

DE BEGINSELEN
DER
KOSMOGRAPHIE,

DOOR
Dr. E. VAN DER VEN,
Conservator van Teyler's Physisch Kabinet te Haarlem.

Derde, herziene Druk.

HAARLEM,
DE ERVEN F. BOHN.
1885.

DE BEGINSELEN
DER
KOSMOGRAPHIE,

DOOR
Dr. E. VAN DER VEN,
Conservator van Teyler's Physisch Kabinet te Haarlem.

Derde, herziene Druk.

HAARLEM,
DE ERVEN F. BOHN.
1885.

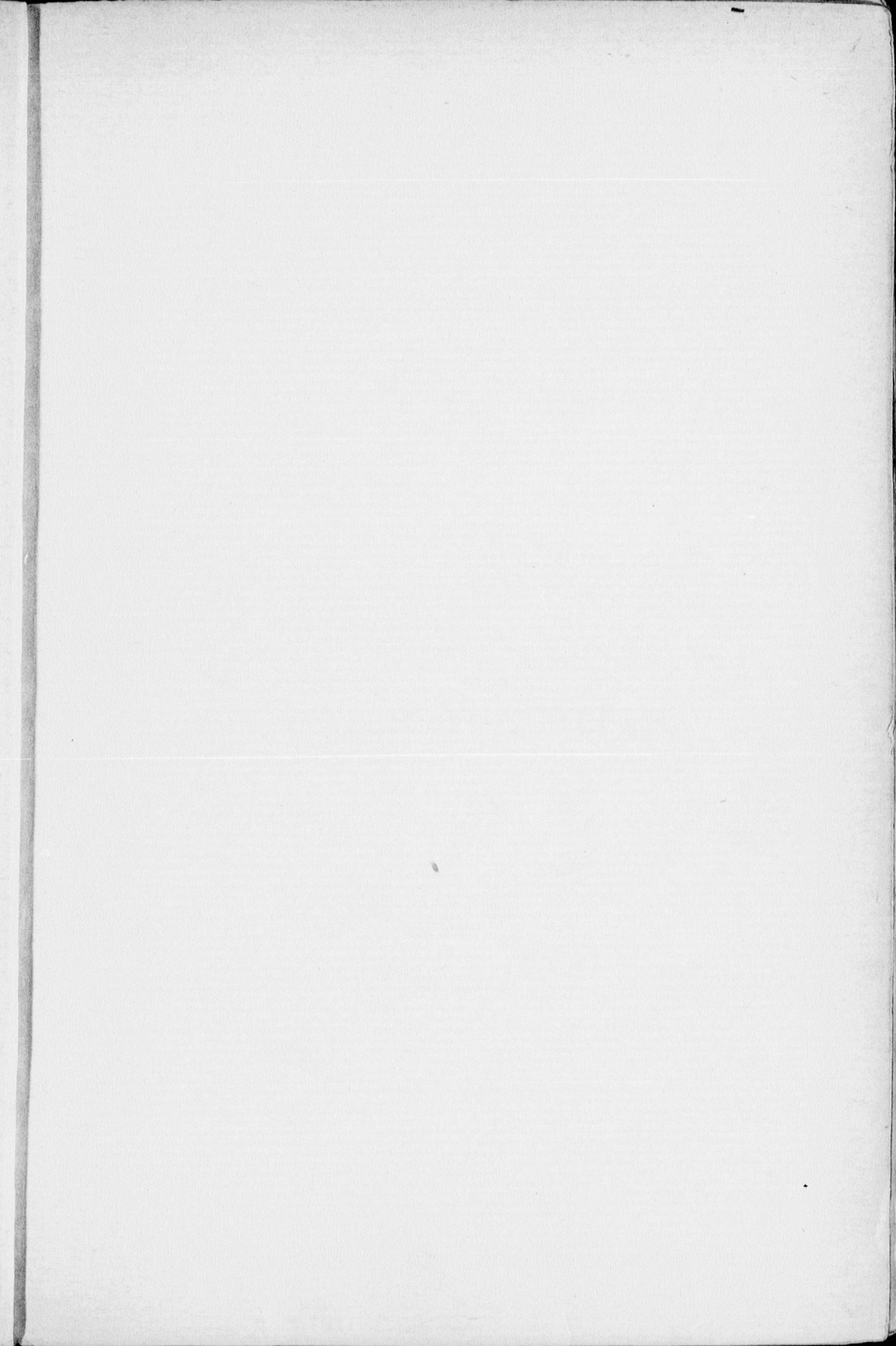
Kast 206

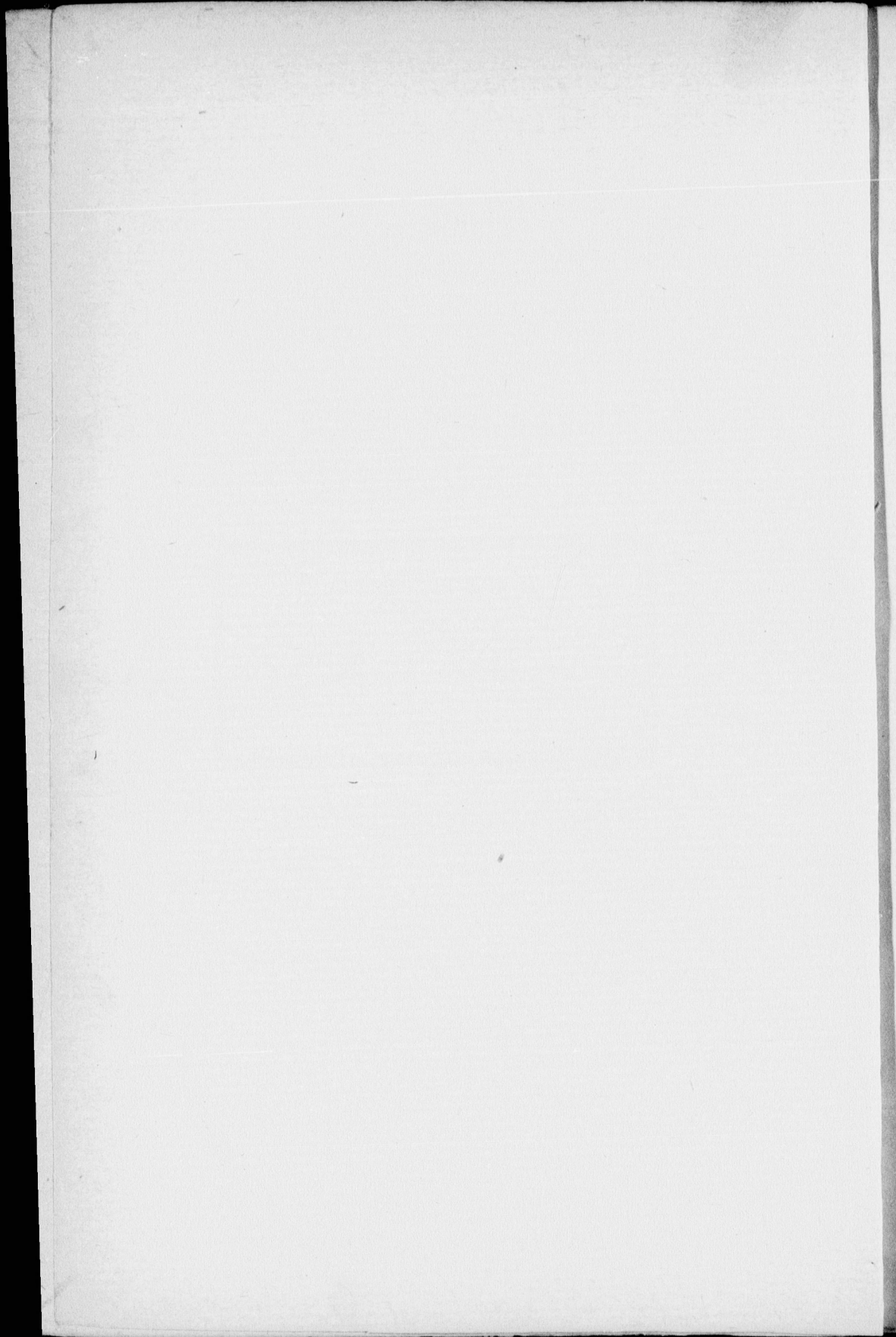
Pl. **E** N^o. **9**

GESCHENK

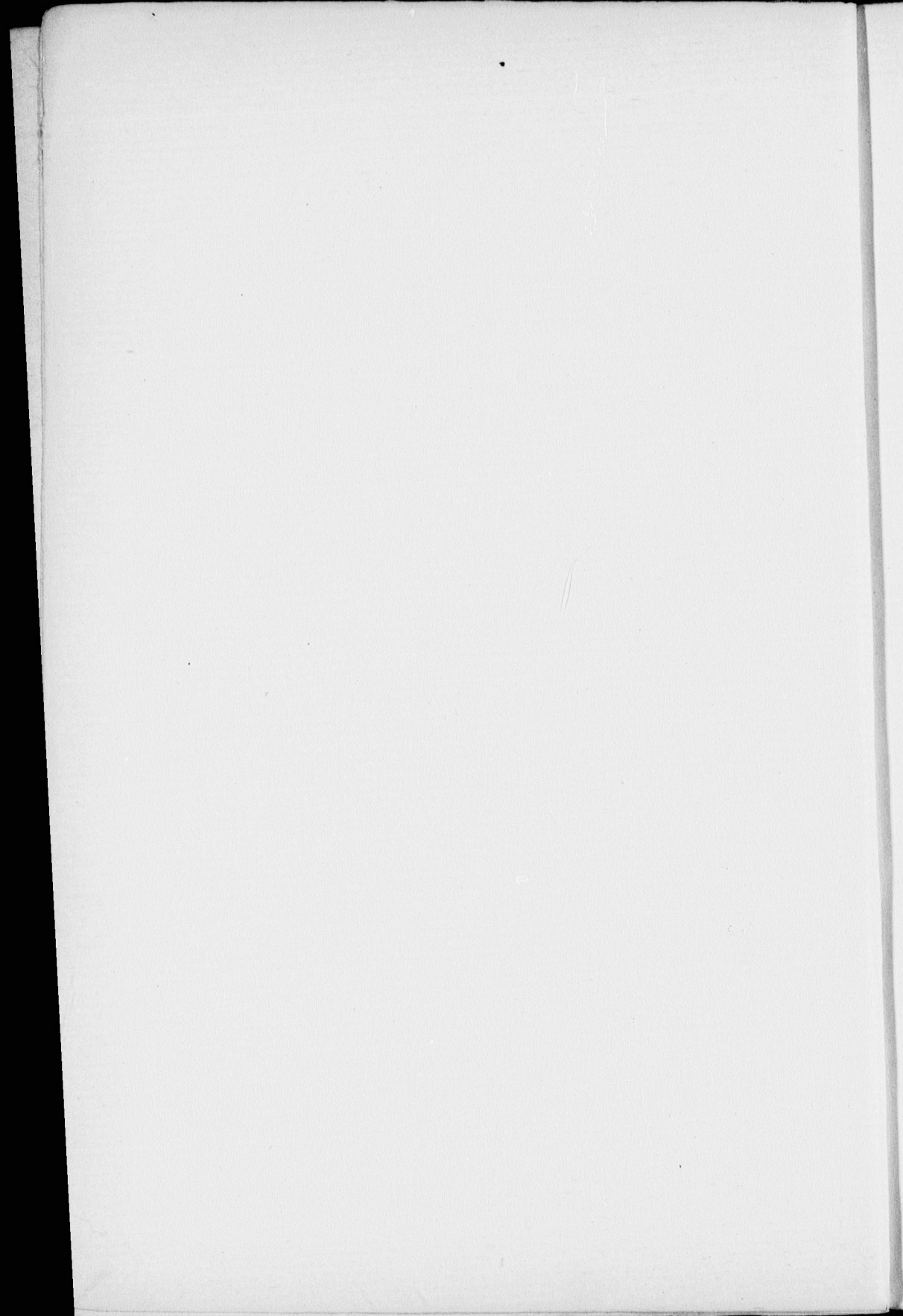
VAN

Prof. Dr. N. Schoorl





DE BEGINSELEN
DER
KOSMOGRAPHIE.



206. E. g.

DE BEGINSELEN
DER
KOSMOGRAPHIE,

DOOR

Dr. E. VAN DER VEN,

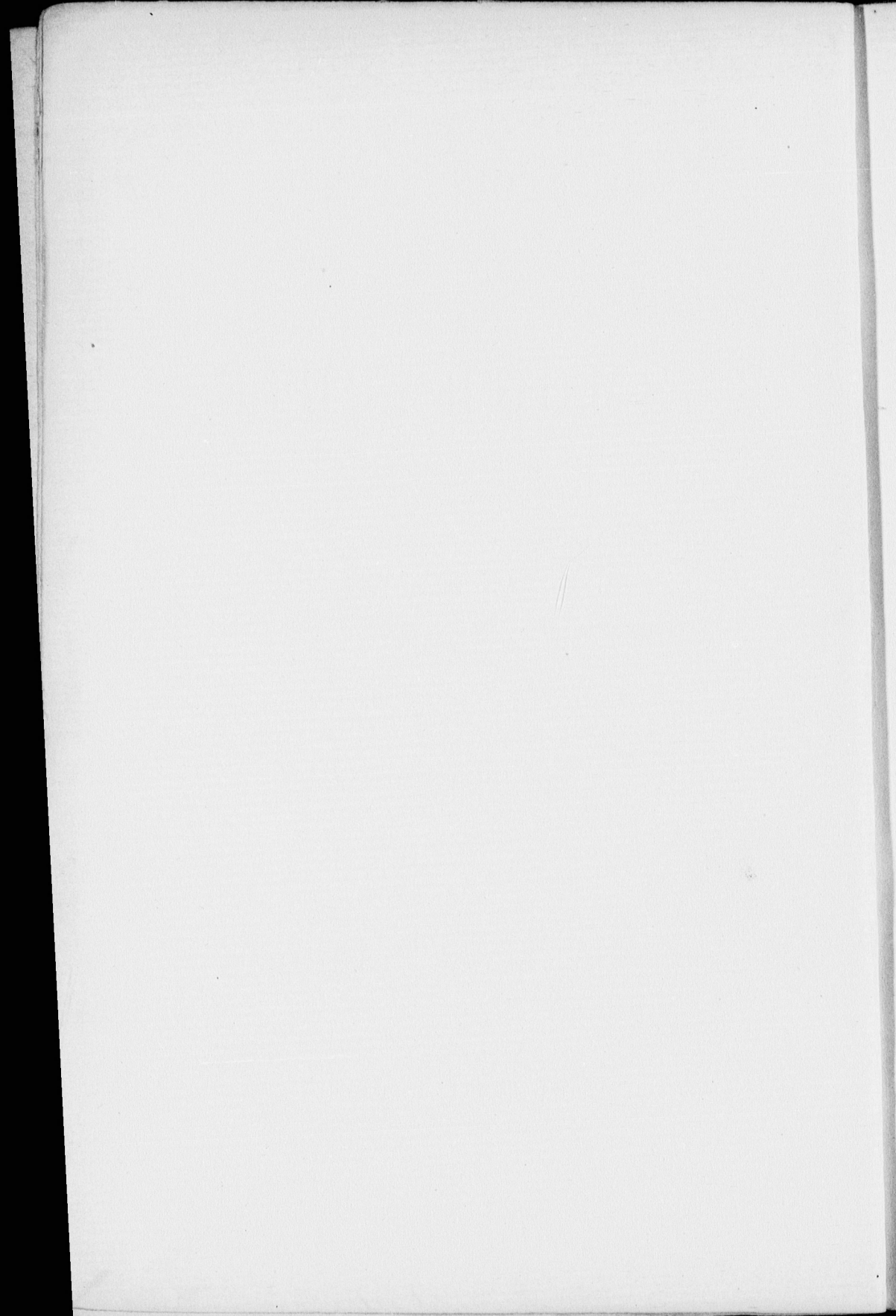
Conservator van Teyler's Physisch Kabinet te Haarlem.

Derde, herziene Druk.



HAARLEM,
DE ERVEN F. BOHN.

1885.



I N H O U D S - O P G A V E.

INLEIDING.

§ 1.	Wat men door Kosmographie verstaat	Blz.	1
§ 2.	De beschouwing der aarde neemt eene voorname plaats in bij hare behandeling	"	1
§ 3.	Van waar de Kosmographie haren inhoud ontleent.	"	2
§ 4.	Eerste indruk, dien eene beschouwing van den hemel maakt	"	2
§ 5.	Waaraan de beweging des hemels kan toege- schreven worden	"	3
§ 6.	Bolvormige gedaante van de aarde	"	5
§ 7.	Horizon. Polen. Aequator. Vertikaal. Zenith. Nadir	"	7
§ 8.	Rechte, schuinsche, parallelle sfeer. Circumpo- laire sterren	"	8
§ 9.	De poolhoogte eener plaats is gelijk aan hare breedte	"	10

EERSTE HOOFDSTUK.

Over de beweging der aarde om hare as.

§ 10.	Onwaarschijnlijkheid van de dagelijksche omwen- teling des hemels.	"	11
§ 11.	Bewijs van het tegenovergestelde, geput uit de waarneming van de werking der middelpuntvlie- dende kracht.	"	11
§ 12.	Bewijs door BENZENBERG gegeven	"	14
§ 13.	Slingerproeven van FOUCAULT	"	14
§ 14.	De gyroskoop van FOUCAULT.	"	18
§ 15.	De passaatwinden.	"	20
§ 16.	Historisch overzicht.	"	22

TWEEDE HOOFDSTUK.

Over de gedaante en de afmetingen der aarde.

§ 17. Afplatting der aarde afgeleid uit de lengte van den sekondenslinger.	Blz. 24
§ 18. De afplatting bewezen door meting van bogen aan verschillende punten der aarde. Hare waarde. „	25
§ 19. Methode volgens welke deze meting geschiedt. WILLEBRORDUS SNELLIUS	26
§ 20. Fout te vermijden bij het meten van den hoek tusschen de vertikalen aan de uiteinden van den boog. „	28
§ 21. Meting van MÉCHAIN en DELAMBRE. <i>Meter</i> . Omtrek der aarde.	29
§ 22. Ongelijke lengte der bogen van een zelfden parallel-cirkel.	30
§ 23. Historisch overzicht.	30

DERDE HOOFDSTUK.

Over de beweging der aarde om de zon.

§ 24. De verschijnselen laten zich grootendeels verklaren uit eene beweging van de zon aan den hemel. „	32
§ 25. Keerkringen. Solstitiën. Dierenriem. Pooleirkels. Ecliptica	35
§ 26. Jaargetijden	37
§ 27. Luchtstreken. Uur- en maandklimaten.	39
§ 28. Verklaring der verschijnselen uit eene beweging van de aarde om de zon.	40
§ 29. Stelsel van PTOLOMEUS. Epycyclen	45
§ 30. COPERNICUS. KEPLER. GALILEI	47
§ 31. Parallaxis de vaste sterren. BRADLEY, BESSEL, STRUVE.	48
§ 32. Aberratie van het licht. BRADLEY, STRUVE.	51

VIERDE HOOFDSTUK.

Over het planetenstelsel.

§ 33. Waardoor zich de planeten onderscheiden van de overige hemellichamen.	56
§ 34. Verklaring van de onregelmatige beweging der planeten door PTOLOMEUS, TYCHO BRAHE en COPERNICUS	57

§ 35. De wetten van KEPLER	Blz. 58
§ 36. De kegelsneden.	„ 59
§ 37. Verklaring van de tweede wet	„ 61
§ 38. Verklaring van de derde wet	„ 62
§ 39. De planeten en hare ontdekking	„ 62
§ 40. De wet van TITIUS of van BODE.	„ 65
§ 41. De binnenplaneten en hare schijnbare beweging. „	66
§ 42. De schijnbare beweging der buitenplaneten. . . .	„ 69
§ 43. De fasen der planeten	„ 71
§ 44. De gedaante en de natuur der kometen	„ 74
§ 45. De banen der kometen	„ 75
§ 46. De loop der kometen in hare baan	„ 76
§ 47. De bekende kometen met korte omloopstijden. .	„ 77
§ 48. De kometen met lange omloopstijden.	„ 79
§ 49. De vallende sterren.	„ 81
§ 50. De eigen beweging van het gansche planetenstelsel.	„ 86

VIJFDE HOOFDSTUK.

Over de zon, de maan en de planeten.

§ 51. Wentelende beweging der zon en stand van hare as. „	89
§ 52. De middellijn en de afstand van de maan . . . „	91
§ 53. De schijngestalten der maan „	92
§ 54. De omloopstijd der maan en de ligging van hare baan. „	94
§ 55. Maansverduistering „	96
§ 56. Zonsverduistering „	98
§ 57. Wentelende beweging der maan om hare as Libratie. „	100
§ 58. Eb en vloed „	102
§ 59. Gesteldheid van de oppervlakte van de maan. . . „	105
§ 60. Physische gesteldheid van de maan „	107
§ 61. Physische gesteldheid van de zon. Zodiakaal licht. „	109
§ 62. Mercurius. Venus „	113
§ 63. Mars. Jupiter. Saturnus. Uranus. Neptunus . . . „	115

ZESDE HOOFDSTUK.

Over de absolute waarde van de afmetingen van het planetenstelsel, en over de wijzigingen die zij ondergaan.

§ 64. Bepaling van den afstand der zon. Overgangen van Venus „	122
§ 65. Bepaling van den afstand der maan. „	125

§ 66. Bepaling van de massa der aarde. CAVENDISH. Blz.	126
§ 67. Bepaling van de massa der planeten en van hare satellieten	128
§ 68. Bepaling van de massa der maan	130
§ 69. Seculaire en periodieke storingen der planeten .	131
§ 70. Storingen in de loop der maan	134
§ 71. Praecessie der nachteveningen. Nutatie.	138

ZEVENDE HOOFDSTUK.

Over de plaatsbepaling op aarde en aan den hemel.

§ 72. Breedte en lengte	141
§ 73. Bepaling van de breedte te land en op zee . . .	142
§ 74. Bepaling van de lengte te land en op zee. Chronometers.	143
§ 75. Azimuth en hoogte. Rechte klimming en declinatie. Lengte en breedte. Parallactische driehoek.	146
§ 76. Noodzakelijke correctiën van de waargenomen plaatsen der hemellichamen. Refractie	148

ACHTSTE HOOFDSTUK.

Over de tijdrekening.

§ 77. Sterretijd	152
§ 78. Zonnetijd	152
§ 79. Onbruikbaarheid van den zonnetijd in het dagelijksch leven	153
§ 80. Middelbare tijd	154
§ 81. Siderisch, tropisch en anomalistisch jaar. . . .	155
§ 82. Juliaansche en Gregoriaansche Kalender	156
§ 83. Maaneyclus. Guldengetal.	158
§ 84. Paschen. Epacta. Zondagsletter.	159

NEGENDE HOOFDSTUK.

Over de vaste sterren.

§ 85. Wat vaste sterren zijn	162
§ 86. Sterrebeelden. Sterrelijsten. Atlassen	163
§ 87. Sterrehoopen en nevelvlekken.	165
§ 88. Dubbele en veelvoudige sterren.	166
§ 89. Veranderlijke sterren.	168
§ 90. Afstand der vaste sterren	169
§ 91. Melkweg. Bouw van het heelal.	170

INLEIDING.

1. Door *Kosmographie* verstaat men, zooals trouwens het woord zelf reeds uitdrukt, de beschrijving van het heelal, den kosmos.

Vatte men dit laatste woord op in zijne meest ruime betekenis, dan zou de kosmographie eene encyclopedie zijn van alle menschelijk weten. Niet alleen de resultaten van de natuurkundige wetenschappen, maar ook al wat men weet van het menschedom, dat in ons oog zeker belangrijk deel van den kosmos, van zijne verspreiding over de aarde, van zijne verdeeling in rassen en nationaliteiten, van zijne godsdienstige, zedelijke, maatschappelijke ontwikkeling, zou een deel van die beschrijving moeten uitmaken. Sluiten wij echter juist alles wat op de aarde zich bevindt uit, dan beperken wij het begrip kosmos tot den omvang, die daaraan in het woord kosmographie moet worden toegekend.

De kosmographie is dus die beschrijving van het heelal, waarbij de aarde wordt beschouwd in haar geheel en in hare betrekking tot de overige lichamen die het heelal vormen.

2. Wordt dus in de kosmographie op de aarde eensdeels, slechts op eenige uitzonderingen na, niet meer acht geslagen dan in zooverre zij een deel uitmaakt van het groot geheel, andersdeels moet toch hare beschouwing eene ruime plaats bij die beschrijving innemen. In hare afmetingen zijn wij genood-

zaakt alle afmetingen in het heelal uit te drukken, en alleen van hetgeen wij op hare oppervlakte omtrent de verschijnselen en hare oorzaken leeren kennen, kunnen wij opklimmen tot de waarschijnlijke oorzaak der verschijnselen, die wij op de oppervlakte der lichamen buiten haar waarnemen. Maar vooral ook daarom is de beschouwing van de aarde van zoo veel gewicht, dat zij de plaats is van waar wij de wereld buiten haar bezien. Reeds het antwoord op de vraag of zij, de standplaats van den waarnemer, onveranderlijk dezelfde plaats inneemt, dan of zij zich beweegt in de ruimte, moet van grooten invloed zijn op de verklaring van de plaatsveranderingen, die men bij de lichamen buiten haar waarneemt. Alleen met die kennis gewapend kan de aardbewoner van hetgeen hem als zoodanig in het heelal schijnt te gebeuren opklimmen tot hetgeen daar inderdaad voorvalt, — kan hij m. a. w. het verschijnsel ontdoen van datgene, wat daarin alleen het gevolg is van den toestand waarin hij zelf verkeert.

3. Dit opklimmen van het subjektieve tot het objektieve mocht slechts volkomen slagen nadat daaraan gedurende eeuwen was gearbeid door mannen, die zonder uitzondering boven hunne tijdgenooten uitblonken door scherpzinnigheid, diepte van denken, uitgebreide wetenschap en vindingrijk vernuft. Want als de beide eerstgenoemde geestes-gaven den sterrekundigen de noodzakelijkheid hadden doen inzien van tot nog toe niet waargenomen verschijnselen, dan bleek het hun niet zelden tevens, dat zij die met de hun ten dienste staande hulpmiddelen nooit zouden *kunnen* waarnemen. Dan, partij trekkende van alles wat verwante wetenschappen leerden, verschaften zij zich die hulpmiddelen, en, ze met ongewone volharding gebruikende, leverden zij alles, de verschijnselen zoo wel als hare verklaring, als de resultaten van hunne wetenschap.

Deze resultaten vormen den inhoud van de kosmographie; van de verschijnselen opklimmende tot hare oorzaken, verhaalt zij in eenvoudigen vorm wat de Praktische en Theoretische Astronomie leerden zien en verklaren.

4. Een duidelijk voorbeeld van de tweederlei verklaring,

die men van de verschijnselen, ons door den hemel aangeboden, geven kan, is zijne schijnbare dagelijksche beweging.

Wanneer men op heldere avonden gedurende eenige uren den hemel aandachtig gadeslaat, dan ziet men dat alle sterren langzamerhand en gelijkmatig van plaats veranderen. Sommigen beschrijven, voor hem die naar het zuiden ziet *van de linker- naar de rechterhand gaande*, cirkelbogen, waarvan het reeds dadelijk blijkt, dat, als zij in hun geheel worden volbracht, een gedeelte beneden den gezichtseinder zal zijn verborgen. Anderen beschrijven, in dezelfde richting voortgaande, cirkels, die geheel boven den gezichtseinder liggen, en wier omtrekken hoe langer hoe kleiner worden, naarmate zij minder verwijderd zijn van een ster, die, op ruim 52° boven den gezichtseinder staande, aan de algemeene beweging bijna niet deelneemt.

Daar al die cirkels aan elkander evenwijdig blijken te zijn en zij allen in denzelfden tijd, in ongeveer vierentwintig uren, worden doorloopen, vertoont de sterrenhemel in zijn geheel zich aan ons oog steeds op dezelfde wijze. Kortom, het is alsof men zich geplaatst vindt in het middelpunt van een bol, aan wiens oppervlakte de hemellichamen staan, en die in vierentwintig uren van het oosten naar het westen zóó draait, dat de as van omwenteling ongeveer gaat door die bijna onbewegelijke ster en met den horizon een hoek van ongeveer 52° maakt.

5. Deze verklaring van het verschijnsel, die het eerst ons voor den geest komt, werd dan ook tot in het midden van de zestiende eeuw vrij algemeen voor de ware gehouden. Die as, waarom het heelal scheen te draaien, noemde men de wereldas, het punt van den bol, dat wegens zijnen onveranderlijken stand op haar scheen gelegen, de wereldpool, en de ster, die zoo weinig van dat punt was verwijderd, de poolster.

Toch vindt men, bij eenig nadenken, dat nog eene andere verklaring van het verschijnsel mogelijk is. Want, als de af-

standen, waarop de sterren van ons geplaatst zijn, zoo groot zijn, dat ons oog geen verschil in die afstanden schatten kan, dan zullen zij, ook al is de aarde nog zoo ver van het middelpunt des heelals verwijderd, ons toeschijnen punten te zijn van een bolvormig oppervlak, en wanneer dan de aarde een lichaam is, dat zelf van de rechter- naar de linkerhand in vierentwintig uren draait om een as, die steeds op de wereldpool gericht is, dan zullen alle sterren zich op dat bolvormig oppervlak zóó schijnen te bewegen, als door de waarneming geleerd wordt.

De aanmerking ligt hier voor de hand, dat op deze wijze niet voldoende wordt verklaard hoe eenig punt aan den hemel steeds op dezelfde plaats kan worden gezien. Als toch een waarnemer, die op de oppervlakte der wentelende aarde is geplaatst, naar de poolster ziet, dan zal de lijn, die zijn oog met haar verbindt, gedurende de wenteling der aarde een kegelvormig oppervlak beschrijven, waarvan die ster de top is. En is dit het geval, dan zal ook voortdurend de richting, waarin hij haar ziet, veranderen, en wel des te meer naarmate hij verder van de as is verwijderd en dus ook groteren cirkel beschrijft. Maar ook dit bezwaar valt weg, wanneer de grootste afmetingen op aarde zoo klein zijn, dat zij verdwijnen bij de afstanden der sterren. Is toch dit het geval, dan is de hoek, dien de as der aarde maakt met de richting waarin een waarnemer op hare oppervlakte de poolster ziet, niet merkbaar. Het is dan alsof men, op aarde naar eenig verwijderd voorwerp ziende, bijv. een millimeter van standplaats veranderde. Ook dan zal die eigen beweging van den waarnemer geen schijnbare van het voorwerp te weeg brengen; de lijnen, die het in beide gevallen met het oog verbinden, zijn van evenwijdige lijnen niet te onderscheiden.

Wanneer men dus aanneemt, dat de afmetingen der aarde verdwijnen bij die van het heelal, dan kan het verschijnsel van de dagelijksche omwenteling des hemels het gevolg zijn van de omwenteling der aarde om eene as, die steeds

naar hetzelfde punt van den hemel gericht is, en geschiedt in eene richting tegenovergesteld aan die, waarin zich alle lichamen buiten haar schijnen te bewegen.

6. Niet slechts voor het verschijnsel, zooals het zich hier te lande voordoet, maar ook voor de wijze waarop het aan de verschillende plaatsen der aarde wordt waargenomen, gelden de beide verklaringen evenzeer. Alvorens wij dit kunnen aantoonen is het noodig, tot op zekere hoogte ten minste, uit de dagelijksche waarneming en uit bekende feiten, juiste begrippen omtrent de gedaante der aarde af te leiden.

En dan leert de eerste reeds dadelijk dat dit lichaam door een gebogen oppervlak begrensd is. Als men toch door een middelmatigen kijker aan het strand van de zee de naderende schepen bespiedt, dan ziet men deze nergens plotseling in hun geheel verschijnen. Was de aarde een veelvlakkelig lichaam, dan zou dit het geval moeten zijn. Eerst flauwer dan duidelijker, maar dan ook duidelijk in zijn geheel, zou de waarnemer het schip moeten zien, als beide zich op hetzelfde zijvlak van een veelvlakkelig lichaam bevonden; en op eens duidelijk, als beide aan weerszijde van een ribbe waren geplaatst, binnen het bereik van het oog des waarnemers gelegen. Juist het tegenovergestelde heeft plaats: terwijl eerst de wimpels, dan de zeilen, dan het schip zelf zichtbaar worden, duikt dit, zooals dan ook het woord het naar waarheid uitdrukt, als op uit de kimmen.

Dit gebogen oppervlak is bolvormig; ook dit leert een waarneming even eenvoudig als de zoo even genoemde. De gezichtseinder namelijk, de lijn volgens welke aarde en hemel elkander schijnen aan te raken, is overal op aarde een cirkel. En die cirkelvormige gedaante kan niet, evenals de bolvormige van den hemel, een gezichts-bedrog zijn, ontstaan doordien deze lijn de grens zou zijn van ons naar alle zijden natuurlijk even sterk gezichtsvermogen. De gezichtseinder toch van den waarnemer, die op de oppervlakte der aarde staat, begrenst zijn gezichtsvermogen niet, daar, als hij zich boven die op-

pervlakte verheft, voorwerpen door hem gezien worden, die verder van hem verwijderd zijn dan de grenzen van zijn gezichtseinder. In het tegenovergestelde geval zou, naarmate hij hooger klom, die omtrek kleiner moeten worden, omdat de lijnen, van daar naar het oog getrokken, langer worden naarmate hij klimt. Wat voor het laag geplaatste oog nog zichtbaar was, zou geheel onzichtbaar worden zoo het op een groote hoogte zich bevond. De gezichtseinder is dus de meetkundige plaats van de punten, waar lijnen uit het oog des waarnemers getrokken de oppervlakte der aarde raken. En daar die meetkundige plaats, waar men zich ook op aarde bevindt, een cirkel is kan hare oppervlakte niet anders dan bolvormig zijn.

Nog pleiten voor de bolvormige gedaante van de aarde het gelukkig volbrengen niet alleen van reizen om de aarde, maar ook van alle verre zeetochten. Bij het vervaardigen van de kaarten, die bij al deze ondernemingen tot wegwijzers strekken, gaat men uit van de vooronderstelling dat de aarde een bol is; was dit anders, dan zouden die kaarten onvermijdelijk op den dwaalweg voeren.

Voegt men nu hier nog bij, dat bij eene maansverduistering steeds een cirkelvormige schaduw op de oppervlakte van dat hemellichaam gezien wordt, dat deze, zooals later zal blijken, de schaduw van de aarde is, wier stand bij verschillende verduisteringen verschillend is, en bedenkt men dan, dat alleen een bol in alle standen een cirkel tot schaduw kan hebben, dan verdwijnt zeker alle twijfel aan de bolvormige gedaante der aarde. En mocht misschien iemand, daarbij denkende aan de hooge bergen die zich op hare oppervlakte bevinden, de opmerking maken dat de aarde dan toch een zeer onregelmatige bol is, dan verliest hij daarbij uit het oog, dat de hoogte der bergen bij de afmetingen der aarde schier in het niet wegzinkt. Geen beter denkbeeld kan men zich daarvan vormen, dan ontstaat bij de beschouwing van een kaart *en relief* van Zwitserland. Hoe klein ook dat land en hoe hoog ook zijne bergen zijn, zoo is men toch bij het vervaardigen van zulk een kaart genoodzaakt om, zal zij eenige duidelijke

voorstelling geven, de afmetingen der bergen in hoogte vele malen te vergrooten. Kwamen zij er in hunne ware grootte op voor, dan zouden de meeste dalen en bergpassen voor het bloote oog niet zichtbaar zijn.

7. Een vlak nu, dat op eenige plaats der aarde den bol raakt, noemt men den schijnbaren horizon van die plaats, een vlak, evenwijdig aan dezen horizon door het middelpunt der aarde gebracht, den waren horizon. Geen twee punten op aarde hebben dus denzelfden schijnbaren horizon, terwijl alleen zij hetzelfde vlak tot waren horizon hebben, die aan de uiteinden van dezelfde middellijn gelegen zijn. Beide vlakken bevinden zich op een afstand van elkander, die gelijk is aan den straal der aarde. Waaruit volgt, dat, wanneer er sprake is van de hoogte eener *vaste ster* boven den horizon van eenige plaats, men die hoogte steeds van den waren horizon kan rekenen; want, gelijk wij reeds boven aanmerkten, de afmetingen der aarde verdwijnen bij de afstanden dier hemellichamen.

De punten, waar de wereldas de aarde schijnt te snijden, noemt men de polen van de aarde; een vlak, loodrecht op die as door het middelpunt der aarde gebracht, snijdt haar volgens een grooten cirkel, *aequator* of *evenaar* genaamd. Voor de polen der aarde valt dus het vlak van den *aequator* met dat van den waren horizon samen, terwijl voor plaatsen, die op den *aequator* liggen, de wereldas in het vlak van den waren horizon ligt.

Een loodlijn in een plaats op aarde opgericht op den schijnbaren horizon is de vertikaal van die plaats, de punten waar zij, genoegzaam naar boven en door de aarde heên naar beneden verlengd zijnde, den hemelbol zou snijden, het *zenith* of toppunt en het *nadir* of voetpunt van die plaats. Aan de polen der aarde dus valt de vertikaal samen met de wereldas, en ligt dus de daar zichtbare hemelpool in het *zenith*. Van plaatsen op den *aequator* zullen daarentegen alle vertikalen in het vlak van den *aequator* liggen.

8. Beschouwen wij thans den hemel, zooals die zich moet voordoen op een plaats onder den *aequator*.

Neemt men aan dat het gansche heelal zich wentelt om de wereldas, dan zal men, omdat deze in het vlak van den horizon dier plaats ligt, alle sterren bogen zien beschrijven, die loodrecht op dat vlak staan. *Alle* sterren zullen achtereenvolgens loodrecht opkomen en loodrecht ondergaan, terwijl van de bogen, die zij beschrijven, de eene helft boven, de andere beneden dien horizon zal zijn gelegen, en dus de hemellichamen gedurende twaalf uren op en even lang onder zullen zijn. En inderdaad doet op plaatsen onder den aequator de dagelijksche beweging des hemels zich voor op deze wijze: men ziet daar wat men gewoon is de rechte sfeer te noemen.

Uit de in § 5 genoemde vooronderstelling kan dit verschijnsel even ongedwongen verklaard worden. Ook volgens deze ligt voor plaatsen onder den aequator de omwentelingsas in het vlak van den waren horizon, en, terwijl bij eene wenteling van het westen naar het oosten, de oosterkim rechtstreeks daalt beneden de hemellichamen, zal het zijn, alsof deze zich rechtstreeks boven deze kim verheffen.

Kon men zich naar een der polen verplaatsen, waar volgens de beide veronderstellingen de as loodrecht op het vlak van den horizon staat, dan zou men de zoogenoemde parallelle sfeer waarnemen. Dat wil zeggen, dat alle lichamen daar cirkels zouden schijnen te beschrijven, evenwijdig met den horizon. De sterren zullen daar op noch ondergaan, zoodat steeds de eene helft van den hemel zichtbaar, de andere onzichtbaar blijft.

Op alle andere plaatsen der aarde staat de as schuins op het vlak van den waren horizon. Neemt men aan dat de hemel om haar wentelt, dan is het duidelijk dat bij zulk een stand der as, de nabij de zichtbare pool gelegene of *circumpolaire* sterren nooit zullen ondergaan en dat het aantal van deze zal toenemen, naarmate men komt op plaatsen waar de schuinsche stand minder van den loodrechten afwijkt. Andere daarentegen, zij namelijk die niet ver van de onzichtbare pool verwijderd zijn, zullen nooit boven den horizon komen, terwijl tusschen deze, altijd boven en altijd beneden

dat vlak zich bevindende, een gordel van sterren zal liggen, die dan daar boven en dan daar beneden zijn. Onder deze laatstgenoemden zijn alleen zij even lang op als onder, die liggen in het vlak van den aequator. Want zoowel dit vlak als dat van den horizon snijdt den schijnbaren hemelbol volgens een grooten cirkel: en de groote cirkels op een bol deelen elkander middendoor. Neemt men aan, dat het de aarde is die zich om een ten opzichte van het vlak van den waren horizon schuins geplaatste as wentelt, dan laat zich ook daaruit zonder veel moeite deze schuinsche sfeer in al hare bijzonderheden verklaren.

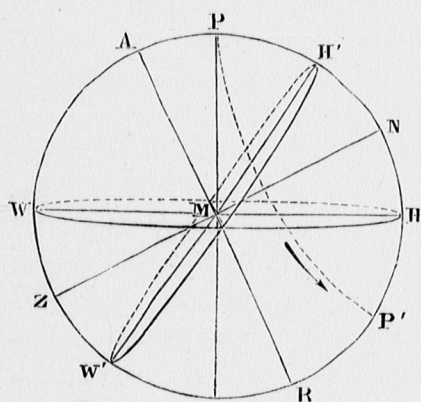


Fig. 1.

een in P geplaatsten waarnemer, wat daarboven ligt zichtbaar. Hij ziet dus de sterren, die aan den hemel begrepen zijn, binnen de tweevlakkige hoeken WMH' en H'MH, maar die binnen de hoeken HMW' en WMW' liggen, ziet hij niet.

Twaalf uur na het willekeurig gekozen oogenblik is de plaats P door de omwenteling der aarde in P' gekomen; de horizon WH heeft dan in de ruimte den stand W'H' aangenomen, en de waarnemer ziet wat aan deze, ziet niet wat aan gene zijde van W'H' ligt.

De sterren, die binnen het kegelvormig oppervlak H M H' liggen, zijn dus steeds voor hem zichtbaar, terwijl zij, die binnen het kegelvormig oppervlak W M W' liggen, nooit voor hem zichtbaar

Zij (Fig. 1) NZ de as der aarde, NMH de hoek dien zij met het vlak van den waren horizon eener plaats P maakt, WH op een willekeurig oogenblik de doorsnede van den waren horizon met een vlak, dat door de as gaat en loodrecht op dien horizon staat.

Alles wat onder het vlak WH ligt is onzichtbaar voor

zijn. De eerste gaan nooit voor hem onder, de laatste nooit op.

Maar de sterren binnen den tweevlakkigen hoek $W M H'$, die zooeven door hem gezien werden, liggen nu onder zijn horizon, terwijl de zooeven voor hem onzichtbare sterren, die binnen den hoek $W' M H$ liggen, nu voor hem zichtbaar zijn. Zij gaan voor hem op en onder.

Circumpolaire sterren zijn dus zij, die op een afstand kleiner dan $N H$, dat is kleiner dan de hoogte van de pool, van deze verwijderd zijn; eene opmerking die men, aannemende dat het de hemel is die draait, onmiddellijk zal maken.

9. De hoek $N M H$, dien de richting $M N$, waarin een in P geplaatst waarnemer de poolster ziet, maakt met hare projectie $M H$ op den waren horizon, noemt men de poolshoogte van die plaats. Is $P M$ de vertikaal dier plaats en het vlak $A R$ dat van den aequator, dan zijn de hoeken $A M N$ en $P M H$ beide recht, terwijl de hoek $A M P$ de breedte der plaats voorstelt. De hoeken $N M H$ en $A M P$ zijn dus, daar zij beide den hoek $P M N$ tot complement hebben, aan elkander gelijk; dat wil zeggen: de poolshoogte eener plaats is gelijk aan hare breedte.

De pool stijgt dus naarmate men zich verder van den aequator verwijderd. En juist daarin, dat dit stijgen bijna gelijkmatig geschiedt, dat namelijk naarmate men zich verder noordwaarts begeeft de poolshoogte overal op aarde ongeveer *in dezelfde mate* toeneemt, ligt een nieuw bewijs opgesloten voor hare bijna volkomen bolvormige gedaante. Immers dat stijgen van de poolster is slechts schijnbaar; inderdaad is het een gevolg van de omstandigheid dat de noordzijde van den horizon beneden de poolster daalt. Het *gelijkmatig* stijgen van de poolster wordt dus veroorzaakt door het gelijkmatig dalen van den horizon; en alleen wanneer de doorsneden van de aard-oppervlakte met alle door hare as gebrachte vlakken cirkels zijn, zal het raakvlak langs een doorsnede aan die oppervlakte, als men zich noordwaarts beweegt, *gelijkmatig* dalen.

EERSTE HOOFDSTUK.

Over de beweging der aarde om hare as.

10. Zagen wij bij onze inleidende beschouwingen, dat de dagelijksche plaatsverandering, die wij bij alle hemellichamen waarnemen, op twee wijzen kan verklaard worden, wij willen thans nagaan welke van die twee verklaringen de ware is.

En dan merken wij reeds dadelijk op, hoezeer de vooronderstelling, waarbij men aanneemt dat de aarde zich van het westen naar het oosten omwentelt en zoo doende een schijnbare, in tegenovergestelde richting plaats grijpende, beweging des hemels veroorzaakt, het in waarschijnlijkheid wint van de vooronderstelling dat de laatstgenoemde beweging inderdaad zou plaats hebben. Niet alleen moet men hiertoe aannemen, dat alle hemellichamen in het korte tijdsbestek van vierentwintig uren onmetelijke cirkels beschrijven. Ook de snelheden dier op verschillende afstanden van ons verwijderde lichamen moeten dan juist met die afstanden evenredig zijn. Naarmate toch een ster verder van ons verwijderd is, neemt ook de omtrek van den cirkel, dien zij zal hebben te beschrijven, toe in lengte: en daar alle cirkels in denzelfden tijd worden doorloopen, zouden dus ook de in eene sekonde afgelegde wegen, m. a. w. de snelheden, zich als die afstanden moeten verhouden.

11. Zeer vele verschijnselen echter leeren ons zoo duide-

lijk de wentelende beweging der aarde kennen, dat het niet noodig is zich alleen met de hooge waarschijnlijkheid dier beweging te vergenoegen.

In de eerste plaats noemen wij als zoodanig:

de bepaalde wijze, waarop de lengte van den sekondenslinger op aarde verandert met de breedte van de plaats, waar men dien waarneemt.

In de formule voor den schommelingsduur van een slinger

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

waaruit voor de lengte van den sekonden-slinger volgt

$$l = \frac{g}{\pi^2}$$

stelt g de versnelling voor, waarmede een lichaam valt aan de oppervlakte der aarde. Neemt men nu voor g , bij waarnemingen op verschillende plaatsen op aarde gedaan, de waarde aan die, als men hare wentelende beweging buiten rekening laat, voor de breedten dier plaatsen geldt, dan bevindt men steeds dat de berekende lengte van den sekonden-slinger verschilt van de lengte des slingers, die daar werkelijk eene schommeling in eene sekonde volbrengt.

Die verschillen worden echter geheel verklaard, zoodra men den invloed in rekening brengt, dien eene wenteling van de aarde om hare as op de aantrekkingskracht aan hare oppervlakte, en dus ook op de waarde van g , uitoefent. In dat geval toch zullen alle voorwerpen op aarde, en dus ook de massa van den sekonden-slinger, door de middelpuntvliedingskracht als het ware van de omwentelings-as afgetrokken worden; een gedeelte van de werking der aantrekkingskracht wordt alzoo opgeheven, en dus ook de waarde van g verminderd.

Onder den aequator, waar de middelpuntvliedingskracht de aantrekkingskracht rechtstreeks tegenwerkt, zal die vermindering haar hoogste bedrag bereiken; overal elders moet zij vermenigvuldigd worden met de tweede macht van den cosinus der breedte.

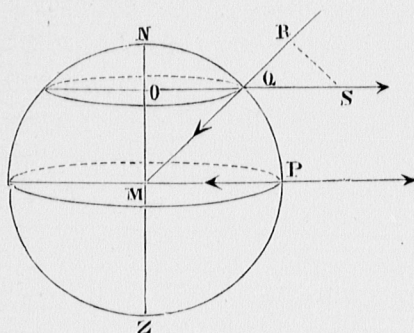


Fig. 2.

aarde gebracht Stelt QS de grootte voor van de middelpuntvliedingskracht, dan is

$$QR = QS \cos. RQS$$

de ontbondene van de kracht, die de aantrekkingskracht rechtstreeks tegenwerkt.

