de vergeleken lengten des slingers te Toulouse en te Parijs; zóó hebben eindelijk de gezamenlijke waarnemingen des slingers door Kater, Freycinet, Duperry, Brisbane, enz., $\frac{1}{283,3}$ opgeleverd. Deze laatste waarde schijnt overigens een weinig te groot te zijn, ongetwijfeld omdat de plaatselijke invloeden niet in rekening zijn gebracht. want de theorie der Maan voert ons voor het geheel bedrag der afplating tot de breuk $\frac{1}{303}$.

NOOT III.

618. Gebruik van den repetitie-cirkel van Borda. — Wij hebben in de theorie der straalbuiging gezien, dat het niet noodig is eene æquatoriale Ster te nemen, maar dat de beide doorgangen van eene circumpolaire Ster voldoende zijn om nauwkeurig de breedte te leeren kennen. Ook is elke andere Ster, waarvan men de declinatie of afwijking kent, daartoe voldoende. Van zulk eene naar willekeur gekozen Ster bedient men zich zelfs doorgaans bij de geodesische verrichtingen, daar de optische werktuigen niet vermogend genoeg zijn om er, zoowel bij dag als bij nacht, de beide doorgangen (bovenste en onderste) der circumpolaire sterren mede waar te nemen. Tot dusverre heeft men, op enkele wijzigingen na, die de hoofdeigenschappen van 't instrument niet raken, tot dat einde gebruik gemaakt van den repetitie- of herhalingscirkel van Borda, dien wij reeds bij de behandeling der Sterren onder den naam van theodoliet ontmoet hebben (§ 103), en die eerlang misschien vervangen zal worden door den zenithkijker van Faye.

Ziehier hoe men te werk gaat:

Zij Z het zenith van den waarnemer (fig. 269) en GOL de as des kijkers, gericht naar de Ster *s*. Onderstelt, tot meer vereenvoudiging, dat de Ster zich niet beweegt, eene onderstelling, die geheel voorloofd is, mits gij later de fouten, die zij te weeg brengt, verbetert, door met behulp der formules uit de geodesische werken te berekenen hoeveel die Ster, ten gevolge der dagelijksche rotatie, tusschen twee waarnemingen het zenith nadert of zich daarvan verwijderd. Indien de as OZ van uwen cirkel en de cirkel zelf volkomen verticaal zijn gemaakt, dan zult gij natuurlijk, wanneer gij het instrument een azimuth van 180° laat doorloopen, den kijker OL naar een punt *s'* (fig. 270) des hemels

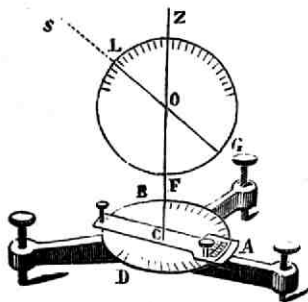


Fig. 269.

richten, dat met betrekking tot de verticaal OZ geheel en al symmetrisch zal zijn

met de Ster s . Om dus uwe Ster s weer te vinden, moet gij op uwen cirkel den kijker eenen hoek LOK, het dubbele van den gezochten zenithsafstand LOZ, laten doorloopen.

Wanneer gij alzoo den kijker volgens OK hebt gericht, doet dan uwen cirkel opnieuw een azimuth van $180'$ beschrijven; de kijker zal dan weder naar het punt s' terugkeeren. Laat nu den kijker onveranderlijk vast op het punt K des cirkels

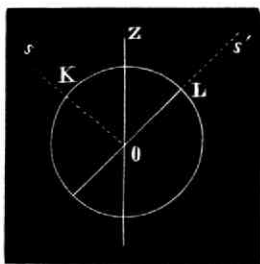


Fig. 270

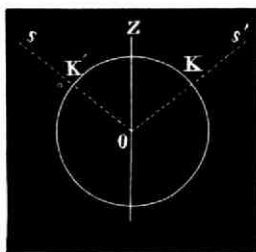


Fig. 271

(fig. 271), waartoe de noodige drukschroeven aan 't instrument voorhanden zijn; draait daarentegen de schroeven los, die den cirkel op zijn verticalen voet bevestigden, en doet dien cirkel met den daarmede samenhangenden kijker rondom de horizontale as O draaien, totdat gij andermaal de Ster s ontmoet; gij zult dan juist in denzelfden toestand als bij den aanvang van uw werk wezen, met dit onderscheid echter, dat het punt des cirkels, waarop de kijker thans gevestigd is, eenen hoek KOK', het dubbele van den te meten zenithsafstand, van 't eerste uitgangspunt is verwijderd.

Gij kunt derhalve, van dit tweede punt uitgaande, wederom den kijker een dubbel en hoek laten doorloopen en hem gevolgelijk een viervoudigen hoek van 't eerste uitgangspunt verwijderen. Eene derde geheel identische verrichting zal u tot den zesvoudigen hoek brengen, vervolgens tot hoeken, die 8maal, 10maal, 12maal, enz. grooter zijn; en als gij nu den ganschen dus verkregen boog deelt door het getal der daarin bevatte hoeken, dan deelt gij tevens door hetzelfde getal de fout, die op de aflezingen van 't begin en het einde is gemaakt. Gevolgelijk zult gij de fout uwer meting aanmerkelijk verkleinen, te meer daar men de fouten in 't pointeeren of richten beschouwen kan als zich zelve op zeer weinig na vereffenende, en wat daarvan op het einde nog mocht overblijven wordt insgelijks gedeeld door het getal waarnemingen.

Het beginsel van de herhaling der hoeken werd in 1752 bedacht door Mayer; maar Borda paste het in 1786 het eerst toe op den repetitie-cirkel, die in 't volgende jaar diende tot de verbinding der observatoriën van Parijs en Greenwich. Later heeft men in 't werktuig eenige oorzaken van dwaling bespeurd, voortkomende uit de buiging des kijkers, uit de speling der drukschroeven, enz. Evenwel, als men de behoorlijke voorzorgen in acht neemt, wanneer men vooral zorgt Sterren waar te nemen, die ongeveer op dezelfde hoogte naar het noorden en het zuiden staan, dan is het mogelijk (ik heb zelf menigmaal gelegenheid gehad mij daarvan te overtuigen), uitmuntende resultaten, zelfs met een werktuig van middelmatige samenstelling, te bekomen. Merkt bovendien op, dat de azimuthale bewegingen van

180° eenvoudig ten doel hebben, het denkbeeldige teeken s' door de Ster s te vervangen; want indien gij werkelijk het teeken s' nauwkeurig symmetrisch met s hadt, zoudt gij, om de hoeken te vermenigvuldigen, den kijker slechts beurtelings op s' en op s behoeven te brengen, terwijl gij te zamen den kijker en cirkel, door de drukschroeven verbonden, van s op s' laat teruggaan, en daarentegen bij het gaan van s' op s den kijker over den vastgezetten cirkel laat heen schuiven.

N O O T I V.

OVER DE GEOGRAPHISCHE KAARTEN.

649. De kaarten van Mercator, zoo gemakkelijk voor de zeevarenden, kunnen niet tot aan de polen gaan, dewijl daar de bijna oneindige vergrooting der parallellen een te aanzienlijke ontwikkeling zou vereischen. 't Is vooral op beperkte ruimten, welke oppervlakten zij tevens niet merkelyk misvormen, dat zij door de zeevarenden met voordeel worden toegepast. Maar wanneer men een geheel halfmond wenschte af te beelden en datgene te maken wat men een *mappemonde* of wereldkaart heet, dan gaat men naar andere beginselen te werk.

650. **Orthographische projectiën.** — 1. **Op den Meridiaan.** — De eenvoudigste, dat men op een vlak door perpendiculaire lijnen de verschillende punten der aardoppervlakte projecteert, zooals zij door hunne lengte en breedte bepaald worden, of, wat op hetzelfde neerkomt, dat men de meridianen en de parallellen trekt. Dit stelsel, dat onder den naam van *orthographische projectie* (*) bekend is en dat reeds van Apollonius, 200 jaar vóór onze tijdrekening, schijnt te dagteekenen, geeft aan den Aardbol een voorkomen, dat verschilt naar gelang van het vlak, dat men tot projectie-vlak gekozen heeft. Wilt gij, bij voorbeeld, op eenen Meridiaan projecteeren, dan spreekt het van zelve, dat de Aequator en de verschillende parallellen rechte lijnen EE' , aa' , bb' , cc' , enz. (fig. 272) zullen wezen, die onderling evenwijdig zijn, getrokken door de punten E , a , b , c , enz., tusschen welke men gelijke bogen Ea , ab , bc , enz. heeft genomen. Wat de Meridianen betreft, zij moeten noodwendig

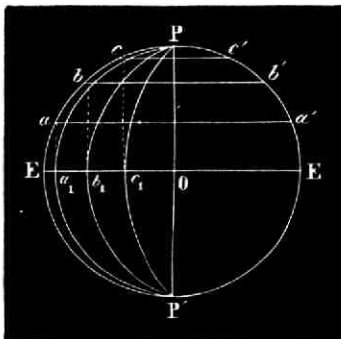


Fig. 272.

ellipsen wezen, snijlijnen, door het projectie-vlak, van de schuinsche cilindrs met

(*) Van het grieksch *orthós*, recht, en *graphō*, ik schrijf of beschrijf.

cirkelvormige bases. De groote as PP' is dezelfde voor al die ellipsen; en de kleine assen van elke ellips zijn de cosinussen a_1O , b_1O , c_1O , enz. van de lengten of \AA equatorbogen, aangegeven op Ea , Eb , enz.

651. 2°. **Op den \AA equator.** — Wilt gij daarentegen (fig. 273) den \AA equator tot projectie-vlak nemen, dan zullen al de meridianen rechte lijnen wezen, getrokken uit het middelpunt O , de projectie van de Pool, naar de verschillende punten A , B , C , enz. van den omtrek des \AA equators. Maar de parallellen zullen cirkels blijven, geprojecteerd in haar ware grootte, en wier stralen Ob , Oc , Od , enz. tot lengte zullen hebben de afstanden van het punt O tot den voet der loodlijnen Bb , Cc , Dd , enz., die gij nederlaat uit de verschillende verdeelingspunten van den Meridiaan, aangeduid door $ABCD$...

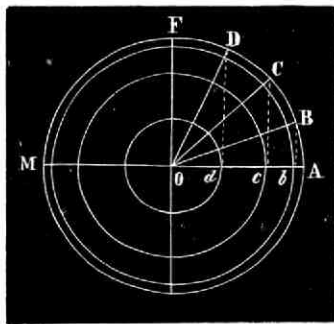


Fig. 273.

bij het middelpunt geprojecteerde deelen ten naasten bij in hunne ware grootte voor, terwijl zij de bij de randen geprojecteerde deelen aanmerkelijk verkleinen. Men verhelpt dit ongerief ten deele door de stereographische (*) projectiën, waarvan wij het eerste ontwerp aan Hipparchus moeten dank weten, en die niets

652. **Stereographische Projectiën.** — 1°. **Op den \AA equator.** — Zulke kaarten stellen klaarblijkelijk de

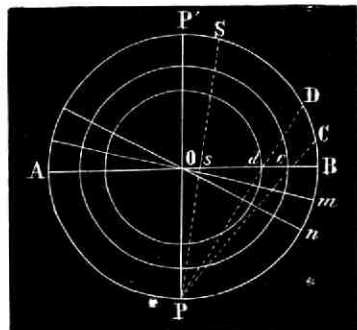


Fig. 274.

anders zijn dan perspectieven van het af te beelden half rond. Neemt men in dit geval, bij voorbeeld (fig. 274), den \AA equator tot projectie-vlak, terwijl het oog aan de Pool is geplaatst, dan zal het middelpunt O van de kaart de projectie zijn van de tegenovergestelde Pool. De Meridianen zullen zich projecteeren volgens rechte lijnen OB , Om , On , enz., en de parallellen volgens cirkels, tot stralen hebbende de lijnen Oc , Od , die ontstaan uit de snijding des diameters AB door de gezichtsstralen PC , PD , enz., getrokken uit het in P ontworpen gezichtspunt naar de deelpunten van den Meridiaan AB , neergelaten op BCD ...

