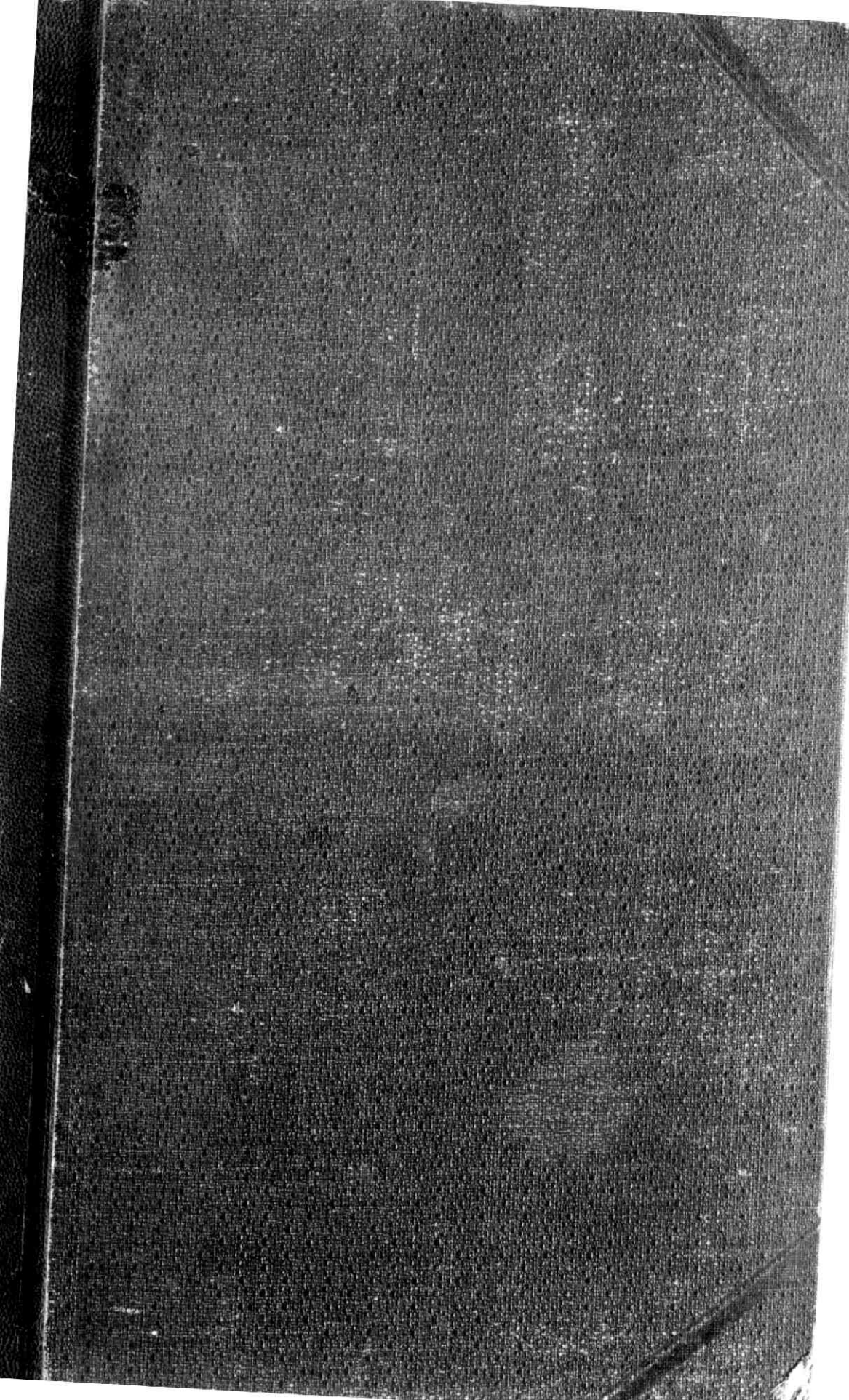




De sterrenwereld, Guillemin gevolgd

<https://hdl.handle.net/1874/235949>



mm 13541

INSTITUUT GESCHIEDENIS
NATUURWETENSCHAPPEN
RIJKSONIVERSITEIT

Janskerkhof 30

Utrecht 84/1



0401/17

983

145.-

V G 58

DE STERRENWERELD.

RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT



1768 9401

00] 5480

DE STERRENWERELD,

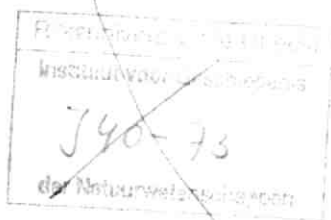
GUILLEMIN GEVOLGD,

DOOR

BERNARDUS BRINKMAN, PR.

MET 60 PLATEN, WAARVAN 19 IN KLEURENDRUK,

EN 35 HOUTSNEËPLATEN.



LEIDEN,
J. W. VAN LEEUWEN,
1873.

VOORREDE.

Niemand zal ontkennen, dat de sterrenkunde, én om de grootheid der voorwerpen, welke zij ons ter beschouwing aanbiedt, én om het onberekenbaar nut voor zeevaart en handel, een eersten rang inneemt onder de verschillende takken der natuurwetenschap.

Met zijn geest opwaarts te ijlen en door te dringen tot in die eindelooze diepten, waar geene duisternis heerscht, maar waar millioenen zonnen haar licht uitstralen, heerlijker en edeler veld is er voor den menschelijken geest in de eindige natuur niet geopend.

Jammer, dat in onze dagen aan de natuurwetenschap in het algemeen en aan de sterrenkunde in het bijzonder, zulk eene verkeerde richting wordt gegeven, waardoor zij voor menigeen eene klip wordt, waarop zijn geloof schipbreuk lijdt. Ook in de wetenschap, zoowel als in den handel en wandel der wereld heerscht eene realistische strekking, waardoor elk hooger streven gedood wordt; een ruw materialisme is er dan ook het gevolg van, eene vergoding van het stof, eene vergoddelijking der natuur, eene miskenning en verloochening van de scheppende almacht Gods.

Dat zulk een ongelooft niet aan de wetenschap te wijten is maar aan hem, die ze misbruikt, is reeds duidelijk, wanneer wij den arbeid inzien van die reuzen in de natuurwetenschap, bij wie vergeleken de banierdraggers der tegenwoordige moderne wetenschap slechts kinderen zijn. Linnéus, Copernicus, Kepler, Gallilei, Newton, zij waren geloovige mannen, die hun hoofd bogen voor de scheppende almacht van God.

Wetenschap is waarheid en alle waarheid voert tot God.

God is de sluitsteen, die den grooten bouw der menschelijke wetenschap kroont, en daarom moet een geloovig mensch door de wetenschap gelooviger en godsdienstiger worden.

Wat anders toch is de natuur dan een tempel, dien de Eeuwige voor zich

heeft gesticht, en op wiens wanden met onmiskenbare trekken Zijn groote naam geschreven staat, en het onbezielde stof zingt eene heilige jubelhymne, die jaren en eeuwen opklimt van de aarde tot voor Gods troon.

Alleen een blind of een bedorven oog onderscheidt den omtrek der gestalte niet, en kent den Meester niet uit zijne werken.

Schromelijk misbruik wordt er van de wetenschap gemaakt, en met een spoed, alsof het anders te laat zou wezen, wordt het wetenschappelijk ongeloof door geleerde en ongeleerde werken verbreid; ja, de bewoners van het land zijn voor dien wetenschappelijken ijver der moderne verlichting niet veilig, en den kinderen op de school wordt die geleerde waanwijsheid ingeprent.

Dat in dien aanval op Geloof en Openbaring de Katholieke kerk, de draagster der waarheid, niet gespaard blijft, maar dat alle nieuwere uitvindingen der moderne wetenschap als belegeringsgeschut op haar zijn gericht, hebben de vervlogen eeuwen en de dagelijkse ondervinding reeds geleerd, want het schijnt voor het ongeloof en het vooroordeel eene onbetwistbare waarheid te zijn, dat de kerk eene vijandin der wetenschap is.

Men moet echter wel oneerlijk of zeer onwetend wezen, om de verdiensten der Katholieke kerk jegens de wetenschap te loochenen, of haar liefde voor de wetenschap te ontzeggen.

De dogmata der Kerk zijn nooit een slagboom voor de wetenschap geweest; nimmer toch kan de ware wetenschap in strijd zijn met de leer der Kerk, want dan zou de waarheid zich zelve tegenspreken, en welke ontdekkingen er ook door de wetenschap zijn geschied of nog zullen geschieden, nimmer zullen zij geloof of kerkleer tot schande maken, want wat waar is in de wetenschap, moet ook waar zijn in de goddelijke Openbaring en omgekeerd.

Hierdoor heb ik mijn standpunt aangegeven, en weet de lezer, wat hij op dit punt van mij te wachten heeft. Zonder te vergeten, wat Geloof en Openbaring ons leeren, zal ik mij echter op zuiver wetenschappelijk terrein bewegen, daardoor het bewijs leverend, dat men geloovig katholiek en priester kan zijn, en zich nogtans bezig houden met de nieuwste gevoelens der wetenschap.

Nadat de Hoogleraar Kaiser mij de verzekering had gegeven, dat eene nieuwe uitgave van zijn Sterrenhemel, waardoor hij zich een hem waardig en duurzaam monument heeft opgericht, volstrekt niet in zijn plan lag, ondernam ik de bewerking van "Le Ciel" van Guillemin; ik heb getracht verslag te geven van den reuzenvooruitgang, welchen de wetenschap in de laatste jaren op sterrenkundig gebied gedaan heeft, en naar ik hoop op eene wijze, waardoor zij onder het bereik valt van den beschaafden mensch, die tijd noch lust heeft sterrenkundige te worden.

Met het oog op den twijfel, die in vele kringen heerscht, over de uitkomsten door de wetenschap verkregen, heeft het derde deel, waarin over de sterrenkundige methoden sprake is, eene uitbreiding verkregen, grooter dan ik aanvankelijk meende.

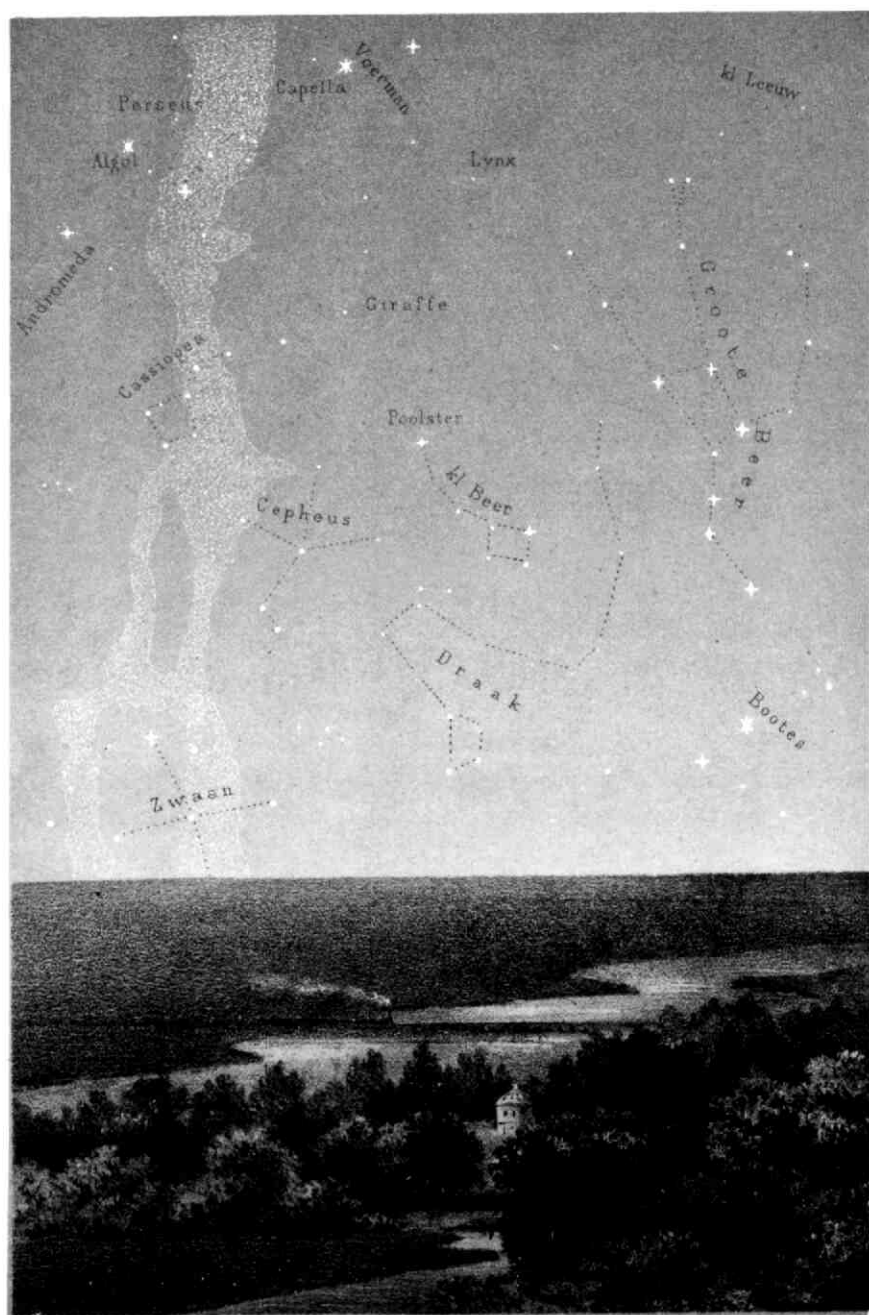
De lezer beslisse of ik mijn doel bereikt heb.

Met al zijne fouten en onvolmaaktheden bied ik mijn arbeid den lezer aan, met den vurigen wensch, dat deze proeve tot populariseering der wetenschap strekken moge, om meerdere liefde tot de wetenschap aan te kweeken en daardoor eere te geven aan Hem, wiens glorie de hemelen vermelden en wiens wondergewrochten het uitspansel verkondigt.

Katwijk a/R., Pinksterdag 1873.

BERNARDUS BRINKMAN, Pr.

DE STERRENWERELD



DE STERRENHEMEL (Noorden)

Middernacht 1 Januari

Chaldeeuwſche herders waren de eerſte ſterrenkundigen, en zeer natuurlijk; want een zacht klimaat veroorloofde hun den nacht onder den blooten hemel door te brengen, en dan kon het niet anders, of het prachtige ſchouwſpel boven hunne hoofden moeſt hun blik trekken en hen tot ſterrenkundigen vormen. En zeker zouden wij allen zijn wat zij waren, wanneer de guurheid van ons klimaat en de zeldzaamheid van een ſchoonen nacht, ons zoo vaak de gelegenheid niet benamen, den heerlijken ſterrenhemel te beſchouwen.

Niets ter wereld toch is beter in ſtaat, hart en geest tot Hem te verheffen, die dat alles heeft geſchapen, dan de ſtille beſchouwing van den hemel in een' helderen nacht.

Ontelbare lichten tintelen dan van alle kanten aan het donkerblauw gewelf des hemels. Verſchillend in kleur, glans en grootte ſchitteren eenigen met flikkerend licht; anderen ſtralen met ruſtiger en zachter glans, wederom anderen zenden als bij tuſſchenpoozen hunne vuurſtralen uit, alsof zij moeite hadden de diepte dier ruimte te doordringen; in zekere hemelſtreken ſchijnen zij op elkaar geſtapeld en vertoonen zich zoo kort op één, dat de glans van de eene ſter de andere verbergt. In zulk een' helderen nacht is de hemel gelijk aan eene onmeetbare zee, bezaaid met goud en diamantſtof, en geest en verbeelding worden door het beſchouwen van zooveel heerlijkheid in verrukking gebracht, zoodat men zich niet ontdoen kan van eene diepe godsdienſtige ontroering, van eene niet te beſchrijven mengeling van bewondering en zoete zwaarmoedigheid.

De ontroering is het echter niet alleen, die in het gemoed van den beſchouwer heerſcht; want ook het verſtand herneemt zijne

rechten, en wat tal van vragen dringen zich dan aan onzen geest op. Waar zijn de oevers en de eindpalen van dien oceaan? Waar is de bodem van die onpeilbare diepte? Wat zijn toch die lichtpunten, die, zonder uit te dooven, in dat onmetelijk ruim stralen? Zijn zij daar neergestrooid zonder eenige andere orde dan die, waarin zij zich aan ons vertoonen? En zoo zij niet onbeweeglijk zijn, zooals men zich langen tijd verbeeldde, waarheen richten zij dan hunnen loop in die ruimte? Welke rol vervult de Zon met al de werelddollen, welke die schitterende dagtoorts vergezellen en omringen, in het wijd uitgestrekt Heelal?

De vruchtbaarste verbeelding zou echter nooit het antwoord op die grootsche en heerlijke vraagstukken hebben kunnen geven, bijaldien, tot glorie voor den menschelijken geest, de Sterrenkunde, de oudste van alle natuurwetenschappen, er niet toe gekomen was, op de meesten dier vragen een juist en voldoende antwoord te geven.

Wondervol is de macht van 's menschen geest. Hoewel gekluisterd aan deze Aarde, die in betrekking tot het geheel, minder is dan eene zandkorrel verloren in de ruimte, vindt hij toch middelen, waardoor de scherpte van zijn blik verhonderdvoudigd wordt; hij peilt de diepte der hemelen en meet de uitgestrektheid van het zichtbare Heelal; hij telt de millioenen sterren, welke die schrikwekkende ruimte vervullen; hij bestudeert hunne meest ingewikkelde bewegingen; bepaalt met juistheid den omtrek en den afstand van de meest nabij zijnde sterren en begroot hunne massa's. In die schijnbare wanorde vindt hij de orde terug; want in die schijnbare groepeerings ontdekt hij de ware samenstellingen.

Ja meer nog doet hij: hij bespiedt de geheime krachten en vindt de eenvoudige wet, welke de beweging aller hemellichamen beheerscht, en bepaalt dus de algemeene kracht, waardoor het evenwicht der Schepping wordt bewaard.

Zulke vruchten droeg de arbeid, waaraan twintig geslachten sterrenkundigen hunne krachten hebben besteed; dat was de heerlijke vrucht van de geduldige volharding dier mannen.

Op eene eenvoudige en duidelijke wijze de vruchten van dien arbeid weer te geven en uit een te zetten, is het doel van dit werk; terwijl wij tevens zullen trachten een denkbeeld te geven over de wijze, waarop de sterrenkundige te werk gaat, om tot de oplossing dier belangrijke vraagstukken te geraken. Voordat wij echter overgaan

tot de beschrijving der verschillende deelen, zullen wij eerst een blik op het geheel werpen, om met een paar trekken het panorama van het Heelal te schetsen.

Bij den eersten blik op het hemelgewelf schijnen de sterren overal gelijkmatig verspreid. Wanneer men echter het oog eens vestigt op dien lichtenden boog, die zoo onbegrensd, zoo nevelachtig, den geheelen sterrenhemel genoegzaam in zijn grootsten cirkel omloopt, en dien iedereen kent onder den naam Melkweg; wanneer men oplettend de randen van dien hemelgordel beschouwt, dan schijnen de sterren zich dichter op elkander te hoopen, de meesten zoo klein, dat zelfs het scherpste oog ze niet vermag te onderscheiden. Die opeenhooping is dan vooral zichtbaar, wanneer men die streken met kijkers beschouwt; dan bemerkt men dat de Melkweg gevormd wordt door talloze sterren, die in onafmetelijke reien in de ondoorgrondelijke diepten des hemels liggen: 't is dus eene wereldstreek wondervol bezaaid met zonnen; want zoo als wij later zullen zien is iedere ster, van de meest schitterende tot de zwakste, eene zon.

Zie daar dan reeds eene reusachtige opeenhooping van werelden, waardoor het gansche Heelal omvat schijnt te worden, als het waar is dat het grootste aantal sterren, welke wij buiten den Melkweg zien er ook toe behooren, en inderdaad onderscheidt zich die zwerm van millioenen zonnen in talrijke verschillende stelsels, en deze wederom in engere verbindingen, uit twee of drie zonnen bestaande.

Welke is nu de uitgestrektheid van ieder dier stelsels? Hoe onmeetbaar groot moet de ruimte niet wezen waarin allen zich bewegen? Tevergeefs zou de machtigste verbeelding beproeven er zich eene zinnelijke voorstelling van te maken: cijfers immers geven een zeer onvolmaakt begrip. Hier toch kunnen wij reeds eene bewezene waarheid vaststellen, waarop wij later zullen terug komen:

Onze Zon is eene ster uit den Melkweg.

Dit voorgaande is slechts een enkele trek voor de schets van het zichtbare Heelal.

Wanneer men met zekere oplettendheid de verschillende streken van den sterrenhemel beschouwt, dan bemerkt een goed oog hier en daar zekere heldere vlekken niet ongelijk aan kleine wolken: dergelijke vlekken, welke men Nevelvlekken noemt, ontdekt de telescoop bij duizenden.

Welnu een zeer groot aantal dier hemelvlekken zijn, even als de Melkweg, eene voor ons oog schijnbare opeenhooping van sterren. Het zijn dus zoovele andere melkwegen als die, waartoe onze Zon behoort; de meesten zoo ver van ons verwijderd, dat de krachtigste werktuigen er geene sterren in kunnen onderscheiden, maar men slechts den matten glans van hunne tallooze zonnen kan zien.

Waar nu, mag men vragen, heeft de schepping haar einde? Wie duizelt niet bij de gedachte aan die schrikwekkende afstanden, welke dergelijke archipels van werelden van elkander scheiden; onpeilbare afgronden, wier diepte steeds aangroeit naarmate de ontdekkingswerktuigen volmaakter worden; kolken zonder eind of bodem, in wier schoot echter geene duisternis heerscht, daar millioenen zonnen overal hun licht uitstralen.

De geschapene wereld heeft zonder twijfel hare eindpalen; en eene rei van werelden zonder eind en getal is onbestaanbaar: ons verstand verliest zich echter in die overdenking; want de ruimte, hoe onmeetbaar ook, kan men zich niet anders dan eindig en bepaald voorstellen — en hierin moet de mensch zijne zwakheid en onkunde erkennen.

Eindelijk houdt men het thans voor zeker, dat niet alle nevelvlekken ons den glans vertoonen van tallooze sterren; er zijn er, die zamengesteld zijn uit eene gasachtige en lichtgevende stof. In de vorige eeuw maakte men reeds gissingen over de natuur dier uitgestrekte vormlooze hemelnevels, en de spektraalanalyse (waarover later uitvoerig) schijnt de gewaagde hypothese van den grooten sterrenkundige W. Herschel te bevestigen, dat sommige nevelvlekken wordende zonnen en zonnestelsels zijn.

Ziedaar met een enkelen trek het Heelal geschetst, zooals het zich aan ons oog vertoont van de Aarde, die wij bewonen. Om echter een juist begrip te hebben over het samenstel en de tallooze verscheidenheid zijner groepeeringsen, moeten wij die hoogere streken, waarin onze verbeelding zich verliest, verlaten, en ons bepalen tot eene van die vereenigingen, welke dichter bij ons en dus meer geschikt is voor de navorschingen van den mensch, namelijk het zonnestelsel, waarvan onze Aarde een deel uitmaakt.

De Zon is het middelpunt van dit stelsel.

Rondom die bron van licht en warmte, dien zetel van kracht, wentelen meer dan honderd werelddollen rond, op verschillende af-

standen en in ongelijke ruimten. Sommigen hunner worden zelfs vergezeld door kleinere bollen, wachters of manen genoemd.

Omdat al die hemellichamen, welke onze Zon omgeven, duister van natuur zijn, zouden zij steeds onzichtbaar voor ons blijven, indien het heldere zonlicht, waarmede zij bestraald worden, op aarde niet terugkaatste: daarom schijnen zij ons toe als lichtende punten aan het hemelgewelf, even als de overige sterren; en wanneer wij onze Aarde ook uit het verre wereldruim beschouwden, zou zij zich niet anders aan ons oog vertoonen.

Eene hoedanigheid echter, welke eigenaardig is aan de hemelbollen van ons zonnestelsel, heeft gemaakt, dat wij ze steeds van de andere sterren, waartusschen zij zich vertoonen, kunnen onderscheiden; want de zonnen, die andere stelsels vormen, geheel van het onze afgescheiden, bevinden zich op onmeetbaar verre afstanden; terwijl daarentegen de wereldbollen, welke tot ons stelsel behooren, zich betrekkelijk veel dichter bij onze Aarde bevinden.

Uit dit tweevoudig feit volgen twee eenvoudige en gemakkelijk te begrijpen waarheden.

De eerste is, dat de zonnen buiten ons stelsel geene voor ons merkbare verplaatsing aan den hemel ondergaan. Hun afstand is zoo verbazend ver, dat zij zich aan ons oog als onbeweeglijk in die ruimte vertoonen, vandaar hunne benaming *Vaste Sterren*; welke benaming men echter tegenwoordig heeft laten varen, omdat men door een nauwkeurig onderzoek tot de overtuiging is gekomen, dat die zonnen in die verwijderde hemelstreken zich werkelijk bewegen. Die schijnbare onbeweeglijkheid doet zich vooral kennen door den onveranderden vorm, waarin sinds eeuwen de betrekkelijke plaatsing der sterren onderling zich bevindt en die men aanduidt met den naam *Constellatiën, Sterrenbeelden*.

Geheel anders is het gelegen met de sterren, die onze Zon omringen; want deze zijn dicht genoeg bij onze Aarde, om in een kort tijdsverloop hunne verplaatsing aan den hemel waar te nemen, omdat zij krachtens de hun eigenaardige beweging een schijnbaar grooteren weg afleggen naardat hun afstand geringer is, men gaf hen den naam, welken zij tot nu toe behouden hebben: *Planeten, Dwaalsterren*.

Datzelfde verschijnsel immers nemen wij waar, wanneer wij ons op eene uitgestrekte vlakte bevinden: dan schijnt het ook, alsof de ver verwijderde voorwerpen, welke wij aan den horizon zien, onbe-

weeglijk zijn; terwijl de minste verplaatsing van die voorwerpen, welke zich in onze nabijheid bevinden, aanstonds door ons bemerkt wordt. Wanneer wij, in zulk geval, ons zouden verplaatsen, dan zou onze ware verplaatsing met de schijnbare verplaatsing der voorwerpen te zamen gaan. Om dus een waar begrip te hebben van de beweging der ons omringende voorwerpen, zouden wij die beide bewegingen nauwkeurig moeten onderscheiden. De vereeniging van die beide bewegingen, een noodzakelijk gevolg van de beweging der Aarde, is eene der doorslaandste bewijzen voor de beweging onzer Aarde; hoewel zij vroeger de steen des aanstoots was voor de oudere sterrenkunde, die de ware beweging nog niet kende.

Weldra zullen wij zien, wanneer wij over de verschillende planeten van ons zonnestelsel meer in bijzonderheden zullen treden, welke wondervolle verscheidenheid er in den boezem van dat stelsel heerscht: beweging van wenteling om de as, beweging van omloop rond het gemeenschappelijk brandpunt; duur van die bewegingen; afstand, vorm en afmeting; verdeeling van licht en kleur: alles verandert naargelang men van de eene planeet naar de andere overgaat. En toch — wondervol Godsbestuur! — alles wordt door dezelfde wetten beheerscht; zoodat die heerlijke eenheid niet minder schittert, dan de grootste verscheidenheid dier verschijnselen.

Eene eigenschap, aan alle sterren van ons zonnestelsel gemeen, maakt immer op onze verbeelding een levendigen indruk, en wel deze, dat die ontzettende massa's, die bollen, van welke de meesten veel grooter en zwaarder zijn dan onze Aarde, niet alleen in die ruimte hangen, maar zich al wentelend met eene schrikwekkende snelheid in den ether bewegen. Denken wij ons eens op een onbeweeglijk standpunt buiten onze Aarde in die ontzettende ruimte geplaatst; daar daagt in de verte een lichtend punt, dat, naarmate het nadert, in omvang toeneemt, en die verbazende bol, die in omvang honderd-duizend mijlen verre overtreft, vliegt u voorbij met eene vaart, vierentwintig maal grooter dan de snelheid van een kanonskogel; terwijl die bol om zich zelve wentelt met eene snelheid, waardoor ieder deel van zijne oppervlakte meer dan drie duizend meters per seconde doorloopt.

Zulk een duizelingwekkenden loop zou hen voor eeuwig moeten wegslingeren in de verst verwijderde streken van het Heelal, wanneer zij niet beheerscht en teruggehouden werden door de machtige

aantrekking van een bol die duizend, ja millioenmaal grooter en zwaarder is, namelijk de Zon.

De Zwaartekracht is dus het beginsel van de kringvormige beweging, welke die bollen hebben: maar aan deze kracht alleen overgelaten, zouden zij allengs de Zon naderen en eindelijk op haar neerploffen, wanneer de almachtige hand des Scheppers aan hen nog niet eene andere kracht had ingedrukt; deze noemt men de Middelpuntvliedende kracht. Volgens die kracht zoekt de planeet zich steeds in een regten hoek van de Zon te verwijderen en dus buiten hare loopbaan; maar teruggehouden door de aantrekking der Zon, blijft zij haar kringvormigen loop om de Zon beschrijven.

Op gelijke wijze loopt ook de Maan om onze Aarde.

Bij die groote hemellichamen geldt dus dezelfde wet, waardoor een steen naar de Aarde valt, of zijne omwenteling volbrengt, wanneer men hem, aan een touw gebonden, in de hand rondslingert.

Wanneer het nu reeds moeite kost zich te verbeelden, hoe zulke massa's, daar in den ether, zich vrij kunnen bewegen en rondloopen; hoeveel grooter wordt dan de verbazing, wanneer wij bedenken, dat niet alleen de planeten in zulk eene vaart rondom de Zon snellen; maar dat de Zon en alle zonnestelsels met hunne, hen omgevende aardbollen of planeten, in onafmeetbare kringen in het oneindig ruim des hemels rondloopen, aangetrokken door eene nog grootere Zon of een stelsel van zonnen. Al de sterren immers, die om hunnen onmeetbaren afstand ons onbeweeglijk toeschijnen, bewegen zich in verschillende richtingen. In die bewegingen, welke zich slechts na jaren van scherpe onderzoekingen vertoonen, heeft de sterrenkunde onderscheid weten te maken tusschen de schijnbare beweging, — die voortkomt uit de straling van het licht, uit de beweging der Aarde en van ons zonnestelsel, — en tusschen de beweging welke hun eigen is. Later zullen wij zien, dat, hoewel die beweging schijnbaar zeer langzaam is, zij toch de snelste is welke wij kennen.

Hoe vele eeuwen of liever hoe vele millioenen eeuwen zijn er noodig om zulk eene maatlooze sterrenbaan te doorloopen? Zulks is ons onbekend, maar die omloopstijd staat zeker tot den omloopstijd onzer Aarde, als onze Aarde staat tot den afstand der vaste sterren. Die omloopstijden zijn dan ook, volgens de uitdrukking van den geleerden Humbolt, een heerlijk uurwerk voor het Heelal. —

Ziedaar dan in eene algemeene beschouwing het heerlijke veld den sterrenkundige ter onderzoek aangeboden.

Wanneer de andere natuurwetenschappen ons de natuur leeren bespieden in hare verborgene geheimen, ons de samenstelling der lichamen ontvouwen, het spel hunner verbindingen en veranderingen leeren kennen, met hunne duizende nuttige of belangwekkende eigenschappen, dan ontdekt de sterrenkunde ons het Heelal in zijn grootsch geheel, en doet er ons den bouw van begrijpen door ons te wijzen op de onveranderlijke wetten, welke het Heelal beheerschen.

Heerlijke wetenschap, wier onderricht ons van den eenen kant in ons niet doet wegzinken, maar van den anderen kant ons een blik doet slaan in die verhevene harmonie, waardoor wij Hem leeren kennen, die zich in zijne werken openbaart. .! —

EERSTE DEEL.

HET ZONNESTELSEL.

Optelling der sterren die het zonnestelsel uitmaken. De Zon. De planeten en hunne wachters. De kometen, de vallende sterren en het zodiaklicht. Omwentelings- en vooruitgangsbeweging der hemellichamen van ons stelsel. Gewicht van de voorafgaande studie van het zonnestelsel.

In de sterrenkunde geeft men den naam Zonne- of Planetenstelsel aan een zeker aantal sterren, waartoe ook onze aarde behoort, en die allen de Zon tot gemeenschappelijk middelpunt hunner bewegingen hebben.

Voor zoo ver onze kennis tegenwoordig strekt, bestaat dit Zonnestelsel uit de volgende deelen:

1. ÉÉN CENTRAAL LICHAAM, dat met betrekking tot de overige hem omgevende lichamen onbeweeglijk is, veel grooter dan al de anderen, en uit zijn aard lichtgevend, n. l. de ZON.

2. HONDERD EN TWINTIG ONDERGESCHIKTE LICHAMEN of PLANETEN, op steeds grooter wordende afstanden van de Zon geplaatst en rondom haar zich bewegend in bijna cirkelvormige loopbanen, van die Zon hun licht ontvangend, waardoor zij voor ons aan den hemel zichtbaar worden.

Die planeten kunnen in drie voorname groepen verdeeld worden:

De middelmatige planeten, die zich het dichtst bij het middelpunt, (de Zon) bevinden, en die met steeds grooter wordende afstanden in de navolgende orde staan: ¹ MERCURIUS, VENUS, DE AARDE, MARS.

¹ Lescarbault in Ogères meende in Maart 1859, tussehen de Zon en Mercurius eene nieuwe planeet ontdekt te hebben, welke hij den naam van Vulcanus gaf; daar echter

De groote planeten, die het verst van het middelpunt zich bevinden, en wier volgorde is: JUPITER, SATURNUS, URANUS en NEPTUNUS.

Eindelijk de kleine planeten, *planetoïden* of *asteroïden* genoemd, die tusschen Mars en Jupiter een' ring vormen om de Zon. Men kent reeds 112¹ zulke kleine planeten; waarschijnlijk zijn zij echter nog talrijker, daar er geen jaar voorbij gaat, zonder dat er nieuwe ontdekt worden.

3. ACHTTIEN HULPLICHAMEN, *satellieten*, *wachters* of *manen* genoemd, die hunne loopbaan hebben rondom eenige der voornaamste planeten, en met hen hunnen loop om de Zon volbrengen. Zoo heeft onze Aarde de Maan die haar vergezelt. Jupiter bezit vier zulke wachters, Saturnus acht, Uranus vier, en van Neptunus kennen wij een' wachter.

Wij tellen dus in ons Zonnestelsel 139 hemellichamen: 1 centraalbol, die de beweging der 120 bekende planeten beheerscht en 18 wachters, die met de planeten waartoe zij behooren, wederom vijf kleine wereldstelsels uitmaken, waarin dezelfde wetten heerschen als in het groote stelsel des Heelals.

Van die 139 hemellichamen waren er aan de ouden slechts 8 bekend, en wel die, welke men met het bloote oog kan zien; n. l. de Zon, de Maan, de Aarde, Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus.

Maar, zooals men weet, beschouwde men, door den schijn bedrogen, de Aarde als onbeweeglijk middelpunt; terwijl men meende, dat behalve de Zon, Maan en zes bekende planeten, al de zoogenaamde vaste sterren zich rondom de Aarde bewogen.

Copernicus was de eerste, die, drie eeuwen geleden, het ware wereldstelsel ontdekte, en de uitvinding van den verrekijker bracht ons niet alleen tot de kennis der nieuwere planeten, maar ook van de wachters der reeds bekende planeten Jupiter en Saturnus.

Alle hemellichamen van ons Zonnestelsel bezitten twee voorname bewegingen. De eerste is eene wenteling om de as, die immer bijna

het bestaan dier planeet hoogst twijfelachtig is, en door vele sterrenkundigen ontkend wordt, zoo wordt er in dit werk niet verder melding van gemaakt.

¹ Den 19 Sept. 1870 ontdekte Prof. Peters te Hamilton College eene nieuwe planeet welke de 112^{de} is.

dezelfde richting behoudt. De tweede is eene verplaatsing, waardoor alle wachters rondom hunne hoofdplaneet; alle planeten rondom de Zon; en de Zon met alle lichamen, welke tot haar behooren, rondom eene andere Zon wordt gevoerd.

4. Tot ons Zonnestelsel behooren behalve de planeten, nog eene ontelbare menigte andere sterren, die zeer langwerpige banen rondom de Zon beschrijven, dat zijn de KOMETEN, eene soort van nevelsterren, welke zich gewoonlijk van de andere planeten en sterren onderscheiden door een lichtend spoor of eene staart, wier vorm en afmetingen veranderen met den afstand tot de Zon. Een tal van kometen vertoonen zich aan den hemel, wier vroegere verschijning niet is geboekt, zoodat men niet weet, of zij zich nog eens vertoonen zullen; anderen zijn op bepaalde tijden verscheidene malen terug gezien, en van eenigen heeft men met juistheid het tijdstip hunner verschijning berekend, zoodat men veilig mag besluiten, dat ook de kometen tot ons zonnestelsel behooren.

5. Buiten die groote hemelbollen zijn er nog millioenen zeer kleine lichamen, die in verschillende richtingen het wereldruim doorkruisen, dan eens alleen, dan wederom in zwermen vereenigd, die op bepaalde tijden terugkomen. Donker van natuur, leeren wij alleen hun bestaan kennen, wanneer onze Aarde ze ontmoet in haren tocht om de Zon, wanneer zij ontvlammen in onzen dampkring en soms op Aarde nedervallen, dat zijn de zoogenaamde VALLENDE of VERSCHIE-TENDE STERREN, VUURBOLLEN, LUCHTSTEENEN.

Eindelijk wordt de Zon nog omgeven door een' lensvormigen onmetelijken ring, die waarschijnlijk uit millioenen dergelijke luchtsteenen bestaat. Op zekere tijden des jaars ziet men dien ring als een lichtenden kegel, kort na zonneondergang of vóór zonneopgang, boven den horizon. De Zon is steeds de grondslag van dien kegel, welke zich altijd in de streek van den zonneweg vertoont en daarom ZODIAKLICHT wordt genoemd.

Ziedaar dan eene optelling en een algemeen overzicht van de sterren, welke tot ons Zonnestelsel behooren.

De studie van dit Stelsel levert voor ons een onmetelijk voordeel op, want in die ongekende ruimte, welke men het Heelal noemt, is dat stelsel ons groote vaderland, en de bol, welken wij bewonen, is een der leden van het groote planetengezin; en hoewel die

aardbol gelijk is aan een zandkorrel met betrekking tot het gansche stelsel, dat zelf nog in zijn geheel een stofje gelijk is, verloren in de ruimte, zoo is het toch duidelijk dat wij dien aardbol in de eerste plaats kennen moeten.

Overigens is onze Aarde ook het eenige lichaam, dat wij met volkomene zekerheid kennen kunnen, en slechts door vergelijking maken wij ons een denkbeeld van de overige planeten.

Onder de millioenen en millioenen wereldstelsels, wier centraal-bollen wij des nachts aan den hemel zien schitteren, is ons Zonnestelsel wellicht niet een der voornaamsten of rijksten; maar het is toch het eenige, dat wij in bijzonderheden kunnen kennen; het eenige van wiens lichamen wij met zekerheid en juistheid de bewegingen kunnen weten, zoodat wij daardoor kunnen dringen in de geheimen van de wetten, waardoor het beheerscht wordt, en daardoor ook tot de algemeene wetten van het gansche Heelal kunnen besluiten.

Met behulp van den telescoop en van de zoo geestig uitgedachte spektraalanalyse kan men met het oog en de gedachte doordringen tot afstanden, waarvoor de verbeelding schrikt: men heeft bewegingen opgemerkt, die eeuwen vorderen om eenigzins merkbaar te worden; men heeft de natuur der sterren kunnen bepalen, en de chemische bestanddeelen van de stoffen, wier gloeing de bron is van het licht, dat zij uitstralen.

Maar is de sterrenwereld een gebied voor de stoutste opvattingen over den bouw van het Heelal, het is ook een veld, rijk aan gissingen en hypothesen, welke gegrond worden op de gevolgtrekkingen en analogiën van de kennis, welke men heeft opgedaan. Hypothese en waarheid dienen dan ook deugdelijk onderscheiden te worden om op geen dwaalweg te geraken en over de groote werken Gods geene verkeerde begrippen te vormen.

Ziedaar de redenen, waarom de Zon met de planeten in de eerste plaats het voorwerp onzer kennis moeten wezen. Voordat wij ons werpen in die eindelooze diepten der hemelen, moeten wij eerst de bijzonderheden leeren kennen van die hemelstreken, waarin wij ons bewegen.

Van de Zon tot Neptunus en tot aan de eindpalen, waar de kometen zich keeren, is voorzeker een veld, ruim genoeg voor eene eerste proef.

E E R S T E B O E K.

DE ZON.

Voor ons aardbewoners is de Zon onder alle andere sterren, welke die oneindige ruimte vervullen, ontegenzeggelijk de voornaamste en gewichtigste. Zij is het middelpunt van alle lichamen, die tot haar stelsel behooren, en door haren omtrek en grootte oefent zij een heerschenden invloed op al hunne bewegingen uit. Zij is, om zoo te spreken, de onuitputtelijke bron van licht en warmte, en dus van leven. Alle soorten van krachten, mechanische en chemische, welke op aarde en op andere planeten ontwikkeld worden, putten uit haar, als uit eene nooit opgedroogde bron. De zoo wonderbaar snelle golvingen van dien onmetelijken bol, welke met meer dan bliksemsnelheid zich door den ether voortplanten, wekken overal in de lichamen, welke zij treffen, verschijnselen van beweging, en naarmate de vorm is, welke die bewegingen aannemen, veroorzaken zij of licht of warmte of chemische verwantschappen, of wel electriche of magnetische stroomen.

Vanwaar komt die kracht, wier werkzaamheid verbeelding en verstand overstelpt? Waardoor wordt die bron gevoed, die reeds zoo vele eeuwen haar licht uitstraalt? Volgens welke wetten heerscht de Zon, die wellicht de moeder is van alle bollen, die om haar heen loopen?

Mocht ook al de wetenschap al de vragen, die over de Zon gedaan kunnen worden, niet juist en volkomen beantwoorden, toch is zij ge-

slaagd op zeer velen eene goede uitlegging te geven; toch zijn eenige beginselen vastgesteld, die eenmaal de grondslagen kunnen zijn voor het juiste begrip der grondkrachten, die het gansche Heelal beheerschen. De sterrenkunde is thans in staat, om stellige bepalingen te kunnen geven over den vorm, afstand en afmetingen der Zon: hare omwenteling en voortbeweging in de ruimte is ontegenzeggelijk bewezen. Over den physischen en chemischen toestand der Zon heeft de wetenschap eene talrijke reeks hoogst belangrijke feiten bijeengegaard. Aan die gegevens wijden wij dit eerste boek.

Later zullen wij zien, in welke betrekking de Zon staat tot de overige sterrenwereld, en wij zullen haar terug vinden onder de miljoenen sterren van den Melkweg.

Daarbij willen wij de hypothese van Laplace bespreken en aantoonen hoe, volgens die hypothese, in ver verwijderde tijdperken, volgens bepaalde wetten, God uit den boezem der Zon de wereldstof heeft kunnen doen voortkomen, welke eerst den vorm van nevelringen aannam, en welke later volgens natuurlijke verdikking, zich tot bijna ronde bollen vormden; zoodat wij met Secchi zeggen kunnen, dat de aarde met al de planeten en hunne wachters, zoo vele kinderen der Zon zijn.

I.

VORM, AFSTAND EN AFMETING DER ZON.

§ 1. De Zon met het bloote oog beschouwd. Hare schijnbare bewegingen hebben hunnen grond in omwenteling en omloop der Aarde. Vorm der schijf aan den horizon. Werking en invloed der atmospherische refractie. — De ware vorm is een volkomen cirkel. — De Zon, aan den horizon grooter schijnend dan in het toppunt, is slechts gezichtsbedrog.

Men heeft kijkers noch telescopen noodig, om er van overtuigd te zijn, dat de Zon zich beweegt. Dagelijks komt zij in het oosten op, klimt meer of minder hoog boven den horizon, en beschrijft volgens den tijd van het jaar, of volgens het geographisch standpunt van den beschouwer, een meer of minder uitgestrekten boog, totdat

zij eindelijk ondergaat, d. i. onder den westelijken horizon verdwijnt. Dit is de dagelijksche beweging, welke zij gemeen heeft met alle sterren, met de Maan en de planeten: die beweging is echter schijnbaar en heeft hare oorzaak in de dagelijksche wenteling der Aarde om hare as.

Behalve de opgenoemde heeft de Zon eene tweede beweging, welke haar dagelijks doet overeenkomen met oostelijker geplaatste sterren. Zij schijnt dagelijks op hare loopbaan iets ten achter te blijven, zoodat zij in een jaar den ganschen omtrek des hemels doorloopt, van daar het verschil van dag en nacht, hetzij op dezelfde plaats op Aarde of onder verschillende breedten; vandaar ook het verschil der jaargetijden. Die tweede beweging is echter ook slechts schijnbaar, en komt voort uit de wenteling, welke de Aarde in een jaar om de Zon maakt.

Die stralende bol is onbeweeglijk, want alleen de Aarde en de planeten bewegen zich en zijn oorzaak van de opgenoemde schijnbare bewegingen; die onbeweeglijkheid der Zon bestaat echter alleen met betrekking tot ons, want de Zon beweegt zich even als de planeten, terwijl zij op hare as omwentelt. Zij zelve verplaatst zich in de ruimte, en op die reis door de sterrenwereld voert zij haren stoet planeten, wachters en kometen, evenals eene meesteres met zich mede.

Iedereen weet bij ondervinding, dat het niet gemakkelijk is de Zon met het bloote oog te beschouwen; haar verblindend licht kwetst het oog, zonder dat men over den vorm of de schijnbare afmetingen van den bol kan oordeelen. Om dat gevaar te vermijden, moet men het oogenblik waarnemen, waarop zij des avonds ondergaat. Wanneer de dampkring dan eenigszins beneveld is, is het zonlicht genoegzaam verzwakt om de beschouwing gemakkelijk te maken. In zulk geval vertoont zich de zonneshijf merkbaar elliptisch, langwerpig rond, vooral het onderste gedeelte van haren omtrek. Pl. I Fig. 1 kan een denkbeeld geven van dat verschijnsel.

Zoo is echter de ware vorm der zonneshijf niet. Naar gelang der hoogte verschilt ook de straalbreking veroorzaakt door de luchtlagen aan den horizon, welke de lichtstraal moet doordringen. De verschillende punten van den zonneomtrek worden ongelijk opgeheven, zonder dat de afmeting van de horizontale middellijn merkbaar verandert, en daardoor is de elliptische vorm van het onderste gedeelte sterker

dan van het bovenste gedeelte. Soms is er in de onderste luchtlagen eene zeer onregelmatige vermenging van dikke of dunne dampen, zoodat de daaruit voortkomende straalbreking aan den omtrek der Zon de zonderlingste gestalten geeft. Zulke vormen geeft ons Pl. I fig. 2 aan de zeekust.

Juister ziet men den vorm van de zonneshijf, wanneer deze eene zekere hoogte boven den horizon heeft bereikt en met dunne wolken of nevelen is bedekt. Beter echter is het een kijker of telescoop te gebruiken, wanneer men zorgt dat het oogglas met een zwart of donker blauw glas bedekt is.¹

Dan bemerkt men dadelijk, dat de zonneshijf cirkelrond is en de nauwkeurigste metingen hebben bewezen, dat alle willekeurig genomen middellijnen even groot zijn. De Zon heeft dus voor ons oog den vorm van een cirkel, en daar het even zeker is dat de Zon om hare as wentelt en ons dus verschillende zijden van hare oppervlakte toekent, zoo kan men daaruit veilig besluiten, dat de Zon bolrond is; men heeft ook nergens eenig spoor van afplatting bij haar kunnen opmerken.

Wanneer de Zon op- of ondergaat, schijnt zij gewoonlijk veel grooter dan wanneer zij hoog aan den hemel staat. In het middaguur, waarop zij haar hoogste punt heeft bereikt, schijnt de schijf veel kleiner dan des morgens of des avonds.

Datzelfde verschijnsel neemt men ook bij de Maan en alle andere sterrenbeelden waar; echter bestaat dat verschil alleen in schijn, want de Zon of Maan, met de nauwkeurigste werktuigen gemeten, geven juist eene tegenovergestelde uitkomst, en men bevindt dat zij juist in het toppunt grooter zijn dan aan den horizon.

Welke is nu de reden van het verschijnsel, waardoor iedereen bedrogen wordt?

¹ De oudere sterrenkundigen, die de Zon met kijkers beschouwden, kenden het gebruik van donker gekleurde glazen niet. Zij beschouwden de Zon, wanneer die aan den horizon stond of door nevelen bedekt was. Maar zelfs met de hierboven aangegeven behoedmiddelen blijft eene aanhoudende studie der Zon gevaarlijk voor het gezicht. Gallilei en Cassini zijn beiden blind gestorven. Men vergete ook niet, dat de verbazende hitte welke in het brandpunt wordt ontwikkeld, zeer dikwijls de glazen doet springen, vooral wanneer het voorwerpglas groot is. Een gemakkelijk en niet gevaarlijk middel is, het beeld der Zon door een kijker in eene donkere kamer op een wit scherm op te vangen.

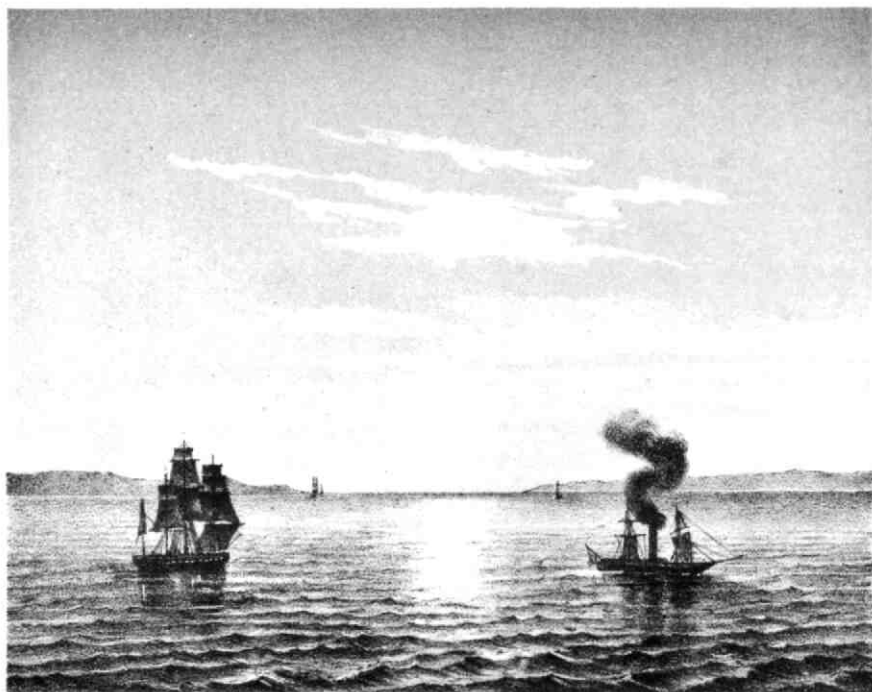


Fig 1 Elliptische vorm der zonneshijf aan den horizon.

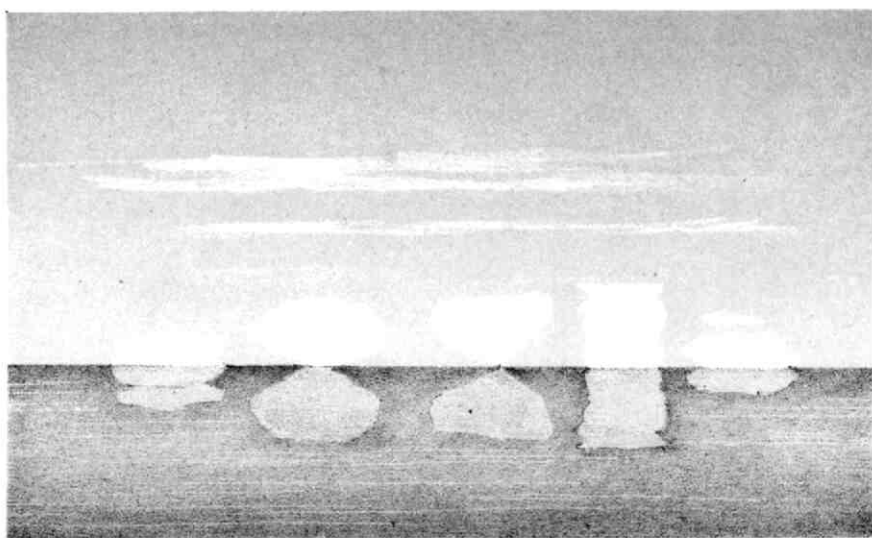


Fig 2 Zonderlinge vormen der zonneshijf aan den horizon der zee

Verschillende redenen zijn voor dat verschijnsel gezocht. Eenigen meenen, dat de dampen op de Aarde bij wijze van vergrootglas werken. Anderen meenen, dat de oorzaak moet gezocht worden in de nabijheid der voorwerpen aan den horizon, waarmede wij Zon of Maan vergelijken. Euler geeft voor reden op den gebogen vorm van het luchtgewelf, waardoor wij oordeelen dat de hemelstreken aan den horizon verder van ons af zijn, dan de streken boven ons hoofd.

Wat er ook de reden van moge wezen, dit is zeker, dat er in zon- of maanschijf geen verschil in grootte is, noch aan den horizon noch in het toppunt, en zoo er al verschil bestaat, dat het juist het tegenovergestelde is.

§ 2. Schijnbare afmeting der zonneshijf. — Verschil in den loop van een jaar. — Hoevele zonneshijven noodig om rondom den horizon te bezetten. — De Zon uit de verschillende planeten gezien. — Verschillende graden van licht en warmte door ieder van hen ontvangen.

De Zon bezit ongeveer dezelfde schijnbare afmeting als de Maan, want beide schijven beslaan aan den hemel nagenoeg dezelfde ruimte; op middelbaren afstand is echter de doorsnede der Zon iets grooter. In den loop van een jaar is dat verschil grooter en kleiner, evenals de doorsnede der Maan ons soms grooter en soms weder kleiner toeschijnt. In beide gevallen komt dat verschil uit dezelfde oorzaak voort, omdat de Aarde zich of wel dichter of wel verder van die hemellichamen bevindt.

Wanneer de Aarde zich het dichtst bij de Zon bevindt, wat men *perihelium* noemt, dan is de schijnbare middellijn het grootste en beslaat $32' 36''$, $5'$, zulks komt voor op den 1ⁿ Januari. Op den 1ⁿ Juli echter is de Aarde het verst van de Zon verwijderd, wat men *aphelium* noemt, en dan is voor ons oog de zonneshijf het kleinste ongeveer $31' 31''$,²³. In de eerste dagen van April en October is de Aarde op middelbaren afstand en beslaat de zonneshijf $32' 4''$. Plaat II fig. 1 geeft de afmetingen der Zon op die verschillende tijdstippen.²

Aphelium van het Grieksche *apo*, ver van, en *glios*, de Zon; *perihelium* van *peri*, dicht bij. In de meetkunde wordt de omtrek van een cirkel in 360 gelijke deelen verdeeld, welke men graden noemt en aldus schrijft: 360° . Iederen graad verdeelt men in 60 minuten, aldus geschreven: $60'$ en iedere minuut in 60 seconden, aldus: $60''$.

² Wanneer wij de licht- of warmtegevende oppervlakte der Zon op haren gemid-



Fig 1. Schijnbare afmeting der zonneshijf in hare verschillende afstanden van de aarde

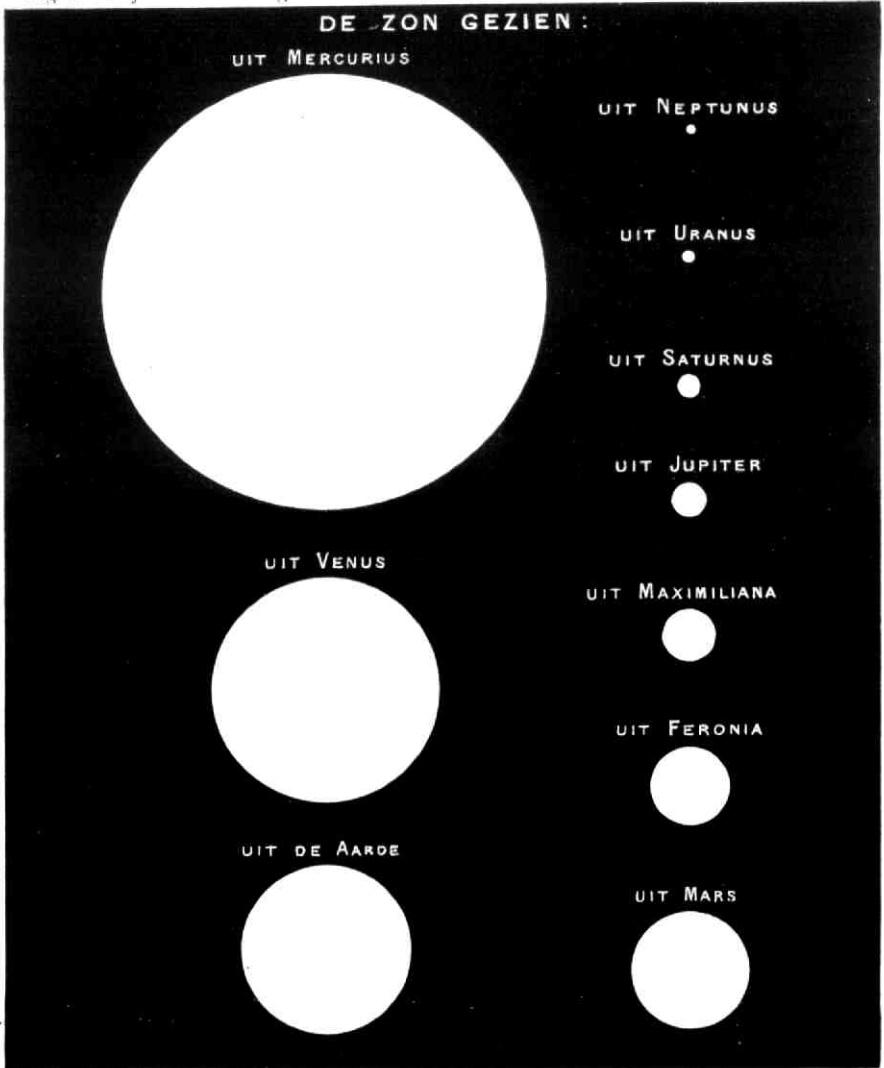


Fig 2. Schijnbare afmeting der zonneshijf uit de verschillende planeten gezien

De omtrek van den horizon of van elken anderen grooten cirkel over het hemelgewelf zou gevuld zijn met 673 zonneshijven van dezelfde afmeting als waarin zij zich aan ons oog vertoont bij haren middelbaren afstand; 685 waren er noodig op het tijdstip van het aphelium en 662 bij het perihelium.

De schijnbare afmeting van een voorwerp verschilt veel naargelang van den afstand waaruit wij het beschouwen: daarom moet de afmeting der zonneshijf zeer verschillen, naarmate men die uit de verschillende planeten van ons Zonnestelsel beschouwt; hoe verder de planeet verwijderd is, hoe kleiner de afmeting der Zon. Om getallen te vermijden waarvan de voorstelling steeds moeielijk blijft, hebben wij de verschillende afmetingen der Zon, op haren middelbaren afstand van uit de voornaamste planeten beschouwd, hier bij elkander gevoegd. Plaat II fig. 2.

Men vergeete echter niet dat al verandert de schijnbare grootte der Zon, de innerlijke kracht van den lichtenden glans der Zon steeds dezelfde blijft; wel te verstaan na aftrek van de opslorping, veroorzaakt door de dampkringen dier lichamen, over wier dichtheid wij nog geene juiste gegevens bezitten. De kracht dus van het licht of van de warmte, door eene planeet ontvangen, staat enkel in verband met de uitgestrektheid der schijnbare oppervlakte van de zonneshijf. Om echter de gansche uitstraling op iederen bol te beoordeelen moet men zoowel den afstand tot de zonneshijf in aanmerking nemen, als de uitgestrektheid van het verlichte halfmond.

Uit Mercurius, de dichtst bij de Zon zijnde planeet, zou men de Zon zien onder de grootste afmetingen, uit Neptunus integendeel onder de kleinste. De lichtgevende omtrek der Zon is 6670 maal grooter voor Mercurius dan voor Neptunus, die aan de grenzen van ons zonnestelsel is geplaatst. Bij de beschouwing der physische samenstelling der planeten zullen wij tevens de hoeveelheden licht en warmte nagaan, waarmede de Zon hunne oppervlakte overstroomt. Hier echter

delden afstand stellen op 10,000, dan krijgt men voor den versten en dichtsten afstand de getallen 10,335 en 9,663. Diezelfde getallen wijzen ons tevens op de betrekkelijke hoeveelheden licht en warmte, welke op verschillende tijdstippen op Aarde afstroomen, zoodat de Zon gedurende den winter de Aarde meer verlicht en verwarmt dan in den zomer: die schijnbare tegenstrijdigheid zullen wij later oplossen, sprekende over de jaargetijden.

kunnen wij reeds opmerken, dat, als de Zon ons zeven maal kleiner toeschijnt dan uit Mercurius beschouwd en uit Neptunus nog 1000 maal kleiner, dat zij toch nog voor die zoo ver verwijderde planeet een glans bezit, waardoor zij alle sterren overtreft, welke wij aan den hemel zien. Geheel anders zou het zijn, wanneer de Zon op een afstand stond, gelijk aan de dichtst nabij zijnde vaste sterren. Op zulk een' onmetelijken afstand zou die verbazende lichtbol ons slechts een punt toeschijnen, verloren onder de ontelbare vuurpunten van den sterrenhemel.

§ 3. Afstand van de Zon tot de Aarde. — Wat men door parallaxe der zon verstaat. — Meeningen der ouden over den afstand. — Aangenomen parallaxe en afstand. — Afstand, door voorbeelden opgehelderd.

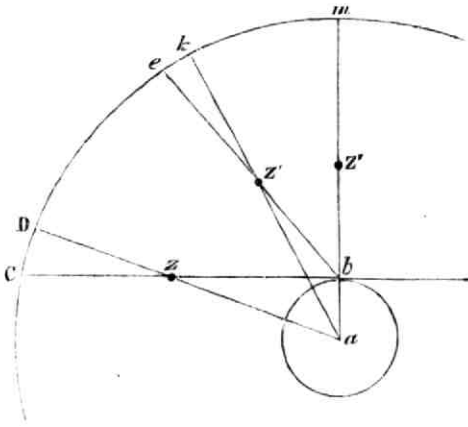
Het meten van de schijnbare grootte der zonneshijf is voor de sterrenkunde van het hoogste gewicht; want door die afmetingen, die dag aan dag verschillen, is het mogelijk geworden den afstand te bepalen, waarop iederen dag de Aarde van de Zon is verwijderd, en daardoor heeft men een juist denkbeeld gekregen over den vorm van de loopbaan der Aarde. Maar zoolang men den waren afstand der Zon niet kent, uitgedrukt b. v. in halve evenaars of stralen der Aarde, zoolang blijft men ook onbekend met de ware afmeting der zonneshijf en met de lengte der aardbaan.

Wanneer wij ons nu een juist denkbeeld willen vormen over de grootte der Zon en over andere fysieke elementen, welke met die afmetingen in betrekking staan, of wanneer wij eene eenheid willen hebben, waarmede wij de uitgestrektheid van ons Zonnestelsel en later die van het zichtbare Heelal kunnen meten, dan komt alles neer op de beantwoording der vraag: welke is de middelbare afstand der Zon van onze Aarde? of welke is de middelbare straal van de baan, welke de Aarde in een jaar rondom de Zon beschrijft? — De sterrenkundigen zeggen hetzelfde wanneer zij vragen: welke is de *parallaxe* der Zon?

Verklaren wij eerst wat men door parallaxe verstaat; later zullen wij in het derde deel uiteenzetten op welke wijzen men die parallaxe zoekt en berekent.

Parallaxe, *verschilzicht*, van het Grieksche *paralasso*, *ik verschil*, omdat de parallaxe het punt aan den hemel schijnbaar verplaatst.

Fig. 1.



Zij ba onze Aarde en $CDekm$ het hemelgewelf: zoo iemand nu de Zon Z uit b beschouwde zou hij haar zien in C , en zoo iemand haar beschouwde uit het middelpunt der Aarde dus uit a zou hij haar in D aan den hemel zien; dat verschil nu is de parallaxe en de hoek bza geeft dat verschil aan. Wordt de Zon of eene ster waargenomen op het oogenblik dat zij bo-

ven den horizon komt, dan noemt men het verschil *horizontaal parallaxe*, deze is immer de grootste; verder stijgende noemt men het *hoogte parallaxe*: alleen in het toppunt bestaat er geene parallaxe, omdat de gezichtstraal dan samenvalt met den straal uit het middelpunt. Het verschil dat eene ster oplevert, wanneer zij beschouwd wordt uit twee verschillende punten in de baan, welke de Aarde rondom de Zon beschrijft, noemt men *jaarlijksche parallaxe*. 't Is dus hetzelfde wanneer men vragen zou, hoe groot zou de hoek bza wezen, wanneer men uit het middelpunt der Zon de halve middellijn der Aarde ba beschouwde?

De eerste eenigszins juiste bepaling van die parallaxe dagteekent uit de vorige eeuw. Op zeer verschillende wijzen is men tot die uitkomst geraakt en met ongeduld worden de jaren 1874 en 1882 afgewacht, waarop de planeet Venus over de zonnescijf zal gaan, om dan met de nauwkeurigste werktuigen berekeningen te maken en uitspraak te kunnen doen tusschen de nog eenigszins uiteenloopende uitkomsten van die verschillende berekeningen. Wij nemen voor al onze volgende berekeningen de parallaxe der Zon $8''{,}57$ en volgen daarin K. von Littrow, directeur der Keizerlijke sterrenwacht, te Weenen.

De straal der Aarde of de halve middellijn zou dus uit de Zon gezien eene schijnbare afmeting hebben van $8''{,}57$ en de gansche middellijn dus eene lengte van $17''{,}14$. Door eene eenvoudige berekening verkrijgt men dan voor den middelbaren afstand der Zon.

24,300 aardstralen of 153,000,000 kilometers.

Vóór het jaar 1769 hadden de sterrenkundigen op zeer verschillende en uiteenlopende wijzen den afstand der Zon berekend. ¹

De school van Pythagoras, welke over het wereldstelsel reeds zeer juiste begrippen had, nam voor den afstand der Zon 18,000 mijlen; daardoor zou de ware middellijn der Zon slechts 167 mijlen lang zijn, en zoo begrijpen wij hunne vergelijking dat de Zon grooter was dan de Peloponesus. Aristarchus van Samos en op zijn voetspoor Ptolomeus, Copernicus en Tycho stelden dien afstand op 1200 aardstralen of ongeveer 2 millioen mijlen, dat was 20 maal kleiner dan de ware afstand. Kepler verdrievoudigde dat getal. Cassini en Lacaille echter waren het dichtste bij de waarheid; want zij schatten den afstand op 28,000 en 21,000 aardstralen. Nog geeft ons d'Alembert eene berekening op van een ongenoemde, die den afstand bepaalt op 24,000 aardstralen. Arago geeft in zijne populaire sterrenkunde den afstand door Riccioli en Hevelius gevonden op 7000 en 5,200 aardstralen; eindelijk nog die van Richer en Maraldi, die hunne berekeningen maakten uit de oppositie van Mars op 21712 en 20626 halve middellijnen of stralen onzer planeet.

153,000,000 kilometers of 20,656,000 geogr. mijlen is dus in ronde getallen de afstand der Zon van de Aarde en wel de middelbare afstand, waarop zij zich bevindt in de eerste dagen van April en October, de andere afstanden zijn:

In het perihelium, 1 Jan., 150,000,000 kilometers.

In het aphelium, 1 Juli, 155,000,000 kilometers.

Deze getallen geven ons echter geen genoegzaam denkbeeld van den afstand, welken zij uitdrukken. Door het gebruik van zekere middelen en vergelijkingen kunnen wij er ons eerst eenigszins een begrip van vormen; want wanneer de afstand zich verder dan ons gezicht

¹ Zie hier eenige dier uiteenlopende uitkomsten. Bessel vond door berekening en vergelijking der verschillende overgangen van Venus in de vorige eeuw, dat de zonneparallaxe gelijk stond aan..... 8",58.
 Polawski, door dezelfde wijze..... 8",86.
 Winnecke, door berekening op Mars..... 8",96.
 Hansen, door de parallaxische effening der Maan..... 8",92.
 Stone..... 8",93.
 Leverrier, naar de bewegingen van Mars, Venus, de Aarde..... 8",95.
 Foucault, uit de berekening over de snelheid des lichts..... 8",86.

uitstrekt dan lost zich het beeld op en wij zijn genoodzaakt tot andere middelen onze toevlucht te nemen; dan vragen wij b. v. hoeveel tijd eene kracht, wier snelheid wij kennen, noodig heeft om dien afstand te doorloopen, en zoodoende komt het denkbeeld van duur het begrip van uitgestrektheid te hulp. Wanneer wij nu van zulke middelen gebruik maken, begrijpen wij beter den afstand, welke de Aarde van de Zon afscheidt.

Het licht doorloopt geregeld in ééne seconde 298,000,000 meters. Van de Zon tot de Aarde heeft het licht noodig 513 seconden en 42 honderdste deelen of $8' 33'',42$.

Een kanonskogel van 12 pond uit het stuk gejaagd met eene lading van 6 pond kruit, vliegt in de eerste seconde voort met eene snelheid van 500 meters. Wanneer hij die snelheid zou bewaren tot aan de Zon, zou hij 9 jaar en $8\frac{1}{2}$ maand noodig hebben om haar te bereiken.

Wanneer wij ons een spoorweg denken, die in rechte lijn onze Aarde met de Zon verbindt, dan zou een sneltrein, die geregeld 50,000 meters per uur doorloopt, $351\frac{1}{2}$ jaar noodig hebben om dien afstand af te leggen. In Januari 1871 vertrokken, zou hij eerst in Juni 2222 de Zon bereiken.

12,800 tegen elkander geplaatste aardbollen zouden de ruimte vullen tusschen onze Aarde en de Zon.

Eenige planeten zijn dichter bij de Zon dan onze Aarde, maar een groot aantal zijn er ook veel verder van verwijderd. Neptunus, die, voor zoover wij weten, de laatste van ons zonnestelsel is, staat dertig maal verder verwijderd dan de Aarde. Het licht nu doorvliegt die ruimte in 4 uren, 16 minuten, 30 seconden; de kanonskogel zou 291 jaar noodig hebben en de sneltrein 10,545 jaar, om van Neptunus tot de Zon te geraken.

§ 4. Ware afmetingen der Zon. Middellijn, omtrek, oppervlakte en inhoud der Zon. — De omvang der Zon vergeleken met de Aarde. — Vergelijkingen.

Wanneer de Zon, niettegenstaande haren verbazenden afstand, ons reeds een aanzienlijke bol toeschijnt, dan moet voorzeker haar ware omtrek verbazend groot wezen. De zonneschijf — later zullen wij zien dat haar cirkelvorm reeds een kogelvorm te kennen geeft — heeft inderdaad een middellijn 112 maal grooter dan die van onze Aarde. Het verschil tusschen die twee bollen kunnen wij gemakkelijk ons aldus duidelijk maken. De parallaxe der Zon namelijk is $8'',57$,

het dubbel er van is de lengte van de middellijn van onze Aarde, uit de Zon gezien, dus $17^{\circ},14$ en de middellijn der Zon uit de Aarde gezien is ongeveer $32'$ of juister $1923^{\circ},86$; nu deele men slechts dit getal met de middellijn der Aarde en de uitkomst duidt het verschil aan: de middellijn der Zon is dus 112 maal grooter dan die van onze Aarde.

Wanneer men nu de verschillende afmetingen der Zon beschouwt — de lengte uitgedrukt in kilometers, de oppervlakte in vierkanten en de inhoud in kubieken — dan komt men tot de volgende uitkomsten:

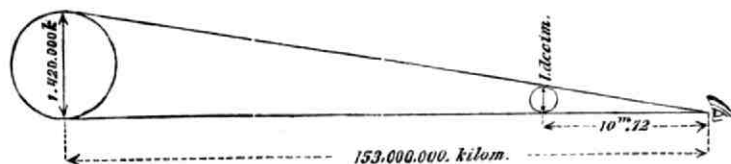
De halve middellijn of straal der Zon is 714,886 kilom. of 96,515 geogr. mijlen. De omtrek over een van hare groote cirkels is 4,493,530 kilom. of 606,660 geogr. mijlen. Al die afmetingen zijn steeds 112 maal grooter dan die van onze Aarde.¹

De oppervlakte der Zon n. l. van haar lichtgevend bekleedsel is niet minder dan 12,593 maal de oppervlakte van onzen aardbol. Haar inhoud uitgedrukt in kubieke mijlen bedraagt 3,759,100,000,000,000.

Om van eene massa, door zulk een getal uitgedrukt, ons eenigszins een begrip te vormen, is het noodig die te vergelijken met onze Aarde die zelf 2,659,000,000 kubieke mijlen inhoud heeft, en dan komt men tot de slotsom dat de Zon alleen gelijk staat met ongeveer 1,413,400 van onze aardbollen. De Aarde is niet de grootste der planeten, want Jupiter, Saturnus, Uranus, Neptunus zijn ieder 1469, 905, 98 en 88 maal grooter dan de Aarde; maar denkt men zich alle planeten en hunne manen tot één lichaam vereenigd, dan zou toch de Zon nog 600 maal grooter zijn dan de vereeniging van die allen.

¹ Een eenvoudig hulpmiddel leert ons uit den afstand der Zon hare ware afmetingen kennen. Men neme een cartonnen schijf van eene onbepaalde middellijn, b. v. een palm of decimeter en verwijderd die zoo ver van het oog, dat zij juist den omtrek der Zon bedekt, dan zal men bevinden dat de afstand tusschen oog en schijf 10

Fig. 2.

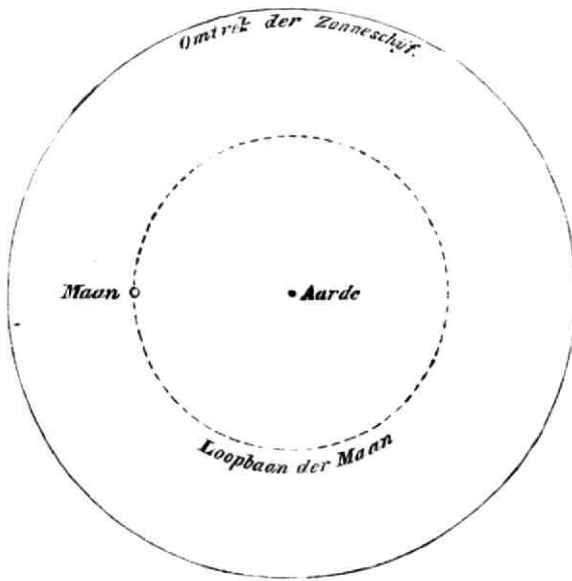


Afmeting der Zon afgeleid uit haren afstand.

De Maan is van ons 60 aardstralen verwijderd, dat is 381,978,990 meters.

Welnu, in de vooronderstelling dat de Zon hol en de Aarde in haar middelpunt geplaatst was, kon de Maan binnen de Zon zich op denzelfden afstand om de Aarde bewegen als thans, terwijl de Maan toch noch 52 aardstralen of 331,048,458 meters van de oppervlakte der Zon verwijderd bleef.

Fig. 3.



Betrekkelijke afmeting der zonneschijf, met den omloop der Maan.

van een liter en bevond dat het getal middelbare grootte 10,000 was; een decaliter bevatte er dus 100,000 en 14 zulke decaliters 1,400,000. Toen hij dus die 14 decaliters op één hoop schudde, zonderde hij er één graankorrel van af en sprak: die ééne graan-

millimeters 72 bedraagt. Wanneer men nu onderstaande figuren beziet, dan is het gemakkelijk op te merken, dat er tusschen den waren omtrek der Zon en dien van de cartonnen schijf, dezelfde verhouding bestaat als in den afstand, welke den beschouwer afscheidt van beide voorwerpen.