Noemt men nu K de middelpuntvliedingskracht onder den aequator dan is

$$QS : K = OQ : MP;$$

want, als de hoeksnelheden dezelfde zijn, dan zijn de werkingen van de middelpuntvliedingskracht op lichamen, die dezelfde massa hebben, evenredig met de stralen der cirkels, die deze beschrijven. Dus is

$$QS = K, \frac{OQ}{MP} = K. \cos. OQM$$

Substitueert men deze waarde in die van QR , dan wordt zij

$$QR = K. \cos. OQM. \cos RQS$$

of, daar $OQM = RQS = QMP$ is en deze laatste hoek de breedte β van de plaats Q voorstelt,

$$QR = K. \cos.^2 \beta.$$

Berekent men nu op deze wijze de vermindering, die g op verschillende plaatsen der aarde moet ondergaan, en brengt men tevens alle andere omstandigheden in rekening, die in acht genomen moeten worden bij het bepalen van de lengte

Een punt Q bijv. dat op noordelijke breedte ligt, (Fig. 2) wordt aangetrokken in de richting QM , die door het middelpunt der aarde gaat, terwijl de richting van de daarop werkende middelpuntvliedingskracht in een vlak ligt, door Q loodrecht op de as der

die de sekonden-slinger daar moet hebben, dan blijkt het dat de berekening en de waarneming volkomen overeenstemmen.

12. Indien de aarde werkelijk draait om een as, dan moet deze beweging blijken bij den val van lichamen, die van zeer aanzienlijke hoogten naar beneden storten. Voorondersteld toch dat een lichaam zich bevindt aan den top van een hoogen toren, dan beschrijft het een cirkel, die den afstand van dien top tot aan de as der aarde tot straal heeft. De voet daarentegen beschrijft een kleineren cirkel, waarvan de afstand van dien voet tot aan de as de straal is; dus beweegt zich een lichaam, dat aan den top zich bevindt, oostwaarts met eene grootere snelheid dan de voet zelf. Laat men het vrij vallen, dan behoudt het bij dien val de snelheid oostwaarts die het aan den top had, zoodat het, nederkomende, verder oostwaarts is gekomen, dan de voet in den valtijd in die richting gevorderd is. De afstand van den voet der loodlijn, uit het punt waar het lichaam wordt losgelaten neêrgeleten, tot aan het punt waar dit nederkomt, zal gelijk moeten zijn aan het verschil van de lengte der cirkelbogen, die gedurende den val door den voet en den top van den toren zijn beschreven. Het verschil zal alleen merkbaar kunnen zijn, als de hoogte, waarvan het lichaam valt, zeer aanzienlijk is. En schoon de proeven door BENZENBERG (1800) op den toren der Nicolaïkerk te Hamburg en die door REICH in de schacht van een mijn genomen, beide niet juist eene afwijking aangaven die met de berekende overeen kwam, zoo toonden toch beider waarnemingen duidelijk afwijkingen van 11 tot 28 millimeters naar het oosten. Luchtstroomingen en draaiende bewegingen van de vallende lichamen hebben op de grootte van de afwijkingen eenen invloed, dien het niet mogelijk is in rekening te brengen. Om de laatstgenoemde stoornis te voorkomen liet REICH kogels vallen, die los werden gelaten op volkomen dezelfde wijze en denzelfden grond als waarop de kogel valt door den bekenden ring van 's Gravesande.

13. FOUCAULT grondde (1851) een bewijs voor de wentelende beweging der aarde op de veranderingen, die men waarneemt

in de richting waarin een slinger zijne schommelingen volbrengt. Wordt een slinger, die zoo is ingericht dat hij achtereenvolgens eenige uren blijft schommelen en dat zijne schommelingen naar alle zijden zonder belemmering kunnen geschieden, van tijd tot tijd waargenomen, dan bemerkt men spoedig dat de richting dier schommelingen niet dezelfde blijft, dat dus het slingervlak, dat is het vlak waarin de schommelingen liggen, voortdurend ten opzichte van de omringende voorwerpen van stand verandert. Het is de vraag of deze verandering werkelijk plaats heeft, dan wel of de wanden van het vertrek, waarin de slinger hangt, zich verplaatsen ten opzichte van het slingervlak. Kan men aantoonen dat dit laatste noodzakelijk in de ruimte steeds denzelfden stand moet behouden, dan is het de laatstgenoemde verplaatsing die men inderdaad waarneemt; dan is de standvastige richting der schommelingen als het ware een vaste wijzer, waaronder de aarde ronddraait als een bewegelijke wijzerplaat.

Brengt men een slinger, bijv. een kogel, die aan een langen, buigzamen draad hangt, uit den toestand van evenwicht, dan is het de aantrekking der aarde die, aangrijpende ongeveer in het middelpunt des kogels, den slinger tracht terug te brengen in den stand van stabiel evenwicht. Daar hij dezen stand met zekere snelheid bereikt, gaat hij daar door heen, en klimt, tot deze snelheid door de voortdurende aantrekking der aarde is vernietigd. Dan is het deze kracht, die hem weder tot den evenwichts-toestand tracht terug te brengen, en zoo vervolgens. De richting van de kracht, die den slinger in beweging brengt, ligt dus steeds in het vertikale vlak waarin de eerste schommeling plaats heeft, zoodat door hare werking de slinger nooit buiten dit vlak zal geraken. Ook de torsie van den draad kan het verschijnsel niet veroorzaken. Deze toch tracht wel den slinger te draaien om den draad zelve, dus om een as, loodrecht op die, waarin de schommelingen plaats hebben, zoodat beide momenten in het algemeen een resulterend moment zullen opleveren,

waarvan de as met de vertikaal een hoek maakt ¹⁾). Maar in ons geval, waarin het eene samenstellende moment, de torsie van een langen draad bij hoogstens ééne omdraaiing in vierentwintig uren, ten opzichte van het andere zeer klein is, zal die afwijking onmerkbaar zijn. Proefondervindelijk kan men zich van deze waarheid overtuigen, door een raam, waarin aan een draad een kogel is opgehangen, zóó op een centrifugaal-machine te plaatsen, dat de draad samenvalt met de richting van de as van dit werktuig. Brengt men den kogel aan het schommelen en draait men zelfs snel, dan zal men steeds het vlak waarin de schommelingen liggen wel ten opzichte van het draaiende raam, maar niet ten opzichte van de omringende voorwerpen zich zien verplaatsen. En toch is in dit geval de torsie veel grooter dan in het door ons hier behandelde.

Daar dan het slingervlak niet van stand *kan* veranderen, zijn het de wanden van de kamer, die, ten opzichte van dit vlak zich verplaatsende, ons in den waan brengen dat de schommelingen van den slinger achtereenvolgens evenwijdig met elk hunner geschieden.

Aan de polen, waar de draad samenvalt met de as der aarde, zal het slingervak in vierentwintig uren een geheelen cirkelomtrek schijnen te doorloopen. Onder den aequator daarentegen zal men geen verplaatsing in het geheel waarnemen. Daar toch heeft de omwenteling der aarde slechts ten gevolge, dat de wanden van de kamer evenwijdig aan zich zelve verplaatst worden. De as waarom de aarde draait staat daar loodrecht op den draad des slingers, zoodat hare omwenteling ten opzichte van dien draad als *nul* is.

Op elke plaats der aarde, die ligt op eene breedte β , is

$$2\pi \sin.\beta$$

de uitdrukking voor het gedeelte van den cirkelomtrek, dien

¹⁾ Zie mijne *Grondbeginselen der theoretische en toegepaste Mechanica*, Deel I, § 32 en 33, en Deel II, § 15.

een punt van het slingervlak in vierentwintig uren schijnt te doorloopen. Zij toch (Fig. 3) P een zoodanige plaats op aarde,

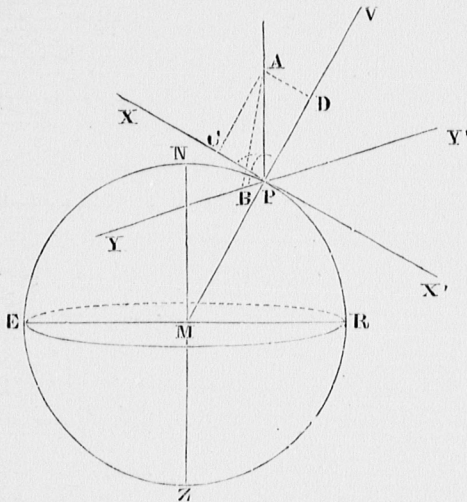


Fig. 3.

PV de richting van de vertikaal dier plaats, en dus tevens de richting van den draad des slingers. Bij de omwenteling der aarde zal het punt P een cirkel beschrijven, die ligt in een vlak, dat loodrecht op de as N Z der aarde staat. Trekken wij dus door P een lijn evenwijdig aan die as, dan zal deze lijn P A in

grootte en richting de wentelende beweging kunnen voorstellen ¹⁾, die P werkelijk heeft. Ontbindt men deze wentelende beweging ten opzichte van drie onderling loodrechte assen, waarvan de eene samenvalt met den draad P V des slingers, dan zijn P B, P C, P D deze ontbondenen, die ieder in het bijzonder voorstellen de grootte der wentelende beweging om de assen P Y, P X, P V. De grootte van deze laatste, die wij hier zoeken, is

$$P A \cos. A P D$$

of, daar de omwenteling om P A in vierentwintig uren een gansche cirkel-omtrek is,

$$2\pi r \cos. A P D$$

Maar $\angle A P D = \angle N M P = 90^\circ - \angle P M R$, of, daar

¹⁾ Zie mijne *Grondbeginselen der theoretische en toegepaste Mechanica*, D. I § 29 en 49; wat daaromtrent de voorstelling van koppels door assen en omtrent de verhouding tusschen koppels en hunne ontbondenen gezegd is, geldt eveneens voor de onderlinge verhouding der wentelende bewegingen, die van deze koppels en hunne ontbondenen de uitwerking voorstellen.

$L P M R$ de breedte β van de plaats P voorstelt, $L A P D = 90^\circ - \beta$; derhalve hebben wij voor $P D$, dat is voor de ontbondene der omwenteling ten opzichte van den slingerdraad als as:

$$2\pi r \sin.\beta.$$

Waarnemingen, in dezen geest aan verschillende plaatsen op aarde gedaan, hebben hare draaiende beweging als het ware zichtbaar gemaakt. Waar zij niet altijd resultaten gaven, die nauwkeurig overeenkwamen met de berekening, daar was dit meestal toe te schrijven aan de stoornissen in de beweging, die ontstaan door de wrijving in het ophangpunt, door onregelmatige luchtstroomingen, en door de draaiende beweging, die men bij het loslaten van den kogel aan deze onwillekeurig mededeelt. Vooral de ten gevolge van deze storende invloeden elliptische gedaante, die de baan, door het middelpunt des kogels beschreven, na eenigen tijd aanneemt, belemmert zeer de juistheid waarmede de richting der schommelingen kan worden waargenomen. Worden toch deze zeer klein, dan naderen die ellipsvormige banen meer en meer tot cirkels.

14. **FOUCAULT** heeft nog een ander toestel uitgedacht, dat dienen kan om de voortdurende verandering in stand van de omliggende voorwerpen waar te nemen. Men heeft dat toestel *gyrokoop* genoemd.

Een tore $A B$ (Fig 4), dat is een ring, die aan den rand

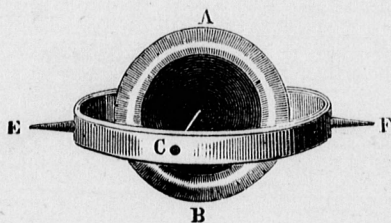


Fig. 4.

veel dikker is dan in het midden, kan draaien om een as, die loodrecht op het vlak van den ring staat en door zijn middelpunt gaat. De tappen dier as liggen in den omtrek van een anderen ring, wiens vlak met dat van den

tore een rechten hoek maakt. Deelt men aan den tore eene snel ronddraaiende beweging om zijne as mede en is deze volkomen horizontaal, dan zal de middelpuntvliedingskracht,

wier richting loodrecht is op de as, den tore, zoolang die draait, in het vertikale vlak houden waarin hij oorspronkelijk is gesteld. Want er werken dan op den tore geen krachten wier richtingen niet in dat vlak liggen.

Legt men nu den zoo snel draaienden tore met de tappan E en F in de uithollingen G en H van den ring G K H I (Fig. 5), wiens vlak vertikaal is, en die zelf om de spinnen K

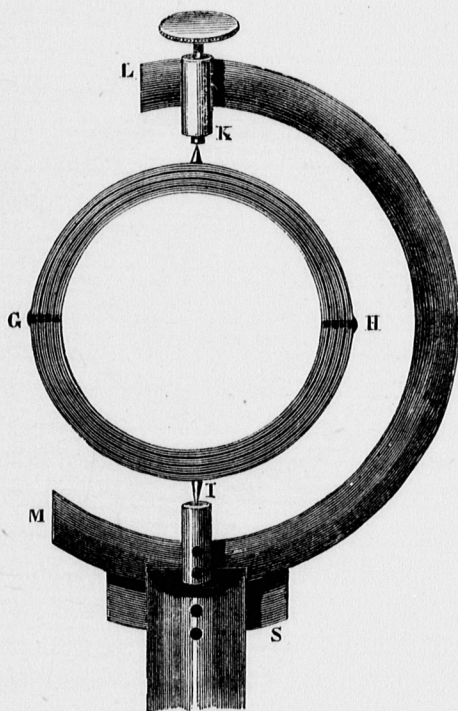


Fig. 5.

en I kan draaien, dan werkt de genoemde middelpuntvliedingskracht op den geheelen toestel, uitgenomen op den buitensten ring L M. Deze is zelf met de aarde verbonden door het statief S en neemt dus aan hare wentelende beweging deel. Terwijl de ring L M met de aarde ronddraait, worden alle overige deelen, bijv. het vlak van den tore en den ring G K H I, als zij eens in een vertikaal vlak zijn geplaatst, daarin ook gehouden; want het moment van

de wrijving in het punt I, het eenige punt waar de beide ringen in gemeenschap zijn, is ten opzichte van dat der middelpuntvliedingskracht te klein dan dat het de ring G K H I uit dat vertikale vlak zal kunnen brengen. Ziet men dus, dat na eenigen tijd het vlak van den ring L M een hoek maakt met dat van den ring G K H I, dan is het niet deze die zich verplaatst heeft, maar gene, doordien hij aan de wentelende

beweging der aarde deelnam. Het is lichtelijk in te zien, dat ook weder de grootte van de verplaatsingen, die de tore in zeken tijd schijnt te ondergaan, evenredig moeten zijn met den *sinus* van de breedten der plaatsen, waar men die waarneemt.

De constructie van den gyroskoop eischt veel zorg; ook zal de as van den tore volkomen horizontaal en loodrecht op het vlak van den ring G K H I behooren gesteld te worden, indien men er op wil rekenen, dat de toestel met juistheid de wentelende beweging der aarde doet zien.

15. De richting van de winden, die tusschen de keerkringen in hare beide halfronden heerschen, kan ook alleen uit eene wentelende beweging der aarde van het westen naar het oosten, verklaard worden.

Ten noorden van den evenaar, en wel in den Atlantischen oceaen tot op ongeveer 29° , in de Stille Zuidzee tot op 25° breedte, is de wind steeds noord-oostelijk, terwijl ten zuiden van den evenaar, tot op ongeveer dezelfde breedte, een zuid-oostelijke wind heerscht. Aan deze winden heeft men den naam van *passaat-winden* gegeven. Onder den evenaar heeft de samenkomst van beide een steeds oostelijken wind ten gevolge, die echter zeer zwak is. Dit gedeelte van de beide zeeën staat dan ook, wegens het gemis van regelmatige krachtige winden, bij de zeevaarders in een slecht blaadje.

Wij zullen doen zien, dat de *passaat* in het noordelijk halfrond noordelijk en die in het zuidelijk halfrond zuidelijk zou moeten zijn, indien de aarde zich niet om hare as wentelde, en dat de tegenwoordige richting dier winden uit de wenteling van het westen naar het oosten volkomen verklaard wordt.

Als in de streken, om den evenaar gelegen, de lucht door hare aanraking met de aarde wordt verwarmd, dan stijgt zij naar boven. Maar zoodra zij dit doet, zal de omliggende lucht het ledige trachten aan te vullen en, daar rondom de gansche aarde langs den evenaar de lucht naar boven stijgt, zal dit aanvullen alleen kunnen geschieden door lucht die van het noorden en van het zuiden naar den evenaar stroont. Als de

aarde niet draait zal er dus van de noordpool naar den evenaar een noorde-, van de zuidpool naar den evenaar een zuidewind waaien. Onder den evenaar zelf, waar de lucht rechtstreeks naar boven stijgt, zou of in het geheel geen wind worden gevoeld of nu en dan een zachte zuide- of noordewind, wiens kracht het verschil zou zijn van de krachten der beide elkander daar ontmoetende luchtstroomen. De verwarmde lucht, die bij haar opstijgen steeds door andere wordt gevolgd, straalt hare warmte langzamerhand uit. Echter kan zij, verkoeld zijnde, niet rechtstreeks dalen, omdat de lager gelegen lucht haar voortdurend opstuwt. De ten noorden van den evenaar opstijgende lucht kan ook niet zuidwaarts en de ten zuiden van den evenaar opstijgende niet noordwaarts gaan, als zij is afgekoeld: want dezelfde opstuwende kracht belet het haar aan weerszijden van den evenaar. In het noordelijk halfrond vloeit dus de afgekoelde lucht al dalende af naar de noordpool, in het zuidelijk halfrond naar de zuidpool. Bij een stilstaande aarde zou men dus in het noordelijk halfrond een noordelijke beneden- en een zuidelijke bovenpassaat waarnemen, terwijl het omgekeerde zich zou voordoen in het zuidelijk halfrond. Op onze breedte, waar de afgekoelde bovenpassaat reeds zoo ver gedaald is dat hij zich met den benedenpassaat vermengt, zou een standvastige wind niet heerschen; toch zouden daar noordelijke en zuidelijke winden meer dan de anderen worden waargenomen.

De verschijnselen zouden dus in al hunne bijzonderheden moeten verschillen van de boven beschrevene en algemeen bekende, die de passaat-winden ons aanbieden. Maar draait de aarde en neemt zij daarbij haren dampkring mede, dan zal een luchtdeeltje, dat zich onder den aequator bevindt, eene snellere oostwaartsche beweging hebben dan een, dat nader bij de pool gelegen is. Immers heeft het eerste in denzelfden tijd een grooteren cirkelomtrek te doorloopen dan het laatste. Komen dus, ten gevolge van de ongelijkmatige verwarming aan de oppervlakte der aarde, deeltjes uit het noorden met hunne eigene zijdelingsche beweging tusschen de zuidelijke

deeltjes in, dan zullen zij minder snel oostwaarts, dat is *ten hunnen opzichte westwaarts*, gaan. De luchtstroom zal dan uit het noordoosten schijnen te komen. Met den boven-passaat heeft het omgekeerde plaats. Bij het afstroomen naar de pool komen de luchtdeeltjes met hunne eigene oostwaarts gerichte beweging tusschen andere, die minder snel oostwaarts gaan. De eerste *gaan nu zelf ten opzichte van de laatste nog oostwaarts* met een snelheid, die aan het verschil van beide snelheden gelijk is; de uit het zuiden komende lucht is dus ten opzichte van de meer noordwaarts gelegene luchtdeeltjes een zuidwestelijke luchtstroom.

Op volkomen dezelfde wijze zal men de zuidoostelijke richting van den boven- en de noordwestelijke van den beneden-passaat in het zuidelijk halfrond kunnen verklaren. Onder den evenaar, waar beide beneden-passaten elkander ontmoeten, zal het zuidelijke van den eenen luchtstroom het noordelijke van den andere vernietigen, terwijl de beide oostelijke componenten van beide stroomen een resulterenden oostewind zullen vormen. En ofschoon op onze breedte, zooals wij reeds boven aanmerkten, een standvastig gerichte wind niet heerschen kan, zullen daar toch de boven- en de beneden-passaat de overhand moeten hebben; de waarneming leert dan ook dat noordoostelijke en zuidwestelijke winden ten onzent de meest standvastige zijn.

Ook de richting van de stroomen in zee kan alleen voldoende worden verklaard uit de omstandigheid, dat de draaiende aarde aan de waterdeeltjes onder den evenaar eene grootere snelheid mededeelt dan aan de meer noordelijk en zuidelijk gelegene.

16. ARISTOTELES nam aan, dat de aarde onbewegelijk denzelfden stand behoudt in het heelal, en wat hij leerde werd gedurende de middeleeuwen voor onomstootelijke waarheid gehouden.

Eerst in het jaar 1543 werd door COPERNICUS (geboren te Thorn in 1473 — overleden te Frauenburg in 1543) in zijn werk „*De orbium coelestium revolutionibus*“ (over de wente-

lingen der hemelbollen) de beweging van de aarde om hare as geleerd; maar dan toch slechts als eene vooronderstelling, waaruit de beweging des hemels op meer eenvoudige wijze kon worden verklaard. Van het stelsel van COPERNICUS, dat wij bij de beschouwing van de jaarlijksche beweging der aarde meer uitvoerig zullen bespreken, maakt die vooronderstelling slechts een onderdeel uit. De samenspraken over het wereldstelsel, door GALILEI (1562—1642) in 1632 uitgegeven, werkten zeer mede tot verspreiding van dit stelsel. Het werd echter ook krachtig bestreden, totdat latere waarnemingen, en daaronder de in dit hoofdstuk genoemde, zijn juistheid meer en meer deden inzien.

TWEEDE HOOFDSTUK.

Over de gedaante en de afmetingen der aarde.

17. Bij onze inleidende beschouwingen vonden wij de gelegenheid op te merken, dat de aarde eene bolvormige gedaante heeft. Reeds de Pythagoristen kenden haar deze gedaante toe en door de geschriften van ARISTOTELES werd deze opvatting reeds vroeg verspreid over de gansche beschaafde wereld. Voor zooverre dit uit de daar aangehaalde waarnemingen blijken kon, toonden wij de juistheid aan van die opvatting. Dat zij echter in plaats van volkomen bolvormig te zijn, aan de polen merkbaar is afgeplat leeren ons proefnemingen, volkomen overeenkomende met die, waarop wij in § 11 een bewijs voor hare wentelende beweging hebben gegrond. Daar merkten wij reeds aan, dat, *als men alle omstandigheden in aanmerking neemt*, de voor verschillende breedten berekende lengte van den sekonden-slinger overeenkomt met de lengte die deze daar werkelijk heeft. Inderdaad bestaat toch deze overeenkomst niet, wanneer men bij die berekening de aarde beschouwt als een volkomen bol. Wanneer men in de uitdrukking voor de lengte van den sekondenslinger

$$l = \frac{g}{\pi^2}$$

aan g de waarden toekent, die deze grootheid, de wentelende

beweging in aanmerking genomen, op verschillende plaatsen der aarde heeft, dan blijkt het bij de waarneming, dat de daaruit voortvloeiende waarden van l aan plaatsen buiten den aequator steeds te klein is, en dat dit verschil toeneemt naarmate men zich beweegt naar een der polen. Zullen waarneming en berekening overeenkomen, dan zal men aan g eene naar de polen toenemende waarde moeten toekennen, die wijst op eene afplatting der aarde, waarbij de kleinste as ongeveer $\frac{1}{300}$ van de middellijn des aequators korter is dan deze.

Eene zoodanige afplatting toch heeft een toenemen van g in den bedoelden zin ten gevolge. Als zij bestaat, dan ligt een plaats nabij den aequator verder van het middelpunt der aarde dan eene, die verder van den aequator verwijderd is. Daar nu de aarde een voorwerp op hare oppervlakte aantrekt met een kracht, gelijk aan die, waarmede het zou aangetrokken worden als al hare stof in het middelpunt was opgehoopt, daar verder de grootte dezer kracht omgekeerd evenredig is aan de tweede machten der afstanden waarop zij wordt uitgeoefend en g met hare grootte evenredig is, zal de waarde van g in eerstgenoemde plaats grooter zijn dan in laatstgenoemde.

Het niet standvastig zijn van deze waarden van g op de oppervlakte der aarde heeft dus twee verschillende oorzaken, maar die beide er toe bijdragen om deze grootte in de richting van den aequator naar de polen te doen toenemen. Het gewicht van een lichaam, dat niet anders is dan de resultante van de aantrekking, die de aarde op de verschillende deeltjes van dat lichaam uitoefent, neemt dus om die beide redenen toe met de breedte van de plaats, waar het zich bevindt. RICHER, die eene zoodanige vermeerdering van het gewicht der lichamen het eerst waarnam, kwam hierdoor op het denkbeeld dat de aarde zou zijn afgeplat.

18. De afplatting der aarde moet ook blijken uit het verschil in de lengte der bogen, die, een even grooten hoek aan het middelpunt onderspannende, op verschillende breedten liggen in hetzelfde door de polen gebrachte vlak.

Was de aarde een bol, dan zou elke meridiaan, dat

is elke doorsnede van haar oppervlak met een vlak, dat door hare beide polen gaat, werkelijk een cirkel zijn; een boog, die twee op dezen cirkel gelegen punten vereenigt, zou dan op elke breedte even lang moeten zijn, indien de stralen, van die punten naar het middelpunt der aarde getrokken, met elkander een even grooten hoek maakten. Is echter de aarde afgeplat, dan bestaat deze gelijkheid van de verhoudingen tusschen de bogen en de hoeken niet meer; de bogen, die een even grooten hoek onderspannen, worden dan langer, naarmate men de polen nadert. Want opdat op denzelfden meridiaan twee vertikalen een hoek van een zeker aantal graden met elkander maken, kunnen hare voetpunten op plaatsen, waar de aarde sterker gekromd is, korter bij elkander liggen, dan op plaatsen waar deze kromming minder sterk is. Inderdaad vond men dan ook bij eene meting in Peru voor de lengte van den boog, die één graad onderspant, 682 toises minder dan voor de lengte van den boog, die denzelfden hoek onderspant in Lapland. Dit verschil wijst zelfs op eene afplatting grooter dan de in de vorige § genoemde; en wel op eene, waarbij de lengte van de as, die door de polen gaat, $\frac{1}{178}$ van de as des aequators korter zou zijn dan deze. Eene latere meting van den graad in Lapland bracht echter het verschil terug tot 460 toises: en eene afplatting van $\frac{1}{300}$ komt daarmede nauwkeurig overeen.

19. Onze landgenoot WILLEBRORDUS SNELLIUS, hoogleeraar te Leiden, deed in 1621 het eerst eene op wetenschappelijke gronden steunende methode aan de hand tot het meten van bogen op aarde, en zelf mat hij volgens haar den meridiaanboog tusschen Bergen op Zoom en Alkmaar.

Het groote voordeel dezer methode is daarin gelegen dat men slechts een zeer kleine lengte, de basis der triangulatie, rechtstreeks behoeft te meten, terwijl verder alles door het meten van hoeken en door berekening wordt gevonden. Als bij voorbeeld (Fig 6) N en Z twee plaatsen zijn, die op denzelfden meridiaan liggen, dan meet men in de nabijheid van een dier plaatsen, op een terrein dat zich daartoe het best leent,

een afstand AB , en meet, zich beurtelings in A en B plaatsende, de hoeken ZAB en ZBA . In den driehoek AZB zijn dan ééne zijde en de aanliggende hoeken bekend, zoodat men zijne overige elementen kan berekenen. Nu kiest men een verheven punt C uit, dat niet aan dezelfde zijde van den meridiaan ligt als A en B ,

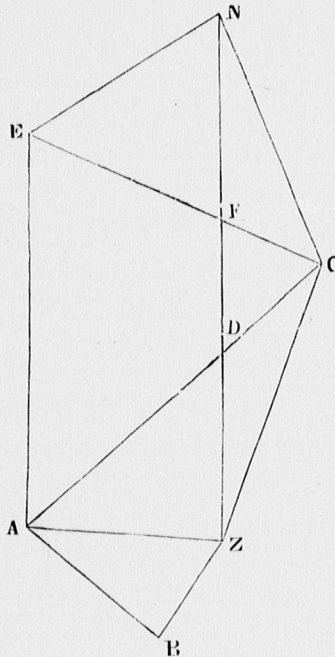


Fig. 6.

meet, zich beurtelings plaatsende in A en Z , de hoeken CAZ en CZA . Daar door berekening reeds AZ gevonden is, kan men alle zijden van dezen driehoek bepalen. Men kent dus AC en ZC . Plaatst men in de richting van den meridiaan een baken D , dan kan men in Z ook den hoek AZD meten, waardoor dan de lengte van ZD en AD en de grootte van den hoek ADZ bekend worden.

De eerstgenoemde zijde ZD is reeds een gedeelte van den meridiaanboog NZ . In den driehoek CDZ kent men nu CZ , DZ en $DC = AC - AD$.

Kiest men zich verder, aan de andere zijde van den meridiaan dan waar C ligt, een verheven voorwerp E , dat uit A en C kan worden gezien, en meet men den hoek ACE , dan zijn in den driehoek DCF de zijde DC en de hoeken $FDC = ADZ$ en FCD gegeven. Men kan DF , FC en den hoek DFC door berekening bepalen, en heeft zodoende weder een gedeelte DF van de lengte van den te meten boog gevonden. Meet men daarenboven den hoek EAC , dan kent men in den driehoek AEC wederom eene zijde en de aanliggende hoeken, waardoor de lengte van EC bekend wordt. Ten laatste in E den hoek NEC metende, kent men in driehoek NEF

de zijde $EF = EC - FC$ en de hoeken NEF en $EFN = DFC$, zoodat nu ook de lengte van het nog overblijvende deel FN van den boog kan worden bepaald.

Wij hebben in deze schets slechts een oppervlakkig denkbeeld willen geven van de beschouwing waarop een graadmeting berust. De uitvoering vereischt groote zorg en vele berekeningen. Wat de laatste betreft behoeft men slechts te bedenken, dat al de gemeten hoeken tot den horizon moeten herleid worden, en dat deze zoo herleide hoeken tot een bolvormigen en niet tot een rechtehoeken driehoek behooren. Daarenboven blijkt het, zoodra men AZ en BZ in de gegevens uitdrukt, dat, vooral wanneer de basis AB niet zeer lang is, een fout in die basis aanmerkelijk vergroot in AZ en BZ overgaat, en dat men omgekeerd bij een geringe fout in de hoeken ZAB en ZBA , van dezelfde waarde van AB uitgaande, voor AZ en BZ zeer van elkander verschillende waarden vinden zal.

Men kent dan nu de lengte l van een gedeelte van den meridiaan, en zoo men den hoek α kan vinden, die de vertikalen in zijne uiteinden met elkander maken, zal men, de afplatting buiten rekening latende, uit de evenredigheid

$$\alpha : 360^\circ = l : x$$

de lengte van den ganschen meridiaan kunnen bepalen.

Deze hoek α nu is gelijk aan het verschil in breedte van die beide uiteinden, en (§ 9) dit verschil weder aan dat van beider poolhoogte. Men zal dus slechts van een circumpolairster aan beide plaatsen de hoogte behoeven te meten als zij door den meridiaan gaat, daar het verschil van die beide hoogten klaarblijkelijk dat der poolhoogte is. Daar de beide vertikalen den schijnbaren hemelbol snijden in punten van denzelfden meridiaan, door wier afstand de hoek tusschen die vertikalen wordt gemeten, zal men ook aan beide plaatsen kunnen bepalen hoever dezelfde ster, als zij in den meridiaan is, van hun zenith afstaat. Het verschil der afstanden zal dan wederom gelijk zijn aan den gevraagden hoek.

Bij dit gedeelte van de bepaling der lengte van den boog

die met een zeker aantal graden overeenkomt, is vooral de fout te vermijden, die door plaatselijke aantrekking ontstaan kan.

In de nabijheid van een uitgestrekte bergketen, in het noorden van Italië bij voorbeeld, zal het paslood slechts schijnbaar vertikaal zijn en dus de horizon ook slechts schijnbaar horizontaal. Het verschil in zeniths-afstand of het hoogte-verschil van een zelfde ster, aan de beide uiteinden van den boog gemeten, zal dus niet het aantal graden aangeven, waarop de snijpunten van de ware vertikalen dier plaatsen met den schijnbaren hemelbol van elkander liggen. En daar de afwijking aan de beide plaatsen niet even groot, in ons geval bijv. aan de noordelijke plaats grooter dan aan de zuidelijke zijn zal, wordt het aantal graden kleiner dan met den waren afstand dier plaatsen op aarde overeenkomt.

21. Een der metingen, die vooral van belang zijn, is de in 1792 door MECHAIN en DELAMBRE op last van de Fransche nationale vergadering uitgevoerde graadmeting tusschen Duinkerken en Barcelona. In 1808 door BIOT en ARAGO voortgezet tot aan het eiland Formentera, omvat deze meting een boog van 12 graden. Het veertig-millioenste gedeelte van den omtrek eens meridiaans, zooals die uit deze metingen volgt, is *de meter*, en zooals men weet is op deze het gansche zoogenaamd metrieke stelsel van maten en gewichten gegrond. De omtrek der aarde bedraagt dus ten naastenbij 40000 kilometers of 5400 Deutsche Geographische mijlen en haar straal gemiddeld 6366 kilometers of 860 van deze mijlen. Daar nu een Deutsche Geographische mijl ongeveer 1 uur en 20 minuten gaans is, zou dus de omtrek der aarde in ongeveer 7200 uren te voet kunnen worden afgelegd. De wijze waarop hare afplatting toeneemt blijkt uit de volgende opgaven omtrent de lengte van haren straal op verschillende breedten.

Breedte	0° . . .	Straal	6377	Kilometers
"	15° . . .	"	6375	"
"	30° . . .	"	6372	"
"	46° . . .	"	6367	"
"	60° . . .	"	6361	"
"	75° . . .	"	6358	"
"	90° . . .	"	6356	"

22. Komt dus de gedaante der aarde het meest overeen met die van eenen afgeplatten bol, een omwentelings-lichaam is zij, ook de hoogte der bergen er buiten gelaten, niet. Als toch dit het geval was, dan zou een boog van een zeker aantal graden, op denzelfden aan den aequator evenwijdigen cirkel — parallel-cirkel — gemeten, overal dezelfde lengte moeten hebben.

Terwijl het nu gebleken is, dat de lengte van één graad op den parallel-cirkel, die ligt op een breedte van 45° , gemiddeld 78 millioen meters bedraagt, vond men op dien cirkel voor sommige deelen een lengte van den graad die dat gemiddelde met $\frac{1}{175}$ overtrof, voor andere eene die $\frac{1}{760}$ minder was dan dat gemiddelde.

23. Reeds sedert de vroegste tijden heeft men getracht de grootte der aarde te meten. De eerste bekende meting is die van ERATOSTHENES (250 j. v. C.). Opmerkende dat op den langsten dag de zon stond in het zenith van Syene en dat zij alsdan $\frac{1}{50}$ gedeelte van een cirkel van het zenith van Alexandrië verwijderd was, dat zelf ongeveer op eenen afstand van 5000 stadiën lag van eerstgenoemde plaats, bepaalde hij den omtrek der aarde op 250,000 stadiën. Iets minder vond POSIDONIUS (150 j. v. C.) uit de meting van een boog tusschen Alexandrië en Rhodus.

De metingen, die eenig vertrouwen verdienen, dagteekenen allen van den tijd nadat SNELLIUS zijne methode had aan de hand gedaan. Hij zelf vond, door de in § 19 genoemde meting, voor de lengte van eenen graad een getal, waarvan het later gebleken is dat het veel te groot was; en om redenen, die men later heeft kunnen opsporen, was hetzelfde het geval met de resultaten der metingen van PICARD (1660) tusschen Parijs en Amiens, en van LA HIRE tusschen Perpignan en Duinkerken. Latere metingen zijn: die van BOUGUER en LA CONDAMINE in Peru (1735—45) en van MAUPERTUIS, in Lapland (1635—36), beiden ondernomen op last van de *Académie de France*;

de Oostenrijksche van LIESEGANG (1768);

de Amerikaansche van MASON en DIXON (1768);
de in § 21 genoemde van MECHAIN en DELAMBRE (1792), ten
zuiden door BIOT en ARAGO voorgezet tot aan Formentera
(1808); en ten noorden tot Greenwich door ARAGO en KATER
(1831);
de Hannoversche van GAUSS (1824);
de Pruissische van BESSEL (1824);
de Engelsch-Indische van LAMBTON en EVEREST (1825);
en de Zweedsch-Russische van STRUVE (1821—1853).

DERDE HOOFDSTUK.

Over de beweging van de aarde om de zon.

24. Slaat men achtereenvolgens gedurende eenige dagen den stand van de zon aan den hemel nauwkeurig gade, dan blijkt het, dat zij daar niet voortdurend dezelfde plaats inneemt. De vaste sterren bijv., die nu 's morgens voor zij opgaat nabij de westerkim staan, zullen over eenige dagen bij dien opgang reeds lang onder die kim zijn verdwenen. Terwijl daarenboven de punten van den horizon, waar zij op- en ondergaat, in den winter ten zuiden van het ware oosten en westen gelegen zijn, liggen deze punten in den zomer noordelijk daarvan.

Deze verschijnselen laten zich, even als het van 22 December tot 22 Juni voortdurend stijgen en het van 22 Juni tot 22 December voortdurend dalen van de zon op den middag, en het daarmee in verband staande lengen en korten der dagen, verklaren, als men aanneemt, dat

de zon van het westen langs het zuiden naar het oosten in een jaar aan den hemel een cirkel beschrijft, gelegen in een vlak, dat met het vlak van den aequator een hoek maakt van ruim 23 graden.

Wij zullen dit kortelijk aantoonen.

Zij P (Fig. 7) een plaats op aarde, gelegen op een noordelijke breedte AP, zij HR de ware horizon dier plaats, EC de cirkel, waarop de zon zich beweegt. Op den dag dat zij zich bevindt in een punt Z', dat ten noorden van den aequator

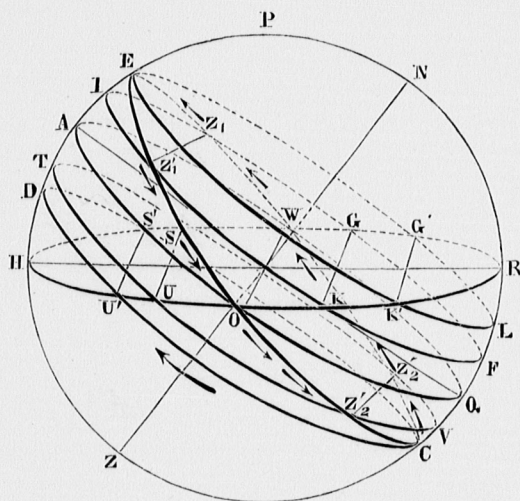


Fig. 7.

ligt, beschrijft zij, door de dagelijksche beweging des hemels, een cirkel K I G F evenwijdig aan den aequator. Ten minste als men hare kleine eigene beweging gedurende een dag niet in rekening brengt; want let men ook op deze, dan nadert de zon, door de combinatie van hare eigene beweging met de dagelijksche beweging des hemels, langs een spiraal beurtelings de beide polen. De zon zal op dien dag opkomen in K en ondergaan in G, terwijl hare *dagboog* K I G, d. i. de boog dien zij boven den horizon H R beschrijft, langer zal zijn dan de *nachtboog* G F K, die onder den horizon ligt. En volkomen hetzelfde zal plaats hebben op den dag, dat de zon het punt Z' van hare baan inneemt. Op de daar tusschen liggende dagen is het verschil tusschen de lengten der dag- en nachtbogen nog grooter, en het bereikt zijn grootste waarde als de zon in E is gekomen. Ook de snijpunten van den cirkel met den horizon vallen voortdurend verder noordelijk, tot zij op den laatstgenoemden

dag, zoover mogelijk noordwaarts, d. i. in K' en G' , op- en ondergaat. Bevindt zich de zon in de punten O en W , dan zal zij zich door de dagelijksche wenteling des hemels langs den aequator schijnen te bewegen; daar deze, even als de ware horizon, een groote cirkel is, en de groote cirkels van een bol elkander middendoor deelen, zal op die dagen de nacht even lang als de dag zijn. Is de zon eenigen tijd later in Z_2 gekomen dan is $UTSV$ de parallelcirkel, dien zij op dezen dag door de omwenteling des hemels schijnt te doorloopen. Zij gaat nu in U op en in S onder, terwijl haar dagboog UTS veel korter is dan haar nachtboog SVU ; en dit zelfde zal plaats hebben op den dag, waarop zij zich in het punt Z_2 bevindt. Op een dag die midden tusschen beide laatstgenoemden ligt, als zij, in C gekomen, den door dat punt gaanden parallelcirkel beschrijft, gaat zij zoo zuidelijk mogelijk, in U' , op, en zoo zuidelijk mogelijk, in S' onder, terwijl alsdan de nachtboog den dagboog zooveel mogelijk overtreft.

Op de bogen $K'U'$ en $G'S$ liggen dus de punten, waar de zon achtereenvolgens in een jaar op- en ondergaat. In K' gaat zij op den 22^{sten} Juni; deze dag is de langste voor bewoners van het noordelijk halfond, omdat dan voor hen de dagboog den nachtboog het meest overtreft. Ook bereikt zij dien dag haar hoogste punt aan den hemel en wel op het oogenblik dat zij, door de wenteling van deze, is gekomen in het vlak, dat door de as en de vertikaal van P gaat. Dit vlak draagt den naam van *meridiaan- of middagvlak*, dien wij daaraan reeds boven (§ 21) gaven, omdat de zon in het midden van den dagboog is gekomen als haar middelpunt zich in dat vlak bevindt. *Deze middagshoogte is gelijk aan het complement van de breedte der plaats, vermeerderd met den hoek, dien het vlak der loopbaan met dat van den aequator maakt.* Want $HE = HA + AE = 90^\circ - AP + AE$.

Verder in hare baan voortgaande, komt de zon elken dag iets minder hoog aan den hemel en gaat zij ook elken dag iets minder noordelijk op en onder. Is zij een vierde gedeelte van haren ganschen omloop verder, dus in O , gekomen dan

gaat zij juist op *in het oosten* en onder *in het westen*, dat wil zeggen, *in de punten waar de aequator den horizon snijdt*. Op dien dag, dat is op den 22^{sten} September, is hare *mid-dagshoogte gelijk* aan den hoek, dien de aequator met den horizon maakt, of aan het complement van de breedte der plaats waar men haar waarneemt. En al deze verschijnselen doen zich een half jaar later, dus op den 22^{sten} Maart, op volkomen dezelfde wijze voor, omdat de zon dan in W, dus wederom in den aequator, is gekomen.

Op den 22^{sten} December, den dag die juist in het midden tusschen beiden laatstgenoemden ligt, is *de middagshoogte* van de zon zoo klein mogelijk, en wel *gelijk aan het complement van de breedte der plaats, verminderd met den hoek, dien het vlak van den zonnweg met dat van den aequator maakt*. Want dan is hare hoogte $HD = HA - AD = 90^\circ - AP - AD$. De dag is nu zoo kort mogelijk, daar de nachtboog den dagboog zooveel mogelijk overtreft.

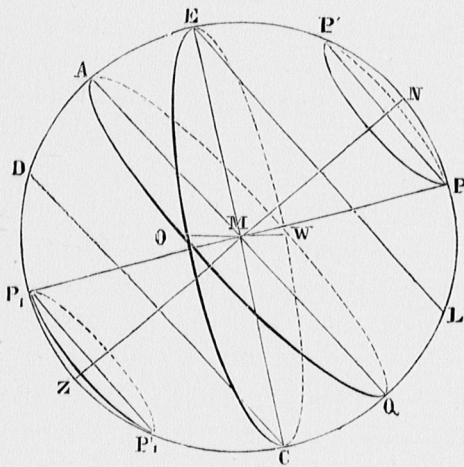


Fig. 8.

voortdurend nader bij de zuidpool kwam, verwijderd zij zich van die pool van het oogenblik waarop zij in C is gekomen.

De parallelcirkels EL en DC, door deze punten getrokken,

25. De zon schijnt, als zij in de punten E en C (Fig. 8) gekomen is, terug te keeren: want terwijl zij, voor zij in E kwam, steeds de noordpool naderde, verwijderd zij zich van die pool, nadat zij in E gekomen is. En terwijl zij bij het doorloopen van E O C

dragen daarom den naam van *keerkringen*; en die punten zelve, waar de zon, omdat hare beweging aan den hemel van teeken verandert, een oogenblik schijnt stil te staan, de *zonnestilstanden* of *solstitiën*. De eerstgenoemde cirkel is de *Noorder-* en de laatstgenoemde de *Zuiderkeerkring*. Men geeft hun ook wel de namen *kreefts-* en *steenboks-* *keerkring*. Deze laatste zijn aan die *keerkringen* gegeven toen het punt E in het *sterrebeeld de Kreeft*, het punt C in het *sterrebeeld de Steenbok* lag. De schijnbare *zonneweg* gaat behalve door deze, nog door tien andere *sterrebeelden*, waarvan de meeste de namen van dieren dragen; daarom noemt men dien weg ook wel den *dierenriem* of *zodiak*.

De *sterrenbeelden* van den *dierenriem* zijn:

De Ram, de Stier, de Tweelingen, de Kreeft, de Leeuw, de Maagd, de Weegschaal, de Schorpioen, de Schutter, de Steenbok, de Waterman, de Visschen.

Aan elk dier beelden heeft men oudtijds zijn eigen *teeken* gegeven; echter komen, zooals wij later zien zullen, deze teekens niet meer overeen met de *sterrebeelden*, waarvoor zij toen werden bestemd. Terwijl men toch de teekens hunne oude plaats op den *zonneweg* heeft laten behouden, heeft het punt waar deze den *aequator* snijdt, zich met betrekking tot de *sterrebeelden* verplaatst.

Behalve de twee *keerkringen* zijn er nog twee *parallelcirkels* aan den hemel, wier ligging met die van de *loopbaan* der zon in nauw verband staat. Het zijn de *poolcirkels*; deze gaan door de punten van den hemel, waar de *as* der *ecliptica* — zoo noemt men het vlak waarin de *zonneweg* ligt — den hemel snijdt. Daar nu de *ecliptica* een hoek van ongeveer $23^{\circ}27'.5$ met het vlak van den *aequator* maakt, zal hare *as* een even grooten hoek maken met de *wereldas*. Elk punt P van de *poolcirkels* bevindt zich dus op een afstand van de *polen*, die evenveel graden bevat als de *schuinsheid* der *ecliptica*; de hoek NMP toch wordt door den boog NP gemeten. En even groot is de afstand van de *solstitiën* tot den *aequator*, daar ook de boog AE van den

tweevlakkigen hoek op de ribbe O W den standhoek meet; en wat men de schuinsheid der ecliptica noemt is juist deze standhoek.

26. Daar de noorderkeerkring op een afstand van de noordpool ligt, die gelijk is aan het complement van de schuinsheid der ecliptica, en de pool, voor hen die onder den poolcirkel wonen, juist even hoog boven den horizon ligt, raakt die keerkring in haar laagste punt juist den horizon dier plaatsen. Op den 22sten Juni dus, als de zon door de dagelijksche beweging des hemels langs dien kring wordt rondgevoerd, gaat zij voor de bewoners van den op aarde getrokken noordpoolcirkel niet onder. Te middernacht zal daar het middelpunt van de zon, als men niet let op den invloed dien onze dampkring uitoeft op de richting harer stralen, in den horizon worden gezien.

Op plaatsen die nog noordelijker liggen, wier pool dus nog hooger boven den horizon ligt, zullen zelfs parallelcirkels aan den hemel, die nog nader bij den aequator liggen dan de genoemde keerkring, geheel boven den horizon komen. Binnen de poolcirkels op aarde dus zal men gedurende een gelijk aantal dagen voor en na den 22sten Juni de zon niet zien ondergaan, en dit aantal dagen zal des te grooter zijn naarmate men de pool nadert.

Aan de noordpool zelf valt de aequator samen met den horizon. Zoodra dus op den 22sten Maart de zon in het noordelijk halfond des hemels komt, blijft zij voortdurend op, elken dag ongeveer een cirkel doorlopende, die evenwijdig is met den horizon. Door de combinatie van hare eigene beweging met die des hemels, klimt zij als het ware langs een spiraal naar boven, bereikt zij op den 22sten Juni een hoogte, gelijk aan de schuinsheid der ecliptica, daalt dan weder volgens een spiraal, tot zij op den 22sten September onder den horizon verdwijnt, om nu verder gedurende de overige helft van het jaar onzichtbaar te blijven.