653. Daar de driehoek BCc rechthoekig is in B , en de bijna met PB samen vallende lijn PC nagenoeg 45 graden helt op BA , zal de driehoek BCc nagenoeg gelijkbeenig zijn. De projectie BC van den rand zal dus in grootte te nauwer nood verschillen van de geprojecteerde oppervlakte Bc . 't Is waar, dat de centrale deelen $P'S$, tweemaal verder van 't oog verwijderd dan hunne projectiën OS , om de helft verkleind zullen zijn. Maar de wanverhouding zal echter op verre na niet zoo aanzienlijk wezen als in 't geval der loodrechte projectiën, waarbij de

(*) Van 't Grieksch *stereós*, vast, en *gráphō*, ik beschrijf.

randen der kaart veel sterker verkleind zijn, dan zulks het midden is in de stereographische projectie. 't Is bovendien mogelijk, het ongerief dezer laatste projectie nog geringer te maken; want daar de plaatsing van het oog in P het centrum verkleint en de randen niet merkkelijk verandert, terwijl de plaatsing van het oog op een oneindigen afstand (welke plaatsing aan 't geval der stereographische projectie beantwoordt) daarentegen de randen verandert en de centrale deelen met juistheid voorstelt, zoo zal men, bij 't plaatsing van het oog in een met oordeel gekozen stand tusschen P en 't oneindige, de uitwerkselen op de randen en het midden aan elkander gelijk maken, zoodat de fouten door hare verplaatsing tusschen het middelpunt en de randen verkleind zullen worden.

654. 2. **Op eenen meridiaan.** — Overigens kan men bij de perspectieve projectie ook, evenals bij de perpendiculaire projectie, eenen Meridiaan tot projectievlak aannemen. De meridianen en parallellen zullen dan op de kaart ellipsen of cirkels zijn, naargelang het oog, loodrecht op het middelpunt des Meridiaans

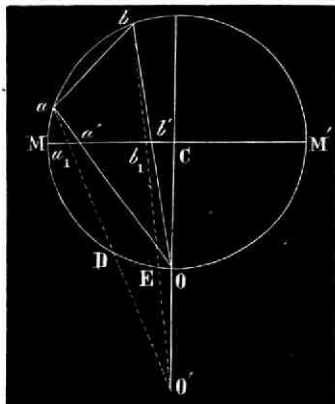


Fig. 273.

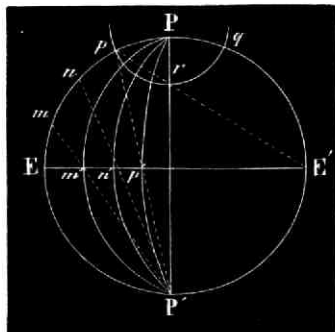


Fig. 276.

oog aan het oppervlak der Aarde ligt? Zij PEP'E' (fig. 276) de projectie-Meri-

van projectie geplaatst, zich buiten de aardoppervlakte of in een punt des Aequators op die vlakte bevinden zal Indien gij toch eene rechte lijn trekt uit het middelpunt der Aarde naar het middelpunt van den te projecteeren cirkel, dan zal het vlak, dat door die rechte lijn en het oog gaat, klaarblijkelijk loodrecht staan zoowel op den te projecteeren cirkel als op den Meridiaan van projectie. Laat $OMabM'$, MM' en ab (fig. 275) zijne snijdingen door de sfeer, door den projectie-Meridiaan en door den te projecteeren cirkel voorstellen. Indien het oog in O ligt, zullen ab , $a'b'$ antiparallele sneden van den schuinschen kegel met cirkelvormige basis ab wezen, dewijl de hoek abO , gemeten door de helft van het quadrant MO plus den boog aM gelijk is aan den hoek $b'a'O$, die ook gemeten wordt door de helft van 't quadrant $M'O$ plus dienzelfden boog aM . De snede $a'b'$ zal dus cirkelvormig zijn zooals de basis ab . Maar indien het oog in O ligt, buiten het oppervlak der Aarde, dan is de hoek b_1a_1O , die $\frac{(DM > 90^\circ) + aM}{2}$ tot maat heeft, grooter dan abO , gemeten door $\frac{(ME < 90^\circ) + aM}{2}$ en de snede a_1b_1 is alsdan elliptisch.

Zoowel in 'teene als in 't andere geval is het ontwerpen der wereldkaart eene zeer gemakkelijke zaak. Wilt gij, ter bekorting, eenvoudig onderstellen, dat het

diaan. EE' zal in dit geval klaarblijkelijk de projectie des *Æquators* wezen; want de kegel met cirkelvormige basis, waarvan boven gesproken is, wordt dan herleid tot een vlak, dat het projectie-vlak volgens EE' snijdt. Wat de andere cirkels (meridianen en parallellen) betreft, daar zij cirkels in projectie geven, zoo zullen drfe punten op het net der kaart voldoende zijn om ze in hun geheel te kunnen trekken.

Merkt eerst op, dat de punten P, P' , doorsnede van al de Meridianen, tot het projectie-vlak behooren en zich bijgevolg op de plaats zelve bevinden, die zij op de kaart moeten innemen. Gij hebt dus slechts een derde punt voor ieder der Meridianen te bepalen. Ontwikkel den *Æquator* op $EPE'P'$, dan zal het gezichtspunt in P' komen; de doorsneden des *Æquators* en der te projecteeren Meridianen zullen $P'm, P'n, P'p$ wezen, en gij zult in m', n', p' de gezochte derde punten hebben.

Merkt in de tweede plaats op, dat p, q twee punten zijn van de parallel, getrokken op den afstand $Pp = Pq$ van de Pool; en om een derde punt van de projectie dezer parallel te hebben, zoo brengt het gezichtspunt in E' . Het punt van de te projecteeren parallel, dat in den Meridiaan ligt, die loodrecht op het projectie-vlak staat, zal in p komen. Trekt $E'p$, en gij zult in r , doorsnede van $E'p$ en PP' , het gezochte punt hebben. De door prq gaande omtrek zal dan de projectie der parallel zijn.

655. **Projectiën door ontwikkeling voor de niet zeer uitgebreide landen.** — **Conische ontwikkeling van Ptolemeus.** — Men gebruikt somwijlen ook den horizon tot stereographisch projectie-vlak. Maar de voorgaande bijzonderheden zijn voldoende om een denkbeeld te geven van de constructie der wereldkaarten en van de bezwaren dezer kaarten in 't waardeeren der afstanden of grootheden. Wanneer niet zeer uitgebreide landen moeten afgebeeld worden, kiest men daartoe de projectiën door ontwikkeling. Het oudste stelsel van dien aard heeft men aan Ptolemeus te danken, en draagt den naam van *conische ontwikkeling*. Hierbij laat men eenen kegel gaan door de koorde AB (fig. 277) van den gordel, in welken het land ligt, dat men wil afbeelden, en ontwikkelt vervolgens de conische of kegelvormige oppervlakte ASD volgens den

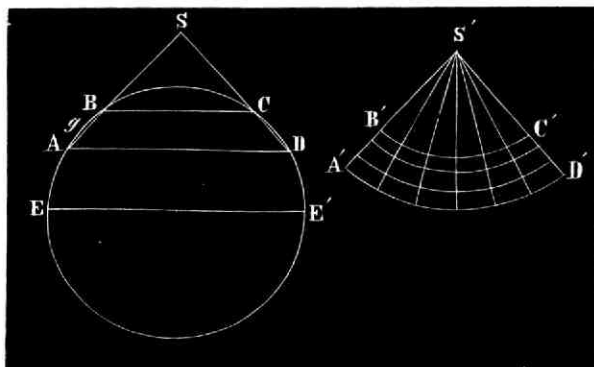


Fig. 277.

cirkelvormigen sector $A'S'D'$. De Meridianen zullen dan sector-stralen en de parallellen cirkelbogen uit het punt S' beschreven zijn.

Men neemt somwijlen tot zijde van den kegel de tangens aan het punt g , het

midden van den boog AB. In dit geval zullen de fouten naar de uiteinden AB komen, die zich het verst van de conische oppervlakte verwijderen. Zij zullen daarentegen in de middelgedeelten g liggen, als de kegel volgens AB wordt getrokken. Zij bevinden zich eindelijk tusschen de uiteinden en het midden, wanneer men, volgens Euler, de tusschen de tangens en de koorde getrokken lijn tot zijde van den kegel neemt.

656. **Ontwikkeling van Flamsteed.** — Flamsteed had een ander stelsel aangenomen. Hij ontwikkelde in rechte lijn en ware grootte den Meridiaan, die door het midden der kaart ging; en door de deelpunten van dien Meridiaan trok hij perpendicularen, op ieder van welke (fig. 278) gelijke lengten ab , bc , enz., $a'b'$, $b'c'$, enz., $a''b''$, $b''c''$, enz., werden genomen, gelijk voor een en dezelfde parallel, maar verschillende voor de achtereenvolgende parallellen, gelijk deze zelve verschillen, dat is in verhouding tot den *cosinus* der breedte. De lijnen $aa'a''$, $bb'b''$, $cc'c''$, bestaande uit kleine rechthoekige elementen, vertegenwoordigden de Meridianen, en ca , $c'a'$, $c''a''$, de parallellen. In dit stelsel zijn de verschillende trapeziën meer en meer misvormd, naarmate zij zich meer van PP' verwijderen; maar daar de bases en de hoogten der trapeziën niet veranderen, zoo behouden de oppervlakten hare betrekkelijke grootten: een voordeel, dat in zekere gevallen niet te veronachtzamen is.

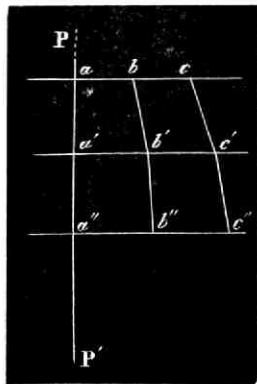


Fig. 278

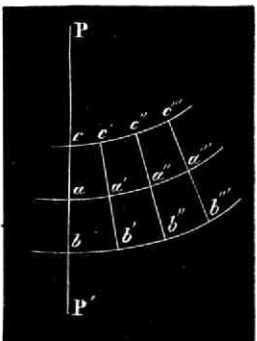


Fig. 279.

657. **Gewijzigde projectie van Flamsteed.** — Cassini maakte in de kaart van Frankrijk, die zijnen naam draagt, op zijne beurt gebruik van een ander stelsel. Doch daar dit stelsel niet is bijgehouden in de fraaie kaarten van het oorlogsdepôt, zal ik ten slotte de manier opgeven, die tegenwoordig de Fransche krijgs ingenieurs volgen, en die bekend is onder den naam van gewijzigde projectie van Flamsteed.

Zij PP' (fig 279) een in rechte lijn ontwikkelde Meridiaan, en a de doorsnede van dien Meridiaan door den middel-parallel des af te beelden gordels. Met eenen straal Pa gelijk aan de cotangens der breedte van het punt a , dat is met eenen straal gelijk aan den afstand tusschen het punt a en de as van den Aardbol, afgeteld op den horizon van het punt a , beschrijft gij eenen cirkelboog. Zoo ook beschrijft gij uit het punt P de cirkelbogen, die door de grenzen b , c des gordels gaan, zijnde ab , ac meridiaanlengten, en brengt op deze verschil-

lende cirkelbogen lengten over, voor ieder hunner gelijk aan de overeenstemmende paralleldeelen, die door b en c gaan. Gij zult dan een net bekomen, waarin de verschillende trapeziën der aardoppervlakte nagenoeg hunne wederzijdsche vormen en grootten behouden. Dit is tennaastenbij alles, wat men bij mogelijkheid wenschen kon.

VIER EN TWINTIGSTE LES.

Algemeene Zwaartekracht.

Voorloopige beschouwingen. — Analysis der ontdekking. — Toepassingen. — Massa's der Planeten en Wachtors. — Getijden. — Invloed der Maan. — Invloed der Zon. — Springtijden. — Geringe intensiteit van het verschijnsel in de kleine zeeën. — Eenheid van hoogte voor de getijden in elke haven. — Vloed bij nieuwe en volle maan voor elke haven. — Bepaling van de massa der Maan door de getijden. — Andere verschijnselen, bij voorbeeld de nutatie, kunnen insgelijks de massa der Maan aangeven. — Bestendige toestand der zeeën. — Atmosferische getijden. — Dagelijksche en maandelijksche schommelingen des barometers. — Gemiddelde dichtheid der Aarde. — Proef van Cavendish. — Proeven van Maskeline. — Aantrekking der bergen. — Wetten van Kepler, afgeleid uit het beginsel der zwaartekracht. — Noten.