De middellijn der Zon is dus gelijk aan zooveelmaal een decimeter als de afstand van het oog tot de schijf 10^{m.m.}72 vervat is in den afstand der Zon of 153,000,000 kilometer, en dan verkrijgen wij ongeveer 1,420,000 kilometers.

De wijze door de sterrenkundigen gebezigd is wel minder eenvoudig, maar steunt toch op hetzelfde beginsel.

Arago verhaalt in zijne populaire sterrenkunde de volgende vergelijking, die wel in staat is ons een denkbeeld te geven van den wondervollen omvang der Zon.

Een professor bedacht het volgende middel om zijne leerlingen een begrip te geven van de ware grootheid der Zon. Hij telde de graankorrels

korrel vertegenwoordigt nu de Aarde en die gansche hoop de Zon.

Wanneer wij later de afmetingen der Aarde zullen nagaan, ons door die graankorrel voorgesteld, dan duizelt onze verbeelding bij de grootheid van die fakkel, welke onze wereld bestraalt, die zelf toch maar eene lichtende stip is in die onmeetbare ruimte verspreid.

Omdat de Aarde slechts een enkel lid is van het groote planeten gezin, zouden wij die vergelijkingen van onderlinge grootheid voort moeten zetten en toepassen op de voornaamste bollen, die rondom die Zon wentelen. In de afzonderlijke beschrijving echter van ieder hunner zullen wij gelegenheid genoeg hebben om over hunne eigene afmetingen uit te weiden en daarbij de juiste getallen op te geven: vergenoegen wij ons heden om bij benadering de betrekkelijke grootte en afstand van de Zon en de Aarde nog door een paar voorbeelden op te helderen.

Wanneer wij de Zon afbeelden als een bol van één decimeter, dan zou de Aarde moeten voorgesteld worden door een korreltje van nog geen millimeter middellijn, dat wij op 21,^m445 van den zonnebol moeten plaatsen. Wanneer wij ons de Aarde voorstellen als een gewone aardglobe van 30 centimeters middellijn, dan zouden wij de Zon moeten voorstellen als een bol van 32^m,44 middellijn en wel op een afstand van 3500 meters.

Omdat men beter den invloed begrijpt welken eene ster, zooals onze Zon is, uitoefent door hare reusachtige afmetingen op de andere lichamen, welke om haar wentelen, zijn hier zoo vele gemeenzame vergelijkingen gegeven om aan onze zinnen en vervolgens aan ons verstand het juiste begrip te geven van zulke verhoudingen.

II.

OMWENTELING DER ZON.

§ 1. Omwenteling der Zon, door J. Bruno en Kepler verondersteld, door Fabricius en Gallilei ontdekt. — De zonnevlekken, hunne *schijnbare* beweging. — De Zon wentelt van het Westen naar het Oosten.

De Zon wentelt met eene gelijkmatige beweging, in een tijdsverloop van bijna 25½ dag, om hare as.

De ontdekking van die beweging, van zulk groot belang voor de sterrenkunde, had plaats in het begin der zeventiende eeuw, toen men door de toen uitgevondene kijkers de Zon begon te beschouwen. Aan onzen Hollandschen sterrenkundige Joannes Fabricius komt de eer van die ontdekking toe, zooals blijkt uit het verslag dat hij in 1611 in het licht gaf. Jordanus Bruno en Kepler hadden die wenteling der Zon wel ondersteld maar niet bewezen. Gallilei echter, die in hetzelfde jaar de zonnevlekken ontdekte, kwam tot hetzelfde besluit als onze geleerde vaderlander.

Zie hier de omstandigheden, waaraan Fabricius die ontdekking te danken had.

Toen Fabricius op zekerem dag met een' kijker de zonneshijf beschouwde, zag hij op hare oppervlakte eene donkere vlek, welke hij in den beginne voor eene wolk hield; nauwkeurig echter dat verschijnsel beziende, bemerkte hij dat hij zich bedroog. De hoogere klimming der Zon en haar verblindende glans, (want men bediende zich nog niet van gekleurde glazen,) noodzaakten hem het onderzoek tot den volgenden dag uit te stellen. "Het overige van den dag en den "daarop volgenden nacht," zoo verhaalt hij, "brachten wij, (mijn vader "en ik,) in groote spanning en ongeduld door; al gissende wat toch "die vlek kon wezen. Heeft die vlek, zoo redeneerde ik, haren "zetel op de Zon, dan zie ik haar morgen terug, maar behoort zij "niet tot de Zon, dan is zij ook verdwenen. Den volgenden dag zagen "wij, vol vreugde, haar weder; bemerkten echter dat zij een weinig "van plaats was veranderd, waardoor onze onzekerheid nog vermeer- "derd werd. Nu beproefden wij de zonnestrallen door eene kleine ope- "ning in een duister vertrek op een wit papier op te vangen en zagen "nu duidelijk die vlek in den vorm eener langwerpige wolk. Gedu- "rende drie dagen belette eene betrokkene lucht verdere nasporingen "te doen. Na verloop van dien tijd ontdekten wij op nieuw die vlek, "welke schuins naar het westen was voortgegaan; en tevens bemerk- "ten wij aan den rand der zonneshijf eene andere kleine vlek, die "na eenige dagen het midden der Zon had bereikt. Eindelijk kwam "er een derde, terwijl de eerste aan den westelijken rand verdween, "gevolgd door de anderen. Nu vervulden mij hoop en vreeze of ik ze "wel terug zou zien, totdat 10 dagen daarna de eerste weder aan "den oostelijken rand der Zon verscheen: daaruit begreep ik dat er "eene omwenteling op de Zon plaats greep; langzamerhand bevestigde

“ik mij zelve meer en meer in dat denkbeeld; terwijl ook anderen, “aan wie ik die vlekken toonde, er van overtuigd werden. Toeh “hield de twijfel mij tegen, om mijne ontdekking bekend te maken, “en bijna had ik berouw er zoo veel tijd aan besteed te hebben; “want ik bemerkte, dat die vlekken hare onderlinge afstanden “niet behielden en dat zij in vorm en snelheid veranderden: grooter “was echter later mijn genot, toen ik er de reden van begreep; want “aangenomen dat die vlekken zich op het lichaam der Zon be- “vinden, dat bolvormig is, zoo kon het niet anders of die vlekken “moesten kleiner worden en langzamer voort schijnen te gaan, naar “mate zij den rand der Zon naderen.

“Wij noodigen de minnaars der natuurkundige wetenschappen uit, “om met deze schets hun voordeel te doen. Zeker zullen ook zij dan “veronderstellen, dat de Zon eene wentelende beweging heeft, zoo “als Jordanus Bruno in zijne verhandeling over het Heelal (1591) “en Kepler in zijn boek over de beweging van Mars reeds aandui- “den; want zonder omwenteling begrijp ik het volstrekt niet, wat “er van de vlekken te maken is.”

Gallileï drukte zich nauwkeuriger uit. Hij mat den duur van den tijd, waarop de vlekken zich vertoonen en gaf daarvoor ongeveer 14 dagen.

Eene halve eeuw dus vóór dat men de omwenteling van Venus, Mars en Jupiter ontdekte, kwam men reeds tot de kennis van de omwenteling der Zon.

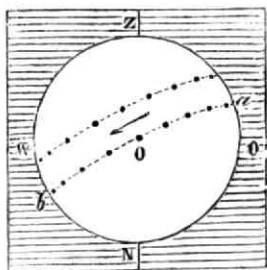
Zonder ons voor het oogenblik op te houden met de natuur dier vlekken, waarover later, willen wij eerst nagaan, hoe de waarne- ming van eene zonnevlek er ons toe brengt, de beweging der om- wenteling, de gelijkvormigheid en den duur nader te bepalen.

Wanneer men met behulp van een astronomischen kijker¹, die ons een omgekeerd beeld geeft, eene zonnevlek beschouwt op het oog- blik, dat zij voor ons op de zonneshijf zichtbaar wordt in a bijv. fig. 4 aan den oostelijken kant der Zon, dan heeft zij den vorm van

¹ Een astronomische kijker bestaat, om meer duidelijkheid te verkrijgen, uit slechts twee glazen, maar geeft een omgekeerd beeld, wat echter voor de beschouwing des hemels niet hindert. Men ziet dus het bovenste gedeelte der Zon het onderste, het onderste het bovenste, het linksche gedeelte rechts en omgekeerd. Men dient dit in het oog te houden om de schijnbare beweging der vlekken goed te begrijpen.

eene streep, ten minste langwerpig smal: in de eerste dagen is hare beweging naar het midden langzaam. Dagelijks wordt zij grooter en schijnt sneller voort te gaan, totdat zij het midden heeft bereikt, of het midden van haren loop op de schijf in o. Van o nu

Fig 4.



Schijnbare beweging der vlekken van den Oost- naar den Westkant der Zon.

naar b vermindert wederom die snelheid in dezelfde verhouding als die vermeerderd was van a naar o. Waar de verschillende vlekken zich ook gelijktijdig mogen bevinden, met betrekking tot elkander beschrijven zij altijd evenwijdige lijnen, dan eens recht dan eens schuins over de zonnenschijf, al naar het tijdstip der waarneming. Overigens, hoe verschillend zij ook zijn in vorm en in afmeting; aan den rand zijn zij moeielijk te beschouwen; dan schijnen zij zeer eng op hunne loopbaan of meer in het loodrecht verlengd; terwijl zij dichter bij het midden grooter schijnen te worden: steeds hebben zij denzelfden tijd noodig voor hunnen overgang van den oostkant tot den westkant, waar en hoeverre van het midden zich ook hunne banen bevinden; terwijl men tevens bevindt dat hun verdwijnen achter de schijf bijna even lang duurt als hun zichtbaar zijn op de schijf en wel iets minder dan 14 dagen.

Deze omstandigheden bewijzen ontegenzeggelijk dat de Zon om hare as wentelt; want die vlekken zijn tijdelijke toevalligheden op hare oppervlakte, en daardoor is het ons gegeven die oppervlakte in haren ganschen omtrek te beschouwen.

Die vlekken behooren tot de oppervlakte der Zon; want als er sprake kon wezen van lichamen die op zekeren afstand rondom de Zon wentelen, even als de planeten,¹ dan zou in de eerste plaats hunne beweging zeer gelijkvormig wezen; hoe grooter hun afstand van de Zon, hoe grooter ook hunne snelheid, zooals men dat waar-

¹ Gallilei bestreed reeds de meening van Scheiner, die aanvankelijk geloofde, dat die vlekken hun zetel niet in de Zon hadden, maar gelijk waren aan planeten, die rond de Zon wentelden en ons dan hunne duistere zijde toekeerden, zoo als met Mercurius en Venus gebeurde. Scheiner werd echter van het tegendeel overtuigd, deed eene groote menigte waarnemingen, die hij in 1630 uitgaf in een folio werk van 800 pag. onder den titel *Rosa Ursina*.

neemt bij de overgangen van Venus en Mercurius. Overigens zouden die lichamen dan zwart tegen de Zon afsteken, en zoowel aan den rand als in het midden steeds dezelfde afmetingen behouden en van eene verandering in den vorm, zooals wij bij die vlekken opmerken, kon geen sprake zijn. Eindelijk de duur van den overgang moest veel korter zijn dan het tijdsverloop waarop zij verdwijnen, omdat dit een veel grooter deel van hunnen loop moest zijn.

Nog heeft men eene andere veronderstelling gemaakt, en wel, dat die vlekken eene eigene beweging hadden en niet van de beweging der Zon afhingen; dat de Zon dus stilstond en niet wentelde, maar alleen de vlekken voortgingen. Iets is er in die bewering dat waar is, en wel dat die vlekken eene eigene beweging hebben; hoewel het toch de Zon is, die de vlekken voorttrekt en oorzaak is van hunne beweging: anders was het onmogelijk dat zulke afgezonderde lichamen, die noch van de Zon, noch van elkander afhankelijk waren, zulk een regelmatigen loop konden behouden, en zich in zulke evenwijdige loopbanen konden bewegen. Het verschil van snelheid, dat men waarneemt bij den overgang eener vlek is juist een bewijs voor de gelijkvormigheid der zonneomwenteling; want als men de verhouding berekent, welke er bestaat tusschen de schijnbare en ware snelheid op de oppervlakte van een bol, dan bevindt men dat deze juist overeenkomt met de uitkomsten, welke de meetkunde verkrijgt, wanneer zij eene gelijke omwenteling veronderstelt.

Het is dus een feit, dat geen twijfel meer toelaat: de Zon wentelt om zich zelve in de richting van de rechter- naar de linkerhand, met betrekking tot iemand, die zich in het vlak van haren evenaar zou bevinden, met het gelaat naar het noordelijk halfrond. Diezelfde richting van omwenteling en vooruitgang bestaat bij de Aarde en alle andere planeten: men duidt dit aan door te zeggen, dat zij zich bewegen van het westen naar het oosten.¹

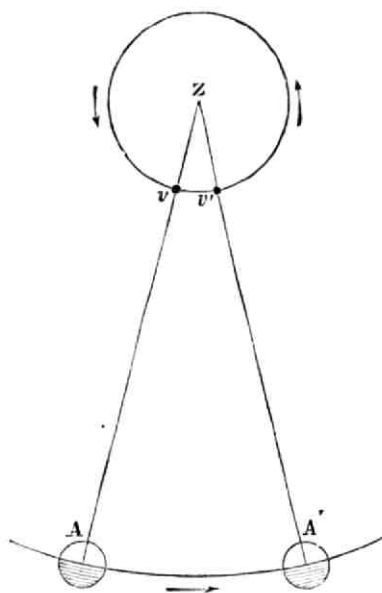
§ 2. — Verschil tusschen de *schijnbare* en *ware* omwenteling der zonnevlekken. — Polen en evenaar der Zon. — Vorm der loopbanen van de vlekken, volgens den tijd van het jaar. — Verschil van den duur der omwenteling, waargenomen volgens de breedtegraden der vlekken.

¹ Wanneer men de Zon beschouwt, keert men zich naar het zuiden van den horizon; voor ons geschiedt dus de omwenteling der Zon van het oosten naar het westen, maar op de Zon zelve van het westen naar het oosten.

De *schijnbare* omwenteling der zonnevlekken is het tijdsverloop, dat eene vlek noodig heeft om uit het middelpunt der zonneshijf weder voor den beschouwer tot dat zelfde middelpunt terug te keeren. Dat tijdsverloop verschilt, zooals wij zien zullen, volgens de breedte, waarop de vlekken zich van den zonne-equator bevinden: daardoor kan men het verschil uitleggen, dat de sterrenkundigen in hunne berekeningen hadden. Cassini bepaalde die omwenteling op 27 dag. 12 uur 20 min., Lalande op 27 dag. 7 uur 37 min., Laugier op 27 dag. 4 uur middelbare zonedagen.

Die schijnbare omwenteling, de *synodische* genoemd, is echter veel langer dan de ware de *asterische*; want gedurende de omwenteling der Zon gaat ook de Aarde op hare baan om de Zon voort. Wanneer de Aarde onbeweeglijk bleef, dan zou, in de veronderstelling dat ook de vlek geene eigene beweging heeft, de tijd welke die vlek noodig

Fig. 5.



Verskil van de schijnbare omwenteling der Zon met de ware.

heeft, om uit het midden tot het midden terug te keeren, ook juist den tijd aangeven, welke de Zon voor hare omwenteling noodig heeft. Wanneer de Aarde echter haren loop volbracht in denzelfden tijd, waarin de zonnevlek hare omwenteling doet, dan zou de waarnemer op de Aarde steeds in gelijke lijn met de vlek blijven, die voor hem onbeweeglijk zou schijnen.

Tusschen die beide veronderstellingen nu ligt de waarheid; want terwijl de Zon omwentelt, gaat de Aarde een gedeelte van hare baan voort. Wanneer dus de vlek hare omwenteling heeft gedaan en in het midden is gekomen, dan neemt de waarnemer de vroegere plaats niet weer in, want hij is met de Aarde voortgegaan: de vlek moet dus nog een deel omwentelen om

voor den beschouwer weder in het midden der zonneshijf te komen. De schijnbare omwenteling is dus juist zoo veel langer als de Aarde gedurende dien tijd is voortgegaan.

Wanneer v eene vlek is, welke door een waarnemer, op Aarde in

A zijnde, in het midden der zonneshijf z gezien wordt, dan zal, wanneer die vlek na haren omloop weder in v gekomen is, de beschouwer met de Aarde tot in A' zijn voortgegaan en dus voor hem heeft de vlek het middelpunt nog niet bereikt, maar moet voortgaan tot in v'. De zaak is dus, te weten hoevele graden, minuten of seconden de boog tusschen v en v' bevat, of wat hetzelfde is, hoe groot de baan is welke de Aarde van A tot A' heeft doorloopen.

De *ware* omwenteling der Zon is dus gelijk aan de *schijnbare*; daarvan afgetrokken ongeveer twee dagen, welke de Aarde noodig heeft om van A tot A' te komen: zoodat eene vlek, die om voor het oog van den beschouwer van midden tot midden te wentelen, noodig heeft 27 dagen 4 uur, voor de *ware* omwenteling geeft 25 dagen en 8 uren.

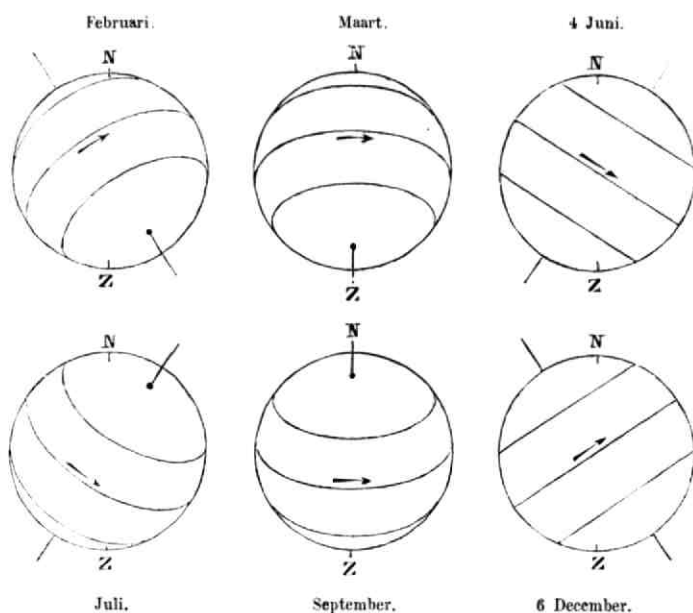
Uit de loopbaan eener vlek kan men met juistheid de richting van de omwentelingsas bepalen en dus ook de beide polen en den evenaar der Zon. Wanneer de as loodrecht op de baan stond, welke de Aarde om de Zon beschrijft, dan zou daarvan een noodzakelijk gevolg wezen dat alle vlekken, waar zij zich ook bevinden, op de zonneshijf altijd evenwijdige loopbanen met den evenaar der Zon moesten hebben. De waarneming toont ons dat zulks niet plaats heeft, omdat de vlekken volgens het jaargetijde bolronde lijnen beschrijven naar boven of naar onder; maar nooit evenwijdig met de loopbaan der Aarde: dus staat de as der Zon niet loodrecht op den ecliptica.

Volgens Carrington helt de evenaar der Zon $7^{\circ}15'$ op de loopbaan der aarde; zoodat de as, welke de beide polen der Zon zou vereenigen met de aardbaan, een hoek maakt van $82^{\circ}45'$. Hieruit volgt dus, dat de Aarde in haren jaarlijkschen omloop, zich dan eens boven, dan eens onder den evenaar der Zon bevindt. Wanneer zij er zich boven bevindt, b. v. in Juli en September, dan beschrijven de vlekken bolronde lijnen naar de noordpool der zon gericht: maar bevindt de Aarde zich onder den evenaar der Zon, b. v. in Februari en Maart, dan zijn die lijnen bolrond naar de zuidpool gericht. Op twee tegenover elkander liggende punten staat de Aarde in hetzelfde vlak met den evenaar der Zon: die beide punten noemt men den *klimmenden* of *dalenden knoop*, al naar dat de Aarde van dat punt boven den evenaar der Zon klimt of er onder daalt. Op den 4ⁿ Juni en den 6ⁿ December hebben die beide overgangen over den evenaar der Zon plaats, en dan schijnen de vlekken op de zonneshijf voor

ons rechte lijnen te beschrijven, hoewel in tegenovergestelde richting, al naardat de knoop klimmend of dalend is.

Wanneer de omwenteling der Zon, zooals wij die opmaken uit de waarneming der vlekken, volkomen gelijkmatig was, dan moest de berekening van den waren omwentelingstijd steeds dezelfde uitkomst geven, en daaruit zou dan volgen moeten, dat de vlekken geene eigene beweging of verplaatsing hadden. Eene nauwkeurige en

Fig. 6.



Vorm der lijnen door de vlekken op de zonneshijf beschreven op verschillende tijden des jaars.

voortdurende studie dier bewegingen heeft echter geleerd, dat er zulk eene regelmatigheid niet bestaat. Vooreerst de vlekken veranderen van vorm, verminderen en vermeerderen in omvang en dat alleen zou ons reeds de reden geven, waarom de berekeningen verschillen; maar weldra giste men ook, dat de vlekken, behalve de algemeene beweging, waarin de gansche bol der Zon deelt, zich zelve ook op de oppervlakte verplaatsen en dus eene eigene beweging hebben.

Uit een groot aantal zeer nauwkeurige waarnemingen, welke wij aan Laugier te danken hebben, blijkt, dat niet alleen verschillende vlekken in hunnen omloopstijd verschillen, maar dat men zelfs bij dezelfde vlek zulk verschil waarneemt. Zoo wezen 29 waargenomen

vlekken op een' middelbaren omloop van 25^{dag}34, terwijl hun maximum was 26^{dag}23 en hun minimum 25^{dag}28. Dezelfde vlek gaf voor hare omwenteling getallen die van 2 tot 5 uren verschilden. Daardoor werd het uitgemaakt dat ook de vlekken eene eigene beweging hadden; welk bewijs nog versterkt werd, toen men den afstand van twee vlekken mat.

Uit dat alles trok de genoemde sterrenkundige het besluit, dat eene vlek zich verplaatst met eene snelheid van 111 meters in de seconde.

Een feit echter van het hoogste belang en volkomen in overeenstemming met de overige waarnemingen is kortelings openbaar gemaakt door een Engelschen sterrenkundige, Carrington genaamd. Gedurende zeven en een half jaar, maakte hij eene aanhoudende studie der zonnevlekken en kwam tot het besluit, dat de vlekken zich niet overal met dezelfde snelheid verplaatsen: die snelheid verandert volgens de plaats, welke de vlekken innemen in betrekking tot den evenaar der Zon.

In het algemeen hoe dichter een vlek bij den evenaar, hoe sneller hare beweging; en hoe grooter hare breedte is, dat is, hoe verder van den evenaar, hoe langzamer hare omwenteling. Dat verschil regelt zich volgens eene vaste wet: later zullen wij zien, welke gevolgtrekkingen men daaruit gemaakt heeft voor de physische gesteltenis der Zon.

Zie hier eenige der verkregene uitkomsten van Carrington.!

Noorder-Breedte.	60°—	27,445	of 27	dag.	10	uur	40' 48"
	30°—	26,207	" 26	"	4	"	58' 4",8
	20°—	25,714	" 25	"	17	"	8' 9",6
	15°—	25,382	" 25	"	9	"	10' 4",8
	10°—	25,145	" 25	"	3	"	28' 48"
	5°—	25,029	" 25	"	0	"	41' 45",6
Evenaar	0°—	24,913	" 24	"	21	"	54' 43",2
Zuider-Breedte.	5°—	24,971	" 24	"	23	"	18' 20",4
	10°	25,233	" 25	"	5	"	35' 31",2
	15°	25,563	" 25	"	13	"	30' 43",2
	20°	25,745	" 25	"	17	"	52' 48"
	30°	26,535	" 26	"	12	"	50' 24"
	45°	28,458	" 28	"	10	"	59' 31",2

¹ Spoerer een Duitsch sterrenkundige is ook na eene reeks van waarnemingen tot hetzelfde besluit gekomen.

Het gevolg van de omwenteling der Zon zou moeten wezen, dat zij aan de polen eene afplattung moest hebben, als een noodzakelijk gevolg van de middelpuntvliedende kracht. Zoo immers is de vorm onzer Aarde en der planeten Mars, Jupiter en Saturnus; maar in de verschillende middellijnen der Zon is geen verschil waar te nemen. De oorzaak hiervan is zeker te zoeken in het groote overwicht, dat de zwaarte heeft op de middelpuntvliedende kracht, die om de langzame beweging der Zon zeer zwak moet wezen.

Wanneer wij hier van eene langzame beweging spreken, vergeten men niet, dat er dan alleen spraak is van eene snelheid door hoeken gemeten; want om den verbaasend grooten omvang der Zon verkrijgen de punten op hare oppervlakte eene duizelingwekkende snelheid. Zoo doorloopt een punt op den evenaar der Zon niet minder dan 2013 meters in de seconde, eene snelheid meer dan viermaal zoo groot als de snelheid van een punt op onzen evenaar, dat 464 meters in de seconde doorloopt.

Zie hier bij elkander gevoegd de uitkomsten verkregen door de beide sterrenkundigen, die zich bijzonder met de beschouwingen, in deze afdeling behandeld, hebben bezig gehouden.

ELEMENTEN.	CARRINGTON.	SPOERER.
Knoop	37° 57'	74° 37'
Helling	7° 15'	6° 57'
Dagelijksche wenteling	14° 18'	14° 2664
Geheele wenteling	25d. 38	25d, 2340

III.

DE ZONNEVLEKKEN.

§ 1. Zonnevlekken; kern en halfschaduw. — Lichtende vlekken of fakkels: hun verband met de duistere vlekken. — Verschillende vorm en afmeting der zonnevlekken. — Ontstaan, verandering en beweging dier vlekken.

Aan de uitvinding der kijkers en telescopen hebben wij de ontdek-



ZONNEVLEKKEN.

Volgens de waarneming en teekening van J. Herschel.

W. M. Trap

king en de verdere studie der zonnevlekken te danken, en daardoor kwam men aanstonds, zooals wij reeds gezien hebben tot de kennis van een feit van het hoogste belang, dat de Zon rondom eene onveranderlijke as wentelt in dezelfde richting als onze aardbol.

De kracht van die werktuigen was in den beginne nog zeer zwak; zoodat de eerste kijkers waarvan Gallileï zich bediende slechts van 4 tot 7 maal vergrootten; terwijl de sterkste kijker, welke die vermaarde sterrenkundige gebruikte, eene vergrooting gaf van 32 middellijnen. Langzamerhand kregen die hulpmiddelen grootere volmaaktheid, zoodat de reuzentelescoop van Lord Rosse, in Ierland opgericht, tot eene 6000voudige vergrooting in staat is: daardoor is het mogelijk geworden van de hemellichamen de kleinste verschijnselen te bespieden.

Gaan wij eerst na, wat de krachtigste nieuwe telescopen ons leeren over de zonnevlekken.

De eerste blik op eene zonnevlek toont ons aanstonds eene tweevoudige scherp begrensde tint, zoo als men ziet op plaat III en op de talrijke afbeeldingen der zonnevlekken, welke wij later geven zullen. De eerste bestaat in ééne of meerdere kernen, die in vergelijking met den glans van de zonneshijf, donker, bijna zwart zijn. De tweede is rondom die kern een breede grauwe rand, die men, hoewel ten onrechte halfschaduw noemt. (*pénumbra*).

Wanneer men de kern eener zonnevlek nauwkeurig in hare verschillende deelen beschouwt, dan komt men tot de overtuiging, dat zij niet overal dezelfde tint bezit; hoewel haar omtrek bijna altijd scherp is afgeteekend. Op eenen donkeren grond bespeurt men even als verdiepingen nog donkerder dan de grond zelve der vlek.

Hetzelfde verschijnsel vertoont zich ook, wanneer men de zoogenaamde halfschaduw nauwkeuriger beschouwt. Die gedeelten, die het dichtst bij de schitterende oppervlakte der schijf zijn gelegen, zijn gewoonlijk duisterder dan het overige; herhaalde en nauwkeurige waarnemingen hebben bewezen, dat zulks geen schijn is, die voortkomt uit de nabij zijnde schitterende schijf, maar dat er een waar verschil van tint bestaat.

Zeer dikwijls ziet men dat die halfschaduw doorgroefd is door lijnen, welke van den uitersten rand tot aan de kern loopen; hoewel in verschillende richtingen, volgen zij toch gewoonlijk de richting, welke de omtrek der kern en der halfschaduw heeft. Men zou ze kun-

nen vergelijken bij de beddingen van talrijke beekjes, welke eene helling doorploegen, wanneer wij daarmede de halfschaduw vergelijken, om zich te werpen in een kolk, ons door de kern afgebeeld.

Soms ziet men ook, hoewel zeldzaam, vlekken, welke enkel uit eene kern bestaan zonder halfschaduw en soms halfschaduwten zonder kern. Dezelfde halfschaduw omvat soms verschillende kernen, welke dan van elkander gescheiden zijn door zekere smalle lijnen van eene grauwe of blinkende stof: men zou meenen dat dezelfde kern in verschillende deelen verdeeld is door die soort van dwarsche lijnen, welke Herschel *lichtende bruggen* noemt. De vlekken op Plaat III geven er een zeer duidelijk voorbeeld van, evenals de afbeeldingen op plaat V.

Behalve die donkere vlekken toont de zonneshijf ons zeer dikwijls zekere schitterende vlekken, wier ontdekking men aan Gallilei verschuldigd is, en die, omdat zij even als de donkere en in dezelfde richting zich bewegen, een ontegenzeggelijk bewijs opleveren voor de omwenteling der Zon.

Men duidt ze aan met den naam fakkels. Gewoonlijk vertoonen zij zich aan den rand van de halfschaduw, zoodat men zou kunnen meenen, dat zij alleen een gevolg waren van het verschil tusschen de donkere tint der vlek en den verblindenden glans der oppervlakte; dit is echter het geval niet, want men ziet dat dergelijke fakkels de halfschaduw niet gelijkvormig omgeven; dat sommige vlekken ze niet hebben, en wat meer is, men bemerkt dikwijls zulke fakkels zonder vlekken en dan wijst hun verschijnen gewoonlijk op de vormig eener nieuwe vlek op dat punt.

Die fakkels hebben soms den vorm van in elkander loopende sporen of groeven, die van verschillende zijden in den omtrek der vlek uiteenloopen, even als beken van eene schitterende stof.

Plaat IV geeft een paar merkwaardige voorbeelden van die fakkels.

De vorm dier vlekken is zeer verschillend zooals reeds blijkt uit de onderscheidene afbeeldingen hier gegeven; maar hoe verschillend die vorm ook is, toch is het maar zeer zeldzaam, dat men geene overeenkomst ziet tusschen den omtrek der kernen en die der halfschaduwten, en daardoor wordt ons aangeduid dat beiden hun ontstaan aan dezelfde oorzaak verschuldigd zijn.

Zeer zeldzaam vindt men ronde vlekken; gewoonlijk is hun omtrek

veelzijdig met binnenwaarts loopende hoeken, zoowel de halfschaduw als de kern.

Soms bezitten de vlekken den vorm van eene draaikolk, alsof eene spiraal-beweging de oorzaak hunner vorming is. De strepen en lijnen van de halfschaduw deelen dan in die beweging, alsof ze door een ronddraaienden stroom in eene kolk worden meegetrokken.

Niet minder verscheiden zijn hunne afmetingen: men treft zeer kleine vlekken aan, die zelfs bij de sterkste vergrooitingen nog gelijk zijn aan nauw merkbare punten; onder dezulken vindt men gewoonlijk kernen zonder halfschaduw en halfschaduw zonder kernen. (Vergelijk plaat III en anderen).

Andere vlekken hebben daarentegen eene aanzienlijke uitgebreidheid. "In het midden van het jaar 1763," schrijft Lalande, "zag ik "de grootste en duisterste, welke mij onder de oogen kwam, die op "zijn minst 1' lengte had, dat is het 32^{ste} gedeelte van de middellijn "der Zon." Arago vermeldt er eene van 167", dat is bijna driemaal zoo groot als die van Lalande. Schroeter heeft er eene gemeten, die viermaal grooter was dan de oppervlakte van onze gansche Aarde, en dus eene middellijn bezat van 7000 mijlen. W. Herschel zag er in 1779 eene die 17,000 mijlen middellijn bezat.¹

Wanneer de vlekken, zooals wij later zullen zien, diepe openingen

¹ Met zulke afmetingen moesten die vlekken met het bloote oog zichtbaar zijn: de eenige hinderpaal is de glans der Zon, welke men echter, zooals wij aangetoond hebben, verzwakken kan. Aan zulke verschijnselen moet men zeker de voorgewende overgang van Mercurius toeschrijven in het jaar 807: de zwarte vlek, welke men toen gedurende acht dagen waarnam, hield men voor de zwarte schijf van de planeet. In 840 meende men op die wijze Venus te zien, wel gedurende 91 dagen. Men kende toen de natuur dier verschijnselen nog niet; terwijl men zich tegenwoordig in dat punt niet meer bedriegt. Een tal waarnemers balen gevallen aan, waarin de vlekken ook zonder kijkers zichtbaar waren. In de maand Aug. 1612 zagen Gallilei en zijne vrienden eene vlek van 1' middellijn; zij was gedurende drie dagen zichtbaar. Eene met het bloote oog zichtbare vlek in 1779 gaf aanleiding dat W. Herschel de natuur der Zon begon te bestuderen. Schwabe, die, gedurende eene reeks van jaren, de zonnevlekken heeft gadegeslagen, heeft er zeer dikwijls gezien, die voor het bloote oog zichtbaar waren. De voornaamsten, zegt hij, vertoonden zich in 1828, 1829, 1831, 1836, 1837, 1838, 1839, 1847, 1848. Grootte vlekken noem ik dezulken die eene ruimte beslaan van 50"; dan eerst zijn zij zichtbaar voor goede oogen zonder telescoop. Den 28^{en} Juni 1868 was er op de zonneschijf eene vlek zichtbaar, die door Gilman, in New-York, beschreven is, en die hij noemt: spot visible to naked eye vlek, met het bloote oog zichtbaar.

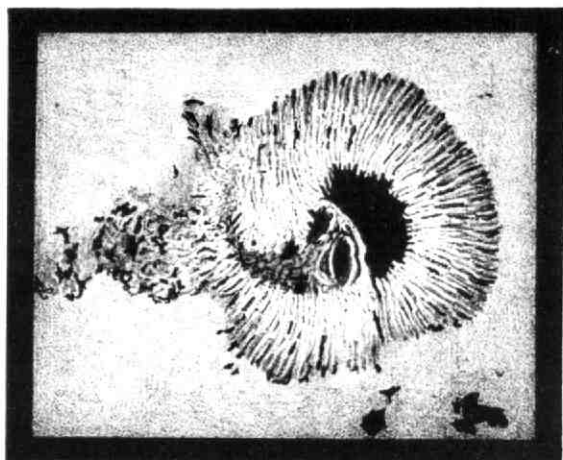


Fig. 1. Zonnevlek door Secchi waargenomen 25 Sept. 1865.

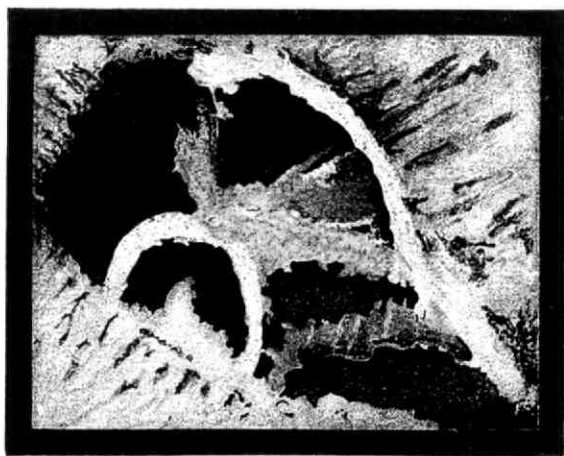


Fig. 2. Zonnevlek door Secchi waargenomen Febr. 1866.

zijn in het lichtgevend omhulsel der zon, dan zou de gansche Aarde in zulke reusachtige kolken gelijk zijn aan eene rots of een steen in den krater van een vulkaan.

Toen wij spraken over de omwenteling der Zon, hebben wij reeds opgemerkt, dat de vlekken niet blijvende zijn. Niet alleen ziet men hen ontstaan en ook weder verdwijnen; maar gedurende den tijd van verschijnen, welke ook zeer verschillend is, veranderen zij van vorm en afmeting. Ook ziet men dat zij zich op de schijf verplaatsen, meêgevoerd door eene beweging, welke hun eigen is, en niet voortkomt uit de omwenteling der Zon. Eenige dagen, ja eenige uren zijn dikwijls voldoende om de genoemde veranderingen waar te nemen. Plaat VI, Fig. 1 geeft ons de afbeelding eener vlek in October en Nov. 1839 waargenomen door Dawes, waarop men van twee tot twee dagen de veranderingen kan nagaan, zoowel in de kern als in de halfschaduw. Hoewel minder duidelijk vindt men er de draaiende beweging in, waarvan wij vroeger gesproken hebben.

Eindelijk geven wij in Plaat VI, Fig. 2 de veranderingen van de kern eener zonnevlek, door ons in de maand September 1870 24 uren na elkander waargenomen.

§ 2. Oppervlakte der Zon. — Beschouwing van het lichtomhulsel of photosfeer. — Porien of korrelingen, strepen der halfschaduw. — Wilgen bladen of rijstkorrels.

Wanneer men de Zon met een zwakken kijker beschouwt, schijnen die deelen der oppervlakte, waarop zich geene vlekken bevinden ons als eene effen gladde witte vlakte toe. Maar beschouwt men haar met een sterk vergrootenden kijker, dan vertoont zich de schitterende oppervlakte, welke men photosfeer noemt, met schitterende en donkere lijnen zoodanig doorploegd en doorkruist, dat zij gelijk is aan de ruwe oppervlakte van mat geslepen glas.

Die donkere punten en lijnen noemt men *poriën*; men bemerkt ze op alle deelen der oppervlakte, terwijl de vlekken en fakkels daarentegen slechts voorkomen in eene bepaalde streek aan weerszijden van den evenaar. Huggins wil er den naam *Korreling* aan geven.

De fakkels en de zwarte kernen hebben dat voorkomen niet en hunne tint is zeer gelijkvormig, maar als men de halfschaduwen met een sterk vergrootenden kijker onderzoekt, dan vindt men er eene

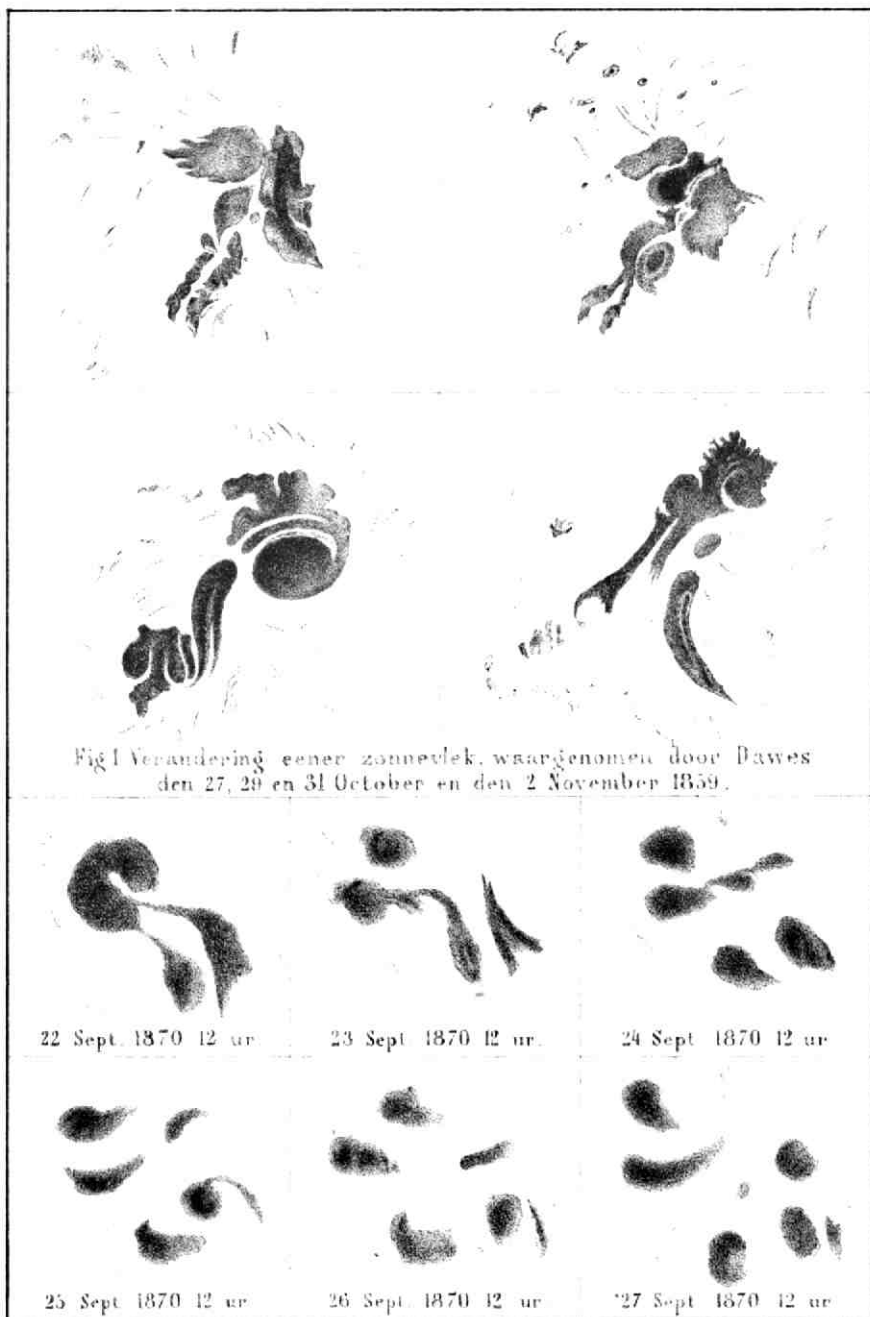


Fig. 1 Verandering eener zonnevlek, waargenomen door Dawes den 27, 29 en 31 October en den 2 November 1859.

Fig. 2. Verandering eener zonnevlek, waargenomen door den Schrijver Sept. 1870

grootte gelijkheid in met de gekorrelde oppervlakte der schijf. Het eenig verschil, dat men opmerkt is dat de poriën veel grooter zijn, zoodat het schijnt dat de lichtgevende deelen van de halfschaduw beter uitkomen op een donkerder grond. Om hun langwerpigen vorm geeft Nasmijth er den naam aan van *wilgenbladen*. Andere waarnemers, zooals Dawes, vergeleek ze bij het riet van een dak; Stone bij *rijstkorrels*.

Secchi, de directeur van het Romeinsche observatorium, beschrijft de oppervlakte aldus: de lichtende oppervlakte der Zon vertoont zich als een waar netwerk, bezaaid met witte punten meer of minder langwerpig en onderling gescheiden door donkerder mazen, terwijl de knopen dier mazen kleine donkere gaten schijnen te zijn. De halfschaduw der vlekken zijn vooral merkwaardig: daar vooral bemerkt men een groot aantal langwerpige lichtende voorwerpen, die door hunne plaatsing achter elkander, ons als eene soort vlecht- of breiwerk toeschijnen. Die plaatsing is echter niet immer dezelfde, daar zij in de halfschaduw niet altijd gescheiden zijn. 't Valt moeielijk iets te vinden waarmede wij het geheel kunnen vergelijken; men zou haast zeggen, het is gelijk aan eene hoop lange katoendraden van alle soort van vorm, soms verward en soms afzonderlijk en verspreid.

Plaat VII geeft ons eene juiste voorstelling van die zoogenaamde wilgenbladen in het binnenste der halfschaduw. Men bemerkt er al de bijzonderheden op van eene groep zonnevlekken. De kernen met hare tweevoudige tint, ééne donker zwart, alsof wij in de diepte van een afgrond zien, de andere minder donker schijnt op dat punt eene mindere diepte aan te duiden; rondom deze de halfschaduw geheel gevormd door die wilgenbladen in reien geplaatst, die op de kern uitloopen; zij schijnen met hunne meerdere of mindere schittering het vervolg te zijn der poriën, welke de oppervlakte bedekken. Eenigen, geheel afgezonderd, schijnen boven den afgrond te hangen, terwijl anderen, als draden ineengevlochten, eene soort van brug vormen om de twee hellingen met elkander te verbinden.

§ 3. Streek der vlekken. — Verdeeling der groepen volgens den breedtegraad. — Getal der vlekken; hunne duur en bepaalde verschijning. — Verband tusschen de vlekken en de temperatuur op Aarde en de storingen der magneetnaald.

De photospheer der Zon beschouwende ziet men overal, van den



ZONNEVLEKKEN.

Photosfeer — halfschaduw — kern,
door Nasmyth 1865 waargenomen.

evenaar tot de polen, dezelfde poriën of korrelingen; dit is echter niet het geval met de vlekken en de fakkels, welke zich alleen in eene bepaalde streek vertoonen aan beide zijden van den evenaar: de oudere waarnemers noemden die den koninklijken gordel, en plaatsten dien tussehen 30° noorder- en 30° zuiderbreedte. Later heeft men vlekken opgemerkt, die eene grootere breedte hadden, maar zij waren zeer zeldzaam.¹

De meeste vlekken vertoonen zich in de zonnestreek liggende tussehen 10° en 30° zoo wel noorder- als zuiderbreedte. In plaat VIII geven wij de plaatsing der door Carrington waargenomene groepen van 1853 tot 1861, daar kan men met een enkelen blik in ieder jaar hunne plaatsing en hun getal overzien.

Het getal dier vlekken is zeer verschillend; want op sommige tijden, (b. v. van 1660 tot 1671, van 1676 tot 1684, van 1695 tot 1700 en gedurende het jaar 1823) vertoonen zich geene of zeer weinige vlekken; terwijl andere tijden merkwaardig zijn om het groot aantal vlekken dat men waarneemt. Scheiner verhaalt dat in 1611 er 50 vlekken te gelijk zichtbaar waren. Later heeft Schroeter er 68 en zelfs 81 tegelijk gezien.

Het schijnt zeker te zijn dat er vaste tijden bestaan, waarin de vlekken het meeste voorkomen. Dit wordt vooral duidelijk uit de verschillende waarnemingen gedaan door sterrenkundigen, die eene bepaalde studie der vlekken hebben gemaakt, zoo als Schwabe, Wolf, Secchi, Warren de la Rue, Balfour, Stewart en anderen.

Wolf uit Zurich beweert dat elke vijf jaar het aantal vlekken zijn hoogste cijfer bereikt; ook elke elf jaren het aantal vlekken tot het laagste cijfer daalt, en die berekening volgende neemt men eene periode aan van elf jaar.

Of de zonnevlekken in zekere verhouding staan tot ons klimaat kan bevestigend beantwoord worden; tot hoeverre echter die invloed zich uitstrekt is niet juist aan te geven. W. Herschel hield zich het eerst met dat onderzoek bezig en vergeleek het jaarlijksch aantal vlekken met den prijs van het koor, daar hij van de onderstelling uitging, dat de warmte-uitstraling grooter was naarmate de vlekken

¹ Lalande zag in 1780 eene vlek op 40° breedte; Peters eene op $50^{\circ} 55'$ en Carrington teekent van de 972 vlekken, welke hij beschouwde van 1853 tot 1861 er maar ééne aan op 45° breedte.

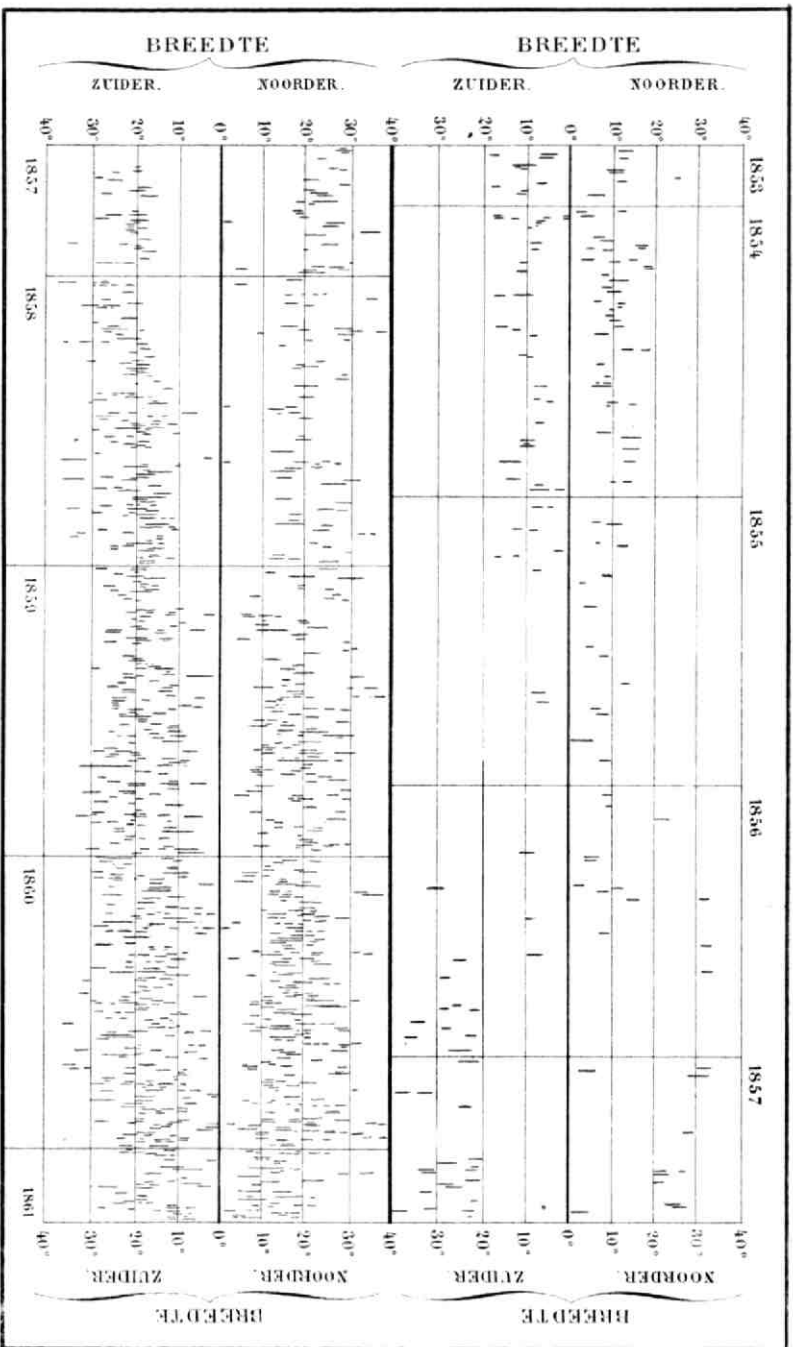
talrijker waren en dus op Aarde meer groeikracht moest te weeg brengen. Hij meende waar te nemen dat de prijs van het koorn duurder was op de tijdstippen, waarop de vlekken het minste waren: zulke vergelijkingen echter waren niet in staat een wetenschappelijk resultaat op te leveren.

Gautier, Arago en Barral hebben naderhand zich gegrond op de talrijke meteorologische waarnemingen en kwamen tot een resultaat geheel in strijd met dat van Herschel. Om echter eenig verband te vinden van de zonnevlekken met het klimaat op aarde, is het noodig de verschillende klimaten van een zeer groot aantal landen onder alle breedten met elkander te vergelijken.

Het verband tusschen de zonnevlekken en de storingen der magneetnaald is zekerder. Het is een feit, dat de Zon invloed heeft op de magnetische verschijnselen onzer Aarde. Om er zich van te overtuigen, merke men den invloed op, welchen de Zon bij hare opkomst uitoefent op de naar haar gekeerde pool eener vrij opgehangene magneetnaald, en nu hebben Wolf, Fritsen en Secchi waargenomen, dat de grootste storingen der magnetische krachten, welke men *magnetische stormen* noemt, en de talrijkste noorderlicht-verschijnselen, die zooals men weet ook een magnetischen oorsprong hebben, altijd samenvallen met de perioden, waarop de zonnevlekken het talrijkst zijn.

Warren de la Rue, Stewart, Loewy hebben hunne aandacht gevestigd op de bewegingen der planeten om de Zon, zooals Venus, Jupiter, Mars, en hebben waargenomen dat de vlekken steeds talrijker waren, wanneer de planeet zich in het vlak van den evenaar der Zon bevindt, en dat de vlekken zich dan dichterbij den evenaar vertoonden, terwijl zij er zich van verwijderden en meer de polen der Zon naderden, wanneer de planeet zich ook uit het vlak van den evenaar verwijderde. Carrington beweert echter dat die samenvalling zeer toevallig is, want dat die verschijnselen niet immer plaats vinden.

Het bestaan eener vlek op de Zon is zeer verschillend in duur. Sommige vlekken ontstaan om zeer spoedig weer te verdwijnen; andere blijven, hoewel in vorm veranderd, gedurende verscheidene omwentelingen der Zon bestaan. Arago spreekt van vlekken, welke hij gedurende 5 en 6 omwentelingen gadesloeg. In 1676 bemerkte men eene vlek, die gedurende 70 dagen zichtbaar bleef.



STAND DER ZONNEVLEKKEN

Volgens de breedte in de jaren 1837 - 1861 volgens Carrington.

IV.

PHYSISCHE EN CHEMISCHE AARD DER ZON.

§ 1. Massa en dichtheid der Zon. — Zwaarte der Zon.

Twee of drie eeuwen geleden kon men slechts meer of minder gegronde gissingen maken over de natuur der Zon en der vaste sterren; over hunne meerdere of mindere overeenkomst met onze Aarde, het eenige hemellichaam waarvan men iets met zekerheid kennen kon. De kijkers waren nog niet uitgevonden en de sterrenkundigen waren enkel bezig, de wetten op te sporen, waarnaar de planeten zich bewegen. Copernicus had het eerst het ware wereldstelsel ontdekt, dat later door Kepler, Gallilei, Huygens en Newton meer ontwikkeld werd. De uitvinding der telescoop gaf eene geheel nieuwe richting aan de sterrenkunde; want niet tevreden, dat men de bewegingen der hemellichamen had uitgelegd, hun onderlingen afstand berekend met hunne afmetingen en massa, wilde men nu meer weten van ieder lid van het zonnestelsel.

De verschijnselen, welke men opmerkte op de Zon en op andere planeten, deden hunne omwenteling ontdekken; maar die verschijnselen gaven aanleiding tot meer of minder waarschijnlijke gissingen over de oorzaak dier verschijnselen, en daardoor werd natuurlijk de vraag geboren naar de natuur der sterren, naar den physischen en chemischen toestand van de stof waaruit zij bestonden, naar het al of niet bestaan eener dampkring, of van stroomen overeenkomende met onze aardse luchtstroomen.

Door de gegevens van al die punten te verzamelen en ze te verbinden met die, welke voortkomen uit de omwenteling en omloop, met den afstand der Zon, zooals het verschil van dag en nacht, de opvolging der jaargetijden, de kracht van het ontvangen licht en der warmte is men er toe gekomen zich een begrip te vormen van de algemeene verschijnselen, welke op ieder der hemellichamen plaats grijpen.

Achtereenvolgens zullen wij verslag geven van de talrijke waarnemingen aangaande die punten, waardoor men in de laatste jaren de wetenschap heeft verrijkt.

Wij beginnen met de Zon.

Wij kennen nu reeds den afstand der Zon, hare afmetingen en den duur van hare omwenteling: de zonnevlekken, die zoo merkwaardige en geheimzinnige verschijnselen, hebben wij beschouwd. Voordat wij echter het veld der theoriën en hypothesen betreden, waardoor men die vormen heeft trachten uit te leggen, zullen wij eerst de stellige gegevens beschouwen, die van elke hypothese onafhankelijk zijn.

Eene is er, die een onmiddelijk gevolg is van de wet der zwaartekracht. Wij spreken n. l. van de zwaarte der Zon, vergeleken met de zwaarte der overige planeten, b. v. van onze Aarde. Dat een sterrenkundige de zwaarte der Zon kent, en weet te zeggen hoeveel aardbollen men in eene schaal zou moeten leggen om met de Zon in evenwicht te zijn, moet bij hen, die de samenstelling der hemelen niet bestudeerd hebben, zonder twijfel groote verwondering opwekken.

In het derde deel zullen wij trachten duidelijk te maken, dat er mogelijkheid is om tot zulke stoute uitkomsten te geraken. Voorloopig bepalen wij ons de uitkomsten der wetenschap te geven.

De massa der Zon vergeleken met die der Aarde is ongeveer 354,020 maal grooter, terwijl haar inhoud, zoo als wij vroeger zagen een millioen vierhonderd en dertien duizend vier honderd maal grooter is dan de omvang der Aarde. Zulks duidt reeds op eene mindere dichtheid. De stof dus, waaruit de Zon is samengesteld, weegt viermaal lichter dan de stof van onzen aardbol. Wanneer wij de dichtheid der Aarde voor eenheid nemen, dan krijgen wij voor de dichtheid der Zon 0,254; met water vergeleken is de dichtheid der Zon 1,44; de dichtheid van de meest vaste koolsoorten is 1,360 en die van phosphorus 1,77.

De Zon zou dus een weinig zwaarder wegen, dan een bol steenkool van omvang gelijk aan de Zon. Uitgedrukt in tonnen van duizend pond zou de zwaarte der Zon door het volgende getal worden uitgedrukt:

1,879,000,000,000,000,000,000,000.

Zulke getallen in hunne schrikwekkende grootheid spreken echter niet tot onzen geest en laten onze verbeelding onmachtig.

Wanneer op onze Aarde een voorwerp wordt losgelaten, dan valt het in het luchtledige met eene snelheid, die na eene seconde 9^m74 bereikt; de afstand echter, welke het doorloopen heeft, is de helft korter en bedraagt 4^m87. Die snelheid nu is de maatstaf voor de kracht der aardse zwaarte: zij hangt af van de massa der Aarde, die ver-

schillend is; ook hangt zij af van den afstand van het voorwerp tot het middelpunt der Aarde. Wanneer men nu dat element berekent volgens de veronderstelde massa en de afmetingen van het hemellichaam, dan krijgt men een getal, dat aantoont, hoe groot de snelheid zou wezen van een zwaar lichaam in zijn val op den hemelbol.

Op de Zon is die snelheid 28,46 maal grooter dan op onze Aarde; dat wil zeggen: de snelheid van een vallend lichaam op de Zon is 279^m28 . De afstand, in de eerste seconde doorloopen, is de helft, dus 139^m64 .

De lichamen wegen dus op de Zon meer dan 28 maal zwaarder dan diezelfde lichamen op onze Aarde; dat wil zeggen dat één pond op de Zon gelijk staat met 28,46 pond op onze Aarde.

De middelpuntvliedende kracht, die hare oorzaak heeft in de omwenteling van den bol, vermindert de zwaartekracht hoemeer men den evenaar nadert; op een punt van den evenaar is de geheele vermindering $\frac{1}{39}$. Op de Zon is de middelpuntvliedende kracht op den evenaar slechts het $\frac{1}{16708}$ van de zwaarte. De Zon moest nog 133 maal sneller omwentelen, dan stond de zwaartekracht met de middelpuntvliedende kracht gelijk en de lichamen hadden geen zwaartekracht meer; wanneer de Aarde 17 maal sneller omwentelde dan zou hetzelfde verschijnsel op Aarde bestaan.

§ 2. De Zon bron van licht, warmte en scheikundige werking. — Voeding der zonne-uitstraling.

Wat wij aanstonds in de zonnestralen opmerken is het licht, dat ons bestraalt en de warmte, die hen vergezelt, en behalve die twee verschijnselen is er nog een derde, dat zeer gewichtig is, namelijk de chemische werking, die zij bezitten.

Daarom onderscheidt men drie soorten van werkingen in de Zon en wel:

1^e het lichtvermogen, dat alleen op het gezicht werkt; 2^e het warmtevermogen, dat onverschillig op alle lichamen werkt; 3^e het scheikundig vermogen, dat zekere verschijnselen van verplaatsing in de deelen te weeg brengt: drie uitwerkselen van ééne en dezelfde oorzaak.

Wanneer wij de Zon beschouwen als licht- en warmtebron, heeft zij zulk eene wondervolle kracht, dat zij alles overtreft wat de stout-

ste verbeelding zich kan voorstellen: men kan die kracht dan ook alleen bij benadering schatten, welke maat echter verre van nauwkeurig is. De moeielijkheid, welke men ondervindt om het zonnelicht met eene bepaalde eenheid te vergelijken, maakt dat het bijna onmogelijk is om te bepalen of de glans der Zon duurzaam dezelfde is. De sterrenkundigen komen daarin overeen, de Zon onder de veranderlijke sterren te rangschikken, hoewel men hare veranderingen nog niet op eene nauwkeurige wijze heeft kunnen bepalen.

Volgens de waarnemingen van Wollaston en Bouguer, staat het lichtgevend vermogen der Zon gelijk met 70,000 waskaarsen op een meter afstand geplaatst. In dat geval veronderstelt men de Zon in het toppunt bij een helderen hemel, en dan is er alleen spraak van den lichtglans die op de Aarde valt; want de lagen der dampkring nemen op zijn minst nog twee tiende deelen der lichtkracht weg.

Vergeleken met de vonk eener galvanische batterij, uit 46 Bunsensche elementen bestaande, dan is het zonnelicht nog twee en een half maal sterker.

Uit de waarnemingen van Wollaston en Bouguer besloot Becquerel dat de inwendige lichtkracht der Zon ongeveer 180,000 maal sterker is dan die eener waskaars.

Huijgens schatte het zonnelicht gelijk aan 765 millioenmaal het licht van Sirius, die de helderste ster aan den hemel is. Wollaston echter schatte het veel hooger, en wel 20,000 millioen maal het licht van die ster. Hieruit zou volgen, dat, om de Zon te zien als een lichtend punt, zooals wij Sirius zien, wij 140,000 maal verder van de Zon moesten zijn dan de afstand is, waarop wij ons bevinden, en omgekeerd, wanneer Sirius zich op een afstand van ons bevond als de Zon geplaatst is, dan zou haar licht gelijk staan met 94 van onze zonnen.

Vergeleken met de Maan, wanneer zij vol is, dan is het licht der Zon 800,000 maal schitterender dan het maanlicht, (Wollaston) dat wil zeggen, dat om een helderen zommedag te verkrijgen de hemel verlicht moest zijn door 800,000 volle manen. Toch is dat getal nog verre beneden de waarheid; want bij eene totale zoneklips is het klein gedeelte licht, in onzen dampkring verspreid, toch nog veel sterker dan het licht der volle Maan, en het is zeer moeielijk om door een getal het verschil aan te geven van dat zwakke licht met de stralen der Zon.

J. Herschel, Pouillet en na hen verscheidene natuurkundigen, hebben de kracht der zonnewarmte op onze Aarde gemeten. Uit hunne waarnemingen en berekeningen volgt, dat de Aarde in den loop van een jaar eene hoeveelheid warmte ontvangt van meer dan twaalfhonderd quintillioenen *calorien*.¹

De Zon zendt hare stralen echter niet alleen op de Aarde af. Om dus de geheele kracht uit te drukken van hare uitstraling aan alle kanten, zou het bovengenoemde getal met 2150,000,000 moeten vermenigvuldigd worden.

Daaruit berekende Pouillet dat, wanneer die gansche warmtekracht aangewend kon worden, om eene ijslaag te doen dooien, welke de Zon omgaf, dan zou die warmte iedere minuut eene laag smelten van 10m80 dikte en in een dag eene laag van 17,000 meters.

Diezelfde zonnewarmte was volgens Tyndall in staat om in een uur 2900,000,000,000,000 kubieke meters ijskoud water te doen koken. Door een ander beeld uitgedrukt, is de warmte in één uur door de Zon uitgestraald gelijk aan de warmte, die ontwikkeld zou worden door de verbranding van eene laag steenkool van 27000 meters dik.

J. Herschel gebruikt de volgende vergelijking om aan te toonen welke kracht die warmtebron bezit, waarvan onze Aarde slechts $\frac{1}{2150000000000000}$ deel ontvangt. Wanneer een kolom ijs van 4120,000,000 vierkante meters grondslag en 310,000,000 meters hoog in de Zon geworpen werd, dan zou die kolom in ééne seconde gesmolten zijn, zonder dat de warmtekracht der Zon er iets door verminderen zou.

Om nog een voorbeeld te geven van die wondervolle warmtekracht veronderstellen wij eens, dat de warmtekracht veranderd werd in werktuigelijke kracht en gaan wij dan de kracht eens na, welke dat gering gedeelte dat onze Aarde ontvangt reeds zou uitwerken. In een jaar ontvangt iederen vierkanten meter op de oppervlakte onzer Aarde 2,318,157 *calorien*, dat is meer dan 23 millioen per hectare (bunder), dat is 9,852,200 millioen ponden.

De warmtekracht, op de oppervlakte van een bunder ontwikkeld, zou gelijk staan met 4163 paardekracht, en over de gansche Aarde 217,316,000 millioen paardekracht.

¹ Calorie is de warmte, welke noodig is, om het water één graad in warmte te doen stijgen.

De warmtekracht der Zon voor onze planeet zou dus gelijk zijn aan 543,000 millioen machines van 400 paardekracht, nacht en dag zonder ophouden doorwerkende.

Aan de photographie is het te danken, dat iedereen de werking kent der lichtstralen op het zilverzout: zij ontbinden en maken het zwart, en van zeer vele andere verschijnselen, die vaak onopgemerkt blijven, zijn die stralen de oorzaak.

Bunsen en Roscoe hebben bevonden, dat de chemische kracht der zonnestralen gemeten kan worden door een mengsel van waterstofgas en chloor, dat door de zonnestralen veranderd wordt in chloorwaterstofzuur. Hun onderzoek leverde de volgende uitkomsten.

De kracht der chemische uitstraling is zoo groot, dat zij in staat is om in ééne minuut eene laag chloorwaterstofzuur te bereiden ter dikte van 35 meters.¹

Wanneer dit gas in warmte werd overgebracht, zou die kracht meer dan 4000 maal het aantal calorïën geven door de warmte-uitstraling der Zon teweeggebracht, en hier boven zagen wij de verbazend groote hoeveelheid warmte, welke de Aarde in een jaar van de Zon ontvangt.

Bij de beschouwing van die verbazende uitstraling der Zon moet noodzakelijk de vraag opkomen: welke is de oorsprong van het licht en de warmte der Zon?

Hoe wordt die bron gevoed, die, wanneer men slechts den blijvenden toestand harer uitwerkselen in de historische eeuwen gadeslaat, onuitputtelijk schijnt?

Zal die bron niet verzwakken en eindelijk uitgeput geraken?

De gloeiing der Zon kan niet door eene eenvoudige verbranding te weeg gebracht worden; want de stof waaruit de Zon bestaat, is van dezelfde natuur, zooals wij verder zien zullen, als de stof van onze Aarde; terwijl het zeker is dat de chemische kracht dier stoffen niet voldoende is om de zonnegloeiing te onderhouden. "Wanneer de "Zon," zegt Tjindall, "een blok steenkool was, en zij bezat zooveel "zuurstof dat zij gloeien kon met dezelfde kracht van uitstraling als "nu de Zon bezit, dan zou zij in 5000 jaar geheel verteerd zijn,

¹ Onzê dampkring bezit echter eene groote storende kracht voor die chemische stralen; daarom zijn in de poolstreken de chemische stralen in evenredigheid veel sterker dan de warmte-stralen.

“en zoo de Zon van den anderen kant haar verlies niet kon aanvullen, “zou zij elk jaar meer dan een graad verkoelen.”

Men maakte vroeger de veronderstelling dat de wrijving der Zon in den ether het verlies harer warmte kon herstellen; maar wanneer de geheele kracht harer omwenteling in warmte overging, dan nog kon zij geen twee eeuwen hare zelfde uitstraling volhouden.

Een Engelsche natuurkundige, W. Thomson, stelde eene stoute, maar toch waarschijnlijker hypothese dan de bovengenoemde. Hij meende namelijk, dat de uitstraling der Zon gevoed werd door een onophoudelijken val, door een voortdurenden regen van meteoren op de Zon: de val van die lichamen moest noodzakelijk in warmte veranderen.

Dat er meteoren zoowel op de Zon als op de Aarde vallen is gemakkelijk aan te nemen, te meer daar de omvang der Zon wel in staat is zulke lichamen uit hunne baan te slingeren. Men heeft zelfs waarnemingen gedaan, welke die hypothese schijnen te bevestigen: zoo zagen b. v. Hodginson en Carrington, op twee verschillende observatoriën, op hetzelfde oogenblik, op de Zon, in de nabijheid eener vlek, eene heldere vlam zich ontwikkelen, die zij aan den val eener meteore, en de daaruit ontstane hitte, toeschreven. Maar om die voortdurende warmte uit te leggen, zou men moeten aannemen, dat er ieder uur, op elken vierkanten meter der zonneoppervlakte een meteor van een kilogram viel, dan zou in verloop van een jaar daardoor op de Zon eene laag gevormd worden van 10 meters dikte, wat voor ons echter niet merkbaar zou zijn; want eerst na 4000 jaar zou de Zon eene seconde zijn aangewassen, welke aanwas, met het oog op de onvolmaakte werktuigen der ouden, niet bemerkt zou zijn geworden.

De vermeerdering der massa echter is iets anders; want in verloop van een jaar zou die $\frac{1}{5000}$ zijn vermeerderd, en dan zou om de vermeerderde zwaartekracht der Zon de beweging der Aarde op hare loopbaan $\frac{1}{8}$ jaar vertraagd moeten worden, wat geheel en al in strijd is met de vaste wetten der sterrenkunde. Om die moeielijkheden te beantwoorden, nam men aan, dat de lichamen, die op de Zon zouden vallen, zich binnen de loopbaan der Aarde om de Zon bevinden en daardoor tevens oorzaak waren van het Zodiaklicht.

Die hypothese is echter onhoudbaar; want wij kennen een groot aantal op bepaalde tijden terugkeerende kometen, wier loopbanen in

hun perihelium die meteorostreek doorzweven: de komeet van 1843 doortrok zeker de zonne-atmosfeer en gaf door hare ontvlaming aanleiding tot die 63 graden lange staart; noodzakelijk moesten zij bij hun doorgang storingen ondergaan, wat echter door de waarnemingen geloofend wordt.

Die meteortheorie heeft echter ontegenzeggelijk de verdienste, dat zij de oorzaak en het beginsel der zonnewarmte uitlegt; en wel dat zij haar oorsprong heeft te danken aan de zwaartekracht, en die hypothese wordt thans voor de waarschijnlijke gehouden.

In den beginne, zoo redeneert men, was de stof, waaruit de Zon en de planeten bestaan, in een toestand gelijk aan de gasachtige nevelen, welke wij in verschillende streken des hemels ontdekken, en ons zonnestelsel is ontstaan uit de verdikking dier oorspronkelijke nevelvlek.

Wanneer wij nu aannemen dat zulk eene massa verdikt door zich samen te pakken in een centraal punt, dan brengt de onderlinge aantrekking en schok der deelen eene warmtetrilling voort en zal in het middelpunt eene aanmerkelijke warmte ontwikkelen.

De massa en de afstand waaruit de verschillende deelen de Zon naderden in aanmerking genomen, berekent men dat de oorspronkelijke warmte 500 millioen graden had.

De zonnewarmte, die wij tegenwoordig waarnemen, bevat slechts een zwak overblijfsel van die verbazende hoeveelheid warmte, die haar oorsprong in de zwaartekracht neemt.

Wanneer wij nu veronderstellen dat de Zon zich voortdurend meer samentrekt, dan is die val naar het centrum eene opwekking van warmte en daardoor eene aanvulling der verlorene krachten.

Deze theorie, dat de beweging dus de bron is, waardoor de Zon gevoed wordt, vindt eene heerlijke analogie met hetgeen onder onze oogen geschiedt. Wanneer men b. v. eene plaat ijzer met een hamer slaat, is het eerste wat wij waarnemen het geluid, veroorzaakt door de trilling of beweging in de deelen der plaat; wordt de plaat herhaaldelijk geslagen dan wordt zij warm, ja ten laatste gloeiend en verspreidt licht. Wanneer men een galvanische of elektrische stroom door een gespannen platina-draad doet gaan, doen zich dezelfde verschijnselen voor: wanneer de draad rood gloeiend is, dan vertoont zich in het spectrum enkel een roode straal, die niet ontbonden kan worden, en in gloeiing toenemende, doorloopt hij achtereenvolgens

de verschillende spectrale kleuren; alleen wanneer hij wit gloeiend is geworden, vertoont zich het spectrum met de zeven enkelvoudige kleuren; ook neemt men dan elektrische en magnetische verschijnselen waar, zoodat wij besluiten mogen dat even zoo als hier de beweging de bron is van al de waargenomene verschijnselen, zoo ook in de Zon de zwaartekracht of de beweging de eenvoudige wet is, waardoor de Zon in hare kracht blijft bestaan.¹

Hoewel de gesteltenis der Zon dus niet voortdurend denzelfden graad bezit, is dat verschil toch zoo gering, dat het eerst na duizende jaren merkbaar is. Na een tijdsverloop van vele millioenen eeuwen zal de Zon merkbaar zijn afgekoeld, en eens komt er een tijd, waarop de Zon niet meer in staat zal zijn het leven op de planeten te onderhouden.

Het is mogelijk, dat de Schepper der natuur reeds van den beginne af zoodanig alles heeft geregeld, dat een buitengewoon verschijnsel, de val b. v. van eene nevelvlek op de Zon, de werking der Zon hernieuwt. Wie weet of de orde, welke thans in ons zonnestelsel heerscht, er wel zal blijven heerschen. De geologie leert ons immers dat de tegenwoordige toestand niet altijd heeft bestaan en daar er een begin geweest is, waarom zou er dan ook geen einde wezen?

§ 3. Spectraal-analyse. — Ontleding der zonnestrallen. — Chemische kracht der Zon. — Heeft de Zon een dampkring? — Uitwassen (Protuberancen) der Zon. — Waterstoflaag rondom het lichtomhulsel der Zon.

De schitterende kleuren van den regenboog schijnen ons reeds uit te noodigen de samenstelling en den aard van het licht te bestudeeren. Lang echter duurde het, eer dat geheim onthuld werd. Men kende wel het driehoekig glas, *prisma* genoemd, en zijne eigenschap om alles te kleuren, maakten het tot een voorwerp van vermaak en spel.

Grimaldi was een dergenen, die het met het beste gevolg voor de wetenschap aanwendde. Hij liet een lichtstraal (fig. 7) door eene

¹ Secchi bewijst in zijn zoo schoon als geleerd werk *L'unité des forces physiques*, Paris 1869, dat alle krachten, die in de natuur werkzaam zijn, voortkomen uit de oorspronkelijke beweging, welke de Schepper aan de stof heeft geschonken. De wijze waarop de geleerde schrijver aan die zoo eenvoudige theorie het gansche mechanisme der natuur verbindt is eene studie van het hoogste belang voor de wetenschap.

kleine opening op een scherm in een donker vertrek vallen, en toen hij dien straal door een prisma ACB deed doorgaan, vertoonde zich een langwerpig beeld (p. p.) met dezelfde opvolging van kleuren, welke men in den regenboog bewondert: Rood, Oranje, Geel, Groen, Blauw, Indigo en Violet.

Zulk een beeld (p. p.) noemt men het SPECTRUM en de kleuren *prismatische* kleuren. Newton herhaalde die waarnemingen en

vond dat de lichtstraal uit zeven verschillende kleuren bestond en dat die kleuren enkelvoudig zijn, omdat wanneer een dier kleuren afzonderlijk met een prisma opgevangen wordt, zij niet verder ontbonden kan worden.

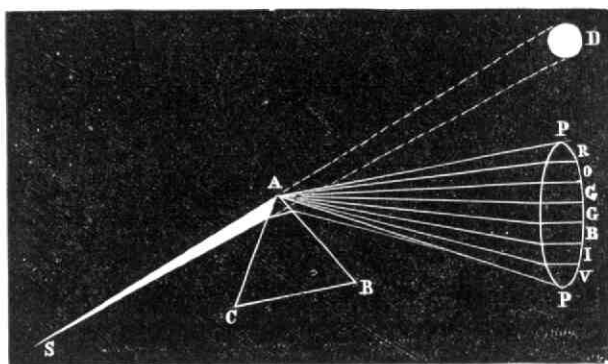
Wollaston was de eerste, die bemerkte, dat het kleurenspectrum afgebroken werd door zekere ruimten of zwarte strepen, die dwars het spectrum in verschillende deelen doorsneden.