Ons blijft nu nog over de verschijnselen na te gaan, die de zon hun aanbiedt, wier woonplaats tusschen den noorder-

keerkring en den aequator, of op deze, zich bevindt. Voor laatstgenoemden ligt de as des hemels in het vlak van den horizon. Welken parallelcirkel dus de zon ook moge beschrijven ten gevolge van de schijnbare omwenteling des hemels, altijd zal hij door den horizon worden middendoor gedeeld. Dag en nacht zullen dus onder den aequator steeds even lang zijn. Staat de zon in den aequator des hemels, wiens vlak met dat van den aequator op aarde samenvalt, dan zal de dagelijksche beweging des hemels haar, als men ten minste haar eigene beweging buiten rekening laat, door het zenith voeren van al de bewoners van den aequator. Tweemaal in het jaar dus, den 22^{sten} Maart en den 22^{sten} September, zal op den middag de zon boven het hoofd komen van de daar wonenden. Zij hebben dan geen schaduw, waarom men hen ook wel schaduwloozen noemt. Van den 22^{sten} Maart tot den 22^{sten} September zien zij de zon steeds in het noordelijk, gedurende de andere helft van het jaar steeds in het zuidelijk halfrond des hemels.

Op een plaats, die tusschen den aequator en den noorderkeerkring ligt, zal men dezelfde verschijnselen waarnemen. Evenwel zullen de twee dagen, waarop de zon in het zenith komt, daar binnen minder dan een half jaar op elkander volgen. Voor plaatsen op aarde bijv., die op een noorderbreedte van 10° liggen, staat de pool 10° boven den horizon. Het zenith ligt daar ook op een afstand van 10° van den aequator, zoodat de parallelcirkel, die 10° ten noorden van deze ligt, door het zenith gaat. Op den dag nu, waarop de zon dezen parallelcirkel beschrijft, zal zij door het zenith van die plaatsen gaan, ten minste wanneer men hare kleine eigene beweging, waardoor zij niet gedurende vier en twintig uren op denzelfden parallelcirkel blijven kan, niet in aanmerking neemt. Op den volgende dag blijft de zon steeds noordelijk van den waarnemer, en dit zal zoo voortduren, tot zij op een dag, die evenveel na den 22^{sten} Juni ligt als de zoo even genoemde daar voor lag, weder denzelfden parallelcirkel beschrijvende, over het hoofd van den waarnemer gaat, om voor hem

gedurende het overige van het jaar zuidelijk te blijven.

Het is duidelijk dat al deze verschijnselen in omgekeerde orde zich voordoen op het zuidelijk halfrond der aarde; de ecliptica toch is ten opzichte van beide halfronden op dezelfde wijze geplaatst.

Alleen zij nog opgemerkt dat, als de zon in den aequator zelf staat, dag en nacht overal op aarde even lang zijn. De zon beschrijft dan in vierentwintig uren *een grooten cirkel* en deze wordt door alle horizonten, omdat zij ook groote cirkels zijn, middendoor gedeeld.

27. De wisseling der jaargetijden en voor het grootste gedeelte het verschillend klimaat van de deelen der aard-oppervlakte, is van den zoo even beschreven loop der zon het onmiddellijk gevolg. Wat het laatste betreft merken wij op, dat naarmate de hoek, waaronder de zonne-stralen de aarde treffen, meer tot een rechten hoek nadert, hun verwarmende invloed toeneemt. Deze toch is evenredig met den sinus van den hoek, dien genoemde stralen maken met het oppervlak waarop zij vallen. Tusschen de keerkringen dus, waar tweemaal 's jaars de zon in het zenith staat, en vooral op den aequator, waar zij op den middag nooit verder dan ruim drie en twintig graden van het zenith is verwijderd, zal de aarde zeer sterk worden verwarmd. Van daar noemt men het gedeelte van hare oppervlakte, dat tusschen de keerkringen ligt, de *verzengde luchtstreek*.

Naarmate men zich noordwaarts van den noorder- of zuidwaarts van den zuider-keerkring verwijderd, neemt het verschil tusschen de lengten van den langsten en den kortsten dag voortdurend toe; tot eindelijk op beide poolcirkels eenmaal 's jaars de dagboog een geheele cirkelomtrek wordt. De tijd, gedurende welken de aarde dagelijks den verwarmenden invloed der zon ondervindt, is daar dus in het eene gedeelte van het jaar veel langer dan in het andere. Nooit echter vallen hare stralen er loodrecht op den bodem; op eene noorderbreedte van 52 graden, bij voorbeeld, waar dus de aequator een hoek van 38 graden met den horizon maakt, zal de ze-

nithsafstand van de zon variëeren tusschen ongeveer 75.5 en ruim 28.5 graad. De temperatuur zal tusschen de keerkringen en de poolcirkels even afwisselend zijn, en nooit kunnen stijgen tot den graad, dien zij binnen de keerkringen bereikt. Men noemt dan ook de beide gordels der aard-oppervlakte, die aan de eene zijde door een keerkring aan de andere door een poolcirkel begrensd worden, de noorder- en zuid-der gematigde luchtstreken.

Binnen de poolcirkels neemt het verschil tusschen de lengten van dag en nacht snel toe. Een willekeurige plaats in die streken, wordt soms gedurende eenige achtereenvolgende dagen in het geheel niet door de zon verwarmd. En staan daar ook al evenveel dagen tegenover, gedurende welke de zon voor haar niet ondergaat, dan vallen toch hare stralen zoo schuins op de aarde, dat hare verwarmende invloed slechts gering is. Voor punten op den poolcirkel zelve toch bedraagt reeds de zeniths-afstand van de zon op den middag van den langsten dag ruim 43 graden, terwijl zij 90 graden wordt op den kortsten dag. De koude moet dus gedurende een groot gedeelte van het jaar in die streken zeer streng zijn; waarom men haar dan ook den naam van koude luchtstreken gegeven heeft.

Behalve deze gewone verdeeling der aarde in vijf luchtstreken of klimaten, worden nog de beide gordels, die tusschen den aequator en de poolcirkels liggen, in uurklimaten en die binnen de poolcirkels liggen in maandklimaten verdeeld. Een uurklimaat is begrepen tusschen twee parallelcirkels, waarop de lengten van den langsten en den kortsten dag *een half uur*, een maandklimaat tusschen twee waarop die lengten *een maand* verschillen. Elk der eerstgenoemde gordels is dus verdeeld in *vier en twintig uurklimaten*, elk der door de poolcirkels omslotene gedeelten van de aard-oppervlakte in *zes maandklimaten*.

28. De in beide laatste §§ opgenoemde en verklaarde verschijnselen laten nog eene andere verklaring toe. Neemt men aan dat

ten van zon en aarde verbindt. Daar nu de aequator ook een groote cirkel is, en de groote cirkels van een bol elkander middendoor deelen, ligt van de aequator steeds de eene helft in het duistere, de andere in het verlichte gedeelte; voor de bewoners van den aequator moet het dus altijd even lang dag als nacht zijn.

Is nu op den 22^{sten} *December* de aarde ten opzichte van de zon geplaatst, zooals in Fig. 9 wordt aangeduid, en maakt hare as met die van de ecliptica, volgens onze vooronderstelling een hoek van ongeveer 23.5 graad, dan zal de boog N B, dat is de afstand, waarop de noordpool ligt van de grens tusschen licht en duisternis, de schuinsheid der ecliptica meten. Daar de plaatsen op de poolcirkels even ver van de pool zijn verwijderd, zal dan op dezen dag, bij eene omwenteling der aarde, alles wat binnen de zuidpoolcirkel ligt in het licht, alles wat binnen den noordpoolcirkel ligt in het duister blijven. Alle punten van den parallelcirkel, waarop het snijpunt E van de lijn, die de middelpunten van zon en aarde verbindt, met de oppervlakte van deze ligt, zullen bij de wenteling der aarde door dit punt gaan, en op het oogenblik dat dit plaats heeft, zal voor die punten de zon in het zenith staan. Want M E is de straal, en dus het verlengde van M E de vertikaal, van E, en deze gaat door het middelpunt van de zon zoodra M E valt langs de lijn, die dat middelpunt met M verbindt. Wil echter dit laatste het geval kunnen zijn, dan zal E moeten liggen op den zuiderkeerkring. Daar toch, volgens de vooronderstelling, hoek N M C het complement is van de schuinsheid der ecliptica, zal de hoek A M E deze schuinsheid zelve zijn. De bewoners van den zuiderkeerkring dus, zullen, als men de verplaatsing der aarde gedurende dien dag niet in rekening brengt, op den 22^{sten} *December* de zon in het zenith zien.

Blijft de as der aarde evenwijdig aan zich zelve, dan zal een vierde gedeelte van den omloopstijd later, dus op den 22^{sten} *Maart*, de cirkel, waardoor licht en duisternis gescheiden worden, door de beide polen der aarde gaan. Daar nu een groote cirkel, die door de as van eenige parallelcirkels

gaat, deze allen middendoor deelt, zullen bij de omwenteling der aarde alle punten van hare oppervlakte juist gedurende de helft van den dag door de zon worden verlicht. De lijn, die de middelpunten van zon en aarde verbindt, ligt nu in het vlak van den aequator, zoodat, door de wenteling der aarde, de zon achtereenvolgens zal komen in het zenith van elke plaats, op den aequator gelegen. De noordpool, die op den 22^{sten} December in het duister lag, treedt nu juist in het licht. Bij de verplaatsing, die de aarde in dien tusschentijd onderging, kwam zij gedurig nader aan de grens tusschen licht en duisternis. Evenzoo verminderde dagelijks van de lijn, die de middelpunten van zon en aarde verbindt, de helling ten opzichte van het vlak des aequators. Bij dat verminderen kwam de zon, door de omwenteling der aarde om hare as, achtereenvolgens in het zenith van de bewoners der parallelcirkels, tusschen den zuiderkeerkring en den aequator gelegen.

Zet de aarde hare beweging op dezelfde wijze voort na den 22^{sten} Maart, dan zal de noordpool hoe langer hoe verder in het verlichte, de zuidpool in het duistere gedeelte van de oppervlakte der aarde komen. De lijn, die de middelpunten van zon en aarde verbindt, zal dan tevens dagelijks meer en meer, maar nu aan de zijde die naar de noordpool is gekeerd, afwijken van het vlak des aequators, tot zij op den 22^{sten} Juni met dat vlak den hoek C M R maakt, die wederom aan de schuinsheid der ecliptica gelijk is. In dien tusschentijd zal dus de zon achtereenvolgens op den middag gekomen zijn in het zenith van allen, die tusschen den aequator en den noorderkeerkring wonen.

Op den 22^{sten} Juni maakt wederom de as der aarde een hoek van ongeveer 23.5 graad met het vlak van den cirkel, die licht en duisternis op hare oppervlakte scheidt. Maar nu is de noordpool in de verlichte helft gelegen, en wel, daar de boog N D den genoemden hoek meet, op zulk een afstand van de grens, dat alle punten binnen den noordpoolcirkel verlicht zijn. Op dien dag zal dus de zon voor de bewoners van dien cirkel niet ondergaan, terwijl zij voor hen, die op

en binnen den zuidpoolcirkel wonen, niet opgaat. De lijn, die het middelpunt van de aarde verbindt met dat van de zon, gaat door het punt C van den noorderkeerkring; zoodat alle punten op dien parallelcirkel gelegen, als zij door de wenteling der aarde op dien dag door C gaan, de zon in hun zenith zien zullen.

Vervolgt de aarde haren weg, dan zal de hoek, dien de lijn, van haar middelpunt naar dat van de zon getrokken, met het vlak van den aequator maakt, langzamerhand afnemen. De zon zal dus achtereenvolgens komen boven het hoofd van de bewoners der verschillende parallelcirkels, die nader bij den aequator liggen dan de noorderkeerkring, terwijl de polen van lieverlede naderen tot de grens van het licht. Op den 22^{sten} *September* liggen zij beide op die grens. De aarde wordt nu volkomen op dezelfde wijze door de zon verlicht als op den 22^{sten} Maart; alle verschijnselen zullen dus op hare oppervlakte overeenkomstig moeten zijn met de voor dien dag uit onze vooronderstelling afgeleide. Alleen zal nu de noordpool in het duister treden en de zuidpool in het licht, terwijl op den 22^{sten} Maart het tegenovergestelde plaats had. Eerstgenoemde pool zal, als de aarde hare beweging voortzet, zich hoe langer hoe verder van het verlichte gedeelte verwijderen. De hoek tusschen de lijn, die de middelpunten van zon en aarde verbindt, en het vlak van den aequator zal langzamerhand toenemen, en, daar die lijn nu zuidwaarts afwijkt van dit vlak, zullen tusschen den 22^{sten} September en den 22^{sten} December de bewoners van de parallelcirkels, gelegen tusschen den aequator en den zuiderkeerkring, de zon achtereenvolgens op den middag in het zenith krijgen. Op den laatstgenoemden datum snijdt die lijn den zuiderkeerkring en de aarde is wederom teruggekeerd tot den stand, waarin zij zich bevond bij den aanvang van onze beschouwingen.

Het resultaat van deze beschouwingen kortelijk samenvattende zien wij, van de aan het begin dezer § genoemde vooronderstelling uitgaande:

dat van den 22^{sten} September tot den 22^{sten} Maart de zon voor de noordpool niet op- en voor de zuidpool niet onder-

gaat, terwijl het tegenovergestelde plaats heeft, van den 22sten Maart tot den 22sten September:

dat op den 22sten Juni de zon voor den noordpoolcirkel niet onder- en voor den zuidpoolcirkel niet opgaat, terwijl het tegenovergestelde plaats heeft op den 22sten December:

dat op den 22sten Juni de zon komt in het zenith, van de plaatsen onder den noorder- en op den 22sten December in dat van de plaatsen onder den zuiderkeerkring;

dat de zon eenmaal tusschen den 22sten Maart en den 22sten Juni en eenmaal tusschen den 22sten Juni en den 22sten September komt in het zenith van elke plaats, die tusschen den aequator en den noorderkeerkring ligt, en dat tusschen den aequator en den zuiderkeerkring hetzelfde plaats heeft, eenmaal tusschen den 22sten September en den 22sten December en eenmaal tusschen den 22sten December en den 22sten Maart;

dat op den 22sten Maart en den 22sten September dag en nacht overal even lang zijn, en dat dit voor de bewoners van den aequator steeds het geval is.

Daar nu al deze verschijnselen op aarde worden waargenomen, juist zooals zij hier uit onze vooronderstelling omtrent hare beweging om de zon zijn afgeleid, hebben wij het recht haar minstens voor even juist te houden, als de vooronderstelling waarvan in de vorige §§ van dit hoofdstuk werd uitgegaan.

29. Van de beide door ons gegeven verklaringen van de plaatsverandering der zon, werd de eerste tot in het laatst der 16e eeuw vrij algemeen voor de ware gehouden. Voor zooverre wij haar beschouwden verklaart zij echter de verschijnselen, die men gedurende een jaar aan de zon waarneemt, niet volkomen. Neemt men toch hare beweging nauwkeurig waar, en let men daarbij op de grootte van hare middellijn, dan blijkt het, dat zij hare baan niet met gelijkmatige snelheid doorloopt en dat hare middellijn en hare snelheid gelijktijdig hare grootste en hare kleinste waarden bereiken.

Beide verschijnselen waren reeds aan de ouden bekend. Op

hunne waarnemingen werd door PTOLEMEUS (125 j. n. C.) eene hypothese gegrond, die naar hem het stelsel van PTOLEMEUS genoemd wordt. Volgens dit stelsel, dat eerst in de tweede helft der 16^e eeuw een bestrijder vond in COPERNICUS, behoudt de aarde steeds onbewegelijk dezelfde plaats in de ruimte. De gansche hemel wentelt zich dagelijks om haar, terwijl de zon nog daarenboven in een jaar hare eigene baan rondom de aarde beschrijft. De baan is echter niet cirkelvormig. Terwijl toch de zon met gelijkmatige snelheid zich beweegt op den cirkel MZ, en in de richting, die wij in

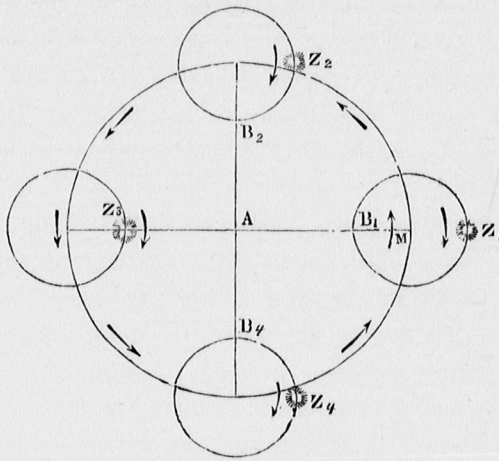


Fig. 10.

punt van den kleinen cirkel, den omtrek van deze steeds in hetzelfde punt snijdt, en dat het middelpunt van den kleinen cirkel of epicyclus den grooteren of deferent met gelijkmatige snelheid doorloopt in denzelfden tijd, als waarin de zon een ganschen epicyclus beschrijft, zal deze zich een vierde gedeelte van haren omloopstijd later in Z₂ bevinden. Na eenen halven omloopstijd zal zij in Z₃, na drie vierden van dien tijd in Z₄ en na den ganschen omloopstijd weder in Z₁ zijn gekomen.

Uit de aarde gezien, beweegt zich de zon, als zij in den stand Z₁ zich bevindt, met eene snelheid gelijk aan het ver-

Fig. 10 aanwijzen, een vierde gedeelte van dien cirkel doorloopt, verplaatst zich het middelpunt van deze, in de evenzoo daar aangewezen richting, langs den omtrek van een grooten cirkel. Daar men aanneemt, dat de lijn AM, van de aarde getrokken naar het middel-

schil, en in den stand Z_3 met eene snelheid gelijk aan de som van de snelheden, die zij zelf op den epicyclus en het middelpunt van deze op den deferent heeft. In de beide andere standen, wanneer de zon, uit de aarde gezien, zich op den epicyclus niet schijnt te bewegen, omdat zij zich dan rechtstreeks naar of van de aarde beweegt, is hare snelheid gelijk aan die van den epicyclus langs den deferent. Tevens zal uit de aangenomen vooronderstelling voortvloeien, dat de zon, als zij met de grootste snelheid zich schijnt te bewegen, in Z_3 , zoo kort mogelijk, en als die snelheid het kleinst schijnt, in Z_1 , zoo ver mogelijk van de aarde zal verwijderd zijn. In het eerste geval bereikt hare middellijn, uit de aarde gezien, een maximum, in het laatste een minimum. De betrekkelijke grootten der middellijnen van den epicyclus en den deferent konden daarenboven steeds zóó worden aangenomen, dat de waargenomen lengte van de middellijn der zon steeds zoo na mogelijk overeenkwam met de lengte, die uit den afstand van de zon tot de aarde voortvloeide.

30. COPERNICUS (1473—1543) wees het eerst, wij zeiden dit reeds boven, op de groote waarschijnlijkheid van de beweging der aarde om hare as en om de zon. Wat de laatste beweging betreft, vestigde hij er de aandacht op, hoe ook andere lichamen, van denzelfden rang als de aarde, zich om de zon bewegen.

De tegenwerping, dat, als de aarde en de planeten van denzelfden rang zijn, men bij deze, die dan donkere bollen zijn, dezelfde schijngestalten zou moeten waarnemen als bij de maan, werd spoedig uit den weg geruimd. GALILEI (1563—1642) toch, gebruik makende van de in zijnen tijd uitgevonden verrekijzers, ontdekte (1610) de schijngestalten van Venus. Eene andere tegenwerping, gegrond op de onwaarschijnlijkheid, dat de aarde bij haren loop om de zon de maan zou medenemen, verloor evenzoo veel van hare kracht, toen dezelfde sterrekundige in dat zelfde jaar drie manen van Jupiter ontdekte, en zodoende aantoonde dat, wat hier voor onwaarschijnlijk gehouden werd, elders in het heelal werkelijk plaats greep. Door deze ontdekkingen, zoowel als door het uitgeven zijner *samen-spraken*, droeg GALILEI er veel toe bij om het stelsel van

COPERNICUS algemeen ingang te verschaffen. De haat, dien de tegenstanders van dit stelsel tegen hem koesterden, was dan ook zoo fel, dat hij hem een vonnis van de Inquisitie berokkende, waarbij hij (1633) tot afzwering van zijne dwalingen en tot gevangenschap werd veroordeeld.

In het stelsel van COPERNICUS wordt zoowel de dagelijksche wenteling van de aarde om hare as als hare jaarlijksche beweging om de zon voorgesteld als de meest waarschijnlijke oorzaak der verschijnselen. Ter verklaring van de ongelijkmatige snelheid, waarmede de zon zich schijnt te bewegen, en van de daarmede in verband staande verandering in de lengte van hare middellijn, nam ook hij zijn toevlucht tot een epicyclus. Maar het was volgens hem de aarde, die zich, op de in de vorige § genoemde wijze, langs deze bewoog. En daar alle bijzonderheden van de beweging zich met behulp van eenen epicyclus niet volkomen lieten verklaren, nam hij een tweeden aan, wiens middelpunt zich op den eersten bewoog, even als het middelpunt van deze zich (Fig. 10) beweegt op den deferent.

In plaats van deze samengestelde verklaring stelde KEPLER (1571—1631) drie zeer eenvoudige wetten, volgens welke alle planeten zich om de zon bewegen, en die wij bij de beschouwing van het planetenstelsel zullen mededeelen. Hij ontdekte haar door de beschouwing van de menigvuldige en nauwkeurige waarnemingen van TYCHO BRAHÉ (1546—1601), een Zweedsch sterrekundige, en een der meest begaafde tegenstanders van het stelsel van COPERNICUS.

31. Wij behoeven ons thans niet meer, als COPERNICUS en zijne tijdgenooten, te vergenoegen met de groote waarschijnlijkheid van de beweging der aarde om de zon, daar men in de laatste twee eeuwen, door de verbetering der kijkers en der meetwerktuigen, werd in staat gesteld verschijnselen waar te nemen, die alleen uit deze beweging kunnen worden verklaard.

Reeds de bestrijders van het stelsel van COPERNICUS hadden er de aandacht op gevestigd, dat, zoo de aarde jaarlijks eene zoo uitgestrekte baan in het heelal aflegde, dit voor den waarnemer op aarde eene schijnbare beweging der vaste sterren

in tegenovergestelde richting moest ten gevolge hebben. GALILEI, schoon toegevende, dat dit inderdaad het geval moest zijn, merkte op, dat de groote afstand van de vaste sterren het onmerkbaar worden van het verschijnsel kon ten gevolge hebben.

Inderdaad is de hoek, tusschen de twee lijnen, in wier richting men uit twee elkander diametraal tegenovergestelde punten van de baan der aarde eene ster ziet, en die men het verschilzicht of de jaarlijksche parallaxis der vaste sterren noemt, gelijk aan den hoek, waaronder men in de vaste ster de middellijn van de loopbaan der aarde waarneemt. En deze hoek zal kleiner zijn, naarmate die ster verder is verwijderd. De schijnbare beweging van de zon aan den hemel is zelfs niets anders dan een gevolg van dezelfde parallaxis; zij is zoo groot omdat de zon betrekkelijk zoo kort bij de aarde is geplaatst. Bij de maan, het hemellichaam dat het naast bij de aarde staat, heeft zelfs eene verplaatsing van den waarnemer op de oppervlakte der aarde eene merkbare parallaxis ten gevolge. Het verschil in richting tusschen de lijnen, uit haar middelpunt getrokken naar twee plaatsen op aarde, die ver van elkander zijn verwijderd, is gelijk aan den hoek, waaronder men uit het middelpunt van de maan den afstand tusschen die twee plaatsen ziet.

In het begin der vorige eeuw deed BRADLEY eene eerste ernstige poging om de grootte der jaarlijksche parallaxis van eenige vaste sterren te bepalen. Uit een reeks van waarnemingen, die een tijdperk van drie jaren omvatten (1725—1728), leidde hij eene schijnbare beweging der vaste sterren af, die, zooals wij later zien zullen, sterker nog dan de door hem gezochte, pleitte voor de beweging der aarde om de zon, maar in de bijzonderheden van de parallaxis in alle opzichten verschilde. Het vruchteloze van zijn pogingen moet vooral worden geweten aan de methode, volgens welke hij waarnam; eene methode die, bij het gebruik van werktuigen onvolkomen als de zijne, tot geene zekere resultaten leiden kon. Terwijl hij toch dagelijks de plaats van eene ster rechtstreeks bepaalde, moesten de grootheden, hem door de waarneming onmiddellijk

geleverd, ontdaan worden van alles wat hare waarden kon wijzigen. De verandering van plaats, die na deze correctie overbleef, zou dan het gevolg der parallaxis zijn. Is deze echter zeer gering, en wij weten nu dat dit het geval is, dan zullen spoedig, als die plaatsbepalingen niet met volkomen juistheid geschied en die correctiën niet met de grootste nauwkeurigheid uitgevoerd zijn, de fouten in de resultaten der waarnemingen groot genoeg zijn om de plaatsverandering, die men zoekt, onmerkbaar te maken. En eene der oorzaken van plaatsverandering, wier invloed veel grooter is dan de parallaxis zelve, werd aan BRADLEY zelf eerst bekend uit de waarnemingen, die hij bij het opsporen van deze deed.

Ruim een eeuw later (1840) werd door BESSEL de parallaxis van eene ster (N^o 61 van de *Zwaan*) bepaald volgens eene methode, die door GALILEI reeds was aan de hand gedaan. Onder de sterren, die aan den hemel zoo kort bij elkander staan, dat zij gelijktijdig in het veld van den kijker zich vertoonen, zijn er vele, die alleen daarom zoo weinig van elkander verwijderd schijnen, dat zij uit de aarde gezien bijna in dezelfde rechte lijn liggen. Van deze dubbelsterren kan de eene zoo veel verder van ons verwijderd zijn dan de andere, dat de parallaxis voor deze merkbaar, voor gene onmerkbaar is. Voor beide deze sterren zijn sommige invloeden, onder anderen de invloed dien de breking van het licht in den dampkring heeft op de richting waarin zij worden gezien, dezelfde. Weet men dus een middel te vinden, om dagelijks den stand van de eene ten opzichte van de andere te bepalen, dan zullen de veranderingen in dien betrekkelijken stand, de parallaxis van de naast bij ons staande ster dadelijk leeren kennen. Zulk een hulpmiddel had BESSEL in den mikrometer, door FRAUENHOFER vervaardigd; uit metingen, met dit werktuig verricht, vond hij voor de jaarlijksche parallaxis der bovengenoemde ster eene grootte van 0.33 sekonde. Toen later de nauwkeurigheid der onmiddellijke plaatsbepaling haar toppunt had bereikt, door de verbetering der daartoe gebezigde hulpmiddelen, vond STRUVE langs dien weg voor de genoemde parallaxis dezelfde waarde. Van eenige andere sterren, bijv. van de helderste in de ster-

renbeelden *de Lier* en *Centaurus*, van de ster *Sirius*, van de *Poolster* kennen wij, door de onderzoekingen van STRUVE, MACLEAR, HENDERSON en PETERS, de parallaxis vrij nauwkeurig. Voor die van de ster in *Centaurus* is door MACLEAR 0.91 sekonden gevonden; zij heeft, voor zoover bekend is, de grootste parallaxis.

Daar dus de waarnemingen van verschillende sterren voor ieder van haar eene verschillende waarde der parallaxis leeren kennen, en die sterren in de kringetjes, die zij jaarlijks schijnen te beschrijven, steeds zich bevinden in een punt tegenovergesteld aan de plaats, die de aarde heeft in hare baan, kan de beweging van gene niet anders zijn dan een gevolg van het verschilzicht, ontstaan doordien deze zich beweegt om de zon.

32. Bij de schijnbare beweging van een vaste ster, die een gevolg is van de parallaxis, zal zij met de aarde en de zon steeds in één vlak moeten liggen. Daarenboven zullen de grootten der plaatsveranderingen, die men bij verschillende sterren waarneemt, omgekeerd evenredig zijn met de afstanden, waarop zij van ons zich bevinden.

BRADLEY nu vond uit zijne bovengenoemde waarnemingen eene beweging der vaste sterren, waarbij zij steeds zich bevinden in een vlak waarin ook de raaklijn, aan de baan der aarde getrokken in het punt waar deze zich bevindt, gelegen was. Ook was de grootte van de plaatsverandering voor alle sterren dezelfde. Zou men nu al dit laatste verschijnsel kunnen verklaren uit de zeer onwaarschijnlijke vooronderstelling, dat alle vaste sterren even ver van de aarde verwijderd zijn, dan wordt nog daardoor de eerstgenoemde zwaarigheid in geen deele opgelost. Een gevolg van eenig verschilzicht kon het verschijnsel niet zijn. BRADLEY zelf zocht en vond zijn ware oorzaak in de eindige verhouding, die er is tusschen de snelheid, waarmede het licht zich voortplant, en die, waarmede zich de aarde om de zon beweegt.

Richt men een kijker op een ster en wil men deze in het midden van het veld zien, dan zal men genoodzaakt zijn den kijker eenigszins te doen afwijken van de richting, waarin de lichtstralen het objectief treffen. Want terwijl het licht den

kijker doorloopt, gaat deze zelf vooruit met de aarde. Richt men dus den kijker zoo, dat, bij een stilstaande aarde, het licht door het objectief zou worden gebroken naar een punt in de optische as des kijkers, met andere woorden, richt men hem op de plaats die de ster werkelijk inneemt, dan zal haar beeld buiten die as vallen. Wil men dat het in haar valle, dan zal men den kijker van den zoo even genoemden stand moeten doen afwijken naar de zijde, waarheen zich de aarde beweegt. Evenzoo zal iemand, die, snel voortgaande door een loodrecht nedervallenden regen, een koker zoo wil houden, dat de druppels dien van het eene einde tot het andere doorloopen, genoodzaakt zijn dien koker voorover te houden. Deed hij zulks niet, dan zouden de drop-pels stuiten tegen den rand, die naar hem is toegekeerd

De grootte der afwijkingen hangt af van de verhouding tusschen de snelheid van het licht en die der aarde, en het is daarom dat het, als alle overige omstandigheden gelijk zijn, bij alle sterren op dezelfde wijze wordt waargenomen. Dat alleen deze afhankelijkheid bestaat is gemakkelijk in te zien. Is toch de kijker, waarmede men waarneemt, in het eene geval eenige malen langer dan in het andere, dan zal het licht een evenveel malen langeren tijd behoeven, om hem te doorloopen. De aarde zal dan in dien tijd evenveel malen verder zijn gekomen in hare baan, zoodat de driehoeken, wier rechthoeks zijden in beide gevallen de door het licht en de aarde in denzelfden tijd afgelegde wegen voorstellen, gelijkvormig en dus hunne top hoeken, die de grootte der afwijking aangeven, gelijk zullen zijn.

Men heeft het verschijnsel de aberratie van het licht genoemd. Zijne grootste waarde bereikt het, als de baan der aarde de lichtstralen rechthoekig snijdt; in dit geval toch komt de waarnemer, in den tijd dien het licht nodig heeft om den kijker te doorloopen, met betrekking tot de richting van de lichtstralen zooveel mogelijk vooruit. Deze grootste waarde noemt men de constante der aberratie: zij bedraagt $20''.44$. In elk ander geval zal deze constante moeten vermenigvuldigd worden met den *sinus* van den hoek, waaronder de baan der aarde de lichtstralen snijdt. De waarnemer komt dan

met betrekking tot de richting der stralen slechts zooveel vooruit, als de projectie bedraagt van den door hem afgelegden weg op een lijn, die loodrecht staat op die richting. En de hoek, dien de richting der lichtstralen maakt met die waarin de aarde zich beweegt, is van den hoek tusschen de baan der aarde en de genoemde loodlijn het complement. Hieruit volgt, hetgeen men ook gemakkelijk vooraf kan beredeneeren, dat de aberratie niet zal worden waargenomen als de stralen eener ster samenvallen met de richting waarin de aarde zich beweegt: in dit geval toch wordt *nul* de waarde van den genoemden sinus.

Wij willen thans nagaan, hoe het verschijnsel zich in den loop van een jaar bij de verschillende vaste sterren moet voordoen. Vooraf merken wij aan, dat aangezien wij bij haar geene parallaxis vooronderstellen, onze verklaring eerst recht duidelijk kan zijn, wanneer men zich de afmetingen van de aardbaan steeds zoo klein mogelijk voorstelt, kleiner bijv. dan

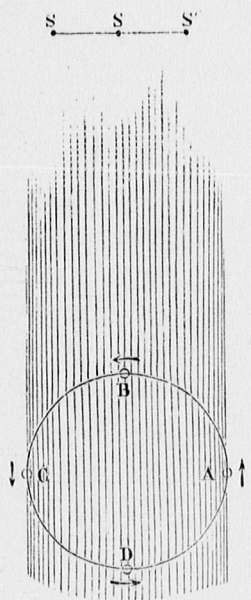


Fig. 11.

in S, moeten zien. Daar echter de aarde zich langs een cirkel beweegt, zal zij eenige dagen later de lichtstralen reeds

de afmetingen van den cirkel in Fig. 11. Elke ster verspreidt dan over die baan een bundel evenwijdige lichtstralen, en in dien bundel beweegt zich de aarde. Daar die beweging geschiedt volgens een kromme lijn, die van een cirkel weinig verschilt, en er in alle richtingen vaste sterren staan aan den hemel, zal zij gelijktijdig de verschillende straalbundels in verschillende richtingen doorloopen. Vooronderstellen wij in de eerste plaats, dat een ster S staat in het vlak der ecliptica, en dat de aarde als zij in A zich bevindt zich rechtstreeks naar haar toe beweegt. Op dien tijd zal dus de richting der stralen door aberratie niet worden gewijzigd; men zal de ster op hare ware plaats,

merkbaar schuins doorloopen. De ster zal dan verplaatst moeten schijnen naar de zijde waarheen zich de aarde beweegt, en die verplaatsing zal toenemen tot de aarde, in B gekomen, de lichtstralen rechthoekig snijdt. Zij zal dan hare grootste waarde ($20''.44$) moeten bereiken; de ster zal gezien worden in S'. Van dien tijd af zal de aberratie weder voortdurend moeten afnemen, tot zij *nul* wordt als de aarde, in C zich bevindende, zich rechtstreeks van de ster verwijderd. Terwijl deze nu weder gezien wordt op hare ware plaats, wijkt zij eenige dagen later, maar nu naar de andere zijde, daarvan af, om een vierde gedeelte van een jaar later, als de aarde, in D gekomen, hare stralen rechthoekig doorkruist, in die richting hare grootste verplaatsing te bereiken, waardoor zij dus schijnbaar in S'' staat. Gedurende het laatste vierde gedeelte van den omlooptijd, beweegt zij zich weder van S'' naar S, zoodat zij weder op hare ware plaats gezien wordt als de aarde in A is teruggekeerd.

Eene ster die in de ecliptica staat, moet dus in een jaar aan den hemel verplaatst schijnen te worden, langs een boogje, waarvan de lengte $40''.88$ bedraagt. Zij is in het midden van dat boogje, als de aarde rechts is in hare baan, en aan de uiteinden als de aarde, uit de ster gezien, in het midden van hare baan zich bevindt. Kortom, zij zal, bij hare jaarlijkse schijnbare beweging, steeds de aarde een vierde gedeelte van een ganschen omlooptijd vooruit moeten zijn.

Staat een ster in de as der loopbaan, dan zal de stralenbundel altijd loodrecht moeten staan op het vlak der baan. De aarde doorkruist die stralen dan altijd rechthoekig: zoodat de schijnbare verplaatsing steeds in haar grootste bedrag ($20''.44$) zou worden gezien, indien de snelheid van de aarde in hare baan steeds dezelfde was. De ster zou dan in een jaar een kleinen cirkel schijnen te beschrijven, waarvan de middellijn onder een hoek van $40''.88$ aan den hemel werd gezien; nu die snelheid, zooals later zal blijken, veranderlijk is, wordt hare schijnbare baan een ellips. Daar de schijnbare verplaatsing steeds geschiedt in het raakvlak aan de loopbaan, dat door de ster en de aarde gaat, en naar de zijde waarheen zich deze

beweegt, zal de ster steeds een vierde gedeelte van haren ganschen omloop verder moeten zijn dan de aarde.

Staat de ster noch in het vlak, noch in de as der loopbaan, dan zal zij evenzoo nooit op hare ware plaats kunnen gezien worden, daar de aarde nooit de ster rechtstreeks te gemoet zal gaan, of zich rechtstreeks van haar zal verwijderen. In twee punten van hare loopbaan, zal de aarde de lichtstralen rechthoekig snijden, terwijl in twee andere, juist midden tusschen gene gelegene punten, de hoek, dien hare richting met die der stralen maakt, zoo klein mogelijk is. De ster moet zich dus langs een ellips schijnen te bewegen, wier groote as onder een hoek van $20''.44$ wordt gezien en wier kleine as gelijk is aan het produkt van deze constante met den sinus van den hoek, waaronder in de twee laatstgenoemde punten de lichtstralen door de aardbaan worden gesneden.

In alle bijzonderheden overeenkomstig met de verschijnselen, die hier zijn afgeleid uit de vooronderstelling dat de aarde zich beweegt, zijn de resultaten, door de waarneming van verschillende sterren verkregen. Daarenboven is de waargenomen hoek van $20''.44$ juist de waarde, die de constante der aberratie, ten gevolge van de langs geheel verschillende wegen ontdekte snelheid van het licht, moet hebben. Dat deze overeenkomst een treffend bewijs is voor de juistheid der vooronderstelling, behoeft nauwelijks te worden aangemerkt.

Ook de dagelijksche beweging van de aarde om hare as veroorzaakt eene aberratie in de richting van het westen naar het oosten, die voor elke ster haar grootste waarde zal bereiken als zij door de meridiaan van een plaats gaat. Want haar hoogste bedrag bereikt zij slechts voor den waarnemer, als zijn eigen weg haren stralenbundel loodrecht snijdt. Daar echter de snelheid van eenig punt der aardoppervlakte, zelfs aan den aequator, met betrekking tot de snelheid van het licht veel kleiner is dan de snelheid van de aarde in haren baan om de zon, is de *constante der dagelijksche aberratie*, zelfs in vergelijking met die der jaarlijksche, zeer gering.

VIERDE HOOFDSTUK.

Over het planetenstelsel.

33. Vestigden wij in den aanvang onzer beschouwingen er de aandacht op, dat de sterrenhemel ons onveranderlijk gedurende de opeenvolgende jaren hetzelfde schouwspel aanbiedt, toch zal de oplettende beschouwer, onder al die steeds op dezelfde wijze gegroepeerde hemellichten, er eenige opmerken, die hun eigen weg aan den hemel schijnen te volgen. Sommige van deze schijnen bij die beweging aan regel noch maat gebonden, daar zij, nu eens van de linker- naar de rechterhand, dan weder van de rechter- naar de linkerhand voortgaande, in een jaar een aanzienlijk gedeelte van den hemel doorkruisen. Andere daarentegen houden zich op die heen- en weêrgaande beweging gedurende een jaar steeds op in denzelfden streek des hemels, maar hebben met de zoo even genoemden toch dit gemeen, dat de snelheid van hunne beweging op de meest grillige wijze verandert.

Twee van hen — of liever, voor hem die den hemel met het bloote oog beschouwt, slechts één — verwijderen zich gedurende eenigen tijd van de zon, naderen haar daarop, verwijderen zich vervolgens aan de andere zijde tot op ongeveer denzelfden afstand van haar, om dan weder terug te keeren, en deze heen- en weêrgaande beweging, ook al met veranderlijke snelheid, steeds voort te zetten. Geen wonder dus,

dat men, evenwel ook hier naar den schijn oordeelende, aan deze sterren den naam van dwaalsterren of planeten heeft gegeven.

Door haar kalmer licht onderscheidt men de met het bloote oog zichtbare planeten reeds van de flikkerende vaste sterren; en zoo men haar door een kijker beschouwt, dan vertoonen gene zich als verlichte schijfjes van vrij groote middellijn, terwijl deze zich nooit anders dan als heldere punten voordoen of als zeer kleine schijfjes, wier afmetingen geheel afhangen van den kijker dien men bezigt. En juist aan deze omstandigheid moet de groote flikkering der vaste sterren worden toegeschreven. Want terwijl de onregelmatige bewegingen in den dampkring het licht, dat schijnbaar van een punt uitgaande ons oog treft, bij snelle opeenvolging verzwakken en versterken, zal eene verzwakking van het licht, dat van het eene gedeelte van een schijfje aan ons wordt toegezonden, gepaard gaan met een sterker licht van andere deelen, zoodat de geheele indruk ongeveer dezelfde blijft.

34. De onregelmatige beweging der planeten trachtte men in het stelsel van PTOLOMEUS te verklaren door aan te nemen, dat zij zich even als de zon om de aarde bewogen. Het aantal epicyclen, dat men noodig had om verschijnselen, die grootendeels het gevolg zijn van de verplaatsing der aarde zelve, te verklaren in de vooronderstelling dat zij zich niet bewoog, was zóó groot, de geheele inrichting van het planetenstelsel zóó samengesteld, dat scherpzinnige mannen, zonder een betere verklaring te kunnen geven, aan de juistheid der algemeen aangenomene twijfelden. De uiting van dezen twijfel kostte aan ALPHONSUS, koning van Castilie, den troon.

TYCHO BRAHÉ, schoon vasthoudende aan het denkbeeld, dat de zon zich om de aarde bewoog, nam daarbij gene aan als het middelpunt, waarom de planeten hare cirkelvormige banen beschreven. De bijzonderheden van hare bewegingen, zooals die uit de aarde gezien worden, volgden vrij nauwkeurig uit deze vooronderstelling. En dit was evenzoo het geval wanneer

men, volgens het *stelsel van* COPERNICUS, de zon aannam als het middelpunt, waarom zoowel de aarde als de planeten zich bewogen.

Daar wij in het vorige hoofdstuk reeds zagen, dat de aarde niet voortdurend dezelfde plaats in de ruimte inneemt, behoeven wij niet meer te kiezen tusschen de beide laatstgenoemde verklaringen. Maar ook voor dat BRADLEY de jaarlijksche aberratie van het licht der vaste sterren (§ 32) ontdekte, had de door GALILEI (§ 30) opgemerkte overeenkomst, die in andere opzichten tusschen de aarde en de beide grootste planeten bestond, het stelsel van COPERNICUS als het meest waarschijnlijke leeren kennen. Toch wordt het verband, dat er is tusschen de veranderingen in de snelheden en in de afmetingen der planeten, ook in dit stelsel niet volkomen verklaard. Om in dit opzicht bij de zon waarnemingen en theorie met elkander te doen overeenkomen, zagen wij reeds boven (§ 29) COPERNICUS genoodzaakt, de aarde voor te stellen als zich bewegende op den omtrek van een tweeden epicyclus.

35. De ongenoegzaamheid van het stelsel van COPERNICUS bleek aan KEPLER uit de waarnemingen van planeten, door TYCHO met eene voor zijn tijd bewonderenswaardige nauwkeurigheid gedaan. Uit haar leidde hij achtereenvolgens de drie wetten af, die, algemeen bekend onder den naam van de *wetten van* KEPLER, de beweging der planeten om de zon met zulk eene juistheid voorstellen, dat zij niet slechts in lateren tijd door alle waarnemingen zijn bevestigd, maar zelfs als gevolg zijn afgeleid uit de oorzaak dier beweging.

Deze drie wetten zijn de volgende:

- 1°. alle planeten bewegen zich om de zon langs ellipsen, in een van wier brandpunten het middelpunt van deze geplaatst is;
- 2°. de tijden, waarin zij de verschillende deelen van hare banen doorloopen, zijn evenredig met de inhouden der vlakke-uitgebreidheden, die een lijn, van de zon naar haar getrokken, in die tijden beschrijft;

3°. van de halve groote assen der banen, verhouden zich de derde machten als de tweede machten van de omlooptijden.

De eerste en tweede wet werden door KEPLER reeds medegedeeld (1609) in zijne beschouwingen betreffende den loop van de planeet *Mars*; de derde ontdekte hij eerst later (1618). Wij zullen haar elk afzonderlijk nader verklaren, en aantoonen hoe volgens haar de beweging der planeten uit de aarde moet gezien worden. De wensch, om de meest vreemdsoortige bespiegelingen omtrent den bouw van het planetenstelsel door de feiten bewaarheid te zien, deed KEPLER onvermoeid zijne onderzoekingen voortzetten. De drie genoemde wetten waren hem eigenlijk slechts zoovele bijzaken, die dienen moesten om de juistheid van zijne denkbeelden omtrent dien bouw in het licht te stellen, en het is hieraan toe te schrijven, dat deze wetten niet spoedig algemeen uit zijne geschriften bekend werden.

36. De ellips is eene van de lijnen, die ontstaan, als een rechte cirkelvormige kegel door een plat vlak wordt gesneden, en die men daarom *kegelsneden* noemt. Reeds meer dan twee eeuwen voor onze jaartelling hadden deze lijnen een voorwerp van onderzoek uitgemaakt voor APOLONIUS van *Perga*. Het was door kennis te nemen van de zuiver theoretische beschouwingen van dien wiskundige, dat KEPLER op het denkbeeld kwam te beproeven in hoeverre de schijnbare bewegingen der planeten konden verklaard worden door aan te nemen, dat zij zich op eene der lijnen, de ellips, bewogen. Deze lijn ontstaat, als het oppervlak van een rechten cirkelvormigen kegel door een plat vlak wordt gesneden, dat niet loodrecht staat op de as en ook niet evenwijdig loopt met eene der beschrijvende lijnen. In het eerste geval gaat de *ellips* over in een cirkel, in het laatste wordt zij de niet gesloten kromme lijn, die men onder den naam van *parabool* reeds heeft leeren kennen bij de beschouwing van de banen, die schuins weggeworpen lichamen bij het vallen beschrijven. Slechts bij éenen stand van het vlak wordt dus de doorsnede een cirkel en evenzoo

wordt zij slechts bij éénen stand een parabool. Laat men het vlak, nadat het evenwijdig is geworden met eene beschrijvende lijn, verder wentelen, en denkt men zich den kegel dubbel, dan zal (Fig. 12) ook het bovenste gedeelte van zijn opper-

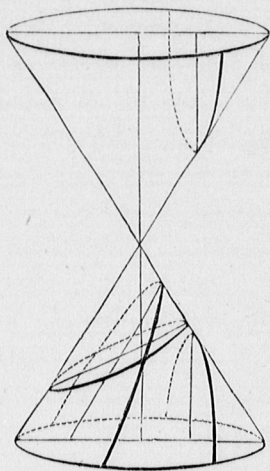


Fig. 12.

vlak worden gesneden. De doorsnede is nu een kromme lijn, met twee takken, die elk in het bijzonder niet gesloten zijn; men noemt haar de *hyperbool*.

Met een van de *brandpunten* der ellips nu, waarlangs zich de planeet beweegt, valt het middelpunt der zon samen. De ellips heeft twee zulke brandpunten: zij zijn binnen haren omtrek zóó gelegen, dat de som der rechte lijnen, uit beide naar een willekeurig punt van den omtrek getrokken, steeds dezelfde waarde heeft. Zij is gelijk aan de lengte der langste lijn, die men tusschen twee punten

van dien omtrek trekken kan, en die men de groote as der ellips noemt. Men heeft deze punten brandpunten genoemd, omdat stralen, die, van een van beide uitgaande, op den omtrek eener ellips worden teruggekaatst, noodzakelijk door het andere punt moeten gaan; eene eigenschap, die alleen daarvan het gevolg is, dat de twee lijnen, uit de beide brandpunten naar een willekeurig punt van den omtrek getrokken, met de raaklijn in dat punt gelijke hoeken maken.

Gaat de ellips over in een cirkel, dan vallen beide brandpunten samen in het middelpunt. Hoe nader de kromme lijn komt aan den cirkel, des te minder zijn hare brandpunten van dat middelpunt verwijderd; met andere woorden, des te minder *excentriek* of *uitemiddelpuntig* is de ellips. De twee gelijke hoeken, door de beide voerstralen van een punt met de raaklijn in dat punt gevormd, gaan dan ook al meer en meer tot rechte hoeken over; vallen eindelijk beide brandpun-

ten in het middelpunt samen, dan worden die twee gelijke hoeken elk in 't bijzonder recht, omdat de ellips dan in een cirkel overgaat.