658. **Voorloopige beschouwingen.** — Wij hebben reeds meermalen en inzonderheid bij de theorie der dubbele Sterren, gelegenheid gehad om het bestaan te erkennen van eene aantrekkende kracht, die zich openbaart tusschen al de stofmoleculen van het Heelal. Men wil dat Newton, toen hij zich tijdens de pest van 1666 op het land bevond, door het zien-vallen een appels aanleiding kreeg tot de ontdekking van het bestaan der wetten van deze kracht, welke, in verband met de oorspronkelijk aan de hemellichamen ingedrukte bewegingen, en met de tegenstandbieding des ethers voor sommige hunner (*), voldoende is ter verklaring van al de astronomische verschijnselen. Om alzoo de harmonie in het uitspansel te onderhouden, heeft God slechts, om zoo te zeggen, voortdurend die kracht te scheppen, waaraan men den naam van gravitatie of zwaartekracht heeft gegeven.

659. Er is over deze zaak veel geredeneerd en geredetwist. Men heeft beweerd, dat de aantrekking niet in de stof huisde, en nog onlangs heeft men gepoogd de zwaartekracht uit de beweging te verklaren. Voor ons doel moet de uiteenzetting dezer louter philosophische geschilvoering overbodig wezen. 't Is ons hier genoeg te weten, dat, zoo al de kracht niet werkelijk mocht bestaan, toch hare uitwerkselen zich volkomen zóó vertoonen, alsof zij bestond. De terugwerkingen der moleculen, die bij de verschillende verklaringen ondersteld worden, nopen ons daarenboven de aantrekkingskracht door een even geheimzinnig equivalent te vervangen, en vorderen van den Schepper niet minder schitterende openbaringen van zijn alvermogen.

(*) De Kometen.

Ziehier hoe men de aaneenschakeling der denkbeelden, die tot de ontdekking leidde, gemeenlijk voorstelt.

660. — Toen Newton den appel zag vallen, vroeg hij zich af waarom dit lichaam viel. Het antwoord was gemakkelijk: het was omdat de appel door de Aarde aangetrokken werd. — Maar als de boom hooger ware geweest? — De appel zou eveneens gevallen zijn. — En als hij den afstand, die ons van de Maan scheidt, tot hoogte had gehad? — Natuurlijk zou zijn val hebben plaats gehad naar onze Aarde. — Maar waarom valt dan de Maan zelve niet? — Na een oogenblik nadenkens moet Newton tot zich zelve gezegd hebben, dat de middelpuntvliedende kracht daarvan de oorzaak was; en nadat hij, gelijk wij bij de behandeling der dubbele Sterren deden (§ 82 en 83) de hoeveelheid bepaald had, die de Maan in eene seconde naar de Aarde valt, en vervolgens die hoeveelheid had vergeleken bij den weg, dien de steen doorloopt, als hij in denzelfden tijd op de Aarde valt, moet de beroemde Sterrenkundige gevonden hebben, dat de doorloopen wegen, gevolgelijk ook de intensiteit der aantrekkingskracht, veranderden in omgekeerde reden van het vierkant der afstanden (*).

(*) Zij α de hoek bCa , dien de Maan rondom het middelpunt C der Aarde (fig. 280) in de tijdseenheid doorloopt, a' de straal Ca van de maanbaan, of, wil men liever, van den raakcirkel ab dier baan in het punt a . De composante ad van de maanbeweging zal tot uitdrukking hebben

$$Ca - Cd = a' - a' \cos \alpha = a' (1 - \cos \alpha) = 2a' \sin^2 \frac{1}{2} \alpha;$$

eene uitdrukking, die nagenoeg gelijk is aan $2a' \frac{1}{4} \alpha^2$, dat is aan

$$\left[\frac{1}{2} a' \left(\frac{2\pi}{T'} \right)^2 = \frac{2\pi^2 a'}{T'^2} \right]$$

en die ook volgen zou, wegens den rechthoekigen driehoek, uit de evenredigheid

$$ad : \left(ab = \frac{2\pi a'}{T'} \right) = \left(ab = \frac{2\pi a'}{T'} \right) : (ac = 2a'),$$

zijnde T' de duur der siderische omwenteling van de Maan, en π de verhouding van den omtrek tot den diameter. De getalwaarde van ad kan dus gemakkelijk bekomen worden, als men die van a' kent, welke men inderdaad weet gelijk te zijn aan zestigmaal den aardstraal R , hebbende deze zelf eene gemiddelde lengte van 6366198 meters. Dus vindt men $ad = 0,00136$ m. in eene seconde tijds, overeenkomende met ongeveer eene halve seconde boog, door de Maan beschreven.

Daar de op verschillende breedten een weinig veranderlijke weg, die in de eerste seconde wordt afgelegd door de lichamen, wier val aan het oppervlak der Aarde wij rechtstreeks kunnen meten, gemiddeld nagenoeg gelijk is aan 4,9 meter, zoo zullen de aantrekkingen, die onze Aardbol op de afstanden 1 en 60 van het middelpunt der Aarde uitoefent, in de verhouding zijn van 4,9 tot 0,00136 m., of van 3600 (vierkant van 60) tot de eenheid, dewijl $\frac{4,9}{0,00136}$ m. op zeer weinig na gelijk is aan 3600. Het

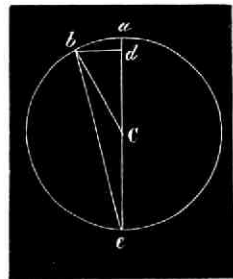


Fig 280

schijnt voor 't overige, dat Newton zich in zijne eerste berekeningen vergist had door de onnauwkeurigheid der toen voor R onderstelde waarden, en dat hij het getal 0,00136,

661. **Analysis der ontdekking.** — Indien de Aarde eene dubbele massa had, zeide Newton in zich zelve, dan zouden de ontstaande gevolgen mede dubbel zijn. Zij zouden drievoudig wezen bij eene drievoudige massa, en daarentegen de helft, het derde, het vierde, enz. wanneer de massa des Aardbols slechts gelijk was aan de helft, het derde, het vierde, enz. van hare tegenwoordige massa; waaruit men, bij inductie, tot de gevolgtrekking wordt gebracht, dat deze gevolgen in verhouding moeten staan tot de massa en gevolgelyk zich van molecule tot molecule moeten doen gevoelen.

662. **Toepassingen.** — **Massa's der Planeten en Wachters.** — Door het toepassen der voorgaande beginselen op de Zon en op de Planeten, die Wachters bezitten, kon Newton dus de verhouding der massa's van die verschillende lichamen bepalen door middel van berekeningen, geheel identisch met die, welke wij (§ 84) bij de theorie der dubbele Sterren gedaan hebben (*). Wat de massa's der Planeten betreft, die geen Wach-

of liever zijn equivalent in eene break van de toise eerst verkreeg na de bepalingen van Picard. De uitgave toch van zijne *Philosophiæ naturalis principia* dagteekent eerst van 1687, dat is van een en twintig jaren na Newton's eerste proeven te Cambridge in 1666.

Men moet evenwel de aanmerking maken, dat de voorgaande getallen, *strikt genomen*, niet volstrekt met elkander vergelijkbaar zijn, als voortkomende het eene uit de *som* der aantrekkingen van het vallende lichaam en van de Aarde, het andere uit de *som* der aantrekkingen van de Aarde en de Maan. Daar de massa der Maan grooter is dan die der beweegbare lichamen, welke een deel van onzen Bol uitmaken, zoo is het duidelijk, dat de Maan in de getallen 0,00136 m. en 4,9 m., wanneer zij door berekening tot dezelfde afstanden werden herleid, een iets grooter aandeel zou hebben dan het beweegbaar lichaam op Aarde; dat het eerste daarom een weinig het tweede zou moeten te boven gaan (in strijd met hetgeen in de voorgaande berekening plaats heeft, uit hoofde van de verwaarloosde breuken). Maar de zooveel grootere massa der Aarde maakt, dat men die kleine verschillen niet in rekening behoeft te brengen, en dat men de voortgebrachte uitwerksels beschouwen kan als alleen ontstaande uit de aantrekking der Aarde op uitwendige lichamen, die elk op zich zelf als tot een punt herleid zijn.

(*) Stellen M , m en m' de massa's voor van de Zon, van eene Planeet en van den Wachter dier Planeet; g de waargenomen val der met haren Wachter verbondene Planeet naar de Zon, en g' den val des Wachters naar de Planeet, de eerste op den afstand van a , de tweede op dien van a' , dan zult gij hebben:

Som der werkingen: van de Zon op iedere massa-eenheid der van haren Wachter verzegelde Planeet, en van deze beide lichamen te zamen op elke massa-eenheid van de Zon

$$= \left(\frac{M}{a^2} + \frac{m + m'}{a'^2} \right)$$

eene grootheid evenredig aan g ;

Som der werkingen: van de Planeet op elke massa-eenheid des Wachters, en van den Wachter op elke massa-eenheid der Planeet

$$= \frac{m + m'}{a'^2}$$

eene grootheid evenredig aan g' .

Derhalve $\frac{M + m + m'}{a^2} : g = \frac{m + m'}{a'^2} : g'$;

hetgeen geeft $\frac{M + m + m'}{a^2 g} = \frac{m + m'}{a'^2 g'}$,

en bijgevolg $\frac{1 + \frac{m + m'}{M}}{\frac{m + m'}{M}} = \frac{a^2 g}{a'^2 g'}$,

ters hebben, 'tis vooral door de wederzijdsche storingen (*), ontstaande bij de elliptische bewegingen van ieder dier lichamen, dat men ze, na Newton, heeft weten te vinden. Door de veranderingen, welke de elementen der vier Wachters van Jupiter ondergaan, heeft Laplace ook de massa's dier kleine Hemellichamen kunnen bepalen. Ongelukkig is het niet alzoó gelegen met de andere Wachters, wier theorie naar alle waarschijnlijkheid nog lang onvolkomen zal blijven wegens het zeer groot bezwaar, waarmede hunne waarneming gepaard gaat. Ik behoef er zeker niet bij te voegen, dat de Maan zich te dezen opzichte voor ons in exceptioneeelen toestand bevindt. Doch daar zij geene weerga rondom de Aarde heeft, zoo heeft men hare massa aan andere verschijnselen, inzonderheid aan dat der watergetijden, moeten ontleenen.

663. **Getijden.** — Daar de aardoppervlakte voor ongeveer drie vierde gedeelten bedekt is met water, dat door zijne zeer lichte beweeglijkheid gemakkelijk aan den aantrekkenden invloed der Hemelbollen kan gehoorzamen, zoo gevoelt men wel, dat er onder dien invloed meer of minder aanzienlijke verplaatsingen moeten gebeuren. Ontleden we 't verschijnsel en zien we hoe het de massa van onzen Wachter aangeeft.

664. — Op alle plaatsen, waar vloed en eb of de getijden plaats hebben, neemt men twee hooge en twee lage zeeën waar in het

eene vergelijking, die u de verhouding $\left(\frac{m+m'}{M}\right)$ oplevert, welke bijna volkomen gelijk is aan $\left(\frac{m}{M}\right)$ uit hoofde der klaarblijkelijke kleinte van de massa's der Wachters, die rondom de Planeten draaien zonder deze merklijk te verplaatsen.

Eene aanmerking in 't voorbijgaan. Volgens de noot van § 660 zijn de grootheden g , g' gelijk aan $\frac{2\pi^2 a}{T^2}$, $\frac{2\pi^2 a'}{T'^2}$; indien men nu door f den weg uitdrukt, dien de aantrekking van de stof-eenheid, werkende op de afstands-eenheid, doorloopen doet aan de stof-eenheid in de eerste tijds-eenheid, dan kan men de vergelijkingen stellen

$$\frac{(M + m + m') f}{a^2} = g = \frac{2\pi^2 a}{T^2}, \quad \frac{(m + m') f}{a'^2} = g' = \frac{2\pi^2 a'}{T'^2},$$

waaruit

$$(\alpha) \quad \begin{cases} (M + m + m') f = \frac{2\pi^2 a^3}{T^2} \\ (m + m') f = \frac{2\pi^2 a'^3}{T'^2} \end{cases}$$

Daar nu, volgens Kepler's uit de waarneming opgemaakte derde wet $\frac{a^3}{T^2}$ standvastig is voor al de Planeten, en $\frac{a'^3}{T'^2}$ voor al de Wachters eener zelfde Planeet, terwijl de massa's dier verschillende lichamen niet gelijk zijn, zoo moet $m + m'$ naast M , en m' naast m verwaarloosd kunnen worden.