Die ontdekking bleef voor de wetenschap echter onvruchtbaar totdat Fraunhofer die strepen begon te bestudeeren, ze afteekende en door nauwkeurige metingen hunne plaatsing bepaalde. Naar hem worden ze *Fraunhofersche strepen* genoemd: hij duidde de voornaamsten aan met de letters A B C enz.

Daardoor werd eene wetenschap geboren, *spectraal analyse* genaamd, die in staat is de grootste diensten te bewijzen bij de beschouwing der hemellichamen; want daardoor kreeg men juiste begrippen over hunne chemische bestanddeelen. Zulk een spectrum verkreeg men ook wanneer men het licht der Maan, der planeten, der vaste sterren, der nevelvlekken enz. door een prisma ontbond, en uit de groepeerings der strepen, welke zich in het spectrum vertoonen, besluit men tot de bestanddeelen, welke zich in de lichtbron bevinden; want door de verbranding van verschillende metalen, gassen, enz. kent men de strepen, welke zij in het spectrum te weeg brengen.

Naargelang van de lichtbron heeft men het spectrum in drie soorten gerangschikt.

Fig 7.



1. Het spectrum der eerste soort bestaat in een onafgebroken gekleurden band zonder duistere of schitterende strepen en komt voort uit vaste of vloeibare lichamen in een toestand van gloeiing. Zulk een spectrum geeft volstrekt geene aanduidingen over de chemische bestanddeelen der lichtbron, omdat er zich geene strepen in het spectrum vertoonen. Vergelijk Pl. IX, fig. 1.

2. In het spectrum der tweede soort vertoonen zich schitterende strepen, en daaruit blijkt, dat de bestanddeelen der lichtbron zich in een' gasachtigen toestand bevinden: de plaatsing en de kleuren dier strepen zijn voldoende om den chemischen aard der gloeiende bestanddeelen te kennen. Plaat IX, fig. 2 geeft er een paar voorbeelden van. De daarin opgenomen strepen wijzen op de navolgende bestanddeelen in de lichtbron.

De eerste streep in het Rood op A en de streep in het donkerblauw zijn de kenteekenen van *Potassium* (*ka*).

De streep in het rood tusschen B en C wijst op het bestaan van *Lithium* (*l*).

De streep in het geel op D duidt het *Sodium* (*na*) aan, zooals de streep in het lichtblauw tusschen F en G op *Strontium* (*sr*) wijst.

De dubbele streep in het donkerblauw tusschen C en H geeft ons *Barium* (*ba*) te kennen.

3. Het spectrum der derde soort, waartoe het zonnenspectrum behoort, bestaat in een gekleurden band, doorsneden met donkere strepen. Die strepen wijzen op het bestaan van dampen, waardoor de lichtstraal is heengegaan. Kirchhoff heeft aangetoond, dat de groepeering dier donkere strepen, die hun oorsprong verschuldigd zijn aan het absorbeërend vermogen van een bepaalden chemischen damp, streep voor streep overeenkomt met de schitterende strepen, welke het spectrum zou vertoonen, wanneer die damp waardoor de lichtstraal heengaat zeer gloeiend zou worden. Men noemt die verandering der schitterende strepen in donkere, te weeg gebracht door absorbeërende dampen, omgekeerd spectrum.

Na deze korte uiteenzetting der spectraal analyse zullen wij achtereenvolgens de resultaten geven, welke deze wetenschap tot nu toe heeft geleverd.

Het licht der Zon komt voort uit vaste of vloeibare stoffen in gloeienden toestand; wanneer de lichtstraal onmiddellijk ons oog trof, zonder door een absorbeërend midden heen te gaan, zou hij een spec-

trum geven der eerste soort zonder eenige strepen. De donkere strepen, welke men in het zonnenspectrum waarneemt, bewijzen dat er tusschen de photosfeer der Zon en ons oog een absorbeerend midden bestaat, chromosfeer genoemd, gevormd door dampen wier chemische bestanddeelen erkend worden uit de donkere strepen van het spectrum.

Wanneer men nu die donkere strepen vergelijkt met de schitterende strepen, zooals wij die waarnemen in het spectrum der tweede soort, en die veroorzaakt worden door chemische bestanddeelen in den toestand van gloeiend gas, dan ziet men dat er tusschen hen eene juiste overeenkomst bestaat.

Daaruit heeft men het besluit gemaakt dat de Zon rondom hare photosfeer eene damplag bezit, bestaande uit IJzer, Sodium, Magnesium, Calcium, Chromium, Nickel, Manganesium, Barium, Koper, Zink, Waterstof, enz.

Volgens Angström heeft men in het zonnenspectrum de volgende strepen kunnen opmerken:

Waterstof.	4
Sodium.	9
Barium.	11
Calcium.	75
Magnesium.	4 + (3?)
Aluminium.	2 (?)
IJzer	450
Manganesium.	57
Chromium	18
Cobalt.	19
Nickel	33
Zink	2
Koper.	7
Titaan	200

De strepen, die zouden aanwijzen dat er in de Zon ook goud, zilver en platina bestaat, heeft men tot dusverre niet opgemerkt; men kan echter niet besluiten dat die bestanddeelen zich niet in de Zon bevinden, omdat men waargenomen heeft, dat het bestaan van sommige stoffen de strepen van andere stoffen oplost: wanneer men b. v. de vlam van Chloor-strontiaan vermengt met chloor-koper ammonium, dan verdwijnt de blauwe streep van het strontiaan.

Secchi, steunende op de hypothese van Faye over de Zon, (waar-

1. Soort Spectrum van een *roete* gloeiende stof.



2. Soort Spectrum van een *gasachtige* gloeiende stof.



3. Soort Zonnespectrum.



A B C D E b F G H

over later,) geeft voor reden van het niet waarnemen dier metalen aan, dat zij om hunne zwaarte in eene te groote diepte der photospheer zijn gezonken.

Later zullen wij de uitkomsten nagaan, welke de spectraal analyse verkregen heeft, bij hare toepassing op de planeten, kometen, enz.

De spectraal analyse leert ons dus reeds dat er rond de Zon een dampkring bestaat. De nadere bewijzen voor dien gasachtigen doorschijnenden dampkring willen wij thans nagaan.

De sterrenkundigen en Secchi in de eerste plaats, vinden die bewijzen: 1^e in de absorbtie, welke de zonnestrallen ondergaan; 2^e in de verschijnselen, welke men bij totale zonsverduisteringen waarneemt.

Lucas Valerius had reeds opgemerkt, hoewel Galileï het ontkende, dat de Zon in het midden schitterender was dan aan den rand. Het beeld der Zon, in eene donkere kamer opgevangen, overtuigt er ons gemakkelijk van; de kleur van het licht is zelfs verschillend, in het midden wit en aan den rand donker rood, en dit verschijnsel verklaart ons dan de somber roode tint, waarmede de Zon bij zonsverduistering de voorwerpen kleurt; want dan verlicht zij alleen met haren rand.

Secchi, die met photometers de Zon onderzocht, kwam tot het besluit dat het lichtvermogen der Zon uit het midden en uit een gedeelte, dat 1 minuut van den rand verwijderd was, een verschil opleverde als van 1,0 tot 0,22. Om de roode tint is het moeielijk de punten, die nog dichter aan den rand zijn, te schatten.

2. Ook in de chemische uitstraling is een groot verschil waar te nemen: verschillende photographische proeven op de Zon genomen, bewezen dat bij eene eclips het midden der zonneshijf scherp was afgeteekend, terwijl men den buitensten rand nauwelijks kon onderscheiden. Eene nauwkeurige bepaling van de trapsgewijze vermindering dier chemische uitstraling is buitengewoon moeielijk en nog niet geschied.

3. Secchi heeft door herhaalde proeven met galvanometers bewezen, dat ook het warmtevermogen der Zon een groot verschil oplevert tusschen het middelpunt en den rand. Hij nam 100 tot eenheid voor de uitstraling in het middelpunt en verkreeg dan de volgende tafel voor de maand Maart:¹

¹ Het teeken + beteekent boven de middellijn der Zon en het teeken — beteekent onder de middellijn.

Afstand uit het middelpunt.	Warmtevermogen.
+ 14',90	57,39
+ 11',31	88,81
+ 1,77	99,48
midden 0,00	100,00
— 10,90	81,32
— 14,88	54,34

Uit die tafel volgt een tweeledig besluit: 1^e dat zoowel het warmte- als het lichtvermogen der Zon afneemt van het midden naar den omtrek en ten 2^e, dat de warmte niet gelijkelijk in de beide halfronden der Zon verspreid is, zoodat het noordelijk of bovenhalfrond der Zon meer warmte uitstraalt dan het zuidelijk halfrond.

Om dit laatste feit uit te leggen kan men drie hypothesen stellen: 1^e dat verschil heeft zijne oorzaak in den aardsehen dampkring; 2^e dat verschil is toe te schrijven aan eene toevallige oorzaak in de Zon; 3^e dat verschil is duurzaam in de Zon.

De eerste hypothese kan niet aangenomen worden, want men heeft twee punten waargenomen op denzelfden afstand ter weerszijden van de middellijn der Zon; eerst het onderste, en later toen de Zon gedaald was en het waar te nemen punt op dezelfde hoogte in de atmosfeer stond het bovenste. Bij de waarneming dier punten was er dus geen verschil in de hoogte van den dampkring, en nu kreeg men hetzelfde resultaat: het noordelijke punt was hooger in warmtekracht dan het punt onder den zonne-aequator gelegen.

De eerste hypothese vervalt dus, evenzoo de tweede; want herhaalde proeven, gedurende verschillende zonneomwentelingen genomen, leverden immer dezelfde uitkomst.

Het verschil tusschen noordelijk en zuidelijk halfrond is dus bestendig en heeft zijn oorzaak in de Zon.

Maar welke is nu die oorzaak?

Is die wellicht te vinden in de bepaalde plaatsing van den zonneaequator, die gedurende de eerste maanden des jaars (zie Fig. 6) voor ons oog in het noordelijk halfrond zich vertoont?

Om dit te onderzoeken vervolgde Secchi zijne proeven tot in de maand September, toen de zonneaequator zich in het zuidelijk halfrond vertoonde, en hij kwam tot de volgende uitkomst: tot aan de maand Augustus bleef steeds het bovenste halfrond in hoogere temperatuur dan het onderste; later en vooral in September was het

verschil echter juist tegenovergesteld, en het onderste halfmond was hooger in temperatuur dan het bovenste; zoodat de stand van den zonneaequator veel tot de hoogere temperatuur scheen bij te dragen en er invloed op uitoefent.

Secchi gaf voor September de volgende tafel, waar hij $17^{\circ},8$ tot eenheid aanneemt voor het middelpunt:

Afstand van het midden.	Warmte-uitstraling in graden.
+ 14',2	$10^{\circ},3$
+ 10',5	14,6
midden 0,0	17,8
— 10',5	15,48
— 14',2	10,4

Na vele proeven en onderlinge vergelijkingen der verschillen op de beide tijdstippen Maart en September, komt men tot het volgende besluit: 1^e. dat de temperatuur op den aequator der Zon het hoogste is.

2^e. dat het noordelijk halfmond iets warmer schijnt te zijn dan het zuidelijk halfmond der Zon.

Omdat nu de zonneuitstraling eene trapsgewijze aanzienlijke vermindering ondergaat van het midden tot den rand, waar die absorbtie het sterkste is, zoo volgt daaruit dat er eene absorbeerende dampkring om de Zon moet zijn, want de stralen aan den rand der zonneschijf moeten dikker nevelring doorgaan dan die uit het midden.

Thans komt de vraag: hoe groot dan wel de absorbtie is, welke de dampkring der Zon uitoefent op de stralen, die uit het midden komen, dus daar waar de dampkring het dunste is, en hoe groot wel de zonneuitstraling wezen zoude zonder dien ganschen dampkring.

Secchi beantwoordt beide vragen en komt tot het besluit dat in het midden der zonneschijf door den dampkring $\frac{2}{3}$ geabsorbeerd wordt, en dat, zoo de Zon geen absorbeerenden dampkring bezat, zij voor ons achtmaal heeter en schitterender zou stralen.

Door den wondervollen invloed van dien dampkring wordt eene al te groote en al te snelle verspreiding der zonnearmte tegengegaan; want zij blijft besloten binnen dien dampkring en bevordert de hooge temperatuur der Zon.

Die absorbtie brengt geen wezenlijk verlies teweeg; want zij vernietigt de uitstraling niet, maar houdt die tegen. Wat toch zou er van onzen aardbol worden onder eene zonneuitstraling, die achtmaal

sterker was dan de tegenwoordige: geen schepsel kon op onze planeet het leven bewaren.

Een tweede bewijs neemt men uit de verschijnselen, welke men het eerst bij totale zoneclipsen waarnam. (Zie hierover tevens het hoofdstuk, dat over de eclipsen handelt in het derde deel).

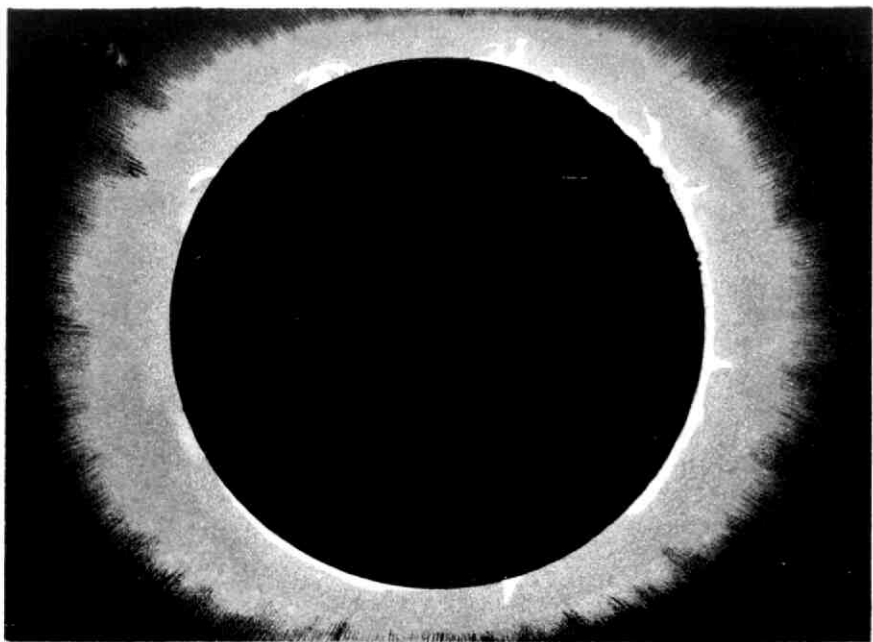
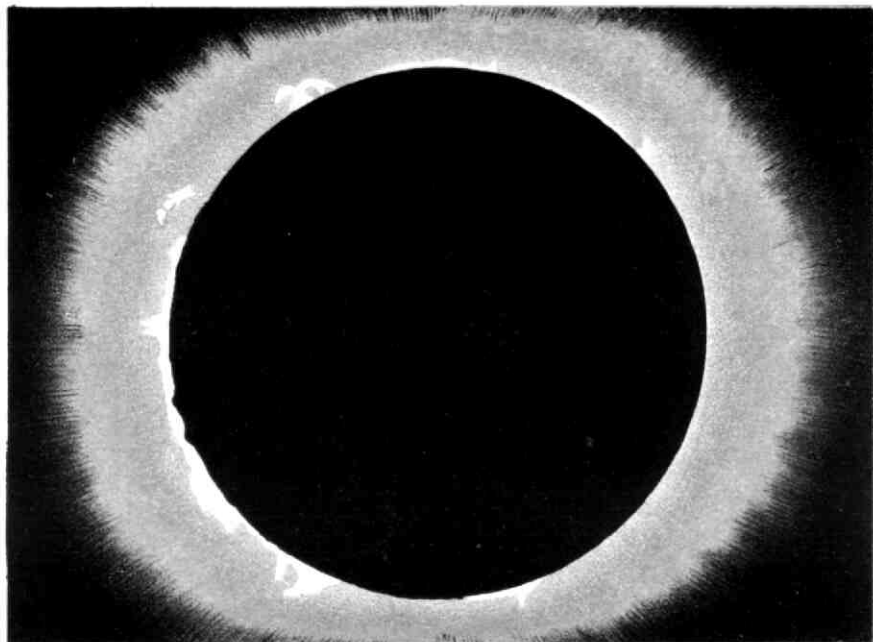
Gedurende de zoneclips van het jaar 1842 den 8 Juli, werd de aandacht der sterrenkundigen gevestigd, op zekere *uitwassen* gelijk aan reusachtige vlammen van rozeroode kleur, *protuberancen* genoemd, die zich om de schijf der maan vertoonden, toen deze de zonneshijf bedekte. De verwondering, welke die verschijning opwekte, was oorzaak dat er geene juiste waarnemingen gedaan werden en men dus in het onzekere bleef. Zie Plaat X.

Sommigen geloofden dat het bergen waren, welke veronderstelling echter niet rijmde met de waarnemingen van Arago; want eenigen van die gewaande bergen hielden zoo zeer over, dat het evenwicht onmogelijk was.

De meesten zagen ze aan voor vlammen of wolken. Anderen zoo als Faye, de Marquez, Felitzeh meenden dat het enkel gezichtsbedrog was. Men moest dus andere eclipsen afwachten om tot zekerheid te komen; want Wassenius in Gothenburg had den 2 Mei 1733 tijdens eene zonsverduistering ook wel eene soort van roode wolken waargenomen, die hij geloofde in den maandampkring te zweven; maar men wist niet juist of die tot de Zon of tot de Maan behoorden. Met ongeduld wachtte men de eclips van 1851 af, en toen werd het duidelijk, dat die uitwassen geene bergen waren; dat streed tegen hun vorm en men kwam nu tot de overtuiging dat zij tot de Zon behoorden; want zij vermeerderden aan dien kant, welke de maan-schijf verliet en verminderden aan den kant, waarheen de Maan trok. Nog was men het niet eens over die verschijnselen totdat de photographie bij de eclips in 1860 de zaak duidelijker maakte en naderhand bevestiging kreeg door de photographiën en de waarnemingen in 1868 gedaan.

Tevens heeft men door de *spectroscop*¹ het middel gevonden om

¹ Spectroscop is een werktuig, waarmede men het spectrum waarneemt, en bestaat uit eene smalle spleet, waardoor de lichtstraal valt, die men ontleden wil, daarachter een prisma of een stelsel van prisma's om den straal te ontleden en vervolgens een kijker om de lichtstralen in het oog te brengen.



Geen. 6. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

GASACHTIGE ZONNEUITWASSEN. (Protuberancen)
Waargenomen den 18 Juli 1860 bij totale zoneclips.

ook zonder eclips die uitwassen waar te nemen. Daardoor is men tot de volgende uitkomsten geraakt.

Dat de dampkring, welke de Zon omgeeft niet overal dezelfde hoogte heeft: zijn maximum is in de streek van den evenaar, zijn minimum aan de polen.

In dien dampkring zweeft eene gasachtige laag, waar die vlamme uitwassen uitschieten.

Waterstof is het voornaamste bestanddeel van de rozeroode laag, welke men bij de eclipsen waarneemt; hoewel zij toch ook andere bestanddeelen als Sodium en Magnesium bevat. Plaat XI geeft ons een duidelijk begrip van die protuberancen.

De dikte van dien dampkring wordt door Lockijer geschat op 8000000 meters, de oorzaak echter van die vlamme uitwassen is onbekend; wellicht is zij dezelfde, waaraan de vlekken en de fakkels hun ontstaan te danken hebben, want ook in de vlekken worden dergelijke roode vlammen waargenomen, en Jansen heeft tusschen de protuberancen en de vorming der vlekken een groot verband meenen waar te nemen.

Uit alle waarnemingen komt men tot de volgende besluiten:

1. De protuberancen vinden hunne oorzaak in de Zon en komen niet voort uit optisch bedrog.
2. De protuberancen zijn eene opeenhooping van lichtende stoffen.
3. Hun vorm is dan eens uitschietend uit de zonne-atmosfeer, dan eens in dien dampkring zwevend.
4. Rondom de Zon bestaat eene laag van dezelfde stof als de protuberancen, die daaruit hun oorsprong nemen.
5. Het aantal protuberancen is ontelbaar. De Zon schijnt ons toe omgeven te wezen door zulke uitstralende vlammen.
6. De hoogte dier protuberancen is zeer aanzienlijk, zoodat velen 10 maal de middellijn der aarde overtreffen.
7. De voornaamste bestanddeelen van die protuberancen zijn waterstofgas.

§ 4. Wat is de Zon? — Is de kern onder de photosfeer vast, vloeibaar of gasachtig? — Wat zijn de zonnevlekken? — Opgave der verschillende theoriën.

Door al het voorgaande bemerkt men reeds hoever men het gebracht heeft met de beantwoording eener vraag, die vroeger onop-

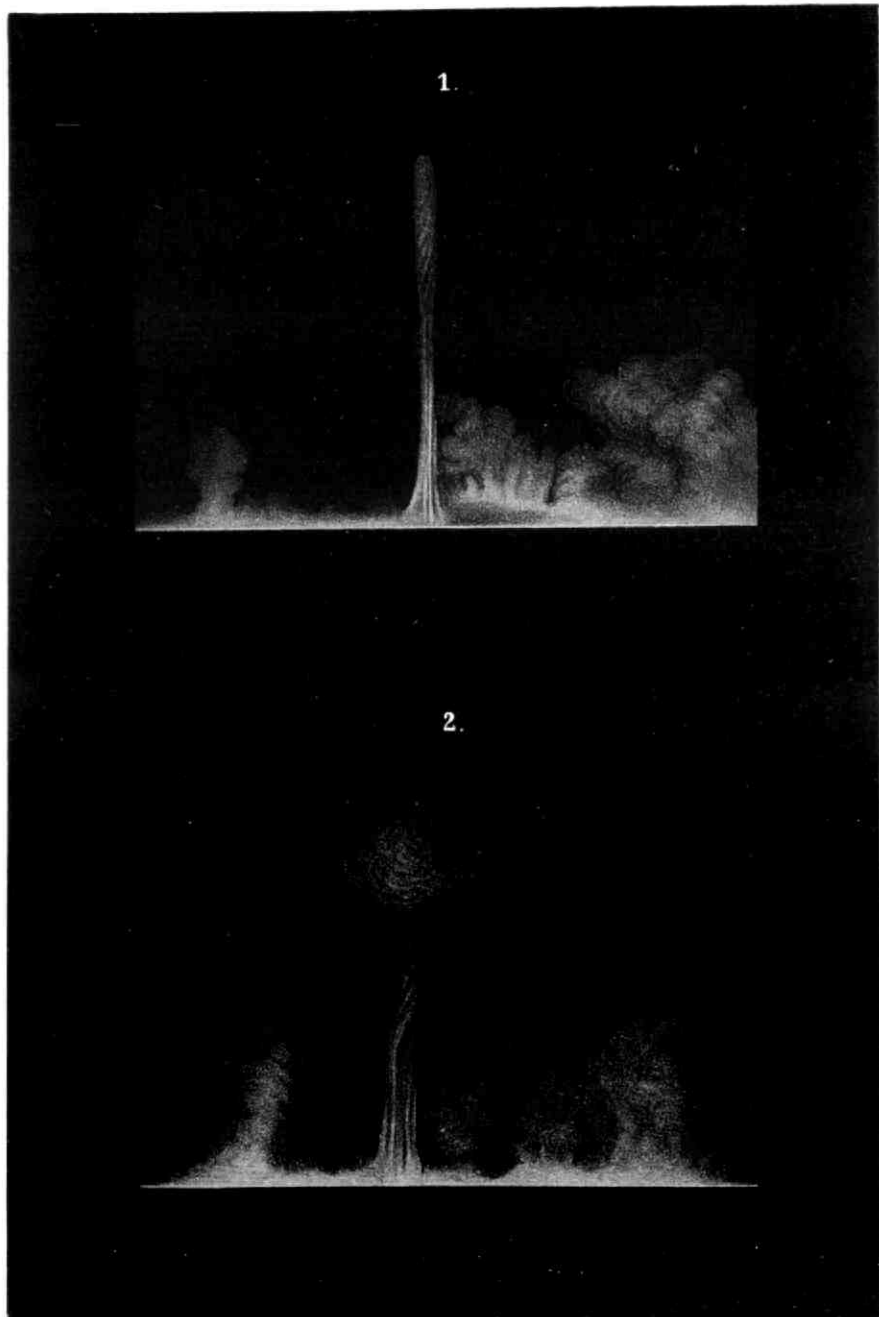


Fig 1. Gasachtige zonnenuitwassen, waargenomen door Zollner 29 Aug. 1869 om 10 uur 22 min.

Fig 2. Dezelfden om 11 uur 20 min.

losbaar scheen en toch van zulk een groot gewicht voor de sterrenkunde is :

“WAT IS DE ZON?”

Wij kennen de grootte en den afstand van dat middelpunt van ons zonnestelsel, hare massa en de dichtheid der stof waaruit zij bestaat. Wij kennen het jaarlijksch verlies, dat de Zon ondergaat in licht, warmte en scheikundige kracht, de chemische bestanddeelen waaruit zij bestaat zijn ons bekend, en hebben ons geleerd dat deze dezelfde zijn als waaruit onze aardbol is gevormd. Toch zijn er bij al die kennis, nog verschillende duistere zaken ter oplossing, van welken wij de voornaamsten behandelen willen; n. l. de uitlegging der zonnevlekken; daar dat punt nauw samenhangt met eene andere vraag naar den physischen aard van de zonnevlekken, dat is de massa der Zon binnen de photosfeer gelegen.

Is die kern vast, vloeibaar of gasachtig?

Hoe geeft men rekenschap in de verschillende daarover gemaakte hypothesen, over het ontstaan, den vorm en de beweging dier duistere vlekken, over de halfschaduw, de fakkelen, welke die vlekken vergezellen, en over de poriën, welke men in de photosfeer opmerkt?

Wij zullen een kort verslag geven van de voornaamste theoriën, welke men aanneemt om op die vragen een behoorlijk antwoord te geven.

De eerste theorie werd in 1774 door Alexander Wilson opgezet, en later door Bode, Michell, Schroeter, en vooral door W. Herschel gewijzigd en uitgewerkt.

De Zon bestaat, zoo meende men, uit een zuiver ronden, duisteren bol, uit zijn aard niet lichtgevend, die op verschillenden afstand door drie van elkander onderscheidene dampkringen omringd was. De eerste, het dichtste bij de duistere kern gelegen, werd gevormd door eene ondoorzichtige, terugkaatsende wolkachtige laag, die geen ander licht gaf dan wat zij zelf ontving. Op dat omhulsel volgde een tweede dampkring, die uit zijn aard lichtgevend was en uit gas bestond in een voortdurenden toestand van gloeiing, dat was de photosfeer die aan de Zon den bepaalden omtrek gaf, welke wij waarnemen.

De derde een doorzichtige door de photosfeer bestraalde dampkring omgaf de gansche Zon en bestond uit lagen, wier dichtheid afnam, naarmate zij meer van het centrale lichaam verwijderd waren.

Door die drie dampkringen aan te nemen meende men de vlekken en hare verschijnselen te kunnen uitleggen: men veronderstelde dat die vlekken veroorzaakt werden door eene geweldige verscheuring dier drie dampkringen, dan zag men in de diepten dier scheuren de donkere kern der Zon — dat was de duistere kern der zonnevlekken — op den kant of de helling dier diepten, zag men de eerste atmosfeer — dat was de halfschaduw — en de opeenhooping van de bestanddeelen der photosfeer veroorzaakte de fakkelen.

Plaat XII, Fig. 1 is voldoende om te doen zien op welke wijze de voorstanders dier theorie de verschillende vlekken met en zonder halfschaduw trachten uit te leggen. In den derden doorzichtigen dampkring zweefden nu de wolken of uitwassen, welke men bij zoneclipsen waarnam.

Wat aanstonds in die theorie onaanneembaar blijkt, is dat het grootste gedeelte der Zon vast, koud en duister blijft; bij den verbazenden warmtegraad der photosfeer is het niet te begrijpen dat die warmte zich niet heeft medegedeeld aan de inwendige lagen der Zon; terwijl het tevens niet uitlegt, hoe eene dunne laag als de photosfeer is, tot zulk eene verbazende warmte-uitstraling gedurende zoo vele eeuwen in staat is.

Wanneer de zonnevlekken overigens diepten zijn in de photosfeer, die haar ontstaan te danken hebben aan zekere uitbarstingen of uitstroomingen, dan is het onmogelijk dat de photosfeer vast of vloeibaar is, zoo als Kirchoff aanneemt, die de schepper is der tweede theorie.

De chemische samenstelling der Zon is volgens hem veel eenvoudiger dan in de eerste theorie. De gansche kern der Zon, die door de photosfeer ingesloten is, is eene vaste of vloeibare massa in gloeienden toestand, wier opgevangene lichtstralen een onafgebroken spectrum zouden geven zonder zwarte strepen, wanneer zij geen doorgang hadden door den met gassen vervulden dampkring, welke de Zon omgeeft.

Die dampkring is de oorzaak van de zwarte strepen in het spectrum, die overeenkomen met de spectra's der verschillende dampen. De vlekken beschouwt hij als wolken, opeenhoopingen van zeer verdikte dampen in een blaasachtigen toestand, daardoor worden de stralen der photosfeer onderschept en zij vertoonen zich als zwarte of grijze vlekken.

Deze twee theoriën strijden in zekeren zin met elkander. In de eerste is de photosfeer een gloeiend gas; in de tweede eene vaste of vloeibare stof evenzoo gloeiend.

Gene beschouwt de vlekken als diepten en deze als wolken en dus verhevenheden op de photosfeer.

Welke van die twee is nu de ware?

Beiden hebben wellicht iets waars, en daaruit is door Faye eene derde theorie opgesteld die men tegenwoordig voor de ware houdt.

Volgens hem is de gansche massa der Zon in een gasachtigen toestand, waarin echter rondom het middelpunt zich zekere lagen bevinden, verschillend in warmtegraad en in uitstralingskracht. De inwendige lagen bezitten zulk eene buitengewone hitte, dat de verschillende deeltjes zich in eene volslagene afscheiding bevinden, zoodat er geene chemische werking bestaan kan. De voortdurende afkoeling echter, welke er in de buitenste lagen plaats heeft, is oorzaak dat de krachten der verschillende deeltjes en atomen in werking komen en daardoor ontstaat de photosfeer als zoovele wolken van atomen, niet in zuiver gasachtigen maar toch in gloeienden toestand. Door de zwaarte dier deeltjes zinken dezen terug tot in de onderste lagen der Zon; terwijl hunne plaats ingenomen wordt door opstijgende gasachtige massa's; door die stroomen nu, die uit het middelpunt naar den omtrek gaan, en van den omtrek naar het midden ontstaat eene voortdurende wisseling tusschen het oppervlak der Zon en haar binnenste massa.

De vlekken, zegt Faye, zijn openingen, diepten in het gloeiende gasachtige omhulsel, wier ontstaan hij aldus uitlegt:

De op elkander volgende lagen worden, zooals wij zagen, doorloopen door opstijgende en nederdalende stroomen. In die voortdurende beweging kan men gemakkelijk begrijpen dat daar, waar die opstijgende stroomen meer kracht hebben, dan de lichtstof der photosfeer, deze wijken moet.

Secchi merkt op over het ontstaan der vlekken, dat reeds dagen te voren, daar waar eene vlek zal ontstaan, men eene groote beweging in de photosfeer waarneemt, die zich openbaart dan eens door fakkelen, dan weder door poriën of door eene verdunning van de lichtlaag. In de opening daardoor ontstaan ziet men dan niet de zwarte koude kern der Zon, maar de inwendige gasachtige massa, wier uitstralingsvermogen, vergeleken bij dat van de niet gasachtige



Fig. 1. Uitlegging der zonnevlekken, volgens de hypothese van Wilson.
 a a de photosfeer; b b b inwendige dampkring; A zonnevlek met kern en
 halfschaduw; B kern zonder halfschaduw; C halfschaduw zonder kern.

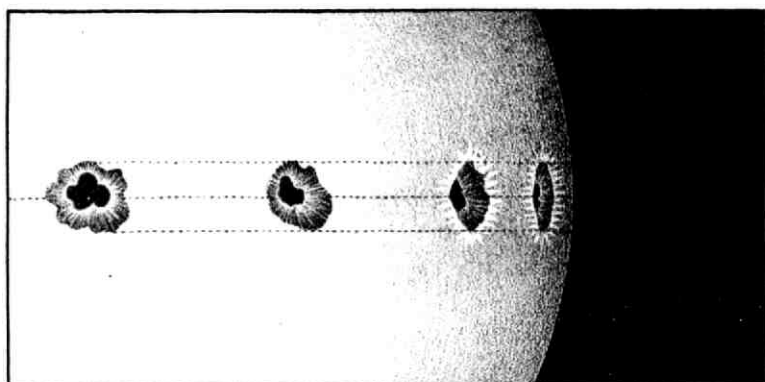


Fig. 2. Schijnbare verandering in den vorm eener vlek naar den rand.

Stroomde v. D. W. 1895

deelen der photospheer, zoo zwak is, dat het verschil daarmede zich duidelijk in de tint openbaart.

De zoogenaamde kern der zonnevlekken is dan ook nimmer zwart, maar in vergelijking met de photospheer duister.

Kirchhoff maakte tegen de theorie van Faye de objectie dat als de Zon uit gasstoffen bestaat, zij dan doorzichtig moet wezen, en als de vlekken openingen zijn, dan moest men door die openingen heen, op de tegenovergestelde zijde der photospheer zien, en zoo zouden de vlekken nooit zichtbaar wezen; maar die objectie vervalt, want als de opening der vlek gevuld is met eene absorbeerende gasstof, dan zullen wij wel die stof, maar nooit de tegenoverliggende zijde der photospheer zien.

Chacornac, Secchi, Stewart en anderen hadden opgemerkt dat de fakkels zich voor het grootste gedeelte achter de vlekken vertoonden met betrekking tot de omwenteling der Zon. Volgens Faye is dit een noodzakelijk gevolg der omwentelingsbeweging, omdat die lichtwolken zich boven de oppervlakte der photospheer verheffen, en zoo wordt ook het verschil uitgelegd van de snelheid der vlekken volgens hunne breedte, waarover wij vroeger handelden, een verschijnsel geheel en al overeenstemmende met hetgeen wij op aarde waarnemen, met betrekking tot de aequatoriale stroomen en de passaatwinden.

Voordat wij eindigen moeten wij de redenen opgeven, welke de voorstanders der eerste theorie hadden om de vlekken als diepten te beschouwen: redenen die ook thans voor de nieuwere theorie nog gelden.

Wanneer eene vlek door de omwenteling der Zon zich beweegt van den rand naar het midden, dan ondergaat zij in ons oog eene verandering. Aan den rand schijnt zij eene smalle streep te zijn, die langzamerhand langwerpiger wordt, en zich eerst in het midden der Zon in hare ware gedaante vertoont. Vanuit dat midden tot aan den rand waar zij verdwijnt, ondergaat zij, hoewel in tegenovergestelde orde dezelfde verandering.

Die verandering is enkel een gevolg der perspectief, die zeer natuurlijk hare verklaring vindt in den bolvorm der Zon. Wanneer de vlek eene diepte is in den vorm eener omgekeerde kegel, wier schuine zijde de halfschaduw vormt, dan moet gedurende de omwenteling haar vorm noodzakelijk veranderen. Dat gedeelte der halfschaduw, dat het naast bij den rand der Zon zich bevindt, zal zich het eerst aan ons

oog vertoonen, langzamerhand ziet men de kern of de grond van de diepte en eindelijk ook de halfschaduw aan de zijde van het midden der Zon gelegen. In de tweede helft van hare loopbaan zal eerst de halfschaduw aan de zijde van het midden der Zon verminderen en verdwijnen, daarna verdwijnt ook de kern en eindelijk ook de andere halfschaduw. Plaat XII, fig. 2 geeft van die veranderingen genoegzame verklaring.

Kirchhoff meende, dat de vlekken wolken waren, en legde die verandering van vorm op de volgende wijze uit: Wanneer zich op de photosfeer eene wolk had gevormd, werd die voor de omliggende deelen als een scherm; daardoor ontstond eene verkoeling in die gedeelten en de vorming eener lichtere wolk, die, de dichtere wolk omgevende, daardoor zich voor ons vertoonde als de halfschaduw. Die vlek in het midden der Zon gezien, schijnt zich in het midden van de halfschaduw te bevinden; maar meer naar den rand der Zon zich bewegend, zal het gedeelte der lichtere wolk aan de zijde van het midden der Zon met de duistere vlek ineensmelten, terwijl het andere gedeelte naar den zonerand zich grooter zal vertoonen.

De theorie van Kirchhoff laat echter een aantal feiten zonder eenige verklaring; zij geeft geen begrip noch van de fakkelen noch van de poriën: daardoor begrijpt men ook niet waarom dergelijke wolken in de poolstreken der Zon niet voorkomen, en waarom na het verdwijnen der donkere kern de halfschaduw nog voortduurt; zij legt het onderscheid niet uit van kernen zonder halfschaduw en van halfschaduw zonder kern.

Eén feit vooral is niet uit te leggen in de veronderstelling dat de vlekken wolken zijn, n. l. dat de vlekken altijd verdwijnen vóórdát zij geheel den rand der Zon hebben bereikt. Ten laatste als de lichtende kern der Zon vast of vloeibaar was, waarom geven de randen dan volstrekt geene aanduiding van gepolariseerd licht; wat toch noodzakelijk het geval moest zijn als de photosfeer eene vaste of vloeibare gloeiende zelfstandigheid was.

In het kort willen wij thans samenvatten wat wij van de Zon weten.

Wanneer wij de verschillende verschijnselen, welke de Zon ons aanbiedt, opmerkzaam nagaan, kunnen wij een blik werpen in de physische samenstelling van dien stralenden lichtbol, en zelfs vinden wij de sporen van zijne vorming in overoude tijden.

Die vlammeende hemelster, die thans de bron is van leven en de

oorzaak van de beweging der planeten, was eertijde misschien eene nevelvlek, gelijk aan die, welke wij thans nog in de diepte der hemelen waarnemen, en door hare afkoeling gaf zij het aanzijn aan hare planeten en hunne wachters. In haren schoot zetelt al de warmte, welke uit die verdikking en uit den val van hare verschillende deelen moest ontstaan.

Omdat die verbazende massa echter eene verkoeling ondergaat, zooals de planeten, die haar omringen, ondergaan hebben, zoo zal zij eenmaal beroofd worden van den glans, waarmede zij thans schittert. Zal er dan eene oorzaak gevonden worden, waardoor de oorspronkelijke toestand hersteld wordt? — Dat weten wij niet. De wereld heeft echter niet altijd bestaan, en niets bewijst dat zij altijd moet blijven voortbestaan.

De gasachtige toestand der Zon legt ons de verschijnselen uit, welke wij op hare oppervlakte waarnemen. Haar buitenste omtrek, waardoor zij in de hemelruimte uitstraalt, is daardoor aan verkoeling onderworpen en verliest dus zijn gasachtigen toestand: daardoor vormt deze om de Zon eene laag gloeiende dampen, welke wij *photosfeer* noemen.

Voor ons onbekende oorzaken drijven uit het midden naar de oppervlakte stroomen van die stoffen, waaruit de Zon bestaat en veroorzaken reusachtige openingen in het lichtomhulsel, waardoor de zonnevlekken ontstaan; het binnenste dier openingen is gevuld door eene sterk absorbeerende stof, welke de lichtstralen opvangt, die de Zon ons toezendt.

Dat lichtomhulsel wordt ingesloten door een kring van doorschijnende dampen, die volgens hunne specifieke zwaarte zich hooger of lager verheffen. Omdat het waterstofgas het minst dichte is, verheft dit zich het hoogst, of wel in den vorm van drijvende wolken of wel in den vorm van uitschietende vlammen, en dat zijn de roode protuberancien welke men bij totale zoneclipsen waarneemt. IJzer en kalk zijn de stoffen, welke men het meest waarneemt in de vlekken en de openingen der photosfeer.

De atmosfeer der Zon is zeer uitgestrekt. Zij heeft eene breedte gelijk aan een vierde van de middellijn der Zon; haar vorm is elliptisch; minder hoog aan de polen dan rondom den aequator der Zon.

De spectroscop leert ons, dat de stoffen, waaruit de Zon bestaat, geheel en al dezelfde zijn, als die, waaruit onze aarde is samengesteld.

Zie daar dan in het kort te zamen gevat de kennis, welke wij over de Zon bezitten. Die kennis is, wel is waar, onvolkomen; maar als wij bedenken, hoe snel de groote ontdekkingen aangaande die lichttoorts elkander hebben opgevolgd, dan moeten wij fier zijn tot een geslacht te behooren, dat grootere schreden op den weg der wetenschap gedaan heeft dan alle voorgaande geslachten. Het laatste woord is nog niet gezegd en hoewel de spectrometrie eene wetenschap is nog in hare kindschheid, over wier aanduidingen men geene voorbarige besluiten moet maken, zoo kunnen wij toch hopen, dat eene geduldige waarneming en met zorg uitgevoerde proeven de verschillende theoriën en hypothesen zullen toetsen, om veel wat thans nog duister en onzeker is, tot helderheid en zekerheid te brengen, om door al die kennis, glorie te geven aan Hem, die zijne woonplaats in de Zon heeft opgeslagen! In Sole posuit tabernaculum suum Altissimus.

TWEEDE BOEK.

DE PLANETEN.

Inleiding. — Omwenteling en omloop. — Richting dier beweging. — Ellips en hare eigenschappen. — Wetten van Kepler en hunne verklaring. — Wet van Titius. — Elementen der planetenbaan en hunne verklaring. — Verdeeling der planeten.

Rondom de Zon, die verbazende bron van licht en warmte, loopen op verschillenden afstand en in verschillende omloopstijden eene menigte ondergeschikte lichamen, waarvan ook onze Aarde er een is.

Vroeger hebben wij ze reeds opgeteld.

Die lichamen, dan eens alleen en dan weder in groepen, die in het klein het groote zonnestelsel afbeelden, vormen afzonderlijke werelden, wier afmetingen, afstand, beweging, vorm en physische samenstelling eene bijzondere studie en onderzoek vereischen.

Dat onderzoek zal ons thans bezig houden.

De talrijke verschijnselen, waarvan die werelden het tooneel zijn, en die door ons worden waargenomen, zullen ons niet alleen het samenstel en den bouw van het gansche Zonnestelsel doen kennen, maar veroorloven ons ook een blik te slaan in de bijzonderheden van ieder dier lichamen.

Wij zullen zien wat de machtigste telescopen ons leeren over hun vorm, de zichtbare vlekken op hunne schijf, en daaruit besluiten dat zij om eene as draaien; de lengte van dag en nacht op hunne oppervlakte, den vorm hunner loopbanen en den duur van het jaar voor ieder hunner zullen wij nagaan. Het verschil van klimaat zelfs, dat

op hen heerscht, zal ons gedeeltelijk geopenbaard worden door den hellingshoek van de as op de loopbaan, welke zij rondom de zon beschrijven.

Het bestaan der wachters of manen, die op vastgestelde tijden rondom de voornaamste planeten loopen, zal ons geen minder belang inboezemen, wegens de verschillende verschijnselen, welke zij daardoor op de planeten veroorzaken. Dan eens straalt de verlichte zijde dier manen op de planeet en schenkt helderheid aan hare nachten; dan weder veroorzaken zij eclipsen, wanneer zij de stralen der Zon beletten tot de planeet door te dringen; eindelijk begrijpen wij ook het verschijnsel der getijden, welke op hunne oppervlakte plaats hebben.

Op die reis door ons zonnestelsel zullen wij ook onze Aarde ontmoeten.

De studie der sterrenkundige verschijnselen, die haar en haren wachter betreffen, en het nauwkeurig onderzoek vooral van dien zoo dicht bij ons geplaatsten wachter, zullen ons vooral helpen, om zoowel de overeenkomst als het verschil te begrijpen van de verschijnselen, welke wij op verschillende planeten waarnemen.

Achtereenvolgens zullen wij de verschillende, wereldbollen beschouwen, welke om de zon loopen, en daarbij de orde van hunnen afstand volgen.

Vóórdat wij echter die reis beginnen en vóórdat wij de verschillende verschijnselen nagaan, welke iedere planeet bezit, en waardoor zij van elkander onderscheiden zijn, is het noodig ons eerst een juist begrip te maken van de kenmerken, die aan allen eigen zijn, en waardoor zij tot dezelfde orde behooren, en wel in de eerste plaats een juist begrip van de tweevoudige beweging, waaraan allen onderworpen zijn: van de beweging om de zon en van de beweging, waardoor iedere bol om zijne as draait.

Wij weten dat de Aarde een bijna ronde bol is, die met eene gelijkmatige snelheid om zijne as draait, waardoor hij in iets minder dan vier en twintig uren van het westen naar het oosten zijne omwenteling volbrengt. Die beweging is oorzaak dat het schijnt alsof de gansche sterrenhemel, zon en maan zich in eene tegenovergestelde richting bewegen. De zonnevlekken hebben ons reeds geleerd, dat ook de zon dezelfde beweging bezit rondom hare onveranderlijke as.

Met het bloote oog schijnen de andere lichamen van ons zonnestelsel lichtende punten, niet onderscheiden van de andere sterren; maar

door een telescoop beschouwd, vertoonen de voornaamsten zich als ronde schijven, en hen aandachtig waarnemende heeft men op hunne oppervlakte zich bewegende vlekken ontdekt, waardoor zoowel hun bolvorm als hunne omwenteling duidelijk wordt. Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus behooren tot dat getal. Wat de andere planeten betreft, eenigen zoo als Uranus en Neptunus zijn te ver van ons verwijderd, en de andere asteroïden zijn te klein, dan dat men met zekerheid hunne omwenteling heeft kunnen waarnemen: echter is het volstrekt niet twijfelachtig en de wetten der beweging maken het zeker, dat er op dit punt eene volmaakte overeenkomst bestaat tusschen al de planeten. Die overeenkomst vindt men ook bij de wachters: onze maan wentelt om hare as, zooals blijkt uit de waarneming; bij de wachters van Jupiter heeft men zulk eene beweging waargenomen, en wij mogen dus met grond vooronderstellen dat het evenzoo met de wachters der overige planeten is.

De assen der Zon, der planeten en van hunne wachters hebben ieder eene verschillende richting, welke zij ten naasten bij onveranderd behouden.

De tweede beweging is die van eene verplaatsing in de ruimte. Iedere planeet wentelt om de zon, zoodat het middelpunt der planeet rondom die Zon eene langwerpige ronde baan beschrijft; terwijl de Zon niet in het middelpunt van die baan, maar in een van hare beide brandpunten is geplaatst, zoodat de zon het middelpunt is van alle planetenbanen te zamen genomen.

De tijd, waarin die planeten hunne wenteling om de Zon volbrengen, verschilt voor ieder van hen, naarmate hun afstand tot de Zon grooter of kleiner is, volgens eene door Kepler gevonden wet, welke wij hierachter zullen nagaan. De wachters wentelen om hunne hoofdplaneet, zooals deze zich om de Zon beweegt.

Wat wij echter hier reeds in het oog moeten houden is de richting, waarin die hemellichamen zich op hunne baan verplaatsen.

De omwenteling der Aarde geschiedt van het westen naar het oosten.

Welke is nu hare richting in de jaarlijksche wenteling om de Zon?

De omwentelingsas der Aarde staat niet loodrecht op hare loopbaan, maar helt ongeveer 66° op dat vlak, met andere woorden, de omwentelingsas der Aarde maakt met het vlak van de loopbaan een hoek van ongeveer 66° , een der polen bevindt zich nu aan de éene zijde

van het vlak ¹ harer loopbaan, en de andere pool aan de andere zijde; want het middelpunt van den aardbol beschrijft de loopbaan. Vooronderstellen wij eens, om het duidelijk te maken, een waarnemer in het middelpunt der Aarde, dus juist in het vlak der loopbaan, met het gelaat naar de noordpool der Aarde, of wat hetzelfde is naar de noordpool des hemels gericht, dan zou hij zien dat al de punten der Aarde van de rechterhand naar de linkerhand draaiden. Voor hem dus is het hetzelfde of men zegt eene wenteling van de rechter- naar de linkerhand of van het westen naar het oosten.

Het vlak der loopbaan van de Aarde gaat juist door het middelpunt der zon. In de vooronderstelling dat dezelfde waarnemer zich in hetzelfde vlak en in dezelfde richting in het middelpunt der Zon verplaatst, dan zou hij ook de Zon om hare as zien wentelen van de rechterhand naar de linkerhand, dat is van het westen naar het oosten.

Diezelfde richting van beweging vindt men terug bij alle hemellichamen van ons stelsel: bij de wenteling der planeten om de Zon zoowel als bij de wenteling der wachters om hunne planeten; later zullen wij zien, dat wij eene uitzondering op dien regel ontmoeten bij de wachters van Uranus, die juist in tegenovergestelde richting om de planeet loopen.

Voor een beschouwer, die in het midden of met andere woorden in de Zon geplaatst was, zou onze planeet hare baan doorloopen van de rechter naar de linkerhand, dus ook van het westen naar het oosten.

Niets is, zooals men ziet, eenvoudiger en gemakkelijker dan de algemeene wet, welke de richting dier beide bewegingen bepaalt. Plaat XIII, waar het gansche planetenstelsel, met de onderlinge plaatsing der voornaamste planeten, is afgebeeld, zal het begrip der bewegingen, waarvan wij gesproken hebben, nog verduidelijken. ²

Wanneer het vlak, dat het middelpunt van iedere planeet om de Zon beschrijft, verlengd wordt, snijdt dat verlengde vlak het middelpunt der Zon.

¹) Om zich een duidelijk begrip van vlak te maken, verbeelde men zich een hoepel die de loopbaan der Aarde of van eene planeet vertegenwoordigt, terwijl de zon in het middelpunt geplaatst is. Wanneer de gansche binnenruimte van den hoepel met papier beplakt was, dan wijst de vlakke van het papier het vlak van de loopbaan aan, dat altijd door de zon gaat.

² In deze plaat zijn de loopbanen der planeten als cirkels afgeteekend, hoewel zij eigenlijk langwerpig rond zijn. De zon behoort ook niet in het midden te staan, zoo

De vlakken echter van die loopbanen hebben niet allen dezelfde richting; want vergeleken met de loopbaan der Aarde hellen zij in meerdere of mindere mate op die aardse loopbaan, waaruit volgt dat van iedere planeet de ééne helft harer loopbaan boven, de andere helft onder het vlak van de loopbaan der Aarde is. Het verschil en de helling dier onderscheidene loopbanen is op plaat XIII, fig. 2 afge- teekend.

Omdat die helling niet zeer groot is, zoo volgt daaruit, dat die planeten van de Aarde gezien, zich in eene bepaalde streek des hemels vertoonen, en wel in de streek, waar de Zon zich aan ons vertoont. Men noemt die streek ZODIAK of DIERENRIEM. Ons gansche zonnestelsel op den kant gezien, zou zich voor iemand, die zich buiten zijne grenzen bevond, vertoonen als een groep in een verlengden vorm, met de Zon als een helder stralend punt in het midden; (Zie Plaat XIII, Fig. 2) terwijl een aantal kleine sterren in verschillenden glans, de planeten met hunne wachters, zich aan weerszijden zouden vertoonen en bijna rechte lijnen zouden beschrijven.

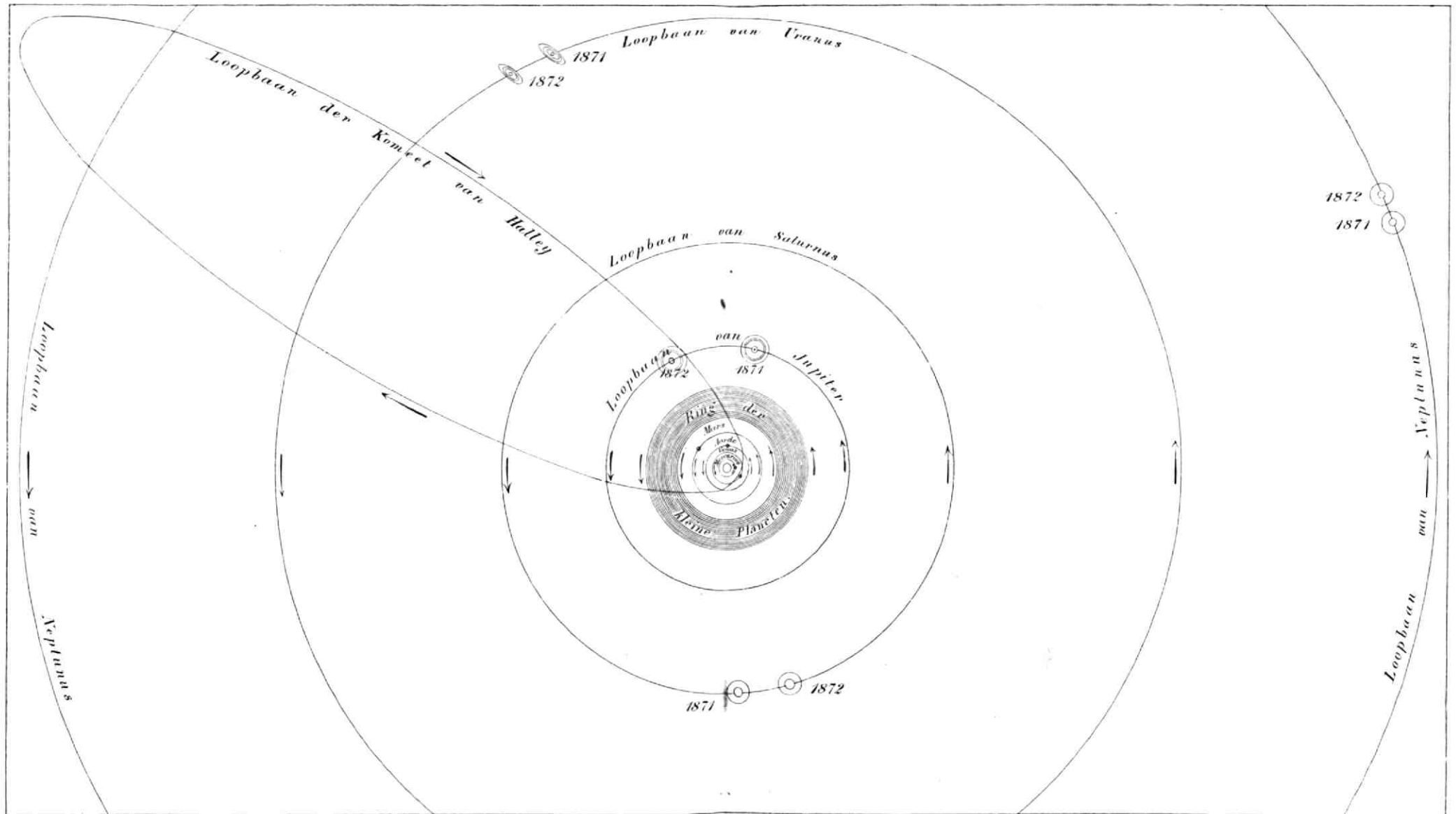
Toen Copernicus het ware wereldstelsel ontdekte van de verschillende bewegingen der planeten om de Zon, legde hij daardoor den grondslag voor de nieuwere sterrenkunde.

Gallilei bevestigde dat stelsel meer en meer en leverde er nieuwe bewijzen voor. Veel bleef echter nog in het duister; want over den vorm der loopbanen, over de snelheid der bewegingen op verschillende punten op die baan, over de betrekkelijke afstanden tot de Zon had men nog geen juist begrip; en toch waren die bepalingen onontbeerlijk voor den verderen voortgang der sterrenkunde.

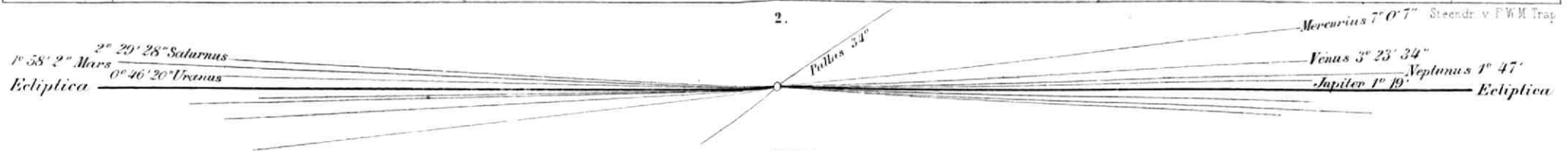
Lang bleef men echter niet in het onzekere, want aan het volhardend geduld en aan het genie van Kepler was het te danken, dat men tot de volledige oplossing dier zoo moeilijke vraagstukken geraakte.

Uitgaande van de veelvuldige waarnemingen, die zijn meester Tycho-Brahé had gedaan, kwam hij na 17 jaar van ingespannen studie tot de ontdekking dier wetten, waaraan het dankbare nageslacht zijn

als hier; maar het is ondoenlijk om op zulk eene kleine schaal dat verschil aan te duiden, vooral bij de planeten die het dichtst om de zon loopen. Fig. 10 zal dit gebrek verhelpen. De onderlinge afstand van het algemeene middelpunt is nauwkeurig aangegeven en dus ook de evenredigheid der onderlinge loopbanen. De plaatsing der planeten is de stand, welken wij op den eersten Januari 1871 en 1872 hebben genomen uit den *Nautical Almanac*.



2.



ZONNESTELSEL.

Fig. 1. Loopbanen der planeten. Fig. 2. Helling der planetenbaan op het vlak der Ecliptica.

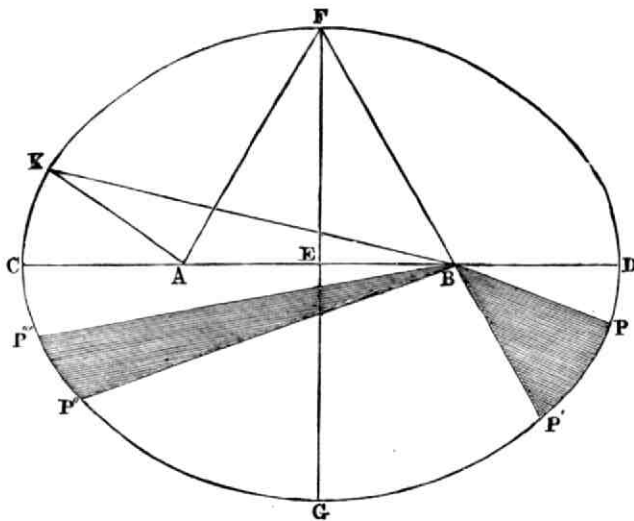
naam verbonden heeft. Die wetten willen wij thans beschouwen, om ons daardoor een juist begrip te kunnen vormen over het gansche planetenstelsel.

Wij weten dat de planeten rondom de zon loopen langs eene denkbeeldige lijn, die in zich zelve terugkeert en wier punten in een bepaald vlak liggen. Welke is nu de vorm van die loopbaan, en welke plaats neemt de Zon in dat vlak in?

Op die beide vragen geeft de eerste wet van Kepler het antwoord. Zij luidt: "Iedere planeet beschrijft om de zon eene ellips en de zon staat altijd in een der twee brandpunten dier ellips."

Wat nu is eene ellips?

Het is eene schuinsche niet door het grondvlak gaande kegelsnede. Zulk eene ellips kan men beschrijven door op eenigen afstand van elkander een paar pennen of spelden op een vlak te slaan; aan ieder der pennen knoopt men het einde van een draad vast, immer zorgende dat de lengte grooter is dan de ruimte tussehen de beide pennen. Nu beschrijft men met een potlood, dat men langs den gespannen



(Fig. 8.) Wetten der ellips.

draad doet voortgaan, eene lijn aan beide kanten der pennen: die ronde langwerpige, in zich zelve wederkeerende lijn is de ellips. De beide punten, waar de uiteinden van den draad aan gehecht waren, A en B,

(fig. 8), noemt men de brandpunten der ellips en den afstand van een brandpunt tot aan den omtrek noemt men den voerstraal of Radius Vector: de som van twee voerstralen uit de beide brandpunten naar eenig punt op den omtrek genomen is altijd even groot en wel gelijk aan de lengte van de groote as CD.

De groote as, ook wel apsiënlijn genoemd, is de lijn, welke door de beide brandpunten gaande, de ellips in twee deelen verdeelt; en de kleine as is de lijn, welke door het middelpunt der groote as gaande loodrecht op deze staat FG.

De afstand van een der brandpunten tot aan het middelpunt der groote as, noemt men de uitmiddelpuntigheid excentriciteit A E.

Uit deze waarheid volgt, dat als de planeet zich op middelbaren afstand der Zon bevindt, b. v. in F of in G, dat die afstand gelijk is aan de halve groote as, omdat de som der beide voerstralen AF en BF gelijk is aan de geheele lange as.

Tevens volgt daarnit dat als men de excentriciteit eener planetenbaan kent en eene der beide assen, men immer de andere as berekenen kan. Kent men b. v. door de uitmiddelpuntigheid den afstand der beide brandpunten A en B en tevens de lengte der groote as CD, dan heeft men uit het brandpunt A de halve lange as slechts te nemen op de lijn FG en men vindt de korte as.

Volgens de eerste wet van Kepler nu staat de Zon altijd in één der beide brandpunten van de elliptische planetenbaan. Staat de Zon b. v. in A en de planeet in C, dan heet zij te staan in haar *perihelium*, zonnenabijheid; staat zij daarentegen in D, dan heet zij te staan in haar *aphelium*, zonneverte; en in F of G, dan staat zij op middelbaren afstand.

Naarmate het centraal lichaam is, ontvangt de dichtste of verstand andere namen. Zoo spreekt men van onze maan in haar *perigeum* of *apogeeum*, dat is aardnabijheid of aardverte: evenzoo van de manen van Jupiter in hun *perijovium* of *apojovium*.

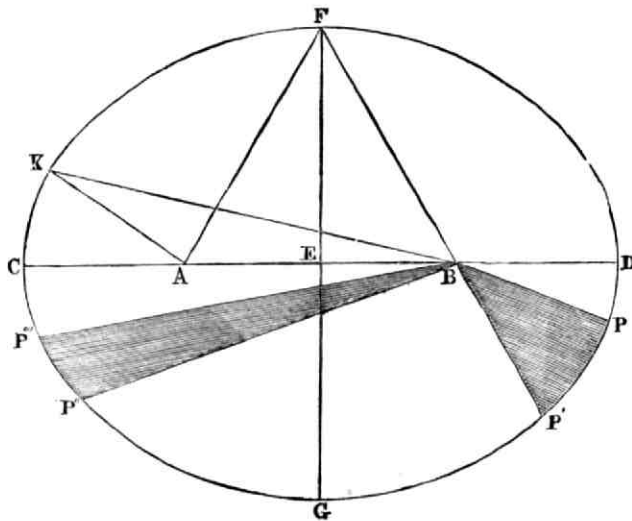
Dit zal voldoende zijn om de eerste wet van Kepler ten volle te begrijpen. De afmetingen der planetenbanen verschillen veel onder elkander en hun omtrek door de excentriciteit gemeten, geeft niet immer dezelfde uitkomsten. Eenigen, zooals die van de Aarde, Neptunus en vooral van Venus hebben zulk eene geringe excentriciteit, dat hunne banen bijna cirkelvormig zijn; anderen daarentegen zooals

die van Mercurius en van vele kleine planeten zijn zeer langwerpig en hebben dus groote excentriciteit. De kometen vooral beschrijven buitengewoon langwerpige ellipsen: inzonderheid de komeet van Halley heeft de grootst bekende excentriciteit. Zie Pl. XIII, fig. 1.

Uit de eerste wet van Kepler volgt dat de afstand van eene planeet met betrekking tot de Zon gedurende den tijd van haren omloop onophoudelijk verandert en grooter of kleiner is. Maar is de snelheid, waarmede zij op hare baan voortwentelt, op alle punten even groot of is deze ook veranderlijk?

Die snelheid is zooveel grooter naarmate zij dichter bij de bron van hare beweging, bij de Zon is; ¹ en nu leert de tweede wet van Kepler ons de verhouding, waarin die beweging door den afstand verandert. Zij luidt: de voerstraal van eene planeet doorloopt in gelijke tijden niet gelijke deelen der baan, maar gelijke vlakke uitgebreidheden.

Omdat de snelheid der planeet grooter of kleiner is, zal zij ook in denzelfden tijd een grooter of een kleiner gedeelte van hare baan doorloopen. De grootte nu van dat gedeelte harer baan heeft Kepler op eene merkwaardige wijze door die tweede wet bepaald. Nemen



(Fig. 8.) Wetten der ellips.*

¹) Uit de eerste wet van Kepler bewijst men, dat de aantrekkingskracht der zon zwakker werkt naarmate de afstand der planeet grooter is, niet echter in dezelfde

wij b. v. fig. 8. twee gedeelten, welke de planeet op verschillende tijden op hare baan doorloopen heeft, gedurende eene even groote tijdruimte, van p tot p' , en van p'' tot p''' , en trekt men nu de voerstralen van dat gedeelte der baan tot de Zon in B , dan zal volgens de tweede wet van Kepler, de vlakke inhoud, welke tusschen die voerstralen is gelegen, immer even groot zijn. De meetkunde bewijst ook dat de inhoud van $p'' B p'''$ even groot is als de inhoud van $p' B p$. Naarmate de driehoek in lengte toeneemt, vermindert zijne basis en omgekeerd. De snelheid der planeet vermindert of vermeerdert dus in omgekeerde reden van den voerstraal. Wordt deze langer dan is de snelheid kleiner, en hoe kleiner voerstraal hoe grootere snelheid, dat is, hoe grooter het gedeelte is, dat zij op hare baan doorloopt. Hoe verder de planeet van de Zon is, des te korter de boog op hare baan en des te langzamer hare beweging: in het aphelium is hare snelheid dus het geringste. Hoe dichterbij de Zon hoe grooter boog, hoe sneller beweging, en dus in het perihelium het snelst.

Die beide wetten vinden niet enkel hare toepassing op de loopbanen der voornaamste planeten, maar ook op de loopbanen der wachters. Zoo beschrijft de maan eene ellips rondom onze Aarde, die in één der brandpunten is geplaatst van de baan, welke de maan beschrijft, en de snelheid van onzen wachter is zoodanig, dat als men zijne loopbaan in deelen verdeelt, welke hij in gelijke tijdruimten doorloopt, men ook bevindt, dat alle driehoeken door de voerstralen gevormd, even groote oppervlakten hebben.

De derde wet heeft aan Kepler de meeste studie gekost. Abstracter van inhoud, is zij echter even eenvoudig in haren vorm. Zij is van het hoogste belang voor het goed begrip der astronomische kennis, en verdient al onze aandacht.

De beide eersten hebben tot voorwerp iedere planeet afzonderlijk beschouwd; maar de derde wet stelt de betrekking tusschen de verschillende planeten in het ware licht. Zij drukt het merkwaardig verband uit tusschen de afstanden der planeten tot de Zon en den tijd, dien zij behoeven, om hunne omwenteling rondom dat lichaam te volbrengen. Zij luidt: "De beide vierkanten (kwadraten) van

verhouding maar volgens het kwadraat van den afstand. Over de zwaartekracht echter, het ware levensbeginsel van de sterrenwereld, later in het derde deel van dit werk uitvoerig.

de omloopstijden van twee planeten staan tot elkander in dezelfde verhouding als de derde machten (kuben) van hunnen middelbaren afstand.”

De middelbare afstand der planeten van de Zon wordt steeds grooter van Mercurius tot Neptunus en hunne omloopstijden evenzeer. De verhouding nu van die omloopstijden met den middelbaren afstand, of wat op hetzelfde neerkomt, met de groote as ¹ der loopbaan leert Kepler ons door zijne derde wet.

De beide volgende kolommen bevatten den duur der omwenteling, uitgedrukt in middelbare dagen en de lange as der voornaamste planeten, uitgedrukt volgens eene lengtemaat, waarbij men de lange as der aardsehe loopbaan of het dubbele van den middelbaren afstand tot de Zon als eenheid neemt.

	Dag.	
Mercurius.	87.96926	0.3870988.
Venus	224.70079	0.7233322.
de Aarde.	365.25636	1.0000000.
Mars	686.97979	1.5236914.
Jupiter	4332.5848	5.202798.
Saturnus	10759.2198	9.538852.
Uranus	30686.8208	19.182639.
Neptunus.	60117.36	30.03386.

Wanneer men nu den duur der omwenteling met zich zelve vermenigvuldigt, krijgt men het vierkant. Wanneer men de lengte der groote as eerst met zich zelve vermenigvuldigt en daarna nog eens met de lengte der groote as, verkrijgt men de kuben of derde machten. Wanneer wij dit met de omwentelingstijden van twee planeten doen, en die door elkander deelen, krijgen wij hetzelfde quotient als wanneer wij van diezelfde planeten de kuben hunner assen door elkander deelden.

Laat ons Venus en Jupiter tot voorbeeld nemen.

Het vierkant van Venus' omloopstijd, wanneer wij alleen de twee eerste decimalen nemen is 50.490,0900, en het vierkant van Jupiters omloop is 18.771,249,4564. Wanneer dit gedeeld wordt door het vier-

¹ Sprekende over de ellips zeiden wij, dat de middelbare afstand gelijk is aan de halve lange as der loopbaan. 't Is dus hetzelfde of wij volgens die Keplersche wet de verhouding der omloopstijden nemen tot den middelbaren afstand, tot de halve of de geheele lange as.

kant van Venus' omloop, dan is het quotient 372. De derde macht van Venus' groote as is 0,378,450805, en de kubus van Jupiters groote as 140,835258.325: dit gedeeld door de kubus van Venus geeft tot quotient ook 372. Zoo is het met alle andere planeten, terwijl die wet ook van toepassing is op de wachters van Jupiter, Saturnus en Uranus.

Uit deze wet volgt eene gewichtige waarheid, n.l. deze: dat wanneer men den omloop der planeten kent, men gemakkelijk daardoor tot de kennis komt van hare baan en dus ook den middelbaren afstand tot de Zon kent; want als men den afstand maar kent van ééne der planeten, kent men dien van al de overigen. Alles komt dus neer op de juiste kennis van den afstand van eene der planeten, b. v. van de Aarde. Wanneer de omloopstijd en de groote as der Aarde bekend is, of met andere woorden, de middelbare afstand van de Aarde tot de zon, dan vindt men gemakkelijk de groote as of den afstand tot de Zon van de andere planeten. Wij kennen bijv. door observatie den omloopstijd van Venus; welnu, dan leert de derde wet van Kepler ons den afstand van Venus tot de Zon kennen, want de vierkanten der beide omloopstijden staan tot elkander als de kuben der middelbare afstanden. Wij hebben dus met weglating der decimalen de volgende eenvoudige berekening.

$$365^2 : 224^2 = 1^3 : X^3 \text{ dat is :}$$

$$133225 : 50176 = 1 : X^3 \text{ dus :}$$

$$X^3 = \frac{50176}{133225} = 0.3766.$$

De middelbare afstand van Venus tot de Zon is dus 0.3766; daarbij den middelbaren afstand of de halve as der aardse loopbaan tot eenheid genomen. De groote as is dus het dubbele, of 0.7532, welke getallen overeenkomen met de hier boven aangegevenen; het kleine verschil ontstaat uit het weglaten der decimalen.

Na Kepler vond Titius, prof. te Wittenberg, eene wet uit, welke zijn naam draagt, waardoor de afstand der verschillende planeten tot de Zon wordt uitgedrukt. Zij mag echter geene wet genoemd worden, omdat zij niet juist doorgaat op alle planeten en ook niet op wetenschappelijke gronden steunt. Zij is maar, zooals prof. Kaiser zegt, een eenvoudig hulpmiddel voor het geheugen, daar zij op eene merkwaardige wijze overeenstemt met de ware afstanden, zooals men uit het onderstaande zien zal.

PLANETEN.	Ware afstand.	Afstand volgens de wet van Titius.
Mercurius	3,871	4
Venus	7,233	7
Aarde	10,000	10
Mars	15,237	16
Kl. planeten	22,0—31,6	28
Jupiter	52,028	52
Saturnus	95,388	100
Uranus	191,826	196
Neptunus	300,338	388

Wanneer men bij de reeks getallen welke men verkrijgt door het dubbel van het voorgaande te nemen: 0, 3, 6, 12, 24, 48, 96, 192, 384 telkens het getal 4 optelt, verkrijgt men de afstanden volgens Titius. De laatste planeet verraadt eene zeer groote afwijking, maar hoewel de wet van Titius niet nauwkeurig is, heeft zij toch het hare bijgedragen om de in de reeks ontbrekende en vroeger onbekende planeten te ontdekken.

Later heeft Hinrichs uit het verband van Keplers wetten met de hypothese over de planetenvorming door La Place trachten te bewijzen, dat de wet van Titius het gevolg is van de voortgaande condensatie der oorspronkelijke nevelvlek; zoodat de getallen, die den afstand der planeten uitdrukken tevens den tijd aangeven, verlopen tusschen ieders vorming. Het kleine verschil, dat er bestaat tusschen de getallen volgens de theorie en volgens de waarnemingen, zoekt hij op rekening te schuiven gedeeltelijk van den weerstand der ether en gedeeltelijk van de storingen, welke de planeten elkander doen ondergaan. Het stelsel der wachters is volgens hem aan dezelfde wet onderworpen; maar voor de oudste planeten bestaat er grooter verschil in.

Wat er van zij, Hinrichs komt tot een gewichtig besluit; n. l. dat de wet der voortgaande condensatie nauw verbonden is met de derde wet van Kepler.

Dit zij hier genoeg, later zullen wij meer in het bijzonder die neveltheorie beschouwen.

Wat de wetten van Kepler ons leeren over de planeten met betrekking tot de Zon is echter nog niet voldoende, om de ligging van eene planetenbaan in het hemelruim te kennen.

Om die nader te bepalen worden meer gegevens vereischt. Men noemde die vroeger de elementen der baan, welke benaming zij ook thans nog behouden hebben. De kennis dier elementen is van het grootste belang voor de sterrenkunde; want bemerkt men dat de elementen van twee waargenomene planeten met elkander verschillen, dan besluit men daaruit, dat hunne banen ook verschillen en eene verschillende richting hebben; dit is vooral van nut bij de waarneming van kometen, die slechts na eeuwen terugkeeren en waarvan men zonder de kennis dier elementen nooit bepalen kon, of die kometen dezelfde of nieuwe zijn.

Om de baan van een om de Zon loopend hemellichaam te kennen, heeft men zeven verschillende elementen noodig,

1. De middelbare afstand van de Zon, of wat hetzelfde is, de halve of geheele lange as der baan.

2. De afstand van het brandpunt, waarin de Zon staat tot het middelpunt der groote as, met andere woorden: de excentriciteit der baan uitgedrukt in gedeelten der halve groote as, die men $= 1.00$ stelt.

3. De richting der groote as, of wat hetzelfde is, de lengte van het perihelium tot het voorjaars-evennachtspunt uitgedrukt in graden.

4. De epoche, dat is de middelbare lengte eener planeet, ten tijde van de berekening.

5. De periode der planeet of de omloopstijd, gemeten in gewone zonnedagen.

6. De lengte van den klimmenden knoop, dat is het punt waar de loopbaan der planeet, den eeliptica of de loopbaan der Aarde doorsnijdt, gemeten in graden van het voorjaars-evennachtspunt.

7. De helling van den loopbaan der planeet op het vlak van den eeliptica, of wat hetzelfde is, op de loopbaan der Aarde.

De vijf hier eerst opgenoemde elementen hebben enkel betrekking op den vorm der elliptische loopbaan en op de beweging der planeet op die baan, de beide laatstgenoemde elementen doen ons de ligging der baan kennen.