Gaat de ellips over in een parabool, dan verwijderd zich een van de brandpunten op oneindigen afstand. De voerstraal uit het andere brandpunt naar een willekeurig punt van den omtrek getrokken, maakt dan met de raaklijn in dat punt een hoek, gelijk aan den hoek door de raaklijn en de groote as gevormd. Stralen, die, uitgaande van dit brandpunt, door deze kromme lijn teruggekaatst worden, zullen dus evenwijdig zijn met de groote as.

37. Op zulk een ellips nu beweegt zich de planeet met eene snelheid, wier veranderlijkheid door de tweede wet van KEPLER wordt uitgedrukt. De tijden, waarin zij de verschillende deelen AB en CD (Fig. 13) van hare baan doorloopt, zijn evenredig met de inhouden van de sectoren AZB en CZD, door de voerstralen in die tijden beschreven.

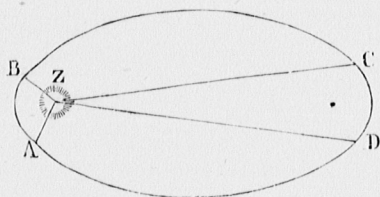


Fig. 13.

Daar nu de zon in een der brandpunten geplaatst is, zal er een groot verschil kunnen zijn tusschen de inhouden der sectoren, die op bogen van

dezelfde lengte staan. Neemt men aan, dat de boog CD even lang is als de boog AB, dan zal de tijd, dien de planeet gebruikt om CD te doorloopen, zooveel malen langer zijn, dan de tijd, waarin zij AB doorloopt, als de sector AZB in den sector CZD is begrepen. Terwijl dus de planeet hare kleinste snelheid heeft, als zij zoo ver mogelijk van de zon verwijderd of in haar *aphelium* is, zal zij in het tegenovergestelde geval, in haar *perihelium*, hare grootste snelheid bereiken.

Geringe snelheid en een kleine middellijn, groote snelheid en

een groote middellijn, moeten dus bij de aarde, als zij uit de zon wordt gezien, steeds samengaan. En omgekeerd zal de middellijn der zon, als zij met hare grootste snelheid zich in hare baan schijnt te bewegen, uit de aarde onder een grooteren hoek worden gezien, dan wanneer hare snelheid klein is. Eene overeenkomst van verschijnselen, die men reeds sedert den vroegsten tijd had waargenomen, en door de epicyclen had trachten te verklaren.

38. De derde wet van KEPLER geeft een eenvoudig middel aan de hand om, wanneer men de lengte van de groote as eener planetenbaan door berekening uit de waarnemingen heeft afgeleid, onmiddellijk tot den duur van haren omloopstijd te besluiten. Want in de evenredigheid, door die wet uitgedrukt, *de derde machten der halve groote assen staan tot elkander als de tweede machten der omloopstijden*, zijn, als men de aarde aanneemt als de planeet, waarbij men eene andere wil vergelijken, drie termen gegeven, te weten: de twee halve groote assen van beide planetenbanen en de omloopstijd der aarde.

X Uit deze wet blijkt, dat de planeten een des te kleinere snelheid hebben, naarmate zij verder van de zon verwijderd zijn. Want vooronderstellen wij dat twee planeten zich langs cirkels om de zon bewegen, dan zouden zij gemiddeld dezelfde snelheid hebben als de tweede machten der omloopstijden zich verhielden als de tweede machten der stralen: dan toch werden gemiddeld in gelijke tijden gelijke banen afgelegd. Nu echter de verhouding der omloopstijden gelijk is aan die van de *derde* machten der halve groote assen, is de snelheid van de buitenste planeet kleiner dan die van de binnenste.

39. De ons thans bekende planeten zijn, wanneer wij haar opnoemen zooals zij, van de zon uitgaande, op elkander volgen: Mercurius, Venus, de Aarde, Mars, de Asteroïden, Jupiter, Saturnus, Uranus en Neptunus.

Vijf van haar, *Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus*, waren in de vroegste tijden bekend. Wat de *Aarde*

betreft zagen wij, dat zij als zoodanig eerst bekend en vrij algemeen erkend is sedert het einde van de zeventiende eeuw.

De *Asteroïden* vormen tusschen de banen van Mars en Jupiter een ring van meer dan honderd zeer kleine planeten. De eerste van deze werd op den 1sten Januari 1801 ontdekt door PIAZZI te Palermo, de tweede den 28sten Maart 1802 door OLBERS te Bremen, de derde den 1sten September 1807 door HARDING te Liliënthai, de vierde den 23sten Maart 1807 weder door OLBERS te Bremen. Bij deze vier bleef het tot in 1844. Men gaf haar de namen Ceres, Pallas, Juno en Vesta. Sedert laatstgenoemd jaar is hun getal zoo sterk toegenomen, dat men reeds de gansche mythologie heeft geplunderd, en tot de tragediën en heldendichten der ouden zijn toevlucht heeft moeten nemen, om haar van namen te voorzien. Behalve door dien naam, duidt men haar gewoonlijk aan door een cijfer, dat uitdrukt de hoeveelste der asteroïden zij is naar de volgorde van hare ontdekking. De laatste ontdekte is N° 236; zij werd gezien door Palisa te Weenen en draagt den naam *Honorio*.

Uranus, op een na de buitenste planeet van het stelsel, was door hare langzame beweging (§ 38) lang als planeet onopgemerkt gebleven, tot HERSCHEL (de oudere) den 13den Maart 1781 ontdekte, dat zij zich bewoog en dat zij zich vertoonde als een schijfje met meetbare afmetingen. Hij hield haar eerst voor een der hemellichamen van vreemde gedaante, die wij later onder den naam van kometen zullen leeren kennen, en wel voor een komeet zonder staart. Zoodra echter de gedaante van hare baan nader bekend werd, rangschikte men haar, en te recht, onder de planeten.

Wat de planeet *Neptunus* aangaat, hare ontdekking is van een gansch anderen aard dan die van al de tot hiertoe genoemden. Terwijl deze toch als het ware toevallig werden gevonden, werd de noodzakelijkheid van het bestaan van gene aangetoond, ja zelfs de streek des hemels aangegeven waar zij zich moest ophouden, vóór iemand haar had gezien. Zonder in deze zaak nu reeds dieper te willen indringen, zal het voor

ieder, die bedenkt dat de aantrekkingskracht den loop der planeten bepaalt, duidelijk zijn, dat deze lichamen onderling op elkanders loop invloed uitoefenen. Wanneer dus de planeet Uranus bijv. wordt gehouden voor de buitenste planeet van het stelsel en men, van deze vooronderstelling uitgaande, haren loop berekent, dan zullen waarneming en berekening niet kunnen overeenstemmen, wanneer niet zij maar een andere planeet de buitenste is. Deze zal nu eens nabij Uranus komen, dan weder zeer ver van haar verwijderd zijn, en het verschil in de grootte en richting der aantrekking, dat dit verschil in afstand moet veroorzaken, zal, daar de grootte der aantrekking aan de tweede machten der afstanden omgekeerd evenredig is, op de beweging een merkbaren invloed uitoefenen. Het is dan ook, uitgaande van het gebrek aan overeenkomst, dat er bestond tusschen de beweging van Uranus, zooals die uit de opzettelijke waarneming volgde, en de loopbaan waaraan plaatsen voldeden bepaald in den tijd toen men de planeet nog hield voor een vaste ster, dat twee sterrekundigen, LEVERRIER te Parijs en ADAMS te Cambridge, afleidden, waar aan den hemel op den 1sten Januari 1847 de planeet zich moest bevinden, wier bestaan men vermoedde. Beide geleerden werkten geheel onafhankelijk van elkander; de eerste gaf zijne resultaten het eerst — 1 Juni 1846 — in het licht, zoodat de eer der ontdekking hem toekomt. Want de planeet was ondekt; GALLE te Berlijn zag haar den 23sten September 1846 op een afstand van nog geen graad van de plaats, die zij toen volgens de berekening moest innemen. Ofschoon gedurende korten tijd de planeet den naam van haar ontdekker heeft gedragen, is haar toch later met algemeene toestemming der sterrekundigen de naam Neptunus gegeven.

Ook in de beweging van de planeet *Mercurius* zijn onregelmatigheden, die uit het bestaan van eene nog tusschen haar en de zon loopende planeet zouden kunnen verklaard worden. Misschien is het hieraan toe te schrijven, dat sedert de laatste helft der vorige eeuw velen gemeend hebben, dat zij zwarte schijfjes, zelfs ringen van zwarte schijfjes, voorbij de zon heb-

ben zien gaan. Gedurende eenige dagen van het voorjaar van 1860 meende men de nieuwe planeet ontdekt te hebben. LES-CARBAULT toch, een fransch dilettant-astronoom, meldde den 22sten December 1859 aan LEVERRIER, dat hij op den 26sten Maart van dat jaar een planeet over de zonnescijf had zien trekken. Tegen de juistheid zijner waarneming zijn echter bedenkingen in het midden gebracht, die het niet raadzaam doen achten het bestaan dier binnenplaneet als zeker aan te nemen.

40. De betrekking tusschen de afstanden van de verschillende planeten tot de zon, wordt ten naasten bij uitgedrukt door een reeks van getallen, die op zeer eenvoudige wijze wordt gevormd. Als men toch bij elk der getallen

0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192,

vier telt, dan verkrijgt men de getallen

4, 7, 10, 16, 28, 52, 100, 196,

die, als men in plaats van de Asteroïden eene planeet stelt, wier afstand van de zon het gemiddelde van den afstand dezer kleine planeetjes is, vrij wel de genoemde verhouding uitdrukken. Inderdaad is, als men den gemiddelden afstand van de aarde tot de zon voorstelt door het getal 10,

die van Mercurius.	3.87
” ” Venus.	7.23
” ” Mars.	15.24
” ” de Asteroïden . .	28
” ” Jupiter	52.03
” ” Saturnus.	94.39
” ” Uranus	191.83.

Voor den gemiddelden afstand van Neptunus zou volgens deze reeks het getal 388 gelden. Daar die afstand slechts ruim 30 malen zoo groot is als die van de aarde tot de zon, voldoet deze planeet het minst van alle aan de reeks. Wij hebben dan hier ook slechts te doen met een regelmaat, die toevallig de aandacht heeft getrokken, geenszins met een wet, die noodzakelijk moet volgen uit de omstandigheid, dat de bouw van het planetenstelsel afhangt van de algemeene aantrekkingskracht. Toch heeft men aan haar den naam van *wet*

van BODE of meer algemeen, dien van *wet van TITUS* gegeven. De eerste draagt zij, omdat BODE in 1772 het eerst op die regelmaat de aandacht heeft gevestigd; de laatste omdat BODE zelf verklaard heeft, dat hij haar uit een door TITUS vertaald Fransch geschrift heeft overgenomen.

Zeker is het, dat men in het laatst van de vorige eeuw aan deze zoogenoemde wet zooveel vertrouwen schonk, dat men, de gaping opmerkende tusschen de afstanden van Mars en Jupiter tot de zon, over de planeet, die haar moest aanvullen, sprak als over eener zeker bestaande maar slechts nog niet ontdekte. De asteroïden hebben de ledige plaats zeer goed aangevuld. De afstand, waarop de planeet, die op Uranus volgde, volgens de reeks van de zon moest verwijderd zijn, was eene van de gegevens, waarvan LEVERRIER bij het opsporen van Neptunus heeft gebruik gemaakt.

41. Uit de aarde gezien kan men de planeten verdeelen in binnen- en buiten-planeten. De eersten zijn nader bij de zon geplaatst dan de aarde en bewegen zich met grootere snelheid dan deze (§ 38); de laatsten, die verder dan de aarde van

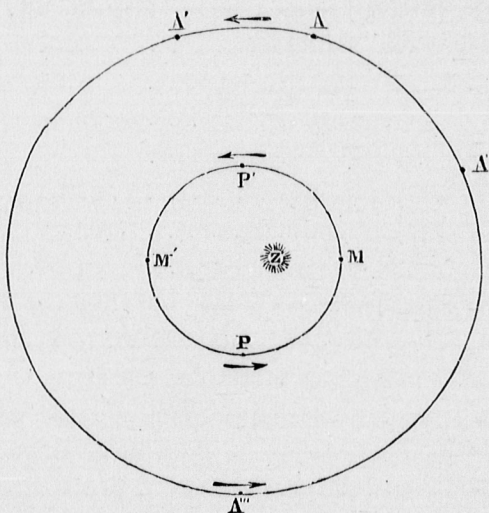


Fig. 14.

de zon afstaan, bewegen zich daarentegen langzamer dan zij.

De binnenplaneten zijn Mercurius, die in 88 dagen, en Ve-

nus, die in 225 dagen om de zon loopt; uit deze gezien, bewegen beide planeten zich van de rechter- naar de linkerhand. Terwijl dus Mercurius, een halven omloop volbrengende, van M naar M' komt (Fig. 14), volbrengt de aarde slechts ongeveer een achtste gedeelte van een geheelen omloop, zoodat zij zich bij voorbeeld verplaatst van A naar A'. Toen de aarde in A was, zag men de planeet aan den hemel in de richting A M, dus links van de zon; nu zij in A' is gekomen, ziet men op haar de planeet in de richting A' M', dus zoover mogelijk rechts van de zon. Stonden de zon, de aarde en de planeet in hetzelfde vlak, dan zou men deze een boog van de ecliptica zien beschrijven, die ongeveer den hoek meet, waaronder de groote as van de loopbaan uit de aarde wordt gezien. Daarbij zou, bij elken omloop van de binnenplaneet, deze tusschen de aarde en de zon komen, en alsdan als een zwart schijfje voor de zon worden gezien. Nu echter de vlakken, waarin de loopbanen der planeten liggen, met dat van de ecliptica een hoek maken, zal zulk een gaan van een binnenplaneet over den zonneshijf slechts worden waargenomen in het bijzondere geval, dat de zon, de aarde en een van de *knoopen* of snijpunten van de planetenbaan met de ecliptica in een rechte lijn liggen op het oogenblik, dat de planeet zich in of zeer nabij een dier knoopen bevindt. Tevens zal de baan der planeet, uit de aarde gezien, eene geslotene kromme lijn zijn, die gedeeltelijk boven, gedeeltelijk beneden de ecliptica is gelegen.

Bevindt zich een planeet rechts van de zon dan gaat zij *voor* haar op en onder; zij gaat *na* de zon op en onder, als zij zich links van deze bevindt. Een binnenplaneet zal dus eerst gedurende eenigen tijd zich kort vóór het opgaan der zon als *morgenster* vertoonen in het oosten. Meer en meer de zon naderende, zal zij eindelijk bijna gelijktijdig, daarna gelijktijdig en vervolgens wederom bijna gelijktijdig met de zon op- en ondergaan en zich dus verliezen in hare stralen. Maar uit de aarde gezien, komt zij nu dagelijks meer links van de zon te staan, zoodat zij na eenigen tijd aan de wes-

terkim wordt gezien, als de zon pas is ondergegaan. Zij is nu van morgenster overgegaan in *avondster*. Mercurius en Venus kunnen dus beide beurtelings morgen- en avondster zijn. Toch draagt de laatstgenoemde bij voorkeur die namen. Want Mercurius is zeer klein en verwijderd zich betrekkelijk weinig van de zon; in de gunstigste gevallen alleen, kan zij met het bloote oog worden waargenomen, op de dagen dat zij zich uit de aarde gezien meest — 23 graden — rechts of links van de zon bevindt. Venus daarentegen is voor de nabij haar geplaatste aardbewoners een vrij groote planeet en haar afstand van de zon kan, als zij het meest rechts of links van deze wordt gezien, 48 graden bedragen. In vroegere tijden hield men de morgen- en de avondster voor twee verschillende hemellichamen, waaraan men de namen *Lucifer* en *Vesper* gaf. De opmerking echter, dat op het verdwijnen van de eene altijd binnen zeker tijdsverloop het verschijnen van de andere volgde, bracht spoedig op het denkbeeld, dat men hier slechts met een en hetzelfde lichaam te doen had.

In de snelheid waarmede een binnenplaneet zich uit de aarde gezien in hare baan beweegt, bestaat grooter veranderlijkheid dan uit de tweede wet van KEPLER voortvloeit. Dit verschil is toe te schrijven aan de omstandigheid dat de aarde zelve zich beweegt. Voorondersteld dat deze zich in A''' bevindt als de planeet in P is; daar de planeet eene grootere eigene snelheid heeft dan de aarde, zal men gene steeds zien vooruitgaan aan den hemel, maar toch, daar beiden zich in dezelfde richting bewegen, slechts met eene snelheid gelijk aan het *verschil van de beide snelheden*. Het zelfde verschijnsel zal zich voordoen als wat men waarneemt, wanneer een rijtuig, waarin men zich bevindt, door een ander wordt ingehaald; dit laatste schijnt slechts met het verschil der snelheden te vorderen. Is daarentegen de betrekkelijke stand der beide lichamen zóó als die door A''' en P' wordt aangeduid, dan ziet men de planeet zich voortbewegen met *de som der snelheden*. Het verschijnsel is nu overeenkomstig met dat, hetwelk men waarneemt als twee spoortreinen elkander voorbijgaan. Slechts dan wanneer de pla-

neet zich rechtstreeks naar of van de aarde beweegt, bijv. bij de betrekkelijke standen die door MA en $M'A'$ ongeveer worden aangewezen, zal de eerste zich schijnen te bewegen met de snelheid die de aarde werkelijk heeft.

42. De schijnbare beweging van een buitenplaneet is aan nog veel meer veranderingen onderhevig. In de eerste plaats zij opgemerkt, dat elk dier planeten, uit de aarde gezien, den ganschen hemel kan doorloopen. De tijd echter, dien zij daartoe bezigt, is des te grooter naarmate zij verder van de aarde is verwijderd, zoodat de banen, die de verst verwijderde buitenplaneten, bijv. Neptunus, aan den hemel in een jaar schijnen te beschrijven, grootendeels de afspiegeling onzer eigene beweging, dus een gevolg van verschilzicht zijn. Zij (Fig. 15) N een buitenplaneet, die van hare baan den boog $N_1 N_4$ doorloopt in den tijd, die de aarde behoeft om eens een ganschen loop om de zon te volbrengen. Zij de aarde in A_1 als de

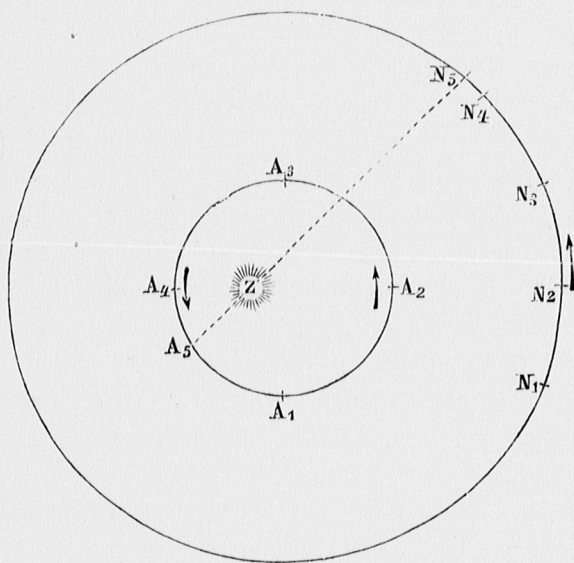


Fig. 15.

planeet in N_1 is, dan ziet men deze met hare eigene snelheid voorwaarts gaan, omdat de richtingen der bewegingen

elkander rechthoekig kruissen. Een vierde gedeelte van een jaar later is de aarde in A_2 de planeet N_2 gekomen; beide bewegen zich in dezelfde richting, maar de planeet met een kleinere snelheid dan de aarde. Gene schijnt met het verschil der snelheden achteruit te gaan en werkelijk ging zij reeds schijnbaar achteruit sedert het oogenblik, dat de *projectie* van de snelheid der aarde op de richting van de baan der planeet aan de snelheid van deze gelijk was. Op dat oogenblik zelf stond de planeet schijnbaar stil aan den hemel. Wederom een vierde van een jaar later is de aarde in A_3 de planeet in N_3 ; beide bogen kruisen elkander weder bijna rechthoekig, zoodat de planeet nu ook weder met hare eigene snelheid vooruit schijnt te gaan. Tusschen het schijnbare achteruitgaan in N_2 en het vooruitgaan in N_3 is weder een oogenblik van schijnbaren stilstand geweest. Nog een vierde van een jaar later is de aarde in A_4 , de planeet in N_4 . Deze is sedert het tijdstip, waarop wij haar het laatst beschouwden, schijnbaar al sneller en sneller vooruitgegaan. Nu beweegt zij zich met eene snelheid die bijna gelijk is aan de som van de snelheden, die beide lichamen werkelijk hebben; even later, als de planeet, de zon en de aarde bijna in een rechte lijn staan, zal deze schijnbare snelheid inderdaad die waarde bereiken. In het jaar, dat wij beschouwden, ging dus schijnbaar de planeet eerst langzaam vooruit (in N_1) toen achteruit (in N_2) later weder vooruit (in N_3) om eindelijk, van N_3 tot N_4 al sneller en sneller voortgaande, in N_5 hare grootste snelheid te bereiken. Dit maximum van snelheid wordt bereikt, als de zon juist geplaatst is tusschen de planeet en de aarde (N_5 Z A_5); men noemt de planeet dan in *conjunctie* met de zon, omdat beide uit de aarde ongeveer in dezelfde richting gezien worden. Het is duidelijk dat in dit geval de planeet niet zal kunnen worden waargenomen, daar zij gelijktijdig met de zon aan den hemel is. Is de planeet in *oppositie*, dat wil zeggen, staan de planeet en de zon, uit de aarde gezien, ongeveer in tegenovergestelde richting (N_2 A_2 Z), dan is van de schijdbare achteruitgaande beweging de snelheid zoo groot mogelijk, en wel

gelijk aan het verschil van de snelheden der beide planeten.

43. Reeds in den aanvang onzer beschouwingen (§ 30) deelden wij mede, hoe de tegenstanders van het stelsel van COPERNICUS de opmerking maakten, dat Venus, als de aarde met haar van denzelfden rang was, ons schijngestalten moest vertoonen, die, even als dit bij de maan het geval is, elkander regelmatig moesten opvolgen. Wij voegden er bij, dat GALILEI deze gestalten waarnam en willen thans aantoonen, dat zij zich inderdaad bij elke *binnenplaneet* in dezelfde opeenvolging als bij de maan moeten vertoonen; alleen geschiedt het wassen en afnemen van zulk een planeet juist van de tegenovergestelde zijde als bij de maan.

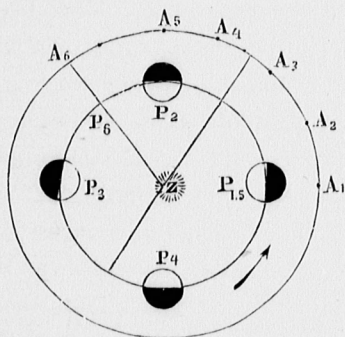


Fig 16.

Zij (Fig. 16) A de aarde, P een binnenplaneet, die eenen omloop volbrengt in een vierde gedeelte van den omloopstijd der aarde.

Op het oogenblik, dat de aarde in A₁ en de planeet in P₁ is, keert deze hare donkere helft aan gene toe. De planeet en de zon zijn dan gelijktijdig aan den hemel, daar zij uit de aarde

in dezelfde richting gezien worden.

Is de planeet in P₂ gekomen en de aarde in A₂, dan valt de lijn, die beide verbindt, bijna in het vlak van den cirkel, die op de planeet licht van duisternis scheidt. Een waarnemer op aarde ziet deze aan de linker zijde ongeveer voor de helft verlicht, en iets later, als die lijn geheel in dat vlak valt, zal zij zich vertoonen als een halve cirkel.

Een vierde gedeelte van den omloopstijd der planeet later, als de aarde in A₃ en de planeet in P₃ is gekomen, is van hare verlichte helft op aarde reeds veel meer dan de helft zichtbaar, zooals blijkt, wanneer men door het middelpunt van P₃ een lijn loodrecht op A₃P₃ trekt. En dat zichtbare

verlichte gedeelte neemt toe, tot op het oogenblik van het volgende vierde gedeelte van den omloopstijd, waarop de aarde, de zon en de planeet in eene rechte lijn komen te staan. Dan is de gansche verlichte helft der planeet naar de aarde toegekeerd; maar, daar zij wederom gelijktijdig met de zon aan den hemel is, zal men haar in deze *phase* niet kunnen waarnemen.

Van dit oogenblik af is weder een gedeelte van de duistere helft der planeet op de aarde zichtbaar. Is zij in P_4 en de aarde in A_4 , dan zal, uit deze gezien, de middellijn der planeet reeds aan de linker zijde merkbaar zijn afgenomen; en dit duistere gedeelte zal grooter worden, naarmate beide zich voortbewegen. In den stand $A_5 P_5$ is reeds bijna de gansche linker helft van den schijf donker en in een kort daarop volgend tijdstip zal dit inderdaad het geval zijn. En dit afnemen der planeet gaat voort tot deze, in $A_6 P_6$, als de middelpunten der drie lichamen in eene rechte lijn liggen, weder hare donkere helft naar de aarde heeft gekeerd.

Bij eene binnenplaneet, als de in onze figuur voorgestelde, volgen dus de verschillende schijngestalten in iets meer dan vijf vierde gedeelten van een omloopstijd regelmatig op elkan-

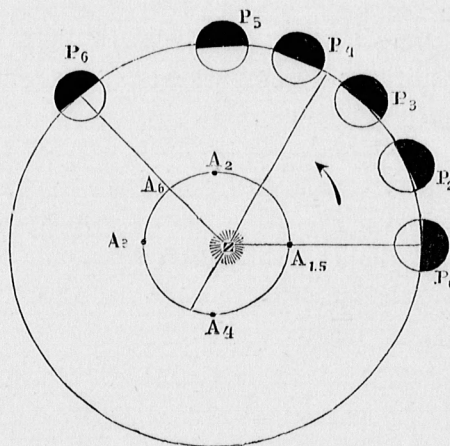


Fig. 17.

der. Bewogen beiden zich met gelijkmatige snelheid langs cirkels, wier gemeenschappelijk middelpunt door de zon wordt ingenomen, dan zou de berekening $1\frac{1}{3}$ omloopstijd der planeet geven voor den tijd, waarna een bepaalde phase moest terugkeeren.

43. Bij een *buitenplaneet* zal men deze

regelmatige opeenvolging der schijngestalten niet waarnemen. Zij bijv. P. (Fig. 17) een buitenplaneet, die een vierde gedeelte van eenen omloop volbrengt in den omloopstijd der aarde. In den stand $Z A_1 P_1$, dat wil zeggen als de zon en de planeet in *oppositie* zijn, heeft deze hare verlichte helft rechtstreeks naar de aarde gekeerd. Drie maanden later, als de aarde en de planeet in A_2 en P_2 gekomen zijn, zal deze, uit de aarde gezien, aan de linkerzijde een weinig zijn afgenomen. Maar dit afnemen zal niet regelmatig voortgaan als beide verder komen in hare baan. Integendeel, als drie maanden daarna de aarde in A_3 en de planeet in P_3 zich bevindt, keert deze reeds weder haar verlichte helft bijna geheel naar de aarde, en dit zal op een tijdstip, dat in de volgende drie maanden valt, werkelijk zoo zijn, daar dan de zon en de planeet in *conjunctie* komen.

In ons geval zal dit plaats hebben acht maanden na het oogenblik waarop beide in oppositie waren, ten minste wanneer wij weder aannemen, dat zij zich met gelijkmatige snelheid bewegen in concentrieke cirkelvormige banen.

Is de aarde tot in A_4 en de planeet tot in P_4 gevorderd, dan zal men deze weder iets afgenomen zien, maar nu aan de rechterzijde. Deze afname zal, nadat zij ongeveer hare grootste waarde bereikt heeft als de planeet in P_5 en de aarde in A_5 is gekomen, weder verminderen en geheel verdwijnen, als de aarde in een tusschen A_2 en A_3 gelegen punt A_6 van hare loopbaan, en de planeet in het daarmede overeenkomstige punt P_6 zich bevindt. Deze is dan weder in oppositie; daar zij evenzoo geplaatst was, toen wij haar begonnen te beschouwen, zullen alle verschijnselen van nu af aan weder op dezelfde wijze op elkander volgen.

Bij een buitenplaneet kan men dus slechts beurtelings aan de beide zijden een af- en een toenemen bespeuren, en het is gemakkelijk in te zien, dat het grootste bedrag van de afname des te geringer zal zijn, naarmate die planeet verder van de aarde is verwijderd. Alleen aan Mars, de buitenplaneet die het naast bij de aarde zich bevindt, zijn dan ook de uit haar voortvloeiende veranderingen in de verhouding tusschen de lengten

der middellijnen merkbaar, zonder dat die door zeer nauwkeurige meting behoeven bepaald te worden.

44. De planeten bewegen zich dus om de zon langs zeer weinig uitmiddelpuntige ellipsen, wier gemeenschappelijk brandpunt door de zon wordt ingenomen, en de vlakken, waarin die banen zijn gelegen, vormen met het vlak van de ecliptica zeer scherpe tweevlakkige hoeken. Deze lichamen echter zijn niet de eenige die met de zon het planetenstelsel vormen; daarin komen nog andere voor, die wel even als de planeten hunne eigene banen rondom de zon doorloopen, maar overigens noch wat hunne eigene natuur, noch wat de gedaante en de ligging hunner banen betreft, met de planeten overeenkomen.

Van de planeten onderscheiden zij zich voor den oppervlakigen beschouwer het eerst door de bijzondere gedaante, die er aanleiding toe gegeven heeft, hun den naam te geven van *kometen* of *staartsterren*. Een normale komeet toch, als wij haar eens zoo mogen noemen, bestaat uit twee deelen, een *hoofd* en een *staart*. Het hoofd is het altijd weinig scherp begrensde gedeelte van de komeet, dat naar de zon is gekeerd. Voor het bloote oog vertoont het zich aan die zijde meestal als een door een gebogen oppervlak begrensde heldere wolk. Meestal is het hoofd van een komeet over het geheel maar flauw verlicht, terwijl in een punt, dat er ongeveer het midden van inneemt, het licht schijnt opgehoopt te zijn. Dit punt noemt men de *kern* van de komeet. Daar echter niet alle kometen zulk een kern vertoonen, behoort zij niet tot de wezenlijke deelen dier lichamen. En eveneens is het gesteld met de staart, waarin de meeste kometen aan de zijde, die van de zon is afgewend, uitloopen. Terwijl die bij sommige kometen geheel ontbreekt, hebben andere een staart van groote uitgebreidheid en weder andere meer dan ééne staart.

Omtrent de natuur der kometen is zeer weinig met zekerheid bekend. Alleen weet men, dat zij eene zeer geringe massa hebben, daar de loop der planeten door de aantrekking der vele in het stelsel aanwezige kometen in geen opzicht wordt gestoord. Een komeet van grooten omvang kwam in

1770 zoo nabij ons, dat, als hare massa slechts een tienduizendste deel van die der aarde was geweest, er een merkbare verandering in den omloopstijd van deze zou zijn gevolgd. De nabijheid der komeet deed evenwel geene verandering ontstaan. Zelfs de kern, waarin dan toch de meeste stof schijnt opeengehoopt te zijn, is zoo ijl, dat het licht van kleine sterren, die door de komeet bedekt worden, door haar heenschemert.

Behalve door hare vreemde gedaante, wekken de kometen ook de verbazing door hun onverwacht optreden, want, terwijl de plaats, die een planeet op zekeren tijd aan den hemel zal innemen, steeds vooruit met volkomene zekerheid kan bepaald worden, verschijnt een komeet meestal eensklaps, om even onverwacht als zij gekomen is weder te verdwijnen.

Het kortstondige van hare verschijning is een gevolg van de omstandigheid, dat de kometen uit een stof bestaan, zoo ijl, dat de dampkringslucht, met haar vergeleken, dicht kan genoemd worden. Reeds zagen wij dat men door de kern heen, het licht van de vaste sterren kan zien schemeren, terwijl een groote komeet niet in staat was, om door hare aantrekking den loop der aarde, al naderde zij deze op zeer kleinen afstand, merkbaar te wijzigen. Daar nu eene zoo ijle stof het zonnelicht slechts zeer zwak kan terugkaatsen, worden de kometen voor ons eerst zichtbaar als zij nabij de zon, en daardoor tevens nabij de aarde, zijn gekomen. En dit afnemen van hare lichtsterkte neemt niet alleen toe in dezelfde rede als de tweede machten der afstanden. De staart toch, die in meest alle gevallen zich uitstrekt naar de zijde, die van de zon is afgewend, ontwikkelt zich eerst in de nabijheid van deze, om later weder in te krimpen, zoodat met de vergroo-ting van den afstand eene vermindering van de uitgebreidheid der terugkaatsende oppervlakte gepaard gaat.

45. Wat het onverwacht verschijnen van de kometen betreft, dit is daaraan toe te schrijven, dat de meeste zich bewegen in banen, wier grootte en gedaante niet met nauwkeurigheid kan worden afgeleid uit het kleine gedeelte, dat

doorloopen wordt, terwijl zij zichtbaar zijn. Terwijl toch de planeten-banen ellipsen zijn die zeer weinig van cirkels verschillen, bewegen zich de kometen in ellipsen, die zoo uitmiddelpuntig zijn, dat haar kleinste afstand van de zon dikwijls duizende malen in haren grootsten afstand is begrepen. Uit de wijze nu waarop de kegelsneden gevormd worden (Fig. 12) is het duidelijk, dat eene zeer kleine verandering in de gedaante van den top met eene aanzienlijke toename van de grootte as kan gepaard gaan, in het geval dat het snijvende vlak bijna is gekomen in den stand, waarbij de kegelsnede overgaat in een parabool. En dien stand heeft dat vlak bijna bereikt als de ellips zeer uitmiddelpuntig is. Is men dus omtrent de grootte van de as eener kometenbaan, nadat dit lichaam gedurende zijne korte verschijning is waargenomen, nog steeds in het onzekere, dan zal, volgens de derde wet van KEPLER, men het ook moeten zijn omtrent den tijd, die verlopen zal, eer het, na eenmaal zijn loop om de zon te hebben volbracht, voor ons weder zichtbaar wordt.

46. Eene andere reden om te vreezen, dat een komeet niet zal terugkomen op den voorspelden tijd, is gelegen in de onzekerheid, of zij al dan niet bij hare lange, voor ons verborgene tocht, op korten afstand zal komen van een der andere lichamen van het planetenstelsel. Is dit het geval, dan zal zij in haren oorspronkelijken loop sterk gestoord kunnen worden, al is het ook dat zij, zooals wij zoo even opmerkten, zelf niet in staat is eene merkbare stoornis te veroorzaken bij het lichaam, dat zij ontmoet.

Om dit duidelijk in te zien, is het noodig te letten op de werking van de kracht, die den loop van planeten en kometen regelt. Deze kracht is de aantrekking, die de lichamen onderling op elkander uitoefenen; zij is dezelfde als de kracht, die niet ondersteunde lichamen doet vallen naar de oppervlakte der aarde.

De ontdekking van deze gewichtige waarheid is de wetenschap aan NEWTON verschuldigd. Hij toch bewees, dat twee lichamen, die elkander wederkeerig volgens de wetten der zwaarte-

kracht aantrekken, zich om hun gemeenschappelijk zwaartepunt zullen gaan bewegen op de door KEPLER ontdekte wijze, zoodra het eene met zekere snelheid komt in de nabijheid van het andere. Iedere planeet en iedere komeet beschrijft op deze wijze een ellips, om het zwaartepunt dat hare massa met die van de zon gemeen heeft en dat, daar gene zeer klein is in verhouding tot deze, bijna met het middelpunt der zon zal samenvallen.

Voorondersteld nu dat een komeet, met de snelheid die zij heeft in hare baan om de zon, in de nabijheid eener planeet komt. Wanneer die komeet vrij was en hare snelheid voldoende, dan zouden beide lichamen om hun gemeenschappelijk zwaartepunt een ellips gaan beschrijven, en, daar het zwaartepunt van beide ongeveer met het middelpunt van de planeet samenvalt, zouden de afmetingen van de baan der komeet vrij aanzienlijk, die van de baan der planeet daarentegen ongeveer nul zijn. Stond dus de planeet voor de ontmoeting stil, dan zou dit nog zoo zijn na deze; nu zij zich beweegt om de zon, zal zij ongestoord die beweging blijven voortzetten. En de komeet zal, daar zij in hare eigene beweging niet vrij is, wel geen ellips om de planeet gaan beschrijven, maar toch in haren loop om de zon aanmerkelijk gestoord worden.

47. Stemmen de waarden der gegevens, die de gedaante en de ligging van het in onze nabijheid doorloopen gedeelte eener kometenbaan bepalen, overeen met de waarde, die men reeds vroeger bij de verschijning eener komeet daarvoor vond, dan bestaat er groote waarschijnlijkheid, dat men te doen heeft met hetzelfde lichaam, dat na de eerste verschijning een of meermalen zijnen loop om de zon heeft volbracht. Het is dan ook voornamelijk door gebruik te maken van deze opmerking, dat men bekend is geworden met den omloopstijd van eenige kometen, die, door later op den bepaalden tijd terug te komen, de juistheid der opmerking aantoonde.

De eerste dezer kometen is naar HALLEY genoemd, omdat die sterrekundige, uitgaande van de overeenkomst tusschen de banen van de drie in 1531, 1607 en 1682 waargenomen kometen, voorspelde dat zij tegen het jaar 1759 zou terugkomen.

Inderdaad bereikte deze komeet in Maart van dat jaar haren kortsten afstand van de zon, terwijl zij, wederom ruim 76 jaren later, op den 16^{den} November 1835 andermaal door het perihelium ging.

De tweede komeet, wier omloopstijd wij kennen, is de komeet van ENCKE. Zij werd in 1818 ontdekt door PONS, maar daar ENCKE, door vergelijking van hare loopbaan met die van een in 1786 en in 1795 waargenomen komeet, haren omloopstijd met juistheid bepaalde, is zij naar hem genoemd. Die omloopstijd bedraagt ongeveer 1200 dagen. Intusschen merkt men bij iedere terugkomst in het perihelium op, dat die tijd gedurende elken omloop ongeveer 9 uren korter wordt; een verschijnsel dat zich uit den storenden invloed der planeten niet laat verklaren. De komeet is telkens op den bepaalden tijd tot de zon teruggekeerd en in 1881 voor het laatst waargenomen. Men mag haar dus met reden ook dit jaar terugverwachten.

De derde komeet, die van VON BIELA, verscheen in 1826, en bij deze verschijning bemerkte men, dat zij waarschijnlijk reeds twee maal te voren, in 1778 en in 1805, was waargenomen. Haar omloopstijd werd toen bepaald op ongeveer 7 jaren, maar het is later gebleken, dat hij ongeveer drie maanden korter duurt. In 1832 kwam zij zeer nabij de aarde, terwijl zij bij hare verschijning in 1846 zich splitste in twee deelen, waarvan elk eene afzonderlijke kern bezat. Beide kernen zijn bij de volgende verschijning, in 1852, terug gezien: in 1859 was het niet mogelijk haar waar te nemen, omdat zij toen bijna gelijktijdig met de zon aan den hemel stond. In het voorjaar van 1866 heeft men te vergeefs getracht deze komeet terug te vinden. In 1872 meent POGSON haar den 3^{en} en 4^{en} November te hebben waargenomen, doch de juistheid van zijn besluit, dat hij bij die waarneming met de komeet te doen had, wordt betwijfeld.

De vierde komeet, wier omloopstijd bekend is, daar men haar meermalen na hare ontdekking in 1843, het laatst in 1880, teruggezien heeft, wordt naar haren ontdekker de *komeet van FAIJE* genoemd. Haar omloopstijd duurt 2715 dagen;

men meende bij haar, even als bij de komeet van ENCKE, een langzaam afnemen van de afmetingen der loopbaan, zich openbarende in eene verkorting van den omloopstijd, op te merken, en schreef deze ook toe aan den tegenstand, die lichamen van zoo grooten omvang en zoo kleine massa bij hunne beweging door den aether moeten ondervinden. LEVERMIER echter heeft na hare laatste verschijning opgemerkt, dat haar loop zeer goed kan verklaard worden, zonder dat men bij die verklaring ook van deze onderstelling uitgaat.

In het jaar 1857, bij de tweede terugkomst in het perihe-
lium, die op hare ontdekking in 1846 volgde, herkende men de overeenkomst van eene toen verschijnende komeet, met de in laatstgenoemd jaar door BRORSSEN waargenomene. Voor haren omloopstijd vond men ongeveer 2037 dagen. Deze komeet is in 1879 voor het laatst verschenen; zij werd toen eerst gezien door TEMPEL te Arcetri.

De komeet door D'ARREST in 1851 ontdekt, is de zesde van die, wier omloopstijd, doordien zij bij eene terugkomst zijn waargenomen, nauwkeurig bekend is. In het jaar 1857 werd zij teruggezien, na in 2348 dagen eenen loop om de zon te hebben volbracht. Bij hare terugkomst in 't perihe-
lium, op het einde van 1863 en in het begin van 1864, stond zij te na bij de zon dan dat men haar heeft kunnen waarnemen; maar in 1877 is zij op nieuw waargenomen en wel het eerst door TEMPEL.

Een komeet, in 1812 door PONS ontdekt en wier omloops-
tijd, naar ENCKE's berekening, 70.7 jaar bedroeg werd den 2^{en} September 1883 door BROOKS teruggevonden, en draagt sedert den naam: komeet *Pons-Brooks*.

Door den reeds meermalen genoemden sterrekundige TEMPEL werd in 1869 een komeet ontdekt die den 10^{den} October 1880 op den bepaalden tijd in onze streken is teruggekomen; en eene andere in 1870, die hij zelf in Januari 1879 terugvond. Ook de periodische komeet van WINNECKE werd in 1875 teruggezien.

48. Van hoe grooten invloed de aantrekking, die de plane-

ten op de kometen uitoefenen, op de loopbanen der laatsten zijn kan, is gebleken aan de komeet, in 1770 door MESSIER ontdekt. Volgens de berekening van LEXELL, had zij toen een omloopstijd van slechts ruim $5\frac{1}{2}$ jaar; evenwel heeft men haar tot nog toe nooit kunnen terugzien, daar door de aantrekking van Jupiter, welke planeet zij in 1779 tot op korten afstand naderde, haar omloopstijd met ongeveer 170 jaren moet zijn vermeerderd. Toch veranderde de komeet door hare wederkeerige aantrekking volstrekt niets aan den omloopstijd der kleine lichamen, die, even als de maan om de aarde, wentelen om de planeet Jupiter.

Waarschijnlijk moet het aan overeenkomstige storende invloeden worden toegeschreven, dat de groote komeet van 1556, gewoonlijk de komeet van KAREL V genoemd, en waarin men die van 1264 meende te herkennen, in het jaar 1848 niet weder in onze nabijheid is gekomen. Evenwel moet dan die storende invloed zijn uitgeoefend door lichamen, aan ons onbekend; want door de aantrekking der ons bekende planeten moest, volgens de berekening van onzen landgenoot BOMME, de komeet hare terugkomst vertragen tot in 1860, en ook toen is zij niet wedergezien.

Behalve de genoemde kometen zijn er vele, wier loopbanen wel voor elliptische worden gehouden, maar toch zoo uitmispuntig zijn, dat de zeer lange omloopstijden, om de in § 46 genoemde reden, slechts binnen zeer ruime grenzen kunnen bepaald worden. Zoo is, om slechts een voorbeeld te noemen, de omloopstijd van de reeds boven genoemde, in 1859 verschenen komeet van DONATI bepaald op minstens 1900 en hoogstens 2400 jaren.

Verder zijn voor meer dan twee honderd kometen, uit wier waargenomen plaatsen zich geen elliptische baan liet afleiden, de ligging van de parabool, waar langs zij zich schijnt te bewegen en de afstand, waarop de top van deze van de zon verwijderd is, berekend. De vlakken, waarin deze banen liggen, maken met het vlak der ecliptica over het algemeen hoeken, veel grooter dan die tusschen de vlakken der planeten-

banen en der ecliptica. Uit de zon gezien, hebben zelfs vele een *teruggaande beweging*, dat wil zeggen, zij bewegen zich van de linker- naar de rechterhand. Verreweg de meeste dezer kometen zijn voor het bloote oog onzichtbaar.

49. Onder de lichamen, die deel uitmaken van het planetenstelsel, daar ze waarschijnlijk even als de planeten en kometen loopbanen beschrijven om de zon, verdienen de vallende sterren genoemd te worden. Onder dezen naam kent ieder de lichtgevende punten of lichamen, die men bijna elken nacht bij helder weder aan den hemel ziet, waar zij met groote snelheid een grooteren of kleineren boog doorloopen, om, na gedurende eenige sekonden gezien te zijn, weder te verdwijnen. Vele dezer lichamen worden op hunnen weg gevolgd door een lichtgevende streep, die dikwijls nog eenige oogenblikken wordt gezien, nadat het lichaam zelf reeds is verdwenen. Daar bij eene oppervlakkige beschouwing het verschijnsel schijnt veroorzaakt te worden, doordien een ster plotseling van plaats verandert, worden in de volkstaal deze lichtverschijnselen ook wel verschietende sterren genoemd.

Eerst op het einde van de vorige eeuw, is men begonnen zich meer opzettelijk met de waarneming der vallende sterren bezig te houden. BENZENBERG en BRANDES trachtten, door op twee van elkander verwijderde plaatsen der aarde zooveel mogelijk dezelfde vallende sterren waar te nemen, tot eene bepaling van haren afstand te geraken. Inderdaad kan, indien deze sterren niet ver van ons verwijderd zijn, deze wijze van waarneming tot dat doel voeren; in dat geval toch zal het verschilzigt groot genoeg kunnen zijn, om daaruit met eenige nauwkeurigheid den afstand af te leiden. Beide genoemde sterrekundigen vonden, dat die afstand voor de verschillende vallende sterren afwisselt van 1 tot 30 duitsche geographische mijlen. En tot deze uitkomst kwam ook OLBERS, toen hij op hunne waarnemingen zijne meer nauwkeurige rekenwijze toepaste. Meer echter dan die afstanden, kan uit haar niet met eenige juistheid worden afgeleid. De verschijnselen toch komen zoo plotseling op en zijn van zoo korten duur, dat men den weg,

dien eene vallende ster aan den hemel heeft afgelegd, en den tijd gedurende welken dit is geschied, nooit zoo nauwkeurig kent, dat daaruit door berekening de baan, of, in verband met den afstand, de snelheid die de ster werkelijk had, kan worden gevonden. En zelfs wat de afstands-bepalingen aangaat, is men altijd in het onzekere, daar het moeielijk is uit te maken of een vallende ster, die verschillende waarnemers, op verschillende plaatsen der aarde zich bevindende, voor dezelfde houden, inderdaad dezelfde is. Terwijl, zooals wij reeds boven aanmerkten, bijna elken nacht aan een helderen hemel vallende sterren worden gezien, is toch gedurende sommige nachten van elk jaar hun aantal bij uitzondering groot. Deze nachten zijn voornamelijk twee, die vallen tusschen den 7^{den} en den 14^{den} Augustus, en twee tusschen den 11^{den} en den 14^{den} November.

Deze opmerking gaf in 1835 aan ARAGO aanleiding om eene theorie der vallende sterren te ontwikkelen, die wij in korte trekken willen schetsen. Hij vooronderstelde dat de vallende sterren lichamen zijn, die, even als de planeten, zich onder den invloed van de aantrekking der zon om deze bewegen, en een elliptischen ring vormen, die de baan der aarde snijdt in de punten, waar deze zich tusschen den 11^{den} en den 14^{den} November bevindt. Toen later ook de aandacht viel op het menigvuldig voorkomen van vallende sterren in de genoemde nachten van Augustus, werd bij dezen eersten ring een tweede aangenomen. Het plotseling verschijnen dezer sterren zou volgens ARAGO veroorzaakt worden, doordien de wrijving, die de met zoo groote snelheid door den dampkring gaande massa ondervindt, deze aan het gloeien brengt. Het even plotseling verdwijnen moet dan plaats hebben, als die massa den dampkring weder verlaat, of wel, als zij wordt overdekt met een laag verbrandings-producten, die de toetreding van de tot verdere verbranding noodige lucht belet.