Omgekeerd, daar de eerste leden der vergelijkingen (d) niet volstrekt gelijk zijn voor de verschillende Wachters en Satellieten, moeten de tweede leden het ook niet wezen. De derde wet van Kepler is dus, strikt genomen, slechts een benaderde wet

(*) Zie Noot I, aan het einde der Vier en twintigste Les.

tijdsverloop (24 u. 50 m. ongeveer), dat het achtereenvolgende terugkeeren der Maan in den Meridiaan van elkander scheidt. De invloed van dit laatste Hemellichaam moet dus, althans grootendeels, de oorzaak zijn der periodische verbrekking van het niveau des Oceans.

665. **Invloed der Maan.** — Zij D (fig. 281) een vloeibare molecule, gelegen aan de oppervlakte der Aarde, en wel, tot meer vereenvoudiging, aan den Æquator op de verticaal zelve, die op de

Maan M zou uitloopen. Deze molecule, dichter bij de Maan dan het middelpunt der Aarde, alwaar men zich, ten gevolge der cohesie, het gansche vaste gedeelte des Bols als vereenigd kan denken, zal sterker aangetrokken worden in de verhouding van 't vierkant van AM tot het vierkant van DM, dat is, gemiddeld, in de verhouding van 't vierkant van 60 tot dat van 59, welke verhouding nagenoeg gelijk staat met dertig negen en twintigste. De molecule D zal zich dus van de Aarde willen verwij-

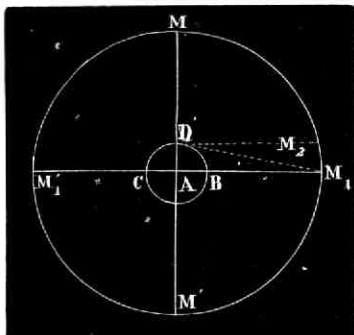


Fig. 281.

deren; en daar de òf tusschen D en B, of tusschen D en C gelegen moleculen insgelijks met meer kracht naar de Maan getrokken worden dan met het middelpunt des Aardbols het geval is, zal hunne beweging naar D eene zwelling op dat punt, en bijgevolg ook eene indieping of neerdrukking op de punten B en C, aan welker horizon alsdan de Maan staat, te weeg brengen.

666. — Zes uren en een kwartier later, als de dagelijksche beweging onzen Wachter in M_1 aan den horizon van het punt D brengt, is het dit punt D zelve, dat zich naar B gaat bewegen, om er de zwelling op over te brengen, en de gezwellenheid in D te doen plaats maken voor eene indieping; een zonneklaar resultaat, dat daarenboven nog daaruit wordt geboren, dat de kracht DM_1 , nagenoeg gelijk aan AM , beschouwd kan worden, wanneer men ze parallel aan AM_1 volgens DM_2 ontbindt, als hebbende hare tweede composante van D naar A gericht en strevende om D dichter bij het middelpunt A der Aarde te voeren.

667. — Wanneer vervolgens na een tijdsverloop van 12 u. 25 m. de Maan in den beneden Meridiaan M' komt, wordt het zwaartepunt A der vaste deelen meer aangetrokken dan de molecule D en dan de vloeibare massa's DB, DC, zoodat weder het streven naar scheiding tusschen de Aarde en het punt D ont-

staat (*), en men neemt dan ook werkelijk eene tweede aanzwelling waar, op welke alras eene tweede indieping volgt, overeenkomende met den overgang der Maan in M'_1 .

668. **Invloed der Zon.** — Men kan zich zeer eenvoudig het verschijnsel voorstellen door een vloeibare ellipsoïdale verhevenheid, die zich over den Aardbol volgens de dagelijksche beweging der Maan voortbeweegt. 't Is bovendien duidelijk, dat de Zon op hare beurt een soortgelijken invloed moet hebben, die tijdens de conjunctiën of de oppositiën gevoegd moet worden bij den maaninvloed; die daarvan integendeel moet worden afgetrokken tijdens de kwartiermanen, omdat alsdan een der Hemelbollen aan den horizon is, terwijl de andere in het zenith staat; die eindelijk slechts ten deele zal bijgevoegd of afgetrokken moeten worden in de tusschenstanden, wordende het maangetij, bij voorbeeld, bespoedigd als de Zon de Maan vooruitgaat, en vertraagd wanneer zij haar volgt, enz.

669. **Springtij.** — Ik heb ondersteld, dat de Maan en de Zon door het zenith van het punt D gingen en zich in den *Æquator* bevonden. Dit is klaarblijkelijk het geval bij uitzondering. Maar men zal nu gemakkelijk begrijpen, dat de verschijnselen, zoo niet identisch, ten minste volkomen gelijksoortig moeten zijn, en dat zij zich slechts op een kleinere schaal zullen vertoonen in de punten, waar de zenithsafstanden der aantrekende Hemelbollen, in plaats van nul te zijn, zekere grootten behouden. Tevens zal men bevroeden, dat, wanneer de Zons- en Maansdeclinatiën tijdens de syzygieën (nieuwe en volle Maan) verschillend zijn, de beide getijden niet geheel over elkander heen kunnen komen, en dat hunne resultante een weinig verschilt van *de som* der beide werkingen, wier richtingen met elkander eenen hoek zullen maken gelijk aan den tusschen de beide Hemelbollen begrepen hoek. Men zal eindelijk licht inzien, dat de tegenstand der kusten, de wrijving van het water tegen den bodem, de oneffenheden diens bodems, de tijd die noodig is om de verkregen snelheden allengs te stuiten en hare richting te doen veranderen, enz., noodwendig de uren van hoog en laag water aanmerkelijk moeten vertragen. De ondervinding leert dan ook inderdaad, dat de sterkste getijden over 't algemeen samenvallen met de syzygieën en de zwakste met de quadraturen of kwartiermanen, maar ook dat beide van lengte veranderen met de afwijkingen van Zon en Maan, en dat zij daarenboven, evenals die, welke er op volgen, gemiddeld eerst invallen ongeveer an-

(*) De verhouding der aantrekkingen is hier $\frac{DM^2}{AM^2} = \frac{(61)^2}{(80)^2} = \frac{31}{30}$, gevolgelijk een weinig geringer dan in 't vorige geval; en men neemt ook werkelijk een klein verschil waar tusschen twee opeenvolgende maxima.

derhalven dag na de tijdstippen, die de theorie van 't verschijnsel aangeeft (*).

670. **Geringe intensiteit van het verschijnsel in de zeeën van weinig uitgebreidheid.** — Behoef ik er nog bij te voegen, dat in de watermassa's van weinig uitgebreidheid, waarvan al de punten gevolgelijk bijna even sterk worden aangetrokken, de getijen onmerkbaar moeten zijn; dat de winden, naar gelang van de richting waarin zij blazen het verschijnsel kunnen bevorderen of tegenwerken; dat de afstandsveranderingen van Zon en Maan tot de Aarde het almede wijzigen; dat de loop der kusten, loodrecht op of evenwijdig aan de beweging der wateren, deze laatste stuit of daarheen laat glijden en nu eens aanzienlijke verdubbeling van aanzwelling te weeg brengt, dan weder daarentegen de uitwerking aan hare natuurlijke verhouding overlaat, enz.? Dat alles schijnt zoo rationeel, dat men in geen deele verwonderd zal zijn, als men ziet dat de waarneming, punt voor punt om zoo te zeggen, in overeenstemming is met de bovenstaande verwachtingen.

671. **Hoogte-eenheid voor de getijen in elke haven. — Vloed bij nieuwe en volle Maan in elke haven.** — Men neemt tot hoogte-eenheid van de getijen in elke haven het verschil tusschen het maximum en minimum van hoogte van het *springtij*, dat plaats heeft als de Zon en Maan te zamen door den Meridiaan gaan en zich tevens in het vlak des *Æquators* bevinden. Dit getij draagt den naam van *nachtevenings-springtij*; en daar twee achtereenvolgende hooge-waters een gering verschil kunnen opleveren, voortkomende uit de kleine ongelijkheid van aantrekking op de afstanden DM , DM' (fig. 281), zoo is het voor iedere haven aangenomen getal datgene, wat het *æquinociale* lage-water aangeeft, vergeleken bij de twee gemiddelde hooge-waters, tusschen welke het in ligt. Het is, bij voorbeeld, in Frankrijk, te Bayonne 2,80 meter; te Duinkerken 5,36 m.; te Dieppe 8,80 m.; te Saint-Malo 11,36 m.; te Granville 12,30 m., enz. De ligging der plaatsen heeft dus veel invloed

(*) Deze laatste bijzonderheid — men kan het in 't voorbijaan opmerken — heeft eene treffende overeenkomst met de vertragingen der maxima van warmte en koude op de tijdstippen der solstitiën of zonnestanden. Zij hangt af van het verschil tusschen de aantrekkende krachten en de wrijvingen. Zoolang deze laatste minder beteekenen, zal de lengte der getijen toenemen. Zij zal haar maximum bereiken, om weder te gaan afnemen wanneer de tegenkantingen, die met de amplitude grooter worden, gelijk zullen staan met het versnellend vermogen. Eindelijk, de intensiteit van het verschijnsel zal afnemen tot op het oogenblik wanneer de versnellende kracht, nadat zij tijdens de quadratuur door een minimum is gegaan, zich opnieuw gedurende hare klimmende periode in staat zal bevinden om de weerstandbiedende krachten geheel te overwinnen. Nu begrijpt men waarom het gebeuren kan, dat, zelfs na de nieuwe of volle Maan, de alsdan afnemende versnellende kracht evenwel nog gedurende anderhalven dag vermogender blijft dan de wrijvingen, en dat die kracht ook niet gelijk wordt aan de wrijvingen, om deze vervolgens te overtreffen, dan anderhalven dag na de quadratuur; van hier de vertraging, die men waarneemt op de tijdstippen der maxima en minima, bijgevolg ook op al de daartusschen liggende tijdstippen.

op zijne waarde; daar wij het langs Frankrijks kusten van 2,80 m. tot 12,30 m. zien rijzen. Voegen we hierbij, dat de bovenvermelde vertraging van anderhalven dag tusschen het theoretisch en het werkelijk tijdstip van 't verschijnsel ook voor de onderscheidene plaatsen verschillen van eenige uren in den tijd van hoog water medebrengt, welke tijd men den naam geeft van *Nieuwe- of Volle-maans-haventij*. Zoo is dit haventij voor Hoorn 0 u. 45 m.; voor Amsterdam 3 u. 0 m.; voor Geertruidenberg en Antwerpen 6 u. 0 m.; voor Medenblik 10 u. 30 m.; voor Enkhuizen, Urk. Nieuwpoort 12 u. 0 m., enz.; bedragende de gewone rijzing des waters bij springtij boven laag water te Harlingen 1,6 meter; te Katwijk 1,7 m.; te Tholen 3,8 m.; te Kijkduin 4,0 m.; te Ostende 4,9 m.; te Nieuwpoort 5,2 m., enz.

672. **Bepaling van de massa der Maan door de getijen.** — 't Zal nu gemakkelijk vallen te begrijpen, hoe men de massa der Maan heeft kunnen afleiden uit de getijen. Immers, vergelijkt de getijen der volle en nieuwe Maan bij de getijen der kwartiermanen, en neemt, zoo gij wilt, tot meer vereenvoudiging, de getijen des *Æquators* wanneer de beide Hemelbollen, die het verschijnsel te weeg brengen, nul in declinatie zijn. Is het niet duidelijk, dat in dit geval het ontstaande gevolg de som der vereenigde werkingen van Zon en Maan zal voorstellen, terwijl dit gevolg in het tweede geval het verschil derzelfde werkingen zal uitdrukken? Gij zult dus lichtelijk hunne verhouding bekomen; en als gij ze door berekening herleidt tot hetgeen ze zouden zijn, wanneer zij op dezelfde afstanden werkten, zult gij gemakkelijk iedere in 't bijzonder vinden, bijgevolg ook de massa der Maan, vergeleken bij de massa der Zon, omdat de gevolgen alsdan volmaakt evenredig met de werkende massa's zullen zijn (*).

673. **Andere verschijnselen, bij voorbeeld de nutatie, kunnen insgelijks de massa der Maan aangeven.** — Voor 't overige zij hier nog vermeld, dat andere uit den invloed der Maan ontstaande verschijnselen, dat der nutatie bij voorbeeld, insgelijks tot de kennis der massa van onzen Wachter kunnen voeren. Deze massa — wij hebben 't reeds gezien — is slechts het 75ste gedeelte van die der Aarde, die zelve weder 354 030maal minder stof bevat dan de Zon. En toch oefent de Maan, we-

(*) Vertegenwoordigen Z en M de massa's van Zon en Maan; h, h' de hoogte der getijen, te weeg gebracht door de som $Z + M$ en door het verschil $Z - M$, wanneer de uitwerkselen tot dezelfde afstanden herleid zijn; eindelijk K een onbepaalde coëfficiënt, die van toevallige oorzaken afhangt;

gij zult hebben

$$Z + M = Kh, \quad Z - M = Kh';$$

waaruit

$$Z = \frac{1}{2} K (h + h'), \quad M = \frac{1}{2} K (h - h'),$$

en door eliminatie van K,

$$\frac{Z}{M} = \frac{h + h'}{h - h'}.$$

gens haren geringen afstand, een meer dan tweemaal grooteren invloed op de getijden uit dan de Zon.