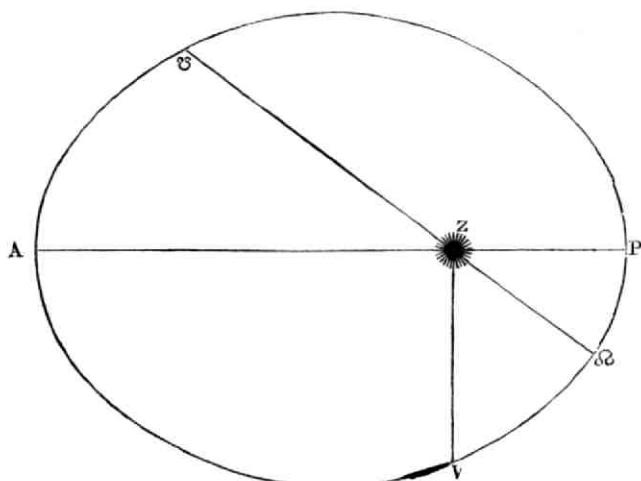
Voor zoo verre noodig, geven wij tot duidelijkheid nog eene korte verklaring van een paar der opgenoemde elementen. Wat de halve as en de excentriciteit betreft, deze hebben wij hierboven, sprekende over de ellips, genoegzaam leeren kennen.

De lengte van het perihelium vereischt eene korte verklaring. Vooraf merken wij op, dat men eene tweevoudige wijze gebruikt om den

stand van een hemellichaam aan te geven, de *Breedte* is de afstand van den ecliptica of de loopbaan der Aarde, en de *Declinatie* is de afstand van den aequator des hemels of van het vlak van den aardsehen aequator. Breedte en declinatie kunnen dus ten noorden en ten zuiden zijn. Om den verderen stand te bepalen heeft men een bepaald punt vastgesteld aan den hemel, namentlijk den eersten hemelmeridiaan, en dat punt is het voorjaars evennachtpunt, dat is het punt, dat de Zon den 21 Maart bereikt, wanneer zij juist in het verlengde vlak van den aardsehen aequator staat, en daardoor op Aarde even lange dagen als nachten veroorzaakt. (Zie verder hierover III de aarde § 3). De afstand nu van het hemellichaam van dien eersten hemelmeridiaan, noemt men de *lengte*, gemeten langs den ecliptica, en als men dien afstand meet langs den hemel-aequator noemt men dit *rechte opklimming* of *Rectascensio*.¹

Om nu de baan der planeet nauwkeurig te kennen, moet men weten waar aan den hemel het punt is, waar de planeet in het perihelium staat, en nu meet men den afstand van den eersten hemelmeridiaan of van het voorjaars-evennachtpunt.

A P is de groote as der planetenbaan in wier ééne brandpunt zich



(Fig. 9.) Elementen der planetenbaan.

¹ Wanneer wij van eene plaats op Aarde spreken, bepalen wij hare lengte en hare breedte; de *lengte* is de afstand langs den aequator gerekend van den eersten meridiaan, welke door de Engelschen gerekend wordt over Greenwich te loopen, en door de Franschen over Parijs. Soms neemt men voor eersten meridiaan ook wel den denkbeeldigen cirkel, loopende over de piek van Teneriffe naar de Noordpool. De

de Zon Z bevindt. V is het voorjaars-evennachtpunt en P het perihelium van de baan, dan drukt de hoek P Z V de lengte van het perihelium uit of den afstand van P tot V.

De epoche, het tijdstip der waarneming, kan willekeurig genomen worden; men neemt gewoonlijk 1 Januari en dat oogenblik noemt men epoche, om daaruit, als het begin der beweging, de middelbare lengte te berekenen eener planeet voor elk gegeven tijdpunt.

De vlakken der planetenbanen vallen niet samen met het vlak van de aardsche loopbaan. Fig. 2, Pl. XIII toont ons de richting van hunne banen met betrekking tot den ecliptica; de planeet volbrengt dus een gedeelte van hare loopbaan boven en een ander gedeelte onder het vlak van de loopbaan der Aarde en haar baan doorsnijdt dus op twee punten het vlak van den ecliptica; die beide punten nu, waar de planetenbaan den ecliptica doorsnijdt, noemt men knoopen. Wanneer de planeet, op het snijpunt zijnde, ten noorden boven het vlak der aardsche loopbaan rijst, dan heet zij te staan in den klimmenden knoop (ϑ) en gaat zij onder dat vlak ten zuiden, dan heet zij in den dalenden knoop (δ). Nu bepaalt het zesde element het punt, waar de planeet boven het vlak van den ecliptica rijst, altijd wederom geteld van het voorjaars evennachtpunt; dus de hoek V Z ϑ (zie de vorige figuur) bepaalt het lengtepunt van den klimmenden knoop. De denkbeeldige lijn, welke de beide knoopen vereenigt, noemt men de knooplijn, en omdat die lijn altijd door het middelpunt der Zon gaat, is, als men de lengte van den klimmenden knoop kent, de lengte van den dalenden knoop ook bekend, want die ligt juist een halven cirkel, dat is 180° verder; ligt de klimmende knoop bijv. 129° van het voorjaars-evennachtpunt, dan ligt de dalende knoop $129^\circ + 180^\circ = 309^\circ$ van het voorjaars evennachtpunt. ²

breedte is de afstand van de plaats tot aan den aequator: zoo ligt bij voorbeeld Leiden op $0^\circ 17' 57'' 5$ lengte van Greenwich en $52^\circ 9' 28'' 2$ noorderbreedte van den aequator. Diezelfde bepaling gebruikt men, als men van de hemellichamen spreekt, maar noemt het dan *Rectascensio* RA, rechte opklimming, en *Declinatie* D, afwijking. Zoo staat bijv. de vaste ster Sirius ongeveer RA 150° en D 13° , dat wil zeggen die ster staat 150 graden van het punt, waarop de Zon zich in het voorjaars-evennachtpunt bevindt en 13 graden ten noorden van het vlak van den aardschen aequator. De graden worden geteld van het westen naar het oosten, juist volgens de wenteling der Aarde.

² Dit is met betrekking tot de Zon en dus de *heliocentrische* plaats; wanneer men de Aarde als middelpunt denkt, dan noemt men het *geocentrisch*.

Wanneer men de beide knooppunten heeft gevonden, kent men daaruit ook de meerdere of mindere helling, dat is den grooteren of kleineren hoek welken de planetenbaan maakt met den ecliptica.

Om dus de beweging eener planeet te bepalen, moet men zeven onbekenden zoeken, of juist zes; want volgens de derde wet van Kepler staan de omloopen in juiste verhouding met den middelbaren afstand of de halve lange as. Kent men dus den middelbaren afstand, dan kan men daaruit de periode of den omloopstijd berekenen.

Eene nadere oplossing en berekening dier elementen valt buiten het doel van dit werk, dat slechts beschrijvend en verklarend is.

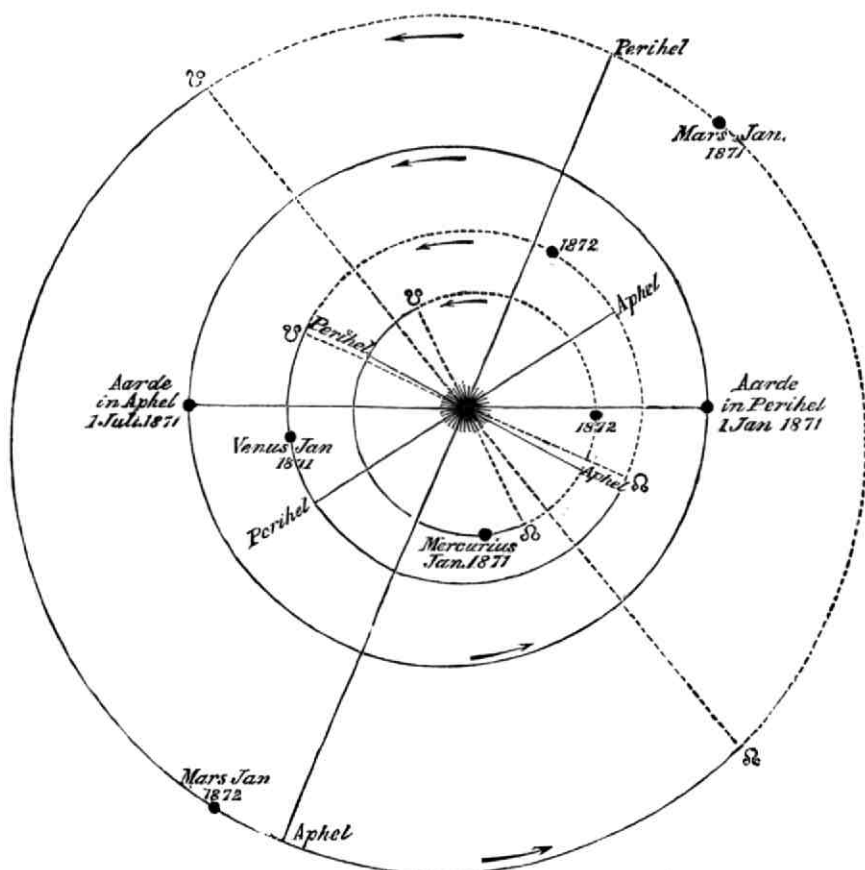


Fig. 10.

Fig. 10 stelt ons den loop der vier middelmatige planeten voor in hunne onderlinge ware afmetingen. De gedeelten der loopbanen, die onder den ecliptica en dus in den dalenden knoop zijn, zijn door volle

lijnen afgebeeld; de gedeelten, die boven den ecliptica en dus in den klimmenden knoop zijn, door afgebroken lijnen. De stand der vier middelmatige planeten is, zooals zij dien hadden den 1 Jan. 1871 en hebben zullen den 1 Jan. 1872.

Nadat wij de groep dier hemellichamen, die ons het meeste belang inboezemen, omdat onze Aarde er een deel van uitmaakt, in algemeene trekken hebben geschetst, zullen wij ieder afzonderlijk beschouwen, en met hulp van de waarnemingen der nieuwste sterrenkundigen, hunne eigene bewegingen beschrijven en hunne inzigste samenstellingen naspeuren.

Wij zullen daarin de orde volgen, waarin zij tot de Zon staan en beginnen met Mercurius en Venus, die binnenplaneten genoemd worden, omdat hunne loopbanen binnen de loopbaan der Aarde liggen. De anderen noemt men buitenplaneten, omdat hunne loopbanen buiten de onze zijn gelegen. Die verdeeling is echter met betrekking tot onze Aarde genomen; eene andere, meer in de natuur der planeten gelegen, is die, waarvan wij vroeger reeds melding maakten, n. l. de vier middelmatige planeten, de ring der 112 ¹ kleine en de groep der 4 groote planeten. In die orde zijn zij ook van de Zon geplaatst.

² Sedert de uitgave van het eerste stuk der sterrenwereld ontdekte Dr. R. Luther eene nieuwe planeet tot de planetoïden behoorende, den 12 Maart 1871, welke dus de 113 is en den naam Amalthea heeft ontvangen.

ALGEMEEN OVERZICHT VAN DE ELEMENTEN DER VOORNAAMSTE PLANETEN.

I.

PLANETEN	Halve grootte as der Loophaan.	Excentriciteit.	Lengte van het Perihelium.	Lengte van den klimm. Knoop.	Helling op den Ecliptica.	Middelbare lengte der Epoclie.	OMLOOPTIJD.			Afstand van de Zon		Onwente-ling.	Snelheid van een punt op den acuator in meters.	Afplatting.			
							Siderisch.	Tropisch.	Synodisch.	in miljoenen Geogr. mijlen.							
										groots.	Kleins.						
Mercurius	0,3870988	0,2056048	0° 7' 13,9	0° 1' 54,3	0° 7' 0	0° 7' 15,204	Dagen. 87,96926	Dagen. 87,96843	jaar dag uur	0 115 21	9,65	6,36	31	11	24 5 28	179,96 onb.	
Venus	0,7233822	0,0068483	129 27 14,5	75 19 52,3	3 23 34,8	245 33 14,7	824,70079	224,69544	1 218 16	15,06	14,86	36	5	29 21 22	461,92 onb.		
Aarde	1,0000000	0,0167703	100 21 21,5	—	100 46 43,5	365,25636	365,25636	365,25636	1	21,03	20,83	23 56 4	23 56 4	—	465,17 1/299	—	
Mars	1,5236914	0,09382611	333 17 53,7	48 23 53,1	1 58 2,3	83 40 31,3	686,97079	686,92972	2 48 23	34,45	28,57	55	8	24 37 23	246,55	1/14	
Jupiter	5,202798	0,0482388	11 54 53,1	98 54 20,5	1 18 40,3	160 1 20,3	4332,5848	4330,5936	1 33 15	112,80	102,41	134	81	9 55 27	13050,77	1/10	
Saturnus	9,538852	0,0559956	90 6 12,0	112 21 44,0	2 29 28,1	14 50 40,6	10759,2198	10746,9487	1 12 20	208,33	186,24	229	165	10 29 17	10627,14	1/10	
Uranus	19,182639	0,0465775	168 16 45,0	73 14 14,4	0 46 29,9	28 26 41,5	30086,8208	30587,2094	1 4 4	424,89	378,27	436	357	—	—	onbekend	
Neptunus	30,053856	0,0091740	50 16 39,1	1130	7 45,3	1 47 0,9	334 36 29,6	60117,36	59736,26	1 2	5 626,89	615,46	648	594	—	—	onbekend

NAMEN.	Muss in deelen der Zon.	Schijnbare middellijn uit de Aarde.	Ware middellijn.	Vergel. met de Aarde.	in Geogr. mijlen.	Oppervlakte		in de Zon be-gepen.	in deelen der Aarde.	inhoud kubieke mijlen.	in de Zon be-gepen.	Dichtheid.	Verhoud. tot de dichth. v. water	Een pond op aarde weegt op.	Valhoogte in de eerste sec.	De verminder. der zwaartekr. door de omwent. bedr.	Warmte en licht.	Middelbare dagelijksche beweging.
						in deelen der Aarde.	in mil-lioenen											
Mercurius	1/343650	17,26	12,9	0,390	670	0,16	1,41	82930	0,06	157	238810000	1,403	7,97	0,55	2,66	1/411	6,67	14732,5273
Venus	1/41150	0,86	22,96	65,2	1666	0,94	8,72	13410	0,91	2420	1553400	0,956	5,43	0,92	4,51	1/588	1,91	5767,8074
Aarde	1/354020	1,00	17,14	—	1719	1,00	9,28	12350	1,00	2659	1413400	1,000	5,68	1,00	4,87	1/539	1,00	3548,3504
Mars	1/399800	0,12	6,14	25,6	938	0,30	2,76	42330	0,16	432	8739000	0,737	4,19	0,40	1,97	1/256	0,43	1886,6559
Jupiter	1/10479	338,00	38,34	50,7	20004	129,3	1199,8	97	1469,8	3908200	962	0,232	1,32	2,29	11,23	1/11	0,037	299,2661
Saturnus	1/35016	18,00	21,5	15,5	17214	93,6	869,0	135	905,9	2408800	1561	0,112	0,64	0,83	4,09	1/16	0,011	120,5923
Uranus	1/20000	17,00	4,28	4,79	8226	21,4	198,5	589	98,9	263060	14290	0,173	0,98	(0,75)	3,67	—	0,003	42,3707
Neptunus	1/35000	18,00	2,54	2,7	7653	19,8	184,0	635	88,3	234710	16016	0,203	1,15	(0,90)	4,45	—	0,001	21,4503
Zon	1	354020	1926,5	1891,23	193030	12593	116920	1	11413700	3759100000	1	0,254	1,44	28,46	139,64	1/46700	—	—

■.

I.

MERCURIUS. §

§ 1. Mercurius met het bloote oog gezien. — Zijne periodieke omwenteling en schijnbare beweging ten oosten en westen van de Zon. — Apollo. Mercurius bij de ouden. — Uitlegging dier schijnbare beweging: Conjunctie. — Stilstand en achteruitgang van Mercurius. — Synodische omwenteling. — Siderische omwenteling. — Duur, vorm en afmetingen der loopbaan. — Afstand van de Zon. — Snelheid. — Afstand van de Aarde.

Wanneer de hemel helder is en de dampkring aan den horizon zuiver, ziet men soms na zonsondergang eene heldere ster in den gloed van het avondrood fonkelen. Haar schijnbare afstand van den horizon, die eerst zeer gering was, vermeerdert elken avond, doch zóó dat die nooit grooter wordt dan 30 graden.

Die ster is de planeet Mercurius.

Wanneer men haar op de daarvoor gunstige avonden, eenige dagen na elkander gadeslaat, bemerkt men dat zij allengs meer tot de Zon nadert, zoodat zij ten laatste in den verblindenden glans der Zon onzichtbaar wordt, en tegelijk met haar ondergaat. Eenige dagen daarna ziet men vóór zonsopgang dezelfde ster zich uit den glans ontwikkelen, dagelijks vroeger opkomende en hooger boven den horizon stijgende, echter niet hooger dan zij zich in het westen boven den horizon verhief. Langzamerhand schijnt zij op hare schreden terug te keeren en de Zon te naderen, totdat zij zich op nieuw in den zonneglans verliest.

Mercurius volbrengt dus eene volkomene slingering om de Zon, wier duur, zooals wij aanstonds zullen zien, voor ons een verschil oplevert tusschen honderd zes en honderd dertig dagen.

De ouden, die het ware wereldstelsel niet kenden, werden door die dubbele verschijning van Mercurius, dan eens vóór zonsopgang en dan eens na zonsondergang, bedrogen; en zij meenden dat er twee onderscheidene sterren bestonden, welke zij noemden Apollo, God van den dag en het licht, en Mercurius, God der dieven. Ook de Indianen en de Egyptenaren gaven hem twee namen: Set en Horus bij de eersten, en Boudha of Raühineya bij de anderen. De meer nauwkeurige opmerkers bemerkten echter, dat er

steeds maar ééne der beide sterren zichtbaar was, en dat de duur van het zichtbaar zijn van de eene, ongeveer gelijk stond met het niet zichtbaar zijn der andere, zoodat het besluit dat het dus eene en dezelfde ster moest wezen, voor de hand lag.

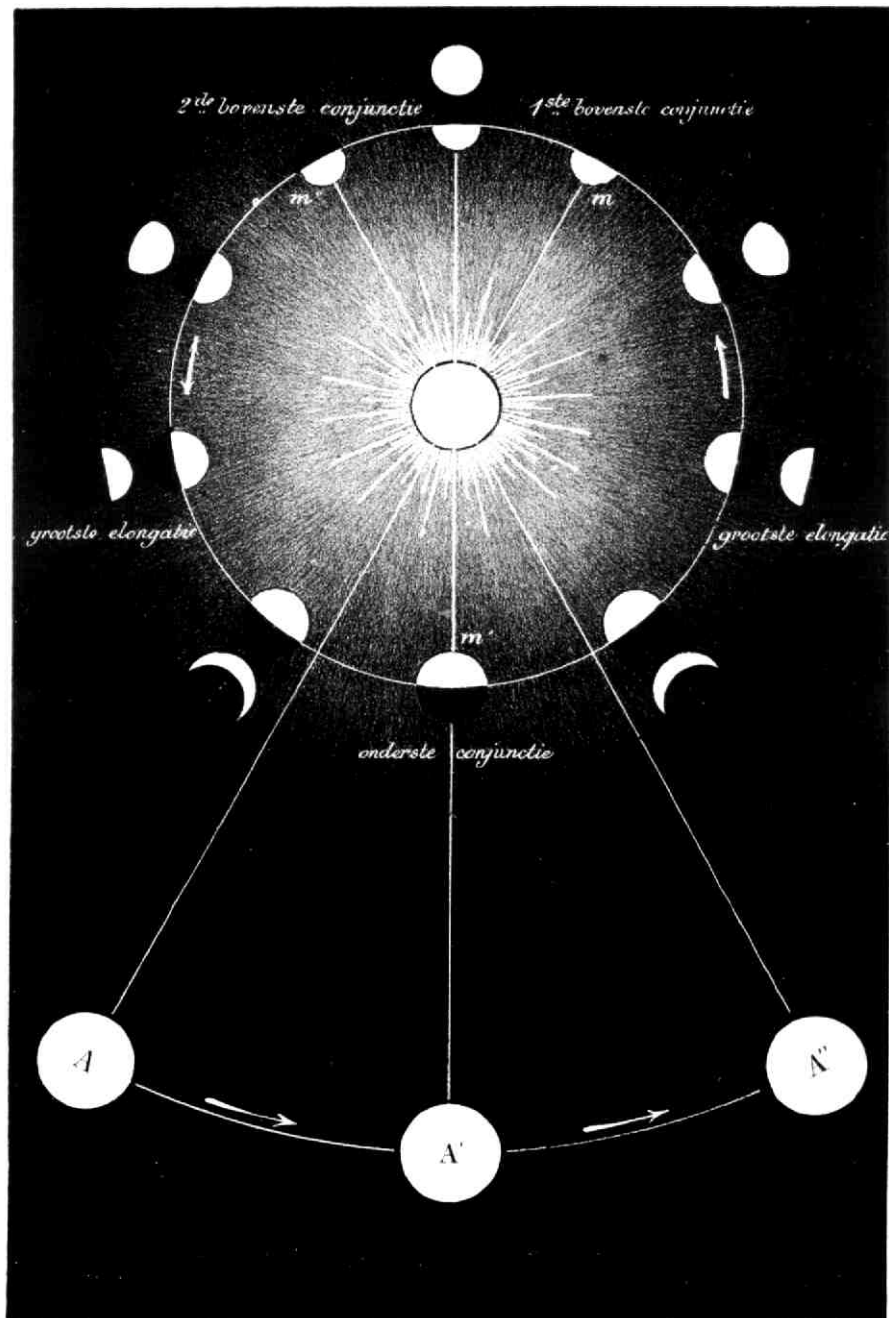
De schijnbare beweging van Mercurius aan den hemel, die in eene dubbele slingingering bestaat, dan ten oosten en dan weder ten westen der Zon, wordt zeer gemakkelijk verklaard, door zijne eigene beweging om de Zon in verband met de verplaatsing der Aarde. Dezelfde schijnbewegingen zullen wij behoudens het verschil in grootte, snelheid, enz., ook bij de planeet Venus waarnemen, wier loopbaan evenals die van Mercurius tusschen de Zon en de Aarde valt.

Wanneer Mercurius zich in M bevindt, tegenover de Zon met betrekking tot de Aarde A, zie Plaat XIV, wat men noemt *bovenste conjunctie*,¹ dan is hij onzichtbaar, omdat hij of door de Zon verborgen, of in hare stralen gedompeld is: van dit punt uit beweegt hij zich op zijne loopbaan in de richting van het pijltje en trekt naar den oostkant der Zon. Wanneer hij nu buiten de straling der Zon is geraakt, wordt hij zichtbaar en schijnt zich al verder en verder van de Zon te verwijderen, terwijl ook de Aarde op hare baan voortgaat. Zijne schijnbare snelheid vermindert echter, totdat er een tijd komt, waarop het schijnt dat hij stil staat; men zegt dan, dat hij *stationair* is.

Wanneer hij nu zijn schijnbaar grootsten afstand ten oosten van de Zon bereikt heeft, dat is in zijn grootste *elongatie* is, dan schijnt hij langzamerhand weer de Zon te naderen en beschrijft zijne loopbaan dichterbij de Aarde met eene klimmende snelheid.

Wanneer nu de planeet het punt M' op hare baan heeft bereikt, verdwijnt zij ten tweede maal in de stralen der Zon en is dan met betrekking tot de Aarde, die tot in A' is voortgegaan in hare *onderste conjunctie*. Haar loop nu in dezelfde richting voortzettende, komt zij ten westen der Zon, volgt nu dezelfde slingingering als ten oosten, terwijl zij ook een punt bereikt, waarop zij voor onze Aarde

¹) De beide binnenplaneten Mercurius en Venus kunnen met de Zon in *bovenste* en *onderste conjunctie* staan, dat is in ééne gezichtslijn met de Zon. De buitenplaneten kunnen ook in *oppositie* met de Zon staan, dat is, wanneer de Aarde zich tusschen de Zon en eene der planeten bevindt, wat met de binnenplaneten nooit het geval kan zijn. De Maan alleen kan dus in *onderste conjunctie* met de Zon en ook in *oppositie* met haar staan. In het eerste geval is het nieuwe, in het tweede volle Maan.



Steendr. v. P. W. M. Traut

Verklaring der conjunctie en schijngestalten van Mercurius.

stationair is. Eindelijk bereikt zij het punt M" is dus met de Aarde, die zich in A" bevindt, weder in de bovenste conjunctie en opnieuw onzichtbaar. Was de Aarde onbeweeglijk gebleven in A, dan zou de bovenste conjunctie ook weder in M hebben plaats gehad, en tevens zou de schijnbare duur van den omloop van Mercurius juist gelijk staan met den waren omloop der planeet om de Zon; maar omdat de Aarde ook op hare baan voortgaat, zoo heeft de bovenste conjunctie plaats, wanneer de Aarde in A" is gekomen. Om dus zijnen loop om de Zon voor onze Aarde te volbrengen, moet Mercurius opnieuw van M tot M" voortgaan: dit noemt men Synodischen omloop, die dus veel langer is dan de Siderische. ¹

Omdat de loopbaan van Mercurius, zie Plaat X, zulk eene groote uitmiddelpuntigheid bezit, levert die synodische omwenteling een verschil op, dat afwisselt tusschen honderd en zes en honderd dertig dagen, want de plaats waar de planeet op hare baan zich bevindt, heeft daarop grooten invloed; evenzoo levert de grootste schijnbare elongatie een verschil op tusschen 16 en 29 graden, dat is, de schijnbare elongatie kan voor ons zijn 16° maar ook 29°; zoo was bijv. den 23 April van dit jaar Mercurius voor ons in zijn grootsten afstand van de Zon ten oosten, en wel 20° 10'. Den 21 Augustus dus 120 dagen daarna is hij weder ten oosten in zijne grootste elongatie die dan 27° 18' is. Den 15 December komt hij op nieuw in dien stand ten oosten, dus dan na 116 dagen, en dan bedraagt zijn schijnbare afstand van de Zon 20° 18'.

Mercurius volbrengt zijn waren of siderischen loop om de Zon in bijna 88 dagen, (of juister in 87 dagen, 23 uren, 15 min., 46 sec.). Zijn jaar is dus iets korter dan een vierdedeel van ons jaar. Zijn loopbaan is betrekkelijk de langwerpigste der planetenbanen, zoodat

¹ Men onderscheidt bij de planeten drie soorten van omloopstijden: den siderischen, tropischen en synodischen omloop. Siderischen omloop van eene planeet noemt men den waren omloop, wanneer men de baan onveranderlijk vooronderstelt, wat echter niet juist is, omdat er tijdens dien omloop zekere storingen plaats hebben. De duur van dien omloop is, wanneer de planeet, uit de Zon gezien, weder hetzelfde punt aan den hemel heeft bereikt, en bedraagt dus juist 360 graden; men noemt dien ook heliocentrischen omloop. De tropische is de omloop met betrekking tot de nachtsevenspunten. En de synodische wanneer de planeet voor onze Aarde hetzelfde punt aan den hemel heeft bereikt. Dezen omloop noemt men ook wel geocentrisch.

de afstand van de planeet tot de Zon een groot verschil oplevert.

Wanneer wij den middelbaren afstand der Aarde tot de Zon voor eenheid nemen, dan verkrijgen wij de volgende uitkomsten:

In zijn aphelium	0,46669.
Middelbaren afstand	0,38709.
In zijn perihelium	0,30750.

Er bestaat dus een groot verschil, daar de grootste afstand den kleinste bijna voor de helft overtreft.¹

Wanneer wij de bovengenoemde afstanden in mijlen of kilometers uitdrukken, dan verkrijgen wij dat Mercurius in zijn aphelium 71,477,550 kilometers van de Zon verwijderd is, hij nadert in zijn perihelium tot op 47,108,520 kilometers en zijn middelbare afstand tot het brandpunt zijner beweging is 59,226,116 kilometers. Tusschen den versten en dichtsten afstand bestaat dus een verschil van meer dan 24 miljoen kilometers.

De loopbaan van de Planeet is 370,000,000 kilom. lang, en daar zij die baan aflegt in bijna 88 dagen, is hare middelbare snelheid 4,230,000 kilom. daags of bijna 50 kilom. in de seconde.

Zij bezit de snelste beweging van alle planeten, bijna eens zoo snel als de beweging van onze Aarde. Wij hebben reeds gezien, dat hoe verder eene planeet van de Zon verwijderd is, des te trager haar loop is, het snelst in het perihelium en het traagst in het aphelium. Het verschil dier snelheid voor Mercurius bedraagt in ééne seconde 60 kilom. in zijn perihelium en 40 kilom. in zijn aphelium.

Wanneer wij Fig. 10 bezien, waar de loopbanen van Mercurius en van de Aarde in hunne ware verhoudingen zijn afgebeeld, ziet men aanstonds dat de onderlinge afstand van de Aarde en Mercurius zeer verschillen kan. Die afstand is het kleinst, wanneer de planeet zich in hare onderste conjunctie bevindt; dan is zij in haar perigeum, en het grootst in hare bovenste conjunctie; dan is zij in haar apogeum.² Wegens den elliptischen vorm van zijne loopbaan en van die der Aarde en wegens de helling van beide die planetenbanen, die ongeveer 7 graden bedraagt, is de afstand in die standen soms

¹ De excentriciteit van de loopbaan is gelijk aan 0,20560.

² *Perigeum* is van *peri* *gij* bij de aarde, en *apogeum* *apo* *gij*, van de aarde.

zeer verschillend. De kleinste afstand, waarop die beide planeten zich kunnen naderen, is 81 millioen kilometers en de grootste bedraagt 229 millioen, dus bijna driemaal zoo ver als de kleinste afstand.¹

§ 2. Mercurius met den telescoop bezien. — Schijngestalten. — Overgang over de Zon. — Schijnbare middellijn. — Ware afmetingen vergeleken met de Aarde: Oppervlakte, inhoud, afplatting.

Zeldzaam ziet men in onze streken Mercurius met het bloote oog. De dagelijksche wenteling van den sterrenhemel is te schuin en zelfs in zijne grootste elongatie staat hij te laag boven den horizon om niet door de avond- en morgendampen verborgen te worden.²

Wanneer men een sterk vergrootenden kijker gebruikt, bevindt men dat de vorm der planeet zeer verschilt naar gelang van haren stand, gelijk mede het geval is met hare grootte.

Eerst wat den vorm betreft:

Mercurius toont ons in iedere van hare slingeringen dezelfde schijngestalten als de Maan. Eerst ziet men eene lichtende schijf, bijna cirkelvormig even als de Maan een paar dagen vóór hare volheid, langzamerhand neemt aan den oostkant de schijf af, totdat zij op het tijdstip van haren schijnbaar grootsten afstand van de Zon, een halve lichtende cirkel is: daarna wordt de lichtende kant steeds kleiner, totdat er slechts eene enkele dunne sikkel overblijft.³

¹ In 1871 is Mercurius het dichtst bij de Aarde op den 17 Januari, den 15 Mei en den 17 September, en dus in zijne onderste conjunctie met de Zon. Zijn grootste afstand en dus zijne bovenste conjunctie heeft plaats den 27 Maart, 10 Juli en 1 November. In 1872 valt die onderste conjunctie voor den 1 Januari, den 24 April, den 30 Augustus en 15 December; terwijl de bovenste conjunctie plaats heeft den 10 Maart, 24 Juni en 12 October. In 1873 gebeurt die onderste conjunctie den 5 April, den 12 Augustus en den 30 November, terwijl den 21 Februari, den 8 Juni en den 24 September de bovenste conjunctie plaats vindt.

² In de zuidelijke streken wordt hij meermalen gezien; daarom hadden de Grieken en Chaldeënen vele waarnemingen op Mercurius gedaan. Copernicus beklagde zich dat hij gedurende zijn leven de planeet nimmer had gezien. Delambre zegt haar slechts éénmaal met het bloote oog gezien te hebben. In 1871 is Mercurius zichtbaar als morgenster op het einde van Januari en in het begin van Februari, en staat in het sterrenbeeld de Schutter nog zichtbaar op het einde van September en het begin van October. Als avondster is hij zichtbaar in de laatste helft van April en op het einde van Juli, wanneer hij dicht bij Regulus staat, en ook in Augustus.

³ Wanneer Mercurius zich in het naar de Aarde gerichte gedeelte zijner loopbaan

De schijngestalten van Mercurius leveren het bewijs, dat de planeet bolvormig en uit haar aard niet lichtgevend is; want zij kaatst het Zonnelicht op ons terug en wordt daardoor zichtbaar. Het verlichte halfmond is immer naar het middelpunt harer beweging, naar de zon gericht, en daardoor is het duidelijk dat, als wij haar van de Aarde beschouwen, zij in haren omloop ons meerdere of mindere gedeelten van haar verlicht halfmond moet toekeeren, wat de oorzaak is van hare schijngestalten. Het verschil van hare schijnbare middellijn komt voort uit het verschil van afstand tot de Aarde. Plaat XIV zal gemakkelijk die verschillende waarheden doen begrijpen.

Plaat XV, Fig. 1 toont de juiste schijnbare afmetingen der Mercurius-schijf, wanneer zij zich het verst en het dichtst bij de Aarde bevindt, en tevens hare afmeting op middelbaren afstand, die gelijk staat met den middelbaren afstand der Zon.

Om de ware afmetingen van Mercurius te vinden, moet, omdat de afstand bekend is, zijne schijnbare middellijn gemeten worden. Die meting levert echter vele moeielijkheden op, uit gebrek aan zuiverheid der schijngestalten en om de helderheid van het licht! en de uitstraling ² die er het gevolg van is; daarom neemt men bij voorkeur de gelegenheid waar, wanneer Mercurius over de Zonneschijf gaat.

bevindt, zijn de schijngestalten het duidelijkst. Nooit ziet men hem geheel vol, omdat hij in dien stand zich achter de Zon of in hare stralen bevindt; alleen wanneer hij in zijne onderste conjunctie over de Zon gaat, vertoont hij zich als eene ronde schijf.

¹ In 1832 vertoonden Saturnus en Mercurius zich voor ons zeer dicht bij elkander. Volgens Beer en Mädler, die hen waarnamen, had Saturnus met Mercurius vergeleken een bleek en mat licht. Mercurius bleef na Zonsopgang duidelijk zichtbaar, terwijl Saturnus al onzichtbaar was. Mercurius was toen voor de helft verlicht. Datzelfde verschijnsel, de nabijheid van Mercurius en Saturnus, zal plaats hebben in 1871, den 12 Dec., des morgens ten 4 ure 2 min. met een afstand van 2° 36' en den 29 Jan. ten 11 ure 14 min. met een afstand van slechts 6'. In 1873, den 30 Jan. ten 6 ure 18 min. met een afstand van 1° 21'.

Den 13 Jan. 1871 is Mercurius des middags om 4 ure 24 min. dicht bij Venus, 3° 28'; den 18 Mei ten 10 ure 40 min. is hij 1° 38' van de Maan verwijderd. Den 4 Juni 1872 wordt Mercurius door de Maan bedekt des morgens ten 7 ure 38 min. 39 sec. Datzelfde verschijnsel zal nog eens plaats hebben den 2 Dec. van hetzelfde jaar des morgens ten 8 ure.

² Wanneer men een schitterend voorwerp op een donkeren grond, op zekeren afstand beschouwt, dan schijnt het licht de scheidingslijn te overschrijden.

Aan dit optisch verschijnsel geeft men den naam *irradiatie* uitstralingsvermogen: naarmate het licht scherper is, is de irradiatie grooter.

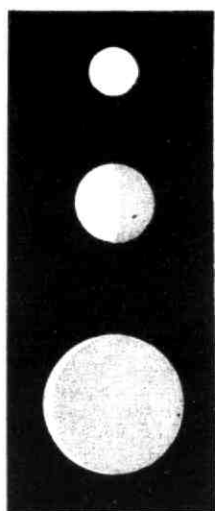


Fig 1. Schynbare afmeting van Mercurius op verschillende afstand.

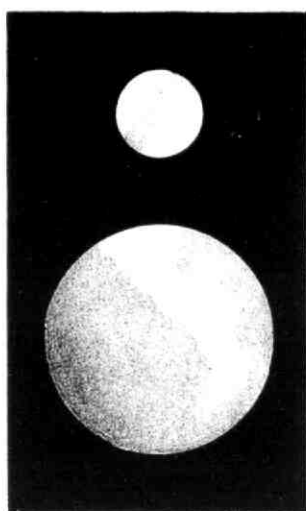


Fig 2. Afmetingen van de Aarde en Mercurius.

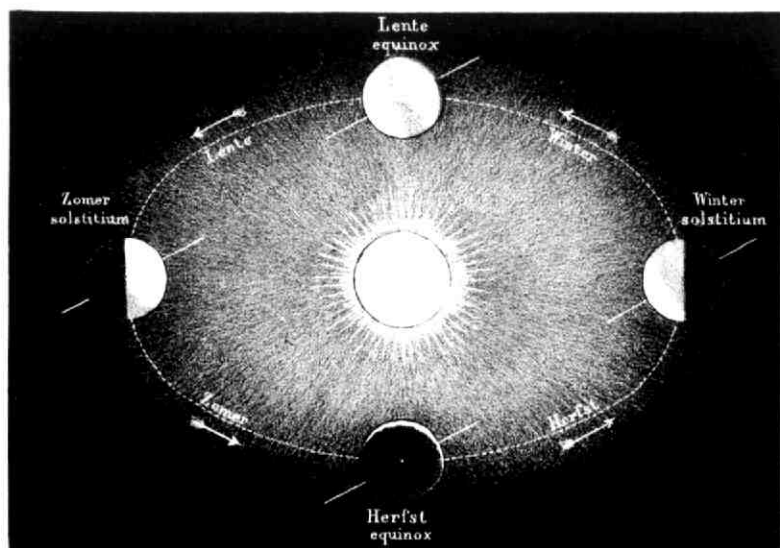


Fig 3. Loopbaan van Mercurius - helling der as equatoriale band - stand op het tijdstip der equinoxen en solstitionen.

Dit zoo belangrijk verschijnsel moest in iederen synodischen omloop der planeet plaats hebben, wanneer het omloopsvlak van Mercurius gelijk was met het omloopsvlak der Aarde; maar omdat de beide vlakken een hoek van 7 graden uitmaken (zie pl. XIII, fig. 2) gaat Mercurius voor onze Aarde, dan eens *boven*, dan eens *onder* de zonnescijf rond. Soms echter gebeurt het, dat de planeet dicht bij een van hare knoopen is, (door knoopen verstaat men, zooals wij vroeger zagen, de punten waar de loopbaan der planeet den ecliptica of de loopbaan der Aarde snijdt,) en dan ziet men de ronde zwarte schijf van Mercurius in weinige uren over de Zon gaan, die dan gedeeltelijk verduisterd is.¹

De zuiverheid van haren cirkelvorm, hare regelmatige beweging en de duur van haren overgang, zijn zoo vele omstandigheden om de Zonnevlekken met den overgang der planeet niet te verwarren: overigens is de schijf veel zwarter dan de kern eener Zonnevlek, die, daarbij vergeleken, veel helderder, en eerder bruin dan zwart schijnt. Datzelfde getuigen Beer en Mädler, bij den overgang in 1832 waargenomen.

Het oogenblik van dien overgang namen de sterrenkundigen waar om de schijnbare middellijn te meten. Bessel bediende zich van een nauwkeurig werktuig, en verkreeg voor de schijnbare middellijn van Mercurius² op middelbaren afstand van de Aarde 6",7. In haren grootsten afstand bedraagt deze 4",5 en in haren kleinsten afstand 12",9. Wanneer wij de middellijn der Aarde uit denzelfden afstand konden beschouwen, zou die bedragen 17",8; daaruit kan men reeds de onderlinge verhouding kennen, zooals Plaat XV, Fig. 2 aangeeft.

¹ Gassendi nam den 7 November 1631 het eerst zulk een overgang waar, en wel op de berekening van Kepler, die het jaar vóór zijn dood zulk een overgang voorspeld had. Halley en Delambre vervolgden de berekeningen van Kepler, en Halley bepaalde de tijdperken van die overgangen van 6 tot 7 jaar, van 13, van 46 en van 263 jaar. Die overgangen vallen immer in Mei of November, omdat de planeet dan den ecliptica doorsnijdt. In deze eeuw hebben er reeds 9 overgangen plaats gehad. Twee in Mei van 1832 en 1845 en zeven in November van 1802, 1815, 1822, 1835, 1848, 1861 en 1868. Vier zijn er nog in deze eeuw te wachten, zooals plaat XVI toont; twee in Mei 1878 en 1891 en twee in November 1881 en 1894. De duur dier overgangen is verschillend: hij kan acht uren duren.

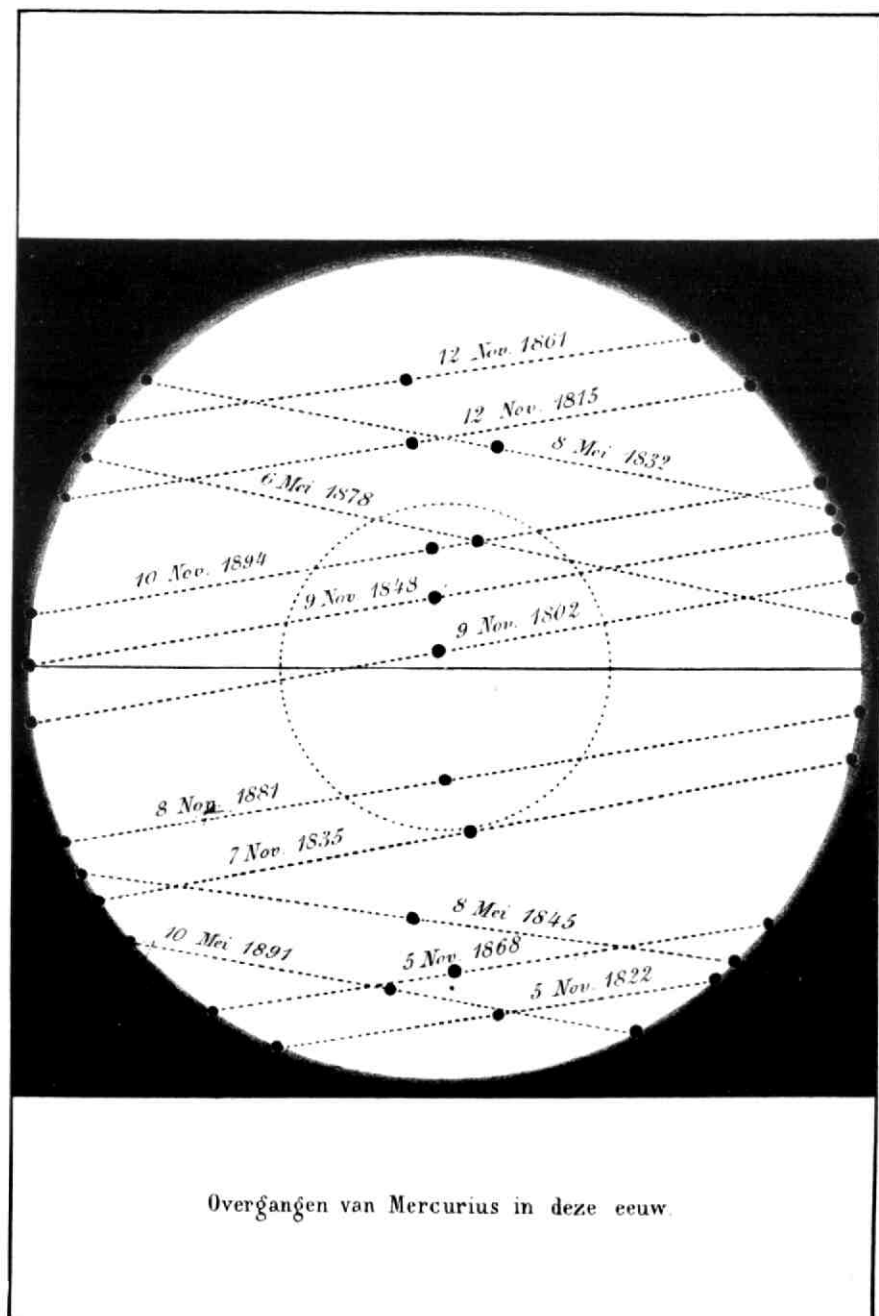
² De overgang van 5 Nov. 1868 gaf zeer verschillende uitkomsten, wat men toeschrijft aan de ongunstige omstandigheden, waaronder de waarneming plaats had, namelijk kort na Zonsopgang, den invloed der uitstraling en het verschil der gebruikt wordende werktuigen. Voorloopig blijft men het door Bessel aangegeven getal behouden, als het meeste geloof verdienende.

De ware middellijn van Mercurius is in vergelijking met de middellijn onzer Aarde 0,390; dus bijna een derde, dat is 4962 kilometers, waaruit volgt, dat hij een omvang heeft van 15588 kilometers: zijne oppervlakte is bijna zevenmaal kleiner dan die van onze Aarde (0,16) en zijn inhoud 18 maal kleiner (0,06). Hoewel men geen verschil in zijne verschillende middellijnen heeft kunnen waarnemen, zoo beweren toch eenige waarnemers, zooals Otto Struve den 5 Nov. 1868, dat zijn vorm niet juist rond, maar evenals de Aarde en vele andere planeten eenigszins afgeplat is: juiste gegevens echter bezit men er niet over.

§ 3. Physische aard van Mercurius. — Warmte en licht. — De Zon uit Mercurius gezien. — Omwenteling van Mercurius. — Zijne dagen en nachten: jaargetijden, jaar en klimaat. — Heeft Mercurius een dampkring? — Banden langs den evenaar. — Tandvorm der schijf. — Bergen. — Lichtend punt op de schijf. — Massa en dichtheid — Zwaartekracht op zijne oppervlakte.

Wij kennen thans de beweging van Mercurius om de Zon, den duur dier omwenteling, zijn afstand van de Zon en de Aarde en eindelijk zijne afmetingen. Thans blijft ons nog over na te gaan, wat men van zijn physischen aard weet. Wat de wetenschap op dit punt over de verschillende planeten aan het licht heeft gebracht, blijft voor ons van het hoogste belang om de overeenkomst en het verschil, dat wij daardoor opmerken met de Aarde welke wij bewonen. De wijze waarop licht en warmte op de verschillende planeten verdeeld wordt, de opvolging hunner dagen, nachten en jaargetijden, het bestaan of niet bestaan van een dampkring, zooals de onze is, eindelijk alles wat de machtigste telescopen ons op hunne lichamen doen zien, zijn zoo vele aanwijzingen om gissingen te maken over de natuur der bewerktuigde wezens, wanneer die op die hemelbollen zouden leven.

Mercurius ontvangt op zijn middelbaren afstand van de Zon, bijna zevenmaal meer lichtkracht (6,67) dan onze Aarde, en daarom is het niet te verwonderen dat zijn licht zoo helder is, zoodat de ouden aan Mercurius den bijnaam van schitterenden gaven. Omdat de wetten der warmte-uitstraling dezelfde zijn als die van het licht, ontvangt Mercurius bijna zevenmaal meer warmte van de Zon als onze Aarde; of, om het juister uit te drukken: het Zonnelicht straalt zevenmaal



sterker warmte op de planeet uit, dan het uitstraalt op de grenzen van onzen dampkring. Wat de gansche warmte-uitstraling betreft, door de beide planeten in een zelfde tijdsverloop ontvangen, deze hangt af van de oppervlakte der planeten, die aan het Zonnlicht bloot staan, en dan leert eene eenvoudige berekening ons dat Mercurius slechts $\frac{9.5}{100}$ deelen der warmte ontvangt, welke op onze Aarde afstraalt, omdat hij zooveel kleiner is dan onze Aarde.

Wanneer wij oordeelen volgens de lichtstralen der Zon, die ons oog, dat hun verblindenden glans niet kan verdragen, treffen, en volgens de warmte, waardoor ons gansche lichaam wordt aangedaan, dan zouden wij ons op Mercurius onder beide opzichten in een onhoudbaren toestand bevinden. Want geen plant noch dier van onze Aarde zou in zulk een smeltenden Zonnegloed als op Mercurius heerscht kunnen leven.

Dank aan zijne langwerpige loopbaan, nadert en verwijdert hij zich aanmerkelijk van de Zon, zoodat zijn verschillende stand met de Zon een verschil oplevert van ongeveer zes millioen mijlen. In zijn aphelium is de kracht der warmte- en lichtgevende stralen vier en een half maal sterker dan die, welke de Aarde ontvangt, maar in zijn perihelium wordt die kracht nog tienmaal sterker.

Wat bij dat verschil van temperatuur op Mercurius nog valt op te merken, is, dat het plaats heeft in een tijdsverloop van nog geen vierde deel van ons jaar, namelijk binnen 88 van onze dagen. Wij zullen aanstonds zien, dat ook de jaargetijden op Mercurius zonderlinge onregelmatigheden vertoonen.

Eene zaak kan dat alles echter merkelyk wijzigen, zoodat de voorwaarden, waarop het planten- en dierlijk leven op Mercurius kan bestaan, daardoor gevonden of geheel er aan ontnomen worden. Die zaak, welke wij nu gaan bespreken, is het bestaan of niet bestaan van een gas- of dampachtig omhulsel, met andere woorden is het antwoord op de vraag:

Heeft Mercurius een dampkring?

Bij vele overgangen over de Zon scheen het alsof de zwarte scherp-begrensde schijf der planeet omringd was door een nevelachtigen ring. Eenige waarnemers meenden dat die nevelring schitterender was dan de hem omgevende Zonneschijf; anderen integendeel meenden die minder lichtend te wezen. In 1799 zagen Schröter en Harding dat verschijnsel en in 1832 zegt Moll dat die nevelring eene duistere

violetkleurige tint had. Huggins bevond integendeel bij den overgang van 5 November 1868, dat die ring een glans bezat sterker dan de Zonneschijf: 't was alsof de planeet door eene soort van lichtkrans was omgeven, iets sterker dan de glans der Zon. De breedte van dien ring bedroeg ongeveer het derde deel van de schijnbare middellijn, en eene trapsgewijze vermindering in dien nevelring van de planeet tot aan het uiteinde werd niet waargenomen. Maar wanneer Mercurius met een doorschijnenden en straalbrekenden dampkring is omringd, dan moet deze noodzakelijk de Zonnestralen verdeelen en daardoor verzwakken en niet vermeederen: 't is dus waarschijnlijk dat de meerdere glans van dien lichtring in gezichtsbedrog zijn oorzaak heeft.

Eene andere soort van waarneming echter schijnt het bestaan van een dampkring beter te bewijzen.

De nauwkeurige teekeningen welke Schröter van de sikkelgestalten der planeet heeft verkregen, bewijzen dat de lijn, die licht en duisternis van elkander scheidt, nooit zuiver begrensd is, wat men aan niets anders kan toeschrijven dan aan het opnemen der Zonnestralen door de lagen van den dampkring.

Evenzeer heeft men waargenomen dat er soms donkere banden doorgaans zonder vlekken op de schijf der planeet ontstaan: daaruit heeft men volgens Beer en Mädler het besluit getrokken, dat Mercurius een dampkring en wel een goed merkbaren bezit.

Wanneer het dan zoo is, begrijpen wij de wijziging, welke een enigszins dikke dampkring op de planeet te weeg brengt, zoowel in het licht als in de warmte: wij behoeven dan slechts onze heldere dagen, waarop de Zon hare stralen op onze Aarde schiet, te vergelijken met de dagen, waarop eene dikke betrokken lucht de Zon voor ons oog bedekt. De dichtheid van zulk een dampomhulsel, de meerdere of mindere waterdampen, welke dit bevat, en de meer of mindere verdikking dier dampen kunnen de uitstraling der Zonnewarmte geheel en al wijzigen. Denken wij maar aan het verschil van temperatuur in de valleïën of op de bergen,¹ daar gaat men over van den zomer in

¹ De lucht op het gebergte kan buitengewoon koud zijn, hoewel de Zon er toch hare gloeiende stralen door heen schiet. De Zonnestralen, die niet in staat schijnen de lucht te verwarmen, zijn echter stekend en pijnlijk op ons lichaam.

Toen ik mij den 24 Juni 1861 op den grooten gletscher van den Mont Blanc bevond, straalde de Zon met eene ondragelijke kracht en verschrooide gelaat en handen;

den winter, van de gloeiende Julihitte tot den kouden November-tijd. En toch straalt de Zon zoowel op het gebergte als in de val-leiën.

De chemische bestanddeelen van Mercurius' dampkring eindelijk, die misschien zeer verschillen van stik- en zuurstof, kunnen ook zeer veel invloed hebben op het klimaat der planeet. Omdat hij echter al-tijd in de stralen der Zon gehuld is, heeft men hem met den spectroscop slechts kunnen waarnemen laag aan den horizon, in een zeer ongunstigen stand, en daarom heeft de spectraal-analyse ons niets ge-leerd over zijn dampkring. Wij moeten ons dus bepalen de astronomi-sche verschijnselen na te gaan, wier invloed ontegenzeggelijk is.

In de eerste plaats de lengte van den dag: Mercurius wentelt om zijne as in 24 uren, 5 min. en 28 sec. Die beweging, die in de rich-ting van het westen naar het oosten geschiedt, heeft men op de vol-gende wijze nagegaan en gemeten.

Toen Schröter de sikkelvormige gestalten der planeet nauwkeurig gadesloeg, bemerkte hij het bestaan van den tandvorm, zooals wij die bij de Maan waarnemen; herhaaldelijk bespeurde hij eene afknotting aan den noordelijken hoorn van de sikkel. Die verschijnselen grepen echter niet altijd plaats, maar zij verdwenen om op bepaalde tijden zich weder te vertoonen, en daaruit nu heeft men de omwenteling van Mercurius kunnen berekenen.

Wat de richting der as betreft, om welke hij zijne wenteling vol-brengt, daarover is men niet geheel zeker. De onmiddellijke nabijheid der Zon en het heldere licht der planeet zelve maken het moeielijk iets waar te nemen van hetgeen op hare oppervlakte gebeurt. Schröter heeft echter het bestaan waargenomen van donkere banden langs den evenaar, die waarschijnlijk veroorzaakt worden door wolken, welke door stroomen, zooals bij ons de passaatwinden, langs den evenaar verzameld worden. Daaruit maakt men het besluit, dat de helling der as op het omwentelingsvlak niet meer dan 20° bedraagt, of wat het-zelfde is, dat de omwentelingsas met het vlak van de loopbaan een hoek maakt van nog geen 20 graden.

maar in de schaduw beving mij de ijzige berglucht. Tyndal legt dat verschijnsel uit, niet als voortkomende uit de fijnheid der lucht, maar schrijft het toe aan het zwakke absorberend vermogen van den dampkring, die de warmtestralen laat doorgaan, maar de duistere stralen der Aarde tegenhoudt.

Wanneer die bepaling door latere waarnemingen nadere bevestiging ontvangt, dan komt men tot de volgende bijzonderheden. Wanneer een sterrendag op Mercurius 24 uren, 5 min. en 28 sec. duurt, (een verschil met onze Aarde van slechts 9 min. 28 sec.) dan volgt daaruit, dat de planeet in een jaar 87 en $\frac{2}{3}$ omwentelingen maakt; maar zooals wij in het hoofdstuk over de Aarde handelende zien zullen, is het getal sterrendagen van eene planeet altijd één minder dan het getal Zonnedagen in één jaar ¹ en daarom bevat het jaar op Mercurius $86\frac{2}{3}$ of 86.66 Zonnedagen. Eene eenvoudige berekening leert ons dan dat een Zonnedag op de planeet 24 uren en 21 min. duurt. Gedurende het gansche jaar is dus op den evenaar van Mercurius en tijdens de evennachten op alle andere breedten, ² dag en nacht slechts 10 min. langer dan op onze Aarde op hetzelfde tijdstip. Maar op andere tijdstippen van het korte Mercuriusjaar is het verschil in lengte der dagen, het verschil van jaargetijden en klimaat veel grooter dan op onzen aardbol, om de groote helling van den evenaar op de loopbaan. In het zomersolstitium gaat de Zon des middags door het Zenith voor die streken, die slechts 20° van den Noordpool zijn verwijderd en de lange poolnachten strekken zich uit tot eene breedte van 20° van den Zuidpool. In het tweede solstitium vindt juist het tegenovergestelde plaats. Op Mercurius genieten dus zeer uitgebreide streken van de polen óf het gestadige Zonnelicht, óf zijn gedurende hunnen winter in de dikste duisternissen gehuld.

Eene gematigde luchtstreek bestaat er op Mercurius niet, want de koude en heete luchtstreek loopen in elkander, of liever, nemen bij iederen omloop elkanders plaatsen in.

Alleen de streken van den evenaar hebben het voorrecht geheel het jaar in het bezit te zijn van dag en nacht, en in iederen Zonnedag de hitte van den dag door de koelte van den nacht te zien opvolgen: 't is echter

¹ Een *sterrendag* is de omwenteling totdat dezelfde ster weer in den meridiaan staat, en een *zonnedag* is de terugkeer der Zon tot den meridiaan.

² Mercurius is in een van zijne evennachten, (*equinoxen*), wanneer het vlak van zijn evenaar door de Zon gaat; dan zijn beide polen verlicht en op alle breedten is dag en nacht even lang. Bij den Zonnestilstand, (*solstitium*), keert de planeet één harer polen naar de Zon, terwijl de andere in de schaduw is: dan zijn er lange dagen en korte nachten op het ééne halfrond en korte dagen en lange nachten op het andere: datzelfde zullen wij bij elke planeet waarnemen en eene nauwkeurige uiteenzetting van dat verschijnsel in het hoofdstuk over de Aarde vinden.

waar dat als de Zon bij de solstitien tot in het zenith klimt, zij evenzoo op andere tijdperken laag langs den horizon schuift.

Vroeger merkten wij reeds op, dat de loopbaan van Mercurius zeer langwerpig is, of met andere woorden, dat de uitmiddelpuntigheid dier loopbaan zeer groot is; daaruit volgt dat de jaargetijden een zeer ongelijken duur hebben; want de lente en de zomer van het ééne half-rond zijn de herfst en de winter van het andere, en daarom moet er even zulk eene ongelijkheid in het klimaat op de beide halfronden plaats grijpen. ¹

Alleen een dikke dampkring of een die geeigend is in hooge mate de hitte der Zon te absorbeeren is in staat die plotselinge overgangen van hitte en koude op Mercurius te matigen.

De tandvorm der schijf door Schröter, vooral aan een der horens van de sikkel waargenomen, duiden aan dat er verhevenheden op de oppervlakte van Mercurius bestaan, bergen, die het licht der Zon onderscheppen, en valleïën, daardoor in het duister gehuld. Mercurius heeft dus bergen. Het meten van het afgeknotte gedeelte des sikkels heeft zelfs de hoogte van een dier bergen doen schatten, die, wanneer de maat niet overdreven is, het $\frac{1}{253}$ gedeelte van de middellijn zou beslaan, dat is 19,600 meters.

De hoogste berg, welken wij kennen, de Gaurisankar in het Himalaja-gebergte, verheft zich slechts 900 meters, en die reus der aardse bergen beslaat slechts het $\frac{1}{1400}$ gedeelte van de middellijn der Aarde.

Toen Schröter den 7 Mei 1799 den overgang van Mercurius op de zon waarnam, meende hij op de zwarte schijf der planeet een lichtend punt te merken. Den 5 Nov. 1868 zag Huggins bij den overgang ook een lichtend punt, niet verre van het middelpunt der schijf. Daaruit wil men besluiten, dat er zich op Mercurius nog werkende vulkanen bevinden, en eene meerdere overeenkomst zoeken tusschen deze planeet en onze Aarde.

Andere sterrenkundigen willen er slechts een optisch bedrog in zien, een gevolg van straalbreking; maar dan is het zeer moeielijk om de

¹ Om dit verschil te bestudeeren moet men in het oog houden en den stand der equinoxen en solstitiën op de loopbaan en het verschil van afstand tot de Zon. Later onze Aarde beschouwende, zullen wij zien welk een grooten invloed die elementen uitoefenen.

exentrische plaatsing van dat lichtpunt uit te leggen, zoowel bij de waarneming van Schröter als bij die van Huggins.

Nog een enkel woord over de massa en de dichtheid van Mercurius, twee elementen, waarover men, eene eeuw geleden, niets dan bloote gissingen kon maken.

Omdat de planeet geene wachters heeft, kan men hare massa alleen berekenen uit de storingen, welke zij veroorzaakt aan de kometen, die in hare nabijheid komen, of aan de dichtst nabij zijnde planeet Venus.

Volgens Littrow is de massa van Mercurius ongeveer $\frac{1}{3316530}$ gedeelte der Zon, ongeveer 14 maal kleiner dan die van onze Aarde. Wanneer men de middelbare dichtheid der Aarde voor eenheid neemt, dan krijgt men voor de dichtheid van Mercurius 1,403, eene dichtheid bijna achtmaal (7,97) die van water. Antimonium onder de metalen en een groot aantal samengestelde mineralen bezitten dergelijke dichtheid. Maar daarnit volgt niet dat de gansche bodem van Mercurius zulk eene dichtheid bezit. De analogie doet ons gelooven, dat de middelste deelen van dien bol dichter zijn dan de buitenste lagen, zooals op onze Aarde ook plaats vindt.

Nog een physisch element is er, dat, in de vooronderstelling dat er op Mercurius levende wezens zich bevinden, van onbetwistbaren invloed is en wel de zwaartekracht op zijne oppervlakte. Naarmate die kracht grooter of kleiner is, zijn de spierbewegingen bijvoorbeeld meer of minder gemakkelijk, en vereischen eene grootere of kleinere krachts-oefening. Welnu, die zwaartekracht is op Mercurius iets meer dan de helft der zwaartekracht op onze Aarde (0,55): een zwaar lichaam verkrijgt dus in de eerste seconde eene snelheid van val gelijk aan 5,32 meters en doorloopt de helft, dat is 2,66 meters.

Ziedaar de physische gegevens welke de sterrenkunde over de dichtst bij de zon geplaatste planeet heeft bijeengegaard. Die elementen met die onzer Aarde vergelijkende, verkrijgt men een juist begrip van de overeenkomst en het verschil dier beide hemellichamen, die in vergelijking met de andere bollen van ons planetenstelsel, in weinig verwijderde streken met elkander om de Zon loopen.

II.

VENUS. ♀.

§ 1. Venus avond- en morgenster. — Oostelijke en westelijke afwijking. — Venus met het bloote oog gezien: glans, tinteling, kleur. — Synodische en siderische omloop. — Duur van het jaar. — Afstand van de Zon, van de Aarde. — Snelheid van beweging.

Evenals Mercurius is Venus dan eens avond- dan eens morgenster, zichtbaar of na zonsondergang of vóór haar opgang. Hare periodieke bewegingen aan beide zijden van den stralenden lichtkogel, hebben echter eene grootere uitgebreidheid en een veel langeren duur; maar het onderling verschil in die bewegingen vindt tusschen engere grenzen plaats. De oorzaak van dat geringe verschil in hare bewegingen is gemakkelijk te begrijpen, wanneer men bedenkt, dat de loopbaan van Venus, tusschen de Aarde en de Zon liggende, veel grooter is dan die van Mercurius, en dat de uitmiddelpuntigheid van die baan zoo gering is, dat deze niet veel verschilt met een cirkel.

Venus is meermalen en veel gemakkelijker met het ongewapend oog zichtbaar dan Mercurius, omdat zij, verder van de Zon verwijderd, daardoor niet zoo zeer in de avond- en morgenschemering is gehuld.¹ Hare grootste afwijkingen ten oosten en ten westen van de Zon bereiken dan ook 48°. Soms is de planeet in hare conjunctie met de Zon zichtbaar, wat bij Mercurius nooit het geval is; dit kan alleen dan gebeuren, wanneer hare breedte, dat wil zeggen hare afwijking *boven* of *onder* de Zon, met betrekking tot het vlak van de loopbaan der Aarde zeer groot is.

De ouden gaven aan Venus twee namen, al naardat zij zich des morgens of des avonds vertoonde; want in den beginne zag men haar, even als Mercurius, voor twee verschillende sterren aan. Des morgens noemde men haar *Lucifer* (lichtdraagster) en des avonds *Vesper* of *Hesperus* (avondster.)

¹ In 1871 is Venus als morgenster zichtbaar op het einde van de maand October en heeft den 5 November haren grootsten glans als morgenster; gedurende de maand Dec. staat zij des morgens in de Maagd en is drie uren lang zichtbaar.

In Febr. wordt zij avondster en blijft tot in de maand Sept. aan den westerhemel schitteren; den 19 Aug. bereikt zij hare grootste schittering en is in Juli drie uren lang zichtbaar.

Wie toch kent de avondster niet? Wie beschouwde niet haar wit en helder licht, dat hoewel niet tintelend, als dat van de vaste sterren, toch somtijds kracht genoeg heeft om de voorwerpen op Aarde schaduw te doen verkrijgen? ¹ Wanneer het toeval wil, dat eene lichte wolk de plaats bedekt, waar zij aan den hemel staat, dan teekent haar glans zich af door een lichtring in de dampen der wolk gevormd. De glans van Venus is dan ook zóó schitterend, dat men haar vaak nog in het volle daglicht ziet: zij is de meest witte en meest schitterende onder alle sterren des hemels.

De schijnbare beweging van Venus aan het hemelgewelf is dezelfde als die van Mercurius en heeft dezelfde oorzaak; daarom treden wij daarover in geene meerdere bijzonderheden.

Het verloop tusschen twee conjunctiën, hetzij bovenste of onderste, is middelbaar 584 dagen, ² dat is de *Synodische* omloop, die een verschil oplevert van 592 tot 577 dagen.

De *Siderische* omloop van Venus bedraagt ongeveer 225 dagen (224 dagen 10 uren 49 min. 7 sec.); in dien tijd volbrengt zij haren loop om de Zon; iets minder dus dan in twee derde deelen van ons jaar.

Van alle planetenbanen is de baan van Venus het meest met een cirkel overeenkomende, zoodat de Zon weinig uit het middenpunt is verwijderd. De middelbare afstand onzer Aarde van de Zon tot eenheid genomen, verkrijgt men de volgende afstanden van Venus tot de Zon:

Afstand in haar Aphelium.	0,72828
Middelbare afstand	0,72333
Afstand in haar Perihelium	0,71838

Het verschil der uiterste afstanden bedraagt dus op zijn meest het

¹ In gunstige omstandigheden, zegt J. Herschel, veroorzaakt Venus eene sterke schaduw. Men moet die schaduw opvangen op een witten grond: een geopend venster in eene kamer met witte muren is een zeer geeigend middel. Niet alleen, zegt hij, heb ik dan de schaduw waargenomen, maar zelfs de straalbreking waardoor de omtrek uitvloeit. (Outlines of Astronomy.)

² Van dien geheelen duur van 584 dagen worden er door de planeet 542 gebruikt om hare schijnbare baan te doorloopen in dezelfde richting als de Zon; in de 42 overige dagen doorloopt zij dat gedeelte harer loopbaan, dat het dichtst bij de Aarde is, en daardoor schijnt zij eene achterwaartsche beweging te hebben, wat alleen een gevolg is van de ligging der beide banen, en wat men gemakkelijk begrijpt, wanneer men een voorwerp zich cirkelvormig om een middelpunt ziet bewegen, terwijl men zich buiten die loopbaan bevindt.

72e gedeelte van den middelbaren afstand. Het dubbele er van duidt de uitmiddelpuntigheid aan (0.00684) en dient om den elliptischen vorm der baan te meten.

Wanneer men die getallen uitdrukt in kilometers, dan verkrijgt men:

Aphelium	111,549,420	kilometers.
Middelbare	110,670,726	„
Perihelium	110,068,020	„

Met die gegevens is het gemakkelijk de lengte der Venusbaan te berekenen, waarvoor men krijgt 695,640,000 kilometers of 94,000,000 geogr. mijlen, en daaruit volgt, dat de middelbare snelheid der planeet, waarmede zij die baan doorloopt, is 418,176 mijlen of 3,097,429 kilometers daags, dat is ongeveer 35 kilometers iedere seconde. Mercurius doorliep, zooals wij zagen, 50 kilometers iedere seconde en onze Aarde, zooals wij later zien zullen, ongeveer 30 kilometers. Vroeger zagen wij reeds dat de snelheid eener planeet afneemt, naarmate zij verder van de Zon verwijderd is. Diezelfde wet gaat ook door, niet alleen op de onderlinge banen der planeten, maar ook op de baan van iedere planeet afzonderlijk. Omdat de loopbaan van Venus bijna cirkelvormig is, zoo is het verschil van hare snelheid ook zeer gering.

Een ander element voor de loopbaan van Venus is, dat het vlak dier loopbaan niet zamenvalt met dat der Aarde, maar daarmede een hoek maakt van $3^{\circ} 23' 34,8''$. Zie Pl. XIII, Fig. 2.

De afstand van Venus en onze Aarde verandert, naarmate de plaatsing is der beide planeten op hunne baan. Wanneer Venus zich in hare onderste conjunctie bevindt is het duidelijk, dat zij het dichtst bij de Aarde staat; ¹ terwijl zij in hare bovenste conjunctie, wanneer zij achter de Zon staat, zich het verst van de Aarde heeft verwijderd. Wanneer het vlak harer loopbaan met de Aarde samenviel, zou het verschil dier beide conjunctiën juist de gansche middellijn van de Venusbaan bedragen. Wanneer men nu nog eens het oog slaat op Figuur 10, waar de onderlinge banen der planeten met hunne betrekkelijke grootte en uitmiddelpuntigheid zijn aangegeven, begrijpt men gemakkelijk de verschillende afstanden.

¹ Die onderste conjunctie van Venus heeft plaats in 1871 den 26 Sept. ten 11 u. 21 m. In 1872 heeft er geene onderste conjunctie plaats, maar in 1873 den 5 Mei ten 6 u. 8 m. en in 1874 den 6 Dec.

De bovenste conjunctie heeft plaats den 16 Juli 1872 ten 6 u. 5 m.

Wanneer wij den middelbaren afstand van de Aarde en de Zon tot eenheid of tot astronomischen meter nemen, dan verkrijgt men voor den grootsten afstand van Venus en de Aarde 1,740, dat is 36,000,000 geogr. mijlen, en de kortste afstand bedraagt 0,260, dat is iets meer dan 5,000,000 mijlen, een verschil dus in afstand van 31,000,000 mijlen. Dat verschil zullen wij dus ook uitgedrukt zien in de schijnbare middellijn, waarmede Venus zich vertoont in de kijkers, en tevens in den glans, waarin de planeet voor het ongewapende oog schittert.

§ 2. Venus met den telescoop waargenomen. — Schijngestalten en verandering van schijnbare middellijn. — Zichtbaarheid bij vollen dag. — Probleem van Halley. — Ware afmetingen, oppervlakte en inhoud. — Overgang van Venus over de Zon.

Wanneer men in den tijd, dat Venus avondster is en na zonsondergang helder aan den hemel straalt, haar met een' genoegzaam vergrootenden kijker beschouwt, ziet men haar onder den vorm van eene bijna ronde verlichte schijf, die echter dagelijks aan de oostzijde afneemt, terwijl hare afmetingen grooter worden.

Bij hare grootste oostelijke afwijking ¹ vertoont zij zich als een halve lichtcirkel, zooals de maan bij eerste kwartier; later wordt het eenen sikkkel, die, naarmate de planeet de Zon nadert, steeds dunner wordt totdat zij in de zonnestrallen voor het oog verdwijnt.

Wanneer men in den morgenstond vóór zonsopgang Venus terug ziet, vertoonen zich dezelfde gestalten der planeet, maar juist in eene tegenovergestelde orde; want als zij wederom in de zonnestrallen onzichtbaar wordt, zijn hare afmetingen afgenomen, terwijl hare lichtende zijde eene bijna ronde schijf vertoont. Die gestalten en hunne oorzaak zijn juist dezelfde als wij bij Mercurius opmerkten: (Pl. XIV) alleen omdat het verschil in afstand van de Aarde veel grooter is, daarom is het verschil in de schijnbare grootte van de middellijn veel aanzienlijker, en omdat Venus zich oostelijk en westelijk veel verder van de Zon verwijderd dan Mercurius, daarom zijn de schijngestalten veel gemakkelijker waar te nemen. In 1610 werden ze door Gallilei reeds opgemerkt, die daardoor eene nadere bevestiging ontving voor het begrip van Copernicus over het wereldstelsel, en daarin tevens

¹ De grootste afwijkingen van Venus hebben dit jaar plaats den 18 Juli en den 6 Dec.

de veroordeeling zag van het Ptolomesche stelsel over de wereld.¹

Door dien zoo verschillenden afstand van Venus tot de Aarde wordt het verschil in de schijnbare middellijn der planeet gemakkelijk verklaard, welke 17" beslaat, wanneer zij op middelbaren afstand van de Aarde is. Bij hare grootste verwijdering van de Aarde neemt die middellijn af tot 9",5 en bij hare onderste conjunctie, wanneer de planeet het dichtst bij de Aarde is, bedraagt de middellijn 65",2.

Venus is somtijds zoo helder, dat zij met het ongewapende oog bij vollen dag zichtbaar is. Lalande was in 1750 van dat verschijnsel getuige. Halley verhaalt, dat in 1716 den 10 Juli de stad Londen het als een wonder beschouwde. Verschillende omstandigheden moeten medewerken om dat verschijnsel te weeg te brengen: zooals hare schijngestalte, hare verwijdering van de Zon en de zuiverheid van onzen dampkring.

Halley loste reeds het vraagstuk op, om, met betrekking tot de Aarde, den stand van Venus te vinden, waarin zij het meeste licht op ons terugkaatst.²

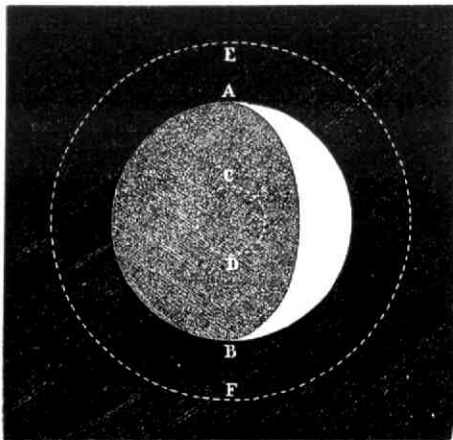


Fig. 11.

De geleerde sterrenkundige bevond dat zulks was, niet in hare grootste elongatie van de zon, die 48° kan bedragen; maar in den stand, waarop zij 39° 30' van de Zon verwijderd is: dan vertoont de planeet zich in de kijkers voor het vierde deel van hare schijf verlicht, (Fig. 11) zooals de Maan op den vijfden dag van haren ouderdom.

Volgens Lalande komt zulk eene groote zichtbaarheid van Venus ongeveer iedere acht jaar voor, omdat de planeet na zulk een tijdsverloop zich weder

¹ Ptolomeus, een Alexandrijnsch sterrenkundige, die 170 j. n. C. stierf, meende dat de Aarde het onbeweeglijke middelpunt der wereld was, terwijl de Maan, Mercurius, Venus, de Zon, Mars, enz. rondom de Aarde wentelden; maar daar volgde uit dat Venus zich nooit achter de Zon kon vertoonen en dus nooit haar verlicht halfrond in dien stand naar de Aarde kon wenden, wat in tegenspraak is met hetgene onze oogen zien bij de bovenste conjunctie van Venus met de Zon.

² De grootste schittering van Venus zal zijn in 1871 den 20 Augustus en 1 Nov. In 1873 den 30 Maart en 10 Juni. In 1872 komt zoodanigen stand niet voor.

met betrekking tot de Aarde in denzelfden of ongeveer denzelfden stand bevindt; want hare synodische omwenteling duurt 584 dagen. In dat tijdsverloop doorloopt zij tweemaal hare baan met nog 216° ; na vijf synodische omwentelingen, welke 2,920 dagen of 8 jaren duren, had zij 10 omwentelingen gemaakt met $5 \times 216^\circ$, dat is op nieuw 3 omwentelingen. Na acht jaren min twee dagen heeft Venus dus 13 omwentelingen volbracht, en komt zij met betrekking tot de Aarde weder in denzelfden stand.

Wanneer Venus en de Aarde op denzelfden afstand werden beschouwd, zou de schijnbare middellijn van Venus $16'',9$ en die der Aarde $17'',8$ wezen. Venus heeft dus weinig kleiner afmetingen dan onze Aarde bezit.

Wanneer men de daarmede overeenkomende afmetingen der Aarde tot eenheid neemt, krijgt men de volgende getallen:

Middellijn van Venus	0,969.
Oppervlak.....	0,940.
Inhoud	0,910.

De middellijn van Venus bedraagt dus in ronde getallen 12,340,000 meters of 1,666 geog. mijlen, en de omtrek van den bol 5,236 mijlen of 38,783,000 meters. Van alle planeten is Venus degene, die in hare afmetingen het dichtste bij de Aarde komt.