Sedert men de vallende sterren uit dit geheel nieuwe oogpunt leerde beschouwen, werd hare verschijning voortdurend het onderwerp van de onderzoekingen der sterrekundigen. Deze leverden zeer belangrijke uitkomsten op. In de eerste plaats bleek het, dat telkens wanneer een bijzonder groote hoeveelheid val-

lende sterren gedurende een zelfden nacht gezien werd, allen bijna in het zelfde punt den dampkring schenen binnen te treden. Voor de vallende sterren van Augustus was dit punt in het sterrebeeld *Perseus*, voor die van November in het sterrebeeld *de Leeuw* gelegen. Deze ontdekking deed OLMSTEDT; hij noemde dit punt van uitgang het uitstralingspunt. In sommige gevallen ligt het nabij het punt van den hemel, waarheen de beweging van de aarde op dat oogenblik is gericht, in welk geval het aantal vallende sterren tegen den morgen veel grooter zal zijn dan omstreeks middernacht. Want als de meeste vallende sterren zich vertoonen rondom dat punt, dan zal haar aantal des te beter waar te nemen zijn naarmate het hooger staat boven den horizon; het punt nu, waarop de beweging der aarde gericht is, gaat, met eene kleine wijziging oor de verschillende maanden van het jaar, zes uren voor de zon voor den meridiaan. Ook zal, als alle andere omstandigheden gelijk zijn, het aantal vallende sterren, dat men in ons halfrond omstreeks den 22^{sten} Maart waarneemt in den morgenstond beneden het gemiddelde, en het aantal, dat omstreeks den 22^{sten} September op dienzelfden tijd gezien wordt, boven dat gemiddelde moeten zijn, omdat (zie Fig. 9) op het eerste tijdstip de raaklijn, door het middelpunt van de aarde aan hare loopbaan getrokken, zoo na mogelijk bij, en op het laatste tijdstip zoover mogelijk boven onzen horizon vallen zal.

Voor al de ring van vallende sterren, die de aarde in November schijnt te ontmoeten, trok de aandacht der sterrekundigen. In 1799 toch had HUMBOLDT en in 1832 en 1833 OLMSTEDT reeds gewezen op het buitengewoon groot aantal vallende sterren, door hen in die jaren gedurende de November-periode waargenomen. Ook had men, bij nader inzien der aanteeeningen omtrent in vroegere jaren opgemerkte buitengewone verschijnselen van dezen aard, gevonden, dat het aantal vallende sterren in November om de 33 jaar aanmerkelijk boven het gemiddelde steeg, toen in 1866 de waarneming dit nogmaals op de meest ondubbelzinnige wijze aantoonde. En schoon de verwachting, dat men nu ook in 1867 van dit overvloedig voorkomen de herhaling zou zien, grootendeels door het hel-

dere maanlicht werd teleurgesteld, zoo vinden wij toch medegedeeld, dat te Guadeloupe en in Noord-Amerika in den morgen, op een tijdstip toen hier de waarneming reeds door het daglicht werd verhinderd, vallende sterren bij duizendtallen zijn gezien. Uit deze omstandigheid nu heeft men het besluit getrokken, dat de vallende sterren van de November-periode wel is waar eenen elliptischen ring om de zon vormen, maar dat toch over eene zekere uitgebreidheid van dien ring het aantal dier lichamen veel grooter is dan overal elders.

Telken jare gaat in November de aarde door dezen ring, wiens helling ten opzichte van het vlak der ecliptica zeer klein is, zoodat het uitstralingspunt slechts op weinige graden verwijderd is van het punt, waarop de beweging der aarde dan is gericht. Door de telkens herhaalde storende werking van de aarde en de overige planeten zijn sommige van de kleine lichamen, die den ring vormen, verwijderd geraakt van de hoofdmassa. Deze echter loopt in $33\frac{1}{2}$ jaar om de zon, en is, ook al ten gevolge van dien storenden invloed, over ongeveer een tiende gedeelte van den ganschen omtrek van den ring uitgestrekt, hetgeen ten gevolge heeft dat bijzonder overvloedige verschijningen van vallende sterren twee achtereenvolgende jaren in November kunnen voorkomen. De betrekkelijke geringe verspreiding van de afzonderlijke lichamen, die dezen zwerm vormen, gaf aan LEVERRIER aanleiding tot eene beschouwing betreffende den tijd, gedurende welken die tot ons planetenstelsel heeft behoord. Hij toonde als zeer waarschijnlijk aan, dat hij in het jaar 126 onzer jaartelling de planeet *Uranus* heeft ontmoet en door zijne aantrekking is begonnen een elliptische baan te doorloopen, wier groote as zich ongeveer tot aan de loopbaan dezer planeet uitstrekt. Reeds door het verschil in aantrekking, dat door haar op de verschillende lichaampjes van den zwerm werd uitgeoefend, werden deze over een gedeelte van de elliptische baan verspreid. Elke jaarlijksche ontmoeting met de aarde zal eenige dezer lichaampjes van hunne baan doen afwijken, en dit zal ten gevolge hebben, dat het verschijnsel, wat de menigte der vallende sterren betreft, in de toekomst

voortdurend in pracht zal verliezen. Daarentegen zullen ook na elke periode van $33\frac{1}{4}$ jaar de afzonderlijke lichaampjes over een grooteren boog van den ring verspreid liggen, zoodat in de toekomst meerdere jaren van tamelijk overvloedige sterrenregen elkander zullen volgen. Reeds gedurende de laatste November-periode (1871) is het gebleken dat de herhaalde ontmoeting met de aarde groote stoornis heeft veroorzaakt in den regelmatigigen loop van de lichamen, die dezen ring vormen. Schoon men toch op verschillende plaatsen eene groote hoeveelheid vallende sterren heeft waargenomen, bevond zich het uitstralingspunt van de meesten niet meer in *de Leeuw*; zeer velen verschenen in het sterrebeeld *de Wagenman* anderen in *de Stier*.

Dat de vallende sterren oorspronkelijk niet in het planetenstelsel te huis behooren, maakt men op uit hare *teruggaande beweging*, uit de *grootte van hare snelheid*, die ongeveer gelijk is aan die, waarmede een komeet in hare parabolische baan gaat door het perihelium, en uit de omstandigheid, dat de verschillende zwermen van vallende sterren zich bewegen in vlakken, die ten opzichte van het vlak der ecliptica op de meest verschillende wijze hellen. In deze opzichten komen zij allezins overeen met de kometen; even als deze schijnen zij, onder den invloed van de aantrekking der zon gekomen, parabolische banen om haar te beschrijven, die onder bepaalde omstandigheden in elliptische overgaan. De sporadische vallende sterren, dat zijn die, welke men bijkans elken avond waarneemt, schijnen dan enkele lichamen te zijn, die bij de ontmoeting met een der groote planeten zijn geworpen buiten den stroom waartoe zij oorspronkelijk behoorden. Deze vergelijkende beschouwingen betreffende de kometen en de vallende sterren zijn in 1866 gemaakt door SCHIAPARELLI. Door haar gebracht tot de overweging, dat bij eene zoo merkbare overeenkomst het wel mogelijk kon zijn, dat eenige kometen zelve deel uitmaakten van stroomen vallende sterren, berekende hij de ligging en de afmetingen van den Augustus-stroom en vond daarvoor gegevens, die op de meest verrassende wijze overeenstemmen met de elementen van de loopbaan eener groote komeet,

in 1862 ontdekt door OPFOLZER. Evenzoo nauwkeurig pastde eerste komeet van 1866 in den ring van November; ja een onderzoek van WEISS voerde tot het resultaat, dat telkens met den dag, waarop de aarde gaat door een punt waar hare baan ongeveer door een der kometen-banen wordt gesneden, ook eenige dagen overeenkomen, waarop jaarlijks vele vallende sterren worden gezien.

Wat de samenstelling van de vallende sterren aangaat, omtrent deze is men voldoende ingelicht, door de scheikundige onderzoekingen door WÖHLER, HADINGER en anderen toegepast op vele dezer lichamen, die de aarde in zoodanige richting ontmoet hebben, dat zij, tengevolge van hare aantrekking, op haar zijn neêrgevallen. Het blijkt daaruit, dat die zoogenaamde *luchtsteen*en, aan wier beschrijving veel moeite werd ten koste gelegd door SCHMIDT, geen stoffen bevatten die niet tevens op aarde voorkomen. Is dus SCHIAPARELLI's hypothese waar, dat de vallende sterren uit hoogere streken des hemels tot ons komen, dan zou het uit deze hare samenstelling waarschijnlijk worden, dat alle hemellichamen uit dezelfde stoffen bestaan.

50. Hebben wij in dit hoofdstuk achtereenvolgens kennis gemaakt met de lichamen, die zich onmiddellijk om de zon bewegen, thans willen wij nog een blik slaan op de beweging waaraan zij allen met de zon deelnemen. Van deze beweging droeg men in het begin dezer eeuw geen kennis; hare ontdekking was een gevolg van de nauwkeurige waarneming der reeds sedert langeren tijd opgemerkte eigene beweging der zoogenaamde vaste sterren.

In het midden van de vorige eeuw namelijk vestigden CASSINI en TOBIAS MAYER de aandacht op het verschijnsel, dat sommige vaste sterren aan den hemel niet meer de plaats innamen, waar zij door de waarnemers in de 17e eeuw waren gezien. Meer opzettelijke en nauwkeurige waarneming was van deze opmerking het gevolg, en wij danken het aan deze, dat wij van eenige duizenden vaste sterren de eigene beweging, ten minste voor zooverre die op aarde zichtbaar is, vrij nauwkeurig kennen. In verreweg de meeste gevallen toch, zien wij haar niet in hare ware grootte. Want als een ster zich rechtstreeks naar het planetenstelsel toe of van dat stelsel af beweegt,

zal hare eigene beweging uit de aarde niet worden opgemerkt. Bewegen zich de sterren van eenig beeld op een van beide wijzen, dan zal dit hoogstens ten gevolge kunnen hebben, dat het gansche sterrebeeld langzamerhand grooter of kleiner wordt. In elk geval zal men hier op aarde slechts van de gansche beweging der ster de projectie waarnemen op een lijn, die loodrecht staat op de richting waarin wij haar zien. Deze nu bedraagt hoogstens jaarlijks een boog aan den hemel van 7 à 8 sekonden. Het is duidelijk dat die boog, als alle andere omstandigheden gelijk zijn, des te grooter moet zijn, naarmate de ster nader bij de aarde staat. Zoo zal dan ook een groote eigene beweging waarschijnlijk gepaard gaan met eene groote jaarlijksche parallaxis (§ 31), en het was op dezen grond dat BESSEL de ster 61 *van de Zwaan* en FAIJE de ster 1830 van de sterrelijst van GROOMBRIDGE uitkoos ter bepaling van hare jaarlijksche parallaxis.

De overeenkomst tusschen de zon en de vaste sterren, die waarschijnlijk allen zoovele zonnen zijn, waarom, als om de onze, zich donkere voor ons wegens den afstand gansch onzichtbare bollen bewegen, deed het vermoeden ontstaan, dat ook het gansche planetenstelsel eene eigene beweging kon hebben in de ruimte. De stap van vermoeden tot zekerheid was in dit geval moeilijk te doen; men moest de eigene beweging der vaste sterren nauwkeurig kennen en zien of het aan deze was te bemerken, dat een gedeelte van die beweging slechts schijnbaar en wel een gevolg van eigen verplaatsing zijn kon. De sterren, die wij rechtstreeks ontvlieden, zullen, wij zeiden dit reeds, elkander schijnen te naderen; zij, die wij rechtstreeks te gemoet gaan, zullen zich van elkander verwijderen; ten minste wanneer niet zoowel deze als gene zich in dezelfde richting bewegen als wij. Daarentegen zullen zij, die gezien worden in eene richting loodrecht op die waarin zich het planetenstelsel beweegt, vooruit schijnen te gaan met het verschil of achteruit met de som der snelheden, al naarmate dit stelsel voortgaat in eene richting gelijk of tegenovergesteld aan de hare.

Het was op grond van beschouwingen van dezen aard, dat W. HERSCHELL tegen het einde van de vorige eeuw, uit de

vergelijking der schijnbare verplaatsingen van eenige regelmatig om ons planetenstelsel verspreide vaste sterren, afleidde, dat de zon, en met haar alle aan haar bewind onderworpenen lichamen, zich bewegen in de richting van een punt, dat vrij wel het midden inneemt van het sterrebeeld *Hercules*. Ruim een halve eeuw later kwam ARGELANDER, door een vergelijking van de schijnbare beweging van ongeveer vier honderd vaste sterren, tot dezelfde uitkomst, terwijl eindelijk eene berekening, door OTTO STRUVE ondernomen, nogmaals de door HERSCHELL ontdekte richting der beweging als de ware leerde kennen en tevens deed zien, dat de zon jaarlijks ongeveer een weg van 60 millioen D. G. mijlen aflegt.

Aan het einde van deze beschouwingen gekomen, zien wij dus dat in den strijd tusschen hen, die de aarde onbewegelijk dezelfde plaats in het heelal lieten innemen en die de zon hielden voor een lichaam dat stilstond, geen van beide partijen de waarheid geheel op hare zijde had. Maar tevens geven ons die beschouwingen eenig denkbeeld omtrent de nietigheid van de aarde in verhouding tot de gansche schepping. Terwijl gene om de zon jaarlijks een baan aflegt, waarvan de groote as $21\frac{1}{2}$ millioen D. G. mijlen lang is, veroorzaakt deze verplaatsing slechts eene schijnbare beweging der vaste sterren zóó gering, dat, om de vergelijking van onzen KAISER te gebruiken, de dikte van een hoofdhaar, op den afstand van duidelijk zien gehouden, aan den hemel een boog bedekt 76 maal zoo lang als de jaarlijksche parallaxis van de meest nabij ons gelegene vaste ster. En terwijl jaarlijks het gansche planetenstelsel, steeds in dezelfde richting voortgaande, een weg van ongeveer 60 millioen D. G. mijlen aflegt, zal gedurende een gansch menschenleven de daardoor veranderde onderlinge afstand der vaste sterren zoo gering zijn, dat men alleen door nauwkeurige meting kan bespeuren hoe wij sommige sterrebeelden ontvlieden en andere te gemoet ijen.

VIJFDE HOOFDSTUK.

Over de zon, de maan en de planeten.

51. De zon, het lichaam onder wiens gebied alle andere lichamen van het planetenstelsel staan, en dat, door al die anderen te verlichten en te verwarmen, de bron is van leven en beweging op hunne oppervlakte, heeft bij eene middellijn, die 112 malen zoo groot is als die van de aarde, slechts eene ongeveer 360.000 malen zoo groote massa als deze. De gemiddelde dichtheid van de stof, waaruit de zon bestaat, is dus slechts ongeveer $\frac{1}{4}$ van de gemiddelde dichtheid der aarde. Daar toch de inhouden van bollen zich tot elkander verhouden als de derde machten van hunne middellijnen, zou bij eene gelijke dichtheid, de massa van de zon 112^3 of 1 404 928 malen die van de aarde moeten bevatten.

Dat de zon eene wentelende beweging heeft om eene as, die met de loodlijn, uit haar middelpunt op het vlak der ecliptica opgericht, een hoek van $7^{\circ}9'12''$ maakt, heeft men ontdekt uit de waarneming van de *zonnevlekken*. Over het uiterlijk voorkomen dezer vlekken, en in het algemeen over de bijzonderheden die men op de oppervlakte der zon waarneemt, zullen wij aan het einde van dit hoofdstuk spreken. Thans letten wij alleen op den tijd, dien zulk een vlek noodig heeft om schijnbaar zich over de zonneschijf te bewegen,

en op de verschijnselen, die ons doen zien, dat zij daarbij aan eene wentelende beweging van de zon deelneemt.

Daartoe merken wij op, dat al de vlekken, die ten minste lang genoeg bestaan om hare schijnbare reis over de zonneschijf te maken, aan den oostelijken rand verschijnen, om, na in ongeveer 13 dagen en 18 uren, eerst met toenemende, daarna met afnemende snelheid zich over die schijf te hebben bewogen, aan den westelijken rand te verdwijnen. Deze verandering in snelheid nu is volkomen die, welke wij moeten zien bij een lichaam, dat met gelijkmatige snelheid zich beweegt over of met een bolvormig oppervlak. Is dat voorwerp gekomen op de lijn, die ons oog met het middelpunt van den bol verbindt, dan zien wij den in eenig tijdsdeeltje afgelegden weg in zijn ware lengte. Nadert het daarentegen den rand, dan zien wij van dien weg slechts de projectie op eene lijn, die loodrecht staat op de zoo even genoemde verbindingslijn. En deze projectie zal des te kleiner zijn, naarmate de vlek nader bij den rand komt. Zien wij dus bij het verschijnen van een vlek dat zij zich slechts beweegt met een geringe snelheid, neemt deze langzamerhand toe in dezelfde verhouding als de projectiën van gelijke bogen op de oppervlakte, bereikt zij vervolgens in het middelpunt een maximum om daarna weder in dezelfde verhouding af te nemen, dan mogen wij er toe besluiten, dat zij zich over de oppervlakte der zon met gelijkmatige snelheid verplaatst. En als daarbij, zooals hier het geval is, alle vlekken in diezelfde regelmatige beweging deelen, dan zal men, zoo niet de gansche zon, dan toch hare gansche oppervlakte eene wentelende beweging om eene as mogen toekennen. De analogie met onze aarde en met de overige lichamen van het planetenstelsel doet ons daarbij gemakkelijk de grootere waarschijnlijkheid van de eerste dezer twee voorstellingen gevoelen.

Uit den tijd van 13 dagen en 18 uren, dien een zonnevlek vertoeft op de eene helft van de zonneschijf, zou eene omwentelings-duur van 27 dagen en 12 uren volgen, als de zon zelve ten opzichte van de aarde niet van plaats veranderde. Nu zij ons een cirkel schijnt te beschrijven, zal de tijd, die er

noodig is om een vlek terug te brengen op de lijn van het oog naar het middelpunt der zon getrokken, langer zijn dan de omwentelingsduur. Want neemt men aan dat de zon zonder om eene as te draaien zich beweegt om de aarde, dan zal ten gevolge van deze beweging alleen, de vlek buiten de genoemde richting komen te liggen. Hare afwijking van deze richting, bij voorbeeld, zou na een dag een boog zijn van hetzelfde aantal graden als door de aarde in hare baan in een dag wordt afgeloopen. Dus zal tusschen de twee oogenhlikken, waarop men een vlek in hetzelfde punt van de oppervlakte der zon waarneemt, een omwentelingsduur van de zon verstrijken en nog de tijd, dien de zon behoeft om met hare eigene hoeksnelheid zooveel graden om te wentelen, als de aarde gedurende een omwentelingsduur in hare baan vooruitgaat. De meest nauwkeurige waarnemingen nu leeren, dat die duur langer is dan $24\frac{1}{4}$ en korter dan $26\frac{1}{4}$ dag, terwijl zij allerwaarschijnlijkst 25 dagen en 8 uren bedraagt. Dat de waarnemingen tot nog toe geene meer zekere resultaten hebben opgeleverd, moet vooral daaraan worden toegeschreven, dat de vlekken ook eene eigene beweging schijnen te hebben, die nog niet nauwkeurig in hare bijzonderheden bekend is.

Dat ook de neiging van de as der zon ten opzichte van het vlak onzer loopbaan door de beweging der vlekken moest worden verraden, is lichtelijk in te zien. Heeft toch die as een schuinschen stand, en blijft zij steeds gericht naar hetzelfde punt van den hemel, dan zullen op den tijd van het jaar, waarop de noordpool naar de aarde is gekeerd, de vlekken op hare oppervlakte bogen schijnen te beschrijven, wier holle zijde naar boven is gekeerd. Juist het omgekeerde zal een half jaar daarna plaats hebben, terwijl op twee tusschen de zoo even genoemden gelegene tijdstippen, als de beide polen der zon liggen in den omtrek van het zichtbare halfronde, deze bogen door ons als rechte lijnen zullen gezien worden. Alsdan zal de helling der lijnen ten opzichte van het vlak der ecliptica tevens de helling zijn van den aequator der zon ten opzichte van datzelfde vlak.

52. De maan, schoon in het planetenstelsel slechts een

lichaam van den derden rang, daar zij zich om de aarde beweegt even als deze om de zon, is juist om deze reden voor ons aardbewoners een lichaam van het grootste gewicht. Want al is hare oppervlakte klein in verhouding tot die van de aarde, zoo is, wegens den korten afstand waarop zij zich van ons bevindt, de intensiteit van het door haar teruggekaatste zonnelicht zoo groot, dat daardoor onze nachten meer worden verlicht dan door het eigen licht van alle vaste sterren tezamen. De lengte toch van de middellijn der maan bedraagt wel slechts ruim $\frac{19}{70}$ deelen van die der aarde, maar haar gemiddelde afstand van deze is ook slechts ongeveer $\frac{1}{4000}$ van den gemiddelden afstand tusschen de aarde en de zon.

53. Eene eenigszins nauwkeurige waarneming van de maan zal haar spoedig doen kennen als een lichaam dat zich van de rechter- naar de linkerhand beweegt om de aarde, en zijn licht ontvangt van de zon.

Want ziet men haar heden avond, kort nadat de zon is ondergegaan, nabij de westerkim staan, dan zal zij morgen avond op denzelfden tijd reeds veel hooger zijn geklommen aan den hemel. Gelijktijdig zal haar verlicht gedeelte zijn toegenomen; en dit zal zoo voortgaan tot een dag of zes later de geheele westelijke helft van de maan verlicht is en zij reeds ongeveer 90° van den oostelijken rand der zon is verwijderd. Ruim een week na dit tijdstip bevindt zij zich omstreeks middernacht in den meridiaan. Terwijl de gansche schijf alsdan verlicht is zal zij den volgende avond aan den westelijken rand reeds eenigszins zijn afgenomen, en dit afnemen zal voortgaan, tot, wederom ruim zeven dagen na het tijdstip, waarop wij de maan geheel verlicht zagen, hare gansche westelijke helft duister is. Zij staat nu reeds hoog aan den hemel als de zon opgaat, want zij is van den westelijken rand der zon 90° verwijderd. Deze nog meer naderende wordt haar verlicht gedeelte voortdurend kleiner en verliest zij zich daarenboven reeds spoedig in de stralen der opgaande zon.

Deze verschijnselen nu kunnen uit de boven gemaakte vooronderstelling volkomen, en ook uit haar alleen, verklaard wor-

den. Zijn toch zon en maan uit de aarde gezien in oppositie (Fig. 18), dan zal het verlicht gedeelte van de maan naar ons

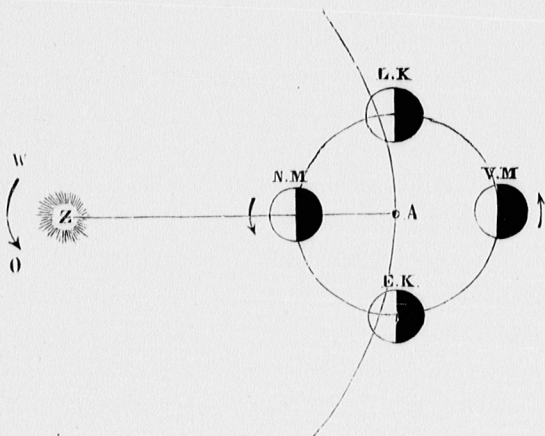


Fig. 18.

zijn toegekeerd; het zal dan *volle maan* zijn. Daar beide aan den hemel 180° van elkander verwijderd staan, zal de maan boven den horizon door den meridiaan gaan of *culmineeren* als de zon in hare onderste *culminatie* is. Heeft de maan aan den hemel een beweging, die sneller is dan de schijnbare beweging van de zon, dan zal, al gaan beide van de rechter- naar de linkerhand voort, de eerste al nader bij den westelijken of al verder van den oostelijken rand der laatste komen te staan. Als de richtingen, waarin beide lichamen uit de aarde gezien worden, loodrecht op elkander staan, gaat het vlak van den cirkel, die op de maan licht van duisternis scheidt, door het middelpunt der aarde. Wij zien haar dan aan de rechterzijde juist voor de helft verlicht, terwijl zij 90° ten westen van de zon staat: het is dan *laatste kwartier*. Steeds voortgaande in dezelfde richting komt de maan eenigen tijd later in conjunctie met de zon. Zij heeft nu hare donkere zijde naar de aarde gekeerd en zal gelijktijdig met de zon boven den horizon door den meridiaan gaan. Daar zij kort vóór en na het bereiken van dezen stand zich in het licht der zonnestralen verliest, zal zij omstreeks dit tijdstip der *nieuwe maan*

niet worden gezien. Maar, steeds voortgaande, komt zij voortdurend verder ten oosten van de zon te staan en eindelijk weder zoo ver, dat de richtingen, waarin beide lichamen uit de aarde gezien worden, elkander wederom rechthoekig snijden. Dan zal haar verlicht gedeelte wederom zoo zeer zijn toegenomen, dat de gansche westelijke helft verlicht is; het vlak toch van den cirkel, die op de maan licht van duisternis scheidt, zal weder gaan door het middelpunt der aarde. Men zegt nu dat de maan in haar *eerste kwartier* is; daar zij 90° van den oostelijken rand der zon is verwijderd, zal zij omstreeks den tijd der nachteveningen ongeveer zes uren na de zon ondergaan.

Bij den overgang van de eene der vier hier genoemde *phasen* of *schijngestalten* der maan tot de andere, zal achtereenvolgens haar verlicht gedeelte al die gedaanten vertoonen, waaronder zich de verlichte helft van een bol vertoonen kan, als zij wordt geprojecteerd op vlakken, die verschillenden stand hebben. Soms heeft die projectie den vorm van een sikkel, wiens uiteinden men dan wel de *hoornen* der maan noemt.

Dat de hier gegevene verklaring de juiste is, met andere woorden, dat men niet behoeft te vreezen hier in dezelfde dwaling te verkeeren als eenmaal de tegenstanders van COPERNICUS ten opzichte van de jaarlijksche beweging der zon, zal men lichtelijk inzien, als men bedenkt, dat eene eigene beweging van de aarde om de maan eene overeenkomstige schijnbare van de zon en van de planeten zou moeten veroorzaken.

54. Den in de vorige § genoemden loop om de aarde volbrengt de maan in 27 dagen en 8 uren. Dit is hare *siderische omlooptijd*, dat wil zeggen, dat tusschen twee tijdstippen, waarop de maan van eene vaste ster uitgaande tot deze kan terug keeren, dit aantal dagen en uren zal verlopen. De tijd, die verstrijkt tusschen twee overeenkomstige fasen van de maan, bijv. tusschen twee volle manen, is langer, omdat de maan in dien tusschentijd ook den boog aan den hemel moet doorloopen, dien de zon in hare schijnbare loopbaan is gevorderd. Daar de zon in 28 dagen ongeveer even zoo veel graden aan den hemel aflegt en de maan dagelijks ruim 12

graden vordert, zal het verschil met den siderischen omloopstijd ongeveer $3\frac{1}{3}$ dag moeten bedragen. Inderdaad is dan ook de synodische omloopstijd 29 dagen en 13 uren lang.

Het vlak waarin de maan deze hare loopbaan beschrijft valt met dat van de ecliptica niet samen. De helling ten opzichte van dit laatste bedraagt $5^{\circ}8'$. De maan kan dus nooit meer dan ruim vijf graden hooger en ook nooit meer dan ruim vijf graden lager dan de ecliptica boven den horizon staan. Bij ons, die op een breedte van ruim 52° wonen, voor wie dus de aequator een hoogte van 38° heeft en die der ecliptica tusschen 15° en 61° afwisselt, zal de volle maan nooit hooger dan ruim 66° en nooit lager dan ongeveer 10° boven den horizon gezien worden. Het eerstgenoemde geval kan zich slechts voordoen op den 22^{sten} Dec. en het laatstgenoemde op den 22^{sten} Juni van eenig jaar; over het algemeen blijkt het dat tusschen het eerste en laatste kwartier de maan des winters, wanneer wij haar licht het meest behoeven, een veel grooter gedeelte van haren boog boven dan beneden onzen horizon beschrijft.

Aan de polen zal, nadat de zon op den 22^{en} Septr. is ondergegaan, de maan in elke der zes volgende maanden gedurende de helft van haren synodischen omloopstijd boven den horizon blijven. Door de dagelijksche beweging des hemels medegevoerd en zelf in hare baan voortgaande zal zij telkens gedurende zulk een halven omloopstijd eerst langzaam klimmende, dan langzaam dalende een spiraal schijnen te beschrijven. Daarbij zal hare grootste hoogte altijd minder dan 29° , hare kleinste altijd meer dan 18° bedragen. Is op dien 22^{en} Septr. de maan vol, dan komt zij vol op, bereikt haar hoogste punt ruim zeven dagen later in haar laatste kwartier en gaat, wederom een week daarna, bijna als nieuwe maan onder. Is daarentegen op den 22^{en} Decr. de maan vol, dan is zij ruim een week te voren in het eerste kwartier opgegaan, om ruim een week daarna in haar laatste kwartier onder den horizon te verdwijnen.

Aan den noordpool-cirkel, waar de noorderkeerkring den horizon raakt, zal op 22 Decr. gedurende de nacht van 24 uren, de maan, als zij zich door de helling van hare baan ten noorden

van de ecliptica bevindt, een volkomen omwenteling boven den horizon maken. Staat zij zoo ver mogelijk boven de ecliptica en is zij daarenboven vol, dan zal zij op den middag ruim 8° boven de noorderkim, te middernacht ongeveer 52° boven de zuiderkim staan.

55. Lag de loopbaan der maan in het vlak van de ecliptica dan zouden gedurende iederen synodischen omloopstijd, en wel telkens bij volle maan, de middelpunten der drie lichamen zóó op eene rechte lijn komen te liggen, dat de aarde zich tusschen de zon en de maan bevond. En daar zelfs in de meest ongunstige omstandigheden, te weten, als de maan zoo ver mogelijk van de aarde en deze zoo na mogelijk bij de zon staat, de schaduwkegel van de aarde (Fig. 19) op den afstand der maan nog een middellijn heeft, die ongeveer twee en een half maal zoo groot is als de middellijn van deze, zou men in dat geval maandelijks een totale maansverduistering moeten zien.

Nu echter de helling van de loopbaan der maan ten opzichte van het vlak der ecliptica ongeveer $5^{\circ}8'$ bedraagt, zal

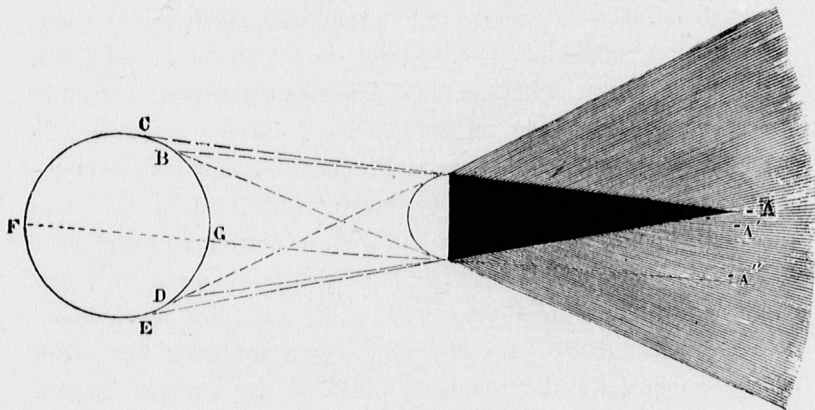


Fig. 19.

een verduistering alleen kunnen voorvallen als de maan zich nabij een van de knoopen bevindt. Is dit het geval op het tijdstip van volle maan, dan zal het licht, dat de maan van de zon ontvangt, door de aarde onderschept worden. Zij

zal dan zelve donker zijn; zoodat wanneer voor eenige plaats op aarde de maan is verduisterd, zij noodzakelijk op elke andere plaats, ten minste voor zooverre zij daar tijdens hare verduistering boven den horizon is, op volkomen dezelfde wijze verduisterd moet gezien worden.

Behalve de schaduwkegel, die begrensd wordt door de uitwendige raakvlakken aan de zon en de aarde, en binnen wiens oppervlak geen zonnelicht kan doordringen, bevindt zich steeds achter de aarde een ruimte, die slechts door een gedeelte van het zonnelicht wordt beschenen. Deze ruimte wordt begrensd door de inwendige raakvlakken aan de beide bollen. Ook zij heeft de gedaante van een kegel, maar zijn top ligt tusschen de beide lichamen op de lijn die hunne middelpunten verbindt; men noemt hem den *bijschaduwkegel*. Zijn loodrechte doorsnede is achter de aarde steeds grooter dan die van den schaduwkegel, zoodat het dikwijls kan gebeuren dat de maan door gene gaat zonder nog in deze te treden. In dat geval wordt zij over hare geheele oppervlakte beschenen door het licht van het gedeelte *F E D G* der zon, dat voor haar door de aarde niet wordt verborgen. Zij is dus over hare gansche oppervlakte verlicht, maar flauwer dan gewoonlijk. Het is duidelijk, dat elke maansverduistering zal worden voorafgegaan en gevolgd door haar treden in den bijschaduwkegel. De overgang van haar volle lichtsterkte tot het begin der verduistering en omgekeerd zal dus zeer geleidelijk plaats hebben en het is diengevolge moeielijk het oogenblik van begin en einde eener maansverduistering met volkomen juistheid door waarneming te bepalen.

De maan wordt bij eene totale verduistering nooit geheel onzichtbaar. Zij vertoont zich steeds in koperkleurig schemerlicht, waarvan de tint bij verschillende verduisteringen verschillend is. Mag men aannemen, dat de aarde, uit de maan gezien, tijdens de verduisteringen van deze omgeven is van een stralenkrans, overeenkomende met dien, waarmede wij gedurende totale zonsverduisteringen de maan omhuld zullen zien, dan vinden wij in dien krans en in den veranderlijken toestand

van onzen dampkring een voldoende oorzaak van dat koperkleurig licht en van zijne wijzigingen.

56. Komt de maan op een rechte lijn te staan met de zon en de aarde op het oogenblik dat beide hemellichamen in conjunctie zijn, met andere woorden, is op het tijdstip der nieuwe maan deze in het vlak van de ecliptica, dan zal eene zonsverduistering plaats hebben.

Dit verschijnsel nu is in zijn wezen zeer verschillend van een maansverduistering. Want terwijl tijdens de laatstgenoemde de maan werkelijk donker wordt, blijft de zon haar licht behouden; donker alleen schijnt zij hem toe, die geplaatst is binnen de oppervlakte van den schaduwkegel der maan. Deze nu strekt zich uit tot op een afstand van de maan, die wisselt tusschen 49 000 en 51 000 D. G. mijlen, terwijl de grootste afstand van de maan tot de aarde ruim 54 600 en haar kleinste afstand ongeveer 49 000 D. G. mijlen bedraagt. In de meest ongunstige omstandigheden strekt zich dus die kegel niet uit tot aan de aarde, zoodat op de plaatsen, die door hare omwenteling achtereenvolgens komen op de richting van de as des kegels, de zon zal worden gezien als een lichtgevende ring, die de donkere schijf der maan omgeeft. Een ringvormige zonsverduistering zal daar worden waargenomen. Bevindt zich het oog van den waarnemer ergens op de as, bijv. in A (Fig. 19), en ligt het middelpunt van de maan juist op de lijn die dat van de zon met het oog verbindt, is dus de verduistering centraal, dan zal de ring overal even breed zijn; zijne breedte $CB = DE$ zal bepaald worden door het gedeelte van de oppervlakte der zon, dat valt buiten de ruimte, omsloten door een kegel, die A tot top heeft en wiens beschrijvende lijnen de oppervlakte der maan aanraken. In een nabij de as gelegen punt A' zal de verduistering nog ringvormig kunnen zijn; maar de ring zal daar niet overal dezelfde afmetingen hebben. Op plaatsen eindelijk verder buiten de as des kegels, maar nog binnen den bij schaduwkegel gelegen, zal slechts een gedeelte van de zon zichtbaar zijn. Zoo zal men bijv. in A'' alleen het cirkelsegment

FEG van de zonneshijf kunnen zien, dat ligt beneden de lijn, die, uit A'' getrokken, de maan raakt in haar laagste punt. Voor als A'' gelegen punten heeft eene gedeeltelijke zonsverduistering plaats.

Is de betrekkelijke stand der drie lichamen dezelfde, terwijl de omstandigheden gunstiger zijn, dan zal de schaduwkegel door de oppervlakte der aarde worden gesneden. Op alle plaatsen, die binnen den omtrek dier doorsnede liggen, zal men eene totale zonsverduistering zien, terwijl voor de buiten haar maar in den bijschaduwkegel gelegen punten, de zon wederom gedeeltelijk verduisterd zal zijn. De doorsnede van de oppervlakte der aarde met den schaduwkegel is de oppervlakte van een bolvormig segment. En terwijl dit segment een grondvlak heeft, welks middellijn de breedte bepaalt van den gordel, waarop door de wenteling der aarde de schaduw wordt geworpen, zal de lengte van deze worden bepaald door den tijd, gedurende welke de maan, uit eenig punt op aarde gezien, voor de zon blijft vertoeven. Haar voorbijgaande met een schijnbare snelheid, die gelijk is aan het verschil van de snelheden van zon en maan, blijft deze bij een totale centrale eklips in de gunstigste omstandigheden gedurende 5 uren en ± 50 minuten geheel of gedeeltelijk binnen de oppervlakte van dien kegel. Tusschen de oogenblikken, waarop bij een centrale zonsverduistering de zon op de gansche aarde in haar volle licht wordt gezien, verstrijkt dus de zoo even genoemde tijd. Daarentegen kan in de gunstigste omstandigheden de tijd, gedurende welken op eene bepaalde plaats de zon *totaal* verduisterd blijft, niet lang zijn. Zelfs in die omstandigheden heeft de maan slechts een schijnbare middellijn van 33' en de zon een middellijn van 31' 30". De totale verduistering kan dus niet langer duren dan den tijd, dien de maan noodig heeft om door hare meerdere snelheid een boog van $1\frac{1}{2}$ minuut te doorloopen: daar nu de maan in eene sekonde een boog van een halve sekonde op de zon vooruitkomt, zal de totale verduistering voor eene bepaalde plaats slechts 3 minuten kunnen duren. Bij een ringvormige verduistering echter, als de middellijn van de zon

32'36" en die van de maan slechts 29'34" bedraagt, kan de maan gedurende ruim zes minuten door een lichtgevenden ring zijn omgeven.

Alle plaatsen op aarde die binnen den bovengenoemden gordel liggen, zullen de zon totaal verduisterd zien; zij zullen liggen aan weerszijde van den parallelcirkel, in wiens vlak op dien dag de dagboog der zon ligt. Hoe verder zij buiten dien gordel liggen, des te kleiner zal het verduisterde gedeelte der zon zijn. De grootte van dit gedeelte wordt gewoonlijk uitgedrukt in twaalfde deelen van de middellijn der zon; aan elk dier deelen heeft men den zeer vreemd gekozen naam van *duim* gegeven.

57. Terwijl op de boven medegedeelde wijze de maan haren loop om de aarde volbrengt, blijft voortdurend dezelfde helft van hare oppervlakte naar deze toegewend. Hieruit volgt klaarblijkelijk dat de tijd, waarin zij eene omwenteling volbrengt om hare as, aan haren omloopstijd gelijk is. Op een bepaalde plaats op aarde zou men dus steeds slechts de helft van hare oppervlakte te zien krijgen, als niet andere omstandigheden er toe bijdroegen, dat het zichtbare gedeelte iets grooter is.

Onder deze noemen wij in de eerste plaats de omstandigheid, dat de as, waarom de maan wentelt, niet loodrecht staat op het vlak van hare baan. Verplaatst zich dus die schuins staande as evenwijdig aan zich zelve langs den omtrek der baan, dan zal de pool, die op eenig bepaald tijdstip naar ons is toegekeerd, een halven omloopstijd later van ons afgewend zijn, terwijl daarentegen de pool, die in het eerste geval voor ons onzichtbaar was, in het tweede in de voor ons zichtbare helft van de oppervlakte zal zijn gelegen. Op twee tijdstippen, die juist het midden tusschen de twee zoo even genoemden innemen, zullen beide polen liggen in den omtrek van de schijf der maan. Door den langzamen overgang nu van den eenen uitersten stand in den anderen, zullen alle merkbare punten op de maan schijnbaar eene beweging hebben, waarbij zij schommelen om een as, die in het vlak van hare en onze loopbaan ligt; eene beweging dus, waarbij hunne afstanden

tot het vlak der ecliptica gedurende de eene helft van dien omloopstijd toenemen, terwijl zij gedurende de andere helft nader bij dit vlak komen. Deze schijnbare libratie der maan nu heeft steeds ten gevolge, dat wij iets meer dan de helft van hare oppervlakte te zien krijgen, ook zonder dat wij ons op aarde verplaatsen.

Eene dergelijke libratie volbrengt de maan om een as, die loodrecht staat op het vlak van hare baan; zij is evenzoo slechts eene schijnbare. De wentelende beweging toch van de maan om hare as is eene gelijkmatige, terwijl daarentegen hare voortgaande onder den invloed van de aantreking der aarde geschiedt volgens de wetten van KEPLER. Waren beide bewegingen gelijkmatig, dan zouden de hoeksnelheden steeds dezelfde zijn, daar toch eene geheele omwenteling steeds geschiedt in een geheel omloopstijd. Vooronderstel nu dat op eenig bepaald oogenblik eenig punt op de oppervlakte der maan juist samenvalt met het middelpunt van de schijf, en dat op dat oogenblik, nabij haar perigeum, de hoeksnelheid van de voortgaande beweging grooter is dan die van de wentelende, dan zal na eenigen tijd dat punt uit de aarde gezien bij het middelpunt zijn achtergebleven. De afstand zal steeds toenemen zoolang de eerste hoeksnelheid grooter dan de tweede blijft, terwijl zij weder zal afnemen als, nabij haar apogeum, de maan in hare loopbaan eene kleinere hoeksnelheid heeft dan de gemiddelde.

Zonder dus op aarde van standplaats te veranderen, zal men reeds van hare oppervlakte meer te zien krijgen dan de helft. Neemt men nu nog hierbij in aanmerking, dat de afstand van de maan klein genoeg is om te maken dat, bij eene aanmerkelijke verplaatsing van den waarnemer, punten, die vroeger in het onzichtbare halfrond der maan lagen, nu zichtbaar worden, en omgekeerd, dan blijkt het dat voor hem, die zich snel over de oppervlakte der aarde heên en weêr bewoog, de maan evenzoo zou schijnen te schommelen. De twee zoo even genoemde libratiën en deze paralactische te zamen genomen, hebben ten gevolge, dat eene nauwgezette waarneming

van de maan over de gansche aarde ons bekend kan maken met de bijzonderheden, die zich voordoen op vier zevende deelen van hare oppervlakte.

58. Eer wij overgaan tot de beschrijving van deze bijzonderheden, willen wij de aandacht vestigen op een natuurverschijnsel, dat voor het grootste gedeelte wordt veroorzaakt door het verschil in de intensiteit der aantrekking, die de maan uitoefent op de verschillende deelen der aarde. Deze aantrekking toch heeft op verre na niet overal dezelfde intensiteit; daar toch deze afneemt in dezelfde verhouding als waarin de tweede machten der afstanden tot het middelpunt van de maan toenemen, zal zij aan de punten van de oppervlakte, die van haar zijn afgekeerd, aanmerkelijk kleiner zijn dan in de meest nabij haar gelegene.

Bestond nu de aarde geheel uit vaste stof, dan zou dit verschil in aantrekking op hare verschillende deelen geen invloed uitoefenen op hare gedaante; de aanwezigheid der maan zou dan alleen ten gevolge hebben, dat de aarde soms wat nader bij en soms wat verder van de zon zou staan, dan het geval zou zijn als zij niet van een wachter voorzien was. Is de aarde overdekt met een laag water, dan zal nog de afstand van het gemeenschappelijk zwaartepunt der vaste kern en van haar vloeibaar omhulsel tot de zon op dezelfde wijze door de aantrekking van de maan gewijzigd worden. Hare oorspronkelijke snelheid volgens de raaklijn en de voortdurend door de maan in verschillende mate gewijzigde aantrekking der zon zullen dan, den stand en den loop van dat zwaartepunt te zamen regelende, deze van de ellips doen afwijken. Maar daarbij zal dit omhulsel, welks deeltjes zoo gemakkelijk ten opzichte van elkander verplaatsbaar zijn en welks oppervlakte zich dien ten gevolge steeds in eenig punt loodrecht plaatst op de resultante van alle op dat punt werkende krachten, van gedaante veranderen. Daar toch de aantrekking, die de maan op dat omhulsel uitoefent, van punt tot punt verandert, zullen de richtingen van de resultanten in de naast bij de maan gelegen punten meer dan in de verwijderde

afwijken van de stralen, uit het middelpunt der aarde naar hen getrokken. De vlakken, loodrecht op deze resultanten gebracht, zullen dus onmogelijk meer allen raakvlakken zijn aan een bol. Immers langs den grooten cirkel van den bol zijn de hoeken, die de raakvlakken aan de opeenvolgende punten met elkander maken, evenredig met de lengten der bogen die deze punten vereenigen. Omtrent de ware gedaante van het oppervlak kunnen wij hier echter uit deze beschouwing niets anders afleiden, dan dat het een omwentelings-oppervlak zal zijn, waarvan de as samenvalt met de lijn, van het middelpunt der maan naar dat van de aarde getrokken. Want al de genoemde resultanten, voor zooverre zij gelden voor de zelfde doorsnede van het omhulsel met een vlak loodrecht op die lijn, wijken van dien straal evenveel af.

Om tot klaarder inzicht te komen van de gedaante, die de oppervlakte van het omhulsel zal aannemen, stellen wij ons voor dat de maan een vloeibare massa aantrekt, die een bolvormige gedaante heeft en wier stand in de ruimte, even als die van de aarde, door de zon wordt geregeld. Op de helft van den bol die naar de maan is toegekeerd, werkt van deze kracht een gedeelte dat grooter, op de andere helft een gedeelte dat kleiner is, dan de helft der in het zwaartepunt aangrijpende eindresultante, wier werking den afstand van het geheel tot de zon eenigszins wijzigt. Is nu K de waarde van deze, dan werkt op de eene helft een kracht, wier intensiteit door $\frac{1}{2} K + k$, op de andere eene wier grootte door $\frac{1}{2} K - k'$ kan worden voorgesteld, wanneer $k > k'$ wordt genomen. Als dus het zwaartepunt der vloeibare massa ten opzichte van de zon is geplaatst op eene wijze, die overeenkomt met de door K gewijzigde aantrekking der zon, dan werken in dien evenwichtstoestand op hare eene helft een kracht $+ k$, op de andere een kracht $- k'$. Onder den invloed van deze in tegenovergestelde richting werkende krachten zal de veerkrachtige massa worden uitgerekt en eene gedaante aannemen, die van de onderlinge aantrekking van hare deeltjes afhangt.

Bevindt zich nu binnen in de vloeibare massa een vast

lichaam, dat een bolvormige gedaante heeft en welks massa ten opzichte van die der vloeistof zoo groot is, dat het gemeenschappelijk zwaartepunt steeds met zijn middelpunt samenvalt, dan zal de vloeistof niet overal even hoog staan boven zijne oppervlakte. Zij bereikt hare grootste hoogte boven de punten, waar de lijn, door het middelpunt van de maan en van den bol getrokken, het oppervlak van deze snijdt; hare kleinste op den omtrek van den grooten cirkel, die van de genoemde punten een kwadrant is verwijderd.