674. Bestendige toestand der zeeën. — Onder de tegenwoordig bestaande voorwaarden, kunnen de periodische schommelingen der zee, zich verbindende met de werking van geweldige winden, die naar de kusten blazen, niet veel meer dan plaatselijke onheilen te weeg brengen. De zee toch bevindt zich, volgens de nasporingen van Laplace, in eenen staat van standvastig evenwicht, uit hoofde van de geringe dichtheid des waters met opzicht tot de gemiddelde dichtheid des Aardbols. Maar indien de verhouding der dichtheden het omgekeerde ware van hetgeen zij thans is, indien wij in plaats van een Oceaan van water, bij voorbeeld, een Oceaan van kwik hadden, zouden we geheel andere verschijnsels zien; het evenwicht zou dan onstandvastig zijn, en de minste verplaatsing der zee zou de golven door de vastelanden heen dringen, alwaar dagelijks de geduchtste verwoestingen zouden plaats hebben.

675. Atmosferische getijden. — Dagelijksche en maandelijksche schommelingen des barometers. — Die geringe dichtheid des Oceaans is alzoo eene gelukkige omstandigheid voor onze Aarde. Wat den ons omgevenden dampkring betreft, die noodwendig, als de zee, den aantrekkenden invloed van Maan en Zon moet ondervinden, Laplace heeft in de hemelsche Mechanica bewezen, dat te Parijs de swelling der luchtkolom op den barometer hoogstens eene verandering van tweehonderdste millimeter of streep veroorzaakt. De dagelijksche atmosferische getijden zijn gevolgelijk geheel en al onmerkbaar voor ons. Men moet evenwel in aanmerking nemen, dat de barometer, onder een vermoedelijk anderen invloed dan de aantrekking, een invloed, die voor de Zon ongetwijfeld met de warmteverschijnsels in verband staat, maar die voor de Maan hoogst geheimzinnig is, merkwaardige rijzingen en dalingen ondergaat; dat hij iederen dag, bij voorbeeld, twee zeer merkbare maxima en minima vertoont: de eerste ongeveer drie uren vóór de doorgangen (bovenste en onderste) van de Zon door den Meridiaan, dat is tegen 9 uren des morgens en tegen 9 uren des avonds; de tweede, drie uren na die doorgangen, of tegen 3 uren des namiddags en 3 uren des morgens; en dat daarenboven de gemiddelde dagelijksche barometerhoogte een minimum schijnt te bereiken, dat, gelijk men weet, in verband staat met een geringe overmaat van regen, omtrent twee dagen na het eerste kwartier der Maan, en een maximum daarentegen, overeenstemmende met minder vochtigheid, omstreeks het laatste kwartier.

Gemiddelde dichtheid der Aarde. — Doch bij den tegenwoordigen staat onzer kennis, is de theorie onvermogen om

een zoodanig onderwerp vruchtdragend te maken. Ik stap er dan ook onmiddellijk van af, om eindelijk een laatste vraagstuk aan te roeren betreffende de massa's der hemellichamen, dat der gemiddelde dichtheid van den Bol, dien wij bewonen. Door ons de verhouding der gansche aardmassa tot de in een kilogram bevatte hoeveelheid stof aan te geven, zal de bepaling dier dichtheid ons vergunnen, met het kilogram de verschillende Hemelbollen des uitspansels te vergelijken, welker massa's wij reeds door vergelijking met de Aarde hebben kunnen meten.

676. **Proef van Cavendish.** — Laten m, m' (fig. 282) twee looden balletjes zijn, gehecht aan de einden van een horizontalen hefboom mm' , die in zijn midden V hangt het zij aan een metalen draad, die, hoewel zeer fijn, aan de torsie of wringing weerstand kan bieden, hetzij aan een zijden draad, op welken de torsieën van eenige graden geen merklijken invloed hebben. Plaatst symmetrisch in de nabijheid van m, m' twee andere looden ballen M, M',

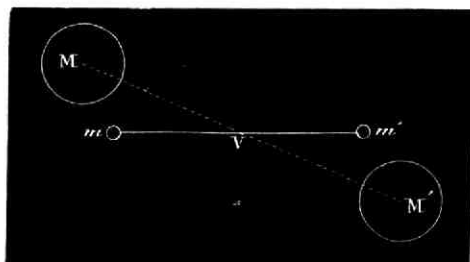


Fig. 282.

groot genoeg om door hunne aantrekking den hefboom mm' uit zijn tegenwoordigen stand te brengen. In 't geval van den metalen draad zal deze hefboom rondom zijn ophangpunt V gaan draaien, zoolang totdat de torsie evenwicht maakt met de aantrekking der ballen M, M'; in het tweede geval, dat van den voor de torsie ongevoeligen zijden draad, zal hij als een slinger schommelen aan weerszijden van de lijn MVM', die de verticaal zal voorstellen met betrekking tot de massa's M, M', en men zal in beide gevallen gemakkelijk kunnen berekenen wat de intensiteit der kracht is, die de waargenomen uitwerking te weeg brengt.

De vergelijking van deze kracht bij die, welke een door de zwaartekracht gedreven slinger doet schommelen, zal, na de vereischte herleidingen (*), de verhouding van de massa des Aardbols tot de massa van het kilogram geven, waaruit men, daar

(*) Als g, g' de intensiteit der zwaarte en de aantrekking van een der groote looden ballen op den afstand a van zijn middelpunt, l, l' de lengte der enkelvoudige slingers, die in de tijden t, t' onder den invloed der krachten g, g' hunne schommelingen zouden vrbrengen, dan heeft men, nadat alle herleidingen gedaan zijn,

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}, \quad t' = \pi \sqrt{\frac{l'}{g'}}, \quad \text{waaruit } \frac{t}{t'} = \sqrt{\frac{lg'}{l'g}};$$

het volumen der Aarde bekend is, zonder bezwaar de gemiddelde dichtheid onzer Planeet of de hoeveelheid stof kan afleiden, welke, vergeleken bij het kilogram, een kubieken meter van hare als volkomen homogeen onderstelde zelfstandigheid zou bevatten.

677. **Proeven van Maskeline.** — De zoo even beschreven proef was allereerst door Michell bedacht geworden, doch deze stierf eer hij haar in 't werk had kunnen stellen. Later, omstreeks het einde der vorige eeuw, gelukte het aan Cavendish hare zwarigheden te overwinnen, en hij vond het getal 5,448 voor de gemiddelde dichtheid van de Aarde in verhouding tot die van het water, een naar allen schijn zeer nauwkeurig getal, dewijl andere te Freyberg genomen proeven aan Reich het getal 5,4383 gaven, hetwelk bijna niet van het eerste verschilt. Ik voeg er bij, dat Maskeline omstreeks 1773 beproefd had, de dichtheid der Aarde te vinden uit de afwijking, die de bergen op het paslood te weeg brengen, en dat hij met dit doel den afstand tusschen twee punten van een zelfden Meridiaan, gelegen op de beide hellingen der Shehalische bergen in Schotland, *geometrisch* gemeten had, terwijl hij *astronomisch* de breedte dier zelfde punten bepaalde. Door nu, gelijk trouwens Bouguer reeds in 1738 voor den Chimborasso gedaan had, de massa des bergs uit zijn volumen en gemiddelde dichtheid, geschat naar den aard van 't gesteente waaruit hij schijnbaar bestond, te berekenen, en door vervolgens de uitwerking, op de astronomische breedten te weeg gebracht (verschil tusschen berekening en waarneming), te vergelijken eerst bij deze massa, dan bij de totale intensiteit der zwaarte, voortspruitende uit de gansche massa der Aarde, kon hij gemakkelijk, gelijk men licht begrijpt, de gemiddelde dichtheid des Aardbols bekomen (*).

en daar men heeft
$$g = \frac{\frac{4}{3} \pi R^3 \rho}{R^2} = \frac{4}{3} \pi R \rho, \quad g' = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3 \rho'}{a^2}$$

(zijnde R , r de stralen der Aarde en des looden bals, ρ , ρ' de dichtheden dezer lichamen), zoo komt er

$$\frac{t}{t'} = \sqrt{\frac{r^3 \rho'}{R^2 \rho}}$$

eene vergelijking, die de verhouding van g tot g' oplevert, dewijl t en t' door de waarneming gegeven zijn.

(*) Zij V het volumen des bergs, ρ de dichtheid, a de *berekende* afstand van zijn middelpunt van aantrekking tot aan het paslood, gaande door het punt van waar men de breedte waarneemt. De horizontale composante der aantrekking zal $\frac{\rho' V}{a^2} \cos \alpha$ wezen; zijnde α de hoek, begrepen tusschen de richting a en den horizon. De verticale composante, bijna niets beduidend bij de werking der Aarde, zal $\frac{V \rho' \sin \alpha}{a^2}$ tot waarde hebben; en daar de aantrekking des

Aardbols uitgedrukt wordt door $\frac{4}{3} \pi R \rho$, zal de *berekende* tangens der afwijking zijn:

678. **Aantrekking der bergen.** — De onwetendheid nogtans, waarin men algemeen omtrent de inwendige gesteldheid der bergen verkeert, maakt de handelwijze vrij onzeker; en men moet zich niet verwonderen, dat Maskeline voor de gemiddelde dichtheid der Aarde een getal heeft gevonden, veel kleiner dan dat, hetwelk later Cavendish verkreeg, wiens proefneming veel beter waarborg voor de uitkomst geeft. Strikt genomen echter schijnt men eenige belangrijke resultaten te mogen verwachten van het onderzoek naar de aantrekking der bergen; doch men zal dan, naar mijn gevoelen, het vraagstuk moeten omkeeren, en liever, gelijk ik, bij voorbeeld, aanleiding had zulks voor de Pyreneën te doen, de gemiddelde dichtheid der bergen zoeken af te leiden uit die der Aarde, dan de gemiddelde dichtheid der Aarde uit die der bergen. Hoe het overigens daarmede wezen moge, de door Cavendish aangegeven en zelfs de door Maskeline bekomen waarde bewijzen, dat de dichtheid des Aardbols naar het middelpunt toe aanmerkelijk moet toenemen, dewijl de dichtheid der bovenste aardlagen en die van het zeewater verre beneden de gemiddelde dichtheid zijn.

679. **Wetten van Kepler, afgeleid uit het beginsel der zwaartekracht.** — Ik nader ten laatste den eindpaal dezer lange studiën. Ter voltooiing van de mij zelve opgelegde taak, behoef ik nog enkel de wetten van Kepler als uitvloeisels van het beginsel der algemeene aantrekkingskracht voor te stellen. Zóó zal blijken, dat een eenige oorzaak, in verband met eene oorspronkelijk ingedrukte voortbeweging in de ruimte, het gansche mechanismus van 't Heelal bestuurt en regelt.

De inlichtingen, reeds bij de theorie der dubbele Sterren gegeven, bevatten reeds bij gevolgtrekking die, welke ik hier nog vermelden zal. Niettemin, ofschoon het bijna onmogelijk is, zonder de hulp der analysis de verschillende gevolgen der groote ontdekking van Newton na te gaan, vermeen ik toch niet te moeten aarzelen om nog enkele verklaringen aan de grondbeginselen der Meetkunde te ontleenen.