Wanneer Venus in hare onderste conjunctie is, gaat zij evenals Mercurius somtijds over de schijf der Zon: die overgangen zijn zeldzamer dan die van Mercurius, maar veel gewichtiger voor de sterrenkunde om de grootere nabijheid van Venus.

In het derde deel zullen wij in bijzonderheden treden over de overgangen van den 8 Dec. 1874 en den 6 Dec. 1882: beide overgangen leveren, zooals wij hierboven aanmerkten, een verschil op van 8 jaar min 2 dagen. Ed. Dubois heeft in het vorige jaar aan de Académie des Sciences te Parijs eene methode bekend gemaakt, van welke wij in het derde deel verslag zullen geven, om ook zonder een overgang van Venus af te wachten, ten allen tijde door de waarneming van Venus de zonneparalaxe te kunnen berekenen.

Wij kunnen hier echter reeds aangeven, waarom zulke overgangen niet geregeld na 8 jaren terug keeren. Na 8 jaren min 2 dagen is de planeet weder in de onderste conjunctie met de Zon en wel de vijfde keer, (want 8×365 dagen = 5×584 d.) en dan is de Aarde juist

weer op hetzelfde punt van hare baan. Venus echter is niet op hetzelfde punt van hare baan, want de knoop van hare baan heeft op den ecliptica eene achterwaartsche beweging gemaakt, en daarom vindt hare conjunctie met de Zon niet plaats in het vlak van den ecliptica, maar er *b o v e n* of *o n d e r*: drie achtereenvolgende overgangen na 8 jaren kunnen dan ook nimmer plaats hebben, omdat in 16 jaar Venus met de Zon 40 minuten in breedte moet verschillen, terwijl de schijnbare middellijn der Zon slechts 32 minuten bedraagt, maar na 113 jaar komt de planeet weder op dezelfde breedte als de Zon.

Niettegenstaande de uitstraling (irradiatie), waardoor de zwarte schijf van Venus op de Zon veel kleiner schijnt, is de overgang toch eene gunstige gelegenheid om hare middellijn te meten en den vorm van de Venus-schijf waar te nemen. Tot nu toe heeft men echter geene afplatting bij haar kunnen waarnemen: daaruit kan men evenwel niet besluiten, dat er geene bestaat; want als de afplatting van Venus niet grooter is dan die van onze Aarde, dan zou die tusschen de verschillende middellijnen van Venus slechts een verschil opleveren van $\frac{2}{10}$ gedeelte van eene seconde.

§ 3. Omwenteling van Venus. — Sterrendag en Zonnedag. — Dag en Nacht op Venus. — Haar jaar, klimaat en jaargetijden. — Verschil in licht en warmte, aschgrauw licht. — Dampkring van Venus. — Blijvende vlekken: Zee en vastlandbergen. — Spectraal analyse. — Massa, dichtheid, zwaarte.

Toen Dominicus Cassini de planeet Venus in 1666 en 1667 in den gunstigen stand waarnam, bemerkte hij op hare oppervlakte eenige duistere vlekken, en toen hij vooral zijne aandacht wijdde aan eene schitterende vlek, welke hij opmerkte dicht bij de afscheidingslijn van licht en duisternis, kwam hij daardoor tot de erkenning, dat de planeet om hare as wentelt: de duur dier omwenteling, meende hij, was ongeveer 23 uren en 20 minuten.

Zestig jaar later nam Bianchini, een Romeinsch sterrenkundige, eene gansche reeks vlekken waar, en meende aan Venus eene omwenteling te moeten toeschrijven van 24 dagen en 8 uren. Maar toen J. Cassini, de zoon van Dominicus, de waarnemingen van zijn' vader met die van Bianchini vergeleek, bewees hij dat deze geleerde wel dezelfde vlek had waargenomen, maar toen deze in denzelfden stand terug gekomen was, hadden er 25 omwentelingen van Venus plaats gehad,

wat ongeveer 23 uren 21½ minuut voor ieder is, en dus zeer wel overeenkwam met de waarnemingen van zijn' vader.

Latere waarnemingen door Schröter in 1788—1842 en door Vico vooral in 1840—1842 gedaan, hebben met juistheid de omwenteling van Venus bepaald, en wel in 23 uren 21 min. en 21,9 sec., dus 34 min. 38,1 sec. korter dan de omwenteling van onze Aarde.

Zoo lang is dus de sterrendag van Venus.

Haar jaar bestaat uit 231 omwentelingen en dus ongeveer 230 zondagen.

De middelbare zonnedag van Venus is 5 min. 42 sec. langer dan haar sterrendag en dus 23 uur 27 min. 6 sec.

De snelheid van een punt op haar equator in die dagelijkse omwenteling bedraagt 461,92 meters in de seconde; bijna even groot als de snelheid van een punt in onzen equator, dat 465,17 meters doorloopt.

Daar de andere physische elementen, zooals hare massa en dichtheid, weinig verschillen met die van onze Aarde, kan men er uit besluiten, dat zij eene afplatting heeft ongeveer van dezelfde verhouding als die, welke onze Aarde bezit, hoewel men die afplatting tot nu toe niet heeft kunnen waarnemen.

Onder andere opzichten bestaat er echter een groot verschil tusschen Venus en onze Aarde: zoo maakt volgens Schröter haar omwentelingsas met het vlak van hare loopbaan slechts een hoek van 15 graden (zie plaat XVII, Fig. 1). Volgens de verschillende jaargetijden en breedten is de lengte der dagen en nachten zeer verschillend; alleen onder den equator is dag en nacht alle dagen des jaars even lang. Op ieder evennachtspunt echter klimt dan de Zon tot in het Zenith en op ieder solstitie daalt zij tot op 15° boven den horizon.

Om een voorbeeld te geven van de zonderlinge veranderingen, welke het onderlinge verschil van dag en nacht en dus van hitte en koude oplevert, denken wij ons dan eens de streken welke op 45° liggen, dus juist in het midden tusschen de pool en den evenaar, overeenkomende met het midden van Frankrijk en Duitschland op onzen aardbol. Van de lente-equinoxe ziet men daar dagelijks de Zon in den meridiaan hooger klimmen, totdat zij eindelijk het Zenith bereikt; dan begint er een reeks van dagen zooals er in onze poolstreken bestaan; de zon gaat des avonds niet meer onder, zij beschrijft een cirkel rondom de hemelpool, een cirkel, die dagelijks kleiner wordt; zoodat in het

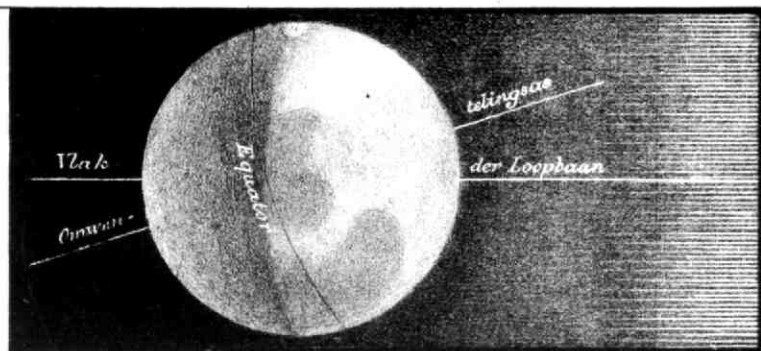


Fig 1. Venus haar solstitium helling der omwentelingsas.

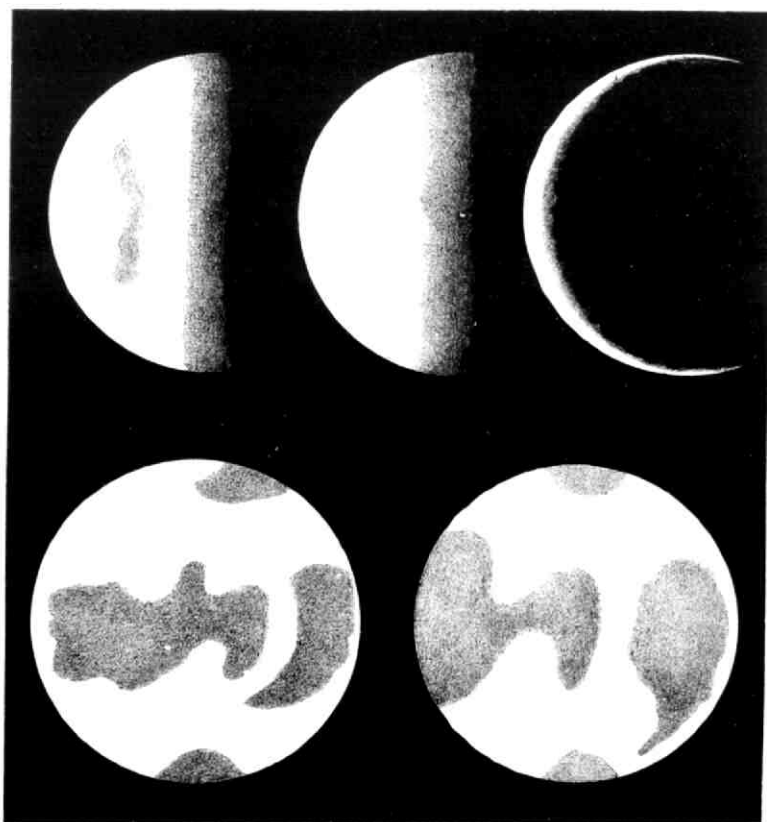


Fig 2. Schijngestalten van Venus, vlekken op de beide halfeinden naar Bianchini.

zomersolstitie de middellijn van dien cirkel 36° is, overeenkomende met eene middagshoogte van 63 graden.

Na dat zomersolstitium wordt de cirkel wederom grooter en de Zon zakt weder, totdat zij op nieuw het Zenith bereikt: dan begint er wederom een nacht te komen, in den beginne zeer kort, die echter dagelijks langer wordt totdat het volgende solstitium, wanneer de zomer geëindigd is en de herfst begint; dan volgen de bovengenoemde verschijnselen in eene tegenovergestelde orde elkander op, want de Zon daalt al lager en lager in den meridiaan, tot zij eindelijk onder den horizon verdwijnt om in een gansch tijdsverloop niet meer te verschijnen, even als in de nachten van onze pool. Aan de beide polen van Venus heeft men dus bij afwisseling onafgebroken 115 dagen dag en 115 dagen nacht. In dien langen dag bereikt de Zon eene hoogte van 72 graden. Dit geeft ons reeds een denkbeeld over de verdeling van klimaat, over de zonderlinge opvolging van dag en nacht, de jaargetijden, weersgesteltenis.

Vico meent waargenomen te hebben, dat de helling van Venus' as zoo groot niet is, maar een hoek beslaat van 50° : een bewijs dat de sterrenkundigen het over de richting der as niet eens zijn. Wanneer men de richting van de as aanneemt volgens Vico, dan zouden de verschijnselen, welke wij opgenoemd hebben, veel geringer zijn: dit echter zou waar blijven, dat de tropische en de poolstreken in elkander zouden loopen evenals op Mercurius, en er geen gematigde luchtstreek zou bestaan.

Omdat de loopbaan van Venus om de Zon bijna cirkelvormig is, hebben de jaargetijden er een bijna even langen duur; maar omdat Venus dicht bij de warmtebron geplaatst is, is de kracht van het licht en de warmte op die planeet bijna dubbel zoo groot als op onze Aarde: de schijnbare middellijn der Zon is dan ook veel grooter dan wij zien ¹

Wellicht is Venus omgeven door een dikken nevelachtigen dampkring, waarin voortdurend de dampen door de warmte ontwikkeld, opstijgen, en daardoor kan de kracht der verschillende jaargetijden

¹ Wij zien de Zon met eene middellijn van $32' 4''$, en uit Venus beslaat de middellijn $44' 20''$. De schijnbare oppervlakte der zonneshijf en dus de licht- en warmtekracht der Zon op de Aarde en op Venus staan dus tot elkander als 100 tot 191. Maar als wij in aanmerking nemen de oppervlakte der beide planeten, waarop de zon afstraalt, dan is de onderlinge verhouding als 100 tot 182.

gematigd worden. Wat die hypothese eenige waarschijnlijkheid bijzet, is de waarneming bij den overgang in 1761 gedaan. Toen scheen het alsof een nevelachtige ring de zwarte schijf van Venus omringde, en zelfs toen de Venus-schijf gedeeltelijk op de Zon en gedeeltelijk daarbuiten was, vertoonde zich de lichtende nevelring buiten de zonnenschijf.

Beide verschijnselen zijn gemakkelijk te verklaren, wanneer Venus met een dikken dampkring omringd is.

In hare onderste conjunctie vertoont Venus zich als eene dunne sikkel, wier hoornen, zooals door vele waarnemers is opgemerkt, zich over meer dan de helft der schijf uitstreken. Schröter nam het eerst dit verschijnsel waar, en besloot daaruit dat Venus een dampkring bezit; omdat de zichtbaarheid der hoornen verder dan zij door de Zon verlicht zijn een gevolg is der straalbreking, geheel overeenkomstig met onze avond- en morgenschemering.

Secchi nam in Mei 1857 het verschijnsel waar, en gaf er ook dezelfde verklaring van.

Venus heeft dus eene avondschemering en een dageraad, wier duur volgens de beide laatste sterrenkundigen overeen zou komen met de schemering, wanneer de Zon slechts 15 graden onder den horizon daalt.

De tragsgewijze lichtvermindering, die men bij Venus duidelijk waarneemt op de afscheidingslijn van licht en duisternis bij hare schijngestaten, vindt dan evenzoo eene gemakkelijke verklaring in haren dampkring. Echter geldt dit niet voor een deugdelijk bewijs, want die uitvloeiende band tusschen de licht- en schaduwzijde kan ook gedeeltelijk veroorzaakt worden door de schuinsche richting der zonnestralen voor die gedeelten, waar de Zon laag aan den horizon staat, en ook gedeeltelijk door de lange schaduw, welke de verhevenheden op Venus achter zich werpen bij den op- en ondergang der Zon.

Dat er zulke verhevenheden, heuvels en bergen, op Venus bestaan, wordt bewezen door den tandvorm van hare schijf, zoo als Lahire, Derham en Schröter hebben waargenomen, en wier afteekening men op Pl. XVII, Fig. 2 vindt.

Soms heeft men de hoornen der sikkel afgeknot waargenomen, ja men heeft zelfs een lichtend punt opgemerkt geheel buiten de lichtlijn op de schijf: dit kan niet anders zijn dan de top van een berg door de Zon verlicht, terwijl zijne zijwanden nog in het duister zijn.

Minder zeker zijn de berekeningen van Schröter over de hoogte

dier bergen op Venus. Zou het waar zijn dat zij eene hoogte hebben van 44,000 meters? Onmogelijk is het zeker niet, maar de verschillende physische elementen, waaruit men tot die maat besloten heeft, zijn zoo moeilijk waar te nemen, er bestaat nog zoo veel onzekerheid in die punten, dat men het niet bevestigen noch ontkennen kan, en het dus het veiligst is af te wachten, of nieuwe waarnemingen er meerdere bevestiging aan geven.

De duistere vlekken, die Cassini het eerst op de Venusschijf waarnam, en welke later door Bianchini met nauwkeurigheid werden afgeteekend, schijnen eene eeuw later in denzelfden vorm door Vico te zijn gezien: zie de vlekken op de beide verlichte halfronden Pl. XVII, Fig. 2. Het zouden dus blijvende vlekken zijn en niet nevelen en wolken in den dampkring; wellicht zijn het zeeën en vastland zooals op onze Aarde.

De spectraal-analyse openbaarde aan W. Huggins niets bepaalds over een dampkring van Venus. Secchi mocht echter onder den helderen Italiaanschen hemel beter slagen; want hij merkte in het licht-spectrum van Venus donkere strepen op, geheel en al overeenkomstig met de waterstofstrepen van onzen dampkring en besloot daaruit, dat Venus niet alleen een dampkring bezit, maar een die geheel overeenkomt met den onze.

Wanneer Venus dicht bij hare onderste conjunctie is, dan ziet men somtijds hare geheele schijf, hoewel de lichtende sikkel zeer dun is: dan is haar duister gedeelte met een aschgrauw licht bedekt zooals wij op het niet verlichte gedeelte der maan waarnemen. Arago telt verschillende waarnemingen van dat verschijnsel op. Den 20 April 1865 zag men in Leipzig dat verschijnsel zeer duidelijk: de schijf had toen eene groenachtig grijze tint, veel helderder dan de grond des hemels. Welke is de oorzaak van die nachtelijke verlichting op Venus? — Men heeft verschillende hypothesen aangegrepen om het te verklaren: het zelflichtend vermogen van Venus, de afstraling van het sterrenlicht, het zodiaklicht, eene straalbreking in den dampkring en eindelijk een magnetisch licht, gelijk aan ons Noorderlicht. Voor geene der hypothesen kan men echter bewijzen aanvoeren.

Op verschillende wijzen heeft men de massa van Venus berekend, en is men tot de middelbare bepaling geraakt, dat zij het 412,150 gedeelte van de zonnemassa, of het $\frac{3}{106}$ gedeelte der Aarde is. Hare middelbare dichtheid met de Aarde vergeleken is 0.956, en met de

dichtheid van water 5.43. — Die dichtheid schijnt te wijzen op eene minerale verbinding met die van onze Aarde overeenkomende. De zwaartekracht op hare oppervlakte is 0.92; zoodat een lichaam door de zwaartekracht alleen in de eerste seconde 4' 51" valt. Op Venus wegen dus de lichamen iets lichter dan op onze Aarde (een verschil van $\frac{1}{16}$.)

De hemelbol dus, dien wij beschouwd hebben, komt in zeer vele opzichten, wat afmetingen, astronomische en physische elementen betreft, met onze Aarde overeen, en verschilt in andere opzichten er wellicht weinig van; maar de bepaalde gegevens zijn te weinig en te onzeker, om er een vast besluit uit te trekken, zoodat men nog veel aan de ontdekkingen en waarnemingen der wetenschap in de toekomst moet overlaten.

Wanneer men enkel afging op de waarnemingen van een groot aantal geleerden van de 17^e en 18^e eeuw, (Cassini, Short, Montaigne, Roedkier, Horrebon, Montbarron, Lambert) dan bezat Venus nog één punt van overeenkomst met onze Aarde, en wel dat zij even als onze Aarde eene Maan bezit, die haar vergezelt. In later tijd heeft men die Maan echter nooit kunnen terug vinden, en vele in de astronomie gezag hebbende mannen hebben die Maan voor een optisch bedrog verklaard, zoodat thans geen sterrenkundige meer aan eene Venusmaan geloof.

III.

DE AARDE ☉.

§ 1. Beschouwd in de ruimte. — Bewijzen, dat zij rond is. — Afplatting aan de polen, bewezen door de meridiaan-meting en den slinger. — Elliptische vorm van den evenaar. De Aarde is een bol met drie ongelijke assen. — Afmetingen. — Massa, middelbare dichtheid. — Straalbreking van den dampkring.

Onze Aarde is van de Zon af de derde planeet wier eigenschappen, als hemellichaam, wij thans zullen beschouwen. Zij loopt niet eenzaam zooals Venus en Mercurius door het hemelruim, maar wordt overal vergezeld door de Maan, als door een trouwen wachter, die zich om de Aarde beweegt, zooals onze Aarde om de Zon loopt.

Na de beschrijving van onze planeet volgt dus natuurlijk de beschrijving der Maan, die, om hare nabijheid, de meest gekende van alle sterren uit het zonnestelsel is. —

Wanneer onze Aarde ook eene ster is, die zich in de ruimte beweegt, zooals die menigte andere hemellichamen rondom ons, dan komt de vraag bij ons op, hoe die Aarde zich wel vertoonen moet uit de hemellichamen, die haar omgeven. Dit hangt echter geheel af van den afstand, waarop zulk een waarnemer geplaatst zou zijn.

De Aarde heeft eene bolvormige gedaante, wier ééne helft door het zonlicht wordt bestraald, terwijl de andere helft in het duister ligt. Voor iemand, die zich van de Aarde zou verwijderen, zou de schijf der Aarde kleiner en kleiner, maar ook helderder en lichtender worden, omdat het zonlicht, dat zij op den waarnemer terugkaatst, voor hem meer geconcentreerd zou worden in kleiner omvang; volgens

den stand van den waarnemer, zou de Aarde hem dezelfde schijnge-
stalten vertoonen, die wij bij Mercurius en Venus opmerken. —

Uit de Maan gezien, zou onze Aarde zich vertoonen als eene lich-
tende schijf, bezaaid met vlekken, van welke de helderen het vast-
land en de donkeren de zeeën zouden aanduiden, terwijl schitterend
witte vlekken de eeuwige sneeuw en het ijs aan de polen zouden
toonon; behalve die vaste vlekken zou men ook beweeglijke vlekken
waarnemen, de wolken, namelijk in onzen dampkring, die zeer vaak
het gezicht op onze Aarde zouden belemmeren. Op dien afstand zou
de schijnbare middellijn onzer Aarde bijna viermaal grooter zijn dan
zich thans de Maan aan ons oog vertoont; zoodat, wanneer de Aarde
vol zoude zijn, dat is wanneer haar geheel verlicht halfmond naar
de Maan gekeerd was, zij schitteren zou zooals voor ons 13 vere-
eenigde volle manen zouden doen. Op een afstand viermaal verder dan
onze wachter, zou onze Aarde zich nog vertoonen als eene schijf ter
grootte der Maan, maar naarmate men zich verder van de Aarde zou
verwijderen, zou zij in afmeting verminderen en eindelijk tot een punt
ineenkrimpen, en gelijk zijn aan eene der sterren van ons uitspansel.

Die gedachte over den vorm onzer Aarde rust niet enkel op over-
eenkomst, omdat alle bekende hemellichamen den kogelvorm bezitten;
maar feiten, wier nauwkeurigheid men kan nagaan, toonen met zeker-
heid het zweven in de ruimte en den kogelvorm der Aarde; terwijl
de nauwkeurigste metingen ons hare ware afmetingen hebben doen
kennen.

Beschouwen wij een oogenblik die verschillende punten.

Iedereen weet, dat de horizon op het vlakke land den vorm heeft
van een cirkel, welke den beschouwer omringt; wanneer deze zich
verplaatst, verplaatst zich ook de cirkel, terwijl hij zijnen vorm be-
houdt, die alleen verandert, wanneer bergen of hinderpalen van eene
zekere hoogte den gezichtseinder begrenzen. In volle zee is de cirkel-
vorm van den horizon nog duidelijker en verandert alleen bij de kust.
Ziedaar reeds een bewijs voor de rondheid der Aarde, omdat een kogel
het eenige lichaam is, dat zich altijd als een cirkel aan ons oog
vertoont, hoe men hem ook beschouwt. Men kan overigens niet zeg-
gen, dat de horizon gevormd wordt door de grenslijn van ons gezichts-
vermogen, want naarmate men zich hooger boven de vlakke verheft,
naar die mate wordt de cirkel van den horizon ook wijder. Zie pl.
XVIII, Fig. 1, waarop een berg staat afgebeeld op eene vlakke, die

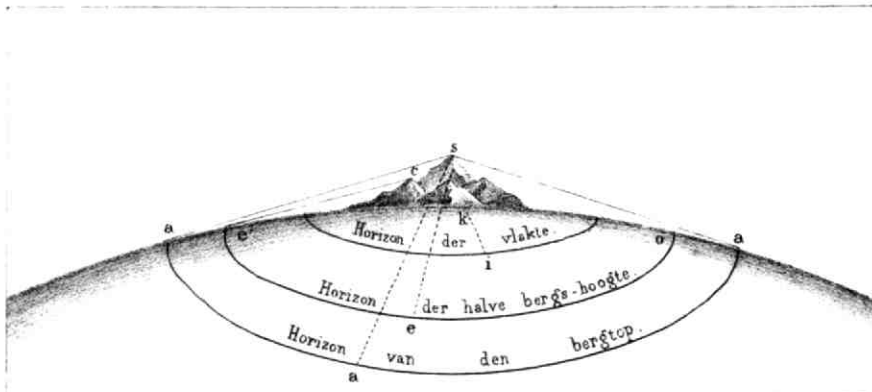


Fig 1 Bolvorm van het vasteland - horizon volgens verschillende hoogten

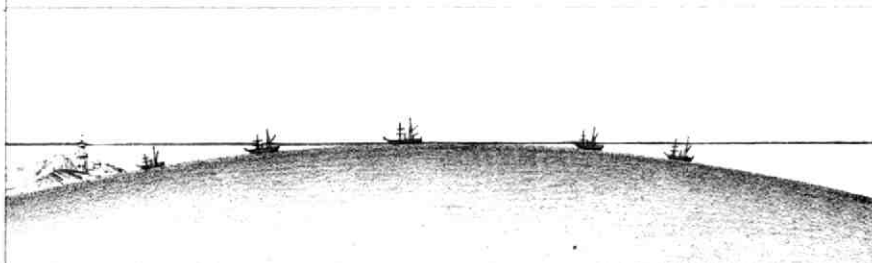


Fig 2 Bolvorm der zee - Verklaring van het verschil in het waarnemen van een naderend schip.

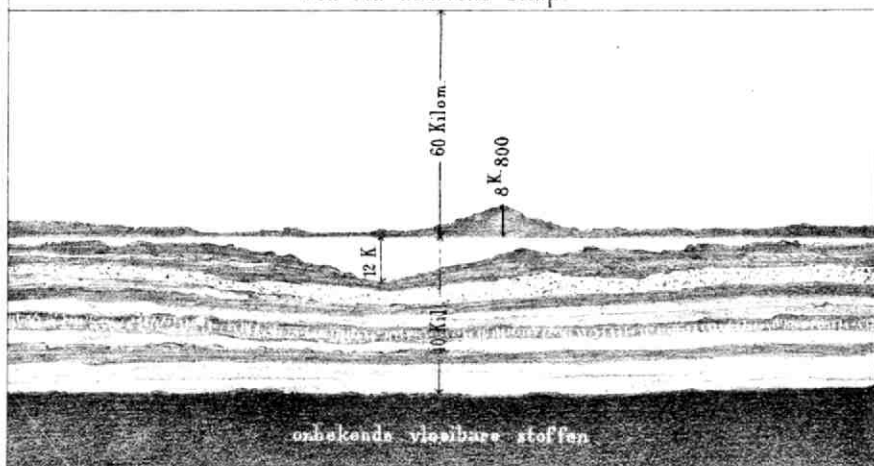


Fig 3 Onderlinge hoogte der bergen en van den dampkring - Diepte der zee en vooronderstelde dikte der aardkorst.

een gedeelte van een bol is. Wanneer men zich aan den voet van den berg bevindt, heeft men een zeer nauw begrensden horizon, wiens straal zich niet verder uitstrekt dan van k tot i, maar bestijgt men den berg tot op e, dan verwijdt zich de horizon tot in e e o. Op den top echter van den berg strekt zich de horizon nog verder uit, tot in a a a, en, zoo de lucht helder is, zal men van den top voorwerpen in het oog krijgen, daár waar men aan den voet van den berg staande, slechts het blauw des hemels zag. De uitbreiding van den horizon naarmate men hooger stijgt, zou niet uit te leggen zijn, wanneer de Aarde den vorm van een plat vlak had.

Op zee vertoont zich die ronde vorm nog veel duidelijker. Want als men zich aan het strand op een toren of op het duin bevindt op het oogenblik, dat er een schip aan den horizon verschijnt, ziet men door een goeden kijker eerst slechts den top der masten en de bovenste zeilen, terwijl de romp van het schip met de groote zeilen nog verborgen is. Naarmate het schip nu de kust nadert, rijst het meer en meer boven den horizon, zoodat het eindelijk geheel zichtbaar is. Pl. XVIII, Fig. 2, geeft er ons eene afbeelding van. Dat achtereenvolgens zichtbaar worden van de lagere deelen van het opkomende schip, kan op geene andere wijze worden uitgelegd, dan dat de Aarde bolvormig is.

Voegen wij hierbij nog een paar bewijzen, die even als de vorigen belangrijker zijn als feiten dan wel als overtuigingsstukken; want wie kan aan de rondheid der Aarde en aan haar zweven in de ruimte nog twijfel koesteren, nadat men sinds drie honderd jaren te land en ter zee, in alle richtingen de Aarde heeft omgereisd? ¹

Wie kan er aan twijfelen, wanneer men ziet hoe de sterren in hunne dagelijkse beweging aan de eene zijde van den horizon ondergaan, en 24 uren daarna aan de andere tegenovergestelde zijde weder opkomen.

¹ De eerste reis rondom de wereld werd door Ferdinand Magellaan, een beroemd Portugeesch reiziger, gedaan. Den 20 September 1514 zeilde hij uit eene der havens van Portugal het Westen in, en stuitte op het pas ontdekte Amerika. Nu zeilde hij langs Amerika's kust naar het Zuiden, en geraakte door de straat, welke zijn naam draagt, aan de andere zijde in de Stille Zuidzee. Immer westwaarts zijn tocht vervolgende, stierf hij echter vóórdat hij de Molukken-eilanden in Azië bereikte. Zijn schip vervolgdé echter de reis en bereikte Europa weder uit het Oosten. Sinds dien tijd zijn een tal van reizen rondom de wereld gedaan, en langs den reuzenspoorweg van Noord-Amerika wordt thans de reis om de wereld bijna een pleiziertocht.

Eene der sterren uit het noordelijk halfroond des hemels, de Poolster, blijft voor eene bepaalde plaats ongeveer op dezelfde hoogte boven den horizon. Wanneer men zich naar het Zuiden verplaatst, vermindert de afstand van de Poolster tot den horizon, en trekt men verder noordwaarts dan wordt de afstand tot den horizon grooter. Wij zien bijv. in Leiden en omstreken de Poolster immer ongeveer 52 graden boven den horizon staan; zouden wij, zuidelijker reizende haar waarnemen in Marseille bijv., dan zou de afstand tot den horizon meer dan 9 graden zijn verminderd, en zij slechts 43 graden boven den horizon staan, en zouden wij meer het Noorden ingaan, en de Poolster bijv. in Stokholm waarnemen, dan was de afstand tot den horizon grooter, en zou ongeveer 59 graden bedragen. Ziedaar een feit dat onmogelijk anders verklaard kan worden dan door de ronde gedaante van de oppervlakte der Aarde.

Wanneer men overigens, in plaats van zich te verplaatsen naar het Noorden of Zuiden, het Oosten b.v. intrekt, dan behoudt de Poolster steeds dezelfde hoogte boven den horizon. In Berlijn neemt men dus ongeveer dezelfde hoogte van de Poolster boven den horizon waar als bij ons, maar het uur van den op- en ondergang der sterren verschilt, zoodat eene ster in Berlijn ongeveer 36 minuten vroeger opgaat dan bij ons, en daaruit volgt noodzakelijk, dat de Aarde in alle richtingen den kogelvorm heeft, en dat zij dagelijks eene geheele omwenteling om hare as maakt.¹

¹ Dat de Aarde rond is en vrij in de ruimte des hemels zweeft, vindt thans geene tegenspraak meer. Velen echter, die zulks als bewezene waarheden aannemen, stuiten toch op zekere moeielijkheden en vragen zich zelven af, hoe het toch mogelijk is, dat de bewoners en de voorwerpen op Aarde zich in evenwicht kunnen houden op den kant en vooral onder aan dien bol, en waarom zij er niet afvallen.

Die moeielijkheid komt voort omdat men zich een verkeerd denkbeeld vormt over den val van een voorwerp.

Ieder lichaam bezit eene kracht, waardoor het andere lichamen tot zich trekt. Men noemt dit *attractie* of aantrekkingskracht. Ieder deel van het lichaam bezit die kracht, die gelijkmatig werkt, en daardoor ligt de grootste aantrekking in het midden- of zwaartepunt en bij een kogel dus in het middelpunt. Hoe grooter lichaam hoe grootere kracht. Door die kracht nu worden alle lichamen, die zich op of in de nabijheid van dat groote lichaam bevinden, naar het middelpunt getrokken, en zoo verhindert de aantrekkingskracht der Aarde, dat de lichamen van haar afvallen en in het hemelruim geslingerd worden. Een van de Aarde weggeslingerd voorwerp wordt dus door de aantrekkingskracht der Aarde genoodzaakt tot haar terug te keeren, en dat noemt men *vallen*. Onder en boven bestaat dus alleen met betrekking tot ons, want

Een laatste bewijs, waardoor wij den kogelvorm der Aarde met onze oogen zien, is de maansverduistering; dan werpt de Aarde haar schaduwbeeld op de volle verlichte schijf der Maan, en dat schaduwbeeld of in zijn geheel of in een gedeelte, vertoont ons immer den ronden vorm van een kogel.

Al de aangevoerde bewijzen getuigen wel, dat de Aarde bolvormig is, maar geven ons nog niet den nauwkeurigen vorm te kennen. Is zij een zuiver ronde bol, afgezien van de verhevenheden op de oppervlakte, die in verhouding tot de grootte der Aarde in geene aanmerking komen? Of wel is zij langwerpig rond, meer of minder regelmatig? En welke zijn hare afmetingen?

Om dit gewichtig vraagstuk op te lossen ging men van de vooronderstelling uit, dat de Aarde volmaakt rond was; iedere denkbeeldige lijn, meridiaan genoemd, rondom de Aarde over hare oppervlakte getrokken en door de beide polen gaande, moest dus een volmaakte cirkel zijn. Zulk een cirkel verdeelt men in 360 graden; wanneer men nu één van die graden mat, kende men ook den ganschen omtrek.

Voordat wij de verschillende uitkomsten van die metingen opgeven, zullen wij eerst duidelijk trachten te maken, hoe men op Aarde den afstand van zulk een graad bepaalt.

Zooals men een meridiaancirkel op Aarde in 360 graden verdeelt, doet men het ook een meridiaancirkel aan den hemel; zoodat van den aequator, zoowel van de Aarde als van den hemel, tot aan de polen, men eene lengte heeft van 90 graden. Iedere graad aan den hemel komt dus juist overeen met een graad op Aarde, en beiden liggen dus in hetzelfde vlak. Verplaatst men zich nu naar het Noorden of Zuiden zoover, dat het toppunt aan den hemel één graad verschil oplevert, zoo heeft men op aarde zich ook één graad verplaatst.

omdat de Aarde zich vrij in de ruimte beweegt, heeft zij geen onder noch boven; op welk punt van den Aardbol zich ook menschen bevinden, voor ieder van hen is *onder* naar het middelpunt der Aarde in de richting hunner voeten, en *boven* naar de ruimte des hemels. Dus alleen met betrekking tot ons zijn onze tegenvoeters, aan de andere zijde van den aardbol, in een stand geplaatst met de voeten omhoog en het hoofd omlaag; maar evenzoo zijn ook wij met betrekking tot onze tegenvoeters in een stand, zooals zij zich tot ons bevinden. Diezelfde kracht houdt rondom de Aarde de waten van den Oceaan en de wolken in den dampkring, zoodat alles met elkander eene ronde massa vormt, overal omringd door het wijde hemelruim.

Wij wonen b.v. 52° Noorderbreedte en diezelfde graad staat ook aan den hemel in het Zenith of toppunt. Verplaatsen wij ons nu naar Groningen b.v. dan hebben wij 53° in het Zenith, en dus is op Aarde de afstand van Leiden tot Groningen één graad; wanneer nu die afstand gemeten wordt en met 360 vermenigvuldigd, dan hebben wij de lengte van den ganschen meridiaancirkel. Reeds vroeg ondernamen dergelijke metingen. Zoo mat Eratosthenes den afstand tussehen Sienne en Alexandrie, en besloot daaruit dat de omtrek der Aarde 250,000 stadiën bevatte, dat is ongeveer 45,000,000 meters. Posidonius en Ptolomeus verkregen eene kleinere lengte. In nieuwere tijden mat Fernel in 1550 de lengte van een meridiaangraad tussehen Amiens en Parijs, en berekende daaruit den omtrek der Aarde op ongeveer 40,043,400 meters.

In 1615 mat onze vaderlander Snellius een meridiaangraad tussehen Alkmaar en Bergen op Zoom, en maakte het eerst gebruik van eene meetkunstige wijze, welke nog in gebruik is. Eerst meet men nauwkeurig eene vlakke lijn van zekeren afstand en gebruikt die als basis voor den daarop getrokken driehoek, want, zooals wij later breedvoerig zullen uiteenzetten, wanneer men de basis van een driehoek met de twee hoeken aan dien basis kent, berekent men gemakkelijk den ganschen driehoek; daardoor verkrijgt men eene reeks driehoeken, waarvan telkens de basis bekend is, en zoo komt men tot het besluit hoe lang de graad is tussehen de beide bepaalde plaatsen. In 1769 berekende Picard, door de meting tussehen Malvoisine en Amiens, den omtrek van den meridiaancirkel op 40,037,000 meters.

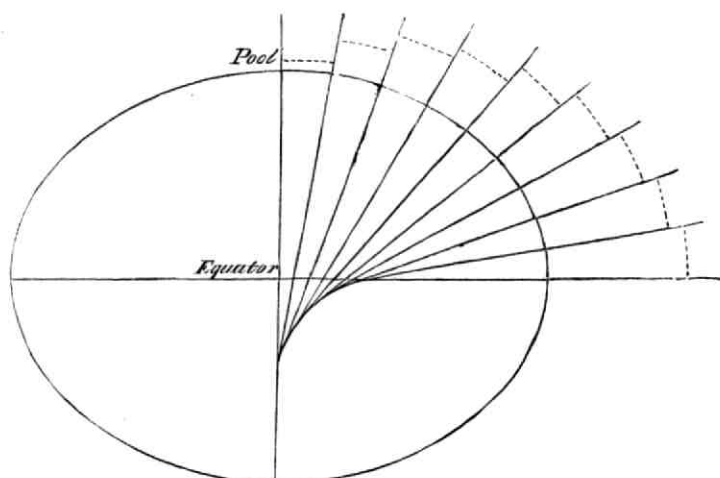
Bij de verschillende graadmetingen, welke plaats vonden, moeten wij nog melding maken, dat Bouguer, Lacondamine en Godin eene graadmeting volbrachten in Peru bij den evenaar, terwijl Maupertuis er eene in Lapland ondernam.

De meesten van die metingen komen allen hierin overeen:

Dat de verschillende graden van een meridiaan niet allen dezelfde lengte hebben, waaruit dus noodzakelijk volgt, dat de Aarde niet volmaakt rond is en dat de lengte der graden toeneemt naar de polen, zooals uit het onderstaande blijkt.

Plaats der meting.	Breedtegraad.	Lengte in meters.
Peru	1° 31'	110 582
Bengalen	12° 32'	110 631
Oost-Indie	22° 37'	110 668
Frankrijk	46° 8'	111 143
Engeland	52° 2'	111 224
Rusland	56° 25'	111 360
Lapland	66° 20'	111 477.

Uit die vermeerderde lengte der meridiaangraden naar de polen



(Fig. 12.) Elliptische vorm der aardmeridianen.

volgt, dat de Aarde aan de polen eene afplatting heeft, met andere woorden, dat de meridiaanlijnen rondom de Aarde, in plaats van cirkels te zijn, integendeel meer den vorm hebben van eene ellips, zooals Fig. 12 aanduidt, waar de afplatting tot meerdere duidelijkheid overdreven is. De zaak oppervlakkig beschouwd zou men integendeel meenen, dat, juist om de afplatting, de graden aan de pool kleiner moesten zijn dan aan den evenaar; dit zou waar zijn, wanneer alle verticale lijnen der graden uit één en hetzelfde middelpunt werden getrokken, maar omdat de Aarde niet zuiver rond is verandert ook voor iederen graad het middelpunt, en de graad, die de grootste afplatting heeft, heeft dus zijn middelpunt het verste af

liggen, omdat de graad een gedeelte van een cirkel is, Fig. 12 toont zulks duidelijk aan. De lijn dus, die door de polen gaat of de as der Aarde, is dus de kleinste middellijn en de grootste is bij den evenaar.

Een tweede bewijs voor de afplatting der Aarde aan de polen vonden men in de toepassing van den slinger. Bij eene slingerbeweging werken twee krachten. De kracht namelijk, welke den slinger in beweging brengt en de kracht, welke den slinger naar het middelpunt der Aarde trekt, zoodat een slinger eens in beweging, bestendig in die schommeling zou blijven voortgaan, wanneer de weerstand der lucht en de wrijving in het beweegpunt zulks niet verhinderden. Hoe dichter nu bij het middelpunt der Aarde, hoe sterker de aantrekkingskracht werkt en hoe sneller dus de slingeringen worden en wel volgens de wet van Newton, in verhouding tot het kwadraat van den afstand tot het middelpunt der Aarde.¹

Nu hebben de verschillende proefnemingen geleerd, dat, naarmate men meer de polen naderde, de slingeringen sneller werden, dit wees op eene grootere aantrekkingskracht aan de polen dan aan den aequator, en dus op een korteren afstand van het middelpunt der Aarde.² Om dus aan de polen de slingering niet sneller maar gelijk met de slingering op den aequator te hebben, moest men den slinger langer maken, en uit die vermeerderde lengte maakte men de afplatting op. Op St. Thomas juist onder den evenaar was de lengte van den slin-

¹ De slinger is een gewichtig physisch, astronomisch werktuig. Wanneer de slinger in rust hangt, wijst hij het zwaartepunt aan.

Galilei bemerkte, dat de slingeringen immer in hetzelfde tijdsverloop plaats grepen hoe langer de slingering is, hoe sneller de beweging; hoe korter, des te langzamer is de beweging; op deze wet berust de tijdmeting door den slinger.

De tweede wet is, dat de duur van zulk eene slingering geheel en al onafhankelijk is van het gewicht en van den aard zijner zelfstandigheid; de zwaarte dus van den slinger oefent geen invloed uit op de meerdere of mindere snelheid der beweging.

De derde wet is, dat de duur der slingeringen van twee slingers, die ongelijke lengten hebben, tot elkander staan als de vierkantswortels van de lengte der slingers.

² Uit verschillende waarnemingen heeft men berekend, dat de zwaartekracht aan de polen $\frac{1}{194}$ gedeelte sterker is dan aan den aequator, zoodat een lichaam van een pond zwaarte aan de polen 5 gram zwaarder zou wegen dan op den aequator. Om eene juiste uitkomst te verkrijgen, mocht men ook merken, dat de omwenteling der Aarde tevens storend op de slingerbeweging werkt, omdat zij aan den slinger eene middelpuntvliedende kracht mededeelt. Men berekent die vermindering op $\frac{1}{189}$ gedeelte.

ger 991,111 millimeter, terwijl op Spitsbergen, op 79 graden noorderbreedte, de lengte van den slinger 996,036 millimeter bedroeg.

Bij dergelijke slingerwaarnemingen gaat men immer van eene vooronderstelling uit, welke de ondervinding echter leert niet onder alle opzichten waar te zijn. Men neemt aan, dat de Aarde overal, van den buitensten rand naar het middelpunt toe, dezelfde lagen en dus dezelfde dichtheid bezit; de ondervinding leert echter, dat op grootere breedte niet immer eene geregelde vermeerdering van slingerlengte plaats vindt, zooals men bij eene regelmatige dichtheid moest verwachten, dit bewijst dus, dat er plaatselijke aantrekkingskrachten werken, voortkomende uit meerdere of mindere dichtheid. 't Is daarom noodig om den slinger op zeer vele ver van elkander liggende punten toe te passen zoo als Sabine deed in het noorden, toen hij Ross in 1818 op zijne noordpoolexpeditie vergezelde, en naderhand op verschillende punten van den Atlantischen Oceaen.

Gaan wij thans de verschillende afmetingen na van onzen Aardbol.

De straal der middellijn is volgens Bessel en Airy 6377.4 kilometers, volgens anderen 6378.2, volgens Littrow 6366.3 kilometers. De straal langs de polen meet volgens Bessel 6356.1, volgens anderen 6356.4 kilom., zoodat de afplatting aan iedere pool ongeveer 21 kilom. bedraagt. Het verschil dus tusschen den straal op den evenaar en den straal op de pool geeft de afplatting te kennen, zoodat men $\frac{1}{99}$ van den straal verkrijgt.

Op den afstand der naastbijzijnde planeten zou zulk eene geringe afplatting aan de nauwkeurigste metingen ontsnappen. Om ons een juist begrip van de poolafplatting te vormen, moeten wij ons de Aarde voorstellen als een bol van één palm middellijn, dan zou de afplatting aan de polen slechts 1.66 streep bedragen, zoodat het oog die ter nauwernood zou kunnen bemerken. Wat beteekenen nu volgens die maat de oneffenheden van bergen en valleïën op de oppervlakte der Aarde. De Kunchinjunga en de Gaurisankar, die beide reuzen van het Himelayagebergte, de hoogste bergen van onze Aarde zouden, afgebeeld naar evenredigheid op een bol van één palm middellijn, slechts $\frac{2}{10}$ van eene streep bedragen en de Mont-Blanc nauwelijks $\frac{1}{3}$ gedeelte van eene streep. De bergketenen van mindere hoogte zouden onzichtbaar zijn. De grootste diepten van den Oceaen zouden nauwelijks eene streep onder de oppervlakte van den bol wegzinken, en het luchtomhulsel, dat onder den naam van dampkring onze Aarde omgeeft, zou slechts eene laag vormen van 5

strepen hoogte. Plaat XVIII, Fig. 3 toont op eene grootere schaal de onderlinge afmetingen der bergen en de hoogte van den dampkring, de diepte van den Oceaan en de vooronderstelde dikte van de aardkorst¹. Om de hier afgebeelde afmetingen te verkrijgen zou men een bol moeten hebben van 12,75 meters, middellijn. De oneffenheden op onze Aarde worden soms vergeleken met de ruwe schil van een oranjeappel; die vergelijking houdt echter geen steek, want als onze Aarde verkleind was tot de grootte van een oranjeappel, zou het oog er geene afplatting of ruwheid aan ontdekken.

Bij de talrijke metingen, welke hebben plaats gehad, is men tot de overtuiging gekomen, dat de vorm der Aarde nog andere onregelmatigheden heeft. Zoo heeft men bevonden, dat alle meridiaancirkels niet aan elkander gelijk zijn, en evenzoo dat de afplatting aan iedere pool niet even groot is, en eindelijk dat de evenaar, welke wij rond vooronderstelden, integendeel langwerpig rond is.

De groote as van den evenaar meet 12756.5 kilom. en de kleine as 12753.5 kilom., hetgeen een verschil oplevert van 3 kilom. of eene afplatting van $\frac{1}{3252}$, 14 maal minder dus dan de afplatting aan de polen², zoodat onze Aarde een onregelmatigen elliptischen vorm heeft met drie assen, verschillend in lengte.

De bouw van onze Aarde en de geologische natuur van de aardkorst en de daaronder liggende kern behooren niet tot het bestek van dit werk, daar wij de Aarde alleen als hemellichaam beschouwen; dit alleen mogen wij in herinnering brengen, dat de tegenwoordig aangenomen hypothese over den oorspronkelijk vloeibaren toestand onzer Aarde eene bevestiging vindt in de afplatting. Ieder draaiend vloeibaar lichaam neemt den vorm aan van een langwerpig rond en wordt afgeplat aan de polen van de as, om welke de beweging plaats vindt.

¹ Men kent de hoogte van den dampkring volstrekt niet met zekerheid. Wanneer men de lichtverschijnselen van de avondschemering in aanmerking neemt, schat men zijne hoogte op 60 kilom. Liais echter schat dezelve op 340 kilom., en de hoogte waarin de meteoren door wrijving in onzen dampkring ontvlammen, schijnt de laatste bevestiging van Liais te bevestigen.

De dikte der aardkorst schat hij op 40 kilom., wat echter eene bloote vooronderstelling is, welke men afleidt uit de toenemende warmte in de Aarde.

² De stand der assen aan den evenaar is als volgt.

Polen der gr. as	}	12°31'	W. Lengt. Congo.
		192°03'	W. Lengt. Sandwich eilanden.
Polen der kl. as	}	102°00'	W. Lengt. Sunda Archipel.
		78°00'	O. Lengt. Landengte v. Panama.

Onder de planeten, welke wij beschouwen moeten, zullen wij er velen aantreffen afgeplat evenals de Aarde en met grootere afplattingen, want hoe sneller de beweging, hoe grooter de afplating.

Nog een woord over den vorm en de afmeting der Aarde, waardoor wij een juist begrip krijgen over haren bolvorm. Wanneer men zich van een zeker punt verwijderd, daalt men ook onder den horizon van dat punt, zoodat als men één graad of 111 kilom. ver zich verwijderd heeft, men zich 971 meters onder den horizon van dat punt bevindt, afgezien namelijk van de helling of de oneffenheden van het terrein. Wanneer de horizon van Leiden b.v. in eene rechte lijn tot over Groningen werd getrokken, dat op ruim een graad afstand van Leiden ligt, dan zou Groningen 1035 meters onder den horizon van Leiden liggen.

Door de afplating aan de polen is de lengte van een meridiaancirkel ongeveer 67 kilom. korter dan de omtrek om den evenaar. De eerste is dus lang 40.003.414 meters, de tweede 40.070.376 meters, in ronde getallen dus 5400 Geogr. mijlen. Uit de voorgaande getallen volgt dus dat de oppervlakte der Aarde¹ ongeveer 9.282.600 □ Geogr. mijl is of 510.000.000.000.000 □ meters. Ons vaderland is ongeveer 600 □ mijlen groot en dus het $\frac{1}{15500}$ gedeelte van de oppervlakte des aardbols.

Van die verbazende oppervlakte beslaan de zeeën meer dan drie vierde gedeelte, 383.260.000.000.000 □ meter zee en 126.640.000.000.000 □ meter land. Opmerkelijk is het dat het eene halfmond der Aarde het land bevat, terwijl het andere halfmond bijna geheel door de zee wordt ingenomen.

Wanneer men de grootte en de zwaarte der Aarde berekent, verkrijgt men getallen, waarover men moeielijk eenig begrip kan maken, zooverre gaan zij onze verbeelding te boven.

Een lichaam, duizend ellen hoog, breed en lang, is een kubiek ki-

¹ Om de oppervlakte of den inhoud van een kogel te berekenen moet men kennen de middellijn of wel de lengte van den omtrek, want middellijn, omtrek, oppervlakte en inhoud staan in bepaalde verhoudingen tot elkander.

a) De middellijn staat tot den omtrek als 1 : 3,14159; wanneer men dus de middellijn vermenigvuldigt met 3,14159 verkrijgt men den omtrek.

b) De oppervlakte is gelijk aan het product van de middellijn met den omtrek, dan verkrijgt men de oppervlakte in vierkanten.

c) De inhoud is gelijk aan het produkt van de oppervlakte met een zesde deel van de middellijn of een derde van den straal, dan verkrijgt men den inhoud uitgedrukt in kuben.

lometer. Welnu de Aarde bevat 19.695.000.000.000 zulke kubieke kilometers.

Door verschillende proefnemingen en lange berekingen, waarover wij in het derde deel van dit werk nader spreken zullen, is men tot eene bepaling geraakt over de middelbare dichtheid der Aarde. Omdat de verschillende lagen der Aarde dichter zijn, naarmate zij meer bij het middelpunt liggen, kan men slechts van middelbare dichtheid spreken. Die dichtheid, of met andere woorden, die zwaarte is meer dan 5 en een half maal de zwaarte van water (5.68).

Daaruit de zwaarte der gansche Aarde berekend, komt men tot het verbazend getal van ongeveer 13 quadrilloenen ponden

$$13 \overset{4}{000.000} \overset{3}{000.000} \overset{2}{000.000} \overset{1}{000.000}.$$

De dampkring, welke onze Aarde omringt, tot eene niet met zekerheid bekende hoogte, maar die zich zeker verder dan 60 kilom. uitstrekt, drukt met een gewicht op onze Aarde, gelijkstaande met eenē laag water van 52 voet.

Zulke afmetingen heeft de Planeet, die ons tot woonplaats strekt. Wat zijn, enkel onder het opzicht van stof, daarmede vergeleken de werken der menschen, waarop men vaak zoo trotsch is.

En toch, die verbazende bol is slechts een druppel aan een emmer in vergelijking met de Zon; een punt verloren in de ruimte, welke door ons Zonnestelsel wordt ingenomen.

Wie kan zich een begrip vormen over de diepte der hemelruimte, wanneer wij later zien zullen, dat zelfs ons gansche zonnestelsel, waarvan onze Aarde een stip is, gelijk is aan een nietig stofje, vergeleken met het zichtbare Heelal.

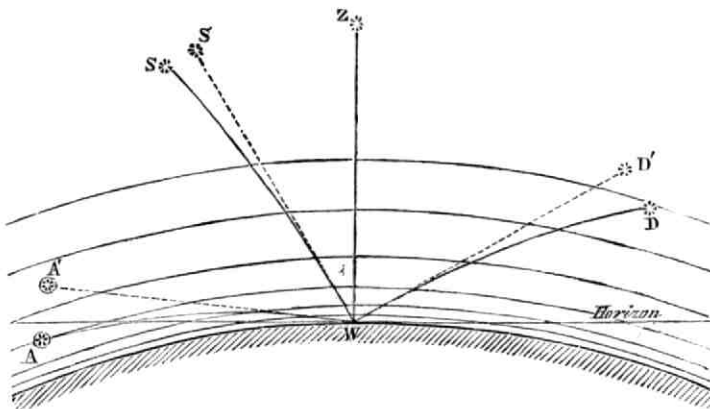
Handelende over de zwaarte van den dampkring, bespraken wij een punt van enkele weetgierigheid. De drukking evenwel, welke dat vlociend omhulsel uitoeft op ieder deel der aardoppervlakte en op de wezens, die er zich op bewegen, is van meer gewicht, want de dichtheid van den dampkring, de wet waarnaar die dichtheid naar boven toe afneemt, zijn feiten die in innig verband staan met de temperatuur der Aarde, naar gelang harer hoogte in verband met haar klimaat en dus ook met het dierlijk- en plantenleven op den omtrek.

Er bestaat echter een niet minder nauw verband tussehen het gasachtige hulsel, waarin wij ons bevinden, en de wijze waarop de lichtstralen er door heen dringen.

Een lichtstraal plant zich al golvend in eene rechte lijn voort, telkens wanneer het midden, waardoor hij heen gaat, eene in al zijne deelen, gelijke dichtheid bezit. Het voorwerp, waaruit de lichtstraal ons oog treft, is dus daar waar wij het zien, in eene rechte lijn van ons oog.

Maar als de lichtstraal, voordat hij ons oog bereikt, een midden moet doordringen, dat niet overal gelijke dichtheid bezit, dan wordt daardoor de straal uit zijne rechtlijnige richting gebracht, en het voorwerp is dus niet daar, waar wij het zien. Dat verschijnsel heeft plaats in onzen dampkring en wordt straalbreking of refractie van den dampkring of ook wel dampheffing genoemd, omdat de voorwerpen hooger schijnen te staan.

Wanneer in S en D (zie Fig 13) twee sterren staan, dan wordt



(Fig. 13.) Straalbreking van den dampkring en haar invloed op den stand der sterren.

de lichtstraal, uit de fijne ether in den dampkring der Aarde komende, gebroken en uit zijne richting gebracht, en omdat de dampkring uit lagen bestaat van onderscheidene dichtheid, grijpt er eene voortdurende breking in dien straal plaats, voor hij het oog van den waarnemer in W treft; deze ziet dus de beide sterren niet in S en D, maar in S' en D'.

Hoe lager aan den horizon hoe grootere breking, in het Zenith, alleen in Z bestaat geene refractie.

De sterrenkundigen hebben zich alle moeite gegeven om nauwkeurige refractietafels te berekenen ten einde daardoor den schijnbaren stand in den waren te kunnen veranderen. De tafels door Bessel samengesteld zijn

de besten. Aan den horizon echter is de straalbreking aan zoovele onregelmatigheden onderworpen, dat zij niet met juistheid kan bepaald worden. Hieronder voegen wij eene tafel der straalbreking van den horizon tot in het Zenith.

Op	0°	hoogte	bedraagt	de	Refractie	33' 47".9.
"	1	"	"	"	"	24' 22",3.
"	2	"	"	"	"	18' 23",1.
"	3	"	"	"	"	14' 28",7.
"	4	"	"	"	"	11' 48",8.
"	5	"	"	"	"	9' 54",1.
"	10	"	"	"	"	5' 20",0.
"	20	"	"	"	"	2' 38",9.
"	30	"	"	"	"	1' 40",7.
"	40	"	"	"	"	1' 9",4.
"	50	"	"	"	"	0' 48",9.
"	60	"	"	"	"	0' 34".
"	70	"	"	"	"	0' 21".
"	80	"	"	"	"	0' 10".
"	90	"	"	"	"	0' 0"0.

Die straalbreking is van groot belang voor de sterrenkundige waarnemingen, omdat men de sterren niet op hunne plaats ziet, en omdat dit verschil van plaats ook niet hetzelfde is voor alle plaatsen, want hoe dikker dampkring hoe meer straalbreking.

Daaruit volgt, dat men de Zon en de Maan reeds boven den horizon ziet, wanneer deze namelijk er zich nog onder bevinden. Door die refractie wordt dus ook de dag verlengd, zoowel des morgens als des avonds, en de lichtstralen verlichten nog den dampkring, wanneer de Zon reeds voor ons oog is ondergegaan, en hierdoor wordt de morgen- en avondschemering voortgebracht.

Waarnemingen en berekeningen hebben geleerd, dat, wanneer de Zon meer dan 18° onder den horizon is gedaald, hare stralen onzen dampkring niet meer treffen, en dat is de reden, waarom in de kortste nachten de schemering niet van den hemel wijkt, omdat de Zon des middernachts niet lager dan 18° onder den horizon staat, en hare stralen dus voortdurend boven onzen horizon den dampkring treffen.

Voegen wij hier nog bij dat, dewijl de dampkring, welke ons omgeeft, de zonnestrallen opvangt, breekt en verspreidt, hij daardoor voor ons een lichtend hulsel wordt, dat des daags den sterrenhemel

voor het ongewapende oog verbergt. Zonder dat verspreide licht zou ons de hemelruimte in plaats van donker blauw, integendeel donker zwart toeschijnen, en op dien somberen grond zouden wij bij vollen dag de sterren zien schitteren.

§ 2. Aswenteling der Aarde. — Hare gelijkvormigheid en duur. — Verschil tusschen sterren- en zonnedagen. — Snelheid der omwenteling op verschillende breedtegraden. — Wat er gebeuren zou, wanneer die omwenteling eensklaps ophield. — Bewijzen voor die omwenteling.

De Aarde wentelt om hare as in 86164 seconden of 23 ur. 56 min. 4 sec. middelbare tijd. De duur van eene gansche omwenteling is dus 236 seconden korter dan een middelbare dag van 24 uren, en die geheele omwenteling maakt een sterrendag, die den grondslag is van den astronomischen tijd en de regeling van den burgerlijken tijd.

Iedereen kent het verschijnsel der dagelijksche beweging, de schijnbare beweging namelijk van den sterrenhemel, waardoor de ware beweging onzer Aarde om hare as bewezen wordt. Iedereen ziet Zon, Maan en sterren op- en ondergaan, die allen gelijkvormige bogen aan den hemel beschrijven rondom een punt, dat alleen in die beweging niet schijnt te deelen, maar onbeweeglijk blijft op eene bepaalde hoogte boven den horizon, de pool genoemd. Die schijnbare beweging geschiedt zooals wij zien, van het Oosten naar het Westen, en komt voort uit de ware beweging der Aarde van het Westen naar het Oosten.

Wat echter minder bekend is, is het verschil dat er bestaat tusschen een *zonnedag* en een *sterrendag*. De sterrendag behoudt gedurende eene lange reeks van eeuwen ¹ dezelfde lengte, maar de zonnedagen zijn in den loop van een jaar verschillend in lengte.

Wanneer wij met behulp van een kijker, die op den meridiaan ² gericht is, het oogenblik waarnemen, dat eene ster die lijn voorbijgaat,

¹ In het derde deel zullen wij zien, dat de duur van de omwenteling der aarde niet volstrekt onveranderlijk is, maar eeuwen moeten voorbij gaan, opdat die verandering merkbaar is.

² Men noemt *meridiaan* de denkbeeldige lijn, die van eene plaats uit het Noorden door het Zenith naar het Zuiden wordt getrokken. Wanneer eene ster die lijn voorbijgaat, is zij in het hoogste punt van haren dagboog, die zij aan den hemel beschrijft. Men noemt dien doorgang door den meridiaan *culminatie*.

dan zal men ontdekken, dat diezelfde ster telkens 86164 seconden of 23 ur. 56 min. 4 second. na de eerste waarneming opnieuw dien meridiaan doorgaat, wanneer namelijk het uurwerk, dat wij gebruiken, op den middelbaren tijd geregeld is.

Richt men echter den kijker op het middelpunt der Zon, dan zal dat middelpunt niet altijd na hetzelfde tijdsverloop in den kijker terug keeren, maar dan verkrijgt men de volgende uitkomsten:

1°. De duur tusschen twee en meer op elkander volgende doorgangen is niet gelijk, zooals wij bij de sterren opmerken; aan dien duur heeft men den naam van zonnedag gegeven, en dus zijn niet alle zonnedagen van hetzelfde jaar even lang. 2°. De Zon komt later door den meridiaan dan eene ster; gemiddeld blijft zij iederen dag 3 min. 56 sec. (middelh. tijd) ten achter, met andere woorden, de middelbare duur van een zonnedag is 24 uren.

Ziedaar feiten, wier oorzaak wij thans moeten nagaan. Omdat de duur van een sterrendag onveranderd blijft, en dit het geval niet is met een zonnedag, zoo strekt de eerste om den tweeden te regelen, en daarom regelen de sterrenkundigen hunne uurwerken op den sterretijd¹.

De oorzaak dier verschijnselen is zeer eenvoudig.

De Aarde heeft twee voornamelijk bewegingen, zooals alle andere planeten: ééne waardoor zij om hare as wentelt, en ééne waardoor zij om de Zon loopt. Hare omwenteling is steeds van gelijken duur, want de as, om welke die wenteling plaats heeft, behoudt immer gedurende den loop der Aarde om de Zon dezelfde richting. In betrekking tot de sterren, wier afstand in zekeren zin oneindig is, schijnt het alsof de Aarde onbeweeglijk blijft, omdat, met betrekking tot den afstand der sterren, de gansche baan, welke de Aarde om de Zon beschrijft, tot in één punt samenkrimpt. Er heeft dus eene geheele omwenteling plaats gehad, wanneer (zie Pl. XIX, Fig. 2) eene ster E, die zich in den meridiaan A O B vertoont, ten tweede maal in dien Meridiaan A' O' B' komt, want de omwentelingsas heeft dezelfde richting behouden. Dit noemt men den duur van een sterredag.

Een zonnedag echter is, zooals wij zien zullen, langer. Vooron-

¹ Een sterrendag verdeelt men even als een zonnedag in 24 uren, ieder uur in 60 minuten en iedere minuut in 60 seconden. Die ongelijkheid der zonnedagen is de reden, dat men een denkbeeldigen dag genomen heeft. Men vooronderstelt een Zon, die juist na 24 uren door den meridiaan gaat, die Zon noemt men middelbare zon en den dag middelbaren dag. Een middelbaar uur is dus iets langer dan een sterrenuur.

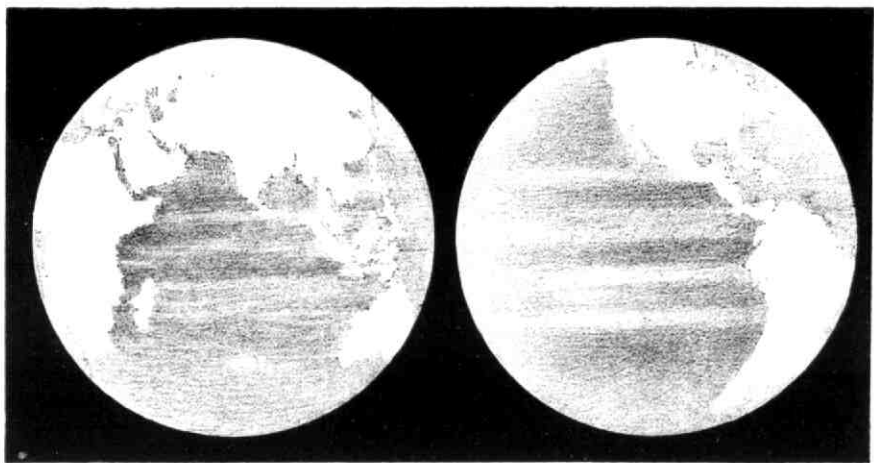


Fig 1. De aarde uit de hemelruimte gezien.

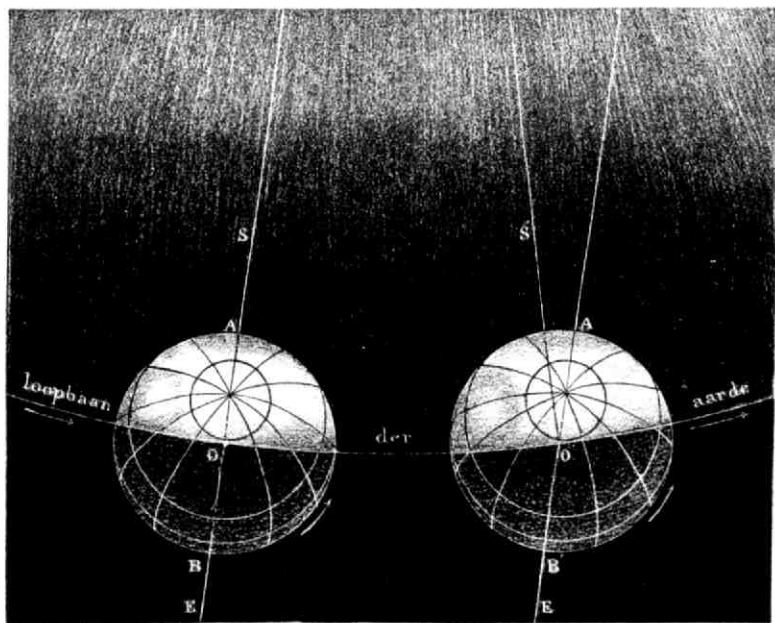


Fig 2. Verklaring van het verschil tusschen een sterredag en een zonedag.

derstellen wij eens, dat wij (Plaat XIX, Fig. 2) het oogenblik hebben waargenomen, dat de Zon in S met haar middelpunt den meridiaan B O A is doorgegaan, terwijl wij om middernacht, dus juist in tegenovergestelde richting der Zon, eene ster in E hebben waargenomen. Wanneer er nu een sterrendag verlopen is, heeft de Aarde zich op hare baan verplaatst van O naar O', terwijl de meridiaanlijn B O A dezelfde richting heeft behouden B' O' A', dan merken wij op, dat de waargenomen ster om middernacht weer juist in den meridiaan B' O' A' in E staat, maar de Zon staat om 12 ure niet in den meridiaan, en moet de hoek S O' A' nog maken om daar te komen.¹ Het verschil van sterren- en zonnedag vindt dus zijne oorzaak eensdeels in het verschil van afstand van de sterren tot de Aarde, vergeleken met den afstand tot de Zon, want voor de Sterren is de verplaatsing der Aarde om den afstand nul, en anderdeels in de omwentelingsbeweging der Aarde om de Zon.

De as, welke door de polen der Aarde gaat, behoudt hare onveranderlijke² richting naar den hemel; omdat de Aarde zich in het wereldruim verplaatst, zou hare as, die steeds evenwijdig met zich zelve blijft, ook een ander punt aan den hemel moeten innemen; maar de sterren zijn op zulk een verbazenden afstand geplaatst, dat de gansche middellijn van den aardsehen omloop, met betrekking tot dien afstand, geene breedte heeft, en daarom is het voor ons, alsof de as der Aarde immer naar hetzelfde punt van den hemel is gericht.

Omdat de Aarde bolvormig is en met eene gelijke snelheid om eene denkbeeldige as wentelt, volgt daaruit, dat niet alle deelen der aardsehe oppervlakte dezelfde snelheid van beweging hebben. Aan de beide polen is die beweging nul, maar die snelheid neemt toe hoe meer men den aequator nadert, omdat daar de afstand van de omwentelingsas het grootste is. In 24 uren beschrijft een punt op de breedte, waarop wij wonen, een ganschen cirkel, evenzoo als in dien tijd, een punt op den aequator en een punt op IJsland ook een cirkel beschrijft; maar omdat die verschillende aan elkander evenwijdig loopende cirkels niet

¹ Die hoek is juist gelijk aan den hoek, welke de lijn zou maken, die de middelpunten der Aarde en der Zon met elkander zou verbinden; die lijn noemt men de *voerstraat* of *radius vector* der Aarde.

² Wij zullen later zien, dat het slechts eene betrekkelijke onveranderlijkheid is, want de aardpolen verplaatsen zich 's jaarlijks een weinig, en veroorzaken daardoor het verschijnsel, dat men *voortuitgang der evennachten* of *praecessie* noemt.

allen evenlang zijn, volgt daaruit dat het punt in den cirkel, die het langste is, en dus op den aequator, de grootste snelheid bezit. Op den aequator wentelt dus een punt van de oppervlakte met eene snelheid van 464 meters in de seconde. Voor ons is die snelheid ongeveer 300 meters en voor IJsland 200 meters.

Bij de gedachte dat wij met zulk eene duizelingwekkende vaart met de Aarde rondwentelen, komt de vraag bij ons op, hoe het komt dat wij die beweging niet bemerken? en de eenvoudige reden is, omdat de gansche Aarde met den dampkring, waarin wij ons bevinden, in diezelfde beweging deelt, en wij dus geen onbeweeglijk voorwerp in onze nabijheid hebben, waaraan wij die beweging kunnen waarnemen. Die verbazende snelheid, die toeneemt naarmate wij den aequator naderen, zou oorzaak zijn van de verschrikkelijkste gebeurtenis, welke men kon uitdenken, wanneer namelijk die wenteling der aarde eens plotseling ophield. Zulk eene gebeurtenis was de ondergang van alle bewerkte wezens op aarde, die door zulk een schok verbrijzeld en verteerd zouden worden; want Helmholtz heeft berekend, dat als de omwentelingskracht der aarde door een plotseligen stilstand in warmte overging, er eene hitte ontwikkeld zou worden, voldoende om 15 ballen kool, zoo groot als onze Aarde, te verteeren. Die berekening doet ons de verbazende bewegingskracht der Aarde kennen, alleen uit hare omwenteling voortkomende.

Die wenteling der Aarde om hare as werd door de ouderen wel gegist, maar eerst door Copernicus in 1543 wetenschappelijk bewezen. In zijn onsterfelijk werk: *De revolutionibus orbium coelestium* legde de Kanunnik van Frauenburg het ware stelsel der wereld neer, gegrond op den betrekkelijken stilstand der Zon, en op de beide wentelende en voortgaande bewegingen der Aarde, die eene plaats onder de planeten werd aangewezen.

Het Koperniksche stelsel maakte veel opzien, en werd evenals alles, wat nieuw is, niet aanstonds erkend en aangenomen. Tegenwoordig gelooft niemand meer aan den stilstand der Aarde, en de bewijzen voor die wenteling zijn zoo talrijk en doorslaande, dat wij er hier slechts eene korte optelling van geven.

Wij kunnen ze splitsen in indirecte en in meer directe bewijzen.

Indirecte bewijzen:

1. De overeenkomst met alle andere hemellichamen. Wij hebben reeds gezien, dat de Zon, Mercurius en Venus eene omwentelingsbewe-

ging bezitten, en weldra zullen wij vernemen, dat evenzoo de Maan, Mars, Jupiter en Saturnus om hunne assen wentelen. Hoe onwaarschijnlijk dat alleen de Aarde eene uitzondering zou maken.

2. De groote onwaarschijnlijkheid, zoo niet onmogelijkheid, dat Zon, planeten en vaste sterren in 24 uren den cirkel rondom onze Aarde zouden maken, en dat zou plaats moeten hebben, wanneer de Aarde stil stond. Dit zou in de sterren eene snelheid vooronderstellen, die ongerijmd zou worden. De Maan zou in die vooronderstelling iedere seconde 23.000 meters doorloopen, Jupiter 4.600.000, Saturnus 88.000.000, de Zon 9.200.000 meters in iedere seconde. De dichtstbijzijnde vaste ster zou in eene seconde 2.200.000.000.000 meters moeten doorloopen, en de kleine teleskopische sterren zouden in iedere seconde nog 160.000 maal zooveel meters doorloopen als de dichtstbijzijnde vaste ster. En welken weg moesten de nevelsterren dan wel afleggen? Dit zou in het ongerijmde komen.

3. Wanneer de Aarde stil stond, moest in haar de kracht aanwezig zijn om al de hemellichamen in ondenkbare verte in hune banen te doen omloopen. Zulks is echter onmogelijk, daar een lichaam, om de kracht te hebben anderen om zich te doen loopen, zwaarder zijn moet dan al de anderen te zamen, anders wordt het door dezen aangetrokken en met hen voortgeslingerd.

Directe bewijzen:

1. Ieder lichaam maakt met de Aarde tegelijk eene wentelende beweging van het Westen naar het Oosten. Hoe hooger dat lichaam geplaatst is hoe sterker beweging naar het Oosten het ondervindt, omdat de cirkel, welke het doorloopen moet, grooter is dan wanneer het op de oppervlakte van de Aarde was geplaatst. Om die sterkere beweging moet dus een lichaam, dat van eene aanzienlijke hoogte op de Aarde valt, niet loodrecht maar iets meer naar het Oosten vallen; gebeurt dit, dan is het een bewijs, dat de Aarde van het Westen naar het Oosten wentelt. Benzenberg in Hamburg was de eerste, die er de proef van nam, en een tal van waarnemingen hebben de wenteling der Aarde bewezen; daardoor werd tevens eene moeielijkheid uit den weg geruimd, welke Ptolomeus en Tycho Brahé tegen de wenteling der Aarde opperden. Als de Aarde wentelt, meenden zij, dan moest een in de hoogte geworpen steen westwaarts neervallen, en wel aan den aequator 464 meters, omdat de Aarde in ééne seconde zoo veel omwentelt, en omdat dit niet zoo is, maakten

zij het besluit, dat de Aarde niet omwentelde. Maar zij dachten niet, dat de opgeworpen steen in de wentelende beweging der Aarde deelt, en verbonden met de aantrekkingskracht der Aarde, daardoor eene diagonaal-beweging verkrijgt.

2. De afplating aan de polen is evenzoo een direct bewijs voor de wenteling der Aarde, want die afplating kan alleen ontstaan door eene snellere beweging aan den aequator. Daaruit berekende Newton, die door de graadmeting die afplating nog niet kende, op eene juiste wijze, dat de Aarde afgeplat zijn moest aan de polen.

3. De slingerbeweging, welke men gebruikt om de afplating aan de polen te meten, toont, zooals wij vroeger zagen, eene vermindering aan de polen; omdat men dicht bij het middelpunt is, is de aantrekkingskracht sterker en de slingeringen worden sneller. Naarmate men nu den aequator nadert, wordt de aantrekkingskracht der Aarde minder dan aan de polen en dus de slingeringen langzamer; maar die vermindering van aantrekkingskracht staat niet in verhouding met de afplating, die slechts $\frac{1}{300}$ bedraagt. Er moet dus eene andere kracht zijn, die aan den aequator invloed heeft op die verminderde aantrekkingskracht, en deze kan niet anders zijn dan de omwenteling, die op den aequator veel grooter en sneller is dan aan de polen, en daardoor op den aequator veel meer de aantrekkingskracht der Aarde tegenwerkt dan aan de polen. Men heeft die invloed der omwenteling op de zwaartekracht berekend op $\frac{1}{289}$.

4. Het duidelijkst wordt de wenteling der Aarde bewezen uit de slingerproeven, welke Foucault het eerste bezigde. Wanneer een lange slinger in beweging wordt gebracht, dan moest, in de vooronderstelling dat de Aarde stil stond, de slinger in eene onveranderde richting zijne beweging blijven voortzetten. De waarneming echter leert, dat de slinger van richting verandert en wel van het Oosten naar het Westen afwijkt, met betrekking tot de Aarde, maar niet met betrekking tot eene vaste ster buiten de Aarde, hetwelk dus een tastbaar bewijs oplevert, dat de Aarde onder den slinger van het Westen naar het Oosten wentelt.