Een geval ongeveer analoog met het laatstgenoemde doet zich voor bij onze aarde. Voor een groot gedeelte van hare oppervlakte is zij bedekt met water en de massa van dit laatstgenoemde is in verhouding tot het geheel slechts gering. Het zal dus tweemaal daags hoog water of vloed en evenzoo tweemaal daags laag water of eb zijn aan elke plaats op aarde, terwijl bij hare wentelende beweging de lijn, die de middelpunten van maan en aarde verbindt, zal gaan door alle punten van den parallelcirkel, waar men dien dag de maan in het zenith krijgt. Hieruit volgt dus, dat de vloed op een plaats zou samenvallen met de oogenblikken waarop de maan daar in den meridiaan, dat is zoo hoog of zoo laag mogelijk, staat, en dat de eb op die plaats ongeveer zes uren daarvoor of daarna zal invallen. Het verschijnsel wordt echter door een tal van omstandigheden zeer gewijzigd. In de eerste plaats oefent de zon, ofschoon, wegens het in verhouding tot haren ganschen afstand veel kleiner verschil harer afstanden tot twee tegenovergestelde punten der aarde, in veel geringere mate, eene overeenkomstige werking uit op het water. De groote as van de ellipsoïde, die door hare werking wordt gevormd, valt echter nooit dan bij eklipsen samen met de groote as van de ellipsoïde, door de maan veroorzaakt. Toch werken bij volle en nieuwe maan of, zoo als men het ook wel noemt, tijdens de syzygiën beide hemellichamen samen, terwijl, tijdens de kwartieren, als de lijn, die het middelpunt van de aarde met de zon verbindt, een rechten hoek maakt met de lijn van het eerstgenoemde middelpunt naar dat van de maan getrokken, zij elkander

tegenwerken. In de eerstgenoemde gevallen heeft men zeer hooge vloed en springtij, in de laatste zeer lage vloed en doodgetij. Maar ook de werking van zon en maan is, wegens den veranderlijken afstand van beide tot de aarde, niet altijd even sterk; en al brengen wij ook al deze omstandigheden in rekening, dan zal nog steeds het verschijnsel in de werkelijkheid sterk afwijken van het verschijnsel, zooals het uit de theorie voortvloeit. De aarde toch is niet over hare geheele oppervlakte met water overdekt en de wrijving, die het ondervindt langs de kusten, zal met de traagheid van het water medewerken om de tijdstippen, waarop hoog en laag water moeten invallen, te vertragen. Die wrijving maakt zelfs dat de getijden in de monden der rivieren slechts weinig diep landwaarts indringen.

59. Omtrent de gesteldheid van de oppervlakte der maan zijn wij, dank zij den korten afstand, waarop zij van de aarde verwijderd is, beter ingelicht dan omtrent die van eenig ander hemellichaam. De talloze vlekken, die wij reeds met het bloote oog op hare oppervlakte waarnemen, vertoonen zich door een middelmatigen kijker als bergen, wier hoogte met betrekking tot de grootte van de maan zelve veel aanzienlijker is dan die van de hoogste bergen op aarde in verhouding tot deze. De meesten staan geheel op zich zelve; slechts zelden zijn zij tot bergketenen of bergkransen vereenigd, die dan nog beide met de overeenkomstige formatiën op aarde weinig overeenkomst hebben. De gedaante der enkele bergen is meestal ringvormig, en naarmate de omtrekken dezer ringen een grootere of kleinere middellijn hebben, onderscheidt men hen in ringgebergten en kraters. Midden in den door den eerste gevormden ring vertoont zich meestal een hooge berg, dien men den centraalberg noemt. Is de uitgestrektheid, die door den ring als door een wal omgeven wordt, nog veel grooter, wijkt die wal aanmerkelijk af van de cirkelvormige gedaante, en sluit zij eene vlakte in, die meerdere hoogten en diepten vertoont, dan noemt men deze eene walvlakte. Ook hoog- of berglanden ziet men op de maan; deze

loopen aan de eene zijde over een groote uitgestrektheid zacht glooiende op, terwijl zij, op eene aanzienlijke hoogte gekomen, plotseling eindigen in een steilen bergrug.

Omtrent de hoogte van de bergen der maan is men voldoende ingelicht door de schaduwen, die zij op hare oppervlakte werpen. Gedurende de kwartieren, als de zonnestralen strijken langs het gedeelte van hare oppervlakte dat naar ons is gewend, ziet men duidelijk de lange slagschaduwen en de veranderingen, die deze ten gevolge van den veranderenden stand der zon ten opzichte van die bergen, ondergaan. In dat gedeelte van de oppervlakte, waar het dan nog nacht is, ziet men lichte stippen. Deze zijn de reeds door het zonnelicht beschenen toppen van bergen; dat zij zoo ver van het verlichte gedeelte der maan verwijderd zijn wijst er op hoe hoog die bergen zijn. Bij volle maan, als de zonnestralen loodrecht vallen op het naar ons gekeerde gedeelte van hare oppervlakte, zijn de bijzonderheden op deze niet te onderscheiden. Dan echter bemerkt men dat niet al hare deelen het licht op dezelfde wijze terugkaatsen; de tinten van dit teruggekaatste licht verschillen zelfs zoo veel, dat men gedurende eenigen tijd heeft gemeend die van de donkere vlekken te moeten toeschrijven aan de absorbtie van licht door eene vloeibare massa. Die grauwe vlekken heeft men daarom zeeën genoemd; en ofschoon men van dit denkbeeld reeds lang is teruggekomen, duidt men ze op de maankaarten nog steeds als zeeën aan.

Een nauwkeurige afbeelding van de maan is ons geleverd door de sterrekundigen BEER en MÄDLER. Vergelijkt men deze voor meer dan vijftientig jaren vervaardigde kaart met de oppervlakte van de maan zooals zij thans zich voordoet, dan ontdekt men slechts op één punt eenig verschil. Deze in de maand November van het jaar 1866 het eerst door SCHMIDT waargenomen verandering moet daaraan worden toegeschreven dat rondom den naar LINNAEUS genoemden krater de bodem is gerezen, zoodat die met den rand des kraters nagenoeg gelijk is geworden. Want, terwijl vroeger bij schuins vallend licht de schaduw van dezen rand zich zonder moeite liet waar-

nemen, is thans de bodem nabij den krater onder dezelfde omstandigheden gelijkmatig verlicht.

De fotografische afbeeldingen van de maan, vooral die van WARREN DE LA RUE hebben veel bijgedragen tot de algemeene verspreiding eener juiste voorstelling van de oppervlakte der maan; voor de wetenschap hebben zij echter niets nieuws opgeleverd.

60. De waarneming der sterbedekkingen door de maan leert ons, dat hare oppervlakte niet als die der aarde door een dampkring is omgeven. Want de tijd, dien een ster volgens de berekening, waarbij op de brekende werking van dien dampkring geen acht is geslagen, achter de maan moet vertoeven, komt overeen met den tijd, gedurende welke zij werkelijk bedekt blijft. Had de maan een dampkring, wier dichtheid eenigszins met die van den onze kon vergeleken worden en die zich over hare voor ons zichtbare helft uitstreckte, dan

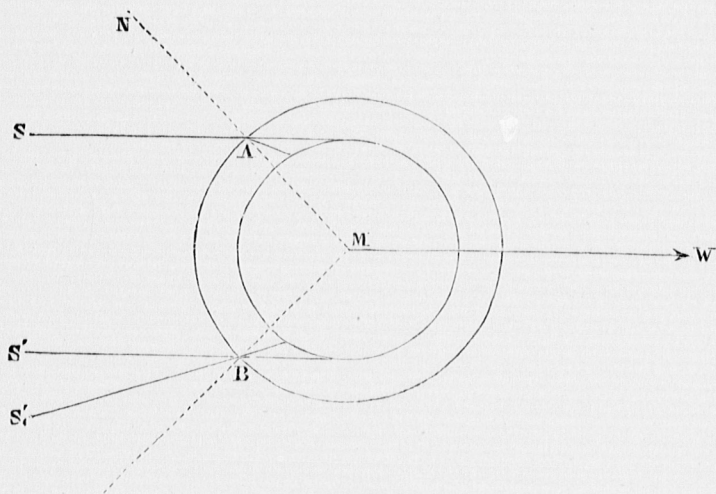


Fig. 20.

zou de laatstgenoemde tijd langer moeten zijn dan de eerstgenoemde. De straal SA , bij voorbeeld, zal, als de maan zulk een dampkring niet heeft, nog het oog van den in de richting van W op verren afstand geplaatsten waarnemer (Fig. 20) bereiken, terwijl evenzoo de straal B in dat geval nog

langs den rand der maan zal glijden. In het tegenovergestelde geval echter zal de ster S voor een in de richting van W geplaatsten waarnemer *niet meer* zichtbaar zijn, aangezien de breking harer stralen naar de normaal NM buigt en deze door het lichaam der maan worden onderschept. En evenzoo zal de ster S' *nog niet* zichtbaar zijn, omdat hare stralen in B zóó worden gebroken, dat het is alsof zij in de richting S'B' in den dampkring zijn getreden.

Deze afwezigheid van een dampkring doet ons er onmiddellijk toe besluiten, dat water noch vuur op de oppervlakte van de maan bestaan kunnen; bij gemis van dampkringsdrukking toch zou het eerste in damp overgaan en, zoodoende, zelf een merkbaren dampkring vormen, terwijl bij gemis van een gas, waarmede zich de lichamen op bepaalde temperaturen kunnen verbinden, elk verbrandingsproces onmogelijk wordt. Ook het geluid zal zich langs hare oppervlakte alleen voortplanten door middel van de vaste massa zelve; zoodat een wezen, ingericht als de mensch, op de maan het vallen van een rotsblok alleen zoolang zou vernemen, als zijn lichaam in aanraking was met hare oppervlakte. Maar van wezens georganiseerd als de ons bekenden, kan, bij afwezigheid van lucht en water, op de maan geen sprake zijn.

De snelheid van een vallend lichaam aan het eind van de eerste sekonde zal, daar de straal der maan $\frac{1}{70}$ en hare massa $\frac{1}{33}$ van die der aarde is, slechts $9,812 \left(\frac{1}{33}\right)^2 \frac{1}{33} = 1,513$ meters zijn. Afwisseling van dag en nacht is daar zóó geregeld, dat nagenoeg elke plaats op de maan gedurende de helft van haren omloopstijd om de aarde in het licht en gedurende de andere helft in het duister blijft. Op het tijdstip van eerste kwartier, bij voorbeeld, gaat de zon op voor de plaatsen die het midden innemen van de naar ons gekeerde helft. Voor deze plaatsen nu stijgt de zon voortdurend tot op het tijdstip van volle maan en zij gaat daar eerst onder als het laatste kwartier intreedt; en, dewijl de as der maan loodrecht is op het vlak, waarin de baan der aarde ligt, zullen ook alle plaatsen op hare oppervlakte ongeveer even lang dag als nacht hebben. Deze

laatste omstandigheid doet ons ook besluiten, dat wisseling van jaargetijden, die toch alleen een gevolg is van den schuinschen stand der as ten opzichte van het vlak, waarin de baan van eenig donker lichaam om de zon ligt, op de maan bijna niet plaats heeft. Beide helften zouden dus in alle opzichten vrij wel in gelijke omstandigheden verkeereren, indien niet de omloopstijd om de aarde en de tijd van omwenteling om hare as bij de maan volkomen overeenstemden. Nu dit zoo is, wordt hare eene helft slechts bestraald door het zonnelicht dat de aarde naar haar terugkaatst; kort na nieuwe maan, wanneer de aarde uit haar gezien vol is, zien wij het niet door de zon verlichte gedeelte der maan overtogen met een aschgrauw licht, dat niets anders is dan het licht door de aarde op haar geworpen.

Als wij nagaan dat de middellijn der aarde, uit de maan gezien, ruim $3\frac{1}{2}$ maal zoo groot is als voor ons de middellijn van de maan en dat de aarde voor den op de maan geplaatsten waarnemer in tegenovergestelden opeenvolging alle schijngestaten vertoont, die de aardbewoners bij de maan opmerken; wanneer wij daarbij bedenken, dat door het gemis van een dampkring alle hemellichamen zich bij de maan moeten voordoen als verlichte schijven en punten op een stikdonkeren grond, dan gevoelen wij iets van den indruk dien de sterrenhemel zou maken op eenen op hare oppervlakte geplaatsten beschouwer.

61. Reeds in den aanvang van dit hoofdstuk maakten wij, om daaruit de wentelende beweging van de zon af te leiden, melding van de vlekken, sedert de vroegste tijden op hare oppervlakte waargenomen.

Deze vlekken hebben in den regel over hare geheele uitgestrektheid niet even weinig lichtsterkte. Want, ofschoon er onder de zonnevlekken sommige voorkomen, die nergens geheel donker zijn, zoo bestaan toch verreweg de meesten uit een zwarte kern omgeven van een grauwen rand. Bevindt zich een vlek op het midden van de zonneschijf, dan ziet men ook de kern vrij wel in haar midden; maar naarmate de vlek den rand nadert en dus in de richting loodrecht op de omwentelings-as schijnbaar smaller wordt, verplaatst zich

ook de kern schijnbaar naar dat gedeelte van den rand, dat het naast bij het middelpunt der zonneschijf ligt. Bij den omtrek van deze gekomen verdwijnt de kern geheel uit het gezicht.

Deze bijzonderheden gaven w. HERSHEY aanleiding tot de volgende beschouwing van de physische gesteldheid der zon. Haar inwendig gedeelte was volgens hem een donkere bol, en deze tot op zeer grooten afstand omgeven door een dampvormig omhulsel of photosfeer, waarvan de oppervlakte alleen in gloeienden of brandenden toestand verkeerde. Zoodra nu door deze of geene oorzaak een opening ontstaat in de photosfeer, krijgt het oog toegang tot het inwendig minder verlicht gedeelte van dat omhulsel en de opening zal zich voordoen als een grauwe vlek. Is zij dieper, dringt het oog zelfs tot de donkere kern door en is daarbij de opening in het omhulsel kegelvormig, dan zal men een zwarte kern moeten zien, die van een grauwen rand is omgeven, ten minste, wanneer de vlek het midden inneemt van de zonneschijf. Want bij de groote diepte van het dampvormig omhulsel zal, als de kegelvormige opening den rand der zon nadert, de zwarte kern eerst zich schijnen te verplaatsen naar de zijde van de vlek, die naar het middelpunt der zon gekeerd is, om eindelijk zelfs geheel onzichtbaar te worden.

Volgens deze theorie zal dus het zonnelicht worden uitgestraald door een in gloeienden toestand verkeerend gasvormig lichaam. De juistheid van deze vooronderstelling werd zeer waarschijnlijk, toen in 1832 ARAGO ontdekte dat het licht, dat van de randen der zonneschijf tot ons komt, eene eigenschap miste, waarvan het hem gebleken was, dat zij alleen toekomt aan het licht dat door vaste lichamen en drupvormige vloeistoffen wordt uitgestraald. Gloeiende gassen, met andere woorden, stralen in het geheel geen gepolariseerd licht uit: daar nu de zonnestrallen volstrekt geene verschijnselen van gedeeltelijke polarisatie vertoonen, wordt ook het zonnelicht door een gloeiend gas uitgestraald.

Uit de waarnemingen bij totale zonsverduisteringen in 1842, 1851 en 1860 gedaan blijkt vrij zeker, dat de photosfeer

der zon nog tot op grooten afstand is omgeven van een dampkring, die te weinig zonnelicht terugkaatst, dan dat men van hem, als de zon zelve zich in al haren glans vertoont, iets gewaar wordt. Slechts wanneer de zonneschijf zelve geheel door de maan bedekt is, vertoont zij zich als een lichtkroon of aureool die in den laatsten tijd door vele waarnemers meestal de *corona* wordt genoemd. De waarnemingen, tijdens de zonsverduistering van 12 Dec. 71 onder anderen ook door OUDEMANS in Ned. Indië gedaan, wijzen allen op eene polarisatie van het licht der corona, die steeds toeneemt, naarmate het waargenomen licht afkomstig is van deelen der corona die verder van den rand der maan zijn verwijderd. Zij leiden tot het besluit dat het licht dat de buitenste lagen der corona uitstralen hoofdzakelijk teruggekaatst licht is, dat daarentegen dat van de meer naar binnen gelegen lagen eigen licht is.

Omtrent de beteekenis der rozeroode protuberancen, die men in den lateren tijd bij alle zonsverduisteringen heeft opgemerkt bestaat weinig zekerheid. Zij schijnen in korten tijd aanmerkelijk van gedaante te veranderen en worden door verschillende waarnemers tijdens dezelfde zonsverduistering op zeer onderscheidene wijze afgebeeld.

Van de photospheer der zon sprekende willen wij ook melding maken van het zodiakaal licht, omdat dit gedurende geruimen tijd voor een bij de zon behoorenden dampkring is gehouden. Het verschijnsel, dat aldus wordt genoemd omdat het altijd in de sterrebeelden wordt gezien die den dierenriem vormen, vertoont zich in Februari en Maart kort na zons-ondergang in het westen en in October kort voor zons-opgang in het oosten. Het vormt een lichtgevende strook, die, in het voorjaar links en in het najaar rechts overhellende, op den horizon schijnt te staan ter plaatse waar de zon is ondergegaan; aan haren voet is zij zeer breed, maar, terwijl zij zich tot op vrij aanzienlijke hoogte boven den horizon verheft, wordt zij langzamerhand smaller, om ten laatste spits toe te loopen. Naarmate de zon dieper daalt onder den horizon nadert ook deze top de westerkim, zoodat het verschijnsel klaarblijkelijk aan

de dagelijksche beweging des hemels deel neemt en als het ware bij de zon schijnt te behooren. CASSINI heeft dan ook het denkbeeld geopperd, dat hetgeen wij zodiakaal licht noemen niets anders is dan een zich zeer ver uitstrekkende, sterk afgeplatte dampkring, wiens projectie op het hemelgewelf wij als een spits toeloopenden band zien moeten. De schuinsche stand ten opzichte van den horizon zou dan ook zoowel in het voorjaar als in het najaar volkomen overeenstemmen met den hoek, dien alsdan de aequator van de zon met den horizon maakt, hetgeen, indien het zodiakaal-licht een afgeplatte dampkring van de zon zal zijn, klaarblijkelijk een onmisbaar vereischte is. Het is evenwel later niet alleen gebleken, dat deze noodzakelijke overeenkomst geenszins bestaat, maar het is zelfs aangetoond dat reeds op een afstand van de zon, veel kleiner dan die waarop het zodiakaal-licht zich uitstrekt, de middelpuntvliedingskracht de werking van hare aantrekking reeds zoozeer overtreft, dat daar de stofdeeltjes niet meer door deze kunnen gedwongen worden in de nabijheid van de zon te blijven.

Wij zien dus dat omtrent den physischen toestand der zon ons weinig met zekerheid bekend is. Op welke wijze de vlekken op haar ontstaan en verdwijnen, wat de meer lichtgevende plekken op hare oppervlakte beteekenen, waaraan men wegens hare gedaante de namen van fakkels en lidteekenen heeft gegeven, ja zelfs hoe zij de eeuwen door een onuitputtelijke bron van licht en warmte kan zijn, dit alles ligt voor ons nog in het duister. De theoriën, die men omtrent haren toestand heeft opgesteld, zijn nog over het algemeen te zeer zuivere hypothesen, dan dat zij behooren tot het domein der populaire wetenschap. Alleen, omdat zij zoo algemeen bekend is geworden en tevens om te waarschuwen tegen al te onvoorwaardelijk geloof slaan aan hare geldigheid, willen wij wijzen op de theorie door KIRCHHOF en BUNSEN in 1862 gegrond op de aanwezigheid der zoogenaamde Fraunhofersche strepen in het zonnenspectrum. Bij de beoefening van wetenschappen verwant aan de onze heeft men opgemerkt dat de metalen, wier dampen in gloeienden toestand voorhanden zijn in een vlam, allen

een eigenaardige heldere streep in het spectrum van die vlam doen ontstaan. Strijkt daarentegen wit licht door de niet gloeiende dampen van die metalen, dan ontstaan er in het spectrum donkere strepen op dezelfde plaatsen, waar die dampen in gloeienden toestand de heldere gaven. Deze feiten gaven den genoemden natuurkundigen aanleiding tot de vooronderstelling dat de donkere strepen in het zonnespectrum op gelijke wijze ontstaan door absorbtie. Het inwendige van de zon toch zou volgens hen een lichaam zijn, dat wit licht uitstraalde en omgeven was door een dampkring, waarin al die metalen voorhanden zouden zijn, door wier aanwezigheid de kleuren geabsorbeerd worden, die in het spectrum ontbreken. De gedaante der zonnevlekken evenwel zou volgens deze theorie juist het omgekeerde moeten zijn van hetgeen wij waarnemen; ook zou, indien zij juist was, het zonnelicht volgens de bovengenoemde proeven van ARAGO gedeeltelijk gepolariseerd moeten zijn. Deze en meer andere bezwaren nopen ons deze theorie voor alsnog een onbepaald vertrouwen te ontfangen. Toch moeten wij opmerken dat de waarnemingen, sedert het verschijnen van den eersten druk dezer *Grondbeginselen* gedaan, dit vertrouwen versterken. Gedurende de zonsverduistering van den 22^{den} Dec. 1870 zijn door YOUNG de directe strepen in het spectrum der protuberancen waargenomen, die wijzen op de aanwezigheid van gloeiende metaaldampen in de atmosfeer der zon, terwijl door JANSEN, die op de kust van Malabar de verduistering van den 12^{den} Dec. 1871 waarnam, een spectrum van het licht der protuberancen is gezien waarin licht is, wat in het gewone spectrum van FRAUENHOFER als donkere strepen wordt gezien. Vooral de heldere strepen van het spectrum der waterstof zijn door hem zoowel als door LOCKIER duidelijk waargenomen.

62. Omtrent den physischen toestand der planeten zijn wij evenzoo slechts zeer onvolledig ingelicht.

Van de beide binnenplaneten *Mercurius* (volumen = 0,055 volumens der aarde; densiteit = 1,5 densiteit der aarde; siderische omloopstijd: 87,97 dag) en *Venus* (volumen = 0,9 volumens der

aarde; densiteit = 0,987 densiteit der aarde; siderische omlooptijd 224,7 dag) weten wij reeds dat zij beurtelings morgen- en avondster kunnen zijn en dat zij ons de fasen in regelmatige volgorde vertoonen.

Wat verder Mercurius aangaat, de as, waarom deze planeet in ruim 24 uren wentelt, maakt, volgens SCHROETER, met hare loopbaan een hoek van ongeveer 20° . Wisseling van dag en nacht en van jaargetijden zal dus op haar even als op de aarde moeten plaats hebben; maar de omstandigheden, dat de intensiteit van de zonnearmte op haar 6,25 maal grooter is dan bij ons en dat haar aequator met hare loopbaan een veel grooteren hoek maakt dan de onze met de eliptica, heeft ten gevolge dat er tusschen die seizoenen veel grooter onderscheid bestaat dan tusschen de onze. De veranderingen in gedaante, die men bij de hoornen van Mercurius waarneemt, als deze planeet een sterk sikkelvormige gedaante heeft, wordt door sommigen toegeschreven aan de plaatsveranderingen der schaduw, die hooge bergen op hare oppervlakte werpen. Ook heeft men uit de donkere banden, die soms op Mercurius worden waargenomen en uit den langzamen overgang van het verlichte gedeelte in het duistere tijdens de kwartieren, willen afleiden, dat die planeet van een dampkring is omgeven. Intusschen zal de kleinheid van Mercurius en de korte afstand waarop zij zich van de zon bevindt, wel altijd een groote hinderpaal blijven bij het verzamelen van waarnemingen, waarop met eenig recht vooronderstellingen omtrent haren toestand kunnen gebouwd worden.

Schoon dit zelfde in veel mindere mate van Venus geldt, weet men van haar niet veel meer dan van Mercurius. Uit de donkere vlekken, die zich op hare oppervlakte vertoonen, heeft DE VICO in 1840 hare wenteling afgeleid om een as, wier helling ten opzichte van hare loopbaan volgens SCHROETER slechts 15° bedraagt; hij vond voor den omwentelingstijd 23 uren 21 minuten en 24 seconden. Wij zien dus dat wat wisseling van dag en nacht betreft de beide binnenplaneten zeer nabij overeenkomen met onze aarde; doch dat, indien men SCHROETER's mededeelingen mag vertrouwen, de wisseling van jaargetijden in hare bijzon-

derheden zeer verschillend is van de op aarde heerschende. Om-trent de aanwezigheid van een dampkring en van bergen op Venus is men uit dezelfde verschijnselen tot eene even groote waarschijnlijkheid gekomen als daaromtrent bij Mercurius bestaat.

Reeds in § 41 merkten wij op dat de beide binnenplaneten zich als donkere schijfjes voor de zon zullen vertoonen, wanneer zij zich juist in een der knoopen bevinden, op het oogenblik dat de aarde met de zon op eene rechte lijn ligt. Het is duidelijk dat deze omstandigheden wegens den korteren omloopstijd van Mercurius bij deze planeet veelvuldiger samentreffen dan bij Venus. Terwijl dan ook Mercurius in een eeuw dertien maal voorbij de zon gaat, geschiedt dit met Venus slechts zestien maal in de duizend jaar. Tusschen twee achtereenvolgende overgan-gen van de eerstgenoemde planeet verloopen $3\frac{1}{2}$, 7 of $10\frac{1}{2}$ jaar; in deze eeuw zullen er nog twee plaats hebben, waarvan er een hier zichtbaar is. Twee achtereenvolgende overgangen van de laatstgenoemde hebben acht jaren na elkander plaats; dan verloopt er echter een tijdruimte van $105\frac{1}{2}$ jaar eer de pla-neet wederom voor de zon komt. Het laatste paar overgangen had plaats op den 8sten Dec. 1874 en op den 6den Dec. 1882; het eerstvolgende zal gezien worden in 1987 en 1995.

63. Van de binnenplaneten komt Mars (volumen = 0,16 volumen der aarde, densiteit = 3,78 densiteit der aarde; side-rische omloopstijd 686,98 dag) in zeer vele opzichten met onze aarde overeen. In 24 uren 37 min. en 23 sek. wentelt deze planeet om een as, die met de as van hare loopbaan een hoek van $28^{\circ}42'$ maakt. Er zal dus, wat de wisseling van dag en nacht en van de jaargetijden betreft, een veel grootere over-eenkomst zijn tusschen Mars en de aarde, dan tusschen deze en de binnenplaneten. Alleen de gemiddelde temperaturen der verschillende klimaten zullen over de gansche planeet lager zijn dan bij ons, omdat door haren grooteren afstand van de zon de intensiteit van warmte en licht op hare oppervlakte slechts 0.43 van die intensiteit op aarde is. De afstand van deze tot Mars is aan zeer groote veranderingen onderhevig; want, behalve dat die afstand tijdens de oppositie klaarblijkelijk

veel grooter is dan tijdens de conjunctie, kunnen nog, wegens de excentriciteit van de loopbanen der beide planeten, de afstanden tijdens twee oppositiën aanmerkelijk verschillen. Terwijl Mars eenmaal in twee jaren met de zon in oppositie komt, gebeurt het slechts eenmaal in vijftien jaren dat daarbij haar afstand van de aarde zoo klein mogelijk is. Het laatst heeft zich dit geval voorgedaan in het jaar 1877. De waarnemingen, dat jaar door verschillende sterrekundigen gedaan, hebben het bestaan van de volgende reeds sedert lang minder nauwkeurig bekende bijzonderheden buiten twijfel gesteld. De planeet heeft eene merkbare afplatting aan de polen; volgens de waarnemingen van MAIN te Oxford bedraagt zij $\frac{1}{30}$ van de langste middellijn. De verschillende deelen van hare oppervlakte kaatsen het licht op zeer verschillende wijze terug; terwijl een groot gedeelte van het noordelijk halfrond met een helder rood licht schijnt overtogen, heeft daarentegen het zuidelijk halfrond een meer sombere tint. Het verschil in beide tinten kan het best verklaard worden door aan te nemen, dat het zonnelicht in de eerstgenoemde streken door vast land, in de laatstgenoemde door water wordt teruggekaatst. Zelfs heeft PHILIPPS in de meer sombere streken punten ontdekt, die een veel grootere hoeveelheid licht terugkaatsen en dus eilanden schijnen te zijn in den zuidelijken oceaan van Mars. Rondom de polen vertoont zich de planeet tot op een afstand gelijk aan dien van haren poolcirkel in een helder wit licht. Bij de laatste oppositie was de noordpool van ons afgewend, zoodat men de streken niet kon waarnemen, die nabij den noordpoolcirkel waren gelegen. De zuidpool had daardoor echter een voor de waarnemingen des te meer gunstigen stand; dat de zuidpool niet juist het centrum is van de witte massa en dat deze door sneeuw en ijs wordt gevormd is door alle waarnemingen bewezen. Een witte plek toch heeft altijd een grootere uitgestrektheid als men haar waarneemt nadat het winter, een kleinere als zij gezien wordt nadat het zomer is geweest aan de pool in wier nabijheid zij ligt. Wanneer er echter ijs en sneeuw voorkomen op Mars, dan moet deze planeet ook een dampkring hebben. Dat dit zoo is bleek evenzoo direct uit de waarnemin-

gen, met de grootste zorg in het genoemde tijdperk gedurende drie maanden verricht. PHILIPPS verzekert dat hij een verandelijk omhulsel heeft zien drijven over de oppervlakte der planeet; een omhulsel, dat de gewone gedaante van de verschillende deelen der oppervlakte wijzigt, dat haar nu eens een geheel ander licht geeft en dan weder schaduw op haar werpt. Op den 11^{en} Augustus 1877 heeft HALL te Washington twee manen van Mars ontdekt, wien hij de namen *Deimus* en *Phobus* gegeven heeft. Eerstgenoemde, de buitenste, heeft een omlooptijd van 30 uur 14 min. De binnenste loopt in 7 uur 38 min. om de planeet, dus in minder dan een derde van den tijd waarin deze deze zich om hare as wentelt.

Deze manen zijn slechts met de meest volmaakte hulpmiddelen, waarover de sterrekundigen beschikken, te zien: volgens de rangschikking van ARGELANDER, toch zijn zij sterretjes van 13^e à 14^e grootte.

Omtrent den physischen toestand der asteroïden, die allen zoo klein zijn dat men op hare oppervlakten geene bijzondere punten kan waarnemen, weten wij niets. Alleen willen wij aanmerken, dat volgens de berekening van LEVERRIER de planeet Mars door al de asteroïden te zamen zoo weinig gestoord wordt, dat hare gezamenlijke massa hoogstens aan een vierde van de massa der aarde kan gelijk zijn.

Wij komen dan thans tot *Jupiter*, de grootste van de planeten (volumen = 1390 vol. der aarde; dichtheid = 0,24 der aarde; siderische omlooptijd ongeveer 12 jaren). Van de reeds behandelde verschilt zij hoofdzakelijk door hare groote afplanting, die ongeveer $\frac{1}{14}$ van de grootste middellijn bedraagt, en door den stand van hare as, die bijna loodrecht op hare loopbaan staat. Om deze as wentelt zij zich in 9 uur 55 minuten; zoodat wisseling van jaargetijden op hare oppervlakte bijna niet bestaat en de opeenvolging van dag en nacht daar veel sneller geschiedt dan op aarde.

Met een goeden kijker ziet men op deze planeet donkere strepen, die evenwijdig loopen met haren aequator. Twee van deze, die ongeveer het midden van de schijf innemen, zijn dui-

delijker zichtbaar dan de andere. Deze strepen en ook de vlekken, die men behalve haar op de oppervlakte der planeet ziet, veranderen elken dag van gedaante, en verdwijnen soms geheel. Men schrijft haar toe aan een dikken dampkring, waarin zware wolken drijven; de streepvormige gedaante zou dan het gevolg zijn van de traagheid; die belet dat deze wolken dadelijk na hare formatie in de snelle beweging van den dampkring deelen.

Jupiter heeft *vier* manen of satellieten, die zich, even als de maan om de aarde, volgens de wetten van KEPLER om de planeet bewegen. Deze manen zijn in 1610 door GALLILEI ontdekt; hare verduisteringen gaven, zooals men bij het beoefenen van de natuurkunde zal hebben gezien, aan ROEMER aanleiding tot eene zeer juiste bepaling van de snelheid, waarmee zich het licht in de ruimte voortplant.

Daar deze wachters een zeer korten omloopstijd hebben (1.77, 3.55, 7.15, en 16.69 dag), hunne banen bijna met die van de planeet zelve samenvallen, en deze een zeer breeden schaduwkegel heeft, worden zij bijna bij iederen omloop verduisterd. Wat de massa der wachters aangaat merken wij op, dat die van de kleinste ongeveer gelijk aan de helft en die van de grootste ruim het dubbel is van de massa der maan. Men vermoedt dat zij, even als de maan, zich eens om een as wentelen in een omloopstijd, en dus altijd dezelfde zijde naar Jupiter keeren.

Saturnus (volumen = 804 volum. der aarde; densiteit = 0.125 densiteit der aarde; siderische omloopstijd 29.5 jaar) is nog sterker afgeplat dan Jupiter en nog beter voorzien van wachters. De afplatting toch bedraagt ruim $\frac{1}{6}$ van de grootste middellijn en het getal manen is nu reeds tot *acht* geklommen. De zesde in rang, gerekend naar den afstand tot de planeet, en tevens de grootste, werd het eerst ontdekt, en wel door onzen landgenoot CHRISTIAAN HUYGENS in 1655; de zevende in rang het laatst door BOND in Noord Amerika en door LASSELL te Liverpool. De omloopstijden dezer wachters varieeren tusschen een halven dag en ongeveer $97\frac{1}{2}$ dag; hunne loop-

banen liggen ongeveer in het vlak van den aequator der planeet, en daar deze met het vlak der loopbaan een hoek van ongeveer 30° maakt, zullen de wachters minder dikwijls verduisterd worden dan die van Jupiter. De helling van den aequator heeft ten gevolge, dat wisseling van jaargetijden op Saturnus plaats heeft, terwijl, daar deze planeet in ongeveer $10\frac{1}{2}$ uur om hare as wentelt, aan hare oppervlakte dag en nacht elkander zeer snel opvolgen.

Al die verschijnselen echter moeten belangrijke wijzigingen ondergaan ten gevolge van de omstandigheid, dat Saturnus omgeven is van een ring, die niet meer dan 54 D.G. mijlen dik en 6480 D.G. mijlen breed is en wiens vlak samenvalt met dat van den aequator der planeet. Daar nu, zooals wij reeds zoo even zeiden, deze met het vlak der loopbaan een hoek van ongeveer 30° maakt, zal de ring op de planeet, wier as evenwijdig blijft aan zich zelve, steeds een schaduw werpen; hare breedte zal tijdens de nachteveningen gelijk zijn aan de dikte van den ring en tijdens de solstitiën gelijk aan de projectie van zijne breedte op een vlak, dat loodrecht staat op hare loopbaan. De nabij den aequator gelegen plaatsen op de oppervlakte der planeet zullen dus gedurende een halven omloopstijd in het eene en gedurende denzelfden tijd in het andere halfrond van zonnelicht verstoken zijn, aangezien zij, zoodra voor hen de eigenlijke nacht verstreken is, komen in de schaduw van den ring. Op den ring zelf, die zich in ongeveer denzelfden tijd als de planeet om de as van deze wentelt, wordt in elk dezer omwentelingstijden de zon eens verduisterd, doordien het lichaam van de planeet tusschen haar en eenig punt van den ring zich plaatst. Die verduisteringen vormen dan ook voor dat punt den eigenlijken nacht; aangezien zonder haar de eene zijde van den ring gedurende 15 achtereenvolgende jaren in het licht en de andere in het duister zijn zou.

Omtrent het bestaan van dezen ring dragen wij eerst voldoende kennis, sedert in 1659 HUYGENS de veranderingen van gedaante, reeds door GALLILEI en anderen aan deze planeet waargenomen, uit dat bestaan voldoende verklaarde. Deze ge-

daante-veranderingen toch zijn een gevolg van de veranderingen die de betrekkelijke stand van zon; aarde en ring gedurende een omloopstijd ondergaan. Gaat, bij voorbeeld, het verlengde vlak van den ring door de plaats, waar de aarde zich bevindt, dan zal men uit deze den verlichte ring op zijn kant zien; daar hij zeer dun is, vertoont zich de planeet in dit geval als de andere planeten, onder de gedaante van een schijfje. Nog zal dit zelfde het geval zijn, wanneer het vlak van den ring alleen licht ontvangt aan de van ons afgekeerde zijde, als dus dat vlak, verlengde zijnde, tusschen de zon en de aarde doorgaat. Rondom de verlichte planeet zal men alsdan den donkeren ring niet kunnen zien. In alle andere standen ziet men de schaduw, die ring en planeet op elkander werpen; en juist die verandelijke schaduwen veroorzaken de schijnbare gedaanteverwisselingen, door vele sterrekundigen vóór HUYGENS bij Saturnus opgemerkt. Door een slechten kijker gezien, moet deze planeet er in sommige gevallen uitzien alsof zij van twee verlichte ooren is voorzien. In alle andere gevallen zou zij zich als een meer of minder langwerpige ellips moeten voordoen; want van den steeds in een schuinschen stand ten opzichte van het vlak onzer loopbaan geplaatsten cirkelvormigen ring zal alleen de middellijn, die loodrecht op de gezichtslijn staat, in hare ware lengte gezien worden. Echter is de breedte van den ring niet groot genoeg om, bij de bestaande helling van de loopbaan en de grootte van de middellijn der planeet zelve, deze op aarde ooit geheel door haren ring omgeven te zien.

De binnenste omtrek van den ring is op een afstand van 4700 D. G. mijlen van de oppervlakte der planeet verwijderd. Drukt men alles uit in middellijnen van Saturnus zelf, dan is de inwendige middellijn 1,5 en de uitwendige 2,25 dier eenheden. Overigens hebben de waarnemingen van deze eeuw geleerd, dat de ring in twee concentrische ringen is verdeeld, die door een ruimte van ongeveer 430 D. G. mijlen van elkander zijn gescheiden. De buitenste dezer ringen vertoont zich over het algemeen veel helderder verlicht dan de binnenste. Een

donkere ring, dien men in de ruimte tusschen de planeet en den ring heeft waargenomen, wijst volgens sommigen op een dampkring van deze. Latere waarnemingen zullen echter zoowel omtrent het bestaan van dien dampkring, als omtrent het door STRUVE beweerde, door SECCHI tegengesproken, voortdurend afnemen van den ganschen ring uitspraak moeten doen.

Uranus (volumen = 75 volum. der aarde; dichtheid = 0,23 dichtheid der aarde; siderische omlooptijd 84 jaren) vertoont zich aan den hemel nooit grooter dan een ster van de vijfde grootte. De diameter dezer planeet onderspant aan den hemel een boogje van slechts 4 sekonden, en het is lichtelijk te begrijpen, dat men omtrent den toestand van een hemellichaam, dat zich onder zoo kleine afmetingen aan ons voordoet, zeer onvolkomen is ingelicht. Volgens HERSCHELL, die, zooals wij vroeger reeds zeiden, de planeet heeft ontdekt, zou zij merkbaar zijn afgeplat en een wentelende beweging hebben om een as, die bijna in het vlak der ecliptica ligt. Deze bijzonderheden zijn echter door andere waarnemers niet opgemerkt kunnen worden.

Uranus is vergezeld, voor zooverre wij weten, door acht wachters, waarvan er zes kort na de ontdekking der planeet door HERSCHELL zijn gezien, terwijl de twee andere gelijktijdig in 1851 door LASSELL zijn waargenomen.

Van Neptunus (volumen = 86 volum. der aarde; dichtheid = 0,23 dichtheid der aarde; siderische omlooptijd ongeveer 164 jaren 8 maanden) is ons, om de redenen die wij reeds bij Uranus opgaven en voor deze planeet nog meer gelden, zeer weinig bekend. LASSELL heeft bij haar een wachter ontdekt, wiens siderische omlooptijd bijna 6 jaren zou bedragen en wiens loopbaan in een vlak ligt, dat een hoek van 27° maakt met de ecliptica. Ook zouden, volgens dezen sterrekundige, bij Neptunus sporen van een ring worden waargenomen.

ZESDE HOOFDSTUK.

Over de absolute waarde van de afmetingen van het planetenstelsel, en over de wijzigingen, die zij ondergaan.

64. Reeds boven (§ 40) werden de gemiddelde afstanden van de planeten tot de zon door ons uitgedrukt in eenheden, waarvan de gemiddelde afstand van de aarde er *tien* bevat. Indien wij dus met de afmetingen in het planetenstel willen bekend worden, zal het noodig zijn, dat wij laatstgenoemden afstand bepalen. Stond de zon korter bij onze aarde, dan zou eene zoodanige bepaling ten allen tijde kunnen plaats hebben. De hoek toch, dien de gezichtslijnen, van twee ver van elkander verwijderde waarnemers op aarde naar eenig punt van de zon getrokken, met elkander maken, zal de hoek zijn, waaronder hun onderlingen afstand wordt gezien uit de zon: en daar deze gegeven is, zal men slechts de grootte van den hoek hebben te bepalen, om uit een gelijkbeenigen driehoek den genoemden afstand te kunnen oplossen. Zoodra men echter deze bepaling uitvoert, blijkt het dat, als deze hoek zeer klein is, een fout in den afstand tusschen de twee waarnemers zeer vergroot overgaat in den te meten afstand, terwijl deze evenzoo door een kleine fout in de te meten parallaxis, zeer onnauwkeurig bekend zal worden, al is de afstand tusschen de waarnemers nog zoo juist gegeven. Daar nu de

parallaxis van de zon slechts ongeveer 8 à 9 sekonden bedraagt, en dus een fout van een halve sekonde, door beide waarnemers in denzelfden zin gemaakt, haar bedrag voor ongeveer een achtste onzeker maakt, zou onze kennis van de ware afmetingen van het planetenstelsel al zeer onvolkomen moeten blijven, indien wij niet in de overgangen van Venus voorbij de zon een middel bezaten om den afstand der zon te leeren kennen. HALLEY vestigde in den aanvang der 18^e eeuw het eerst de aandacht op het groote nut, dat men tot dit einde van de eerstvolgende in 1761 en 1769 vallende overgangen zou kunnen trekken; uit de waarnemingen, in die jaren volbracht, heeft men eene parallaxis van de zon afgeleid, die tusschen 8",2 en 9",2 begrepen is, en, naar de laatste berekeningen, waarschijnlijk 8",86 bedraagt. Met dezen komt een gemiddelde afstand van de zon en de aarde overeen, die, in ronde getallen uitgedrukt, 20 610 000 D. G. mijlen bedraagt. In hoeverre de onzekerheid, die nog omtrent de grootte van de parallaxis en dus ook van den afstand bestaat, bij den laatsten overgang van Venus verdwenen is, kan nog niet worden gezegd, aangezien de resultaten der veelvuldige waarnemingen, die toen op verschillende plaatsen op aarde zijn gedaan, nog niet bekend, althans nog niet gepubliceerd zijn.

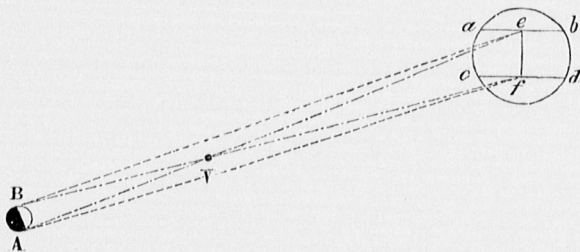


Fig. 21.

Om een denkbeeld te geven van de wijze, waarop men uit zulk een overgang den afstand der zon kan berekenen, nemen wij (Fig. 21) aan, dat A en B twee waarnemers op aarde zijn, die zoo ver mogelijk van elkander zijn verwijderd en wier afstand A B men kent. Zij V de planeet Venus en

ab de weg, dien zij, uit A gezien, *cd* de weg dien zij, uit B gezien, aflegt over de zonneshijf. De afstand *ef* tusschen beide koorden kan, als de straal van de zon bekend is, uit de lengten dier koorden worden afgeleid; hij meet den hoek $eAf = eBf$.

Nu is:

$\angle e A f = \angle e B f = 180^\circ - (\angle B V e + \angle B e V) = 180^\circ - (180^\circ - \angle B V A + \angle B e V) = \angle B V A - \angle B e V$,
 of, daar $\angle B V A$ de hoek is waaronder de afstand AB uit Venus en $\angle B e V$ die, waaronder hij uit de zon wordt gezien, $\angle e A f = \text{parallax. Venus} - \text{parallax. zon}$. Dit verschil nu is wegens den betrekkelijk geringen afstand van Venus tot de aarde, een veel grooter hoek dan de parallaxis der zon zelve; een fout in hare waarde zal bij de berekening van den afstand der zon veel minder vergroot in deze overgaan dan een even grooten fout, gemaakt bij de onmiddellijke bepaling van de parallaxis der zon.

Stellen wij nu, wegens de kleinheid der hoeken, in plaats van deze hunne tangenten dan is:

$$\text{tang. } e A f = \text{tang. } B V A - \text{tang. } B e V.$$

Maar, als men den afstand van de aarde tot de zon D en die van Venus tot de zon D' noemt, dan is:

$$\frac{1}{2} AB = (D - D') \text{ tang. } \frac{1}{2} B V A$$

$$\frac{1}{2} AB = D. \text{ tang. } \frac{1}{2} B e V.$$

of wegens de kleinheid der hoeken de *tangens* van den halven hoek gelijk aan den halven tangens van den geheelen hoek stellende:

$$\text{tang. } B V A = \frac{AB}{D - D'}$$

$$\text{tang. } B e V = \frac{AB}{D}$$

Substitueert men deze waarden in de bovenstaande vergelijking, dan wordt zij:

$$\text{tang. } e A f = \frac{AB}{D - D'} - \frac{AB}{D}$$

Zij bevat twee onbekenden D en D'; daar men echter weet, dat volgens de derde wet van KEPLER

$$D : D' = \sqrt[3]{t^2} : \sqrt[3]{t'^2}$$

is, wanneer t en t' de bekende omloopstijden van de aarde en van Venus voorstellen, zoo zal men uit de beide vergelijkingen D en D' kunnen bepalen. Men ziet dat bij deze rekenwijze de nauwkeurigheid van de uitkomst afhangt van die, waarmede men aan de beide stations den tijd heeft waargenomen, gedurende welken de planeet voor de zonneschijf werd gezien; het verschil toch in de lengten der koorden ab en cd kan alleen uit het verschil dier tijden worden afgeleid en van eerstgenoemd verschil hangt de grootte van hoek $f A e$ geheel en al af. De oogenblikken nu, waarop de planeet voor de zon treedt en deze weder verlaat, zijn, zoo oppervlakkig beschouwd, juist genoeg waartenemen om te maken dat de fout die men begaat, zeer gering is in verhouding tot het verschil dat men wil kennen, daar dit verschil, als men de plaatsen waar men waarneemt, met oordeel kiest, 30 minuten kan bedragen. Het is echter in de praktijk gebleken dat de waarneming van het juiste oogenblik, waarop de beide schijven elkander uit en inwendig aanraken, zeer wordt bemoeielijkt door den zoogenaamden *zwarten droppel*, die op dit oogenblik tusschen beider omtrekken wordt waargenomen en deze schijnbaar verbindt. Dit bezwaar is zelfs zoo groot, dat HALLEY's methode ter bepaling van den afstand der zon daardoor in de oogen der sterkundigen veel van hare waarde heeft verloren; zoo zelfs dat zij thans eene hoogere nauwkeurigheid alleen verwachten van de resultaten van waarnemingen van gansche anderen aard.

65. Een tweede afstand, dien wij onmiddellijk hebben te bepalen, is die van de maan tot de aarde. Deze bepaling heeft weinig moeite in; want, bij den kleinen afstand tusschen beide hemellichamen, is de parallaxis bij eene aanzienlijke verplaatsing op aarde groot genoeg, om uit haar met nauwkeurigheid dien afstand te kunnen afleiden. De hoek toch, waaronder men uit de maan den straal van den aequator der aarde ziet, bedraagt reeds bij den gemiddelden afstand ruim $57'$. Men zal lichtelijk door middel van eene eenvoudige figuur zich er van overtuigen, dat de gemiddelde afstand van de maan dus moet gevonden worden, als men den straal der aarde vermenigvul-

dig met den cotangens van den zoo even genoemden hoek. Ook omtrent de bepaling van de parallaxis zelve kan men zich gemakkelijk een denkbeeld vormen. Want liggen twee plaatsen op denzelfden meridiaan en op aanzienlijken afstand van elkander, en neemt men aan beide den afstand waar, waarop de maan tijdens hare culminatie van het zenith is verwijderd, dan zal de overmaat van het verschil tusschen deze zeniths-afstanden en tusschen de breedten der plaatsen de hoek zijn, waaronder de afstand van beide uit de maan wordt gezien. Indien de gezichtslijnen aan elkander evenwijdig liepen, hetgeen het geval zou zijn bij het waarnemen van elke vaste ster, dan zouden klaarblijkelijk beide verschillen aan elkander gelijk zijn.