680. — Is het, in de eerste plaats, niet klaarblijkelijk, dat iedere Planeet — afgezien van den storenden invloed, dien de verschillende lichamen des zonnestels wederzijds op elkander hebben — zich zal moeten bewegen in het vlak, dat door de richting van den oorspronkelijken stoot of schok en door die van

$$\left(\frac{\rho'V \cos \alpha}{a^2}\right) : \left(\frac{\rho'V \sin \alpha}{a^2} + \frac{4}{3} \pi \rho R\right).$$

Stelt deze verhouding, waarin de dichtheid ρ der Aarde onbekend is, gelijk aan de tangens van de afwijking, gebleken uit het verschil tusschen de waargenomene en de berekende breedten. De dus ontstaande vergelijking zal u de waarde van $\frac{\rho}{\rho'}$ geven.

de aantrekking der Zon gaat? *De door de voerstralen beschreven vlakke-uitgebreidheden zijn dus platte vlakken.*

681. — Zullen die vlakke-uitgebreidheden in verhouding tot den tijd veranderen? Om te weten of dit zoo wezen moet, zoo merkt op, dat de in 't eerste oogenblik beschreven weg de diagonaal PP' zal zijn (fig. 283) van het parallellogram $PTP'K$, beschreven op de aantrekkingskracht

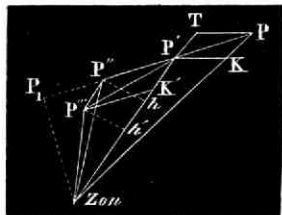


Fig. 283

PK en op de voortdrijvingskracht PT . Merkt ook op, dat het bewegende lichaam, krachtens de bekomen snelheid, op de verlenging van PP' natuurlijk eenen weg $P'P''$ gelijk aan PP' zou willen afleggen, indien de aantrekkingskracht, welke werking ondersteld kan worden als met oogenblikkelijke rukken of sprongen PK , $P'K'$, enz. te geschieden, de be-

weging niet kwam wijzigen en haar de richting gaf volgens eene nieuwe diagonaal $P'P''$. Nu is 't gemakkelijk in te zien, dat de vlakke-uitgebreidheid $ZP'P''$, die werkelijk beschreven is om het middelpunt van aantrekking Z onder den invloed der beide krachten $P'P''$ en $P'K'$, even groot is als het vlak $P'P''Z$, dat om datzelfde middelpunt zou zijn beschreven geworden, ingeval de aantrekking $P'K'$ niet gewerkt had. Want daar $P'P''$, wegens het parallellogram $P'P''P'''K'$, parallel is aan $P'K'$, zoo hebben de beide driehoeken $P'P'''Z$ en $P'P''Z$, als hebbende dezelfde basis $P'Z$, ook kennelijk gelijke hoogten $P'''h$, $P''h$; een zeker kenmerk — ieder weet het — van de gelijkheid der driehoeken.

Daar de beide driehoeken $PP'Z$ en $P'P''Z$ op hunne beurt gelijke bases PP' en $P'P''$, en tot gemeene hoogte de loodlijn ZP_1 hebben, welke laatste uit den top Z op het verlengde der rechte lijn $PP'P''$ is neergelaten, zoo zullen zij insgelijks even groot zijn. Bijgevolg zullen de vlakke-uitgebreidheden $PP'Z$ en $P'P''Z$, als zijnde ieder in 't bijzonder even groot als het vlak $P'P''Z$, ook onderling even groot zijn. En daar men nu volkomen dezelfde redeneering zal kunnen toepassen op ieder der kleine rondom de Zon beschreven driehoeken; daar het bovendien geoorloofd is, ieder dier driehoeken oneindig klein te onderstellen, in welk geval de sprongsgewijze aantrekkingskracht PK , $P'K'$ enz., en de reeks der doorloopen diagonalen PP' , $P'P''$, enz., overeenkomstig met hetgeen in de natuur plaats heeft, eene onafgebroken kracht en kromme lijn worden, zoo blijkt hieruit, dat *de evenredigheid der vlakke-uitgebreidheden aan den tijd*, Kepler's eerste wet, onmiddellijk uit het beginsel van Newton voortvloeit.

682. — Merkt voor 't overige nog op, dat het voorgaande betoog onderstelt, dat $P''P'''$ parallel is aan $P'Z$, de richting der aantrekkingskracht $P'K'$. Hieruit volgt dat, indien de kracht $P'K'$, in plaats van uit te gaan van 't punt Z , dat wil zeggen altijd van hetzelfde middelpunt van aantrekking, daarentegen uitging

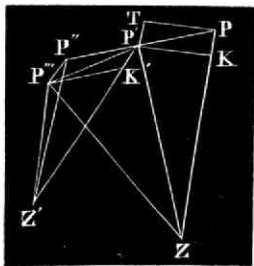


Fig. 284.

van een ander middelpunt Z' (fig. 284), het betoog niet meer zou bestaan; en ofschoon de vlakte-uitgebreidheden $P'P''Z'$ en $P'P'''Z'$ aan elkaar gelijk mochten zijn, zou het vlak $P'P''Z'$, in betrekking tot de Zon Z gebracht, over 't algemeen niet gelijk zijn aan 't oorspronkelijke vlak $PP'Z$. Men kan alzoo, de stelling omkeerende, niet alleen zeggen dat de zwaartekracht het aanzijn geeft aan de wet der vlakte-uitgebreidheden,

maar ook dat, zoodra uit de waarneeming het bestaan dier wet met opzicht tot de Zon gebleken is, de aantrekkingskracht ook noodwendig altijd van de Zon moet uitgaan.

683. — Minder gemakkelijk is het, Kepler's tweede wet uit de zwaartekracht te doen voortvloeien. Men zal niettemin lichtelijk begrijpen, dat — wanneer de kracht centraal is en de beschreven kromme lijn $PP'P''$ enz. (fig. 283) gevolgelijk hare holle zijde naar het aantrekkend punt Z keert — alsdan de middelpuntvliedende kracht, naar gelang van de grootte en richting der oorspronkelijke voortdrijving, aan het uitgangspunt kleiner dan, gelijk aan of grooter dan de aantrekkingskracht geweest is; dat de aanvankelijke snelheid zelve eene loodrechte of schuinsche richting op den voerstraal heeft gehad, en dat daaruit voor de beschreven kromme lijn nu eens eene ellips of een cirkel, dan eens eene parabool, dan weder eene hyperbool is ontstaan, de eenige kromme lijnen alzoo, wanneer men Kepler's wetten van algemeene toepassing maakt, die men in de bewegingen des Heelals waarneemt. Om te bewijzen dat het niet anders wezen kan, zou men de toevlucht moeten nemen tot berekeningen (*), in welker bijzonderheden ik hier niet kan treden. Ik zal mij dus vergenoegen met te zeggen, dat de voorgaande gevolgtrekking buiten allen twijfel gesteld is zoowel door de berekeningen, waarop ik daar doelde, als door omgekeerde berekeningen, die, uitgaande van eene zoodanig beschreven kegelsnede, dat de vlakte-uitgebreidheden evenredig zijn aan den tijd (†), juist eene aan-

(*) Zie Noot II, aan het einde der Vier en twintigste Les.

(†) Zie Noot III, aan het einde der Vier en twintigste Les.

trekkingskracht tot uitkomst geven, welker werkvermogen voor elke Planeet verschilt in omgekeerde reden van het vierkant des afstands, en zulks voor ieder punt van de doorloopen baan.

684. — Wat de derde wet van Kepler betreft, men vindt haar gemakkelijk terug als onmiddellijk gevolg eener aantrekkingskracht, werkende in omgekeerde reden van het vierkant der afstanden, en zulks niet enkel voor de punten eener zelfde loopbaan, maar voor punten naar welgevallen op verschillende banen genomen. (*).

685. — In het beginsel der aantrekkingskracht zijn alzoo stilzwijgend de groote wetten begrepen, die de hemelbewegingen beheerschen; en door eene van die merkwaardige samenloopende omstandigheden, welke het zekerst kenmerk der waarheid zijn, krijgt dit beginsel, wel verre van de schijnbare uitzonderingen of, zooals men zegt, de *storingen* in de normale bewegingen te moeten duchten, voortdurend door de uitzonderingen zelve de heerlijkste bevestiging. Zoo ziet men 't, onder de handen der nieuwere Meetkundigen, de præcessie der Nachteveningen verklaren uit de samenwerking van de uit de rotatie des Aardbols geboren middelpuntvliedende kracht met den invloed der Zon op onzen æquatorialen meniscus. Zoo geeft het ook de verklaring van de nutatie uit een soortgelijken invloed der Maan op dezelfde uitzetting of zwellung der Aarde; zoo ziet men 't almede, door de aantrekking der Planeten, rekenschap geven èn van de schommeling der Ecliptica, èn van de beweging van het Zonsapogæum, èn van Jupiters vertraging wanneer Saturnus versnelt, èn van Saturnus' langzamer loop, daarentegen, wanneer de versnelling bij Jupiter plaats heeft; zoo openbaart het eindelijk waarom de gemiddelde beweging onzes Wachters onder den storenden invloed der Zon tegenwoordig van eeuw tot eeuw toeneemt en later weer moet vertragen; waarom de knooplijn der Maan hare omwenteling met eene teruggaande beweging in 18 jaar volbrengt, en waarom het maans-perigæum de zijne met eene rechtloopende beweging in iets minder dan 9 jaar verricht (†), enz. In een woord, dit merkwaardig beginsel voldoet niet alleen ter verklaring van al de bekende verschijnselen, maar vergunt ook vaak uitwerkselen te ontdekken, die voor de waarneming verborgen waren gebleven; zoodat men a priori het samenstel

(*) Zie Noot IV, aan het einde der Vier en twintigste Les.

(†) 't Is opmerkelijk, dat Clairaut, toen hij door berekening eene periode van 18, in plaats van 9 jaar vond, de zwaartekracht in omgekeerde reden van het vierkant des afstands in het tegenwoordige geval voor onvoldoende verklaarde; en dat het juist een Natuurkenner, Buffon, moest zijn, die, in de overtuiging dat de natuur niet twee verschillende wetten kon hebben, den Meetkunstenaar wist te bewegen om zijne becijferingen te herzien. Na een vernieuwd onderzoek zag Clairaut dan ook werkelijk in, dat zijn eerste beoordeelde op eene dwaling beruiste. Hij had in de reeksen termen buiten rekening gelaten, die niet verwaarloosd mochten worden.

en de inrichting der wereld zou kunnen opmaken, om aan de waarneming niets anders te ontleenen dan de weinige verkenningpunten, waarvan de Meetkunstenaars zich in hunne berekeningen bedienen onder de benaming van *constanten* of standvastige grootheden.

686. — Alles in 't Heelal wordt alzoo volbracht door eene bewonderenswaardige eenvoudige inrichting, daar de schijnbaar meest ingewikkelde bewegingen het uitvloeisel zijn van de samenwerking eener oorspronkelijk ingedrukte voortbeweging met eene eenige kracht, die van iedere stofmolecule uitgaat (*) en bijgevolg de eenige is, om zoo te zeggen, waarmede de Schepper zich voortdurend heeft bezig te houden. Maar ook, welk eene machtontwikkeling ligt er in die altijddurende voortbrenging van krachten, welke bestaan niet volstrekt onafscheidelijk is van dat der stof! En hoe werkzaam moet niet de hand des Eeuwigen zijn, die elk oogenblik, tot instandhouding des Heelals, dergelijke krachten weet te vernieuwen tot zelfs in de allerfijnste atomen der tallooze Hemelbollen, die Hij de eindeloze gewesten der onmeetlijkheid doet bevolken! Is het niet hier de plaats om met den koninklijken profeet uit te roepen, terwijl men voor zooveel grootheid zich nederbuigt: „*Cœli enarrant gloriam Dei?*”

(*) Er wil zich eene school vormen, die men de *neo-cartesiaansche* heet, en die de aantrekking uit de beweging poogt te verklaren. Ik moet hier doen opmerken, dat dit nieuwe beginsel niets in mijne gevolgtrekkingen zou veranderen. Door alles toe te schrijven aan de beweging, moet men — zonder nog te spreken van den oorspronkelijken schok, dien men toch ook zou behooren te verklaren — stilzwijgend de veerkracht of de wrijvingen onderstellen, die de trillingen al verder en verder door den ether heen voortplanten. Men onderstelt dus aantrekkende moleculaire krachten, zonder welke noch wrijving noch veerkracht kunnen bestaan, krachten, die niet wezenlijk in de stof huizen, en die, daar ze zich onophoudelijk uitputten, gevolgelijk ook tot hare vernieuwing eene nimmer ophoudende schepping vereischen. Men zal dan, strikt genomen, in de reeks, die tot het beginsel van Newton voert, enen term hooger klimmen; maar men zal steeds, als *eerste oorzaak*, de toevlucht moeten nemen tot die opperste verstandskracht, welke in de stof de *secundaire krachten* onderhoudt, wier opheffing de ontbinding des Heelals tot *onmiddellijk gevolg* zoude hebben.



NOOT I.

687. — Ziehier den bij dit scherppzinnig onderzoek gevolgden gang; maar vooraf is het dienstig aan te merken, dat lichamen van begrensdte afmetingen, daar zij elkander op zeer groote afstanden aantrekken, klaarblijkelijk tot hun zwaartepunt herleid kunnen worden.