5. Ook de passaatwinden, die in onveranderde richting van het Noord-Oosten en van het Zuid-Oosten naar den aequator stroomen, zijn een direct bewijs voor de omwenteling der Aarde. De passaatwinden vinden hunnen oorsprong hierin. Onder den evenaar wordt de lucht aanhoudend en sterk verhit door de zonnestrallen, daardoor wordt zij lichter en stijgt dus naar boven, nu stroomt de koude lucht van de beide

polen naar den evenaar, om de plaats in te nemen der dunnere en zoo zeer verhitte lucht. Wanneer nu de Aarde stilstond, zou die luchtstroom plaats hebben recht uit het Noorden en uit het Zuiden naar den aequator, maar omdat de verschillende luchtlagen, naarmate van hunnen afstand van den aequator, minder snelle beweging hebben dan de lucht op den aequator, zal bij eene verplaatsing dier koudere lucht die beweging ook langzamer zijn; die stroom moet dus om de wentelende beweging der Aarde achter blijven en zal dus met betrekking tot den evenaar, in het noordelijk halfmond eene Noord-Oostelijke en in het zuidelijk halfmond eene Zuid-Oostelijke richting aannemen.

Uit die omwenteling der Aarde volgt ook noodzakelijk de omloop; beide bewegingen zijn zoo nauw met elkander verbonden, dat de eene zonder de andere niet bestaan kan. Verbeelden wij ons eens, dat de Aarde niet om hare as wentelde, dan zou er noodzakelijk uit volgen, dat ieder van hare deelen een halfjaar lang dag en een halfjaar lang nacht moest hebben; het punt waar de dag aanbrak zou de grootste koude hebben, omdat het een halfjaar de verwarming der Zon had gemist, maar omdat koude doet inkrimpen en meerdere zwaarte geeft, zou de nachtzijde der aarde veel zwaarder zijn dan de dagzijde, die door de warmte uitgezet dus lichter zou wezen, er zou dus overwicht bestaan aan de eene zijde, en daaruit volgt noodwendig eene draaing. Eene andere reden voor de omwenteling volgt hieruit: het punt, dat het dichtste bij de Zon is, alzoo op den aequator, wordt het meest door de Zon aangetrokken en dus meer dan de andere deelen tegengehouden, ook daaruit moet de omwenteling ontstaan. 't Is dezelfde reden waarom een kegelbal en een kanonskogel in hunne vaart omwentelen, omdat de onderste deelen tegengehouden worden of door den grond, waarop hij rolt, of door de aantrekkingskracht der Aarde. Hierdoor begrijpen wij tevens, waarom de groote planeten snellere omwenteling bezitten dan de kleinere.

§ Wenteling der Aarde om de Zon. — Elementen dier loopbaan. — Snelheid der verplaatsing. — Schijnbare jaarlijksche beweging der Zon langs het hemelgewelf, uitlegging. — De middelbare dag en middelbare sterrentijd. — Tropisch jaar. — Jaargetijden, verschil in lengte. — Verschil in duur van dag en nacht, volgens de breedte en de verschillende tijdperken des jaars. — Verschillende streken en klimaten. — Bestendigheid der elementen van de aardse loopbaan. — Eewijzen voor de loopbaan der Aarde om de Zon.

De loopbaan, welke de Aarde in een jaar om de Zon beschrijft, is een langwerpig rond vlak, dat wil zeggen, dat die baan in een vlak

ligt, dat door het middelpunt dier beide hemellichamen gaat; dat vlak van hare loopbaan noemt men den eeliptica.

Evenals alle planetenbanen, is de aardse loopbaan eene ellips, wier eene brandpunt door de Zon wordt ingenomen, en wier afmetingen door de volgende getallen worden uitgedrukt.

Afstand in het Perihel 0.98323.

Halve gr. as of midd. afst. 1.00000.

Afstand in het Aphel. 1.01677.

De exentr. der loopb. 0.01677.

Dit zijn de onderlinge betrekkelijke afmetingen, die den vorm der loopbaan aanwijzen, en dus aantoonen in welke afstanden de Aarde zich van de Zon bevindt; diezelfde afmetingen uitgedrukt in aardstralen of in kilometers zijn de volgende:

Aardstralen. Kilometers. Mill. G. M.

Afstand in het perih. 23654 of 150.584310 20.33

Halve groote as 24062 „ 153.191574 20.68

Afstand in het aphel. 24467 „ 155.769210 21.03

Het verschil van afstand in het perihel. of het aphel. bedraagt dus 5.184900 kil. of 814 aardstralen.

De gansche loopbaan der Aarde heeft eene lengte van ongeveer 930 miljoen kilometers, welke onze Aarde doorloopt in 365 dagen, 6 uren, 9 min., $10\frac{2}{3}$ seconde.

Dagelijks doorloopt zij dus gemiddeld 2.544200 kilom., dat is 106020 kilm. in het uur en 29.450 meters iedere seconde; eene snelheid, die bijna 60 maal die van een kanonskogel overtreft, want deze vliegt in de eerste seconde slechts 500 meters ver.

Die snelheid is echter veranderlijk, zij neemt af naarmate de Aarde zich verder van de Zon verwijderd, neemt daarentegen toe naarmate zij in haar perihelium komt; zoo is hare snelheid, wanneer zij het verst van de Zon en dus in haar aphelium is 28.960 meters iedere seconde, en in haar perihelium 30.000 meters.

Terwijl dus de Aarde eenmaal om hare as wentelt, doorloopt zij tegelijk een afstand 200 maal zoo lang als hare middellijn is.

Een punt op den aequator doorloopt, zooals wij vroeger zagen, in de wenteling der Aarde 464 meters iedere seconde, maar in diezelfde seconde vliegt de aarde op hare baan voort met eene snelheid, die 63 maal grooter is, want zij legt in datzelfde oogenblik 29.650 meters af.

Wanneer men zich nu verbeeldt én de afmetingen én de verbazende

massa der Aarde, dan gaat zulk eene wondervolle snelheid verre boven het menschelijk begrip. Twee natuurkundigen Helmholtz en Maijer hebben eene berekening gemaakt, die ons verstand ter hulpe komt bij de gedachte aan zulk eene snelheid. Zij hebben de warmtekracht berekend, die er ontwikkeld zou worden, wanneer de aarde plotseling op hare baan stilstond, hetgeen gelijk zoude staan met een verschrikkelijken schok, en dan bevinden zij dat de hitte, die dan ontstaan zou, niet alleen genoegzaam zoude wezen om den ganschen aardbodem te doen smelten, maar dat het grootste gedeelte eensklaps in damp en gas zou overgaan.

De omwentelingsbeweging blijft zich steeds gelijk, maar omdat de snelheid van den omloop, zooals wij boven reeds aanmerkten, veranderlijk is, volgt daaruit, dat alle zonedagen niet even lang zijn, dat wil zeggen, dat de tijd, die er verloopt tusschen twee op elkander volgende meridiaan-doorgangen der Zon, verschillend is volgens de plaats, welke de Aarde op hare baan inneemt, want dan eens doorloopt de Aarde grooter boog van hare baan dan de middelbare, dan eens kleiner boog.

Wanneer wij ons dus in het burgerlijk leven naar de zon regelden, zou de eene dag langer de andere korter zijn, en daarom heeft men zijne toevlucht genomen tot eene denkbeeldige zon, die juist in 24 uren den meridiaan doorgaat; daarnaar wordt nu de tijd berekend, dien wij middelbaren tijd noemen. Om dus den middelbaren tijd te vinden op het oogenblik, dat de ware zon den meridiaan doorgaat, is het soms noodig er eenige minuten bij of af te doen; dit noemt men tijdsvereffening of tijdsgelijking *tijdsaequalie*. Op vier verschillende tijdstippen is de ware tijd met den middelbaren tijd overeenstemmend; namelijk den 15 April, den 16 Juni, den 2 September en den 21 December. Om dit duidelijk te maken geven wij hieronder eene tafel wanneer en hoeveel wij bij of van den waren tijd, (d. i. wanneer de zon door den meridiaan gaat) moeten bij of afdoen om den middelbaren tijd te vinden.

MAAND.	DAT.		MIN.	MAAND.	DAT.		MIN.
Januari	10	Bijvoegen	8	Juli	10	Bijvoegen	5
	20	"	12		20	"	6
	31	"	14		31	"	6
Februari	10	"	15	Augustus	10	"	5
	20	"	14		20	"	3
	28	"	13		31	"	0
Maart	10	"	10	September	10	Aftrekken	3
	20	"	7		20	"	7
	31	"	4		30	"	10
April	10	"	1	October	10	"	13
	20	Aftrekken	1		20	"	15
	30	"	3		30	"	16
Mei	10	"	4	November	10	"	15
	20	"	4		20	"	14
	31	"	3		30	"	11
Juni	10	"	1	December	10	"	7
	20	Bijvoegen	1		20	"	3
	30	"	3		30	Bijvoegen	4

Wanneer wij nu de ware baan der Aarde, welke zij om de Zon aflegt, kennen, moeten wij ook een blik werpen op de schijnbare baan, zooals die zich aan ons oog vertoont. Wanneer onze Aarde in eene ronde gesloten baan om de Zon loopt, die met betrekking tot die baan onbeweeglijk is, dan zal, naarmate de Aarde in de eene richting op hare baan voortgaat, het schijnen alsof de Zon juist in eene tegenovergestelde richting zich beweegt; die richting schijnt echter alleen tegenovergesteld te zijn aan de richting der Aarde, wanneer men den eenvoudigen boog beschouwt, welke zij doorloopt; maar beschouwt men zooals in Fig. 14 de gansche loopbaan, dan ziet men, dat de richting van beiden dezelfde is, zoodat de schijnbare beweging der Zon, die de oorzaak is van zijn achterblijven bij den meridiaan-overgang, van het Westen naar het Oosten evenzoo is als de ware richting der Aarde. Daaruit volgt, omdat de Zon achterblijft, dat

zij zich aan den hemel schijnt te verplaatsen en elken dag in eene rechte lijn met verschillende sterren staat¹; gedurende den dag is die verplaatsing niet merkbaar, tenzij men eene nauwkeurige waarneming doet van den stand der Zon; maar als men bedenkt, dat met die verplaatsing van den hemel gedurende den dag ook diezelfde verplaatsing des nachts overeenkomt, dan begrijpt men dat de sterrenbeelden gedurende den loop van een jaar voor ons een anderen stand

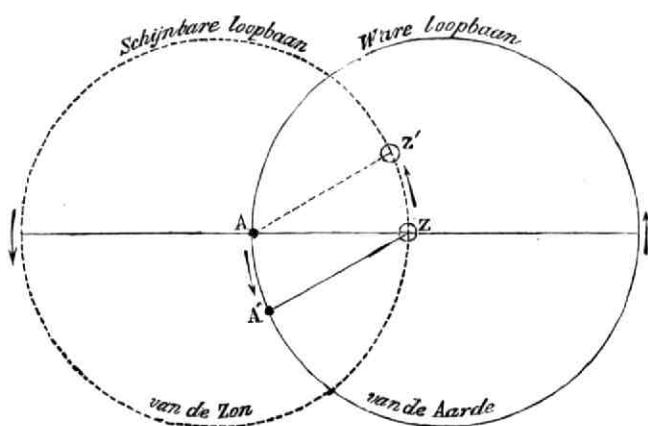


Fig. 14. Ware loopbaan der Aarde en schijnbare loopbaan der Zon.

moeten innemen. Aan die verplaatsing der Aarde op hare baan is het te danken, dat de sterrenhemel achtereenvolgens langs den horizon van eene bepaalde plaats trekt; zoo niet in zijn geheel, dan toch voor

¹ De schijnbare weg, welke de Zon in een jaar om den ganschen sterrenhemel maakt, noemt men *zodiak* of *dierenriem*, omdat de Zon achtereenvolgens 12 verschillende sterrenbeelden doorloopt, ieder van 30 graden. Zij zijn de volgende:

- ♈ Aries, de Ram.
- ♉ Taurus, de Stier.
- ♊ Gemini, de Tweelingen.
- ♋ Cancer, de Kreeft.
- ♌ Leo, de Leeuw.
- ♍ Virgo, de Maagd.
- ♎ Libra, de Weegschaal.
- ♏ Scorpius, de Scorpioen.
- ♐ Sagittarius, de Schutter.
- ♑ Capricornus, de Steenbok.
- ♒ Aquarius, de Waterman.
- ♓ Pisces, de Visschen.

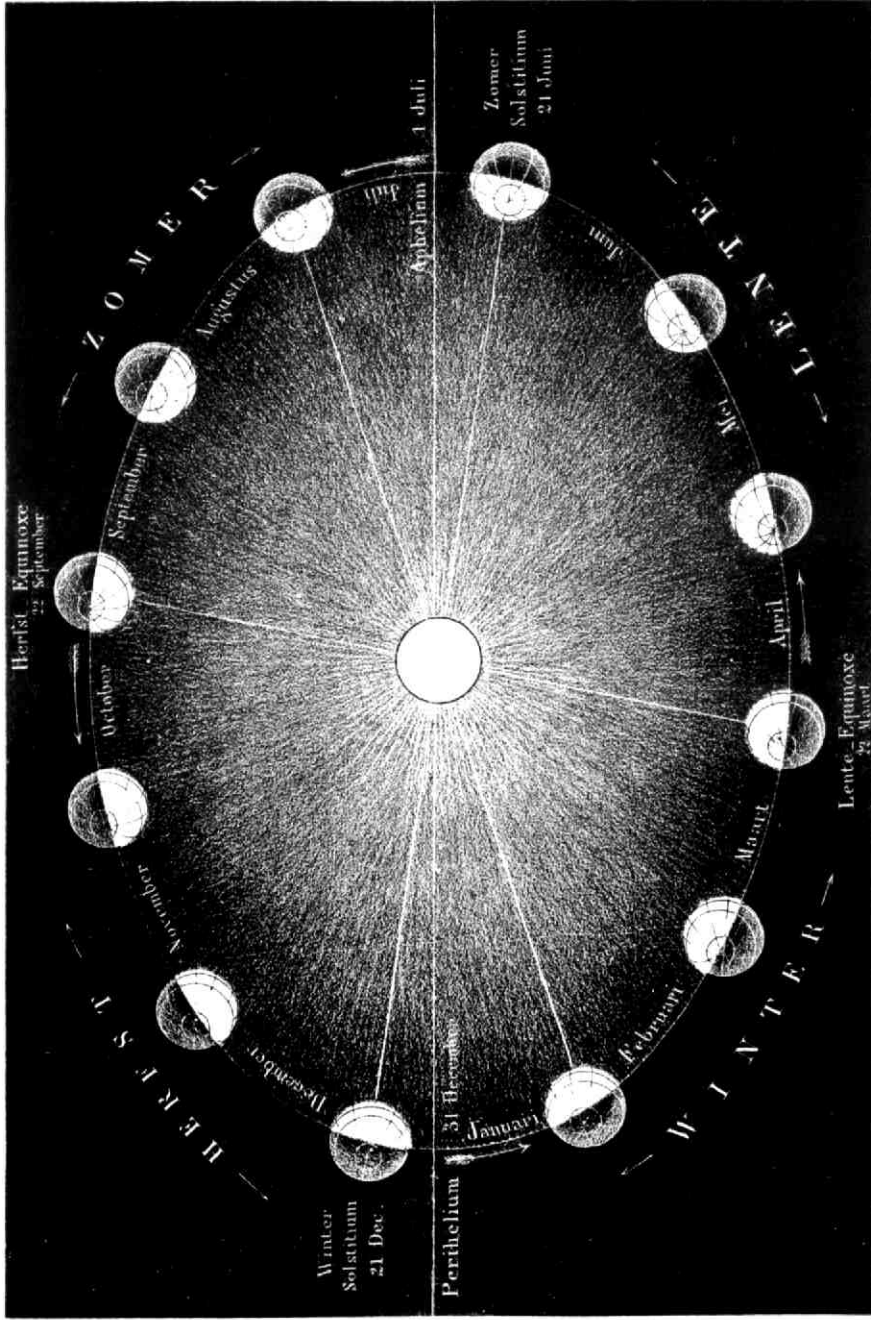
dat gedeelte, dat wegens de dagelijksche beweging, in staat is zich boven den horizon te verheffen.

De duur van een jaar is 365 dagen, 6 uren, 9 min. en $10\frac{1}{3}$ seconde, namelijk middelbare dagen van 24 uren. Hoevele wentelingen doet nu onze Aarde gedurende dien tijd om hare as? Of met andere woorden, wanneer het getal zonnedagen in een jaar ongeveer $365\frac{1}{4}$ is, hoe groot is dan het getal sterrendagen, die, zooals wij gezien hebben, ongeveer 4 minuten korter zijn? Uit de verplaatsing der Aarde nu, in verband met hare dagelijksche wenteling volgt noodzakelijk, dat het getal sterrendagen juist 1 meer is en dus $366\frac{1}{4}$.

Datzelfde feit vinden wij terug bij alle planeten, hoe groot ook het getal omwentelingen is, dat zij maken gedurende hun loop om de Zon, en hoe langer ook hunne zonne- of sterrendagen duren; want, zooals wij vroeger zagen, Fig. 2, Pl. XIX, blijft de Zon, wanneer zij tegelijk met eene ster door den meridiaan gaat, in één dag 3 min. 56 second. ten achter, wanneer die ster de tweede maal den meridiaan doorgaat; in eene week blijft zij reeds 27 min. 32 sec. ten achter, en dus in een geheel jaar juist 24 uren; zoodat de Zon na een jaar weer tegelijk met de eerst waargenomene ster door den meridiaan gaat, en daaruit volgt dus, dat de Zon 365 maal door den meridiaan gaat, maar de sterren 366 maal.

De juiste duur van een *sterrenjaar* is, zooals wij reeds zagen, 365 d. 6 u. 9 m. 10,68 s. Die duur is echter niet te verwarren met de duur van een *tropisch jaar*, waarnaar men in het burgerlijke leven den tijd regelt. Zie hier de reden van dat verschil. Het is van groot belang om met juistheid het tijdstip te bepalen, wanneer de Aarde gedurende haren loop om de Zon zekere punten bereikt, die punten noemt men *equinoxen* en *solstitiën*, dat is evenachts en zonnestandpunten, en zijn daarom van groot belang, omdat van die punten de lengtemeting der sterren wordt bepaald, terwijl het tevens de tijdstippen zijn, waarnaar de verschillende jaargetijden worden berekend. Het terugkeeren van onze planeet bijv. tot het evenachtspunt van de lente dient om het tropisch jaar te bepalen. Gedurende 2000 jaar weet men echter door zekere waarnemingen, dat de terugkeer van zulk een punt telkens iets vroeger is¹, zoodat het tropisch jaar iets korter is dan het sterrenjaar. Uit zeer vele waarnemingen heeft men den duur

¹ Dat verschijnsel wordt genoemd de *precessie* der equinoxen of den vooruitgang der nachteveningen. In het derde deel zullen wij de oorzaken van dit verschijnsel uitleggen.



LOOPBAAN DER AARDE.

Het jaar en de jaargetijden - onveranderde richting der as

van een tropisch jaar bepaald op 365,2422166 d., d. i. 365 d. 5 u. 48 min. 47,11 sec., het levert dus met het sterrenjaar een verschil op van 29'23",11.

Nog moeten wij hier opmerken over de beweging der Aarde op hare loopbaan, dat de groote as of de apsiënlijn van hare baan geene onveranderlijke richting behoudt, zoodat het perihelium bijv. zich elk jaar iets verplaatst.

Beschouwen wij echter andere verschijnselen, die voor ons aardbewoners van grooter belang zijn, en die ook door de dubbele beweging der Aarde veroorzaakt worden.

Dagelijks zien wij de Zon tot op verschillende hoogten boven den horizon rijzen, en de punten waar de Zon op- of ondergaat veranderen dagelijks; in den zomer zien wij haar opkomen in het Noord-Oosten en in den winter in het Zuid-Oosten; even zulk een verschil nemen wij waar bij haren ondergang. In het middaguur klimt de Zon min of meer hoog, en naarmate zij langer boven den horizon verwijlt, wordt daardoor de ongelijke lengte van dag en nacht veroorzaakt; daardoor is zij ook de oorzaak van de verschillende temperatuur en de klimaten, de oorzaak der verschillende jaargetijden. Dit alles verandert niet alleen, naarmate men zich in het noordelijk of zuidelijk halfrond bevindt, maar zelfs volgens de breedte, dat is de afstand van den evenaar in hetzelfde halfrond der Aarde.

Dit is ook de reden der verschillende zonen of luchtstreken: de koude of bevrozene luchtstreken, met hunne lange dagen en lange nachten, de gematigde luchtstreken, de verzengde luchtstreken of de streken onder den evenaar, die elk jaar tweemaal zomer en tweemaal winter hebben, en waar nacht en dag immer even lang is.

De voornaamste reden van dit alles is de beweging onzer Aarde op hare baan, ééne omstandigheid is daarop echter van grooten invloed, welke wij goed begrijpen moeten.

Wanneer wij Pl. XX beschouwen, waar de stand van onze Aarde op de verschillende punten van hare baan is afgebeeld, dan bemerken wij, dat de as van onze Aarde niet loodrecht op het vlak van hare loopbaan staat, ook niet in het vlak van die baan ligt, maar dat die as eene schuinsche richting heeft en met het vlak van hare loopbaan een hoek maakt van $66^{\circ} 32' 44''$ ¹.

¹ Wanneer de as der aarde $66^{\circ}32'44''$ op de baan der Aarde helt, dan is het vlak

De helling blijft gedurende het jaar onveranderd, of verandert ten minste zeer weinig. Die as blijft overigens, gedurende den loop der Aarde om de Zon, immer dezelfde richting behouden, en blijft dus evenwijdig met zich zelve, en immer naar hetzelfde punt van den hemel gericht. Dewijl de as, dezelfde richting behoudt, is het duidelijk, dat het vlak van den evenaar ook in die richting blijft, en daaruit volgt, dat tweemaal in het jaar de Zon juist in het vlak van den evenaar is. Die beide punten, die in de baan, welke de aarde om de zon maakt, recht tegenover elkander liggen, worden *Evennachten* of *Equinoxen* genoemd.

Het overige van het jaar is de Zon dan eens ten Noorden dan eens ten Zuiden van het vlak van den evenaar, en verwijderd zich er van, naarmate de Aarde op hare baan zich verder van die evenachtpunten heeft verwijderd; tweemaal in het jaar bereikt de Aarde op hare baan nu een punt, waarop de Zon het verst verwijderd is van het vlak van den evenaar en die punten worden genoemd *solstitiën* of *zonnestanden*.

Eer wij de gevolgen nagaan van die verschillende standen, welke de aarde inneemt, zullen wij eerst de orde en de data's van die tijdpunten aangeven.

Het juiste tijdstip van die vier verschillende standen verschilt van jaar tot jaar een weinig, zooals men zien kan uit het onderstaande:

	In 1870 begint:	u. m.		In 1871 begint:	u. m.
Lente	20 Maart 's avonds	7 50.	Lente	21 Maart 's morg.	1 38.
Zomer	21 Juni „	4 15.	Zomer	21 Juni 's avonds	10.
Herfst	23 Sept. 's morg.	6 27.	Herfst	23 Sept. „	0 14.
Winter	22 Dec. „	0 31.	Winter	22 Dec. 's morg.	6 17.
	In 1872:			In 1873:	
Lente	20 Maart 's morg.	7. 15.	Lente	20 Maart 's avonds	1 10.
Zomer	21 Juni „	3 50.	Zomer	21 Juni 's morg.	9 43.
Herfst	22 Sept. 's avonds	6 11.	Herfst	22 Sept. 's avonds	11 43.
Winter	21 Dec. „	0 11.	Winter	21 Dec. „	5 50.

Wanneer de Aarde in eene van hare evenachtpunten is, snijdt het vlak van den aequator der Aarde, juist het middelpunt der Zon, en beschijnt de Zon juist de eene helft der Aarde, zoodat de scheiding van licht en duisternis en dus van nacht en dag eene meridiaan-

van haren evenaar $23^{\circ}27'16''$ op die baan of op den ecliptica hellende. Dien hoek nu noemt men de helling op den ecliptica.

lijn op aarde maakt. Zie Pl. XXI, Fig. 1. Uit dien stand volgt dus, dat overal op Aarde dag en nacht evenlang zijn, juist de helft van eene omwenteling; die stand wordt door de Aarde ingenomen den 20 Maart en den 23 September, die ook genoemd worden: het lente- en het herfst-evennachtpunt.

Nadat de Zon het voorjaars- of lente-evennachtpunt heeft bereikt, waarop zij in hetzelfde vlak van den evenaar der Aarde staat, verwijdert de Zon zich nu van dat vlak; want omdat de as der Aarde steeds in dezelfde richting blijft en de Aarde op hare baan voortgaat, wendt daardoor de Noordpool zich meer naar de Zon en de Zuidpool verwijdert er zich van; daardoor wordt dag en nacht ongelijk, en die ongelijkheid is het grootste, wanneer de Aarde op het punt harer baan is gekomen, dat men noemt zomersolstitie (vergelijk Plaat XXI, Fig. 2); dan is de afscheidingslijn tusschen licht en duisternis het verste van de pool verwijderd; die stand der Aarde is op den 21 Juni, en daaruit volgt, dat tot op dien stand de nachten in het noordelijk halfmond korter en de dagen langer worden, en wel korter en of langer naarmate men meer van den aequator verwijderd is. In het zuidelijk halfmond is echter alles tegenovergesteld. Pl. XXI, Fig. 2 overtuigt er ons gemakkelijk van.

Den 21 Juni, in het zomersolstitie, was dus de stand der Aarde zoodanig, dat zij het meest hare noordpool naar de Zon richtte; maar van af den 21 Juni begint zij er zich weder van te verwijderen, zoodat zij den 22 September weer in den stand is, als Pl. XXI, Fig. 1 aangeeft en de Zon weer in het vlak van haren aequator staat; dat is het herfst-evennachtpunt. Van af den 22 Sept. begint de Aarde hare as van de Zon af te wenden en de nachten worden dus langer dan de dagen, zoodat op den 21 Dec. de Noordpool het verst van de Zon is afgewend, en daardoor dus de langste nacht en de kortste dag voor het noordelijk halfmond ontstaat.

Een enkele blik op Pl. XXI, Fig. 2 overtuigt ons nu, dat de Noordpool dus juist gedurende 6 maanden dag heeft, en in den winter, namelijk van den 22 Sept. af, 6 maanden in de duisternis van den nacht gehuld is; gaat de Zon voor de noordpool onder, dan rijst zij voor de zuidpool boven de kim en straalt er onafgebroken 6 maanden. In het zomersolstitie staat de Zon $23^{\circ} 27'$ boven den horizon van den pool.

In het noordelijk en zuidelijk halfmond is echter niet juist de verhouding van lange en korte dagen dezelfde, omdat in den winter,

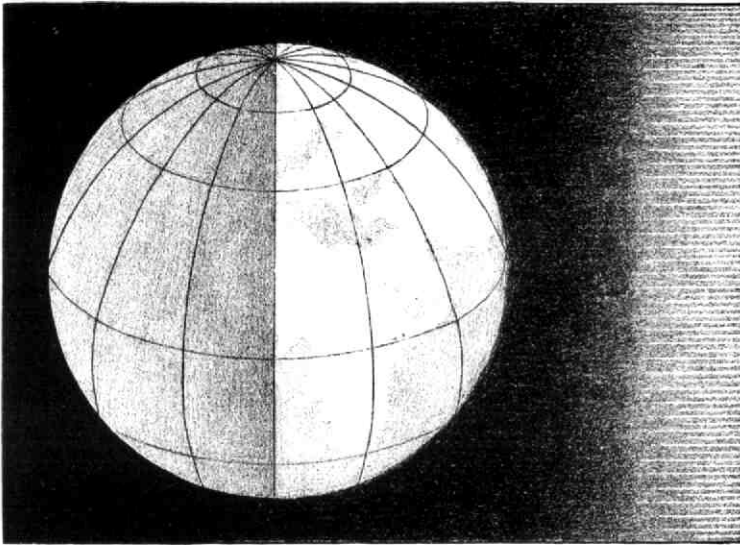


Fig. 1. Stand der aarde op het tijdstip der equinoxen -
gelijkheid van dag en nacht over de gansche aarde

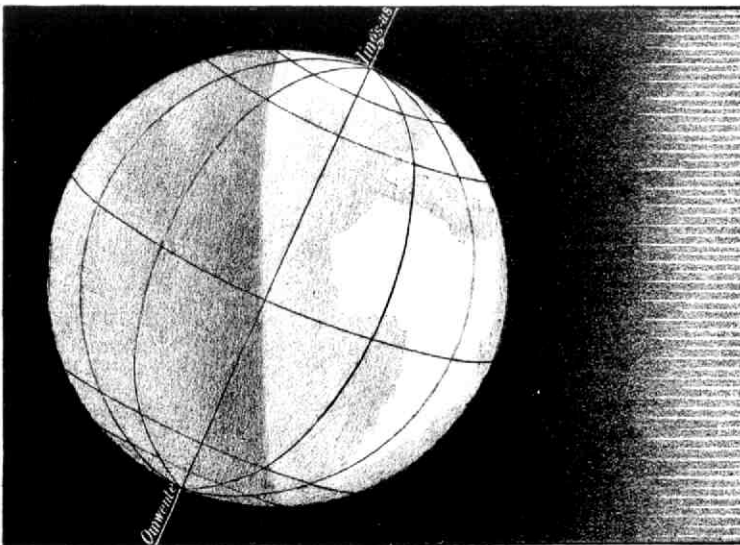


Fig. 2. Stand der aarde op het tijdstip der solstitten -
ongelijkheid van dag en nacht

wanneer de noordpool van de Zon is afgewend, het perihelium valt, waarop de Aarde het snelst op hare baan voortgaat, en in den zomer, wanneer wij de langste dagen hebben, volgens den zonnestand, juist het aphelium invalt, waarop de aarde het traagst op hare baan voortgaat; om die beide vereenigde oorzaken zijn de dagen op het noordelijk halfmond betrekkelijk langer dan de dagen op het zuidelijk halfmond, zoodat de Noordpool 186 dagen bestendigen zonnenschijn heeft, de Zuidpool daarentegen slechts 179.

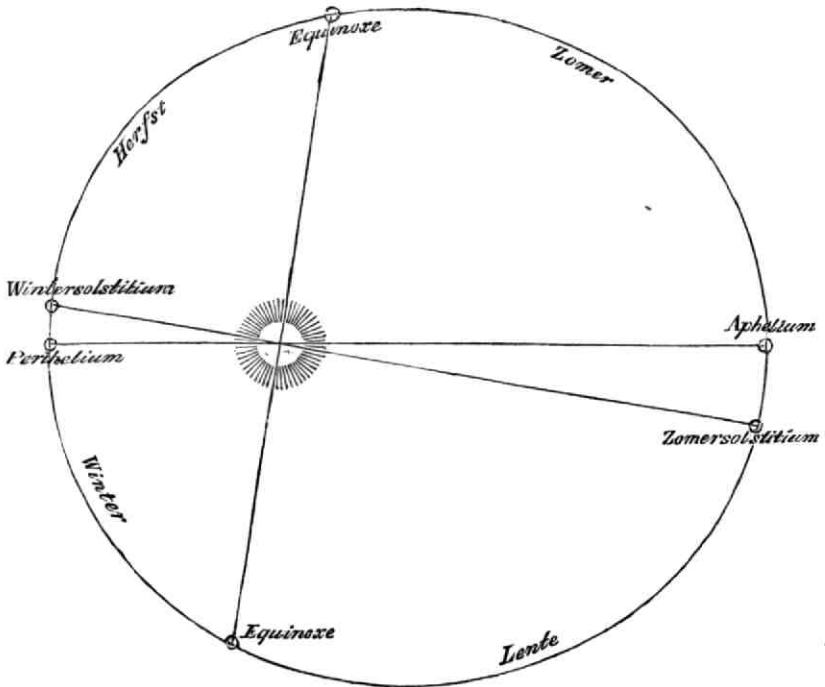


Fig. 15. Loopbaan der Aarde en ongelijkheid der jaargetijden.

De langste dag voor de breedte, waar wij wonen, is 16 uren en 34 minuten en de kortste dag op onze breedte 7 uren, 45 minuten.

Nog een woord over het verschil in duur der vier onderscheidene jaargetijden.

De loopbaan der Aarde om de Zon is, zooals wij weten, eene ellips en geen cirkel, terwijl de Zon niet het middelpunt inneemt, maar een der twee brandpunten.

De groote as van den ecliptica (zoo noemt men de baan, welke de Aarde om de Zon maakt) valt ook niet juist te zamen met de solstitiën. In

onderstaande Fig. 15 is dit verschil, tot meer duidelijkheid, overdreven. Men ziet aanstonds, dat de wintertijd de kortste en de zomer de langste der vier jaargetijden zijn moet.

Dat zou reeds waar moeten zijn, wanneer de Aarde met eene gelijke snelheid overal op hare baan voortging; die ongelijkheid wordt echter nog vermeerderd, omdat, zooals wij reeds opmerkten, iedere planeet zich met grootere snelheid beweegt, naarmate zij dichter de Zon nadert. Het perihelium der Aarde nu valt op den 1 Jan. en het aphelium den 1 Juli. Op den eersten Jan. en in den wintertijd is dus de beweging der Aarde veel sneller dan in den zomertijd omstreeks Juli, en daarom is de wintertijd korter dan de zomertijd. De duur der verschillende jaargetijden is als volgt:

Lente . . .	92.9	Herfst. . .	89.7.
Zomer . . .	93.6	Winter . .	89.3.

Zoo als wij bladz. 127 reeds opmerkten, verplaatst zich elk jaar de groote as der aardsche loopbaan, en dus ook het perihelium. Na 47 eeuwen zal het perihelium, met de lente-equinoxe te zamen vallen; dan zullen de lente en de zomer denzelfden duur hebben als de winter en de herfst, dan zal de winter juist zoo lang zijn als de lente en de zomer zoo lang als de herfst.

In het perihelium is de Zon het dichtst bij de Aarde (20,330,000 Geog. mijl.), eenige dagen na het wintersolstitium, ongeveer den 1 Jan., en in het aphelium, den 1 Juli, is de Zon het verst van de Aarde (21,030,000 Geog. mijl.). In den winter dus zijn wij 700,000 Geog. mijl. dichter bij de Zon dan in den zomertijd. Daar blijkt reeds uit, dat de warmte op Aarde of de temperatuur niet alleen haren oorsprong vindt in den waren afstand tot de Zon; maar het verschil van temperatuur op Aarde vindt vooral zijn oorzaak, eerstens in de helling onzer Aarde op den ecliptica, of, met andere woorden, in de helling, welke de as onzer Aarde met hare loopbaan heeft, en anderdeels in het verschil van duur van de onderscheidene jaargetijden. Gedurende de lente en den zomer straalt de Zon in ons noordelijk halfmond veel langer boven den horizon, dan in den herfst en den winter; hoe dichter de Aarde bij het zomersolstitium komt, des te langer worden de dagen. Dat is reeds eene reden, waarom in den zomer de temperatuur veel hooger is dan in den winter.

Eene andere niet minder machtige oorzaak, is de schijnbare hoogte, welke de Zon boven den horizon bereikt. Van het lente-evennachts-

punt, beschrijft de Zon steeds grooter dagboog aan den hemel tot aan het zomer-solstitium, om weêr af te nemen tot aan den herfst-equinox, maar van af dat punt, worden de dagbogen, welke de Zon aan den hemel beschrijft, kleiner en kleiner tot aan het wintersolstitie en daarna nemen zij weêr toe tot aan het evennachtpunt.

De stralen, welke de Zon op het noordelijk halfrond afzendt, vallen in den winter veel schuiner op aarde dan in den zomer, en de warmtekracht is grooter naarmate de richting der stralen minder schuin is, want dan moeten die stralen veel minder lagen van den dampkring doordringen, dan wanneer zij schuin dien dampkring moeten doorgaan.

En zelfs afgescheiden van den dampkring, is die schuinsche richting der zonnestrallen reeds de oorzaak, dat eene zelfde uitgestrektheid op Aarde zooveel minder warmte ontvangt als de Zon minder hoogte in den meridiaan bereikt, en de oorzaak van die mindere hoogte, hebben wij gezien, is gelegen in de helling van de as der Aarde op den ecliptica.

Datzelfde geldt ook voor het zuidelijk halfrond, dat zijn winter heeft, wanneer het noordelijk in den zomertijd is, en omdat de zon in den zomer daar op korter afstand is, is de warmtekracht er sterker, evenals de koude in den wintertijd er grooter is, omdat de zon op groteren afstand straalt, en ook omdat door den korteren zomer dat halfrond niet zoo lang verwarmd is, als het noordelijk halfrond. Die ongelijkheden echter wegen tegen elkander op, zoodat de middelbare temperatuur in den loop van een jaar dezelfde is ten Noorden en ten Zuiden van den evenaar.

Wij spreken hier alleen van zuiver astronomischen invloed en niet over de talrijke oorzaken, die voor de verschillende plaatsen zulk een grooten invloed hebben op het klimaat. Het is daarom gemakkelijk te begrijpen, waarom de grootste hitte of koude niet vallen op het zomer- of winter-solstitie, maar eenigen tijd daarna. Van den 20 Juni af ontvangt de Aarde, die reeds verwarmd is door de dagen der lente van de Zon veel meer warmte dan zij 's nachts verliest, en daardoor stijgt immer de temperatuur. Maar van den 21 Dec. af wordt de Aarde, die door de lange herfstnachten reeds afgekoeld is, steeds kouder, omdat zij in de lange nachten veel meer warmte verliest, dan zij in hare korte dagen ontvangt.

De jaargetijden zijn voor alle punten van een halfrond der Aarde zeer verschillend. Van den aequator af naar de polen gaande zou men

onmerkbaar van de grootste hitte tot de vinnigste koude geraken; echter onderscheidt men op Aarde toch vijf verschillende gordels, zonen of luchtstreken genoemd, die elkander in de navolgende orde opvolgen.

De verzenge luchtstreek, ten Noorden en Zuiden van den aequator gelegen. Zij omvat die landen, waar de Zon tweemaal in het jaar het Zenith bereikt. Zij wordt begrensd door de tropen of keerkringen, de denkbeeldige cirkels, welke evenwijdig aan den aequator over die punten getrokken worden, waar de Zon in haar solstitie is, en dus weer naar het vlak van den aequator terugkeert. Die streek strekt zich $23\frac{1}{2}$ graad aan weerszijden van den aequator uit, en heeft dus eene breedte van 47 graden.

De beide gematigde luchtstreken, die zich in het noordelijk en zuidelijk halfmond uitstrekken van de tropen of keerkringen totaan den poolcirkel op $66\frac{1}{2}$ graad. Zij bevatten al die landen, waar de Zon nooit in het Zenith straalt, maar waar zij ook nooit geheel verdwijnt. Zij beslaan eene breedte van 43 graden.

Eindelijk de beide koude of bevroren luchtstreken, ook circumpolairstreken genoemd. Zij strekken zich $23\frac{1}{2}$ graad rondom de pool uit. De Zon komt er in den zomer nooit hoger dan 46 graden, en aan de pool zelve bereikt zij slechts de helft van die hoogte. In den winter verdwijnt de Zon voor langer of korter tijd, en komt er niet boven den horizon, zoodat de polen zes maanden van de Zon beroofd zijn, maar ook in den zomer zes maanden den zonneshijn genieten.

De grootte der verschillende streken is, zooals wij zien, zeer ongelijk. De heete of verzenge luchtstreek beslaat ongeveer $\frac{2}{5}$ van de gansche oppervlakte der Aarde; de beide gematigde luchtstreken iets meer dan de helft, en de beide poolstreken $\frac{2}{25}$.

De verschijnselen, welke wij beschouwd hebben, hebben allen hun ontstaan te danken aan de wenteling der Aarde om hare as en aan haren jaarlijksehe loop om de Zon. De duur der omwenteling of de sterrendag, de helling en de evenwijdigheid der as, de duur van het jaar, de vorm der loopbaan met hare afmetingen, zijn zoovele elementen, die in verbinding met elkander, de opgenoemde verschijnselen te weeg brengen. Wanneer die elementen of eenigen er van veranderden, zoude de verandering, daardoor op onze planeet uitgeoefend, meer dan groot zijn. De duur van een sterrendag is, zooals wij gezien hebben, onveranderlijk, evenzoo de duur van het jaar. De excentriciteit en de

helling van den ecliptica alleen veranderen langzaam, maar al verandert de vorm der aardsche loopbaan en de helling der omwentelingsas, die veranderingen zijn, zooals wij later zien zullen, zoo gering, dat zij nauw merkbaar zijn. En hoewel de Zon, die bron van leven, zooals wij vroeger opmerkten, ook langzamerhand in uitstraling afneemt, moeten er toch nog millioenen jaren voorbijgaan, eer die vermindering merkbaren invloed heeft op het klimaat der Aarde. Zonder buitengewone en onwaarschijnlijke gevallen, blijven de sterrenkundige voorwaarden van onze planeet onveranderlijk, en de wet, welke God aan het stof heeft gegeven, zal zonder wondervolle inwerking, onveranderd blijven, zoolang de wereld staat.

Ten slotte willen wij de bewijzen optellen voor den loop der Aarde om de Zon; wij zullen dezelve splitsen in indirecte en directe bewijzen.

Indirecte bewijzen:

1. Alle andere planeten loopen om de Zon, geene uitgezonderd, waarom zou onze Aarde alléén daarop eene uitzondering moeten maken?

2. Wanneer er geen omloop bestaat, vervalt ook de dagelijksche omwenteling, want, zooals wij op het einde van het vorige hoofdstuk aantoonde, de eene beweging kan onmogelijk zonder de andere bestaan.

3. Alleen in de vooronderstelling van die dubbele aardbeweging kan men alle hemelverschijnselen voldoende verklaren en berekenen, hetgeen echter valsch zoude zijn, wanneer de vooronderstelling dier dubbele beweging valsch ware.

4. Onmogelijk kan de Zon om de Aarde wentelen, want daar de Zon, zooals wij vroeger zagen, bijna $1\frac{1}{2}$ millioenmaal de Aarde in grootte overtreft, zoo moet bij de wederzijdsche aantrekking, welke die beide lichamen op elkander uitoefenen, noodzakelijk het kleinste om het grootste wentelen en niet omgekeerd.

Directe bewijzen:

1. Vroeger haalde men een tegenbewijs uit datgene, wat thans als bewijs geldt. Omdat er bij de vaste sterren en bij de zeer verwijderde planeten geene paralaxe was optemerken, zooals men meende dat noodzakelijk het geval moest zijn, als de Aarde zich op zulk een verbazenden afstand om de Zon in het hemelruim verplaatste, daarom besloot men, verplaatst de Aarde zich niet en loopt niet om de Zon. De oorzaak van dat niet vinden der paralaxe was te wijten, eensdeels aan den verbazenden afstand der sterren en anderdeels aan

de onvolmaakte werktuigen tot waarneming, daar men thaus met de verbeterde en nauwkeurige werktuigen de jaarlijksche paralaxe van eenige vaste sterren heeft bepaald.

2. Alleen door den omloop der Aarde, kan, zooals wij vroeger zagen, de onregelmatige en dwalende loop der planeten, hare voor- en achterwaartsche beweging verklaard, en ook met juistheid berekend worden.

3. De aberratie of de afdwaling des lichts, waarover later, is een direct bewijs voor de verplaatsing der Aarde; want de lichtstralen, die van de sterren op de Aarde komen, vallen in eene geheel andere richting op de zich zoo snel bewegende Aarde dan gebeuren zou, indien de Aarde zich niet verplaatste.

4. Het verschil tusschen sterren- en zonedagen, is een ander direct bewijs. Zooals wij zagen, gaan de vaste sterren elken dag 4 minuten vroeger door den meridiaan dan de Zon: een bewijs, dat de Aarde zich elken dag ook verplaatst.

IV.

DE MAAN ☾.

§ 1. Schijngestalten der Maan. — Schijnbare beweging. — Synodische en siderische omloop. — Elementen van den omloop. — Ware vorm van den maanloop in de ruimte. — Eeectie en libratie. — Schijnbare en ware afmetingen. — Oppervlakte en grootte der Maan. — Omwenteling der Maan. — Gelijke duur der beide bewegingen der Maan. — Zwaarte en dichtheid.

Wegens haar beurtelings verdwijnen en verschijnen, wegens het grootte verschil dat haar vorm aanbiedt, en wegens het mindere of meerdere licht, dat zij afstraalt, is zeker de Maan onder alle sterren aan het uitspansel wel degene, die de meeste verscheidenheid geeft aan de nachten onzer aarde. Het zachte, witte licht, waarmede zij onze Aarde overstroomt, werkt op ieder, die gevoel heeft voor natuurschoon, en dichters en schilders stoffeeren er dan ook gewoonlijk hunne schilderijen mede. Voor den sterrenkundige is echter de Maan geen minder belangrijk voorwerp.

Wanneer de Maan aan den hemel staat, zelfs dan wanneer zij ons een gering deel van hare verlichte zijde toont, overschittert zij toch met haar glans de kleine voor het bloote oog zichtbare sterren. Naarmate de Maan voller wordt, is het getal der sterren, welke zij door haar glans verbergt ook grooter; de schemering van den Melkweg verdwijnt in den verlichten dampkring, en alleen de schitterendste sterren blijven voor het ongewapend oog zichtbaar. Daar de duur van het nachtelijk zichtbaar zijn der Maan toeneemt met haar glans, is het voor den sterrenkundige op dien tijd ondoenlijk nauwkeurige waar-

nemingen te doen, tenzij op eene der schitterendste sterren of op de Maan zelve. Op vastgestelde tijden echter verdwijnt de Maan van den hemel, en geeft aan het uitspannel bij eene heldere lucht al zijne pracht en grootheid weer.

Wat de Maan bijzonder belangrijk maakt voor studie en waarneming is hare groote nabijheid tot de Aarde, welke zij als een trouwe wachter in haar loop om de Zon steeds vergezelt.

Merkwaardig immers is dat kleine stelsel in het groote stelsel des heelals; die kleine wereld, die rondom onze Aarde dezelfde beweging heeft, als onze aardbol rondom de Zon. Wanneer wij later zien zullen dat andere planeten ook door kleinere lichamen vergezeld zijn, zullen wij veel gemakkelijker de verschijnselen begrijpen, welke die wachters op hunnen centraal bol hebben, als wij eerst in bijzonderheden al datgene begrijpen wat Aarde en Maan opleveren.

Beschouwen wij eerst onzen wachter, zooals hij zich aan het ongewapende oog vertoont.

Twee feiten nu zijn van algemeene kennis. Het eerste, dat de Maan in een tijdsverloop van ongeveer 29 à 30 dagen ons in eene opvolging van verschillende gestalten verschijnt, welke men *phasen* of *schijn-gestalten* noemt, en die immer op bepaalde tijden terugkeeren. Het tweede, dat de Maan ons immer hetzelfde halfmond toekeert, zoodat één van hare halfronden immer voor ons onzichtbaar blijft; die twee feiten bewijzen ten duidelijkste, dat de Maan twee bewegingen heeft, ééne waardoor zij rondom onze Aarde loopt, en ééne waardoor zij om hare as wentelt, terwijl beide bewegingen in juist denzelfden tijd volbracht worden. Wanneer wij de Maan in haren loop volgen, overtuigen wij ons gemakkelijk van die beide feiten.

Nieuwe Maan is het, wanneer onze wachter niet zichtbaar is noch des nachts noch des daags, omdat zij eene plaats aan den hemel inneemt zoo dicht bij de Zon, dat zij door de zonnestrallen verborgen wordt, en tevens omdat zij ons hare niet verlichte zijde toekeert. Tusschen het verdwijnen der Maan des morgens in het Oosten en het op nieuw verschijnen des avonds na zonsondergang, gaan er vier dagen voorbij, en in het midden van dat tijdsverloop komt het oogenblik der nieuwe Maan, dan bevindt zij zich tusschen de Zon en onze Aarde. Vervolgens ziet men haar na zonsondergang in het Westen in den vorm van eene scherpe en dunne sikkels, wier bolrond gedeelte altijd naar de Zon, die zich onder den horizon bevindt gericht is. Op

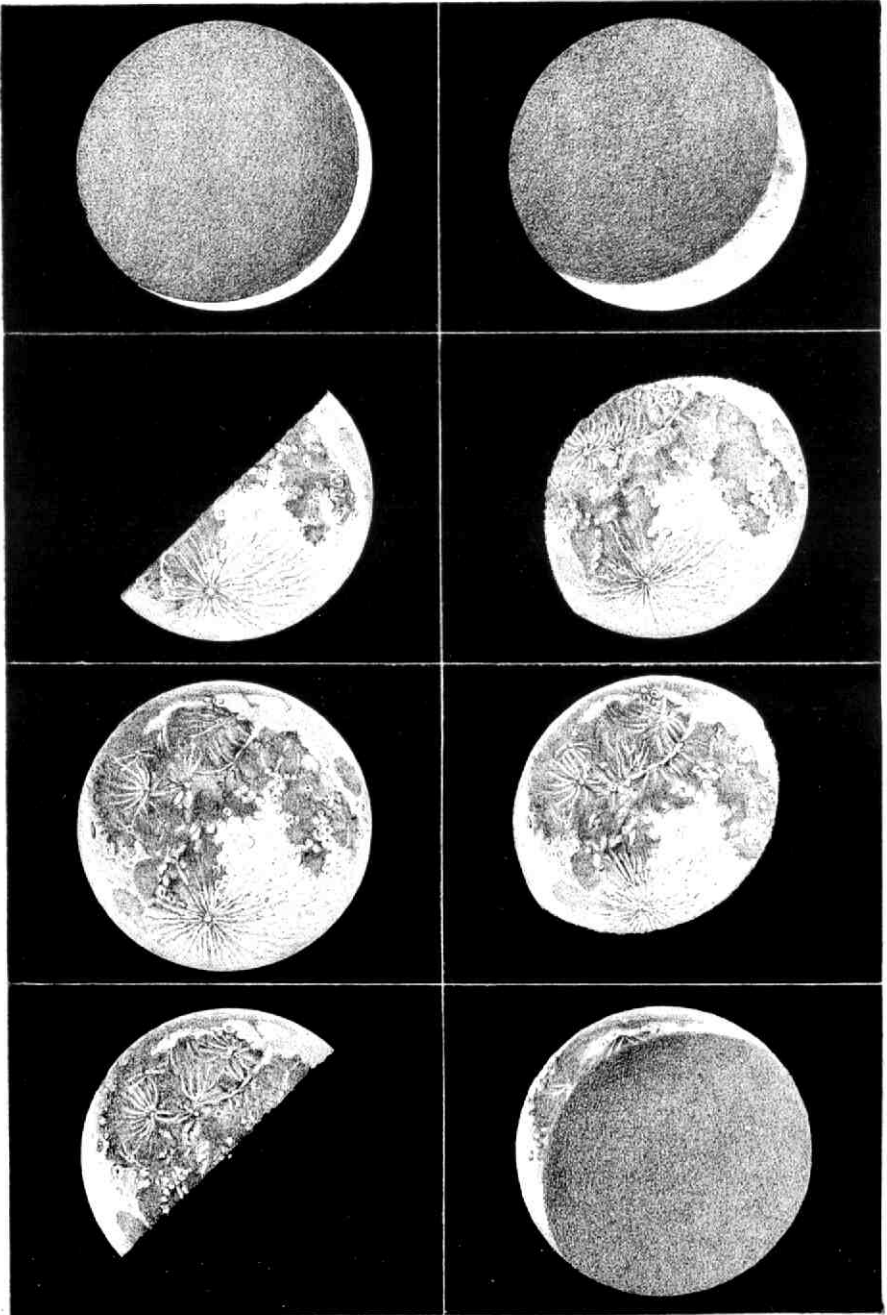
dat tijdstip ziet men duidelijk het overige donkere gedeelte der maanschijf in eene grauwe tint, welke men aschgrauw noemt, en die voortkomt uit de lichtstralen, welke zij van dat gedeelte onzer Aarde ontvangt, dat door de Zon bestraald wordt. Door de dagelijksche wenteling verdwijnt zij nu ook spoedig onder den horizon. Den volgenden dag herhaalt zich hetzelfde verschijnsel, maar de sikkel is niet meer zoo scherp, het verlichte gedeelte is grooter, en de Maan, omdat zij verder van de Zon verwijderd is, gaat ook later onder.

Op den vierden dag na nieuwe Maan gaat onze wachter reeds 3 uren na de Zon door den Meridiaan en heeft den vorm, zooals (Pl. XXII, Fig. 2) aangeeft. Ook dan nog is het aschgrauwe licht merkbaar, maar begint reeds te verminderen, omdat het lichtend gedeelte der Maan toeneemt, en verdwijnt eindelijk geheel en al, wanneer de Maan eene schijngestalte heeft, welke men eerste kwartier noemt.

Tusschen den zevenden en achtsten dag vertoont zich de Maan als een halve cirkel, gedeeltelijk reeds des daags zichtbaar, omdat de Maan 6 uur na de Zon door den Meridiaan gaat, dan noemt men haar *dichotome* (Pl. XXII, Fig. 3) d. i. in twee deelen verdeeld. Bij het eerste kwartier waren de vlekken, waarmede hare oppervlakte bezaaid is, reeds zichtbaar, maar thans teekenen die vlekken zich reeds scherp op het verlichte gedeelte af.

Tusschen het eerste kwartier en volle Maan verlopen er op nieuw zeven dagen, waarin het verlichte gedeelte meer en meer den vorm van een cirkel verkrijgt: de Maan gaat telkens later op en onder, en keert altijd naar het Westen, d. i. naar de Zon, haar bolrond gedeelte. Veertien dagen ongeveer na nieuwe Maan is haar gansche naar ons gekeerde halfrond verlicht. Te middernacht heeft zij haar hoogste punt aan den hemel bereikt, of met andere woorden, gaat zij door den Meridiaan, op hetzelfde oogenblik dat de Zon onder den horizon ook door den onderste Meridiaan gaat. Dan bevindt de Aarde zich juist tusschen Zon en Maan, en de Maan is dan in tegenstelling (oppositie) met de Zon, het is volle Maan.

Na het oogenblik van volle Maan totaan eene andere nieuwe Maan, neemt zij in haar verlicht gedeelte af, op dezelfde wijze en tijd als zij wassende was van af het oogenblik van nieuwe Maan tot aan volle Maan, zij neemt echter dan af aan de westzijde en keert van dat oogenblik haar bolrond gedeelte naar het Oosten, d. i. immer naar de Zon. Tusschen die beide tijdstippen van volle Maan tot nieuwe



SCHIJNGESTALTEN DER MAAN.

Maan komt zij mede tot een punt, dat men noemt laatste kwartier, gelijk aan het eerste kwartier, maar juist in eene tegenovergestelde richting.

In het tweede gedeelte van dit maantijdperk nadert de Maan voor ons oog meer en meer tot de Zon, zoodat zij in de laatste dagen slechts kort vóór de Zon opkomt en eindelijk in de zonnestrallen verdwijnt, en ons zoo met eene volgende nieuwe Maan weer hetzelfde verschijnsel biedt¹.

Die omloop der Maan rondom de Aarde verraadt zich door een verschijnsel niet minder opmerkelijk dan hare schijngestalten, wij bedoelen de schijnbare beweging, die haar in eene tegenovergestelde richting beweegt als de dagelijksche beweging, dat is hare verplaatsing van het Westen naar het Oosten. Die verplaatsing geschiedt zeer snel en is aanstonds op te merken; wanneer men met betrekking tot de eene of andere ster de plaats der Maan aan den hemel gadeslaat, bemerkt men na eenigen tijd, dat de afstand tot die ster merklijk veranderd is, en dat de beweging of verplaatsing der Maan juist geschied is in eene richting tegenovergesteld aan de dagelijksche beweging. Zoo doorloopt de Maan in 24 uren ongeveer 13° aan den hemel, en na $27\frac{1}{3}$ dag heeft zij den ganschen cirkel des hemels doorloopen.

Die eigene beweging, welke de Maan bezit, wordt op eene eenvoudige wijze zeer duidelijk, wanneer wij bedenken, dat de Maan zich om de Aarde beweegt, terwijl zij tegelijk met onze planeet haren loop om de Zon maakt; die beweging geeft ons dan tevens reenschap van de opvolging der schijngestalten, zooals (Plaat XXIII, Fig. 1) ons nog duidelijker doet begrijpen. Vooronderstellen wij eens voor een oogenblik, dat de Aarde onbeweeglijk is, en gaan wij dan eens na onder welke schijngestalten de Maan zich aan ons moet vertoonen gedurende haren omloop.

Eerst bevindt de Maan zich in eene rechte lijn met de Zon, dus tusschen de Zon en de Aarde, dan keert zij ons haar niet verlichte gedeelte toe en is voor ons onzichtbaar, het is nieuwe Maan of het tijdstip der conjunctie. Langzamerhand verwijdert zich nu de Maan van

¹ Wanneer het bolrond der Maan zich aan onze rechterhand bevindt, is de Maan wassende; maar is het bolrond aan onze linkerhand, d. i. naar het Oosten gekeerd, dan is zij aan het afnemen.

de Zon, en vertoont ons meerdere deelen van hare verlichte zijde; eerst in den vorm van een halven cirkel op het tijdstip van eerste kwartier, totdat zij eindelijk op het tijdstip van oppositie met de Zon komt, en de Aarde zich tusschen de Zon en Maan bevindt, en zij ons de volle door de Zon verlichte zijde toekeert. In de tweede helft van haren omloop vertoonen zich dezelfde gestalten, maar op eene juist tegenovergestelde wijze, want in de eerste helft was de bolronde zijde naar het Westen gekeerd en in de tweede helft van haren omloop integendeel naar het Oosten.

De conjunctie en de oppositie der Maan noemt men *syzygiën*. Het eerste en laatste kwartier *quadrature*, omdat de Zon en de Maan voor ons oog juist een rechthoek maken; de vier andere schijngestalten worden ook wel *octanten* genoemd.

Het tijdsverloop tusschen twee op elkander volgende nieuwe Manen is een *Maanmaand* en duurt 29 dagen 12 uren 45 min. en 29 seconden; dit noemt men den *sijnodischen omloop*; de Maan is dan met betrekking tot de Zon en de Aarde in denzelfden stand geplaatst. Twaalf zulke Maanmaanden bedragen dus 354 dagen, en worden een *Maanjaar* genoemd, dat 11 dagen korter is dan een gewoon burgerlijk jaar van 365 dagen.

Sommige oude volken regelden hunnen tijd volgens die Maanjaren, en begonnen het jaar op den 1 Maart, en na verloop van 19 jaren vielen de syzygiën weder op denzelfden datum van het zonnejaar, en zulk een tijdsverloop van 19 jaren noemt men een *Maanecycclus* of *Cirkel*, en het getal, dat aangeeft hoeveel jaren er van dien cycclus verlopen zijn, noemt men het *guldengetal*, en geeft dus te kennen hoeveel jaren er verlopen zijn sedert het op den 1 Maart, of wat hetzelfde, is op den 1 Jan. nieuwe Maan was¹.

¹ Om het guldengetal van eenig jaar te vinden, telt men één jaar bij het jaargetal, omdat men weet, dat één jaar vóór onze Chr. jaartelling de nieuwe Maan inviel op 1 Januari, en als men die som door 19 deelt, dan wijst het overschot het guldengetal aan; bijv. voor het jaar 1872, telt men 1 bij en door 19 gedeeld, is het guldengetal 11.

Epacta is het getal, dat aanwijst hoeveel dagen op den 1 Jan. verlopen zijn, sedert het Nieuwe Maan was; met andere woorden, hoeveel dagen de Maan oud was op den 1 Jan. Uit het guldengetal vindt men gemakkelijk de epacta, want men vermenigvuldigt het guldengetal met 11, omdat de Maan elk jaar zooveel dagen vóór 1 Jan. nieuw is, en deelt men nu het produkt door 30, dat is met den duur van eene maanmaand, dan duidt het overschot de epacta aan; dit is echter de Juliaansche epacta of Oude Stijl; om daaruit de Gregoriaansche epacta of Nieuwen Stijl te vinden, trekt

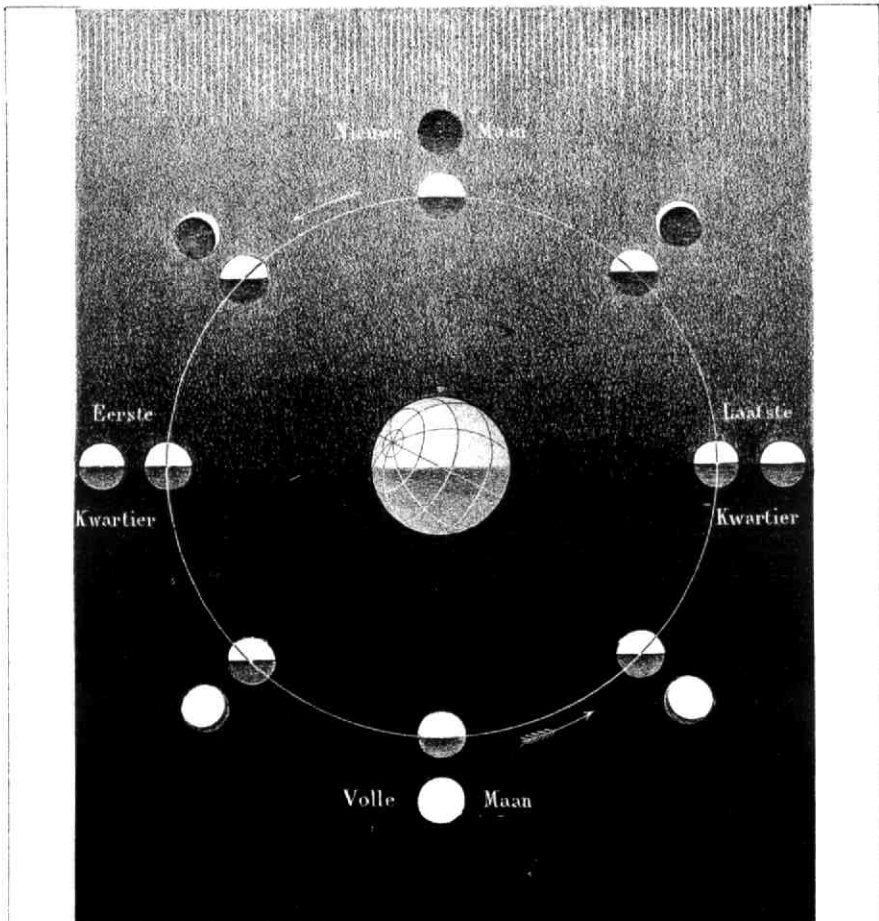
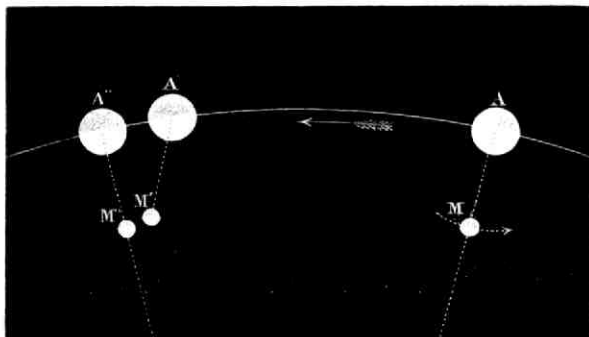


Fig. 1. Loopbaan der maan. — Verklaring der schijngestalten.



Verbeelding van P. G. M. van der

Fig. 2. Verklaring van het verschil tusschen synodische en siderische omwenteling.

Het tijdsverloop tusſchen twee punten, waarop de Maan met betrekking tot een punt aan den hemel of met betrekking tot eene ſter weder denzelfden ſtand inneemt, noemt men ſideriſchen omloop, en deze is bijna twee dagen korter dan de ſynodiſche omloop, want deze is 27 dag. 7 uren 43 min. 11,5 ſeconden.

Dit verſchil vindt zijne oorzaak hierin, dat de Aarde gedurende dien tijd niet onbeweeglijk blijft, maar op hare baan om de Zon 30° voortgaat, en tevens in dien loop de Maan met zich medevoert.

Beschouwen wij Plaat XXIII, Fig. 2 dan is de Maan m. in oppositie met de Zon, en het is dus volle Maan. Wanneer wij nu in p een punt of eene ſter aan den hemel waarnemen in rechte lijn met de Maan, dan zal de Maan bij haren omloop weder in rechte lijn met dat punt p zich bevinden, wanneer zij zich in m' bevindt. Maar eerst in m'' is zij opnieuw in oppositie met de Zon, want de Aarde is van A tot A' op hare baan voortgegaan, de ſideriſche omloop is dus korter dan de ſynodiſche. Eene eenvoudige berekening leert ons, dat zulks een verſchil oplevert van 2 dag. 5 ur. 1 min. 51,4 ſeconden. Prof. Kaiſer geeft in zijne zoo ſchoone verklaring van den ſterrenhemel een eenvoudig en duidelijk voorbeeld om het verſchil tusſchen dien ſideriſchen en ſynodiſchen omloop te verklaren. Te 12 ure vallen de beide wijzers van een uurwerk op de twaalf van de wijzerplaat te zamen, na eene geheele omwenteling komt de groote wijzer weer op de 12, maar valt niet ſamen met den kleinen wijzer, die inmiddels vooruit is gegaan.

De baan, welke de Maan om de Aarde beſchrijft, is evenals die van alle planeten eene ellips, in wier ééne brandpunt de Aarde zich bevindt, en wier excentriciteit ongeveer $\frac{1}{18}$ is, of juuſter 0,05490807;

men er nog eens het getal 11 af, en is de Juliaanſche epacta daarvoor te klein, dan telt men er 19 bij. Bijv. de epacta te vinden voor 1872. Het guldengetal is 11, vermenigvuldigd met 11 geeft 121. en gedeeld door 30, verkrijgt men als overſchot 1 Oude Stijl en 20 Nieuwe Stijl. Door middel der epacten is het nu zeer gemakkelĳk voor eene gegevene maand van eenig jaar vrij nauwkeurig den dag van nieuwe of volle Maan te bepalen. Men telt namelijk zooveel dagen bij de jaarsepacta als er maanden ſedert Maart zijn verlopen, dan heeft men den ouderdom der Maan op den eerſten dag der gegevene maand. Trekt men nu dat getal van 30 af, dan heeft men den datum van nieuwe Maan, en van 15 dien van volle Maan; bijv. voor November 1872, de jaarsepacta is 20, daarbij geteld de verloopene maanden van 1 Maart tot en met Nov. is 9, dus 29 afgetrokken van 30 geeft voor den datum der nieuwe Maan 1 Nov. en 16 Nov. volle Maan.

dus driemaal grooter dan de excentriciteit der aardse loopbaan; op die baan beweegt zich onze wachter van het Westen naar het Oosten.

De afstand, waarop zij zich van de Aarde bevindt, verandert dus gedurende haren omloop, zooals de schijnbare afmetingen der Maanschijf reeds getuigen.

Grootste afstand of apogeum ¹	1,0549.
Middelbare afstand	1,0000.
Kleinste afstand of perigeum	0,9451.

Om deze getallen in eene bekende maat over te brengen, is het voldoende de parallaxe der Maan te kennen, dat wil zeggen, den hoek waaronder men den straal der Aarde zou zien, als men zich op een afstand bevond gelijk met den maansafstand. De parallaxe der Maan op haren middelbaren afstand is $57^{\circ}2',06$, veel grooter dus dan de zonneparallaxe, en daarom duidt het een afstand aan bijna 400 maal kleiner dan die der Zon. Daaruit verkrijgt men de volgende afstanden:

	Aardstralen.	Kilometers.	Geogr. mijlen.
Apogeum	63,583	404,788	54,649
Middelb. afst.	60,273	383,712	51,804
Perigeum	56,964	362,649	48,960

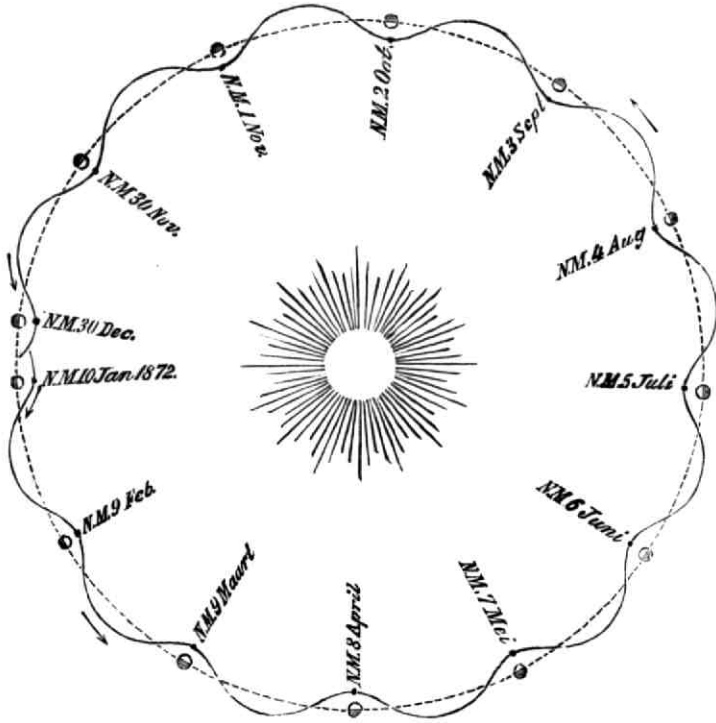
Het verschil tusschen den grootsten en kleinsten afstand bedraagt dus 6,619 aardstralen of 42,139 kilometers. 30 van onze aardbollen aan elkander geplaatst zouden dus den afstand vullen van de Aarde tot de Maan. Wanneer dus de Maan in het perigeum is en in het zenith staat, zou een sneltrein toch nog 300 dagen noodig hebben om de Maan te bereiken. Wanneer die afstand gevuld was met lucht, en dus bekwaam om het geluid over te brengen, zou het geluid van eene vulkanische uitbarsting op onzen wachter eerst na 13 dagen 8 uren onze Aarde bereiken. Een kanonskogel, zijne eerste snelheid bewarende, had ongeveer 8 à 9 dagen noodig. Het licht echter, de grootste snelheid, welke wij kennen, komt van de Maan in $1\frac{1}{4}$ seconde op de Aarde.

De baan, welke de Maan om de Aarde beschrijft, heeft eene lengte van ongeveer 2.400.000 kilom., en, daar zij die baan aflegt in $27\frac{1}{3}$ dag, is hare gemiddelde snelheid ongeveer 1022 meters per seconde,

¹ *Perigeum* van het Grieksche *peri-gij*, bij de aarde; *apogeum*, *apo* ver van.

dus tweemaal zoo snel als de snelheid van een kanonskogel; die snelheid is echter veranderlijk, en vermeerderd als de Maan dicht bij de Aarde komt, doch vermindert wanneer zij er zich van verwijderd volgens de Keplersche wet, dat de voerstraal in denzelfden tijd gelijke vlakken maar ongelijke bogen doorloopt.

Omdat de Aarde ook om de Zon eene elliptische baan beschrijft, en op dezen tocht de Maan met zich medevoert, zoo beschrijft de



(Fig. 16.) Loopbaan der Maan in een jaar om Zon en Aarde.

Maan eigenlijk wegens die dubbele beweging eene golvende lijn, waarvan Plaat XXIV, Fig. 3 ons eene afbeelding geeft voor een maanmaand en Fig. 16 voor een geheel jaar. Het is evenals wanneer iemand op een voortgaand schip rondom een mast loopt, en wel met betrekking tot dien mast een cirkel maakt, maar met betrekking tot het water zich eigenlijk in eene slanglinie beweegt, of de beweging van een punt in de velling van een wiel bij een voortrollend rijtuig. Wanneer wij later zien zullen, dat ook de Zon met de Aarde en de Maan zich

voortbewegen in de ruimte, volgt daaruit eene zeer samengestelde loopbaan voor de Maan.

Omdat de Maan zich niet alleen om de Aarde maar ook met de Aarde om de Zon beweegt, brengt de invloed van Zon en Aarde op de baan der Maan zekere veranderingen of storingen te weeg, waardoor hare loopbaan onregelmatigheden ondergaat. Die storingen noemt men *Evection*, en werden reeds door Ptolomeus ontdekt; daardoor loopt de Maan of sneller of trager op hare baan, al naardat zij met de Aarde en de Zon in eene rechte lijn staat of met haar een hoek van 90° vormt.

Wanneer de Maan in conjunctie met de Zon is, dat is tussehen de Aarde en de Zon staat, wordt de Maan sterk door de Zon aangetrokken, en daardoor eenigszins van de Aarde verwijderd; staat de Maan echter in oppositie, dan oefent de Zon meer die kracht op de Aarde uit dan op de Maan, en wordt daardoor de Aarde opnieuw van de Maan verwijderd. Het gevolg daarvan is, dat de snelheid der Maan in die beide standen vermindert, omdat in het laatste geval de aantrekkingskracht der Aarde minder is, en in het eerste geval de aantrekkingskracht der Zon grooter is. Maar staat de Maan met de Aarde en de Zon in quadrature, dat is in een rechten hoek, zoo is de aantrekkingskracht van de Zon op Maan en Aarde hetzelfde; omdat deze nu dichter bij elkander worden gebracht, wordt de snelheid der Maan grooter. Zoo is het dus duidelijk, waarom de Maan van het eerste kwartier tot aan het laatste sneller loopt, dan van het laatste kwartier tot het eerste; omdat in het eerste geval de aantrekkingskracht der Aarde vermeerderd en in het laatste vermindert; evenzoo is het duidelijk, dat het van invloed op de baan der Maan is of de Aarde in het perihelium of in het aphelium staat.

Die storende invloed op de loopbaan der Maan brengt te weeg, dat de ligging der maanbaan onophoudelijk verandert, en dat de groote as van de baan, welke zij beschrijft, en dus ook het perigeum en apogeum, steeds van het Westen naar het Oosten voortgaan zoodanig, dat zij juist in 8 jaar 310 dag. 13 ur. 48 min. 53 sec. de gansche omwenteling heeft gemaakt. De omloop der Maan van het eene perigeum tot het volgende duurt 5 ur. 35 min. 25.9 sec. langer dan de siderische omloop, en wordt de *Anomalistische* omloop genoemd.

Het vlak van de loopbaan der Maan ligt niet in ééne richting met het vlak van de ecliptica, maar maakt er een hoek mede van $5^\circ 8' 39''$,

zoodat de Maan dan eens 5 graden boven het vlak van de ecliptica is, dan weder 5 graden er onder; de beide punten waar de Maanbaan de ecliptica doorsnijdt heeten knoopen; klimmende wanneer zij er boven rijst, dalende wanneer zij er onder daalt. Omdat nu, zooals wij hierboven zagen, de ligging der groote as verandert, verandert ook de ligging der knoopen, welke echter niet vooruit maar achteruit gaat van het Oosten naar het Westen, zoodat de ligging der knoopen in 18 jaar 218 dag. 21 ur. 22 min. 45 sec. juist den ganschen omloop van 360° gemaakt heeft¹. De omloop dus van knoop tot knoop is niet langer dan de siderische, zooals bij de anomalistische maand plaats vindt, maar juist korter, en wel 2 ur. 38 min. 35.5 sec. Zulk een maansomloop van knoop tot knoop noemt men *Drakenmaand*.

Wanneer wij met het bloote oog de Maan beschouwen als zij vol is, dan bemerken wij, dat zij ons immer hetzelfde halfrond toekent, want de vlekken, welke wij op haar waarnemen, zijn steeds dezelfde; daaruit volgt echter niet, dat zij eene uitzondering maakt op de andere hemellichamen en zich niet om hare as wentelt, integendeel is dit juist een bewijs, dat zij ook, evenals alle hemellichamen, eene omwenteling om hare as maakt. Het onderscheidend karakter² is echter, dat die omwenteling juist zoo lang duurt als haar siderische omloop. Zij wentelt dus in $27\frac{1}{3}$ dag om hare as. Wanneer de Maan ons in het eerste en laatste kwartier bijv. een ander halfrond toekende, zou dit een bewijs zijn, dat zij niet om hare as wentelde; nu wordt zij in ééne omwenteling om de Aarde aan alle kanten door de Zon beschenen en wentelt dus om hare as.