Uit de op zoodanige waarnemingen gegronde berekeningen blijkt, dat de gemiddelde afstand van de aarde tot de maan gelijk is aan 60 stralen van den aequator of aan ongeveer 51.600 D. G. mijlen. Daar de hoek, waaronder de straal der maan uit de aarde wordt gezien, op den gemiddelden afstand $15' 34''$ bedraagt, dat wil zeggen, r^3_1 is van den hoek, waaronder de aardstraal wordt gezien uit de maan, zal ook de straal van laatstgenoemd lichaam r^3_1 van de aardstraal, en dus ongeveer 230 D. G. mijlen bedragen.

66. Nog drukten wij in het vorige hoofdstuk de dichtheid der planeten steeds uit in die van de aarde; om dus hare massa's te kennen, zal het noodig zijn, de massa der aarde te bepalen.

De eerste pogingen, die ter bereiking van dit doel in het werk zijn gesteld, berusten op het waarnemen van de afwijking, die het paslood in de nabijheid van hooge bergen door de aantrekking van deze ondergaat. Daartoe is het noodig, dat men behalve den afstand tusschen het ware zenith van de plaats en het zenith dat door het afwijkend paslood wordt aangegeven, ook de massa kent van den berg, die deze afwijking veroorzaakt. Zijn deze waarden bekend, dan levert de bepaling van de massa der aarde geen zwarigheid meer op; zij komt dan neder op het berekenen van den vertikalen component van twee onderling loodrechte krachten, als de horizontale componenten de hoek

tusschen de resultante en den verticalen component gegeven zijn.

Proeven in dezen zin zijn reeds genomen in de vorige eeuw door BOUGUER in Peru, en door MASKELYNE in Schotland. Eerstgenoemde maakte daarbij gebruik van de aantrekking der Chimborasso, laatstgenoemde van die der Shehallian. Het verschil in breedte tusschen twee plaatsen aan den voet van de beide hellingen, bepaald zonder daarbij gebruik te maken van het paslood, en den afstand dier plaatsen, gemeten met behulp van het paslood, met elkander vergelijkende, vond hij voor de afwijking van het laatste een hoek van $54''$. Met dezen hoek en de door MASKELYNE aangenomen massa van den berg komt eene dichtheid van de aarde overeen, die gelijk is aan 4.56. Het spreekt echter wel van zelf, dat bij zoo geringe afwijkingen en bij eene zoo onnauwkeurige kennis van de massa, waarmede men die der aarde vergelijkt, het resultaat weinig vertrouwen verdient.

CAVENDISH bepaalde het eerst de dichtheid der aarde op eene wijze, waarbij ten minste de laatstgenoemde onzekerheid geheel verdween. Den schommelingsduur van een slinger, die onder den invloed van de aantrekking der aarde zich bewoog, vergeleek hij bij de schommelingen, in een bepaalden tijd volbracht door twee kleine kogels, die door de aantrekking van twee groote looden bollen werden in beweging gebracht. Om van de methode een denkbeeld te krijgen, denken wij ons de beide kleinere kogels bevestigd aan een stang, die juist in zijn midden is opgehangen aan een draad, wiens torsie buiten rekening mag worden gelaten. Wanneer hare richting samenvalt met de lijn, die de middelpunten der beide bollen verbindt, dan is de stang met de kogels in evenwicht. Brengt men haar uit dien stand, dan zal zij daarom schommelen, even als een slinger schommelt om de richting van de vertikaal van zijn ophangpunt. Zijn nu t en t' van de beide slingers de schommelingsduur, l en l' beider lengte en g en g' de versnellingen, die de beide aantrekkende krachten, die van de aarde en die van de looden bollen, kunnen mededeelen aan de eenheid van massa, dan is

$$t : t' = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} : \pi \sqrt{\frac{l'}{g'}}$$

waarin $g = \frac{4}{3} \pi R d$ en $g' = \frac{4}{3} \pi \frac{r^3 d'}{a^2}$

als d en d' , de dichtheid van de aarde en die van lood, R en r de stralen der aarde en van de bollen voorstellen, en a de gemiddelde afstand is waarop de middelpunten der laatsten zijn verwijderd van die der schommelende kogels. Uit de combinatie van deze vergelijkingen vindt men

$$\frac{d'}{d} = \frac{l' a^2 R}{l r^3} \cdot \frac{t^2}{t'^2}$$

De proeven van CAVENDISH gaven voor de gemiddelde dichtheid van de aarde 5.448, als die van het water als eenheid wordt aangenomen. Vergelijkt men nu de getallen, in het vorige hoofdstuk voor de dichtheid der planeten opgegeven, met dit cijfer, dan blijkt onder anderen dat Jupiter, Uranus en Neptunus slechts weinig meer specifiek gewicht hebben dan water en dat Saturnus zelfs op water kan drijven.

67. Wat aangaat de bepaling van deze planeten-massa's merken wij op, dat deze verschillend is, al naar mate een planeet een wachter heeft of daarvan is verstoken. In het eerste geval kan de bepaling der massa worden afgeleid uit de projectie van den boog, dien de wachter bij zijn loop om de planeet in de eenheid van tijd aflegt op de lijn, die haar bij den aanvang van dien tijd met de planeet verbond. Deze projectie, die niets anders is dan de versnelling, waarmede de wachter, indien hij zelf geen snelheid in zijn baan had, vallen zou naar de planeet, vergelijkende met de versnelling die de planeet zelve met haar wachter heeft in de richting van de zon, verkrijgt men de verhouding van de massa van planeet en wachter te zamen tot die van de zon. Want noemt men g de waargenomen versnelling door de zon bij de planeet met haren wachter en g' de versnelling door de planeet bij haren wachter veroorzaakt, dan is

$$g : g' = \frac{M}{R^2} + \frac{m + m'}{R^2} : \frac{m + m'}{r^2},$$

als R en r de afstanden van de zon tot de planeet en van deze tot haren wachter, M de massa de zon, m die der planeet en m' die des wachters voorstellen. Uit deze vergelijking nu kan men de waarde van de verhouding $\frac{m + m'}{M}$ oplossen, die wegens de kleinheid van m' ongeveer de verhouding zal geven, waarin de massa der planeet staat tot die van de zon. Uit haar volgt onmiddellijk

$$\frac{m + m'}{M} = \frac{r^2 g'}{R^2 g - r^2 g'}$$

Bij Jupiter alleen, van wiens wachters de loop volkomen genoeg bekend is om daaruit de storingen te kunnen afleiden, die zij op elkander uitoefenen, kan men ook de verhouding bepalen, die er tusschen de massa's dezer wachters onderling en tusschen de massa van elk van hen en die van de planeet bestaat. Zoo doende kent men dus de massa van elken wachter uitgedrukt in die van de planeet, zoodat, als men de som van allen voorstelt door $\frac{m}{n}$, de waarde van de verhouding $\frac{m + \frac{1}{n}m}{M}$ bekend zal zijn, en men dus van de planeet alleen de massa in die van de zon zal kunnen uitdrukken.

De verschillende massa's zijn dus nu uitgedrukt in eene bekende eenheid, aangezien men de massa van de zon zelve wederom onmiddellijk kan uitdrukken in die van aarde en maan te zamen. En de massa der aarde kan men volgens het in de vorige § gezegde onmiddellijk bepalen, terwijl, zooals wij zoo aanstonds zien zullen, die van de maan uit verschijnselen op aarde kan worden gevonden.

Heeft een planeet geen wachter dan kan men hare massa alleen afleiden uit de aantrekking, die zij uitoefent op de naast bij haar gelegene andere planeten, en die zichtbaar wordt uit de onregelmatigheden in den loop van deze. In dit geval wordt dus het bepalen van de massa de oplossing van een meer ingewikkeld vraagstuk.

68. Had onze maan een metgezel bij haren loop om de aarde, dan zou men hare massa op geheel dezelfde wijze kunnen berekenen, als waarop die van Jupiters trawanten is bepaald. Nu zij alleen is moet men zijne toevlucht nemen tot verschijnselen op aarde. Het verschijnsel van den vrijen val kan ons daartoe niet dienen. Wel zal, daar de aantrekking de wederkeerige werking is door twee lichamen op elkander uitgeoefend, de versnelling, waarmede de maan zich naar de aarde beweegt, betrekkelijk grooter moeten zijn dan die, waarmede een lichaam hier op aarde valt. Want bij de maan en de aarde is die versnelling het gevolg van aantrekking, die de massa van de aarde uitoefent op de eenheid van massa geplaatst op den afstand, waarop het middelpunt der maan zich bevindt van haar middelpunt, opgeteld bij de aantrekking door de maan uitgeoefend op de even ver van haar verwijderde eenheid van massa. En, terwijl dit laatste gedeelte een merkbare waarde kan hebben, zal het zeker onmerkbaar zijn, wanneer het de aantrekking voorstelt door een vallend lichaam uitgeoefend op de eenheid van massa geplaatst in het middelpunt der aarde. De in § 67 voorkomende vergelijking wordt dan

$$g: 9,812. = \frac{M + m}{R^2} : \frac{M}{r^2}$$

wanneer M en m de massa's van aarde en maan, R de afstand dier beide lichamen en r de straal der aarde voorstelt. Als men dus, alles in getallen uitdrukken, $R = 60r$ stelt, zal, als men de aantrekkende kracht door de maan op de aarde uitgeoefend niet in rekening brengt, de weg, die de maan in eene sekonde in de richting der aarde aflegt, $\frac{4,9}{3600}$ meters moe-

ten bedragen, terwijl in de werkelijkheid deze weg $\frac{4,9}{3600} \frac{m}{M}$ meters grooter zal moeten zijn. Dit verschil nu zal, als de massa der maan veel kleiner dan die der aarde is, eene te kleine hoeveelheid zijn dan dat men, door haar waar te nemen, de massa der maan met eenige zekerheid zal kunnen bepalen.

Een beter middel ter bepaling van de massa der maan echter

heeft men in de nauwkeurige waarneming van eb en vloed tijdens de springtijden en de doode getijden. Immers in het eerste geval is het getij het gevolg van de gecombineerde aantrekkings van zon en maan, terwijl in het tweede geval beide aantrekkingen elkander tegenwerken. De aantrekkende werking van de maan zal men dus in die van de zon kunnen uitdrukken, en zoo doende, daar men beider afstand tot de aarde kent, ook de verhouding van de massa der maan tot die van de zon kunnen bepalen. Men heeft op deze wijze gevonden dat de massa der maan slechts $\frac{1}{75}$ is van die der aarde; onder den invloed van de aantrekkings, door haar uitgeoefend op de in het middelpunt der aarde geplaatste eenheid van massa, zal deze dus slechts $\frac{1}{75}$ van $\frac{1}{3600}$ meters of nog geen vijftigste deel van een millimeter in de sekonde in de richting van de maan zich bewegen.

69. In de tot nog toe behandelde §§ van dit hoofdstuk hebben wij reeds dikwijls gelegenheid gehad de aandacht te vestigen op de aantrekkingen, die de lichamen van het zonnestelsel op elkander uitoefenen en waardoor hun loop afwijkt van de banen, die zij zouden beschrijven, als zij alleen zich bevonden met het lichaam, waardoor die loop in de hoofdzaak wordt geregeld.

Overtrof dit lichaam niet allen zoo zeer in massa als met de zon in verhouding tot de planeten en hare wachters het geval is, dan zou hun loop zoo onregelmatig worden, dat geene voorspelling van hunnen onderlingen stand op een toekomstig oogenblik mogelijk zou zijn. Thans echter zijn die onderlinge werkingen met betrekking tot die van de zon zoo gering, dat zij ons slechts duidelijk worden uit betrekkelijk kleine storingen van den loop, dien een planeet zou volgen als zij met de zon alleen was. Wat de planeten betreft, die van wachters voorzien zijn en met deze als het ware een afzonderlijk op zich zelf staand stelsel vormen, van deze is alleen de aarde zoo nabij de zon geplaatst, dat de werking van deze den loop van dien wachter merkbaar kan wijzigen. Met betrekking tot den grooten afstand vallen reeds de massa's van de wach-

ters van Jupiter nagenoeg samen met die van de planeet zelve, zoodat hunne aanwezigheid slechts den afstand wijzigt, waarop het gansche stelsel is geplaatst van de zon. Onderling echter storen die wachters elkander in hunnen loop, en juist daardoor is hunne waarneming een uitstekend middel om de storingen in het algemeen na te gaan.

Deze storingen worden onderscheiden in *seculaire storingen* en *periodieke storingen*. Gene zijn een gevolg van den bouw van het geheele planetenstelsel en hebben haren naam daaraan te danken, dat er eeuwen verlopen tusschen de oogenblikken, waarop de gestoorde grootheden tot dezelfde waarden terugkeeren. De periodieke daarentegen zijn het gevolg van de onderlinge werking van twee of meer planeten. Zoodra deze ten opzichte van elkander volkomen denzelfden stand hebben herkrege, zal de invloed, dien zij op elkander uitoefenen, weder dezelfde zijn: het is dus duidelijk dat deze storingen binnen vrij korte tijdsverloopen de verschillende waarden, die zij kunnen verkrijgen, doorloopen moeten.

De *seculaire storingen* hebben betrekking op de ligging van de vlakken der loopbanen in de ruimte, op de excentriciteit der loopbanen zelve, en op de ligging hunner groote assen. Wat de in de eerste plaats genoemde verandering betreft, deze is van tweederlei aard. Denkt men zich toch in de ruimte een vlak, wiens stand onveranderlijk is en waarmede de vlakken der loopbanen hoeken maken, dan veranderen niet alleen deze hoeken voortdurend, maar ook de richting der lijnen, volgens welke de vlakken dat vaste vlak snijden, blijft niet dezelfde. Ten opzichte van dat vaste vlak volbrengen de verschillende vlakken tusschen bepaalde grenzen schommelingen, wier duur duizenden jaren omvat; evenzoo richt zich de genoemde lijn in den loop van duizendtallen van jaren naar alle punten van den hemel. In deze aldus van stand veranderende vlakken nadert de gedaante der loopbanen eerst gedurende een verbazend groot tijdsverloop langzamerhand tot den cirkel, om daarna gedurende dat zelfde tijdsverloop weder een meer langwerpige gedaante aan te nemen. Terwijl daarbij de lengte der groote assen geen ver-

andering ondergaat, is de grootte der uitmiddelpuntigheid tus-
schen bepaalde grenzen besloten. Ten laatste nog richt zich
de groote as van elke loopbaan in den loop der eeuwen naar
alle punten van den hemel, daarbij in dezelfde richting voort-
gaande als waarin zich de zon, uit de planeet gezien, aan den
hemel schijnt te bewegen.

Voor zooverre zij onze aarde aangaat bedraagt de ver-
andering in de schuinsheid der ecliptica
ongeveer een halve sekonde in het jaar en is het verschil tus-
schen de uiterste standen van dat vlak $2^{\circ}42'$. Terwijl die
schuinsheid thans ongeveer $22^{\circ}59'$ bedraagt, zal zij nog ge-
durende vele eeuwen afnemen, om dan weder langzamerhand
toenemende, in ongeveer twintigduizend jaren te klimmen
tot haar hoogste bedrag. De veranderingen in excentriciteit
zijn bij de loopbaan der aarde binnen zeer enge grenzen be-
sloten, terwijl daarenboven hare periode ongeveer honderd dui-
zend jaren lang is; in onzen tijd is de excentriciteit voortdu-
rend aan het verminderen, en dit zal ongeveer vierentwintig dui-
zend jaar aanhouden. Daarentegen draait zich de groote as
der ellips of de lijn der apsiden betrekkelijk snel rond,
daar het apogeum in een jaar een boog van ongeveer 14 sekonden
aan den hemel doorloopt.

De periodieke storingen zullen vooral merkbaar
zijn tusschen de buitenplaneten onderling en tusschen de bin-
nenplaneten onderling. Want de aantrekking der binnenpla-
neten zal reeds voor Jupiter nagenoeg samenvallen met de aan-
trekking van de zon zelve, zoodat de verandering in stand,
die zij ten gevolge van hun loopen om de zon ondergaan,
op deze planeet niet merkbaar zal zijn. Omgekeerd zal de
aantrekkende werking der buitenplaneten op de zon zelve van
ongeveer denzelfden invloed zijn als op de naast bij haar ge-
legene planeten, zoodat deze werking, den afstand van de zon
en van de binnenplaneet evenveel wijzigende, een storing in
den loop der laatstgenoemde niet zal veroorzaken.

Onze aarde wordt in haren loop het meest gestoord door
de planeten Venus en Mars. Eerstgenoemde doet twee verschil-

lende periodieke veranderingen ontstaan in de loopbaan der aarde; de periode van de meest aanzienlijke storing omvat 8, die van de andere 4 jaren. De storing door Mars veroorzaakt is van veel kleiner bedrag dan de kleinste der zoo even genoemden, en heeft een periode van 16 jaren.

Dat de storingen, door de binnenplaneten op elkander uitgeoefend, vrij gering zijn, moet vooral daaraan worden toegeschreven, dat zij zoo nabij de zon staan; de verschillen van de aantrekkingen, door Mars op de zon en op de aarde uitgeoefend, zijn reeds een zeer klein gedeelte van de aantrekking tusschen de zon en de aarde onderling. De periodieke storingen kunnen juist om deze reden bij de buitenplaneten tot een veel hooger bedrag stijgen. Meest merkwaardig onder deze zijn de storingen die Jupiter en Saturnus te weeg brengen in elkanders loop. Terwijl de baan van eerstgenoemde planeet voortdurend grooter en dus hare snelheid in de baan voortdurend kleiner wordt, neemt de baan van Saturnus in afmetingen steeds af en daardoor hare snelheid steeds toe. Deze toenadering tusschen de beide planeten duurt nu reeds sedert het jaar 1552, toen de baan van Jupiter zoo klein en die van Saturnus zoo groot mogelijk was. En zij zal in het geheel 466 jaren duren, om dan, van het jaar 2018 af, in eene verwijdering over te gaan, die mede 466 jaar zal aanhouden. De gansche periode toch van deze storing omvat volgens de berekening van LAPLACE 932 jaren.

Van welke belangrijke gevolgen de periodieke storingen geweest zijn, die men van hare ontdekking af bij de planeet Uranus heeft opgemerkt, en die alleen uit het bestaan van een nog verder dan zij van de zon verwijderde buitenplaneet konden verklaard worden, hadden wij reeds vroeger (§ 39) gelegenheid op te merken.

70. De vele onregelmatigheden, die men opmerkt in den loop van de maan om de aarde, zijn zoovele storingen, ontstaan door veranderingen, die het verschil ondergaat der aantrekkingen, door de zon op de aarde en op haren wachter bij zijne onderscheidene standen uitgeoefend.

Ook deze storingen kunnen, wat haren duur betreft, onderscheiden worden in seculaire en periodieke. De seculaire storing der maan, meer algemeen bekend onder den naam van *seculaire vereffening*, bestaat daarin, dat de maan voortdurend nader en nader bij de aarde komt, en dien ten gevolge ook al sneller en sneller hare baan doorloopt. Het is door LAPLACE aangetoond, dat deze storing een gevolg is van een der reeds genoemde seculaire storingen der aarde zelve; en wel van de gedaanteverandering die hare loopbaan ondergaat. Zoolang de excentriciteit der aardbaan blijft afnemen, zal, daar de groote as hierbij onveranderd blijft, de gemiddelde afstand tusschen de zon en de aarde toenemen; en met haar de vrije werking van de aarde op de maan. Waaruit volgt, dat de nadering (§ 69) nog ruim vierentwintig duizend jaren zal aanhouden om dan in eene verwijdering over te gaan.

Eene periodieke storing van de maan, die, ten minste wat hare oorzaken betreft, met de zoo even genoemde seculaire veel overeenkomst heeft, is de zoogenaamde *jaarlijksche vereffening*. Zij is een onmiddellijk gevolg van de elliptische gedaante van de loopbaan der aarde. Is deze in haar perihelium, dan bereikt het verschil tusschen de werkingen, die de zon op de maan en op de aarde uitoefent, zijne grootste waarde. De aantrekking tusschen beide laatstgenoemde lichamen zal dan gedurende den ganschen omloop der maan geringer zijn, dan wanneer de aarde in haar aphelium is. Daar nu het eerste geval in het begin van Januari, het tweede in den aanvang van Juli plaats heeft, zal de omloopstijd van de maan in den winter iets korter zijn dan in den zomer.

Het verschil van de aantrekkingen, door de zon op de maan en de aarde uitgeoefend, dat in Januari zijn maximum, in Juli zijn minimum bereikt, bestaat steeds en heeft altijd ten gevolge dat de omloopstijd van de maan langer is dan het geval zou zijn, indien zij onder den invloed van de aarde alleen hare baan doorliep. Tijdens de nieuwe maan bevindt deze zich tusschen de zon en de aarde. Het zwaartepunt van de aarde zal zich langs hare baan bewegen, zoodat de projectie van den boog,

dien zij in de eenheid van tijd aflegt, op de lijn, die bij den aanvang van dien tijd haar middelpunt met dat der zon verbond, eene zekere lengte zal hebben. Daar echter de zon zich tijdens de nieuwe maan zooveel korter bij deze dan bij de aarde bevindt, zal het zwaartepunt van de maan in denzelfden tijd door de zon meer dan de genoemde lengte in hare richting worden verplaatst, ja het is, in dien stand, alleen aan de meerdere aantrekking der aarde te danken, dat de maan zich niet geheel en al van haar verwijdert. Tijdens de volle maan heeft het tegenovergestelde plaats. De intensiteit van de aantrekking der zon is dan grooter op de aarde dan op de maan, zoodat deze zich in denzelfden tijd betrekkelijk minder naar de zon zal bewegen dan gene. De ellips, die de maan om de aarde zou beschrijven als zij zich met deze alleen in het heelal bevond, wordt dus uitgerekt in de richting van de lijn, die het middelpunt van de zon met dat van de aarde verbindt, en deze evectie zal ten gevolge hebben, dat de maan zich langzamer zal bewegen dan zonder haar het geval zou zijn. In deze veranderde beweging zelve bestaan daarenboven wederom onregelmatigheden. Zoo zal bijv. de evectie grooter zijn tijdens de nieuwe dan tijdens de volle maan, aangezien het verschil der aan de tweede machten van de afstanden evenredige intensiteiten der zwaartekracht in het eerste geval grooter is dan in het tweede. Ook is de toename van den omlooptijd niet zoo groot als zij zou zijn, wanneer in eene richting de ellips alleen werd uitgerekt, terwijl in de richting loodrecht daarop haar afmetingen onveranderd bleven. Dit is nu het geval niet, daar tijdens de kwartieren de aantrekking van de zon ten gevolge heeft dat de maan en de aarde iets korter bij elkander komen. Dan toch worden beide lichamen naar het middelpunt der zon getrokken en zij kunnen niet beide dat zelfde pnnt naderen, zonder tevens nader bij elkander te komen. Gedurende de nieuwe en volle maan dus is hare beweging langzamer, en gedurende de kwartieren sneller dan het geval zou zijn, indien de zon geen invloed op haar had; daar echter de vermindering der snelheid in het eerste geval grooter is dan de vermeerdering in het tweede,

zal over het geheel de omloopstijd toenemen. Nog eene verandering in de reeds zoo zeer gewijzigde beweging van de maan moet men opmerken in de tijdruimten, die juist vallen tusschen de zoo even genoemde tijdstippen van volle en nieuwe maan en der kwartieren. Bij de verlenging van de ellips tijdens de beide eerste en bij de verkorting der afstanden tijdens de beide laatste, zal òf de verwijdering van de maan geschieden op de lijn, in wier richting zij zonder die verlenging toch zou worden gezien, òf deze lijn zal bij die nadering nagenoeg evenwijdig aan zich zelve blijven. Maar op een oogenblik, dat bijv. gelegen is juist in het midden tusschen nieuwe maan en eerste kwartier, zal de lijn, die het middelpunt van de maan met dat der aarde verbindt, om een van hare punten als het ware draaien, omdat de weg, door eerstgenoemd punt in de richting van de zon afgelegd, nu grooter is dan die van het laatstgenoemde en beide punten met het middelpunt van de zon niet op eene rechte lijn liggen. De onregelmatigheid in den loop der maan, die ontstaan moet door deze verandering in de richting van de lijn waarop zij gezien wordt, noemt men de *variatie*.

Behalve de tot nu toe besproken storingen, die de wegens de ellipticiteit der loopbaan toch reeds ongelijkmatige beweging der maan ondervindt, bestaan er nog ruim een dertigtal oorzaken, waardoor òf hare plaats aan den hemel òf de lengte van hare voerstralen moet worden gewijzigd. In plaats van ons bij die verschillende oorzaken op te houden, willen wij nog wijzen op de verplaatsing van de lijn, volgens welke het vlak van de loopbaan der maan de ecliptica snijdt. Zij is daarom van des te meer belang voor ons, omdat de tegenwerking van deze belangrijke storing in de ligging van de loopbaan der maan door de aarde op zeer merkbare wijze wordt gevoeld.

Zooals wij reeds vroeger (§ 54) gezien hebben, maakt het vlak van de loopbaan der maan een kleinen hoek met dat van de ecliptica. De zon en de aarde, beide in laatstgenoemd vlak staande, trachten door hare aantrekking voortdurend ook het middelpunt van de maan daarin te brengen, en

het is alleen de snelheid, waarmede de maan om de aarde zich beweegt, die evenzoo voortdurend belet dat de maan in het vlak der ecliptica hare loopbaan gaat volbrengen. Toch heeft deze gezamenlijke werking van de zon en aarde zichtbare gevolgen. In de eerste plaats doet zij het vlak van de loopbaan der maan gedurende elken synodischen omlooptijd een schommeling volbrengen ten opzichte van het vlak der ecliptica, waardoor de hoek tusschen de beide vlakken variëert van $5^{\circ} 0' 1''$ tot $5^{\circ} 17' 35''$, terwijl zij in de tweede plaats de lijn der knopen eene draaiende beweging geeft, waardoor deze in nagenoeg 18 jaren en 7 maanden naar alle punten van den schijnbaren zonneweg is gericht. Zooals wij zoo aanstonds zullen zien, brengt deze periodieke verplaatsing van de gansche loopbaan der maan eene in dezelfde periode afloopende verandering in den stand van de as der aarde voort. En het is de terugwerking van deze laatste verandering op de maan die behoort tot het dertigtal storende oorzaken, boven door ons vermeld.

71. Geheel overeenkomstig met de storing, die wij in de vorige § in de laatste plaats behandelden, is de beweging van de lijn, volgens welke het vlak van den aequator der aarde dat van de ecliptica snijdt. De maan en de zon te zamen trachten de aarde met hare langste middellijn te brengen in een vlak dat, daar de richting van de aantrekking der maan ook slechts weinig afwijkt van dat der ecliptica, met dit laatstgenoemde bijkans samenvalt. Werkelijk zou de aequator der aarde onder den invloed dier gezamenlijke werking spoedig met de ecliptica samenvallen, indien hare dagelijksche wenteling om hare as niet voortdurend dit samenvallen tegenwerkte. De eenige uitwerking, die wij thans daarvan waarnemen, is eene verandering in de ligging van de lijn, volgens welke de aequator der aarde het vlak van hare loopbaan snijdt. Terwijl de as ten opzichte van de ecliptica voortdurend haren zelfden stand behoudt, richt zich die lijn in den loop van 25796 jaren naar alle punten van den zonneweg. Deze beweging, die plaats heeft in eene richting tegenovergesteld aan die waarin zich de zon schijnt te bewegen in hare

loop baan, verplaatst het nachteveningspunt jaarlijks 50". 24 en wordt daarom de praecessie der nachteveningen genoemd. Deze naam, die eigenlijk *vooruitgang* der nachteveningen beteekent, is slecht gekozen, daar toch, volgens het zoo even gezegde, dit punt op den dierenriem *achteruit* zich beweegt. Thans ligt het voorjaars-nachteveningspunt in *de Visschen*, terwijl het oudtijds in *de Ram* lag. Schoon velen vooronderstellen dat deze praecessie reeds sedert langeren tijd bekend is, stemmen toch de uitkomsten der meeste onderzoekingen daarmede overeen, dat de eer harer ontdekking en der bepaling van haar jaarlijksch bedrag toekomt aan HIPPARCHUS, en dus moet gesteld worden in de 2^e eeuw v. C.

Blijft aldus de as der aarde nagenoeg denzelfden stand behouden ten opzichte van de slechts langzaam van ligging veranderende ecliptica, terwijl daarbij de lijn der knopen voortdurend op andere punten van deze is gericht, dan zal in den loop der eeuwen de as, waarom schijnbaar zich de hemel wentelt, een kegelvormig oppervlak beschrijven, wiens assedriehoek een tophoek heeft gelijk aan het dubbel van de schuinsheid. De pool des hemels zal dan evenzoo zich bewegen langs een cirkel, door wiens middelpunt de as van den zoo even genoemden kegel gaat. Sterren die thans circumpolair zijn, zullen op onze breedte beurte- lings op- en ondergaan en omgekeerd, zoodat na eeuwen de sterrenhemel een geheel ander aanzien zal hebben dan tegenwoordig. Een dergelijke beweging, maar die veel kleiner is wat haar bedrag betreft, volbrengt de aard-as in eene veel kortere periode. Rondom een as, die zich bewegen zou op de wijze die zoo even is genoemd, beschrijft toch de as der aarde in de werkelijkheid in 18 jaren en 7 maanden een kegel, wiens assedriehoek een tophoek heeft van zeer kleine afmeting. Deze beweging van de as noemt men hare *nutatie*; dat eene overeenkomstige beweging van den aequator ten opzichte van de ecliptica met haar onmiddelijk samenhangt en zij dus den invloed der praecessie eenigszins wijzigt, behoeft nauwelijks opgemerkt te worden. Wat haren oorsprong aangaat, de lengte der periode zal reeds dadelijk doen vermoeden, dat die moet gezocht worden bij de

maan. En inderdaad, daar de praecessie zelve daarvan het gevolg is dat de aantrekking van zon en maan beide de as der aarde loodrecht trachten te stellen op een vlak dat alleen ten gevolge van de werking der maan eenigszins afwijkt van de ecliptica, zal, als de maanbaan in een bepaalden tijd eene geheele wenteling maakt over het vlak waarin de zon zich bevindt, het wel geen bevreemding wekken dat deze periode ook in den gang van dat verschijnsel duidelijk zichtbaar is. Het zeer gering bedrag der nutatie is een gevolg van den zeer geringen invloed die de maan, wegens hare geringe massa, heeft op de praecessie der nachteveningen.

ZEVENDE HOOFDSTUK.

Over de plaatsbepaling op aarde en aan den hemel.

72. De plaats van een punt op de oppervlakte der aarde wordt, zooals algemeen bekend is, door de breedte en de lengte van dat punt aangegeven. De eerste bepaalt op welken afstand het punt ten noorden of ten zuiden van den aequator ligt: zij wordt dus onderscheiden in noorder- en zuiderbreedte en gemeten op den meridiaan der plaats. Alle plaatsen, die met haar op denzelfden parallelcirkel liggen, hebben dezelfde breedte als zij. Door de lengte van een plaats wordt aangegeven, welken hoek het vlak van haren meridiaan maakt met het meridiaanvlak, dat men als het eerste heeft aangenomen. Verschillende groote natiën stellen er, tot ongerief van velen, een eer in dien eersten meridiaan te laten gaan over hunne hoofdstad; zoodoende is men aan den eersten meridiaan gekomen over Berlijn en over Parijs. De zeevarenden echter laten thans algemeen dien meridiaan gaan over *Greenwich*, en tellen de lengte van dezen meridiaan oost- en westwaarts. De lengte van een plaats bedraagt dus bij deze telling nooit meer dan 180° O. L. of W. L.; en terwijl door de noorder- of zuiderbreedte de parallelcirkel is aangegeven van de plaats, bepaalt de O. of de W. L. de helft van dezen cirkel waarop, en eindelijk het aantal graden het juiste punt, waar zij gelegen is. In vroegere tijden nam men vrij algemeen den meridiaan, die over den *Pic van*

Teneriffe gaat, als eersten meridiaan aan, en telde van dien meridiaan af den ganschen cirkel rond in de richting van het westen naar het oosten; de lengte kon dus in dit geval tot 360° klimmen.

Bewoners der aarde, die dezelfde breedte hebben en in lengte 180° graden verschillen, noemt men elkanders *omwoners*; zij hebben dus hetzelfde jaargetijde, maar de middag voor dezen valt samen met de middernacht voor genen. Die dezelfde lengte hebben en wier breedte in teeken verschilt zijn elkanders *tegenwoners*; nacht en dag vallen voor hen samen, maar de jaargetijden zijn op beide plaatsen steeds het tegenovergestelde van elkander. Zij eindelijk, wier breedte in teeken en wier lengte 180° verschilt, zijn elkanders *tegenvoeters* of *antipoden*; dag en nacht zoowel als de jaargetijden zijn voor hen verschillend. Hun naam hebben zij daaraan te danken, ten minste als men uitgaat van de vooronderstelling dat de aarde een bol is, dat zij op dezelfde vertikaal liggen met de voetzolen naar elkander gekeerd.

73. Daar de breedte van een plaats (§ 9) gelijk is aan hare poolshoogte, zou men slechts de hoogte van de poolster behoeven te meten, om ten minste ten naasten bij te weten op welke breedte men zich bevindt. Die ster staat echter niet juist in de pool des hemels; daarom is het beter dat men de hoogte van een zelfde circumpolairster meet bij hare bovenste en benedenste culminatie. De halve som dezer hoogten zal de juiste poolshoogte zijn; terwijl men nog daarenboven, door met hetzelfde doel onderscheidene circumpolairsterren waar te nemen, de juistheid der bepaling eene zeer groote hoogte kan doen bereiken.

Maar hoe eenvoudig deze methode ter bepaling van de breedte ook zijn moge, hare toepassing is alleen uitvoerbaar zoolang men zich bevindt aan den vasten wal. Op zee, waar het nauwkeurig meten van de hoogte eener vaste ster groote bezwaren heeft, bepaalt men de hoogte van de zon op den middag, en vindt, door van deze den afstand af te trekken, waarop volgens de sterrekundige jaarboeken de zon op dien dag van den aequator is verwijderd, de hoogte van deze. Deze

is het complement van de poolshoogte en dus ook van de breedte.

Kent men den afstand van de zon tot den aequator, dan zal men ook uit eene buiten-middagshoogte der zon door berekening kunnen bepalen op welke breedte men zich bevindt. Want in een bolvormigen driehoek (zie § 75), wiens hoekpunten het zenith, de pool des hemels en de zon zijn, kent men dan twee zijden, te weten het complement van de zons-hoogte en het complement van den afstand der zon tot den aequator, alsmede den hoek aan de pool, omdat men weet op welken tijd voor of na den middag men de zonshoogte gemeten heeft. Men kan dus door bolvormige driehoeksmeting de andere elementen bepalen, en onder deze is de zijde tusschen de pool en het zenith het complement van de gevraagde breedte.

74. Het verschil in lengte tusschen twee plaatsen, dus ten laatste ook de lengte van een plaats met betrekking tot eenen willekeurigen eersten meridiaan, is evenredig aan het verschil van de op die plaatsen geldenden tijden. Immers, daar de aarde met gelijkmatige snelheid zich in vierentwintig uren van het westen naar het oosten omwentelt, zal het meridiaan-vlak van een plaats, die 15° ten oosten van eene andere ligt, één uur vroeger door de zon gaan dan dat van deze. Het zal dus in de eerstgenoemde plaats een uur eerder middag zijn dan in de laatstgenoemde, zoodat het dan ook aan gene plaats gedurende den ganschen dag één uur later zal zijn dan aan deze. Het in uren uitgedrukte tijdsverschil zal men dus slechts met *vijftien* hebben te vermenigvuldigen om het in graden uitgedrukte lengteverschil te verkrijgen; en daar de onderverdeeling der uren juist op dezelfde wijze geschiedt als die der graden, zal eene voorafgaande herleiding van de minuten en sekonden tot deelen van uren niet eens noodig zijn.

Niets nu is eenvoudiger dan de bepaling van het tijdsverschil aan twee plaatsen. Liggen zij nabij elkander dan kan men daartoe gebruik maken van kunstmatige seinen, bijv. van vuurpijlen. De waarnemers aan beide stations teekenen nauwkeurig de tijden aan, waarop de seinen worden gegeven en gezien; het verschil tusschen die tijdstippen zal het verschil in tijd voor

de beide stations zijn, daar men den tijd, dien het licht noodig heeft om van de eene plaats naar de andere zich voort te planten, buiten rekening mag laten. Toch zal men nauwkeurig moeten waarnemen, daar een fout in het tijdsverschil vijftien malen vergroot in het lengteverschil overgaat.

Liggen de twee stations verder van elkander, dan kan men, als zij door een telegraaflijn verbonden zijn, van deze gebruik maken, daarbij ook wederom veronderstellende, dat een sein zich langs deze voortplant met oneindige snelheid. Of men kan zich bedienen van seinen die de hemel zelf geeft; bijv. van verduisteringen van de zon, van de satellieten van Jupiter, of van sterbedekkingen door de maan. De laatstgenoemde gelijktijdige verschijnselen verdienen de voorkeur. Want terwijl, zooals wij reeds vroeger aanmerkten, het altijd moeielijk is het juiste tijdstip van den aanvang en het einde eener verduistering waar te nemen, wordt het tijdstip der bedekking van een vaste ster door de maan steeds met groote juistheid gezien. Toch moet men bij zulke waarnemingen, waarbij de maan in het spel komt, wel letten op hare parallaxis. Immers de afstand, waarop twee van elkander verwijderde waarnemers op aarde geplaatst zijn, wordt uit de maan gezien (§ 65) onder een vrij merkbaaren hoek; en even zoover zal een punt van de rand der maan uit het eene station verwijderd worden gezien van de plaats waar men het ziet uit het andere. Het zal de twee waarnemers gaan als twee personen, die geplaatst zijn, de een rechts, de andere links, voor eene pendule, wier wijzer eenigszins van de plaat is verwijderd. Voor den een zal het reeds twaalf uur zijn, als voor den ander de wijzer nog samenvalt met een punt dat voor twaalf uur is gelegen. Herleiding van de waarnemingen, waardoor het is alsof zij allen gedaan zijn uit het middelpunt der aarde, zal dit verschil klaarblijkelijk opheffen.

De tot hiertoe behandelde methoden ter bepaling van de lengte zijn met de noodige nauwkeurigheid op land alleen uitvoerbaar. Langen tijd moest men zich te dien einde op zee zoo goed mogelijk behelpen met de verduisteringen van Jupi-

ters satellieten, waarvan de tijdstippen, waarop zij, uit een bepaalde plaats op aarde gezien, moesten voorvallen, vooraf berekend en in tafels verzameld waren. Uurwerken te vervaardigen met een zoo geregelden gang, dat men na maanden nog kon vertrouwen dat zij den tijd aangaven van de haven waar men was uitgezeild, was daarom langen tijd het streven van de meest beroemde beoefenaars der natuurwetenschappen; onder hen verdient onze HUYGENS hier in de eerste plaats genoemd te worden. Eindelijk is het mogen gelukken uurwerken te vervaardigen wier gang zoo geregeld is, dat, zoo zij al na lange tijdruimte den juisten tijd niet aangeven van de plaats van vertrek, men toch uit hun vooraf bepaald verloop in eene zekere tijdruimte met zekerheid uit hun aanwijzing kan afleiden hoe laat het daar is. Zulke uurwerken, *chronometers* genoemd, worden hier te lande op eene uitstekende wijze vervaardigd door HOUTWU te Amsterdam. Het onderzoek van den gang der chronometers, in gebruik bij de Nederlandsche marine, en verder alles wat noodig is om in onze voornaamste zee-gaten den tijd met juistheid aan de zeevarenden te doen kennen, geschiedt aan het Observatorium der Leidsche Hoogeschool, dat met de voornaamste havens telegraphisch is verbonden.

Hoe men met behulp van zulk een chronometer de lengte kan bepalen van de plaats waar men zich bevindt, is lichtelijk in te zien. Voorondersteld bijv. dat de chronometer den tijd van Greenwich aangeeft. Bepaalt men nu door waarneming het tijdstip waarop, volgens den chronometer, de zon door den meridiaan gaat, dan weet men hoe laat het te Greenwich is op het oogenblik dat men zelf middag heeft. Het vijftienvoud van het tijdsverschil zal dan juist den hoek aangeven, dien de meridiaan der plaats maakt met dien van Greenwich, dat wil zeggen: de ooster- of westerlengte. Heeft men geen gelegenheid om een doorgang van de zon waar te nemen, dan zal men zich ook ter bepaling van de lengte kunnen bedienen van eenig ander hemellichaam. Daartoe is het noodig dat de zeeman voorzien zij van astronomische jaarboeken, die voor elken dag nauwkeurig aangeven op welken tijd die hemellichamen

door den meridiaan van Greenwich gaan. Eene vergelijking van deze opgave met den volgens den chronometer bepaalden tijd van den doorgang, zal het tijdsverschil en dus ook het lengteverschil doen kennen.

Heeft men redenen om te vermoeden dat de chronometer van gang is veranderd, dan zal men zich hiervan met behulp van dezelfde jaarboeken kunnen overtuigen. Daarin toch zijn de afstanden opgegeven, waarop, uit Greenwich gezien, de voornaamste vaste sterren zich op de daarbij vermelde tijdstippen bevinden van de maan. De parallaxis van de maan behoort in rekening gebracht te worden, en wel door de waarnemingen, even als dit voor de opgegevene tijden te Greenwich reeds geschied is, zoo te herleiden, dat het is alsof men tijdens de meting evenwijdig aan zich zelf naar het middelpunt der aarde was verplaatst. Men weet dan op welken tijd volgens den chronometer deze of gene ster een bepaalden afstand had van de maan, en zoekt op hoe laat het te Greenwich is, als zij van daar gezien denzelfden afstand van de maan heeft; het tijdsverschil geeft het verloop aan van den chronometer. Al is deze dus in het ongereede, dan kan men toch, na het op deze wijze gevonden verloop in rekening gebracht te hebben, te weten komen hoe laat het te Greenwich is, op het oogenblik dat eenige ster door den meridiaan gaat van de plaats waar men zich bevindt, om dan weder door vergelijking van dezen tijd met dien waarop volgens het jaarboek te Greenwich zelf die doorgang plaats heeft, het verschil in de lengte te vinden. Echter is hierbij op te merken, dat de metingen van de afstanden der sterren tot de maan zeer nauwkeurig moeten zijn. Daar toch de maan in een sekonde tijds ongeveer een halve sekonde boogs aflegt aan den hemel, gaat een fout in den gemeten afstand dubbel over in de tijdsbepaling, en deze dubbele fout weder vijftien malen vergroot in het lengteverschil. Een fout van 30 sekonden in den gemeten afstand geeft dus een fout van vijftien minuten in de bepaalde lengte.

75. Ter bepaling van de richting, waarin een ster aan den hemel wordt gezien, maakt men gebruik van drie verschillende stelsels van onderling loodrechte vlakken.

Is de richting bepaald door azimuth en hoogte, dan zijn deze vlakken de meridiaan en de horizon. Het azimuth is dan de hoek, dien een loodrecht op den horizon gesteld vlak, waarin de ster ligt, maakt met den meridiaan, en de hoogte de hoek, dien de in dat vlak liggende gezichtslijn maakt met hare projectie op den horizon. Het azimuth wordt geteld van het zuiden naar het westen, den horizon rond.

Geschiedt de bepaling der richting door rechte klimming en declinatie, dan zijn de aequator en een vlak loodrecht op hem door de nachteveningspunten gebracht, de coördinaten-vlakken. De rechte klimming is dan de hoek, dien een vlak, dat door de ster gaat en loodrecht op den aequator staat, maakt met het laatstgenoemde coördinaten-vlak, en de declinatie de hoek, dien de gezichtslijn maakt met hare projectie op den aequator. De rechte klimming wordt geteld van het lentepunt links gaande, den aequator rond; de declinatie wordt onderscheiden in noorder- en zuiderdeclinatie.

Is de plaats van een ster uitgedrukt in lengte en breedte, dan zijn de ecliptica en een door de nachteveningspunten loodrecht op haar gebracht vlak, de vlakken van waar men begint te tellen. Lengte is dan de hoek, dien een vlak, dat door de ster gaat en loodrecht staat op de ecliptica, maakt met het vlak dat door de nachteveningspunten gaat; terwijl breedte de hoek is, door de gezichtslijn der ster gemaakt met hare projectie op de ecliptica. Men telt de lengte, van het lentepunt links gaande, de ecliptica rond.

Volgens deze bepaling kan bijv. de zon geen breedte hebben en is het bedrag van hare declinatie ten noorden of ten zuiden hoogstens gelijk aan de schuinsheid der ecliptica.

De twee eerstgenoemde stelsels van coördinaten kunnen gemakkelijk uit elkander worden afgeleid door berekening der elementen van den zoogenaamden parallactischen driehoek. Deze driehoek is een bolvormige, wiens zijden gevormd worden door bogen van drie groote cirkels, te weten: van den meridiaan der plaats waar men zich bevindt, van een cirkel die door de vertikaal des waarnemers en door de ster gaat, en van

een cirkel door de as des hemels en door de ster gebracht. De drie hoekpunten worden gevormd door de pool des hemels, het zenith van den waarnemer en de ster. Noemt men deze P, Z en S, dan zal eene eenvoudige uitvoering der figuur doen zien, dat de zijde PZ is het complement van de breedte der plaats waar men waarneemt, SZ het complement van de hoogte der ster, en PS het complement van hare declinatie. De hoek Z is het azimuth, terwijl men aan den hoek P, die de rechte klimming meet, den naam van uurhoek heeft gegeven, omdat hij aangeeft hoe lang het nog zal duren eer de ster gaat, of geduurd heeft sedert zij ging, door den meridiaan. De hoek S heeft men parallactischen hoek genoemd. Kent men nu een paar coördinaten, bijv. rechte klimming en declinatie, dan zullen, daar de breedte van de plaats bekend wordt voorondersteld, van den driehoek twee zijden en de ingesloten hoek zijn gegeven, zoodat men de andere elementen, waaronder azimuth en hoogte, zal kunnen berekenen. Het zal niet moeielijk zijn op dezelfde wijze een verband te vinden tusschen de andere paren van coördinaten; het in teekening brengen van de driehoeken, die het uitdrukken, laten wij daarom aan den lezer over.

76. Bij het bepalen van de ware plaats eener ster nu zal het niet voldoende zijn, dat men louter een paar van de genoemde coördinaten door middel van een kijker meet. Die waargenomen coördinaten moeten nog correctiën ondergaan, waarvan sommige noodzakelijk zijn, omdat men de ster werkelijk ziet op een plaats waar zij niet staat, andere omdat het nulpunt van telling der coördinaten in den loop der tijden van plaats verandert.

De coördinaten, die om de laatstgenoemde reden correctie behoeven, zijn de rechte klimming en de declinatie zoowel als de lengte en de breedte. In § 71 toch zagen wij dat het nulpunt van telling der beide eerstgenoemde, het lentepunt, door de praecessie der nachteveningen wordt verplaatst, terwijl nog daarenboven de verandering in de schuinsheid der ecliptica de breedte en de nutatie de lengte, de rechte klimming en de declinatie in den loop der tijden moeten wijzigen.

Wil men daarom waarnemingen, op verschillende tijden gedaan, met elkander in verband brengen, om daaruit bijv. een besluit te trekken betreffende de eigene beweging der vaste sterren, dan zal het noodig zijn, dat men alles herleidt tot één oogenblik. Neemt men daarvoor bijv. den 1^{sten} Januari van het jaar 1800 aan, dan verkrijgt men uit de verschillende waarnemingen de plaats die de ster ten opzichte der coördinaten-vlakken zou hebben, als deze nog denzelfden stand hadden als op dat tijdstip.