Laat dan M de massa der Zon, en m, m', m'' , enz. de massa's der Planeten te zamen met hare Wachters zijn (fig. 285); laat ook $X, Y, Z, (X+x), (Y+y), (Z+z), (X+x'), (Y+y'), (Z+z')$, enz. de coördinaten dier verschillende lichamen met betrekking tot een vast middelpunt O voorstellen; beteekenen we eindelijk met r, r', r'' , enz. de voerstralen

$$\sqrt{x^2+y^2+z^2}, \sqrt{x'^2+y'^2+z'^2}, \text{ enz.,}$$

der verschillende Planeten, of de afstanden dier lichamen tot de Zon. Eerst zult gij hebben voor de beweging van M , wanneer gij door het teeken Σ eene som van overeenkomstige termen uitdrukt:

$$(1) \quad \frac{d^2X}{dt^2} = \Sigma \frac{mx}{r^3}, \quad \frac{d^2Y}{dt^2} = \Sigma \frac{my}{r^3}, \quad \frac{d^2Z}{dt^2} = \Sigma \frac{mz}{r^3};$$

want de werking, uitgeoefend op een punt van M , waar de *versnellende* kracht voor elke Planeet gelijk is aan $\frac{m}{r^2}$, en de cosinussen der hoeken van deze werking met de coördinaten-assen hebben tot respectieve waarden $\frac{x}{r}, \frac{y}{r}, \frac{z}{r}$.

Wat de vergelijkingen van de bewegingen der massa's m, m', m'' , enz. betreft, hare eerste leden zullen kennelijk zijn

$$\frac{d^2(X+x)}{dt^2}, \frac{d^2(Y+y)}{dt^2}, \frac{d^2(Z+z)}{dt^2}, \frac{d^2(X+x')}{dt^2}, \text{ enz.}$$

Men behoeft dus enkel de tweede te vormen.

Op de massa m nu werkt, volgens mM . de *versnellende* kracht $\frac{M}{r^2}$, welker composanten zijn $\left(\frac{-Mx}{r^3}\right), \left(\frac{-My}{r^3}\right), \left(\frac{-Mz}{r^3}\right)$.

Deze zelfde massa wordt ook aangetrokken naar m' , naar m'' , enz. door de *versnellende* krachten

$$\frac{m'}{(x'-x)^2+(y'-y)^2+(z'-z)^2}, \quad \frac{m''}{(x''-x)^2+(y''-y)^2+(z''-z)^2}, \text{ enz.,}$$

die, vermenigvuldigd met de cosinussen

$$\frac{(x'-x)}{\sqrt{(x'-x)^2+(y'-y)^2+(z'-z)^2}}, \quad \frac{(y'-y)}{\sqrt{(x'-x)^2+(y'-y)^2+(z'-z)^2}}, \text{ enz.,}$$

der hoeken, gevormd met de coördinaten-assen, voor hare composanten de uitdrukkingen geven:

$$\frac{m'(x'-x)}{[(x'-x)^2+(y'-y)^2+(z'-z)^2]^{\frac{3}{2}}}, \quad \frac{m'(y'-y)}{[(x'-x)^2+(y'-y)^2+(z'-z)^2]^{\frac{3}{2}}}, \text{ enz.,}$$

of eenvoudiger

$$\frac{m'd \cdot \frac{1}{\rho'}}{d}, \quad \frac{m'd \cdot \frac{1}{\rho''}}{dy}, \text{ enz.,}$$

zijnde φ' , φ'' , enz. de afstanden $m'm$, $m''m$, enz. van de storende Planeten m' , m'' , enz. tot de gestoorde Planeet m .

Hieruit ontstaan de vergelijkingen

$$(2) \begin{cases} \frac{d^2(X+x)}{dt^2} = -\frac{Mx}{r^3} + \frac{m'd \cdot \frac{1}{\varphi'}}{dx} + \frac{m''d \cdot \frac{1}{\varphi''}}{dx} + \text{enz.}, \\ \frac{d^2(Y+y)}{dt^2} = -\frac{My}{r^3} + \frac{m'd \cdot \frac{1}{\varphi'}}{dy} + \frac{m''d \cdot \frac{1}{\varphi''}}{dy} + \text{enz.}, \\ \frac{d^2(Z+z)}{dt^2} = -\frac{Mz}{r^3} + \frac{m'd \cdot \frac{1}{\varphi'}}{dz} + \frac{m''d \cdot \frac{1}{\varphi''}}{dz} + \text{enz.} \end{cases}$$

Wilt gij aan deze vergelijkingen een eenvoudiger vorm geven, stelt dan

$$\lambda = \frac{mm'}{\sqrt{(x'-x)^2 + (y'-y)^2 + (z'-z)^2}} + \frac{mm''}{\sqrt{(x''-x)^2 + (y''-y)^2 + (z''-z)^2}} + \frac{m'm''}{\sqrt{(x''-x')^2 + (y''-y')^2 + (z''-z')^2}} + \text{enz.},$$

en merkt nu op, dat bij het differentieeren met betrekking tot x al de termen, die m niet bevatten, verdwijnen, dewijl x en m zich altijd samen bevinden; dat het eveneens gelegen is met x' en m' , met x'' en m'' , enz. De vergelijkingen (2) zullen dan worden

$$(3) \begin{cases} \frac{d^2X}{dt^2} + \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{Mx}{r^3} = \frac{1}{m} \frac{d\lambda}{dx}, \quad \frac{d^2Y}{dt^2} + \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{My}{r^3} = \frac{1}{m} \frac{d\lambda}{dy}, \\ \frac{d^2Z}{dt^2} + \frac{d^2z}{dt^2} + \frac{Mz}{r^3} = \frac{1}{m} \frac{d\lambda}{dz}; \end{cases}$$

en wegens $\frac{d^2X}{dt^2} = \sum \frac{mx}{r^3}$, $\frac{d^2Y}{dt^2} = \sum \frac{my}{r^3}$, enz.,

voortkomende uit de vergelijkingen (1),

$$(4) \begin{cases} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{Mx}{r^3} + \sum \frac{mx}{r^3} = \frac{1}{m} \frac{d\lambda}{dx}, \quad \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{My}{r^3} + \sum \frac{my}{r^3} = \frac{1}{m} \frac{d\lambda}{dy}, \\ \frac{d^2z}{dt^2} + \frac{Mz}{r^3} + \sum \frac{mz}{r^3} = \frac{1}{m} \frac{d\lambda}{dz} \end{cases}$$

De vergelijkingen der beweging van m' zouden insgelijks zijn

$$(5) \begin{cases} \frac{d^2x'}{dt^2} + \frac{Mx'}{r'^3} + \sum \frac{mx'}{r'^3} = \frac{1}{m'} \frac{d\lambda}{dx'}, \quad \frac{d^2y'}{dt^2} + \frac{My'}{r'^3} + \sum \frac{my'}{r'^3} = \frac{1}{m'} \frac{d\lambda}{dy'}, \\ \frac{d^2z'}{dt^2} + \frac{Mz'}{r'^3} + \sum \frac{mz'}{r'^3} = \frac{1}{m'} \frac{d\lambda}{dz'}, \end{cases}$$

en zoo voor al de Planeten.

Stelt nu

$$R = \frac{m'(xx' + yy' + zz')}{r'^3} + \frac{m''(xx'' + yy'' + zz'')}{r''^3} + \dots - \frac{\lambda}{m}$$

$$R' = \frac{m(x'x + y'y + z'z)}{r^3} + \frac{m''(x'x'' + y'y'' + z'z'')}{r'^3} + \dots - \frac{\lambda}{m'}$$

$$R'' = \text{enz.},$$

De vergelijkingen (4), (5), enz. zullen worden

$$(6) \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{(M+m)x}{r^3} + \frac{dR}{dx} = 0, \quad \frac{d^2y}{dt^2} + \frac{(M+m)y}{r^3} + \frac{dR}{dy} = 0, \quad \frac{d^2z}{dt^2} + \frac{(M+m)z}{r^3} + \frac{dR}{dz} = 0,$$

$$(7) \frac{d^2x'}{dt^2} + \frac{(M+m')x'}{r'^3} + \frac{dR}{dx'} = 0, \quad \frac{d^2y'}{dt^2} + \frac{(M+m')y'}{r'^3} + \frac{dR}{dy'} = 0, \quad \frac{d^2z'}{dt^2} + \frac{(M+m')z'}{r'^3} + \frac{dR}{dz'} = 0.$$

R , R' , R'' , enz., zijn wat men de storende functiën der elliptische bewegingen,

of algemeener, der bewegingen in kegelsneden noemt, bewegingen die plaats zouden grijpen rondom de Zon, gelijk zulks het integreeren der voorgaande vergelijkingen

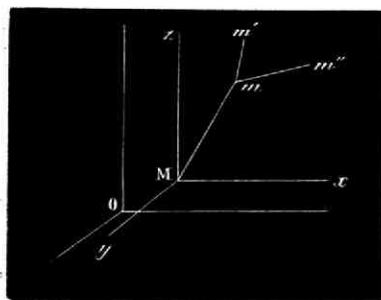


Fig. 283.

zou aantoonen, indien de storende functiën, dat wil zeggen, indien de storende massa's der verschillende Planeten op iedere derzelve niet bestonden. Behoudt dus deze storende functiën, terwijl gij de massa's m, m', m'' , die zij bevatten, als bekend beschouwt, en de zwaarigheden der analysis, die u de coördinaten x, y, z, x', y', z' moet geven, voor overwonnen acht. Van den eenen kant zult gij hebben de algebraïsche waarden in functiën van den tijd t en van de massa's m, m', m'' , enz., terwijl van den

anderen kant de waarneming u , voor hetzelfde tijdstip t , de getalwaarden der coördinaten zal leveren. Door de waargenomen waarden in vergelijking te brengen met de berekende, zult gij zoogenaamde *voorwaardelijke* vergelijkingen bekomen, die niet meer onbepaalden zullen bevatten dan de massa's m, m', m'' , enz., welke zoo talrijk kunnen zijn als gij wilt, daar het van u zal afhangen de waarnemingen te vermeerderen, en die gevolgelijk zullen dienen om de gezochte massa's te bepalen.

NOOT II.

688. — Zij PP' (fig. 286) de oneindig kleine boog dZ , doorloopen door de Planeten in den tijd dt , en μ de intensiteit der aantrekkingskracht op de afstands-

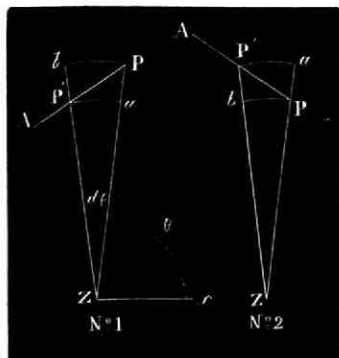


Fig. 286.

eenheid $\frac{\mu}{r^2}$ zal de aantrekkingskracht zijn op

den afstand r ; en de composante dezer aantrekkingskracht volgens de tangens PA aan den doorloopen boog PP' zal tot uit-

drukking hebben $\frac{\mu}{r^2} \cos P'PZ = -\frac{\mu}{r^2} \frac{dr}{ds}$.

Hieruit heeft men, voor de vergelijking der beweging van P ,

$$(1) \quad \frac{d^2s}{dt^2} = -\frac{\mu}{r^2} \frac{dr}{ds};$$

zijnde het tweede lid positief (N° 1, fig. 286), of negatief (N° 2), naargelang $dr = Pa$ negatief of positief is, dat is, naargelang de tangentielle kracht de beweging versnelt of vertraagt.

Om uit te drukken dat de aantrekkingskracht steeds uitgaat van het punt Z, zoo schrijft, dat de vlakke-uitgebreidheden evenredig zijn aan den tijd. Gij zult dan de nieuwe vergelijking hebben

$$(2) \quad r^2 d\vartheta = c dt,$$

in welke c het dubbele van de vlakke-uitgebreidheid beschreven in de tijdseenheid, en $d\vartheta$ de differentiaal van den hoek ϑ , gerekend van eene of andere lijn Zx , die door het middelpunt der Zon zou gaan. De beschreven vlakke-uitgebreidheid ZPP' is werkelijk begrepen tusschen de vlakten

$$PbZ = \frac{1}{2} Pb \times PZ = \frac{1}{2} rd\vartheta \times r = \frac{1}{2} r^2 d\vartheta$$

en

$$P'aZ = \frac{1}{2} P'Z \times P'a = \frac{1}{2} (r + dr) d\vartheta \times (r + dr),$$

die alleen verschillen in oneindig kleine grootheden van de tweede en van de derde orde, en die men bijgevolg als gelijk mag onderstellen. Wat c betreft, zij heeft tot waarde $RS \sin \gamma$, zijnde R , S en γ de voerstraal, de snelheid en de hoek $P'PZ$ aan den oorsprong der beweging.