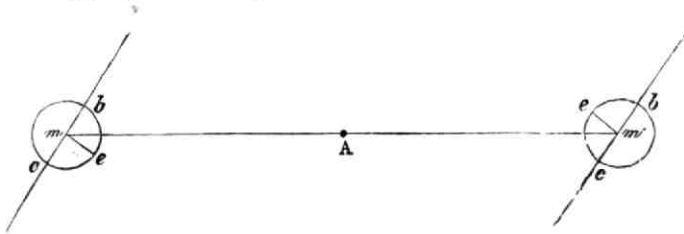
Wanneer wij zeggen, dat de Maan gedurende hare omwenteling ons steeds hetzelfde halfrond toekent, is zulks niet geheel en al juist, daar zij ons soms enkele gedeelten van hare randen toekent, welke op andere tijden voor ons verborgen zijn. Men noemt die schijnbare beweging *libratie* der Maan, en onderscheidt eene drievoudige li-

¹ Zie verder over de storingen in de banen der planeten en over den invloed van den achteruitgang der knoopen op de omwentelingsas onzer Aarde het III deel van dit werk.

² Vroeger geloofde men, dat bij alle wachters der planeten de omwenteling even lang duurde als de omloop. Niets billijkt echter om van onze Maan tot eene algemeene wet te besluiten; Secchi en Dawes hebben reeds bevonden, dat de wachters van Jupiter niet in denzelfden tijd wentelen, waarin zij hunnen omloop volbrengen.

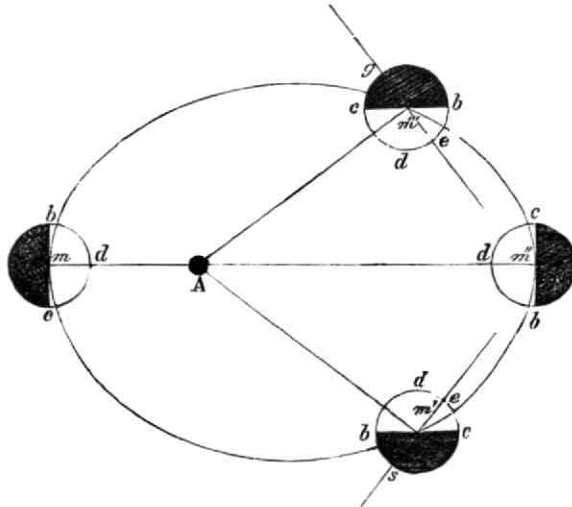
bratie: 1. eene breedte libratie, 2. eene lengte libratie en 3. eene dagelijksche libratie.

1. De breedte libratie komt voort doordien de omwentelingsas der Maan niet loodrecht op haar omloopsvlak staat, maar een weinig scheef; zoo zien wij, al naar den stand der Maan, iets meer of iets minder van hare noorder of zuider gedeelten, naar gelang zij ons meer hare noord- of hare zuidpool toekeert. Onderstaande Fig. 17 maakt verdere nitlegging overbodig.



(Fig. 17.) Verklaring der breedte libratie.

2. De lengte libratie heeft eene andere oorzaak, en vindt hare verklaring daarin, dat de snelheid van hare omwenteling niet overal gelijk staat met de snelheid van haren omloop. Fig. 18 zal het duidelijk maken. Wanneer de Maan in m in het perigeum staat,

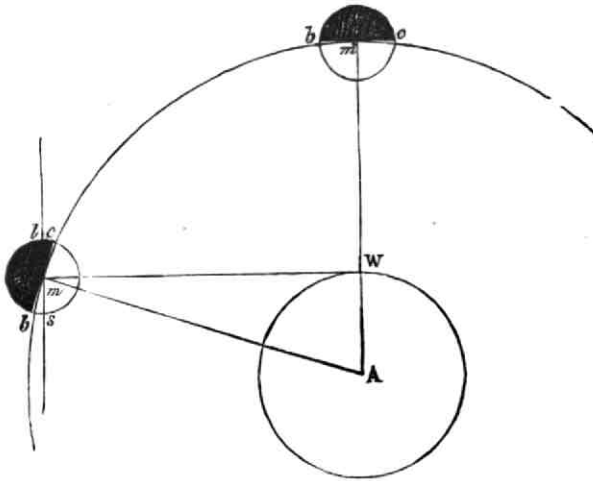


(Fig. 18.) Verklaring der lengte libratie.

is $b d e$ zichtbaar uit A , waar de Aarde zich bevindt. Als nu de Maan een vierde van hare baan heeft afgelegd en zich in m' bevindt, zou de zichtbare kant ook $b d e$ moeten zijn, maar zij heeft slechts

een vierde van hare omwenteling volbracht en de zichtbare kant is dus niet zooals in m , $b d e$, maar $s b d e$. Men ziet dus $b s$, wat men in m niet zag. Wanneer de Maan in haar apogeum is in m'' , dan is de zichtbare kant weer dezelfde als in m , maar op het vervolg van haar baan in m'' , vindt weer hetzelfde verschijnsel plaats als in m ; dan ziet men $e s$, wat men in geen anderen stand der Maan heeft gezien.

3. De dagelijksche of parallaktische libratie, die veel geringer is, vindt daarin haren oorsprong, dat de waarnemer op Aarde niet in het middelpunt staat van den cirkel, welke de Maan schijnt te beschrijven; want alleen tegenover het middelpunt der Aarde ver- toont de Maan steeds hetzelfde halfmond. Wanneer een waarnemer op



(Fig. 19.) Verklaring der parallaktische libratie.

Aarde in W de Maan ziet, ver- toont zich voor hem $l m s$, maar voor het middelpunt der Aarde $b m e$. Hij ziet dus $e l$, wat uit het middelpunt der Aarde onzichtbaar is; is echter de Maan in het zenith in m' , dan is $e l$ voor hem verborgen, en dit verschil noemt men de dagelijksche libratie.

Nu een woord over de afmetingen der Maan, zooals men die afleidt uit hare schijnbare middellijn en haren afstand.

De schijf der Maan, met het bloote oog gezien, schijnt ongeveer dezelfde afmetingen te hebben als de Zon. Op middelbaren afstand echter is zij iets kleiner dan de zonnenschijf, namentlijk $31' 8,2''$. Wanneer zij in haar perigeum is, wordt de schijnbare grootte harer mid-

dellijn $32' 57''$, en overtreft dus verre de middellijn der Zon, die slechts $32' 4''$ is. In het apogeum der Maan bedraagt hare middellijn slechts $29' 31''$. Die getallen zijn genomen met betrekking tot het middelpunt der Aarde, en daar volgt dus uit, dat de afstand verandert, al naardat de Maan zich hooger of lager boven den horizon vertoont; want in het zenith is de Maan het dichtst bij den waarnemer en moet dus schijnbaar grooter zijn. Men heeft berekend, dat zulks een verschil oplevert van $19''$. Plaat XXIV, Fig. 1 legt die meerdere of mindere nabijheid uit.

Wanneer iemand zich in A bevindt op de Aarde, ziet hij aan den horizon de Maan volgens de lijn A M. Maar komt de Maan door de wenteling der Aarde in het zenith te staan, dan ziet hij de Maan volgens de lijn A' M. De afstand van den waarnemer is juist de straal der Aarde verkort, en dus is de Maan in het zenith 6366,3 kilometers dichter bij den waarnemer, dan aan den horizon. Daaruit zou moeten volgen, dat de Maan in het zenith zich voor ons oog grooter moest vertoonen dan aan den horizon, en wij zien juist het tegendeel. Aan den horizon is de afmeting der Maan soms verbazend groot, en naarmate zij hooger stijgt, wordt zij kleiner; dat zulks optisch bedrog is, is reeds opgemerkt in de verhandeling over de Zon. Indien men de Maan door de holte der hand of door een koker zonder glazen beschouwt, verdwijnt het schijnbedrog en zij vertoont zich in hare ware grootte.

Welke zijn nu de ware afmetingen der Maan? Omdat men met juistheid de schijnbare grootte van de maanschijf en den afstand, waarop wij ons van haar bevinden, kent, is het antwoord gemakkelijk. Hare ware middellijn is 469,2 geog. mijlen of 2775364,4 meters, dat is iets meer dan een vierde van de aardsehe middellijn. Wanneer wij de diameter der Aarde stellen op 1, dan is die der Maan 0,273125.

In de vooronderstelling dat de Maan bolrond is, is hare oppervlakte gelijk aan het dertiende deel der Aarde, dat is 691600,7 \square geog. mijlen, eene oppervlakte ongeveer gelijk aan de nieuwe wereld of het vasteland der beide Amerika's. (Zie Plaat XXIV, Fig. 2.)

De inhoud der Maan staat gelijk aan 0,0204, dat is iets meer dan het negen en veertigste deel der Aarde, en bedraagt ongeveer 54 millioen kubiek mijlen. Om de inhoud der Zon te evenaren waren er 69,600000 zulke maanbollen noodig.

Al die getallen wijzen ons enkel op de meetkunstige betrekkingen van den maanbol, maar zeggen ons niets over de stof, waaruit

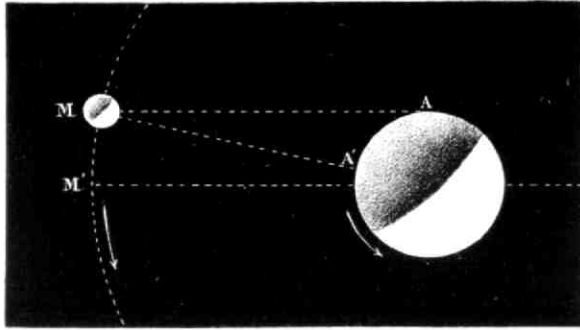


Fig. 1. Verschil van afstand der maan aan den horizon en in het Zenith.

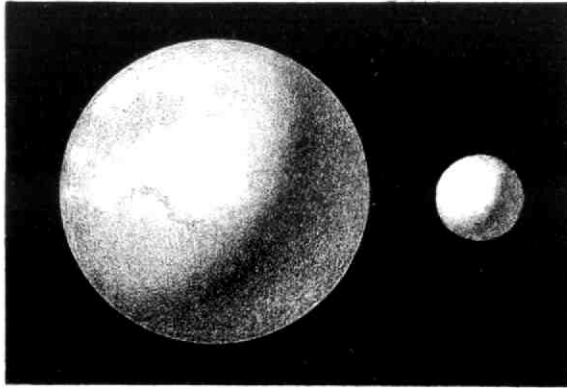


Fig. 2. afmetingen van de aarde en de maan

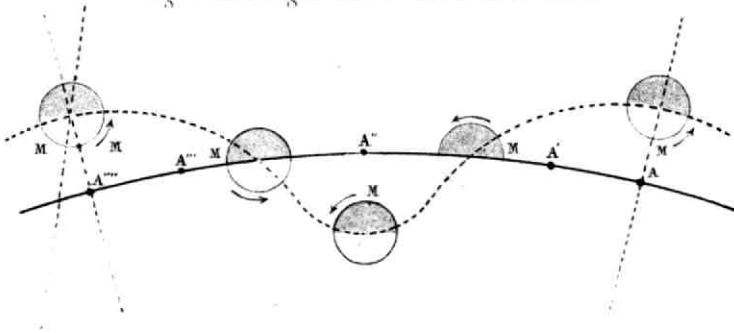


Fig. 3. Ware omwenteling der maan in een maanmaand

Van der Waerden, 1902

de Maan bestaat. De telescoop zal ons den vorm toonen, welke die stof verkregen heeft, door de inwerking der op de Maan aanwezige krachten, hoe zij zich geplaatst heeft, hier in vlakten en daar in eene menigte verhevenheden, bergen en heuvelen, meer of min gelijkende op die van onze Aarde. De ware natuur echter van de Maan is een vraagstuk, welks oplossing zoo belangwekkend als moeielijk is.

Het hemelstelsel echter geeft ons daarover eenige aanwijzingen. De juiste kennis van de beweging, welke de Maan rondom de Aarde heeft, en de zekerheid, welke men sedert de ontdekking van Newton bezit, dat alleen de zwaartekracht dien hemelbol binnen zijne loopbaan houdt, hebben gelegenheid gegeven om de massa van onzen wachter te berekenen. In het derde deel zullen wij de wijze verklaren, waardoor de sterrenkundigen tot de uitkomsten geraakt zijn, welke wij hier geven. De massa der Maan is slechts het $\frac{1}{97.667}$ gedeelte van die onzer Aarde, anderen nemen het $\frac{1}{88}$ gedeelte aan, en de dichtheid vergeleken met die van onze Aarde is gelijk aan 0,653, dus ongeveer $\frac{2}{3}$ van die onzer Aarde.

Wanneer wij dit in getallen uitdrukken, krijgen wij voor de zwaarte der Maan 72.000 trillioenen ponden. Met water vergeleken, is hare dichtheid 3,27, dat wil zeggen, dat de Maan drie en een vierde maal de zwaarte bezit van een bol water van zulk een omvang. Wanneer wij die dichtheid met die van eenige mineralen van onze Aarde vergelijken, begrijpen wij beter het samenstel der maanstof. Zekere basaltsoorten hebben ongeveer hetzelfde gewicht als de stof der Maan. 't Is tevens opmerkelijk, dat de dichtheid van de meteoren, die op Aarde vielen, zeer wel met die dichtheid der maanstof overeenkomt. Men vindt voor de dichtheid der meteoren 3,11 tot 3,54.

Wanneer wij eene vergelijking willen maken van de Maan met onze Aarde, moeten wij vooral de zwaartekracht, die op hare oppervlakte werkt, niet uit het oog verliezen. Die kracht verschilt op de verschillende hemellichamen, en is grooter naargelang de massa grooter is, en te zelfder tijd geringer naarmate de straal van den bol grooter is, of, wat hetzelfde is, naarmate de oppervlakte meer van het middelpunt is verwijderd. De zwaartekracht op de Maan werkt slechts met $\frac{1}{6}$ van de zwaartekracht op onze Aarde. Wanneer wij dus met onze krachten op de Maan konden verplaatst worden, zouden wij zesmaal meer kunnen tillen dan hier op Aarde, en de voorwerpen zouden zesmaal lichter zijn. De snelheid, waarmede

een voorwerp in de eerste seconde op de Maan zou vallen, zou nog geen meter wezen en gelijk staan met 0,827 meter, terwijl op Aarde die val gelijk staat met 4,87 meter.

Daaruit begrijpt men reeds beter hoe het mogelijk is, om massa's tot zulk eene verbazende hoogte op te stuwen, als wij op de maanbergen in het volgende hoofdstuk zullen waarnemen.

Wij willen thans de verschillende, in dit hoofdstuk behandelde, elementen van de Maan bijeen voegen.

Siderische omloop	27 dag.	7 ur.	43' 11",5
Tropische omloop	27 „	7 „	43' 4",7
Synodische omloop	29 „	12 „	45' 2",9
Anomalistische omloop (van perig. tot perig.)	27 „	13 „	18' 37",4
Drakenmaand (van knoop tot knoop)	27 „	5 „	4' 36"
Middelbare dagel. tropische beweging.	13°	10'	35",028598
Uitmiddelpuntigheid der baan	0,05490807		
Lengte van het perigeum	225°	23'	53",06
Lengte van den klimmenden knoop.	33°	16'	31",15
Helling der maanbaan op den ecliptica.	5°	8'	39",96
Ware middellijn.	496,2	geog. mijlen	
Helling van den maanaeq. op den ecliptica	1°	28'	25"
Aequatoriale horizontaal parallaxe.	57'	2",06	
Middelbare afstand van het middelpunt der			
Aarde in aardstralen.	60,2778		
Middelbare afstand in geog. mijlen	51804,96		
Massa in vergelijking met de Aarde	$\frac{1}{97,667}$		
Valhoogte in de eerste seconde	0,827	meters.	

§ 2. Maanvlekken. — Zeeën of vlakten en bergen. — Vulkanisch karakter der Maanbergen. — Walgebergten. — Kraters. — Rillen. — Hoogte der maanbergen. — Groeven of lichtstrepn.

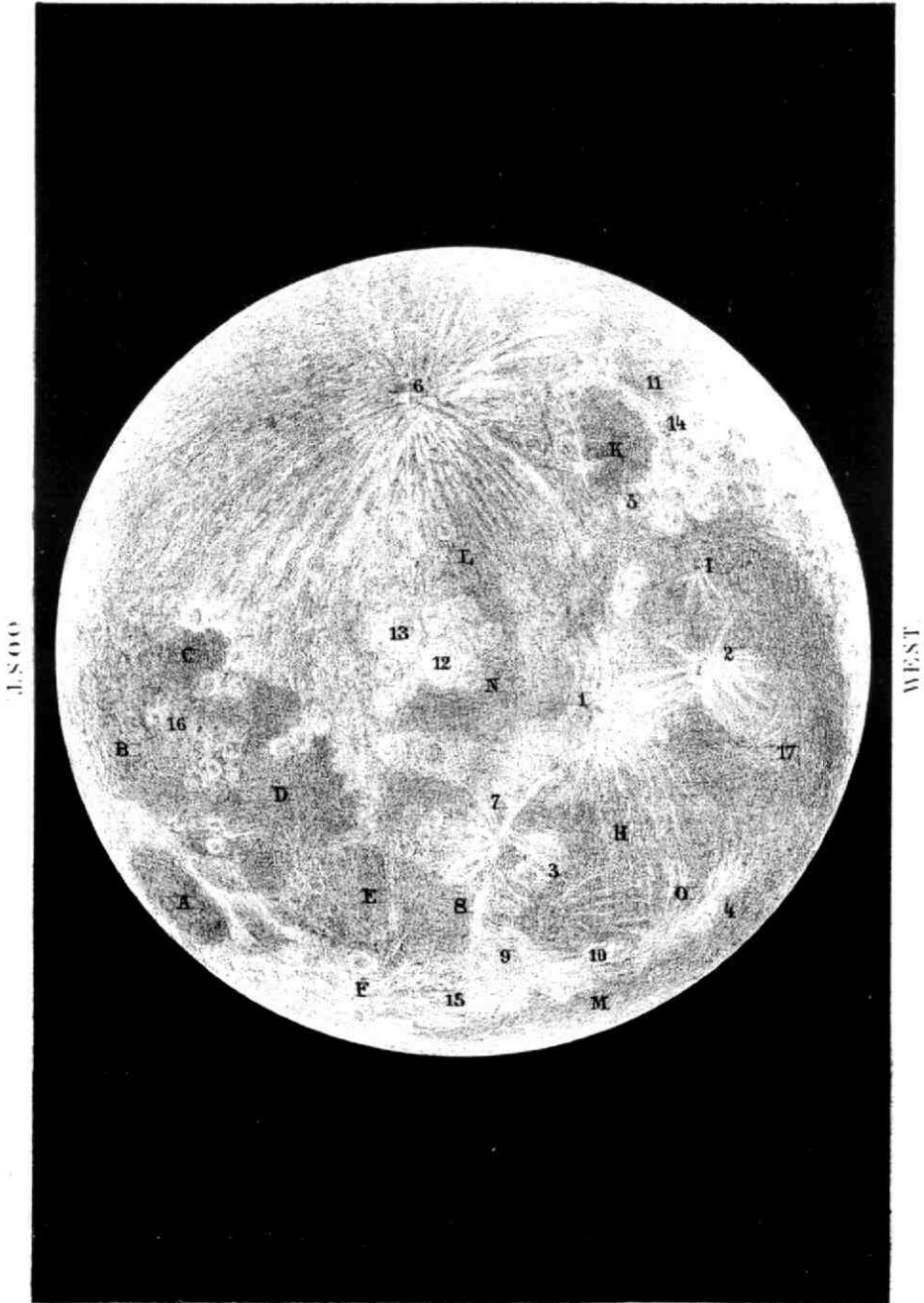
De werelbol, welken wij thans nauwkeuriger zullen beschouwen, waarop wij met onzen blik doordringen, dank aan zijne nabijheid en aan de kracht van onze kijkers, komt in zeker opzicht met onze Aarde overeen, maar verschilt ook machtig in andere punten. Wanneer een aardbewoner zich eens kon verplaatsen op de Maan, welk een vreemd schouwspel zou zich voor hem vertoonen. Die ruwe vorming van den bodem, overdekt met zoovele oneffenheden, zoovele

cirkelvormige diepten, zoovele hoog opgestuwde bergwanden; de blik op den hemel, waar de sterren op den helderen dag zichtbaar zijn; de kracht van het licht en de diepte der duisternis; die eeuwige stilte, welke in die oorden heerscht; de strengheid der jaargetijden, die dan eens verzengend warm, dan eens verstijvend koud zijn; dat alles zou de gewone begrippen verre te boven gaan. Maar hoe groot het contrast ook moge zijn, dat de Maan, met de Aarde vergeleken, aanbiedt, toch zullen wij zien dat de verscheidenheid, die zich in zulk een wondervollen rijkdom openbaart, zoowel hier als in al de werken der natuur, veroorzaakt wordt door een klein aantal krachten, welke de Schepper aan het stof heeft geschonken, en die in alle hemellichamen dezelfde zijn. Uit de eenvoud der wetten, die alle sterrenkundige verschijnselen beheerschen, straalt de eenheid in de schepping met heerlijken glans.

Een blik met het bloote oog op de volle Maan, doet ons reeds een aantal donkere en schitterende vlekken ontdekken, wier blijvende stand, zooals wij vroeger opmerkten, een bewijs is, dat de Maan ons immer hetzelfde halfmond toekeert. Het noordelijk gedeelte der maanschijf wordt ingenomen door vele in elkander loopende grijsachtige vlekken, terwijl het zuidelijk deel meer bedekt is met schitterend heldere punten. De noordoostelijke en noordwestelijke rand van de Maan geven de grootste schittering, terwijl de tint van het midden en het zuidergedeelte met elkander overeenkomt.

Vroeger had men aan de groote grauwe vlekken in het noordelijk gedeelte den naam van zeeën gegeven. Hoewel die benaming gebleven is, zullen wij echter zien, dat wij er de beteekenis van watervlakten niet aan hechten mogen. De zeeën in de Maan zijn vlakten, terwijl de meer schitterende gedeelten bergachtige streken zijn. Met groote trekken willen wij thans de Maan beschrijven, volgens de hierbij gevoegde Pl. XXV, waarop de volle Maan is afgebeeld, zooals zij zich voor het bloote oog of met een zwak vergrootenden kijker vertoont. De afbeelding is, zooals men die met een sterrenkundigen kijker ziet, in omgekeerde richting.

Wij beginnen met de voornaamste zeeën. Aan den N. oostkant zien wij eene langwerpige ronde vlek (A), omgeven door eene heldere tint. Men noemt die de zee der afscheidingen (*mare crisiaum*). Opgaande naar het middelpunt der Maan, ziet men eene tweede groote duistere vlek (D), afgedeeld door eene soort van inschietend voorbergeerte; die



NOORD.
VOLLE MAAN.

Verzand v. F.W.M. Trip

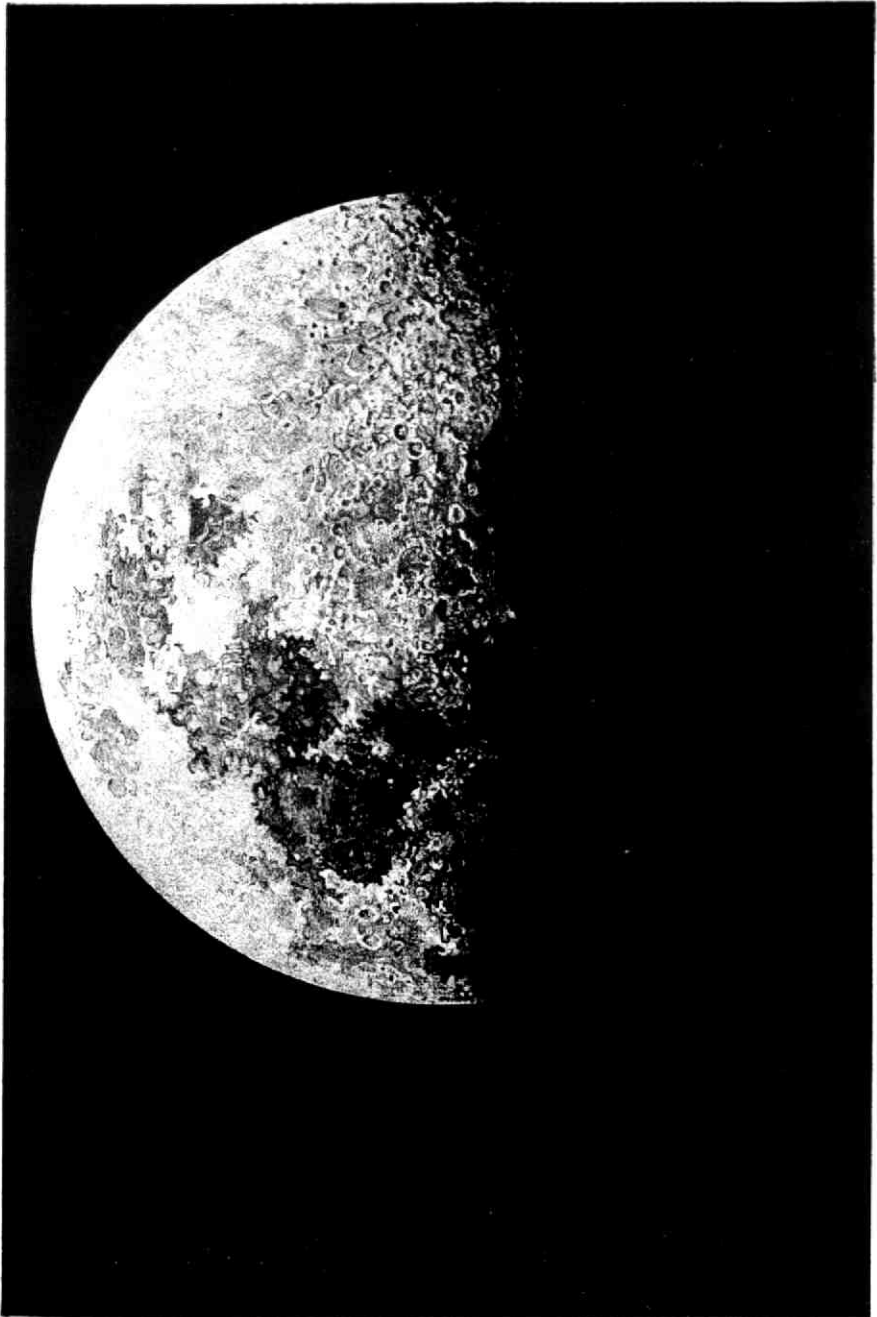
vlek is de zee der rust (*mare tranquillitatis*). De vlek aan den oostkant van het inschietend voorgebergte (B) noemt men de zee der vruchtbaarheid (*mare foecunditatis*), en die aan den anderen kant (C) de zee van Nektar (*mare nectaris*). Meer het noordelijk gedeelte beschouwende ziet men de zee van helderheid (E) (*mare serenitatis*), die in hare breedte door eene helder lichtende streep doorsneden wordt. In het midden vertoont zich (N) de zee der dampen (*mare vaporum*). De vlek (H), de grootste in het noorden der Maan, noemt men de zee der regens (*mare imbrium*); daaraan sluit zich de zee der stormen (*mare procellarum*) (I), die uitloopt eensdeels in de zee der vochten (K) (*mare humorum*), en meer naar het midden is de zee der wolken (L) (*mare nubium*). Nog ziet men dicht bij den noordel. rand eene lange smalle streep M, welke men noemt de zee der koude (*mare frigoris*).

De uiteinden van die dusgenaamde Zeeën, vormen in die gedeelten, welke men vastland noemt, kleinere, duistere bochten en inhammen, waaraan men den naam van meer en golf heeft gegeven. Zoo vindt men bijv. ten Noorden van de mare Serenitatis een inham (F), welke genoemd wordt het meer der droomen (*lacus somniorum*). Het noordwestelijk gedeelte van de mare Imbrium loopt uit in de (*Sinus iridum*) (O) golf der regenbogen. Op die wijze noemt men nog op de Maan de (*lacus mortis*), tusschen de mare Serenitatis en de mare Frigoris; de (*palus putredinis*), moeras van bederf, en de (*palus nebularum*), moeras der nevelen, bevinden zich aan den oostkant van de zee der regens.

De groote heldere vlekken, welke de meer duisteren omgeven, hebben geene benamingen ontvangen.

Wanneer wij de opgenoemde maanvlekken met het bloote oog beschouwen, geven zij ons volstrekt geene aandoening over de ware gesteltenis van den bodem van onzen wachter. Wij moeten dezelve daarom met den telescoop nauwkeuriger beschouwen, zoowel als de meer schitterende strepen, en als wij voor die beschouwing het tijdstip van eerste of laatste kwartier kiezen, en een kijker van middelmatige vergrooting gebruiken, vertoont zich een wondervol schouwspel aan onze blikken. Pl. XXVI.

Al de heldere streken van de maanschijf zien wij bezaaid met eene verbazende menigte cirkelvormige of langwerpige diepten van zeer verschillende grootte. Vooral op de grenzen van het verlichte



DE MAAN IN HET EERSTE KWARTIER,
volgens eene photographie door Warren de la Rue

Reproduction of the original photograph by Warren de la Rue.

gedeelte toonen die verschijnselen ons het duidelijkst den vorm en de gesteltenis van den bodem.

Het is eene soort van bekervormen, wier rand zich boven de maanvlakten verheft, en aldus de binnenvlakte omsluit. Duidelijk ziet men dezelve schitterend verlicht aan den zonkant, terwijl de andere helft, die van de Zon is afgewend, in het duister ligt. De vlakte binnen die wallen heeft verschillende tinten, en in zeer velen ziet men de slagschaduw van de verhevenheden, die er zich in bevinden. Hunne afmetingen zijn zeer verschillend; een zeer groot aantal schijnen slechts gaten te zijn, anderen zijn zoo uitgestrekt, dat zij in hun midden of aan hunne randen kleinere diepten omvatten.

Die eerste blik op de Maan overtuigt ons reeds, dat zij overdekt is met oneffenheden, wier schaduwen wij duidelijk waarnemen; dat zijn de bergen der Maan, welke wij thans nader zullen onderzoeken.

Op de Maan zien wij, dat de verschijnselen, welke wij er waarnemen, dan eens cirkelvormig dan eens langwerpig zijn; dat verschil heeft echter zijn grond niet in den *waren* vorm, want alle diepten hebben den cirkelvorm, zooals wij waarnemen in de centrale streken der Maan; naarmate zij zich echter meer aan den rand der Maan bevinden, krijgen zij een langwerpigen vorm, hoemeer aan den rand hoe langwerpiger. Die ovale vorm is dus een gevolg van de perspectief, want naarmate zij meer aan den rand liggen, zien wij er schuiner op, en dit is de oorzaak van den langwerpigen vorm. De ware grondvorm van de diepten en ingesloten vlakten op de Maan is de cirkelvorm.

Wanneer wij nu bij het eerste kwartier een kijker naar de Maan richten, zien wij hoe langzamerhand het zonnelicht zich uitbreidt over het oostelijk gedeelte der schijf. Verrassend is het te zien hoe in die streken, die nog in het duister zijn gedompeld, de Zon hare stralen schiet op den stijlen binnenkant van eene omslotene vlakte, die zich eerst sikkelvormig aan ons oog vertoont, en langzamerhand de gansche binnenruimte verlicht; dan weder ziet men in het duistere gedeelte een helder verlicht punt rondom in het duister schitteren, dat is de top van een berg door het zonlicht beschenen, terwijl de voet nog in het duister is gehuld. Wij zien dus in waarheid hoe de Zon opgaat op de Maan (zie Pl. XXVII, Fig. 2). Naarmate de Maan voller wordt verminderen de slagschaduwen der bergen en worden de omsloten binnenvlakten meer door het volle licht bestraald.

Aan de kleinere diepten op de Maan heeft men den naam van kraters of vulkanen gegeven, en aan de grooteren den naam van ringgebergten; de alleen staande bergen, die zich soms in het midden van zulk een ring of wal bevinden, noemt men centraalbergen. De voornaamste der maanbergen dragen den naam der grootste geleerden van ouderen en nieuweren tijd, terwijl men zeer nauwkeurige kaarten van de Maan heeft vervaardigd¹, zoodat men thans reeds meer dan 400 sterrenkundigen in de Maan kan vinden.

Bergketenen, zooals wij die op Aarde vinden, zijn op het zichtbare halfmond der Maan niet talrijk. De meesten bevinden zich in het noordelijk gedeelte. De *Alpen* 9 (zie Plaat XXV), de *Caucasus* 8, de *Appenijnen* 7, de *Pyreneën* 16, welke de zee van Nectar en de zee der vruchtbaarheid van elkander scheiden. In het midden heeft men nog den naam van *Karpathen* en het *Ouralgebergte* aan eenige streken gegeven. Echter bestaat er een zeer eigendommelijk verschil tusschen die bergketenen op de Maan en die van onze Aarde. De aardse bergketenen loopen het meest rechtlijnig of evenwijdig met een grooten cirkel van den aardbol, en vormen daardoor verschillende stelsels, die elkander in verschillende richtingen doorsnijden, en met een bepaald tijdperk van opheffing overeenkomen; maar de bergketenen der Maan zijn bijna allen boogvormig, alsof zij vroeger behoord hebben tot groote cirkels of omwallingen. Onder opzicht van den vorm vinden wij in het gebergte van Bohemen eenige overeenkomst.

De sterrenkundigen gebruiken verschillende wijzen om de hoogte der maanbergen te berekenen. Van die berekeningen zullen wij in het derde deel verslag geven. Hier geven wij alleen de uitkomsten dier berekeningen. In den omtrek van de zuidpool der Maan vindt men de hoogsten. De top van den berg Dorfel bereikt eene hoogte van 7600 meters, terwijl de bergen Casatus en Curtius 6956 en 6769 meters bereiken. Het ringgebergte Newton heeft eene hoogte van 7264 meters, en daardoor, zegt Humboldt, wordt de bodem van dat ringgebergte noch door de Zon, nog door de Aarde verlicht, omdat het zich te dicht aan de pool bevindt, en de zonnestralen er steeds in eene schuinsche richting invallen.

¹ In 1830 zag eene prachtige Mappa Selenographica door Mädler en Beer het licht. Hevelius was een der eersten, die aan de verschijnselen op de Maan namen gaf van zeeën en landen der Aarde.

Ook in de noorder streken vindt men belangrijke hoogten: Calippus, in de Caucasusketen, is 6216 meters hoog, en Huijghens, in de Appenijnenketen, 5550 meters.

De alleenstaande bergen binnen in de kraters of walvlakten, zijn minder hoog dan de toppen van het hun omringende walgebergte, maar zij overtreffen toch verre de hoogste bergen van ons werelddeel. De centraalberg uit den krater Tijebo is 5000 meters hoog; die van Eratosthenus, op het einde der Appenijnen, verheft zich 4800 meters boven den bodem van de omslotene vlakte. Volgens talrijke metingen, door Beer en Mädler, vonden zij 39 bergen hooger dan de Mont-Blanc, die toch 4800 meters bereikt, en 6 waren er hooger dan 6000 meters en wedijverden dus met de hoogste toppen van de Cordilleras de los Andes. Niet minder verwonderlijk zijn de afmetingen van zulke ingeslotene walvlakten. Ptolomeus (12), Copernic (1), Tijebo (6) hebben middellijnen van 180, 96 en 88 kilometers, en van meer dan dertig anderen heeft men middellijnen gevonden van meer dan 80 kilometers lang. De walvlakte Shickardt (11), eene der grootsten op het zichtbare halfmond, heeft eene middellijn van 256 kilometers of $34\frac{1}{2}$ geogr. mijl, en de hoogte van een der haar omringende bergtoppen is 3200 meters, zoodat iemand, die zich in het midden van die uitgebreide diepte zou bevinden, toch de toppen van het hem omringende walgebergte niet zien zoude, omdat, wegens den gebogen vorm van den maanbol en de groote uitgebreidheid, zelfs de onderste deelen van het walgebergte onder den horizon verborgen zouden wezen.

De bergen der Maan hebben, evenals de bergen der Aarde, een vulkanischen oorsprong. De ringvorm der groote walvlakten en der kleinere diepten, waaraan men den naam van kraters heeft gegeven, is er aanstonds reeds een bewijs voor. Maar hoewel de vulkanische werking de waarschijnlijkste oorsprong is der maanbergen, wil dit echter niet zeggen, dat zij alleen hun aanzijn te danken hebben aan vulkanische opstuwing, in den engeren zin van dat woord.

De meest aangenomene hypothese over de Maan is, dat zij oorspronkelijk, evenals onze Aarde, een vloeibare bol is geweest, wiens oppervlakte door de warmteuitstraling allengs gestold is; die vaste sehors nu is de zetel geweest der opvolgende verschijnselen en werkingen, waardoor zij den vorm heeft aangenomen, welken zij thans bezit. De groote hitte van de kern, ontwikkelde gassen en dampen, die zich een uitweg baanden door het nog zwakke omhulsel, dat daardoor

niet omhoog gestuwd werd zooals onze bergen, maar dat door de reusachtige gasblaas werd opgeheven, die, openspattend, oorzaak was van de cirkelvormige walgebergten op de oppervlakte, en daardoor die uitgebreide vlakten vormde, welke wij de zeeën der Maan noemen, en die, hoewel de grenzen der meesten door latere vulkanische werkingen verwoest zijn, nog een oorspronkelijken ring of cirkelvorm vertoonen.

Latere opheffingen vonden, wegens de dikkere korst, grooteren tegenstand, en veroorzaakten dus cirkeldiepten van kleiner omvang dan de eersten, dezulken zijn: Tycho (6), Shickardt (11), Gassendi (5), Copernicus (1), Kepler (2), Archimedes (3), Pythagoras (4), Plato (10), Ptolomeus (12), Albategnius (13), Marsenna (14), Aristoteles (15), Aristarchus (17) en anderen. Naarmate de opheffingen jonger zijn, werden de afmetingen kleiner, eensdeels om de mindere kracht, die ze voortbracht, en anderdeels om de sterkere schors, welke doorgebroken moest worden. Een bewijs, dat die kleineren van latere vorming zijn, vindt men duidelijk daarin, dat men er zeer velen gevormd ziet op de hellingen en grenzen van de grooteren, die daardoor zelfs hunnen cirkelvorm verloren en een veelhoekigen aannamen.

Wij moeten hier de tweevoudige natuur opmerken van den bodem van onzen wachter. De eerste vindt men in de bergachtige streken, die vooral de zuidelijke gedeelten van de maanschijf bedekken, en waaraan men den naam van vastland heeft gegeven. De poreuse vorm, zegt een groot selenograaf, Chacornac, de groote terugkaatsende eigenschap en vooral de verhevenheid van die streken, doet een groot onderscheid zien met de meer vlakke gedeelten, wier donkerder kleur en effene vlakte ze, volgens Herschel, meer den schijn geeft van alluviale vlotgronden.

Maar zijn de zeeën der Maan alluviale vlakten?

Niet in den zin, waarin wij de vlotgesteenten van onze Aarde denken; maar de bovengenoemde astronoom, steunende op talrijke en belangrijke verschijningen, wil dat op die eerste vorming der groote walvlakten eene soort van overstroming, of beter, eene slijkachtige uitstorting heeft plaats gehad. Die bruine slijkmassa zou meer dan twee derde der Maan bedekt hebben, en zich overal op den bodem der ringvormige vlakten hebben neergezet.

En als men nauwkeurig de verschillende kraters op de Maan beschouwt, ziet men dat eenigen van binnen een zuiveren kegel-

vorm hebben met ongeschonden wanden, en dat van anderen de wanden verbroken zijn, terwijl de bodem gelijke hoogte heeft met de omliggende valleien; vooral op de oevers der zoogenaamde zeeën ziet men dergelijke verbrokkelde kraters, wier binnenste gevuld schijnt met de slijkstreaming, waarvan Chacornae spreekt; hun vorm is een halfronde, terwijl de eene helft aan den zeekant verbroken is, alsof zulks geschiedt was door een instroomenden vloed. Dergelijk geval had in deze eeuw plaats met het eiland S. Paulus, in den Indischen Oceaan, toen de wateren des Oceans den krater van het gebergte op dat eiland vulden.

Volgens die hypothese, welke door de waargenomen feiten eene groote waarschijnlijkheid verkrijgt, ziet men dus dat het verschil, dat men waarneemt in de bergstreken der Maan en in de meer effene vlakten, zijn oorsprong heeft in een verschil van vorming. Dan begrijpt men de ruwe puntvormige oppervlakte der streken van het zoogenaamde vasteland en de gladde oppervlakte der zoogenaamde zeeën, die dan gelijk zijn aan eene vlakte van gedroogd slib.

De oorzaak echter van die vorming aan te geven is zeer moeielijk, omdat wij daarvoor eene nauwkeurige kennis moeten bezitten van de verschillende toestanden, welke onze wachter doorloopen heeft. Chacornae maakt daarover de volgende hypothese: hij meent dat toen onze wachter een zekeren graad van bekoeling had bereikt, daardoor den neerslag (praecipitatie) der dampen en gassen werd begunstigd, die in den vorm van regen zich op de oppervlakte verbreidden, en zoo overal de groote kraters en diepten vulden, terwijl de later gevormde kraters voor dergelijke aanslibbingen veilig waren.

Er bestaat dus tusschen de kraters op de Maan en op onze Aarde veel overeenkomst, maar ook veel verschil. De overeenkomst bestaat in de oorzaak, eene plutonische, zooals de geologen zeggen; maar die oorzaak heeft op de Maan andere gevolgen gehad dan op de Aarde, en hierin bestaat het verschil. Eerstens schijnen de stoffen van onzen wachter geheel anderen te zijn dan die, welke de kern onzer Aarde vormen; met zekerheid immers weet men, dat hunne dichtheid een groot verschil oplevert. Want de zwaarte op de Maan is vijf à zesmaal minder dan op onzen Aardbol, en dit alleen, in verband met het gemis van dampkringsdrukking, moet de werking dier ondermaansche krachten reeds zeer gewijzigd hebben.

De opgestuwde kegel der aardse vulkanen verheft zich tot eene

aanmerkelijke hoogte boven de omliggende vlakten, terwijl de eigenlijk gezegde krater veel minder diep is; deze krater kan beschouwd worden als de mond van een nauwen schoorsteen, die met de inwendige lagen van den aardbol in gemeenschap staat. Op de Maan echter vindt juist het tegenovergestelde plaats; daar is de inwendige diepte veel lager dan de omliggende valleien, en de opgestuwde wanden zijn ook minder hoog, zoodat de gansche berg meer gevormd schijnt door eene oorspronkelijke gasblaas dan door eene eigenlijke vulkanische uitbarsting.

Wellicht zijn er onder de kleinere kraters, die van jonger dagtekening zijn, eenigen die geheel en al overeenkomen met de kraters der aardse vulkanen, want de diepte belet het zien van den inwendigen bodem. 't Is ook zeer wel mogelijk, dat het verschil van bodem, dat men op de maan waarneemt, daaruit voortkomt, omdat geene eigenlijke sedimentaire formatie, zooals op onze Aarde, de oorspronkelijke plutonische formatie heeft veranderd.

De Maan is dus, volgens Humboldt, in denzelfden toestand, waarin onze Aarde verkeerde, voordat zij bedekt werd door de verschillende lagen, die hun oorsprong uit de zeestroomen namen. Hoe geheel anders zou onze Aarde zich voordoen, wanneer zij eens outdaan was van de tertiaire en sedimentaire formatiën.

Wij hebben reeds opgemerkt, dat een groot aantal diepten en kraters afzonderlijke bergen en kegels hebben, centraalbergen genoemd, eenigen hebben er zelfs verscheidenen, zoodat men in de walvlakte van Copernic er een zestal telt (zie Pl. XXVII, Fig. 1). Maar geen enkele dier centraalbergen bereikt de hoogte van het hun omringende walgebergte, velen zijn zelfs lager dan het vlak, waaruit de krater is opgestegen. Een groot aantal zijn, volgens Mädler en Julius Schmidt, wel 2000 meters lager dan de hen omringende walgebergten. Humboldt haalt hier het gevoelen van Leopold de Buch aan, die meent, dat die centraalbergen hun oorsprong niet hebben in vulkanische uitbarstingen, maar gelijk zijn aan die trachtyachtige kegels of geslotene koepels, zooals men die op verschillende punten der Aarde verspreid vindt. Nog moeten wij aangeven welke gissingen men gemaakt heeft over de lichtende strepen, rillen enz., welke men op de Maan waarneemt.

Wanneer men den blik slaat op Pl. XXV, dan ziet men uit de voornaamste punten Copernic (1), Kepler (2), Tycho (6) en ande-



Fig. 1. Inwendige van een cirkelgebergte met centraalbergen en kraters.

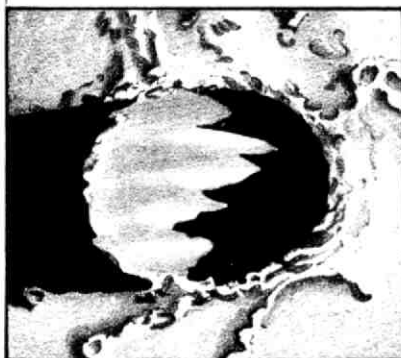


Fig. 2. Maankrater bij Zons-opgang.

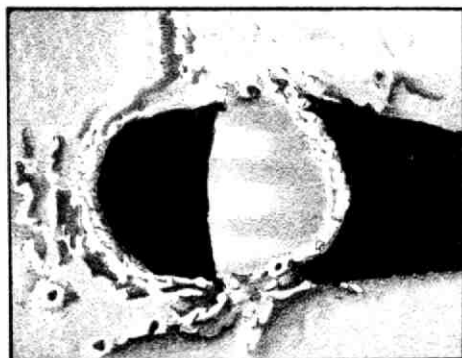


Fig. 3. Maankrater bij Zons-ondergang.

ren, eene reeks heldere strepen loopen, die zich soms in eene groote lengte over het bergachtig gedeelte uitstrekken. Uit Tycho alleen telt men meer dan honderd zulke uitlopende strepen. Die zonderlinge verschijnselen, waarvan men nog geene voldoende verklaring heeft weten te geven, vertoonen zich alleen omstreeks de volle Maan. Bij de andere schijngestalten der Maan zijn dezelve niet zichtbaar, en dit is een bewijs dat het geene verhevenheden zijn, anders zou men hunne schaduw moeten opmerken. Wanneer hun oorsprong vulkanisch is, zijn het wellicht spleten door eene witte kristalachtige stof opgevuld, die zich op de oppervlakte als zoovele schitterende aderen vormen. Chacornac beweert, dat de kraters, waarvan dergelijke strepen uitstralen, van jongeren oorsprong zijn. Toen de uitbarsting, zegt hij, die kraters en cirkelvlakten vormde, baanden de gasstoffen zich een weg door de witte stofdeelen, die uit vroegere vormingen het gebergte bedekten, en dit was de oorzaak van die lange witte strepen, die in alle richtingen uit Tycho stralen, want daardoor werd de bodem, waarover zij heenstreken, verglaasd of verkalkt.

De groeven of rillen verschillen merkbaar van de lichtende strepen. Zij schijnen gevormd te worden door twee evenwijdig loopende glooiingen of stijle wanden, door eene soort van rechtlijnige gracht gescheiden. Tijdens de volle Maan schijnen zij helder, maar bij de andere phasen, als het zonlicht schuins op de Maan valt, vertoont zich eene zwarte streep, een bewijs dat een der beide kanten zijne schaduw op de tegenovergestelde glooiing werpt.

Vroeger meende men er de beddingen in te ontdekken van opgedroogde rivieren, maar de vorm van die groeven, vaak breeder in het midden dan aan het einde; hunne verbazende breedte, die vaak 2000 meters is, en meer nog de diepte, die afwisselt tusschen 400 en 600 meters, maken die hypothese zeer onwaarschijnlijk; overigens is de lengte dier groeven betrekkelijk gering, van 16 tot 200 kilometers. Een bewijs, dat men ze niet als beddingen eener rivier kan beschouwen, ligt daarin, dat vele van die groeven over bergen heenloopen, en den wal van verschillende kraters doorsnijden; bij zooveel ongelijkheid van bodem is aan geene rivierbeddingen te denken.

Beer en Mädler vonden eene groote gelijkheid in de richting van zeer velen dier groeven; en dat zij van lateren oorsprong zijn dan de kraters en walvlakten der Maan is duidelijk, wanneer men ziet, dat

zij soms midden door zulke kraters heenloopen en hunne wanden verbroken hebben.

De Maan is dus een uitgebrande vulkaan, of beter, een door vulkanen uitgebrand hemellichaam. Plaat XXVIII geeft ons eene vergelijking van den vulkanischen Piek van Teneriffe met een der voor naamste ringgebergten, Copernic, op de Maan.

Heeft die vulkanische werking thans opgehouden, of werkt het ondermaansche vuur nog voort, zoodat het soms tot uitbarsting komt? Zie daar een vraagstuk, waarmede men zich ook in de laatste tijden veel heeft bezig gehouden. Ulloa meende, tijdens de totale zoneclips van den 24 Juni 1778, een lichtgevend punt op de Maan te hebben waargenomen, hetgeen hij toeschreef aan eene opening door de Maan. Herschel meende nog werkende vulkanen op de Maan te ontdekken, maar thans gelooft niemand meer aan openingen door de Maan of aan de zichtbaarheid van op de Maan werkende vulkanen; de oorzaak van die verschijnselen, die tot dergelijke gissingen aanleiding gaven, zoekt men in optischen schijn.

Een beter bewijs voor de thans nog heerschende vulkanische werking op de Maan, is de verandering die men heeft waargenomen in sommige streken en kraters der Maan. Julius Schmidt, directeur van het observatorium in Athene, vestigde in 1866 de aandacht op een kleinen krater in de mare serenitatis, Linneus genaamd. Secchi, Wolf, Huggins en andere astronomen, bestudeerden dien krater, en kwamen door onderlinge vergelijkingen en vroegere teekeningen tot de slotsom, dat die krater werkelijk veranderingen heeft ondergaan van zeer jongen datum; die krater is gedeeltelijk gevuld geworden met eene witachtige stof, die zich naar buiten uitstortend, den oorspronkelijken zijwand van den krater heeft doen verdwijnen. De selenographische commissie, in 1864 te Bath opgericht, heeft in drie of vier kraters op de Maan reeds veranderingen waargenomen, en de photographiën van de Maan leverden een vast punt van vergelijking op. Webb vestigde, eenige jaren geleden, reeds de aandacht op zekere veranderingen, die hij in den glans en tint der Maan waarnam. 't Is dus waarschijnlijk dat, evenals in het binnenste onzer Aarde, zoo ook op de Maan het geologisch leven nog voortduurt.



Fig. 1. Ringgebergte Copernic volgens Smyth.

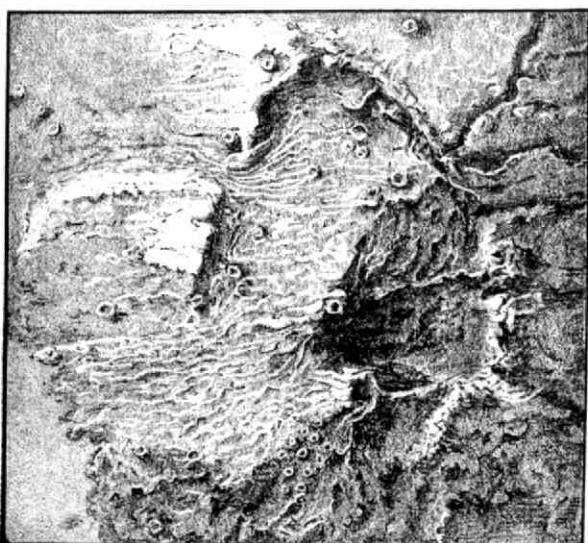


Fig. 2 De Piek van Teneriffe en omliggende deelen volgens Smyth.

§ 3. Klimaat op de Maan. — Heeft de Maan een dampkring? — Bewijzen voor het bijna zekere, dat de Maan geen lucht en geen water heeft. — Maanlandschap. — Heeft het van de Aarde afgewende halfmond dezelfde samenstelling.

Eene plant of eenig dier van onze Aarde zou op de Maan niet kunnen leven, omdat de noodzakelijkste levensvoorwaarden, lucht en water, er ontbreken.

De Maan heeft geen dampkring zooals onze Aarde.

Duidelijk schijnt die waarheid bewezen te worden door de sterrenbedekking, want als de Maan in haren loop voorbij een der lichtpunten van den hemel gaat, en dus eene ster met hare schijf bedekt, neemt men geene vermindering van lichtglans in die ster waar, maar zij verdwijnt plotselings in het volle licht, en dit gebeurt zoo wel bij groote als bij kleine sterren. Had de Maan een dampkring, dan moest de ster, voordat zij door de Maanschijf bedekt werd, eene verzwakking van licht ondergaan door dien dampkring, wat nu het geval niet is.

Wanneer de Maan een dampkring bezat, moest deze noodzakelijk een straalbrekend vermogen hebben, dat wil zeggen, dat eene ster op het oogenblik, dat zij reeds achter de Maan was, toch nog voor ons zichtbaar zou zijn, en dat zij na achter de Maan te zijn doorgestaan, reeds zichtbaar zou wezen, terwijl zij in werkelijkheid nog achter de schijf verborgen was. De duur, waarop de ster dus voor ons verborgen was, zou dan veel korter zijn dan de berekening, gemaakt uit de bekende beweging der Maan, ons zou aangeven; dit heeft echter volstrekt geene plaats, en de observatie van het bedekken eener ster, stemt volmaakt overeen met de berekeningen op de snelheid gegrond.

Tegen het besluit over het niet bestaan van een dampkring om de Maan zou men kunnen inbrengen: eerstens dat de middellijn der Maan wellicht niet met zooveel juistheid bekend is, om er zulk eene berekening op te bouwen. Ook nam Lausse bij de totale zoneclips van 1860 een vreemd verschijnsel waar, namelijk dat de hoornen van de nog overblijvende zonnepikkel afgeknot waren; dit zou eveneens op een dampkring wijzen.

De observatie weerspreekt echter het bestaan van zulk een dampkring, want om de groote nabijheid van onzen wachter, moesten wij

zeker de schemering op hem waarnemen. Schröter alleen meent zulk eene schemering aan de hoornen der Maan te hebben waargenomen.

Overigens moesten wij zeker de wolken, in dien dampkring zwevende, waarnemen, wat nog nimmer het geval is geweest, en de afscheidingslijn tusschen licht en duisternis, vinden wij ook zeer scherp geteekend. Ja, de schaduwen, welke wij waarnemen van de kraters en bergen, zijn overal scherp, zoowel aan den top als aan den voet dier bergen. Was er een dampkring, dan zou men zeker eenige uitvloeiing waarnemen.

De spectraalanalyse toont tusschen het rechtstreeks opgevangen en tussehen het van de Maan teruggekaatst zonnelicht, geen wezenlijk verschil, geen enkele nieuwe streep in het maanspectrum wijst op het bestaan van een dampkring. Jansen, Huggins en Miller maakten hiervan eene bijzondere studie, en onderzochten het spectrum der bedekt wordende sterren, maar zij namen volstrekt geene verandering waar in het spectrum der ster, wat toch het geval had moeten zijn, wanneer de dampkring der Maan de ster het eerst bedekte; zoodat wij besluiten mogen, dat de Maan geen dampkring heeft. Wanneer de Maan geen dampkring heeft, sluit dat gemis ook in zich het gemis van water, want de vloeistoffen van de zeeën en rivieren zouden noodzakelijk in damp moeten overgaan, omdat zij door geene dampkringsdrukking gebonden zouden blijven, zooals wij zien gebeuren met water onder de klok eener luchtpomp, en omdat de kracht der zonnestrallen zoo sterk is, zoude de Maan noodzakelijk omringd moeten zijn door dikke dampen en wolken. Maar dergelijke wolken, zooals wij hierboven reeds opmerkten, zijn nooit ontdekt, daar men de donkere banden van Jupiter en de beweeglijke vlekken van Mars toch wel heeft waargenomen.

Zonder lucht en zonder water ontbreken ook noodzakelijk de wind en de luchtstroomen. Er heerscht dus op de Maan eene doodsche onbeweeglijkheid en eene diepe stilte, want de klank kan zich door geene luchtgolving voortplanten, maar enkel door de trilling der samenhangende deelen van den bodem; de Maan is dus eene zwijgende en doodsche woestijn.

Een maanlandschap heeft echter zijne bijzondere eigenaardigheden; de schaduwen hebben overal hunne zelfde scherpte; de hardheid der lichtende punten, die op eene bijna zwarte lucht afsteken, wordt enkel gematigd door de terugkaatsende eigenschap van den zoo verschillen-

den maanbodem; een luchtperspectief bestaat er niet en die lichtspelingen, die waasachtige tint, die aan onze landschappen zoo veel schoons geven, ontbreekt er. De straalbreking ontbindt er het witte licht niet in de zeven enkelvoudige kleuren met hunne duizende schaakeeringen, en de regenboog en andere dergelijke verschijnselen zijn op de Maan onbekend. Maar daar tegenover staat, dat de sterren bij vollen dag aan het hemelgewelf schitteren. Plaat XXIX geeft ons een denkbeeld van een maanlandschap.

In het vorige hoofdstuk zagen wij reeds, dat de meer duistere vlekken op de Maan, welke men vroeger voor zeeën hield, thans beschouwd worden voor vlakten, die lager liggen dan de bergachtige streken. De kleur van sommige dier vlekken, dof groen, gaf eenigszins aanleiding tot de vroegere bewering; anderen zijn echter grijs en rosachtig. Wanneer wij het gemis van water op de Maan aannemen, vindt men eene goede verklaring over den toestand van den bodem, over de geologie van hare bovenste lagen. Altijd echter moet men onderscheid maken tusschen de bergstreken en streken der vlakten, en het schijnt, dat de gladde oppervlakte dier streken veroorzaakt is door zekere sedimentaire lagen, die zich daar in den loop der eeuwen gezet hebben.

Het klimaat, dat op onzen wachter heerscht, is niet minder buitengewoon dan zijn geologisch samenstel. Bijna 14 dagen lang straalt de Zon onafgebroken op de Maan, zonder dat eenig wolk- of luchtgordijn de kracht der zonnestralen breekt. Na zulk eene verzengende warmte, veel heviger dan in de verzengde streken onzer Aarde, volgt een nacht van 14 dagen, veel kouder dan in onze poolstreken.

Eigenlijk gezegde jaargetijden bestaan er niet op de Maan; de zwakke en geringe helling van hare omwentelingsas maakt, dat de Zon voor iedere breedte bijna altijd op dezelfde hoogte staat. In de streken langs den evenaar der Maan staat de Zon bijna altijd in het toppunt en in hare poolstreken rijst zij maar weinig boven den horizon; daarom hebben de toppen van de bergen, aan de polen der Maan, altijd zonlicht. De Zon zakt nooit lager onder den waren horizon dan $1^{\circ} 30'$, want zoo groot is de hoek, dien het vlak van haren evenaar maakt met het vlak van haren omloop; maar op eene hoogte van 600 meters ziet men, om de kleinheid van den Maanbol, reeds $1^{\circ} 30'$ beneden den waren horizon, zoodat de bergen, die hooger dan 600 meters zijn, immer in het zonlicht stralen, en wij weten, volgens de berekenin-



MAANLANDSCHAP,
op het tijdstip van volle aarde

gen van Beer en Mädler, dat aan de noordpool der Maan zich bergen bevinden van 3000 meters hoog en aan de zuidpool van 4000 meters.

Overigens begrijpt men, dat de meer of mindere hoogte, waarop de Zon hare stralen op de verschillende breedten der Maan schiet, niet zulk een invloed kan hebben als op onze Aarde; want op onze Aarde moeten de licht- en warmtestralen van de Zon, al naardat hare hoogte is, grootere en ongelijkere lagen van den dampkring doorgaan, wat op de Maan het geval niet is, omdat deze geen dampkring heeft.

Alles wat wij hier aantekenen over den physieken toestand der Maan, heeft alleen betrekking op het voor ons zichtbare halfrond. Mogen wij nu daaruit besluiten tot denzelfden toestand op het voor ons onzichtbare, van ons afgewende halfrond? Verschillende hypothesen, die voortkomen uit de verbeelding en op geene enkele waarneming rusten, zijn over dat onzichtbare halfrond gemaakt. Zoo heeft men gewild, dat het voor ons onzichtbare halfrond der Maan een dampkring bezit. Hansen, die veel heeft toegebracht tot den vooruitgang in de kennis van de Maan, heeft bewezen, dat het middelpunt der zwaartekracht op de Maan in het van ons afgewende halfrond gelegen is. Daaruit zou volgen dat, als de Maan een dampkring bezat, deze dikker en breeder zou moeten zijn op het halfrond, waarin het zwaartepunt gelegen is, dan aan de zijde van onze Aarde, en als op het voor ons zichtbare halfrond zich gassen of dampen zouden vormen, dan moesten deze immer naar het voor ons onzichtbare halfrond trekken. Het zijn echter onbewezene gissingen. Niets geeft ons ook recht om een verschil van geologischen bouw aan te nemen voor het onzichtbare halfrond; integendeel, de libratie (zie bladz. 155) vertoont ons ten noorden en ten zuiden, ten westen en ten oosten streken, die tot het onzichtbare halfrond behooren, maar, noch in de bergstreken, noch in de vlakten of zeeën, heeft men eenig verschil waargenomen met de streken in het zichtbare halfrond, zoodat wij daaruit veeleer het besluit zouden mogen maken, dat het van ons afgewende halfrond der Maan geheel en al overeenkomt met het voor ons zichtbare.

§ 4. Sterrenkunde voor een Maanbewoner. — Zijn er bewoners op de Maan? — Duur der dagen en nachten. — De Aarde uit de Maan gezien. — De sterren. — De nevelvlekken. — Zoneclipsen op de Maan. — Invloed der Maan op de Aarde.

Het bestaan van maanbewoners is eene onbewezene, door geen enkelen redelijken grond gebillijkte, hypothese. Sommige schrijvers, acht ma-

kende op de zucht der menschen naar het onbekende en wonderbare, hebben gansche beschouwingen over de Seleniten gemaakt, wier kunstwerken zij wilden bespied hebben door telescopen van eene buitengewone kracht. Wij zullen ons met die droomen niet verder inlaten, en alleen opmerken, dat het onmogelijk is van de Aarde op de Maan voorwerpen te onderscheiden ter grootte van een mensch.

De Maan is van ons 51000 geogr. mijlen verwijderd. Een ongewapend oog kan, op zijn hoogst genomen, eene mijl ver een mensch nog onderscheiden. Om dus de Maan door verrekijkers schijnbaar tot op eene mijl naar ons toe te halen, zou men eene 51000 malige vergrooting moeten aanwenden. De grootste bekende telescopen laten eene 6000 malige vergrooting toe, en als die vergrooting op de Maan kon aangewend worden, zou zij voor ons oog toch nog vijftien mijlen van ons verwijderd blijven, en dus alleen voorwerpen, die op Aarde voor het ongewapend oog vijftien mijlen ver zichtbaar zijn, zou men op de Maan kunnen zien. Maar de ondervinding heeft geleerd, dat men op de Maan in ons klimaat slechts met vrucht eene 300 malige vergrooting kan toepassen, zoodat zij zelfs door zulke telescopen nog voor ons oog 2550 mijlen verwijderd blijft, en op dien afstand zal het toch wel onmogelijk blijven om kleinere voorwerpen op de Maan te herkennen.

De schijngestalten der Maan leveren ons het bewijs, dat zij in een tijdsverloop van ruim 29 dagen, of in 709 uren, achtereenvolgens de verschillende deelen van hare oppervlakte naar de Zon keert; ieder van die punten wordt dus gedurende 354 en een half uur door de Zon beschenen; zoolang duurt dus een dag op de Maan en even zoo lang eene nacht. Omdat de Maan echter geen dampkring bezit, levert de opvolging van dag en nacht niet zulke lichtschakeeringen als op onze Aarde; neen, de afwisseling van licht en duisternis is bijna plotseling, en wordt alleen getemperd door de groote langzaamheid, waarmede de Zon onder den horizon verdwijnt of er boven rijst: want als de Zon opgaat, gaan er tusschen het oogenblik, waarop het eerste punt der zonneshijf boven den horizon komt en het oogenblik, waarop de gansche schijf zichtbaar is, bijna 10 uren voorbij. De opkomst of de ondergang der Zon op de Maan is dus een verschijnsel, dat aldaar bijna een halve van onze aardse dagen duurt.

De zonneshijf vertoont zich op de Maan steeds scherp afgeteekend, zonder dien stralenkrans te bezitten, waarmede zij zich aan ons oog

vertoont. Maar als het waar is, dat de Zon, zooals wij vroeger zagen, een dampkring bezit, dan moet dit omhulsel duidelijk op de Maan zichtbaar wezen en afsteken tegen den bijna donkeren grond des hemels, waarop bij vollen dag de sterren schitteren. Is eenmaal de Zon boven den horizon gerezen, dan straalt zij op de Maan met dezelfde kracht, welke zij in het zenith bezit. Wanneer de verschillende oneffenheden op de Maan het zonlicht niet terugkaatsten, zou het in de schaduw bij vollen dag bijna volmaakt duister zijn, de schitterende sterrenhemel alleen zou er licht verspreiden. Ook de nachten op de Maan zijn zoo duister, dat onze donkerste nachten er ons geen begrip van geven kunnen. Op aarde bezit het hemelruim toch immer eene zekere doorzichtbaarheid, en de tint van den hemel is steeds gekleurd of blauw. Maar in de maannachten wordt de harde toon van het zwart nog versterkt door de levendigheid der sterrenlichten, en de aardsche schijf, die voor de Maan aan den hemel staat, verandert niets aan den zwarten aanblik des hemels.

De licht- en warmtekracht is echter op het midden van den dag niet juist gelijk voor de beide halfronden der Maan. Voor alle plaatsen onder den meridiaan van het naar ons toegekeerde halfmond der Maan, is het middag op het oogenblik, wanneer het voor ons volle Maan is, en voor het van ons afgewende halfmond is het middag juist op het oogenblik, dat het voor ons nieuwe Maan is. Nu weten wij, dat de Maan, wanneer zij vol is, tweemaal zoover van de Zon is als haar middelbare afstand van de Aarde bedraagt, dan zij is bij nieuwe Maan; want bij volle Maan staat de Aarde tusschen Zon en Maan en bij nieuwe Maan staat zij tusschen de Aarde en de Zon. Op het oogenblik dus, dat het middag is voor het van ons afgewende halfmond der Maan, is dat gedeelte $\frac{1}{193}$ gedeelte van den middelbaren afstand der Aarde tot de Zon; hieruit volgt dan ook, dat de schijnbare middellijn der Zon, gezien uit het van ons afgewende halfmond der Maan, $\frac{1}{193}$ grooter is, dan gezien uit het naar ons toegekeerde halfmond, hetgeen daarin zijne vergoeding vindt, dat de lange dag voor de plaatsen onder den centraal-meridiaan ongeveer één uur en zeven minuten langer duurt.

Wanneer het nacht is op het voor ons zichtbare gedeelte der Maan, staat de Aarde onophoudelijk aan den hemel als eene schijf, die 14 maal grooter is dan voor ons de Maan is, en achtereenvolgens

doorloopt dan de Aarde de verschillende schijngestalten, zooals de Maan voor ons. Het aschgrauwe licht, dat wij op de Maan waarnemen, bewijst dat het op dat halfmond nooit volslagen duister is; want de Aarde kaatst het zonlicht op de Maan terug. Op het oogenblik, dat het voor ons nieuwe Maan, en deze dus voor ons onzichtbaar is, omdat zij zich tusschen de Zon en de Aarde bevindt, op dat oogenblik is het voor de Maan volle Aarde, omdat dan de gansche schijf der Aarde door het zonlicht bestraald is. Zie Plaat XXIX.

Gelijk het van ons afgewende halfmond der Maan voor ons steeds onzichtbaar is, zoo is ook op dat halfmond onze Aarde steeds onzichtbaar. De nachten zijn er zonder eenige schemering, en het eenige licht, wat er ontvangen wordt, is dat der sterren.

Alleen voor de kanten der Maan, die in de libratie deelen, waarover wij vroeger spraken, is onze Aarde soms zichtbaar, die echter dan maar zeer weinig boven den horizon rijst.

Gedurende de lange nachten van 350 uur op het voor ons onzichtbare halfmond, wordt de hemel nooit verduisterd door dampkring of wolken. De melkweg, de nevelvlekken, het zodiaklicht en de zonneprotuberancen, die wij enkel bij totale zonsverduisteringen waarnemen, zijn er altijd zichtbaar op de beide halfmonden. Op het van ons afgewende halfmond wordt echter de Zon nooit verduisterd, terwijl op het voor ons zichtbare gedeelte zulk eene verduistering twee uren duren kan; eene maansverduistering voor ons is eene zonsverduistering op de Maan.

Dat de Maan een niet onbelangrijken invloed op de Aarde uitoefent, is om hare groote nabijheid zeer natuurlijk.

Vroeger over de Aarde sprekende, hebben wij reeds aangestipt, dat de as van onze Aarde jaarlijks eene kleine verplaatsing ondergaat, nutatie genaamd, de invloed der Maan is er de oorzaak van; tevens weten wij, dat de Maan de voornaamste oorzaak is van de eb en den vloed op onze Aarde; omdat wij echter later meer uitvoerig beide verschijnselen zullen verklaren, is het genoeg ze hier slechts aan te stippen.

Maar de Maan oefent ook anderen invloed op de Aarde uit, die niet in de zwaartekracht zijne oorzaak vindt; een invloed, die wel zeer gering is, zoodat men er geene juiste waarde van kan aangeven, maar die toch ook niet ontkend kan worden. Herschel beweert, dat de Maan, wanneer zij vol is, kracht genoeg bezit om de zoo hoog drijvende zoogenaamde vederwolkjes te doen vervliegen; want omdat de Maan

bijna 14 dagen lang aan de zonnehitte is blootgesteld, rijst haar warmtegraad boven het kookpunt, en daardoor is de Maan in staat ook warmte af te geven; echter is die warmte, zoo meent hij, niet sterk genoeg om tot de Aarde door te dringen, maar wordt door onzen dampkring geabsorbeerd.

Verschillende proefnemingen zijn gedaan om den warmtegraad der Maan te bepalen, maar de kracht der maanstralen is zoo gering, dat eene bepaling hoogst moeielijk is. De stralen der Maan door eene groote linze in één brandpunt vereenigd, zijn niet in staat om een gevoelige thermometer $0^{\circ},0004$ te doen rijzen. Piazzì Smyth heeft proeven genomen op de piek van Teneriffe, zonder gunstiger gevolg te verkrijgen. Lord Rosse en Melloni hebben met eigenaardige meetwerktuigen die proeven op groote schaal nagevolgd, en verkregen een zeer kleinen invloed. Het vorige jaar gaf Marie-Davy in eene zitting der Academie des Sciences te Parijs, een verslag van zijne bevindingen over de warmteuitstraling der Maan.

Eerst gebruikte hij een zeer gevoeligen differentiaal-thermometer, en met eene linze van drie voet middellijn de maanstralen concentree-rende, kon hij toch geen invloed waarnemen. Nu gebruikte hij de thermomultiplicator van Melloni, die zoo gevoelig was, dat een honderdduizendste gedeelte van een graad merkbaar was. Dit werktuig plaatste hij achter een equatorialen kijker en verkreeg de volgende uitkomsten op de verschillende aangegevene tijdstippen:

Ouderdom der Maan	Middelbare tijd.	Middelbare kompasafwijking.	Waarde in thermometergraden.
4 dagen	7 u. 32 min.	$1^{\circ},3$	$0^{\circ},00017$
5 "	7 " 46 "	$1^{\circ},0$	$0^{\circ},00013$
7 "	8 " 45 "	$5^{\circ},8$	$0^{\circ},00075$
7 "	9 " 12 "	$2^{\circ},2$	$0^{\circ},00029$
12 "	8 " 39 "	$20^{\circ},0$	$0^{\circ},00260$
15 "	10 " 11 "	$21^{\circ},1$	$0^{\circ},00287$

De warmtestraling der Maan vermeerdert dus met de schijngestalten, terwijl de hoogte der Maan en de gesteltenis van den dampkring van grooten invloed is.

Wij weten, dat de Maan door hare aantrekking het water merkbaar en beduidend tot zich trekt, en daarom is er alle grond voor de vooronderstelling, dat de Maan evenzeer zulk een afwisselenden invloed

bezit op de lucht, en daardoor ten tijde van nieuwe en volle Maan luchtstroomingen veroorzaakt.

Vele onderzoekingen hebben plaats gehad om den invloed der Maan op de weersverandering na te sporen; alleen door eene veeljarige opmerking van de weersgesteltenis kan men alleen een besluit maken over dien invloed, en uit alle gemaakte onderzoekingen volgt, dat de weersverandering zich niet naar de Maan richt, maar haren oorsprong heeft in vele te zamen werkende, deels bekende, deels onbekende oorzaken.

Ten slotte stippen wij nog een paar verschijnselen aan, die met de Maan in verband gebracht worden, ofschoon het noodig is te onderzoeken of zij wel eigenlijk in de Maan hunne oorzaak vinden. In West-Indië heeft men reeds lang de opmerking gemaakt, dat hout, ten tijde der volle Maan gekapt, veel gemakkelijker springt en aan bederf onderhevig is, zoodat het om te bewerken veel slechter is dan hout, tijdens eene andere schijngestalte der Maan gekapt. Ook in onze streken heeft men dergelijke opmerkingen gemaakt. Het hout gedurende het laatste kwartier der Maan gekapt, schijnt het beste ter bewerking te zijn, omdat het dan het minste saprijk is.

Zeker is het tevens, dat de Maan op de planten invloed heeft. Planten, die in het duister verbleekt zijn, herkrijgen in het maanlicht hunne groene kleur. Zekere zilverpreparaten worden door het maanlicht zwart en sommige kleuren verbleeken.

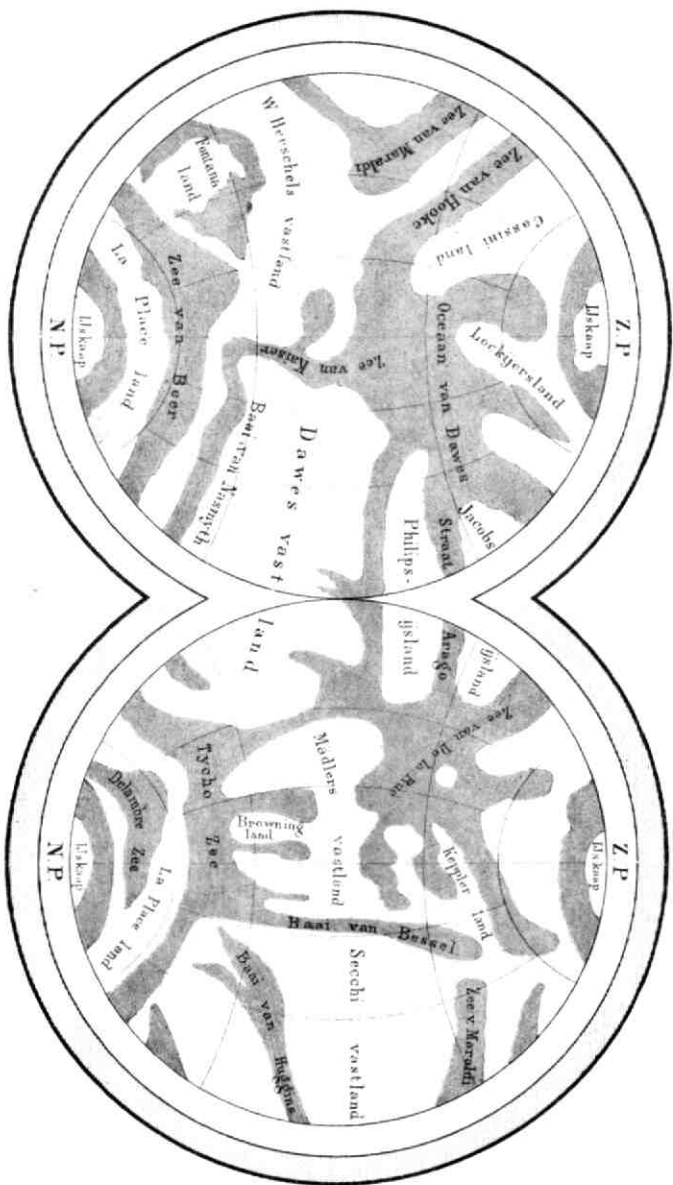
Sommige ziekten, vooral bij krenking der verstandelijke vermogens, worden erger ten tijde van volle Maan. Het zij genoeg zulke verschijnselen hier aan te stippen; de nadere verklaring moet van de natuuronderzoekers gevraagd worden.