Van denzelfden aard is de zoogenoemde dagelijksche parallaxis van de hemellichamen die, zooals de maan, de planeten en de zon, niet ver van ons zijn verwijderd. In een bepaald geval (§ 73) hebben wij reeds op de parallaxis der maan gewezen en opgemerkt hoe men, als verschillende waarnemingen bij het doen van een of ander onderzoek met elkander moeten gecombineerd worden, van haar zich onafhankelijk maakt. Daar zij de hoek is, waaronder uit de ster de afstand van den waarnemer tot het middelpunt der aarde gezien wordt en die hoek ligt een vlak dat, daar het door den straal der aarde gaat, loodrecht staat op den horizon der waarnemers, wijzigt zij het azimuth niet. Haar invloed op de hoogte zal des te grooter zijn naarmate het waargenomen lichaam nader bij den horizon staat, en nul als dit staat in het zenith.

Overigens weten wij reeds dat alle waarnemingen, als zij willen doen zien waar een hemellichaam werkelijk staat, gecorrigeerd moeten worden voor de aberratie (§ 32). Staat een ster in het vlak der ecliptica, dan wijzigt de aberratie natuurlijk wel hare lengte maar niet hare breedte; deze blijft *nul*, omdat de schijnbare beweging alsdan in de ecliptica plaats heeft. Op de rechte klimming zal zij dan tevens van grooten invloed zijn en van geringen invloed op de declinatie; terwijl bij elken anderen stand van de ster alle coördinaten door de aberratie worden gewijzigd.

Wat de jaarlijksche parallaxis betreft, deze is, op eenige weinige uitzonderingen na, zoo gering, dat men haar geheel buiten rekening kan laten. Daarentegen bestaat er eene reden van afwijking der lichtstralen die, even als de aberratie,

niet alleen maakt dat men de ster ziet op een plaats waar zij niet staat, maar zelfs aan de gezichtslijn eene richting geeft waarin de ster niet te vinden zou zijn. Wij bedoelen de refractie of breking, die de lichtstralen ondervinden terwijl zij door den dampkring gaan, en die steeds ten gevolge zal hebben dat een ster hooger schijnt te staan dan inderdaad het geval is. Want bij het overgaan van de hoogere meerijle lagen van den dampkring in de lagere, die dichter zijn, wordt de lichtstraal steeds gebroken naar de normaal van het punt waar zij een nieuwe laag ontmoet. De weg van het licht zal dus een kromme lijn zijn, en men zal de ster zien in de richting van de raaklijn aan die kromme, getrokken in het punt waar zij in het oog komt. De invloed der refractie is *nul* op de plaats van sterren die in het zenith staan, omdat hare lichtstralen de lagen van den dampkring loodrecht treffen. Bij den horizon neemt die invloed aanmerkelijk snel toe, daar het verschil in de dichtheid der lagen, die het licht te doorloopen heeft, bij een klein verschil in hoogte, daar reeds zeer groot is. De afgeplatte gedaante, die de zon en de maan schijnen te hebben als zij op- of ondergaan, is aan dit groote verschil toe te schrijven. Want van de verschillende punten van den omtrek der zonneschijf zullen zij, die in hoogte verschillen, eene verschillende verheffing boven de horizon ondergaan, waardoor bijv. de vertikale middellijn verkort wordt, terwijl de beide uiteinden van de horizontale middellijn evenveel in hoogte toenemen en dus deze hare oorspronkelijke lengte nagenoeg behoudt. De zon of de maan zal dus de gedaante aannemen van een ellips wier groote as evenwijdig is met den horizon. Het bedrag der refractie kan bij het ondergaan van een ster meer dan 33' bedragen; daar deze hoek grooter is dan die, waaronder de middellijn van de zon en de maan uit de aarde gezien worden, kan het soms gebeuren dat tijdens een maaneclips beide hemellichamen gelijktijdig gezien worden, de verduisterde maan aan de ooster- en de ondergaande zon aan de westerkim. De toestand van den dampkring is natuurlijk van grooten invloed op het bedrag der refractie; van daar dat men bij de bepaling daarvan op

de aanwijzingen van barometer, thermometer en hygrometer heeft te letten.

De terugkaatsing van het zonnelicht door den dampkring brengt op aarde een verschijnsel teweeg, dat wij schemering noemen. Als de zon reeds lang is ondergegaan, beschijnt zij nog de hoogste lagen van den dampkring en worden hare stralen door de luchtdeeltjes naar de rondomliggende plaatsen teruggekaatsd. Verschillende waarnemingen schijnen aan te toonen, dat als de zon 15° beneden den horizon is gedaald, de schemering ophoudt, en uit deze waarnemingen heeft men de hoogte van den dampkring trachten af te leiden. Zeker is het, dat bij ons in het midden van den zomer, als de zon hoogstens ongeveer 14° beneden den horizon daalt, de nachten nooit volkomen donker zijn. Onder den æquator, waar de zon bogen beschrijft die loodrecht staan op den horizon, daalt zij zeer schielijk onder deze; daarom is de schemering in die streken van korter duur dan bij ons, waar zij schuins onder den horizon daalt.

ACHTSTE HOOFDSTUK.

Over de tijdrekening.

77. Zooals wij gezien hebben, wentelt de aarde zich met gelijkmatige snelheid om hare as en, daar zij voor elke omwenteling juist denzelfden tijd gebruikt, is er geen eenvoudiger onderverdeeling van den tijd, dan in deelen, die tusschen twee achtereenvolgende doorgangen van een ster door den meridiaan verstryken. Zulk een tijdsverloop is een sterredag, het vierentwintigste gedeelte daarvan een sterreuur enz. Neemt men als nulpunt van telling het oogenblik aan waarop het lentepunt ergens door den meridiaan gaat, dan kan men op elk willekeurig oogenblik uit den sterretijd, waarop eenig hemellichaam door den meridiaan gaat, zijne rechte klimming door vermenigvuldiging met vijftien afleiden. Vandaar dan ook, dat in den parallactischen driehoek (§ 74) uurhoek en rechte klimming dezelfde beteekenis hebben.

78. Maar hoe eenvoudig ook deze tijdsverdeeling zij, in het burgerlijk leven is zij niet bruikbaar. Het verrichten van alle mogelijke bezigheden hangt geheel en al samen met het op en ondergaan der zon, zoodat de maatschappij geen tijdsverdeeling kan gebruiken, waarbij niet steeds het oogenblik, waarop de zon haren hoogsten stand aan den hemel inneemt, een middelpunt der verdeeling uitmaakt. En bij eene verdeeling in sterre-uren zou dit het geval niet zijn. Immers op

den 22^{sten} Maart, als de zon 0° rechte klimming heeft, zal, indien het oogenblik waarop het lentepunt door den meridiaan gaat het nulpunt van telling is, werkelijk dit oogenblik tevens het middelpunt van den burgerlijken dag kunnen zijn. Maar een vierdendeel jaars later is dit gansch anders. De zon heeft dan reeds 90° rechte klimming, zoodat als de zon door den meridiaan gaat, het lentepunt deze reeds gedurende zes uren is gepasseerd. De middag volgens de naar sterrestrijd geregelde uurwerken zou dus niet meer met het midden van den dagboog der zon samenvallen.

Dit verloop van den sterretijd bij den zonnetijd is een gevolg daarvan, dat de zon niet voortdurend dezelfde plaats aan den hemel inneemt, maar daarentegen dagelijks gemiddeld een boog van één graad schijnt af te leggen in de richting van het westen naar het zuiden. De tijdsruimte tusschen twee achtereenvolgende doorgangen van de zon door den meridiaan van een plaats, die dus gemiddeld 24 uren 4 minuten sterretijd zou bedragen, noemt men een **zonnedag**, haar vierentwintigste deel een **zonneuur**, enz. Het oogenblik waarop de zon door den meridiaan gaat is het nulpunt van telling voor den zonnetijd; dat oogenblik noemt men den **waren middag**.

79. Eene tijdsverdeeling, berustende op de terugkomst van de zon in den meridiaan, zou even eenvoudig zijn als die welke op de terugkomst van eenig vast punt in dat vlak gegrond is, indien maar werkelijk de zon dagelijks een even langen boog aan den hemel aflegde en indien zij zich langs den aequator bewoog. Dat het eerste het geval niet is weten wij; de snelheid, die de zon schijnbaar heeft, is geregeld volgens de tweede wet van KEPLER, omdat de aarde volgens die wet hare elliptische baan doorloopt.

Dientengevolge doorloopt de zon der winters in een sterredag een grooteren boog dan des zomers, zoodat bijv. in Januari de zonnedag 24 uren 4 min. 26 sekonden en in Juli slechts 24 uren 4 min. 9 sekonden sterretijd bedraagt.

De invloed, dien de beweging van de zon langs de met

den aequator eenen hoek makende ecliptica heeft op de lengte van den zonnedag, is tweederlei.

Ten eerste heeft zij ten gevolge, dat op sommige tijden de gansche boog van een graad lengte, dien de zon sedert den vorigen middag heeft afgelegd, door den meridiaan moet gaan eer het wederom middag is, terwijl op andere tijden van het jaar daartoe slechts het product van dien boog met den *cosinus* van den hoek, dien hij met den aequator maakt, bij een sterredag behoeft te worden opgeteld. Tijdens de solstitiën, als de zon zich evenwijdig met den aequator beweegt, geldt het eerste geval, terwijl tijdens de nachteveningen, als de richting van hare beweging den grootsten hoek maakt met den aequator, de eigene beweging voor haar kleinste bedrag in rekening komt.

Ten tweede moet men wel opmerken dat de sterredag niet dagelijks wordt vermeerderd met den tijd, die noodig is om het gedeelte van een grooten cirkel, door de zon afgelegd, door den meridiaan te brengen. De zonnedag is een sterredag vermeerderd met den tijd, die noodig is om het gedeelte van den dagboog, dat zij zelve gevorderd is, door den meridiaan te voeren. Dit gedeelte nu zal tijdens de solstitiën, als de zon den kleinsten parallelcirkel beschrijft, de grootste mogelijke en tijdens de nachteveningen, als die parallelcirkel de aequator is, de kleinste mogelijke breuk van een sterredag zijn.

80. Men begrijpt lichtelijk dat het niet mogelijk is uurwerken te vervaardigen, in wier loop al deze bijzonderheden zijn opgenomen; dat men dus de naar den zonnetijd geregelde uurwerken ieder oogenblik met de zon zou moeten vergelijken en naar haar regelen, indien men eene juiste onderverdeeling der dagen wilde verkrijgen. Om dit ongerief te vermijden moet men, zooals uit het in de vorige § gezegde duidelijk blijkt, een zon aannemen, die met gelijkmatige snelheid zich beweegt langs den aequator. De tijdruimte, die tusschen twee doorgangen van deze denkbeeldige zon verstrijken moet, is de middelbare dag, haar vicereventwintigste gedeelte een van de in het burgerlijke leven gebruikelijke uren, terwijl men van een in haar en hare onderdeelen uitgedrukt

tijdstip zegt, dat het in middelbaren tijd is uitgedrukt.

Daar men aanneemt dat deze denkbeeldige zon gelijktijdig met de ware vertrekt uit het lentepunt en daar ook gelijktijdig wederom aankomt, worden alle ongelijkmatigheden in de schijnbare beweging over een gansch jaar verdeeld, en zal na verloop van een jaar de ware tijd weder met den middelbaren overeenkomen. Het verschil tusschen die beide heeft dan ook nu eens dezen dan genen zin; dat wil zeggen, dat het op den waren middag nu reeds eens over den middag is en dan weder nog middag worden moet volgens den middelbaren tijd. Door gedurende eenigen tijd steeds denzelfden zin te hebben, kan het verschil zoowel in $+$ als in $-$ soms tot ongeveer 17 minuten klimmen. Men noemt het de tijdsvereffening. Om uit den middelbaren tijd, die in het burgerlijk leven in gebruik is, den waren tijd, waarnaar men in de sterrekunde rekent, af te leiden, wordt voor elken dag de tijdsvereffening, of de middelbare tijd op den waren middag in de sterrekundige jaarboeken opgegeven. Daarenboven valt op te merken, dat men den middelbaren tijd rekent van de middernacht, den waren tijd daarentegen van den middag.

81. De verdeling van den tijd in grootere afdeelingen is gegrond op den loop van de aarde om de zon, of liever op den schijnbaren loop van deze in de ecliptica.

Het eenvoudigste zou wel wederom zijn, dat men voor elk dezer grootere afdeelingen den tijd aannam, die er verstrijkt tusschen de twee oogenblikken, waarop de zon wordt gezien in dezelfde richting als eenige vaste ster. Zulk een siderisch of sterrejaar, dat ruim 365,265 middelbare dagen zou bevatten, kan echter niet dienen bij eene voor het burgerlijk leven geschikte tijdsverdeling. Eene zoodanige tijdsverdeling toch behoort zoo ingericht te zijn, dat steeds op hetzelfde tijdstip eener afdeeling ongeveer dezelfde weers- en temperatuursgesteldheid voor eenige plaats op aarde geldt. Telkens bijv. als de zon in het lentepunt terugkeert, heerscht een bepaald seisoen aan de verschillende punten der aarde; dat oogenblik nu moet altijd komen op het tijdstip dat in de tijdsverdeling

denzelfden naam draagt. Tegenwoordig komt het op den 22^{sten} Maart; het zou zeker groote verwarring geven, wanneer men het jaar zoo lang maakte, dat dit tijdstip over eenige jaren in Januari viel. En toch zou dit het geval zijn, wanneer het siderische jaar als onderdeel van den tijd werd aangenomen. Het lentepunt toch is geen vast punt aan den hemel; het verplaatst zich (§ 71) in een richting tegenovergesteld aan die, waarin zich de zon schijnt te bewegen. Vooronderstel dus, dat men thans den 22^{sten} Maart heeft en dat de zon in het lentepunt is, dan zullen na minder dan een sterrejaar nacht en dag weder even lang zijn over de geheele aarde. De zon zal nog schijnbaar den weg moeten afleggen, dien het lentepunt in dat sterrejaar heeft afgelegd, om weder te komen in het tegenwoordig lentepunt. Nachtevening zou dus, voorondersteld dat het bedrag der praecessie veel belangrijker was dan het nu is, in het volgende jaar in Februari kunnen vallen. Om dit ongerief te voorkomen neemt men aan, dat een burgerlijk of tropisch jaar verloopt tusschen de twee oogenblikken, waarop de zon is gekomen in het lentepunt. Dit tropisch jaar nu bevat 365 dagen 5 uren 48 minuten 51 seconden van den middelbaren tijd; het is dus ongeveer 20 minuten korter dan een sterrejaar of de tijd, dien de zon noodig heeft om de 50'' boogs te doorloopen, welke het lentepunt haar in een jaar tegemoet komt.

Behalve de beide genoemde jaren heeft men ook het anomalistische jaar, dat de tijdruimte is die verloopt tusschen de beide oogenblikken, waarop de zon in haar apogeum is. Daar dit punt door de beweging van de lijn der apsiden zich over de ecliptica beweegt in dezelfde richting als de zon, zal het anomalistische jaar langer zijn dan het siderische. Het verschil bedraagt echter slechts ongeveer $4\frac{1}{2}$ minuut.

82. De onderverdeeling van het jaar in maanden moet nu weder op die wijze geschieden, dat voortdurend dezelfde seizoenen vallen in maanden van denzelfden naam. Natuurlijk zal men daartoe alleen in staat zijn, wanneer men de lengte van het tropische jaar met juistheid kent.

Ten tijde van NUMA POMPILIUS wist men reeds dat de duur

van zulk een jaar langer was dan 365 en korter dan 366 dagen. Genoemde koning stelde de lengte van het gewone jaar op 355 dagen, verdeeld in *twaaif* maanden, waarvan elk een synodischen omlooptijd van de maan voorstelde. Op deze wijze nu moesten de seisoenen, die met de verschillende maanden overeenkwamen, reeds in zeer korten tijd aanmerkelijk gewijzigd worden. Verondersteld bijv. dat in het eerste jaar der telling het tijdstip der zomersolstitiën viel op den 22sten Juni en dat men gedurende zes jaren rekende met jaren van 355 dagen, dan zou na dien tijd reeds weder het oogenblik zijn bereikt dat in de tijdrekening 22 Juni heette, terwijl het midden van den zomer eerst ruim twee maanden later zou invallen. Om dit ongerief te voorkomen werd door NUMA om de twee jaren een maand ingelascht van 22 dagen en wel tusschen den 23sten en 24sten Februari. Daar men op deze wijze steeds de lengte van het jaar stelde op gemiddeld 366 dagen, moesten in den loop der jaren reeds alleen hierdoor de tijdstippen, waarop de verschillende landbouwfeesten gevierd werden, volstrekt niet meer samenvallen met die waarin de vruchten, waarop zij betrekking hadden, konden geoogst worden. Door hier bijkomende willekeurige inlassching of weglating van dagen, vielen dan ook ten tijde van JULIUS CAESAR de feesten van BACCHUS midden in den zomer als de druiven nog niet rijp waren. Als opperpriester belast met het regelen van den kalender, voerde hij daarom eene nieuwe tijdrekening in, die onder den naam van den Juliaanschen kalender bekend is. Hij stelde den aanvang van het jaar op den dag der nieuwe maan, volgende op de wintersolstitie, waaraan het is toe te schrijven dat men later het jaar steeds deed aanvangen op den 1sten Januari, en nam aan dat het tropische jaar 365 dagen 6 uren lang was. Terwijl nu de duur van het gewone jaar werd gerekend op 365 dagen, stelde CAESAR vast, dat men telkens om de *vier* jaren een dag zou inlasschen. Deze dag werd dan geplaatst tusschen den 23sten en 24sten Februari; en daar deze maand gewoonlijk 28 dagen telde, was de 23sten van die maand de zesde (*sexta*) dag, als men, zooals de Romeinen gewoon waren, achteruit telt

van den 1^{sten} dag van de volgende maand af. Men noemde nu dezen ingelaschten dag den dubbelen zesden dag (*bissexta*), en van daar dat de Franschen het schrikkeljaar nog *l' an bissextil* noemen. Het jaar van JULIUS CAESAR had overigens de maanden van 30 en 31 dagen, zooals wij die thans nog kennen. Wat hunne namen betreft, de maanden *Juli* en *Augustus* noemde men destijds nog *Quintilis* en *Sextilis*; maar aan de eene maand werd juist ter eere van CAESAR, aan de andere ter eere van AUGUSTUS, de naam gegeven waaronder wij haar thans kennen.

Het spreekt echter wel van zelf, dat bij een tijdrekening als de Juliaansche, men op den langen duur moet bemerken dat de zon niet daar in hare loopbaan zich bevindt, waar zij volgens die rekening zijn moest. Immers een jaar, dat gemiddeld $165\frac{1}{4}$ dag lang is, is 11 minuten 8,4 seconde langer dan het werkelijke tropische jaar; zoodat, als men van een bepaald tijdstip uitgaat, de zon na honderd jaren op het tijdstip dat denzelfden naam draagt, ongeveer 19 uren of ruim $\frac{3}{4}^{\circ}$ in hare loopbaan voorbij het punt zal zijn, dat zij nu inneemt. Op den 24^{sten} Februari 1581, toen de totale fout ten gevolge der voortdurende opeenhooping reeds tot *tien* dagen was geklommen, beval GREGORIUS XIII, dat men op den 4^{den} October 1582 onmiddellijk den 15^{den} zou laten volgen en dus in dat jaar, ten einde de tijdrekening de zon te doen inhalen, als het ware tien dagen van October zou overslaan. Om niet weder in dezelfde fout te vervallen, zouden voortaan die eeuw-jaren, wier aantal honderdtallen niet door vier deelbaar is, niet als schrikkeljaren gerekend worden. Sedert dien tijd zijn dus door hen, die volgens den Gregoriaansche kalender rekenen, de jaren 1700 en 1800 niet als schrikkeljaren in rekening gebracht, zoodat de Russen en Grieken, die nog steeds den Juliaanschen kalender volgen, thans reeds twaalf dagen met ons in tijdrekening verschillen en onze 13^{de} Juli voor hen de 1^{ste} Juli is.

83. Wij hebben in § 54 gezien, dat 29,53 dag de duur is van den synodischen omloopstijd der maan, en kunnen hieruit dadelijk opmaken, dat maanden als de onze van 30

en 31 dagen niet zoo nauw in verband staan met de maan, als haar naam wel zou doen vermoeden. Tevens blijkt het dat de dagen, waarop in twee achtereenvolgende jaren dezelfde phasen van de maan vallen, zeer moeten verschillen, daar toch onze twaalf maanden geen geheel aantal synodische omlooptijden der maan bevatten. Het aantal dagen, vervat in 19 tropische jaren, is het kleinste veelvoud, dat nagenoeg samenvalt met het aantal dagen in een geheel aantal maanmaanden begrepen. Want 19 tropische jaren zijn gelijk aan 6939,60218, en 235 synodische omlooptijden der maan aan 6939,68912 dag. Valt dus nieuwe maan juist op den 1^{sten} Januari 1879, dan zal dit eerst weder plaats hebben op den 1^{sten} Januari 1898. Zulk een periode van 19 jaren noemt men een *maan cyclus*, en het getal, dat den rang van een jaar in den cyclus aanduidt, het *guldengetal*. Daar het eerste jaar van onze jaartelling *twee* tot guldengetal had, behoeft men thans, om dat getal voor eenig jaartal te vinden, bij dat jaartal slechts *één* op te tellen en deze som door 19 te deelen; de rest zal het gevraagde guldengetal zijn.

84. Ter bepaling van de zoogenaamde bewegelijke christelijke feestdagen, moet men het guldengetal kennen. Die feestdagen regelen zich toch alle naar den dag, waarop Paschen gevierd wordt, en dit feest wordt steeds gevierd op den *eersten zondag na de volle maan*, die op of na den 21^{sten} Maart valt. Derhalve dient men voor eenig bepaald jaar in de eerste plaats te weten, hoe oud de maan was op den 1^{sten} Januari van dat jaar. Want dat aantal zal men slechts tot 29,5 dag hebben aan te vullen, om het tijdstip der eerste volle maan in dat jaar en vervolgens, steeds 29,5 dag bijvoegende, ook dat van de Paaschmaan in dat jaar te vinden. De ouderdom van de maan op den 1^{sten} Januari, dien men *epacta* noemt, kan op de volgende wijze worden afgeleid uit het guldengetal. Met 12 synodische omlooptijden der maan komen, als men ieder gemiddeld op 29,5 dag rekent, 354 dagen overeen, en daar een jaar er gemiddeld 365 bevat, zal, als de maan heden op den 1^{sten} Januari nieuw, dus het

guldental 1 en de epacta *nul* was, het volgende jaar op den 1sten Januari met het guldental 2 een ouderdom van *elf* dagen, het daarop volgende jaar met het getal 3 een ouderdom van 22 dagen, en het daarop volgende met het getal 4 een ouderdom van 33 dagen overeenkomen. Voor deze epacta stelt men nu 3, om, aldus de lengte van een maand op 30 dagen rekenende, gedeeltelijk tegemoet te komen aan de fout, begaan bij het stellen van de maanmaand op 29,5 in plaats van op 29,6304 dag. Men ziet dus, dat op deze wijze met elk guldental eene bepaalde epacta overeenkomt, en dat men, de 19 achtereenvolgende getallen van den cyclus opschrijvende, gemakkelijk de bij elk van hen behoorende epacta bepalen kan. Voor de epacta, die overeenkomt met het getal 19 zelf, zal men 18 vinden, zoodat men voor den ouderdom der maan op den 1sten Januari van het jaar, dat den volgenden cyclus opent, 29 dagen zou verkrijgen. Hiervoor echter stelt men nu wederom 30 of 0, en vereffent zodoende nog nader de fout, die ontstaat door aan te nemen, dat het verschil in ouderdom van de maan op twee achtereenvolgende nieuwejaarsdagen juist *elf* dagen bedraagt. Daar zij echter op deze wijze nog niet ten volle is verbeterd, moet telkens zeven maal om de drie eeuwen en dan eens na vier eeuwen de epacta eene eenheid hooger gesteld worden, dan zij volgens de zoo even vermelde bepaling zijn zou.

Weet men nu op welken datum de Paaschmaan valt, dan zal men nog moeten weten welke dag der week met dien datum overeenkomt; is toch deze een zondag, dan zal het Paaschfeest een week later behooren in te vallen. Om nu ook dit te kunnen bepalen, behoeft men slechts na te gaan op welken dag der week de 1ste Januari inviel, en dit wordt in den eeuwigdurenden kalender bepaald door de *zondagsletter*. De zeven dagen der week worden in dien kalender aangeduid door de zeven eerste letters van het alphabet en wel zóó, dat de letter A steeds overeenkomt met den eersten dag van een jaar. De letter, die zodoende op den eersten zondag valt, is de zondagsletter van dat jaar; zij wijst dus aan met welken dag der week dat jaar is aangevangen. Daar het gewone jaar een ge-

geheel aantal malen zeven dagen en nog één dag bevat, zal jaarlijks die letter verspringen, zoodat, als in het eene jaar F de zondagsletter is, dat wil zeggen, de 1ste Januari op een Dingsdag invalt, die datum in het volgende jaar zal vallen op een Woensdag en dus E de zondagsletter zijn zal. Na een schrikkeljaar, dat een geheel aantal malen zeven en nog *twee* dagen bevat, springt de zondagsletter twee letters achterwaarts. Daar dit dubbel verspringen een gevolg is van de inlassching van den 29sten Februari, is men gewoon aan het vóór dezen datum vallende gedeelte des jaars reeds een andere zondagsletter te geven dan aan het daarna vallende. Is bijv. in het jaar 1867 de zondagsletter F geweest, dan zal die van het jaar 1868 door E, D worden aangeduid, waarmede men dan wil zeggen, dat wanneer genoemd jaar als gewoon wordt beschouwd vóór den 29sten Februari E en nà dien datum D de zondagsletter is voor dat jaar.

NEGENDE HOOFDSTUK.

Over de vaste sterren.

85. Na al hetgeen wij in de voorgaande hoofdstukken behandelden, blijven alleen die hemellichamen ter bespreking over, die ten opzichte van elkander steeds nagenoeg denzelfden stand behouden en daarom ook met den naam van vaste sterren worden bestempeld. Te zamen geven zij aan den sterrenhemel die onveranderlijke gedaante, waaronder wij hem van onze jeugd aan kennen, en wiens aanblik zoo menigmaal ons stemde tot eerbiedige bewondering.

Wanneer wij hier nu spreken van onveranderlijke gedaante, dan moet men niet denken, en menigeen zal de tegenovergestelde opmerking zelf reeds dikwijls gemaakt hebben, dat op elken avond op hetzelfde uur de voor ons zichtbare sterrenhemel volkomen dezelfde is. Integendeel, wanneer men heden avond op zeker gegeven oogenblik een of andere vaste ster ziet boven den horizon verrijzen, en een andere nog eenige graden boven de westerkim ziet staan, dan zal men eenige weken later de laatstgenoemde op dit uur niet meer vinden, terwijl de eerstgenoemde dan reeds een hoogte van eenige graden zal bereikt hebben. Deze omstandigheid is echter alleen daaraan toe te schrijven dat de burgerlijke tijdrekening (§ 79) naar de zon geregeld is, en dat deze schijnbaar in een jaar den ganschen hemel doorloopt. Een ster dus, die thans 180° in rechte klimming met de zon verschilt, zal heden nacht, als deze in hare benedenste culminatie is, zoo hoog mogelijk aan den hemel staan, terwijl drie maanden later, als zij met de zon slechts

90° in rechte klimming verschilt, die ster op datzelfde tijdstip van middernacht reeds zal ondergaan.

86. Om onder het ontelbaar aantal vaste sterren zijn weg te vinden, heeft men verscheidene nabij elkander geplaatste vereenigd tot sterrebeelden. Vele dezer beelden waren reeds in de vroegste oudheid bekend, en dragen namen ontleend aan personen uit de mythologie, den heldentijd of de oude geschiedenis. De meeste van deze beelden bevatten alleen de sterren die in het noordelijk halfond van onze aarde zichtbaar zijn. Toen in de 15^e eeuw ook de streken bezuiden den æquator werden bezocht door de zeevarenden, stelden zij de sterren aan de zuidelijken hemel tot nieuwe beelden samen, en gaven daaraan de namen van natuurvoorwerpen, die in de bezochte streken werden gevonden. In latere tijden werd het aantal beelden vermeerderd met eenige andere, hetzij met het doel om sterren, die bij de bestaande beelden niet best te huis te brengen waren, ook in groepen te vereenigen, hetzij louter om aan dezen of genen vorst of hooggeplaatst persoon het onschuldig genoegen te verschaffen zijn naam te zien prijken aan den hemel. Met dit doel werden zelfs somtijds aan bestaande beelden sterren ontnomen om daaruit een nieuw beeld te kunnen samenstellen, en schoon het wel van zelf spreekt dat scheppingen, die geen andere reden van bestaan hadden dan het belang, door bijzondere personen gesteld in het vleien van de machtigen der aarde, dikwijls spoedig weder te niet gingen, zoo hebben wij toch nog genoeg nuttelooze voorwerpen aan den hemel om te wenschen, dat men daarvan een groot gedeelte afschafte.

In een sterrebeeld worden de sterren zelve gewoonlijk aangeduid door de letters van het Grieksche alphabet of door een getal. In het eerste geval geeft men aan de helderste sterren gewoonlijk de eerste letters van het alphabet, en volgt bij de benoeming den regel om aan eene ster een des te verder naar achteren geplaatste letter te geven, naarmate zij minder helder is. Is men op deze wijze aan het einde van het genoemde alphabet gekomen, dan neemt men letters uit het Romeinsche alphabet. Vindt men daarentegen eene ster aangeduid

door een getal, dan drukt dit alleen uit dat zij op een lijst, door dezen of genen sterrekundige gemaakt, de zooveelste in rang is: zoodat dus ook bij zulk een getal diens naam behoort genoemd te worden.

Onder deze sterrelijsten of catalogussen van vaste sterren, noemen wij in de eerste plaats die van FLAMSTEED: in haar zijn van meer dan 3000 vaste sterren de rechte klimming en de declinatie opgegeven. De ster van den Zwaan, die wij in § 31 N°. 61 noemden, heeft dit ranggetal in de lijst van FLAMSTEED. Behalve deze zijn er nog sterrelijsten van MAYER, GROOMBRIDGE, PIAZZI, LALANDE, BESSEL, en anderen.

Men onderscheidt de sterren naar hare helderheid in sterren van de eerste, tweede enz. grootte. De voor het bloote oog zichtbare zijn door ARGELANDER nauwkeurig met elkander vergeleken en verdeeld in sterren *van de eerste tot de zesde* grootte. In ons vaderland zijn, als men zijne verdeeling volgt, met het bloote oog zichtbaar 14 sterren van de eerste, 51 van de tweede, 153 van de derde, 325 van de vierde, 810 van de vijfde, en 1871 van de zesde grootte; dus in het geheel 3237 vaste sterren. Daarenboven ziet men hier nog 15 sterrehoopen en 4 nevelvlekken. Het aantal der voor het bloote oog onzichtbare of teleskopische sterren is onvergelykelyk veel grooter dan dat der zichtbare; men kan het getal der met onze beste kijkers zichtbare sterren veilig stellen op 400 millioen. Ook deze zijn door STRUVE verdeeld in zes klassen, zoodat de kleinste der voor den mensch zichtbare vaste sterren, volgens zijne indeeling, sterren zijn van de twaalfde grootte.

Weder op eene andere wijze verdienstelyk maakten zich BODE, HARDING, ARGELANDER en anderen door het vervaardigen van atlassen des hemels, die afbeeldingen bevatten, óf van de streek, die zich aan weerszijden van de ecliptica uitstrekt, óf meer algemeene kaarten van den hemel. Maar vooral verdienstelyk voor die van onze landgenooten, bij wie de lust mocht ontwaken zich meer opzettelyk met de beschouwing van den hemel bezig te houden, maakte zich de hoogleeraar KAISER door het ontwerpen en vervaardigen van een zooge-

naamd *Hemelplein*, dat bij zijn werk „*de Sterrenhemel beschreven en afgebeeld*“ is uitgegeven, en in dat werk nauwkeurig wordt beschreven. Het is een ondervinding onzer jeugd dat men, gebruik makende van dit hulpmiddel, in korten tijd zeer gemakkelijk zijn weg weet te vinden aan den hemel, waarom wij dan ook, liever dan hen met eene onvruchtbare opsomming der sterrebeelden te vervelen, onze lezers aanraden zich zelven het genot te verschaffen van eene beschouwing des hemels, die dus geleid, zelfs dienstbaar kan worden aan de ontwikkeling der wetenschap.

87. De in de vorige § met een woord genoemde *sterr e h o o p e n* en *nevelvlekken* schijnen, wat hun wezen betreft, niet van elkander onderscheiden. Wat voor het bloote oog een nevelachtige lichtvlek aan den hemel schijnt, lost zich meestal bij het gebruik van een middelmatigen kijker reeds op in eene groote menigte weinig van elkander verwijderde sterren; en evenzoo gaat het met de voor het bloote oog onzichtbare nevelvlekken, daar ook zij meer en meer blijken sterrehoopen te zijn, naarmate men een kijker gebruikt van grootere kracht. De sterrekundigen, door wie wij zoo al niet omtrent het wezen dan toch omtrent het bestaan en de uiterlijke gedaante der nevelvlekken zijn ingelicht, zijn *MESSIER* en de oudere *HERSCHEL*, die haar reeds in het laatst der vorige eeuw, en de jongere *HERSCHEL*, *Lord ROSSE* en anderen, die haar in deze eeuw tot de voorwerpen hunner onderzoekingen maakten. Van beide laatstgenoemden hield *HERSCHEL* zich vooral bezig met het beschrijven en afbeelden van al de nevelvlekken, die hij aan den hemel ontmoette. Zijne lijsten bevatten er meer dan 4000, waarvan de grootste helft in het noordelijk halfond en de overige aan de Kaap de Goede Hoop door hem zijn waargenomen. *ROSSE* daarentegen heeft zich alleen bezig gehouden met het onderzoek van die vlekken, wier gedaante volgens de mededeelingen van *HERSCHEL* belangrijke bijzonderheden vertoonde. Tot een zoodanig onderzoek stelde zijn groote teleskoop, wiens spiegel een middellijn van zes voeten heeft, hem beter dan iemand anders in staat. Het deed hem tot de overtuiging komen dat, schoon vele nevelvlekken in sterrehoopen

worden opgelost, de uiterlijke gedaante der overige geen vrijheid laat allen voor sterrehoopen te verklaren, die slechts door het ongenoegzame der hulpmiddelen tot nog toe niet vatbaar zijn voor oplossing. De voornaamste bijzonderheid door ROSSE opgemerkt is deze, dat vele der nevelvlekken, door HERSCHEL beschreven als omgeven van scherp begrensde randen en overtogen met een gelijkmatig licht, spiraalvormige lichtbundels vertoonen, die van het middenste, meestal sterkst verlichte en in sterren oplosbare gedeelte uitgaan. Ook bij de nevelsterren, gevormd door eenige sterren, die als het ware de kern vormen van een uitgestrekt lichtgevend omhulsel, merkte hij een veel minder afgeronde gedaante van dit laatste op, dan door HERSCHEL in zijne teekeningen daaraan was gegeven.

Van de vijf in de vorige § genoemde, voor ons met het bloote oog zichtbare nevelvlekken, zijn drie eigenlijke sterrehoopen, terwijl alleen de twee overige nog niet opgelost zijn.

88. Sterren, die zeer kort nevens elkander aan den hemel staan, noemt men dubbele of veelvoudige sterren. De afstand der met het bloote oog zichtbare bedraagt eenige minuten; is hij slechts eenige sekonden, dan doet de ster zich aan het bloote oog als eene enkele voor, en is het slechts bij het gebruik van een 'jker mogelijk, haar in hare onderdeelen gescheiden te zien.

Het is duidelijk, dat, uit de aarde gezien, twee sterren naast elkander kunnen schijnen te staan, terwijl toch de eene op oneindig veel grooteren afstand van ons is verwijderd dan de andere. Reeds in § 31 maakten wij opmerkzaam op deze optische dubbelsterren en op het voordeel, dat men, ter bepaling van de parallaxis der vaste sterren, van haar kan trekken. De meeste dubbele sterren echter behooren niet tot deze soort, maar zijn te zamen verbonden tot een stelsel, zooals blijkt uit de betrekkelijke plaatsveranderingen, die men bij haar waarneemt. In onderscheiding van de zoo even genoemden, worden zij physische dubbelsterren genoemd, een naam, die op zeer juiste wijze uitdrukt, dat zij door meer dan haren toevalligen korten afstand met elkander samenhangen.

Het zijn dan ook alleen de laatstgenoemde dubbele sterren, die meer bijzonder de aandacht der sterrekundigen hebben getrokken. Hun onderlinge afstand bereikt soms de waarde van eenige minuten. Onder deze is vooral een dubbele ster uit *de Lier* merkwaardig, die uit twee paren dubbelsterren bestaat, welke paren door een boogje van ongeveer $3\frac{1}{2}'$ zijn gescheiden. Behalve de wentelende beweging van de eene ster van elk paar om de andere, neemt men eene dusdanige beweging van de beide paren waar om hun gemeenschappelijk zwaartepunt. Toch zijn zulke groote afstanden zeldzaam, waarom dan ook de oudere STRUVE, aan wien wij een groot gedeelte van onze kennis der dubbele en veelvuldige sterren danken, zich bij zijne onderzoekingen bepaalde alleen tot die sterren, wier afstand niet meer dan $32''$ bedraagt, en die niet veel in lichtsterkte verschillen. Deze laatste uitzondering had haren grond in de waarschijnlijkheid, dat zoodanige sterren op zeer verschillenden afstand van ons verwijderd en dus optische dubbelsterren zijn. Ongeveer 3000 dubbele en veelvoudige sterren, die allen tot de genoemde katagorie behooren, werden door STRUVE waargenomen en hare afstanden uitgemeten. De jongere HERSCHEL bepaalde later, zoowel in Europa als aan de Kaap de Goede Hoop, de plaatsen van ongeveer 5500 dubbele sterren, die niet onder de door STRUVE genoemden voorkomen. Neemt men alle tot nog toe waargenomene bij elkander, dan blijkt het, dat men met ongeveer tien duizend van deze hemellichamen bekend is.

Wat haar vooral merkwaardig maakt in de oogen van de sterrekundigen, is de wentelende beweging, die deze zonnen volbrengen om haar gemeenschappelijk zwaartepunt. MÄDLER, die zich gedurende een reeks van jaren onverpoosd heeft bezig gehouden met de uitmeting van de afstanden en de bepaling van de betrekkelijke standen der een dubbele of veelvoudige ster samenstellende lichamen, acht de omwentelende beweging van 654 boven allen twijfel verheven. Het valt echter niet te ontkennen, dat bij den langen duur van een omwentelingstijd en den korten tijd, dien de waarnemingen van deze soort omvatten, de waargenomen bewegingen bij de meesten zoo klein zijn, dat men daaruit weinig zekere

gevolgtrekkingen omtrent dien duur kan afleiden. Van de meeste toch omvat die duizendtallen, ja tienduizendtallen van jaren, terwijl, met betrekking tot de kortere omloopstijden van andere, niet alleen verschil bestaat tusschen de uitkomsten door verschillende berekenaars verkregen, maar zelfs twee verschillende omloopstijden op dezelfde waarnemingen passen.

Reeds boven noemden wij een belangwekkend voorbeeld van een viervoudige ster en van de wijze, waarop de deelen van dat zonnestelsel zich bewegen ten opzichte van elkander. Belangrijk is in dit opzicht nog de drievoudige ster uit *de Kreeft*. Terwijl de twee van het drietal, die het kortst bij elkander staan, in 58 jaren wentelen om haar gemeenschappelijk zwaartepunt, geschiedt de omwenteling van de derde en meest verwijderde om het gemeenschappelijk zwaartepunt van allen in 623 jaren. Ook de vijfvoudige ster, die het midden inneemt van de nevelvlek in *Orion*, en bestaat uit de vier ongeveer even grootsterren van het *Trapezium in Orion* en uit nog een kleine ster, verdient bijzonder genoemd te worden.

89. Nog zijn onder de vaste sterren merkwaardig zij, die niet steeds dezelfde helderheid behouden en daarom met den naam van *veranderlijke sterren* worden bestempeld. Het geheele aantal der thans bekende, in het noordelijk halfrond zichtbare veranderlijke sterren, is met zekerheid niet op te geven; behalve een tiental teleskopische, zijn er 20, die met het bloote oog zichtbaar zijn en wier veranderlijkheid boven allen twijfel is verheven. Onder de laatstgenoemden echter zijn er *zeven* die, als zij in haar zwakste licht zich vertoonen, slechts door een goeden kijker kunnen gezien worden.

Het is er van af, dat alle veranderlijke sterren bij het klimmen en dalen van haar licht dezelfde verschijnselen vertoonen. Terwijl sommigen steeds tusschen hetzelfde maximum en minimum van lichtsterkte veranderen, neemt men bij andere twee verschillende maxima of minima waar. Bijna nimmer is de tijd, die tot het klimmen van de lichtsterkte wordt gebruikt, even groot als die, waarin het licht van de ster afneemt, terwijl in enkele gevallen een veranderlijke ster eenige achtereenvolgende dagen geheel onveranderd blijft, om dan in weinige uren tot hare geringste grootte af te dalen

en weder hare normale grootte te bereiken. Vooral in dit opzicht merkwaardig is de ster β in *Perseus*. Na gedurende twee dagen en dertien uren onveranderlijk hetzelfde licht te hebben behouden, daalt zij in vier uren al sneller en sneller van een ster van de 2^{de} tot eene van de 4^{de} grootte, blijft gedurende eenige minuten in haar kleinste licht zich vertoonen, om dan in drie uren weder tot hare gewone lichtsterkte terug te keeren.

Ofschoon de veranderlijke sterren reeds sedert langen tijd daar-door bekend zijn, dat sommige, onder anderen een ster in de *Walvisch*, door haar plotseling verschijnen en daarop volgend voor het bloote oog geheel onzichtbaar worden de aandacht trokken, dagteekent toch een gezette waarneming dezer hemellichamen eerst van het tweede vierendeel dezer eeuw. Het was vooral ARGELANDER, die haar tot het voorwerp van een gestreng onderzoek maakte en door het voorstellen van eene methode van waarneming, die op eene nauwkeurige vergelijking van een veranderlijke ster met de in hare nabijheid zich bevindende sterren berust, allen, die zich voor de wetenschap verdienstelijk willen maken, tot die waarneming trachtte op te wekken. Door menigeen zijn vrij gewaagde veronderstellingen gemaakt omtrent de oorzaken van de veranderlijkheid; liever dan deze mede te deelen willen wij elk, die eenige opgewektheid tot een vruchtbare beschouwing van den sterrenhemel gevoelt, aansporen om door het verzamelen van waarnemingen, de veranderlijke sterren betreffende, op doeltreffende wijze tot het zoeken naar die oorzaken mede te werken. De bovengenoemde mededeelingen van ARGELANDER, die in onze taal overgezet zijn, kunnen ieder, die een paar gezonde oogen en de noodige volharding heeft, daartoe in staat stellen.

90. Reeds vroeger spraken wij over de eigen beweging der vaste sterren (§ 50) terwijl reeds de in § 31 genoemde uiterst kleine waarden van hare jaarlijksche parallaxis ons op hare groote afstanden wezen.

Wat deze afstanden betreft, spreekt het van zelf, dat zij alleen bekend zijn van die sterren, bij wie men werkelijk parallaxis heeft waargenomen. Slechts bij weinige sterren is dit het geval, en van nog mindere kan men, wegens de uiteenloopende opgaven der ver-

schillende waarnemers, met gerustheid zeggen, dat men de grootte van hare parallaxis kent. Alleen van de parallaxis ($0''$, 348) der ter aangehaalde plaatse genoemde N° . 61 van *de Zuwaan* is men volkomen zeker; en met haar komt een afstand overeen zóó groot, dat het licht negen en een half jaar behoeft om dien te doorloopen. De parallaxis van α in *Centaurus* bedraagt, volgens mededeeling van MACLEAR, ongeveer $0''$.9 en die van *Sirius* $0''$, 15; het licht zal dus den afstand, waarop de eerste ster staat, in ongeveer vier, en die, waarop de laatste staat, in twee-en-twintig jaren doorloopen.

91. Is dus onze kennis van de afmetingen des heelals eene zeer onvolkomene, ook van zijne gedaante hebben wij nog slechts een zeer oppervlakkig begrip. Dat de vaste sterren niet in de verschillende deelen van het heelal gelijkvormig verspreid liggen, leert ons de melkweg, die witte gordel aan den hemel, die reeds bij het gebruik van een middelmatigen kijker zich oplost in millioenen sterren. Hoe verder eenig gedeelte van den hemel is verwijderd van dezen gordel, des te kleiner wordt het aantal sterren, dat men daarin waarneemt; zelfs blijkt het, dat in die van den melkweg verwijderde streken de heden-daagsche kijkers tot de grenzen van het heelal doordringen. Nemen wij nu aan, dat de sterren in het heelal op een volkomen regelmatige wijze verspreid zijn, dan zal deze schijnbaar ongelijkmatige verdeling van de sterren aan den hemel kunnen verklaard worden uit de onderstelling, dat het heelal de gedaante heeft van een platte schijf, en dat de zon en de aarde zich ergens binnen die schijf bevinden op een vrij aanmerkelijken afstand van hare grenzen.

De oudere HERSHEL heeft zich vooral met het onderzoek van den bouw van het heelal bezig gehouden. Een regelmatige verspreiding van de sterren door de ruimte als waarschijnlijk aannemende, leidde hij uit het aantal sterren, dat hij in verschillende richtingen gelijktijdig in het veld van zijne twintigvoets teleskoop zag, de afmetingen van het heelal af. Volgens deze eerste nasporingen zou het eene gedaante hebben, die het best wordt vergeleken bij die van een lens, die voor een gedeelte van zijn omtrek is gespleten in twee platen. De dikte van dit lichaam zou tot zijn lengte en breedte zich ongeveer verhouden

als 17 tot 62, terwijl ons planetenstelsel wel ongeveer even ver van de beide platte oppervlakken, maar niet even ver van alle punten van den omtrek zou verwijderd zijn. Latere onderzoekingen, met machtiger hulpmiddelen in het werk gesteld, hebben HERSCHEL doen zien, dat zijne voorstelling van den bouw des heelals, schoon juist wat de gedaante betrof, te bekrompen was met betrekking tot de afmetingen. Zelfs zouden de bovengenoemde afmetingen zich tot elkander verhouden als 17 tot 460. De onderzoekingen van den ouderen HERSCHEL zijn door zijn zoon aan de Kaap de Goede Hoop gedurende een vierjarig verblijf (1834—38) aldaar voortgezet. Schoon het gebleken is, dat hij in sommige opzichten tot andere denkbeelden omtrent den bouw des heelals is gekomen dan zijn voorganger, kan men omtrent het resultaat zijner onderzoekingen geen oordeel vellen, daar zij, zoover wij weten, nog niet zijn medegedeeld.

Hier, aan de grenzen van ons weten, sluiten wij het boek, diep doordrongen, niet waar, waarde lezer, van de nietigheid van ons planetenstelsel, van onze aarde, van ons zelve, als stoffelijke wezens tegenover de gansche schepping. Zijn wij het ook van de nietigheid van ons weten? of richt zich de wijsvinger op ons eigen ik, als wij met een glimlach de vraag van SALOMO lezen, waarmede KAISER zijn *Sterrenhemel* aanving; „*Wie zal vinden wat ver verwijderd en diep verborgen is?*“ Laat ons toch steeds bedenken, dat onze eenigszins nauwkeurige kennis zich bepaalt tot de afstanden en de bewegingen van de lichamen, die met ons in hetzelfde hoekske van het heelal zijn geplaatst, en dat het bepalen van beide gedurende eeuwen de inspanning van de meest uitstekende mannen heeft vereischt. En heeft daarbij ook al een NEWTON ons geleerd, hoe uit eene naar bepaalde wetten werkende en door de verschillende lichamen op elkander uitgeoefende kracht, die bewegingen kunnen verklaard worden, zoo moet toch ieder op de vraag, hoe deze werking op groote afstanden geschiedt, het antwoord schuldig blijven.

f5924