Voegt bij deze vergelijkingen tusschen de vier onbepaalde r , t , s , t de betrekking $\overline{PP'}^2 = \overline{Pa}^2 + \overline{P'a}^2$, volgende uit den rechthoekigen driehoek $PP'a$, en gij bekomt de derde vergelijking

$$(3) \quad ds^2 = dr^2 + r^2 d\vartheta^2,$$

wier verbinding met de beide vorige u gelegenheid geeft om, door uitdrijving van s en t , de polaire vergelijking van de kromme lijn tusschen r en ϑ te verkrijgen.

Om daartoe te geraken, zoo vermenigvuldigt de beide leden der vergelijking (1) met $2ds$, en gij zult krijgen

$$\frac{2dsd^2s}{dt^2} = -\frac{2\mu dr}{r^2};$$

en gevolgelijk

$$(a) \quad \frac{ds^2}{dt^2} + K = \frac{2\mu}{r},$$

zijnde K eene willekeurige standvastige grootheid, gelijk aan $\frac{2\mu}{R} - S^2$.

Elimineert nu uit deze vergelijking ds en dt door middel van de vergelijkingen (2) en (3), en gij zult gemakkelijk komen tot deze:

$$c^2 \frac{dr + r^2 d\vartheta^2}{r^4 d\vartheta^2} + K = \frac{2\mu}{r}$$

die niet meer dan r en ϑ bevat, en die gij zonder zwarigheid zult integreeren, makende

$$z = \frac{1}{r}, \quad dz = -\frac{dr}{r^2},$$

want zij wordt

$$\frac{c^2 dz^2}{d\vartheta^2} + cz^2 + K = 2\mu z,$$

en geeft onmiddellijk

$$d\vartheta = \frac{cdz}{\pm \sqrt{2\mu - cz^2 - K}} = \frac{cdz}{\pm \sqrt{\left(\frac{\mu}{c^2} - K\right) - \left(\frac{\mu}{c} - z\right)^2}} = \frac{\frac{c^2 dz}{\sqrt{\mu^2 - kc^2}}}{\pm \sqrt{1 - \left(\frac{\mu - c^2 z}{\sqrt{\mu^2 - kc^2}}\right)^2}}$$

Hieruit volgt, door integratie

$$\vartheta - \omega = \text{boog} \cos \frac{\mu - c^2 z}{\pm \sqrt{\mu^2 - kc^2}}; \text{ en } \left(\mu - cz = \mu - \frac{c^2}{r}\right) = \pm \sqrt{\mu^2 - kc^2} \cos(\vartheta - \omega).$$

Bijgevolg eindelijk :

$$(\beta) \quad r = \frac{c^2}{\mu \pm (\sqrt{\mu^2 - kc^2}) \cos(\vartheta - \omega)} = \frac{\frac{c^2}{\mu}}{1 \pm \sqrt{1 - \frac{kc^2}{\mu}} \cos(\vartheta - \omega)}$$

eene polaire vergelijking van eene kegelsnede, waarin de constante ω bepaald zal zijn door de bekende waarden van r en ϑ aan den oorsprong der beweging, en waar de hoek $(\vartheta - \omega)$ gerekend wordt of van het perigæum, of van het apogæum, al naar gelang van het teeken, dat men voor de wortelgrootheid aanneemt.

De excentriciteit $\sqrt{1 - \frac{kc^2}{\mu^2}}$ bepaalt daarenboven den aard der kegelsnede.

Voor de ellips, bij voorbeeld, heeft men $1 - \frac{kc^2}{\mu^2} < 1$. Derhalve, omdat $\frac{c^2}{\mu^2}$

uit den aard positief is, moet ook $(K = \frac{2\mu}{R} - S^2)$ positief zijn, opdat de term $\frac{-kc^2}{\mu^2}$ niet additief worde. Alzoo moet dan de aanvankelijke snelheid S kleiner

zijn dan $(\sqrt{\frac{2\mu}{R}} = \sqrt{\frac{\mu}{R^2}} \times 2R)$, of, volgens een bekend theorema van ra-

tioneele mechanica, dan de snelheid, die zou volgen uit eenen weg R , doorloopen onder den als standvastig onderstelden invloed van de kracht $\frac{\mu}{R^2}$. Wat den

cirkel aangaat, die, zooals men weet, slechts een bijzonder geval der ellips is, hij zal aangegeven worden door $\sqrt{\mu^2 - kc^2} = 0$, omdat r dan niet meer verandert en altijd gelijk blijft aan $\frac{c^2}{\mu}$. Aan deze voorwaarde wordt voldaan door $\gamma = 90^\circ$ (in

welk geval c , daar de aanvankelijke snelheid loodrecht is op den voerstraal, gelijk wordt aan SR) en door $S^2 = \frac{\mu}{R}$ of $\frac{S^2}{R} = \frac{\mu}{R^2}$, dat is door de middelpuntvliedende

kracht $\frac{S^2}{R}$ gelijk aan de aantrekkingskracht $\frac{\mu}{R^2}$, eene voorwaarde, die insgelijks

voldoet aan de voorwaarde der ellips $S^2 < \frac{2\mu}{R}$, en die $K = \frac{\mu}{R}$ geeft. Immers, substitueert deze verschillende waarden, en $\mu^2 - kc^2$ wordt

$$\mu^2 - \frac{\mu}{R} S^2 R^2 = \mu^2 - \mu R S^2 = \mu^2 - \mu R \cdot \frac{\mu}{R} = \mu^2 - \mu^2 = 0.$$

Even gemakkelijk zou men zien, dat de excentriciteit $\sqrt{1 - \frac{kc^2}{\mu^2}}$, gelijk aan

de eenheid, voor de parabool de voorwaarde $K = 0$ meebrengt en bijgevolg ook $S^2 = \frac{2\mu}{R} = \frac{\mu}{R^2} \cdot 2R$; eindelijk, dat $1 - \frac{kc^2}{\mu^2} > 1$ voor de hyperbool geeft $k < 0$ of

$S^2 > \frac{2\mu}{R} > \frac{\mu}{R^2} \cdot 2R$.

NOOT III.

OVER DEN AARD DER KRACHT, DIE IN EENE KEGELSNEDE VLAKTE-
UITGEBREIDHEDEN EVENREDIG AAN DEN TIJD DOET BESCHRIJVEN.

689. — Zij φ de versnellende kracht, die eene kegelsnede doet beschrijven. Gij hebt terstond voor de vergelijking der beweging, in het vlak waarin deze beweging plaats heeft :

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -\varphi \frac{dr}{ds};$$

vervangende hier φ de kracht $\frac{\mu}{r^2}$ van de noot § 688. Hieruit vindt gij zonder bezwaar

$$\varphi = -\frac{1}{2dr} d \cdot \left(\frac{ds^2}{dt^2} \right) = -\frac{1}{2dr} d \cdot \left(\frac{dr^2 + r^2 d\vartheta^2}{dt^2} \right);$$

en wegens $r^2 d\vartheta = c dt$, die $dt^2 = \frac{r^2 d\vartheta^2}{c^2}$ geeft,

$$\varphi = -\frac{c^2}{2dr} d \cdot \left(\frac{dr^2 + r^2 d\vartheta^2}{r^2 d\vartheta^2} \right) = -\frac{c^2}{2dr} d \cdot \left(\frac{dr^2}{r^2 d\vartheta^2} + \frac{1}{r^2} \right) = -\frac{c^2}{2dr} d \cdot \frac{dr^2}{r^2 d\vartheta^2} - \frac{c^2}{2dr} d \cdot \frac{1}{r^2}.$$

Daar de algemeene vergelijking der kegelsneden $r = \frac{a(1-e^2)}{1+e \cos \vartheta}$ geeft,

zoo hebt gij
$$\frac{1}{r} = \frac{1+e \cos \vartheta}{a(1-e^2)};$$

bijgevolg ook
$$\frac{dr}{r^2 d\vartheta} = \frac{e \sin \vartheta}{a(1-e^2)},$$

$$\frac{dr^2}{r^4 d\vartheta^2} = \frac{e^2 \sin^2 \vartheta}{a^2(1-e^2)^2} = \frac{e^2}{a^2(1-e^2)^2} \frac{e^2 \cos^2 \vartheta}{a^2(1-e^2)^2} = \frac{e^2}{a^2(1-e^2)^2} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{a(1-e^2)} \right]^2,$$

gevolgelyk ten laatste

$$\varphi = -\frac{c^2}{2dr} d \cdot \left\{ \frac{e^2}{a^2(1-e^2)^2} \left[\frac{1}{r} - \frac{1}{a(1-e^2)} \right]^2 \right\} - \frac{c^2}{2dr} d \cdot \frac{1}{r^2} = \frac{c^2}{a(1-e^2)} \frac{1}{r^2}.$$

Hetgeen beteekent, dat de versnellende kracht φ verandert in omgekeerde reden van het vierkant der achtereenvolgende afstanden van de Planeet tot de Zon.

NOOT IV.

OVER DE DERDE WET VAN KEPLER.

690. — Wij hebben gezien (noot van § 660), dat de val eener Planeet naar de Zon, bij de onderstelling van een op den afstand a beschreven cirkel, uitgedrukt wordt door $\frac{2\pi a}{T^2}$. Voor een tweede Planeet, zich bewegende op den afstand a' , en hare baan beschrijvende in den tijd T' , zou de val dus $\frac{2\pi a'}{T'^2}$ wezen. Deze vallen, beide beantwoordende aan de tijdseenheid, zijn evenredig aan de versnellende krachten, die ze voortbrengen. Indien dus de versnellende krachten van elke

planeet veranderen in de omgekeerde reden van de vierkanten der afstanden, zult gij hebben:

$$\frac{2\pi^2 a}{T^2} : \frac{2\pi^2 a'}{T'^2} = a'^2 : a^2.$$

Waaruit

$$\frac{2\pi^2 a^3}{T^2} = \frac{2\pi^2 a'^3}{T'^2},$$

en bijgevolg

$$\frac{a^3}{T^2} = \frac{a'^3}{T'^2}$$

dat is de derde wet van Kepler, reeds aangegeven in de noot van § 662.

Wilt gij deze wet zien voortvloeden uit het beginsel der zwaartekracht in 't algemeenste geval der ellips? Neemt dan de uitdrukking

$$\varphi = \frac{c^2}{a(1-e^2)} \frac{1}{r^2}$$

uit de vorige noot (§ 689), en maakt in die uitdrukking $r = 1$; gij verkrijgt dan voor de versnellende kracht, werkende op de afstandseenheid,

$$\mu = \frac{c^2}{a(1-e^2)}.$$

En daar

$$\frac{1}{2}c = \frac{\text{oppervlakte der ellips}}{T} = \frac{\pi a^2 \sqrt{1-e^2}}{T},$$

zoo komt er

$$\mu = \frac{4\pi^2 a^4 (1-e^2)}{T^2 a (1-e^2)} = \frac{4\pi^2 a^3}{T^2}.$$

Voor eene tweede Planeet zult gij insgelijks hebben

$$\mu = \frac{4\pi^2 a'^3}{T'^2}.$$

Nu onderstelt gij, dat de versnellende kracht, die op de Planeten werkt, voor ieder van haar dezelfde is. Gij neemt dus aan, dat deze kracht alleen met den afstand, maar geenszins met de natuur der Planeet verandert. Gij hebt bijgevolg

$$\mu = \mu. \text{ Hieruit volgt } \frac{a^3}{T^2} = \frac{a'^3}{T'^2}.$$

't Is tevens duidelijk, dat ook het omgekeerde plaats heeft, en dat gij, indien Kepler's derde wet *a priori* door u ondersteld wordt, tot $\mu' = \mu$ zult komen, dat is te zeggen voor afstanden gelijk aan de versnellende krachten, die op de verschillende Planeten werken. Dit is echter — wij merken 't reeds op (noot van § 662) — niet volkomen waar, omdat de versnellende kracht evenredig is aan de som der massa's van de Zon en de Planeet, en niet aan de massa der Zon alleen; nogtans is het op zeer weinig na met de waarheid overeenkomstig, uit hoofde van de kleinte der planeten-massa's met betrekking tot de massa van den centralen hemelbol.