V.

M A R S. ♂

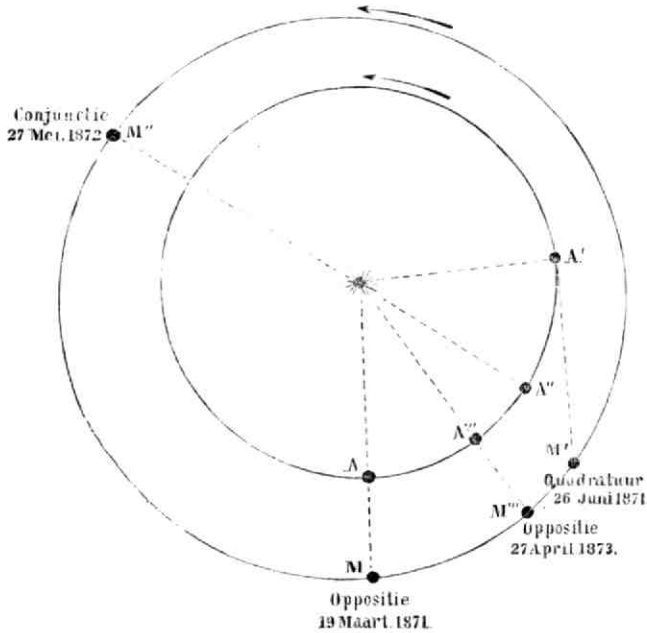
§ 1. Schijnbare bewegingen van Mars. — Oppositie, conjunctie en quadratuur.
Duur der synodische en siderische omwenteling. — Elementen van zijne loopbaan. — Afstand van de Zon en van de Aarde.

Mars is de eerste der buitenplaneten, zijne baan ligt verder van de Zon dan de baan van onze aarde, welke dus door de baan van Mars wordt ingesloten, en dit is de oorzaak, dat in plaats van de kleine slingeringen, welke wij bij Mercurius en Venus aan weerszijden der Zon opmerkten, en die zich tot op een bepaalden afstand uitstrekten, wij integendeel Mars elken verschillenden stand zien innemen; dan eens bevindt hij zich in rechte lijn met de Zon, maar zoodanig dat de Zon tusschen onze Aarde en Mars geplaatst is, dan is hij in zijne bovenste conjunctie met de Zon, gaat met haar op en onder en is voor ons onzichtbaar, omdat hij in de stralen der Zon voor ons oog verborgen is. Daarna verwijdert hij zich schijnbaar van de Zon, en wanneer hij 90° van de Zon verwijderd is, noemt men zulks in quadratuur met de Zon zijn, omdat de beide lijnen, die van de Aarde tot de Zon en van de Aarde tot Mars getrokken worden, met elkander een rechthoek van 90° maken. Eindelijk komt er nog een oogenblik dat Mars met de Zon en de Aarde in ééne rechte lijn staat, echter niet zooals bij de conjunctie, maar dan staat de Aarde tusschen de Zon en de planeet in, welken stand men de oppositie van Mars noemt; dan gaat hij te middernacht door den meridiaan, en in dien stand is hij het gunstigst ter waarneming, om de groote nabijheid, waarop hij zich tot de Aarde bevindt en tevens, omdat hij in dien stand hoog boven den horizon staat.



Stereografische kaart van Mars, naar teekeningen van Davies

Omdat de schijnbewegingen van Mars werkelijk verschillen van de bewegingen der binnenplaneten, en integendeel overeenkomen met die der overige buitenplaneten, geven wij hier tot duidelijkheid de verschillende standen van Mars met betrekking tot onze Aarde (Zie Fig. 20).



(Fig. 20.) Uitlegging der bewegingen van Mars.

Den 19 Maart van dit jaar (1871) bevond Mars zich in *oppositie* met de Zon en stond dus met betrekking tot onze Aarde tegenover de Zon in M. en de Aarde in A. Beide planeten gingen nu voort op hunne baan, zoodat den 26 Juni de Aarde in A' en Mars in M' was, en dus in *quadratuur* met de Zon, omdat de hoek, waarmede men van de Aarde op de Zon en op Mars zag, een rechthoek was. Nu snelt de Aarde op hare baan voort, zoodat op den 27 Mei 1872 de planeet zich met de Zon in *conjunctie* bevindt. Wanneer de Aarde nog eens een omloop heeft volbracht, bevindt Mars zich op nieuw in *oppositie*, en wel den 27 April 1873.

Omdat de Aarde in kleiner kring en sneller dan eene der buitenplaneten om de Zon loopt, zal het soms den schijn hebben, alsof de buitenplaneet teruggaat, dat wil zeggen, van het Oosten naar het

Westen; men noemt dit retrograde en heeft plaats, wanneer de Aarde en de planeet zich aan dezelfde zijde der Zon bevinden. Wanneer men zich in een snel rollend rijtuig bevindt, heeft het ook den schijn alsof de langzamer zich bewegende rijtuigen, welke men vooruitsnelt, zich achterwaarts bewegen; op dezelfde wijze begrijpt men gemakkelijk de schijnbaar achterwaartsche beweging der planeet met betrekking tot de achter haar geplaatste vaste sterren. Evenzoo bereikt de planeet soms een punt op hare baan, waarop zij met betrekking tot de Aarde schijnt stil te staan, en zich noch voor- noch achteruit te bewegen; dit noemt men stationnair zijn en is altijd het oogenblik, waarop de planeet van de schijnbare retrograde-beweging overgaat tot de directe beweging of omgekeerd¹.

Tusschen twee op elkander volgende oppositiën verloopen gemiddeld 779 dagen, dat is 2 jaren, 48 dagen, 23 uren; dit is de synodische omloop, want de siderische of zuivere omloop van Mars is veel korter en bedraagt 686 dagen, 23 ur. 30 min. 41 sec. De oorzaak van dit verschil tusschen synodischen en siderischen omloop hebben wij bij de beschouwing van Mercurius reeds verklaard en is hierin gelegen, dat de Aarde niet stil staat, maar zich ook op hare baan voortbeweegt.

De bewegingen van Mars zijn in de geschiedenis der sterrenkunde beroemd, want vooral aan de beschouwing dier bewegingen had Kepler de ontdekking te danken dier wetten, welke zijn naam dragen.

De loopbaan welke hij beschrijft is, evenals van de andere planeten, eene ellips, wier vlak echter niet samenvalt met het vlak der loopbaan van onze Aarde, maar beide vlakken maken een kleinen hoek van nog geen twee graden ($1^{\circ} 58' 2'',3$).

Na die van Mercurius heeft Mars, de planetoïden alleen uitgezonderd, de meest langwerpige loopbaan en dus de grootste uitmiddelpuntigheid. Wanneer wij de halve groote as van de loopbaan tot eenheid nemen, krijgen wij voor de excentriciteit der Marsbaan 0,0932611; de halve groote as van Mars is ongeveer 31 miljoen geogr. mijlen lang, en dus is de uitmiddelpuntigheid bijna 3 miljoen mijlen, terwijl die van onze Aarde slechts 345,000 mijlen is;

¹ De sterrenkundigen gebruiken zekere teekens om den verschillenden stand der planeten aan te geven, bijv. ♃ sup. ♃ ⊙ beteekent, dat Mars in bovenste conjunctie met de Zon is; ♃ ∞ ⊙ Mars in oppositie met de Zon, en ♃ □ ⊙ Mars in quadratuur met de Zon.

daaruit begrijpen wij, dat de afstand van Mars in het perihelium of in het aphelium een zeer groot verschil oplevert.

Die afstand, in getallen uitgedrukt, geeft de volgende uitkomsten¹:

In stralen der aardsche loopbaan.	In millioenen Geogr. mijlen.
Aphel. 1,6658	34,45
Middelb. 1,5236	31,51
Perihel. 1,3816	28,57.

Tusschen de niterste afstanden van Mars tot de Zon bestaat er dus een verschil van bijna 6 millioen mijlen, het vijfde gedeelte ongeveer van den middelbaren afstand.

De gansche omvang van zijne loopbaan bedraagt in ronde getallen bijna 106 millioen geogr. mijlen, welke baan de planeet aflegt met eene gemiddelde snelheid van $3\frac{1}{3}$ mijl iedere seconde, eene snelheid welke $\frac{8}{10}$ van de snelheid onzer Aarde bedraagt. De afstand van Mars tot onze Aarde levert een zeer groot verschil op. In de bovenste conjunctie van Mars is die afstand het grootst en bedraagt de som der voerstralen van beide banen, of met andere woorden de som van den middelbaren afstand onzer Aarde tot de Zon met den middelbaren afstand van Mars tot de Zon, terwijl op het tijdstip der oppositie de afstand gelijk is aan het verschil der beide voerstralen.

Grootste afstand 55 millioen mijlen

Kleinste „ 8 „ „

§ 2. Mars met het bloote oog beschouwd. — Kleur en schittering. — Mars met den teleskoop beschouwd. — Zijne schijn gestalten. — Verschil in schijnbare middellijn, ware afmetingen, oppervlakte en inhoud. — Massa en dichtheid van Mars. — Zwaarte op de planeet.

Voor het ongewapend oog straalt Mars als eene ster van de eerste grootte in een helder rood licht, waarom de ouden hem reeds den vurigen noemden. Naarmate de afstand is, waarop hij zich met betrekking tot de Aarde bevindt, is die glans zeer verschillend. Wanneer Mars in oppositie met de Zon is, is zijn glans het schitterendst en onderscheidt hij zich van de vaste sterren door zijn rustig en niet tin-

¹ Tot nu toe hebben wij soms de afstanden en andere grootheden uitgedrukt in kilometers, voortaan geven wij die in geographische mijlen. Zulk eene mijl staat gelijk met 7407 meters.

telend licht, dat hij met andere planeten gemeen heeft, hoewel Venus en Mercurius soms een tintelend licht bezitten.

Wanneer men Mars met den teleskoop beschouwt, neemt het schitterend punt den vorm aan van eene zuiver ronde schijf, wier roode tint veel vermindert maar niet verdwijnt. Met eene genoegzame vergrooting beschouwd, ziet men, vooral op het tijdstip der oppositie, een aantal vlekken op de schijf, welke wij aanstonds zullen beschrijven. Hoewel de planeet haar licht van de Zon ontleent en dus maar één van hare halfronden verlicht heeft, vertoont de schijf van Mars zich steeds bijna cirkelrond; nooit heeft zij de sikkelgestalten zooals Venus en Mercurius, want omdat de loopbaan van Mars geheel en al die van onze Aarde omsluit, is het duistere gedeelte, dat Mars ons toekeert, zeer gering. Op het tijdstip van de quadratuur is dat gedeelte het grootst, en toch verschilt dan de schijf zeer weinig van een cirkel. Hoe gering die schijngestalte ook is, toch bewijst het wat wij hierboven reeds neerschreven, dat het licht, waardoor Mars schittert, geen eigen maar teruggekaatst zonlicht is.

Op middelbaren afstand heeft Mars eene schijnbare middellijn van $9'',38$ volgens Bessel, $9'',52$ volgens Kaiser. Die afmetingen verschillen zeer veel, al naardat de planeet in oppositie of in conjunctie is; in het eerste geval is de schijnbare middellijn $3'',5$, en in het laatste $25'',6$. Plaat XXXI, Fig. 2 geeft dat verbazende onderlinge verschil aan.

Wanneer wij onze Aarde in hare verschillende verhoudingen tot eenheid nemen, dan verkrijgen wij voor Mars:

middellijn	$0,545$ of 938 geogr. mijlen.
oppervlakte	$0,30$ of 2.760000 \square mijlen.
inhoud	$0,16$ of 432.000000 kub. mijlen.

Het schijnt genoegzaam zeker te zijn, dat Mars een langwerpige ronden vorm heeft, dat wil zeggen, dat hij aan de polen afgeplat of op zijn aequator eenigszins gezwollen is. De juiste bepaling van die afplatting vindt echter groote moeielijkheden, welke men toeschrijft aan de irradiatie van de blinkende sneeuw- of ijsvlakten, welke men aan de beide polen van Mars waarneemt. Arago, die met groote zorg de beide middellijnen heeft gemeten, komt tot het besluit dat de korte as $\frac{1}{30}$ korter is dan de lange. Herschel schatte in 1784 dat verschil op $\frac{1}{16}$. Schröter daarentegen wilde $\frac{1}{80}$. Onze Kaiser geeft $\frac{1}{118}$ voor de afplatting, volgens de metingen door hem ondernomen gedurende de oppositie van 1862.

Wanneer men de vooronderstelling aanneemt, dat Mars zoowel als alle andere planeten eertijds in een vloeibaren toestand is geweest, dan zijn de boven aangehaalde getallen te groot, en niet in overeenstemming met de wetten der hydrostatica ¹ over de vorming der hemellichamen. Wellicht is de mindere juistheid dier afmetingen wel de oorzaak van die afwijking, en komen de sterrenkundigen bij andere metingen, tijdens volgende oppositiën, tot meer overeenstemmende uitkomsten.

Wanneer men de massa van Mars berekent uit de storingen, ² welke hij uitoefent op de baan van onze Aarde, komt men tot het besluit, dat hij ongeveer het drie millioenste gedeelte der zonnemassa bevat en het bijna $\frac{1}{815}$ gedeelte van onze Aarde (0,12). Wanneer men de dichtheid ³ der Aarde tot eenheid neemt, dan is de middelbare dichtheid van Mars 0,737, en de dichtheid van water tot maatstaf genomen, dan is die van Mars gelijk aan 4,19, waaruit men besluit, dat de stof, uit welke Mars bestaat, overeenkomt met een groot aantal van onze mineralen en ook met eenige op aarde neergekomen luchtsteenen.

Men moet bij dergelijke bepalingen echter in het oog houden, dat er steeds een groote onbekende blijft: de toenemende dichtheid toch van de oppervlakte van het middelpunt blijft immer voor onze navorshingen verborgen, zoodat men de ware dichtheid van de stoffen op de planeet eigenlijk niet kent, maar men immer eene gemiddelde dichtheid aangeeft. De zwaartekracht op die planeet is, met die van onze Aarde vergeleken 0,40, zoodat een vallend lichaam enkel door de zwaartekracht eene snelheid bezit van 1,97 meters in de seconde.

§ 3. Mars met den teleskoop beschouwd. — Blijvende vlekken op de schijf. — Omwenteling der planeet. — Dag en nacht, jaargetijden op Mars. — Vaste vlekken, kleur, vastland en zeeën. — Veranderlijke vlekken, dampkring, sneeuw en

¹ Hydrostatica is de leer der wetten van het evenwicht der vloeistoffen.

² Zijn de afwijkingen der hemellichamen uit hunne zuivere elliptische baan, veroorzaakt door de op elkander werkende aantrekkingskracht van andere hemellichamen, hierover in het derde deel meer uitvoerig.

³ Dichtheid van een lichaam is de verhouding van het gewicht tot den omvang, of m. a. w. beteekent de massa zijner weegbare deelen, vergeleken bij die van een ander lichaam van gelijken omvang. Bij eene opgave van dichtheid neemt men gewoonlijk zuiver water tot éénheid. Hoe dichter een lichaam is hoe zwaarder, omdat het meer deelen bevat en dus minder ijel of poreus is. Wanneer men de massa deelt door den inhoud, verkrijgt men de dichtheid. Hierover later meer uitgebreid in het derde deel.

ijs der polen. — Waterdamp bewezen door de spectraal-analyse. — Klimaat en meteorologie van Mars.

Wanneer men Mars in een daarvoor gunstigen stand met een goeden teleskoop waarneemt, vertoont zich zijne schijf cirkelvormig, met heldere en duistere vlekken bedekt, wier glans en kleur merklijk verschillen. De meer schitterende en heldere vlekken hebben, behalve een paar aan elkander tegenovergestelde punten, eene eigenaardige roode tint, terwijl de meer duistere vlekken, wellicht een gevolg van het contrast, eene blauwe of liever grijsgroene tint bezitten. Zijne schijf is helderder aan de zijden dan in het middelpunt, terwijl de meer duistere vlekken aan de randen der planeet geheel verdwijnen. Op twee punten van de schijf, die echter niet lijnrecht tegenover elkander staan, vertoonen zich twee vlekken van ongelijke grootte, maar in eene helder witte kleur, die sterk afsteekt tegen de roode tint; die beide vlekken teekenen ongeveer de polen van Mars.

Al deze verschijnselen, welke men op de planeet waarneemt, zijn gedeeltelijk blijvend en gedeeltelijk veranderlijk.

Talrijke en nauwkeurige waarnemingen hebben den blijvenden vorm dier voornaamste vlekken genoegzaam bewezen; zulke waarnemingen zijn echter veel moeilijker dan men oppervlakkig wel zou meenen, want omdat de planeet in ruim 24 uren om hare as wentelt, verandert zij voor ons oog in weinige uren.

Het schijnt dat Fontana in 1636 het eerst de duistere vlekken van Mars waarnam. Bartoli zag er acht jaren later twee, die, omdat zij van tijd tot tijd verdwenen, reeds eene omwenteling deden vooronderstellen, welke door Cassini in 1666 ontdekt, en wier duur door hem bepaald werd. Hij bevond dat de Marskogel van het westen naar het oosten om zijne as wentelt in 24 ur. 40 min. Maraldi, Herschel, Beer en Mädler hebben volgens hunne eigene waarnemingen die berekeningen nagegaan, zoodat Proctor, een Engelsch sterrenkundige, al de vroegere gegevens tot zijne dienst hebbende, de duur eener omwenteling bepaalde op 24 uren, 37 min. en 23 seconden.

De sterrendag van Mars is dus 41 min. 19 sec. langer dan een sterrendag van onze Aarde. Om hieruit den duur van een zonnedag te berekenen, moet men in het oog houden, dat Mars zijn loop om de Zon volbrengt in 686.98 van onze zonnedagen; omdat hij echter iets langzamer wentelt dan onze Aarde, volbrengt hij in dien tijd ongeveer

669 omwentelingen, zoodat zijn zonnejaar bestaat uit 668 zonnedagen, en daaruit volgt, dat ieder van die zonnedagen ook langer is dan op onze Aarde en een middelbaren duur heeft van 24 uren 39 min. 23 sec.

Wat de omwenteling van Mars betreft, bestaat er dus veel overeenkomst met onze Aarde; de verschijnselen, die daaruit hun oorsprong nemen, zooals de opvolging van dag en nacht, het op- en ondergaan der Zon en der sterren, vertoonen er zich evenals bij ons.

De snelheid der planeet bij hare omwenteling verschilt, zooals wij zagen, niet veel van die onzer Aarde, hoewel de ware snelheid van een punt op haren aequator, omdat de bol van Mars veel kleiner is, niet zoo groot is als die van een punt op onzen aequator. In plaats van, gelijk op onze Aarde, iedere seconde 465 meters af te leggen, is de afstand, welke een punt op den aequator van Mars aflegt, iets meer dan de helft, namelijk 246 meters.

Daaruit volgt, dat de middelpuntvliedende kracht minder sterk, en haar invloed op de zwaartekracht ook veel minder is dan op onze Aarde. Op dezen grond hebben verschillende sterrenkundigen de afplatting, welke men bij Mars meende waargenomen te hebben, voor overdreven verklaard.

Uit de schijnbare beweging der vlekken heeft men de richting van de omwentelingsas bepaald, en men meent dat die met het vlak van de loopbaan een hoek maakt van $62^{\circ} 44'$ (Zie Pl. XXXI Fig. 1), wat weinig verschil oplevert met de as der Aarde, die een hoek van $66^{\circ} 31'$ met de loopbaan maakt. Mars is dus, evenals onze Aarde, in koude, gematigde en verzengde streken verdeeld; de duur van dag en nacht volgens de verschillende breedten, de lange poolnachten en pooldagen, in een woord, de verdeling van licht en warmte zijn verschijnselen op Mars, die geheel en al met die van onze Aarde overeenkomen. Wat de duur der jaargetijden betreft, daarin bestaat echter een aanmerkelijk verschil. Op Mars zijn de jaargetijden veel langer en hun betrekkelijke duur levert zeer groote ongelijkheden op. Dat verschil vindt zijne oorzaak eerstens in het lange jaar van Mars en vervolgens in de groote uitmiddelpuntigheid van zijne loopbaan.

Zie hier hoe de 668 dagen op het noorder halfrond verdeeld zijn:

Duur van de Lente	191
„ „ den Zomer	181
„ „ „ Herfst	149
„ „ „ Winter	147

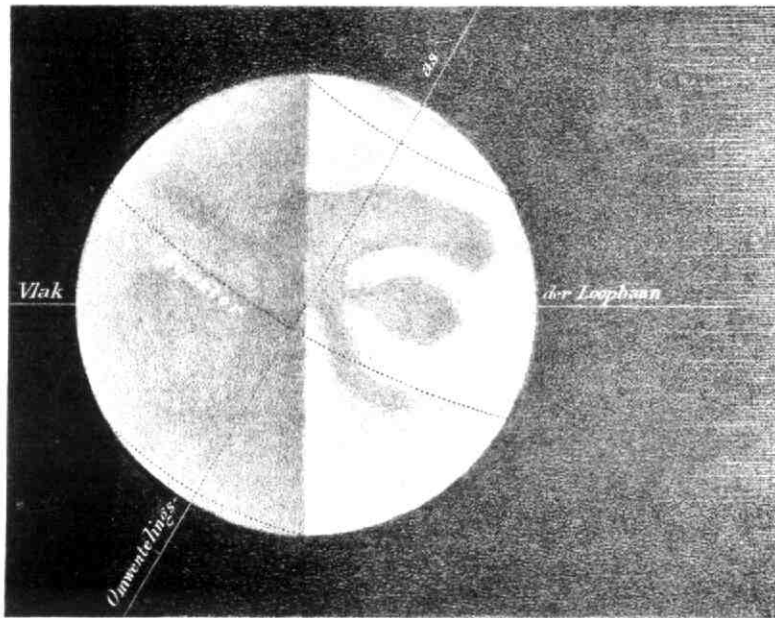


Fig. 1. Helling der as van Mars. — solsticie.

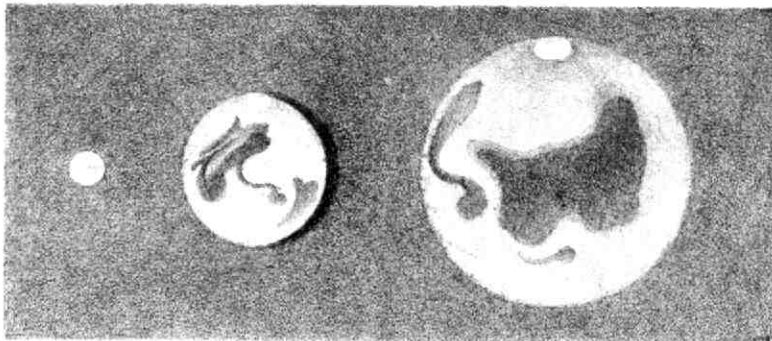


Fig. 2. Schynbare afmeting van Mars op verschillende afstand.

Deze getallen zijn met betrekking tot het noorder halffrond; maar omdat, wanneer het zomer is in het noorder halffrond, het winter is in het zuider halffrond en omgekeerd, zoo volgt hieruit, dat zomer en lente te zamen op het noordelijk halffrond 76 dagen langer duren dan op het zuidelijk. De zon straalt dus veel langer ten noorden dan ten zuiden van den aequator, en de zonnearmte is daarom op het noordelijk halffrond veel aanzienlijker dan op het zuidelijk; daarin brengt echter het groote verschil in de afstand tot de Zon eene zekere vergoeding te weeg, want zoo wij, om een voorbeeld te geven, de zonnearmte op Mars bij middelbaren afstand van de Zon gelijk stellen aan 0,431, onze zonnearmte tot eenheid genomen, dan bedraagt die warmte in het aphelium van Mars 0,360, maar in het perihelium 0,524.

Echter alles te zamen genomen, heeft het noorder halffrond op Mars heetere zomers en koudere winters dan het andere halffrond, juist zooals op onze aarde.

De studie van de vlekken op Mars, het verschil in vorm en glans bij eenigen en de blijvende toestand van anderen, gaven reeds belangrijke vooronderstellingen over de physische samenstelling dier planeet, wier oppervlakte het beste door ons gekend is, en die wel het meeste met onze Aarde schijnt overeen te komen.

Wij zullen hierover in eenige bijzonderheden treden.

Daarin stemmen alle sterrenkundigen overeen, dat de meer schitterende en met roode tint gekleurde vlekken, de vaste deelen of het land op de oppervlakte te kennen geven, terwijl de meer duistere en groenachtige vlekken op vloeistoffen of zeeën duiden. Dat verschil grondt zich op de ongelijke terugkaatsing van het licht door het land en door de zee. Het water zwelgt meer lichtstralen op dan het land, en daarom is het teruggekaatste licht minder helder en schitterend, vergeleken met het licht, dat het land op ons afzendt.

Maar wat is de oorzaak van de roode tint, waarmede het vaste land op de planeet gekleurd is?

Wanneer Mars een eigen licht bezat, zou men kunnen aannemen, dat die roode kleur in de natuur van dat licht zelve zetelde. Maar omdat Mars geen eigen licht bezit, en evenals onze Aarde en onze Maan het witte zonlicht terugkaatst, is het duidelijk, dat die kleur hare oorzaak heeft op de oppervlakte der planeet zelve. Men heeft daarom zijne toevlucht genomen tot verschillende hypothesen.

Eenigen schreven de oorzaak van die roode tint toe aan de natuur

van den grond op Mars, die samengesteld was, zoo meende men, uit een okerachtigen bodem en uit rood gesteente gelijk onze roode zandsteen, en dit gevoelen is wel het waarschijnlijkste.

Anderen, zooals Lambert, opperden de vooronderstelling, dat het plantenrijk op Mars in plaats van groen, integendeel eene roode kleur bezat. Hoewel die hypothese op zich zelve niet onmogelijk is, komt zij toch niet geheel en al met de waarneming overeen, want dan moest de kracht van die tint verschil opleveren volgens de jaargetijden op de planeet, zoodat die kleur verminderen moest tijdens den winter en hare grootste kracht bereiken in den zomer.

Eindelijk heeft men gemeend de kleur dier vlekken te kunnen verklaren door de straalbreking in den dampkring van Mars. Arago echter heeft die hypothese bestreden, op grond dat de roode tint aan de randen van den Marskogel dan veel sterker moest wezen dan in de middengedeelten, omdat de lichtstralen aan den kant schuin en dus door eene veel grootere diepte van den dampkring heenschieten dan in het midden. Maar de waarneming leert ons juist het tegendeel; daarenboven verklaart die hypothese dan niet het verschil tusschen de de verschillende vlekken, en daarom kan men het roode licht van Mars niet gelijkstellen met onze rozeroode avondschemering.

De ware oorzaak van die roode tint is nog niet tot klaarheid gekomen, en blijft voor de onderzoekingen der wetenschap nog een onopgelost vraagstuk, en toch is Mars, na onze Maan, het hemellichaam dat het beste door ons gekend is.

De werken van Beer en Mädler hebben over deze planeet veel tot klaarheid gebracht; zij hebben zelfs kaarten vervaardigd, met den onderlingen vorm en stand der zeeën en van het vastland. Proctor, een Engelsch sterrenkundige, vervaardigde eene stereographische kaart van Mars, welke wij in Plaat XXX geven, en gaf aan de voornaamste zeeën en vastlanden de namen van onderscheidene beroemde sterrenkundigen. Een blik op die kaart doet ons den zonderlingen vorm, vooral der zeeën, opmerken, die in lange strooken overal in het vastland doordringen; de baai van Huggins, die als eene vork uitloopt en ongeveer de lengte heeft van de baai van Bessel, is omstreeks 480 mijlen lang. Een reiziger zou op die planeet, zonder het element, dat hij gebruikt, te verlaten, bijna alle punten op den Marsbol kunnen bezoeken. De richting dier zeeën en landen is wel een onderscheidend kenmerk op de planeet, dat op onzen Aardbol geene gelijkenis vindt.

De vlekken aan de polen onderscheiden zich van de anderen door hunne schitterende witheid, en bieden in hunne uitgestrektheid een groot verschil aan; opmerkenswaardig is het, dat wanneer de vlek aan de eene pool afneemt, die aan de andere pool integendeel toeneemt, en wel zoodanig, dat de vermindering steeds met den zomer op de planeet overeenkomt en de aangroeing met den winter op dat halfmond. Zoo merkten Beer en Mädler tijdens de oppositie van 1830 op, dat de vlek aan de zuidpool afnam, tot op het tijdstip dat bij ons met Juli overeenkomt, en van dat oogenblik af begon de vlek weer aan te groeien. Den 5 Oct., die overeenkomt met den 9 Juli op Mars, was de vlek ingekrompen tot op $87^{\circ} 7'$ zuiderbreedte, terwijl zij een paar maanden vroeger zich nog uitstrekke tot op $83^{\circ} 37'$, en gedurende den winter op Mars had zij eene uitgebreidheid tot op 55 graden. Hetzelfde verschil nam men waar op de vlek aan de noordpool, echter niet in zulk eene mate. Dat verschil verklaart zich gemakkelijk door de helling van de as der planeet op hare loopbaan. Wanneer Mars in zijn perihelium is en het tevens zomer is voor het zuidelijk halfmond, keert de zuidpool zich naar de Zon, terwijl integendeel de zomer voor het noordelijk halfmond juist invalt als de planeet in zijn aphelium was, wat bij onze Aarde, zooals wij vroeger zagen, juist tegenovergesteld is. Op onze Aarde zijn wij dan getuigen van de vorming en vermindering van het poolijs en de poolsneeuw. Uit Mars zou onze Aarde ongeveer dezelfde verschijnselen doen zien; ook onze polen zijn met sneeuw en ijs bedekt en verminderen in den zomer en nemen toe in den winter.

Het middelpunt der beide witte poolvlekken valt niet te zamen met de polen van Mars, en zij staan ook niet lijnrecht tegen elkander over. Beer en Mädler bepaalden in 1837 het middelpunt der noordelijke poolvlek als 4 graden van de ware pool liggende. Linsser vond in 1862 voor de zuidelijke pool nog veel grootere afwijking, en bepaalde het middelpunt op 70° zuiderbreedte en 30° westerlengte. Mars heeft dus ook dat met onze Aarde gemeen, dat de koudepolen niet met de ware polen der planeet samenvallen.

Bij de oppositie van 1858 merkte Secchi op, dat de ijsstreken van Mars een dikken te zamen gerolden vorm bezaten, en tevens nam hij waar, dat de witte streken van de planeet, gedurende hunnen zomer, eene lichtroode tint hadden.

Al die verschillende waarnemingen bewijzen eenstemmig, dat op

Mars zich water bevindt van hetzelfde chemische gehalte als het water op onze Aarde.

Uit dat bestaan van water volgt ook het bestaan van een dampkring. Herschel nam reeds zekere verschijnselen waar, die niet anders dan door het bestaan van een dampkring konden worden uitgelegd, en de latere waarnemingen hebben het bestaan van dien dampkring buiten twijfel gesteld, want de snelle verandering in kleur en vorm, welke men bij die vlekken waarneemt, vindt voldoende verklaring in de drijvende wolken van den dampkring op Mars. Lockijer, die met zoo veel zorg de verschillende verschijnselen op Mars, tijdens de oppositie in 1862, bestudeerde, zegt in zijne merkwaardige verhandeling: "Hoewel de vaste vorm der vlekken op Mars ontwijfelbaar is, ziet men toch iederen dag, ja ieder uur, zekere verschillen en veranderingen in de schekeeringen der donkere zoowel als der schitterende vlekken, en dergelijke veranderingen vinden, ik twijfel er niet aan, hunne verklaring in de wolken, die over die vlekken heendrijven.

De spectraalanalyse eindelijk bevestigt die aanduidingen van een dampkring. Secchi vond in het spectrum van Mars dezelfde strepen als die van den waterdamp van onzen dampkring. Huggins nam eene streep waar, die met geene enkele streep van het zonnenspectrum overeenkwam, waaruit het noodzakelijk besluit moest worden opgemaakt, dat de absorptie hare oorzaak vindt in de planeet, meer waarschijnlijk in den haar omringenden dampkring; andere strepen, welke hij waarnam, kwamen overeen met die, welke men in het zonnenspectrum waarneemt, wanneer de lichtstraal langs den horizon de onderste lagen van onzen dampkring doorgaat.

De meer heldere randen van de planeet en het verdwijnen der vlekken aan die randen, wijzen ook op een haar omringenden dampkring. Mars komt dus in zeer vele punten met onze Aarde overeen, ook wat klimaat en weersgesteldenis betreft.

Philips maakte de opmerking, dat de belangrijke afwisseling van koude en warmte, die periodiek op de beide halfronden plaats grijpt, stormwinden moet veroorzaken, waarvan wij geen denkbeeld hebben; die opmerking komt overeen met hetgeen Secchi nog over Mars opmerkt, dat hij zekere spiraalvormige verschijnselen waarnam, welke hij toeschreef aan storm en windvlagen.

VI.

PLANETOÏDEN. — KLEINE PLANETEN.

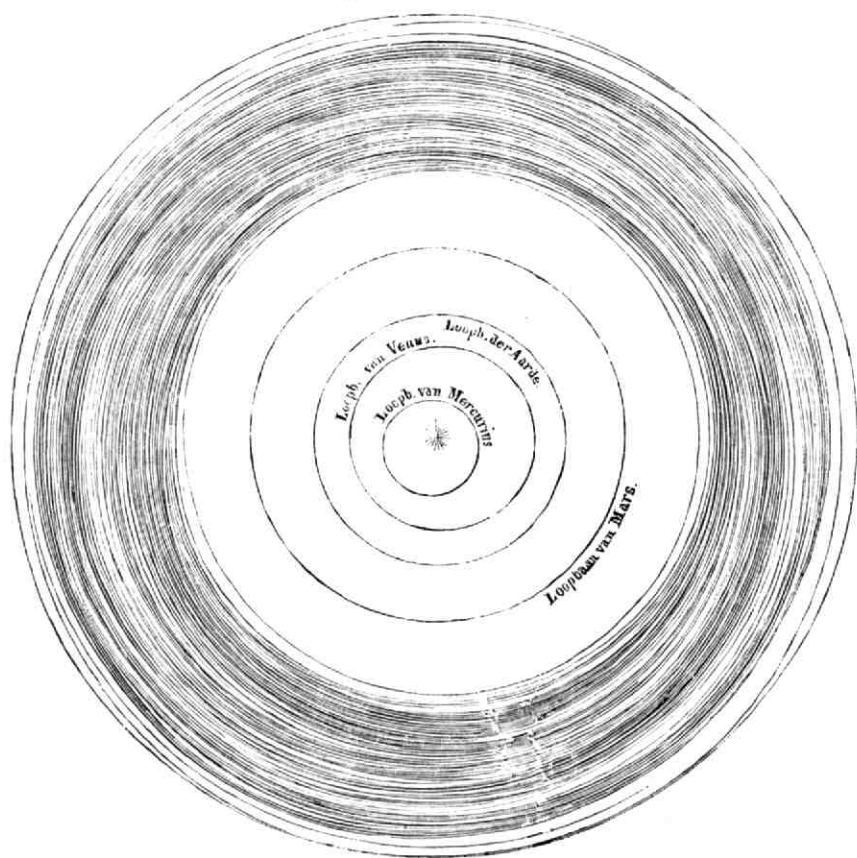
§ 1. Groot aantal der hemellichamen tusschen Mars en Jupiter. — Ineenschakeling hunner loopbanen. — Breedte dier planetenstreek. — Elementen dier loopbanen. — Kleinste afstand der naburige kleine planeten. — Hunne physische conjunctie.

In het begin van deze eeuw kende men slechts een zevental planeten, die tot ons zonnestelsel behoorden. Op dit oogenblik heeft echter dat getal reeds het cijfer van 125 bereikt, zoodat men, zonder de kometen en de wachters mede te tellen, sinds dat tijdstip 118 nieuwe planeten heeft ontdekt. Met uitzondering van Neptunus, die tot de groote planeten behoort, en aan de grenzen van het door ons gekende planetenstelsel is geplaatst, zijn de overige ontdekte planeten zoo klein, dat zij niet eens de grootte evenaren der wachters, die om de voornaamste planeten loopen. Men heeft ze daarom, hoewel minder eigenaardig, *Asteroiden* genoemd, of beter *Planetoïden*, kleine of microscopische planeten. Toch is hun geheel eene zeer merkwaardige groep, waardoor men een nieuw begrip van de zonnewereld verkrijgt. De 117 thans bekende kleine planeten vormen met hunne loopbanen om de Zon een ring tusschen Mars en Jupiter, en hunne banen zijn onderling zoo nabij elkander en zoo inéengestrengeld, dat M. d'Arrest daaruit het bewijs haalt voor een gemeenschappelijken oorsprong. Wanneer men hunne loopbanen zou vertegenwoordigen door metalen ringen, zijn dezelve zoo zeer in elkander gevlochten, dat met één ring op te heffen, men ze tegelijk allen zou medenemen (zie Fig. 21).

Toen de sterrenkundigen vroeger de afstanden vergeleken, waarop

de bekende planeten van de Zon verwijderd zijn, bemerkten zij de groote ruimte, die er tusschen Mars en Jupiter open bleef, zoodat Kepler reeds vooronderstelde, dat er in die ruimte eene onbekende planeet moest bestaan.

Toen Titius zijne zoogenaamde wet op den afstand der planeten had geformuleerd (zie inleiding op de planeten, pag. 77), werd die



(Fig. 21.) Loopbaan der planetoiden.

reeks bevestigd door de ontdekking van Uranus in 1781, en nu meende men, moest er noodzakelijk ook eene planeet bestaan, om de volgens de wet van Titius, te groote ruimte te vullen tusschen Jupiter en Mars. Zekere Baron de Zach gaf zelfs in het sterrenkundig jaarboekje van Berlijn reeds de elementen op dier vooronderstelde planeet, en vormde eene vereeniging van sterrenkundigen om die planeet te ont-

dekken; de gansche dierenriem of zonnweg werd in 24 deelen verdeeld, wier onderzoek aan een der leden dier vereeniging werd aangewezen.

De verwachting werd niet teleurgesteld, hoewel zij van eene geheel andere zijde hare voldoening kreeg.

Want op den 1^{sten} Januari 1801 ontdekte Piazzì, te Palermo, eene planeet, welke hij Ceres noemde, en daardoor was de gaping, door de reeks van Titius aangeduid, gevuld; want merkwaardig was het, dat de afstand van Ceres juist door het openstaande getal 28, in de reeks van Titius, werd aangeduid.

Vijftien maanden daarna, den 28 Maart 1802, ontdekte Olbers, te Bremen, eene tweede planeet, Pallas genoemd, en die ontdekking bracht de sterrenkundigen in verbazing en verwarring. De scherpzinnige Olbers verkondigde nu over die beide planeten eene geestige theorie; hij ging van de vooronderstelling uit dat het brokstukken waren van eene planeet, die uit elkander was gesprongen. De wetten der werktuigkunde toonden, dat na zulk eene uiteenspatting, de verschillende stukken op denzelfden middelbaren afstand van de bron hunner bewegingen moesten verwijderd blijven, en dat zij bovendien bij hunnen omloop telkens de plaats moesten doorgaan, waar zulk een voorval had plaats gegrepen. Welnu, Ceres en Pallas voldeden genoegzaam aan die voorwaarden; ook de derde planeet, Juno, die door Herding, den 1 Sept. 1804 te Lilienthal, werd ontdekt, kon men evenzoo als het derde stuk dier verbrijzelde planeet beschouwen.

Uitgaande van de vooronderstelling eener verbrijzelde planeet, zette men de ontdekkingen in het hemelruim voort, en Olbers ontdekte zelf in 1807 den 29 Maart de planeet Vesta. In plaats dat echter die ontdekking de theorie van Olbers meer en meer zou bevestigen, werd zij daarentegen door die ontdekking geheel omvergeworpen, want de afstand en de andere elementen van die loopbaan leverden zoovele afwijkingen op, dat men zoowel die theorie als de wet van Titius liet varen.

Eene andere en wellicht veel waarschijnlijker hypothese is, dat de aantrekkingskracht van den machtigen en nabijzijnden Jupiter, de vorming van eene enkele planeet heeft verhinderd en oorzaak is geworden van dien zwerm planetoiden.

Sinds de ontdekking van Vesta, verliepen er nu een aantal jaren, voordat er eene nieuwe planeet werd ontdekt, want eerst in 1845 nam Heneke, in Driesen, de vijfde planeet Astrea waar, en sinds dien

tijd gaat er geen jaar voorbij of meer dan ééne planeet wordt er opgespoord, zoodat hun getal op het einde van 1871 reeds 117 bedraagt.¹

In den beginne gaf men aan die planeten, behalve een naam, ook een onderscheidend teeken, evenals aan de groote planeten, maar bij hun toenemend getal heeft men ze enkel aangeduid met een nummer, naar de volgorde hunner ontdekking.

De 117 thans bekende planetoiden vormen dus tusschen Mars en Jupiter, met hunne in elkander gestrengelde loopbanen een breeden ring, die echter dichter bij Mars dan bij Jupiter is gelegen.

De ruimte, waarin de kleine planeten zich om de Zon bewegen, beslaat eene breedte van ongeveer 40 millioen geogr. mijlen, want Flora (8) en Sylvia (87) zijn de beide op de grenzen dier ruimte zich bewegende planeten; de eerste nadert in haar perihelium de Zon tot op 38 millioen mijlen en de laatste blijft in haar aphelium ongeveer 78 millioen mijlen van de Zon verwijderd, zoodat de middelbare afstand van dien planetenring tot de Zon ongeveer 58 millioen mijlen bedraagt. In dien ring, welke in breedte gelijk staat met tweemaal den middelbaren afstand van onze Aarde tot de Zon, zijn de planetoiden zeer ongelijk verdeeld, daar verreweg het grootste aantal in dat gedeelte van den ring loopen, dat het dichtste bij de Zon is gelegen, zoodat zeer velen op korten afstand van elkander rondloopen. Juno (3) en Clotho (97) b.v. kunnen tot op een afstand van ongeveer 140 geogr. mijlen elkander naderen.

De dichtste nadering van twee kleine planeten noemt men physische conjunctie, en de geleerde Littrow heeft die verschijnselen vooral tot punt zijner waarnemingen gemaakt.

Om die zoo groote nabijheid, waarin zij zich tot elkander kunnen bevinden, moeten zij, niettegenstaande hunne geringe massa, toch op elkander eene aantrekking uitoefenen, en dan zou het geval zich kunnen voordoen, dat zij of zich tot één geheel vereenigden of om elkander wentelende hunnen loop voortzetten.

De vorm harer loopbanen is verre van rond, integendeel zeer langwerpig, zoodat de baan van Concordia (58), die van allen de minste uitmiddelpuntigheid bezit (0,042563), toch nog twee en een half maal

¹ Dit jaar was rijk in de ontdekking van nieuwe planeten, daar een vijftal werden opgespoord. Den 12 Maart 1871 werd de eerste ontdekt door Luther in Dusseldorp (113), welke den naam Amalthea ontving, en den 14 September ontdekte Borelly de vijfde, welke Lomia genoemd en dus de (117) is.

de excentriciteit van de aardse loopbaan overtreft, terwijl de planeet Polyhymnia (33) de grootste excentriciteit heeft, 0,339726, en dus meer dan twintigmaal die der Aarde te boven gaat.

De vlakken, waarin die onderscheidene banen liggen, hellen zeer verschillend op elkander. Eenigen, zooals Massalia (20) en Themis (24), komen bijna met het vlak van de ecliptica overeen, want hunne helling op dat vlak bedraagt slechts $0^{\circ} 41' 15''$ en $0^{\circ} 48' 38''$. Anderen daarentegen hebben eene buitengewone helling; zoo maakt de baan van Pallas met het vlak van de ecliptica een hoek van $34^{\circ} 42' 18''$ (zie Plaat XIII, Fig. 2). Vele anderen hellen 20 en meer graden, en dat is de reden waarom zeer velen van die kleine planeten zich verre buiten den dierenriem vertoonen, waar de groote planeten zich nimmer kunnen bevinden, zoodat men de planetoiden soms aanduidt met den naam van ultra-zodiacale planeten.

Om deze algemeene bemerkingsen over de planetoiden te besluiten, nog een enkel woord over den duur van hunnen omloop. Die omloop wisselt af tusschen 1193 dagen, waarop Flora haren loop om de Zon volbrengt, en tusschen 2385, den duur van den omloop van Sylvia.

Velen van die kleine planeten volbrengen hunnen omloop in bijna gelijke tijden; zoo bedraagt het verschil van Egeria (13) en Astrea nog geen twee dagen. Het verschil van Flora met Ariadne (43) één en een halven dag. Melpomene (18) en Sapho (80) verschillen ongeveer een halven dag. Leto (68) en Galatea (74) bieden slechts een verschil aan van ruim één uur. De duur van hun Zonnejaar is dus zeer verschillend.

§ 2. Bijzonderheden over eenige kleine planeten: Vesta, Juno, Ceres en Pallas. — Hunne afmetingen. — Wijze van ontdekking.

Vesta (4) is onder de kleine planeten de meest schitterende. Zij vertoont zich in hare oppositie als eene ster van de zesde grootte, en is dus voor het ongewapend oog bij gunstige omstandigheden zichtbaar; de kleur van haar licht is bleekgeel. Zij besteedt 1325d,15 om haren loop om de Zon te volbrengen, en haar middelbare afstand van de Zon bedraagt bijna 49 millioen geogr. mijlen.

Omdat de baan van Vesta eene groote uitmiddelpuntigheid bezit, leveren haar grootste en haar kleinste afstand een verschil op van meer dan 8 millioen geogr. mijlen.

De ware grootte der middellijn door rechtstreeksche meting te ken-

nen is zeer bezwaarlijk. Mädler vond 66 mijlen, maar andere photometrische onderzoekingen komen slechts tot 43 mijlen ¹.

Volgens de rij der ontdekking wordt zij aangeduid door (4) en volgens den afstand van de Zon door (13) ².

Juno vertoont zich als eene ster van de achtste grootte, en is dus voor het ongewapende oog onzichtbaar. De kleur van haar licht is roodachtig, terwijl het licht zelf zekere veranderingen ondergaat, in kracht toe- en afneemt, en wel met opmerkenswaardige snelheid; hetzelfde verschijnsel neemt men bij Vesta, Ceres en meer andere kleine planeten waar, zoodat de sterrenkundigen er hunne aandacht aan wijdten en hypothesen maakten om dat verschijnsel uit te leggen.

Eenigen vooronderstelden, dat de vlakken dier lichamen zeer verschillend in grootte waren, en dus met meerdere of mindere kracht het zonlicht moesten terugkaatsen. Dit was het gevoelen van Olbers, die de planetoïden aanzag als brokstukken van eene groote planeet; hun vorm meende hij was zeer onregelmatig en daardoor keerden zij dan eens eene breede dan weder eene smalle zijde naar de Zon en de Aarde. Anderen vooronderstelden, dat de oorzaak lag in het vermogen der verschillende kanten om het zonlicht terug te kaatsen. Beide vooronderstellingen rusten dus op de hypothese van de omwenteling dier planeten, welke men om hunne kleinheid niet heeft kunnen waarnemen.

Door eene nauwlettende studie en waarneming van die periodieke veranderingen in het licht, kan men er wellicht toe komen de omwentelingsbeweging te kennen. Goldsmidt, die 14 kleine planeten heeft ontdekt, was korte jaren voor zijn dood met dat onderzoek begonnen.

Juno is in haar aphelium 69 millioen geogr. mijlen van de Zon verwijderd, en in haar perihelium 40 millioen. Haar baan verschilt dus veel van een cirkel, en heeft eene excentriciteit van 0,258362. Schröter heeft met zijne 13 voet lange spiegelteleskoop de middellijn van *Juno* trachten te meten, en meende die in 1804 te kunnen bepalen op 2,4'' tot 2,6'', wat voor de ware middellijn eene lengte van 300 mijlen zou geven.

¹ Photometer is een werktuig om de kracht van het licht te meten, er bestaan twee soorten van. De prismaphotometer van Steinheil en de Astrometer van Zöllner. Uit de kracht van het licht besluit men tot den afstand; later hierover meer.

² Vesta is in 1872 den 6 Febr. in oppositie, en staat in het sterrenbeeld de Leeuw tusschen Regulus en Praecepte; in 1873 is zij den 20 Juli in oppositie, en is te vinden in den Schutter 1° ten zuiden van de ecliptica.

De uitkomst van Herschel was echter zeer verschillend; hij wendde eene 879-malige vergrooting aan, en verkreeg dan nog niet eens een meetbaar beeld, zoodat hij de middellijn van Juno schatte op 30 mijlen. Dit laatste getal stemt overeen met de photometrische onderzoeken, welke aan de middellijn van Juno ongeveer 27 geogr. mijlen toekennen.

Juno doorloopt hare baan in 1590,98 dagen. In de opvolging der ontdekking wordt zij aangeduid door (3), maar in de rij van den afstand door (56) ¹.

Ceres was de eerste der ontdekte planetoïden, maar volgens haren afstand van de Zon wordt zij aangeduid door het nummer 78. Zij straalt als eene ster van de zevende en achtste grootte in een bleek rood licht. Hare baan om de Zon doorloopt zij in 1681,70 dagen, terwijl haar middelbare afstand van de Zon 57 millioen geogr. mijlen bedraagt.

Over het physisch zamenstel van *Ceres* weten wij niets. Schröter en W. Herschel beweerden, dat zij *Ceres* en evenzoo *Pallas*, door een grooten dampkring omgeven, hebben waargenomen; latere onderzoeken met veel volkomener instrumenten hebben echter de waarneming van Schröter niet bevestigd. De planeet is te klein om een schrijfvorm te vertoonen, rechtstreeksche metingen kunnen dus op haar niet worden toegepast. De photometer wijst op eene middellijn van 40 tot 50 geogr. mijlen. De opgaven echter van Schröter, Herschel en Argelander leveren een groot verschil op ².

Pallas loopt om de Zon in 1684,06 dagen, terwijl het vlak van hare loopbaan met het vlak van de ecliptica een hoek maakt van $34^{\circ} 42' 18'',6$, daardoor verwijdt zij zich meer dan eenige andere planeet verre van den Zonsweg of dierenriem; omdat hare baan eene groote excentriciteit bezit (0,239401) is het verschil in afstand tot de Zon zeer groot. In haar perihelium is die afstand ongeveer 43 millioen geogr. mijlen, maar in haar aphelium 71 millioen. *Pallas* schit-

¹ Juno is den 21 April 1872 in oppositie, en bevindt zich dan in den staart van den Hydra, ten zuiden van Maagd en Weegschaal. In 1873 den 25 Juni is Juno wederom in oppositie, en is dan in het noordelijk gedeelte van den Schutter onder het schild van Sobieski.

² *Ceres* is den 26 Juni 1872 in oppositie, en is dan te vinden in den Schutter, en in 1873 den 23 September in het noordelijk gedeelte van den Walvisch, dicht bij het evennachtpunt.

tert in een geel licht als eene ster van de 7^e en 8^e grootte; men houdt haar voor de grootste der planetoiden, hoewel de opgaven dier grootte volgens vele sterrenkundigen zeer verschilt. Schröter gaf de middellijn op als 380 mijlen, Herschel daarentegen 22 mijlen, en photometrische berekeningen wijzen op 36 mijlen. In de rij der ontdekking wordt Pallas aangeduid door (2), maar volgens den afstand tot de Zou door (79).¹

Ziedaar wat wij weten over de vier voornaamsten der planetoiden, al de overigen zijn zoo klein, dat zij zich in de kijkers slechts als punten vertoonen zonder meetbare uitgebreidheid.

Hoe groot het aantal dier kleine planeten is, welke tot dien ring behooren, is met zekerheid niet eens te gissen; dit is echter wel waarschijnlijk, dat men thans de grootsten uit dien groep kent, ten minste die, welke van uit onze aarde het gemakkelijkste zichtbaar zijn. De ontdekking van nog andere planetoiden hangt veel af van de voortreffelijkheid der werktuigen, kijkers en hemelkaarten. Vooral in de laatste twintig jaren hoort men veel over de ontdekking van nieuwe, tot nu toe onbekende planeten, daarom is het niet ondienstig hier ter plaatse de wijze te verklaren, waarop die ontdekkingen geschieden. Sinds de ontdekking van Ceres door Piazzi den 1 Jan. 1801, eene ontdekking, die geheel en al toevallig was, is men meer stelselmatig te werk gegaan, ziehier op welke wijze.

Te midden der duizende sterren van het uitspansel is eene planeet, vooral wanneer die zoo klein is, dat zij geene merkbare middellijn bezit, enkel door haar licht niet te kennen; alleen hare snelle en voortgaande beweging doet haar onderscheiden van de vaste sterren, welke haar omringen. Om dus eene planeet te ontdekken, heeft men in de eerste plaats nauwkeurige kaarten noodig van den sterrenhemel. 't Is echter niet noodzakelijk den ganschen hemel met zulke kaarten te onderzoeken en te vergelijken; de streek van de ecliptica is daartoe voldoende, want al verwijdert eene planeet, zooals bijv. Pallas, zich ver van de ecliptica, tweemaal moet zij zich toch noodzakelijk bij haren loop om de Zou in de streek van de ecliptica vertoonen.

Pl. XXXII, Fig. 1 toont op verkleinde schaal eene der kaar-

¹ Den 12 Juni 1872 is Pallas in oppositie en staat in het zuidelijk gedeelte van Hercules; den 20 Aug. 1873 is zij op nieuw in oppositie en te vinden tusschen Walvisch en Waterman.

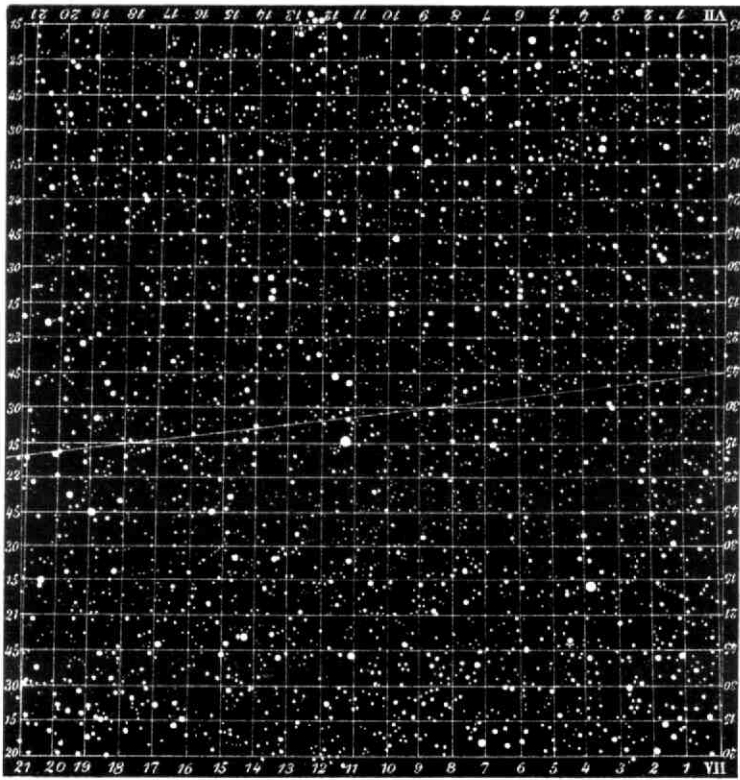


Fig. 1. Sterrenkaart uit de atlas van Uranus.

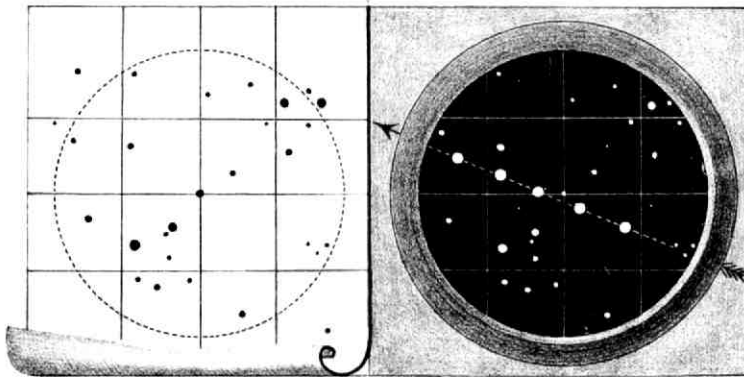


Fig. 2. Ontdekking eener kl. planeet met hulp der sterrenkaarten.

ten van een gedeelte van de celiptica, waarop sterren tot zelfs van de 13^e grootte zijn aangegeven. Voorzien van zulk eene kaart en van een goeden astronomischen kijker, waardoor men al de sterren, op de kaart aangewezen, kan zien, gaat men aldus te werk: men plaatst in het brandpunt van den kijker een vier- of zestal fijne draden, die elkander rechthoekig snijden en zoo ver van elkander verwijderd zijn, dat zij juist in hunne vierkanten een gedeelte van den sterrenhemel bevatten, even groot als door de kleine vierkanten van de kaart omvat wordt. Wanneer men nu de verschillende streken van den hemel beschouwt, en in ééne der vierkanten van den kijker een lichtend punt opmerkt, dat in de daarmede overeenkomende vierkanten van de kaart ontbreekt, dan is, in de vooronderstelling dat de kaart nauwkeurig is, een van beiden mogelijk, of het is eene veranderlijke ster, die thans met lichtglans straalt, maar die ten tijde der kaartvervaardiging niet zichtbaar was, of het is eene planeet.

Blijft het ontdekte punt onveranderlijk zijne plaats behouden, zonder eenige merkbare beweging, dan heeft het eerste geval plaats; maar bemerkt men, dat het lichtend punt van plaats verandert en meer en meer de nabijzijnde sterren nadert, dan weet men zeker, dat men eene planeet of eene komeet heeft gevonden.

Pl. XXXII, Fig. 2 zal de wijze van ontdekking overduidelijk maken.

Uit de berekening van de verschillende elementen blijkt dan, of de waargenomene planeet eene nog onbekende of eene reeds vroeger ontdekte en berekende is.

VII.

J U P I T E R. 24

§ 1. Jupiter met het bloote oog beschouwd. — Elementen van zijne loopbaan. — Afstand van de Zon en de Aarde. — Schijnbare middellijn en ware afmetingen. — Omwenteling, dag en nacht. — Jaargetijden. — Klimaat en meteorologie op de planeet. — Massa, dichtheid en zwaartekracht.

Den ring der planetoïden uittredende en ons verder van de Zon verwijderende, ontmoeten wij aanstonds de grootste van alle planeten, den ontzaglijken Jupiter.

Wanneer wij Jupiter met het ongewapend oog beschouwen, dan schijnt hij ons, met zijn geel licht, als eene ster van de eerste grootte toe. Zijn glans, die naarmate zijn afstand van de Aarde verschillend is, komt met dien van Venus overeen, en heeft zelfs kracht genoeg om schaduw aan de door hem bestraalde voorwerpen te geven. In zekere zeldzame gevallen bemerkt men eene tinteling in zijn licht, want in den regel is zijn licht kalm en rustig.

Wanneer men echter Jupiter met een goeden kijker beschouwt, vertoont zich het lichtende punt als eene scherp begrensde schijf, gewoonlijk door drie of vier kleine sterren vergezeld, die in betrekkelijk korten tijd zich om de hoofdplaneet bewegen; die vier sterren zijn de wachters van Jupiter. Mercurius, Venus en Mars hebben geene wachters, de Aarde bezit er één. Jupiter levert met zijne vier manen, die door de machtige aantrekking der planeet zich om haar bewegen, ons dus het schouwspel van een wereldstelsel in het klein, geheel en al overeenkomende met het zonnestelsel, waartoe hij behoort.

Jupiter volbrengt zijn loop om de Zon in iets minder dan 12 jaren,

of juister, in 11 jaren 317 dagen 20 uren 2 min. $8\frac{1}{2}$ seconde. De baan, welke hij beschrijft is eene ellips, die eene excentriciteit heeft van 0,0482388, dus bijna driemaal zoo groot als die van onze Aarde. Het vlak van die loopbaan helt maar weinig op het vlak van de ecliptica, namentlijk $1^{\circ} 18' 40'',3$.

Uit die gegevens volgt dan deze afstand:

In stralen der aardse loopbaan.		Geogr. mijlen.
Perihelium 4,9518	of	102,410 000
Middelbaar 5,2028	,,	107,605 000
Aphelium 5,4537	,,	112,800 000

De omtrek van de gansche baan, welke Jupiter doorloopt, bedraagt eene lengte van ongeveer 580 millioen geogr. mijlen, welke baan de planeet aflegt met eene snelheid van ongeveer $1\frac{1}{2}$ mijl in de seconde.

Omdat Jupiter eene buitenplaneet is, is hij, even als Mars, dan eens in conjunctie dan weder in oppositie met de Zon en de Aarde, en zijne beweging langs het hemelgewelf komt geheel en al overeen met de bewegingen van Mars, welke wij daar ter plaatse verklaard hebben. Omdat Jupiter en de Aarde zich beiden op hunne baan voortbewegen, en dat met ongelijke snelheid, volgt daaruit, dat de onderlinge afstand dier beide planeten onophoudelijk verandert, welke afstand duidelijk zichtbaar is in de afmetingen, welke hij heeft, wanneer men hem met een goeden kijker waarneemt. De grootste afmeting bezit hij ten tijde der oppositie, wanneer hij het dichtste bij de Aarde is, en de kleinste, wanneer hij zich in conjunctie bevindt. In het eerste geval is hij slechts 81 mill. geogr. mijlen van de Aarde verwijderd, en heeft dan eene schijnbare middellijn van $50'',7$; in het tweede geval, wanneer hij 134 mill. geogr. mijlen van ons verwijderd is, bedraagt zijne schijnbare middellijn slechts $30'',8$.¹

In welken stand wij Jupiter ook waarnemen, immer vertoont hij zich als eene vol verlichte schijf van elliptischen vorm, zonder dat men ooit eenige schijngestalte heeft kunnen waarnemen, hoewel het zeker is dat Jupiter geen eigen licht bezit; later zullen wij overtuigende bewijzen aanvoeren, dat de planeet duister van natuur is. Dat

¹ De tijd van oppositie, waarop Jupiter zich het dichtst bij de Aarde bevindt, en dus het best geschikt is ter waarneming, is in 1872 den 15 Jan. en in 1873 den 14 Febr. Den 2 Aug. 1872 en den 4 Sept. 1873 is hij in conjunctie met de Zon.

wij echter volstrekt geene schijngestalten opmerken, vindt zijne oorzaak in den verbazenden omvang van Jupiters baan, die op grooten afstand de loopbaan onzer Aarde omvat.

Uit de getallen, waarmede men van den eenen kant den afstand bepaalt tot de Aarde, en van den anderen kant de schijnbare middellijn van Jupiter, berekent men zijne ware afmetingen.

Men moet echter den waren vorm van Jupiter in het oog houden, welke niet die van een bol, maar van een langwerpig rond is.

Jupiter wentelt zich, zooals wij aanstonds zullen nagaan, om zijne as, en is evenals onze Aarde aan zijne polen afgeplat en wel zoodanig, dat zulks door een matig vergrootenden kijker reeds zichtbaar is, want die afplatting bedraagt het $\frac{1}{14}$ gedeelte van de aequatoriale middellijn. Wanneer wij de middellijn der Aarde gelijk 1 stellen, dan vinden wij voor de middellijn van Jupiter meer dan elf en een half maal dat getal (11,64), en in ronde getallen uitgedrukt is de middellijn van Jupiter 20,004 geogr. mijlen lang, maar de poollijn slechts 18,575 mijlen, zoodat de afplatting aan iedere pool ongeveer 715 geogr. mijlen bedraagt.

De kubiek-inhoud van Jupiter is 1469 maal grooter dan die van onze Aarde, en bedraagt dus 3,908,200 millioen kubiek mijlen. Wanneer die verbazende bol, op een afstand van onze Aarde stond als die, waarop zich onze Maan bevindt, zou zijne middellijn zich aan ons oog 40 maal grooter vertoonen dan de middellijn van volle Maan, en de plaats, welke hij aan den hemel zou beslaan, zou ongeveer 1600 maal die der volle Maan zijn. Uit dergelijke vergelijkingen begrijpt men den verbazenden omvang van Jupiter.

Zoodra men na de uitvinding der verrekijkers Jupiter meer begon gade te slaan, bemerkte men aanstonds op zijne schijf zekere grijsachtige banden of strepen. Cassini schrijft de ontdekking er van toe aan Gallilei, hoewel anderen beweren, dat Zucchi in 1630 te Rome die het eerste opmerkte. Dit echter is zeker, dat Cassini in 1665 die banden het eerst met zorg begon waar te nemen, en dat hij uit het waarnemen van eene vlek op de schijf de omwenteling der planeet ontdekte en haren duur bepaalde. De vlek, welke die beroemde sterrenkundige waarnam, scheen zich van het Westen naar het Oosten te bewegen en eene geheele wenteling te maken in 9 uren 55 min. 53 sec.; dien duur geeft hij aan uit verschillende, gedurende 8 jaren gemaakte waarnemingen.

Andere vlekken waarnemende, dichter bij de middellijn gelegen, gaven echter eene andere uitkomst, en wijzen op eene snellere omwenteling.

In de vorige eeuw hebben Maraldi, Herschel en Schröter, in onze eeuw Airy, Beer en Mädler vooral hunne aandacht op die omwenteling gevestigd. Maar de uitkomsten verschillen, hoewel weinig, niet alleen bij de waarneming van verschillende vlekken, maar zelfs bij dezelfde vlek.

Dit staat vast, dat, naarmate eene vlek dichter bij de middellijn is gelegen, hare snelheid ook grooter is, omdat zij eene grootere baan heeft te maken, maar de duur der omwenteling moet gelijk staan met den duur van andere vlekken, die verder van de middellijn zijn verwijderd, en daarom is men tot het besluit gekomen, dat die vlekken niet op de oppervlakte van de planeet zelve zijn bevestigd, maar waarschijnlijk verschijnselen zijn in den dampkring, even als de wolken rondom onze aarde.

Tegen die hypothese kan men echter dit bezwaar inbrengen, dat het zeer moeielijk te verklaren valt, hoe eene wolkachtige massa zoo lang op dezelfde hoogte en plaats kan blijven; want de vlek, welke Cassini waarnam, bleef twee achtereenvolgende jaren zichtbaar, en vijf jaar na haar verdwijnen, kwam zij weer te voorschijn, en wel in denzelfden vorm en op dezelfde plaats, met betrekking tot het middelpunt der planeet.

Wat echter thans aan geen twijfel meer onderhevig is, is de omwenteling van Jupiter, die volgens de nieuwste bepalingen plaats vindt in 9 uren 55 min. en 7 seconden.

Een punt op den aequator van dien ontzaglijken bol, doorloopt dus in ééne seconde 13050 meters, dat is 28 maal de snelheid van een punt op onzen aequator. Uit die verbazende snelheid volgt dan ook eene zeer groote afplatting, die zoo als wij gezien hebben $\frac{1}{14}$ der middellijn beslaat.

Om het klimaat op Jupiter te begrijpen, moeten wij de helling van de as op zijne loopbaan in het oog houden; deze staat bijna loodrecht op zijne baan, zoodat het vlak van zijn evenaar bijna samenvalt met het vlak van zijne baan. De poolstreken, welke met die van onze aarde overeenkomen, zijn dus betrekkelijk klein, ongeveer 3 graden breed. De dagen en nachten, die onder den aequator de bestendige lengte hebben van 4 uren 57 min. 43,5 second., leveren op andere breedten van de planeet slechts een gering verschil op. Het jaar op

Jupiter bestaat uit 10477 Jupiterdagen of 10478 omwentelingen.

Uit die getallen volgt, dat de zonnedag op Jupiter slechts 3 seconden langer is dan de sterrendag, welk verschil, zooals wij vroeger zagen, op onze Aarde 4 minuten bedraagt.

Omdat de polen, hoewel in geringe mate, zich toch tot de Zon keeren of er zich van afwenden, blijft deze voor de polen gedurende 6 van onze jaren onafgebroken zichtbaar en evenzoo 6 jaar verborgen.

Door de richting van de omwentelingsas bieden de jaargetijden op Jupiter weinig afwisseling aan. De zomer heerscht onafgebroken in de streken van den aequator, en de eeuwige winter is het deel der poolstreken, terwijl eene onafgebroken lente in de gematigde streken heerscht.

De massa van Jupiter heeft men berekend uit de beweging zijner wachters, en men stelt die op $\frac{1}{1047.9}$ van de zonnemassa. Wanneer wij de massa der Aarde op 1 stellen, dan volgt hieruit, dat de massa van Jupiter 338 maal die onzer Aarde is.

Wanneer wij de middelbare dichtheid onzer Aarde tot eenheid nemen, dan is de middelbare dichtheid van Jupiter 0,232, en met water vergeleken 1,32. De zwaartekracht op zijne oppervlakte is gelijk 2,29 maal de zwaarte op onze Aarde.

De lichtkracht, welke Jupiter van de Zon ontvangt, bedraagt om zijn afstand slechts 0,037 van de lichtkracht, welke onze Aarde ontvangt. Om echter te bepalen welke gevolgen dit teweegbrengt op de meteorologie van Jupiter, zou men den aard van zijn dampkring en van zijn bodem moeten kennen, waarover in het volgende hoofdstuk, voor zoo ver men met zekere gronden er over gissen kan.

§ Physieke toestand van Jupiter, heldere en donkere strepen. — Veranderlijke en blijvende vlekken. — Verschillende hypothesen. — Passaatwinden en aequatoriale stroomen. — Dampkring, overeenkomende met die onzer Aarde.

Wanneer men volgens Pl. XXXIII de schijf van Jupiter beschouwt, ziet men dat die bedekt is met donkere strepen door lichtstrepen van elkander gescheiden; een kijker met eene 30 voudige vergrooting doet ons die strepen reeds opmerken, en men ontdekt dan verscheidene anderen, die in gestalte veel met onze wolken overeenkomen, daar zij in korten tijd hun vorm veranderen; vooral trekken twee breede banden de aandacht, één in het noordelijk half-



Fig. 1. Jupiter naar Warren de la Rue.
duistere en heldere banden; overgang en schaduw van een wachter.

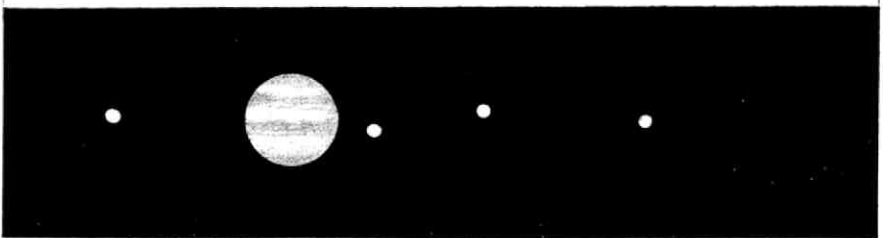


Fig. 2. Jupiter en zijn vier wachters.

rond en één in het zuidelijk, dicht bij den aequator. Hoewel men die beide strepen als blijvend kan beschouwen, zagen toch Hevelius in 1647 en W. Herschel in 1793 de planeet zonder die strepen.

Al de strepen, welke men op Jupiter waarneemt, zoowel de breede banden als de verder van den aequator gelegen kleinere strepen, loopen altijd evenwijdig met den aequator van de planeet; zelfs de opvoeringen, die eerst in richting verschillen, nemen langzamerhand de richting van den aequator aan.

Uit de vlekken, welke men behalve die banden op de planeet waarneemt, heeft men de omwenteling van Jupiter berekend, want eenige dier vlekken zag men gedurende verscheidene jaren bestendig op de planeet. Wanneer men de getuigenissen van Cassini en Maraldi aanneemt, werd eene der vlekken zichtbaar in 1665, om twee jaar daarna weder te verdwijnen; in 1672, 1677 en 1685 verscheen die vlek op hetzelfde punt, en evenzoo in 1713, dus 48 jaar daarna.

Plaat XXXIII vertoont de planeet zooals deze zich vertoonde den 13 October 1856: zij toont ons de beide breede donkere banden aan weerszijden van den aequator, van elkander afgescheiden door heldere banden. De planeet is veel glansrijker in den omtrek van den aequator dan in de beide poolstreken; hoewel dat verschijnsel merkwaardig is, kan men er toch met zekerheid geen besluit uit trekken over de physische gesteldheid van Jupiter.

Eén punt schijnt aan geene tegenspraak onderhevig, want de bestendigheid van de aan elkander evenwijdig loopende banden in de richting van den aequator, wordt verklaard door de zoo snelle omwentelingsbeweging van de planeet; want zoo er zich op de oppervlakte van Jupiter vloeibare deelen bevinden, hetzij in gasachtigen of waterstofachtigen toestand, moeten deze zich noodzakelijk om de snelheid, waarmede zij voortgerukt worden, in een langwerpigen bandvorm plaatsen, en daar de snelheid op den aequator het grootste is, moeten daar de massa's zich het meeste ophoopen.

De waarneming bevestigt zulks. W. Herschel gaf op dezelfde wijze reeds verklaring van die verschillende bandvormingen.

“Ik vooronderstel, zeide hij, dat de meer heldere banden en de poolstreken, wier schittering helderder is dan de zwakkere of grauwachtige banden, streken zijn, waar de dampkring het meest met wolken is opgevuld. De zwakkere of donkere banden duiden op een helderen dampkring, want daardoor dringen de zonnestralen tot op

de planeet zelve, en daardoor is de terugkaatsing op ons veel minder sterk dan zulks door de wolken geschiedt." Zöllner, van Leipzig, die in de *Astronomische Nachrichten* van 1871 eene merkwaardige verhandeling gaf over de omwentelings-wet van de Zon en der groote planeten, spreekt in denzelfden zin over de natuur der grauwe en der heldere banden op Jupiter. "De grauwe banden", zegt hij, "kunnen geene wolken zijn, uit waterstof bestaande, want dan moesten zij zich op den donkeren grond van de planeet als witte vlekken vertoonen. Eene wolk van waterdamp vertoont zich alleen grauw bij doervallend licht maar wit bij teruggekaatsst."

Eene zonderlinge verschijning, op de planeet Jupiter waargenomen, en waarvan Zöllner ook rekenschap geeft, bevestigt de theorie over die bandvorming.

In 1860 nam men den 29 Febr. op Jupiter eene streep waar, volstrekt niet overeenkomende met de andere banden en strepen op de planeet, want zij maakte met den aequator van Jupiter een hoek van ongeveer 45° , en had eene donkere, bij de planeet sterk afstekende tint. Zeer spoedig veranderde die streep van richting, zoodat die verandering in Maart reeds duidelijk was, en ten laatste werd zij evenwijdig aan den aequator: wel een bewijs dat de omwenteling er invloed op uitoefende. Zöllner meende, dat die donkere streep eene scheur was in het wolkhuysel om de planeet.

Wanneer wij de verklaring over de vorming en de kleur der verschillende banden aannemen, als wij de heldere banden voor wolken en de duistere voor de doorschijnende gedeelten van den dampkring houden, blijven er echter nog een aantal moeielijkheden onopgelost. Zien wij dan, zoo kunnen wij vragen, door die duistere banden op den bol van de planeet? en wat zijn dan de nog donkerder vlekken, waaruit men tot den duur van de omwenteling heeft besloten? Zouden het bijv. vloeibare deelen van de planeet zijn, waarom geven zij dan voor de omwenteling niet dezelfde uitkomst; waarom wijzen zij op eene snellere omwenteling, naarmate zij dichter bij den aequator zijn gelegen? Dat zou bewijzen dat die vlekken zich niet op den bol zelf, maar in den dampkring bevonden.

Men heeft dit zoeken uit te leggen door het bestaan aan te nemen van winden, die even als bij ons, verre boven de passaatwinden eene andere richting hebben; hierdoor zijn echter nog niet alle moeielijkheden opgelost. Cassini had in 1692 dat verschil in omwenteling reeds opge-

merkt, dat de vlekken namelijk, hoe dichter bij den aequator, des te snellere omwentelingsbewegingen hadden.

Fontenelle en Herschel namen, om de bandvorming uit te leggen, het bestaan van passaatwinden op Jupiter aan; want een noodzakelijk gevolg dier stroomen moest wezen, dat zij de aequatoriale dampen in evenwijdige banden op elkander joegen, en daardoor wilden zij het verschil in snelheid verklaren, omdat die wolken of vlekken met meerdere of mindere snelheid werden voortgestuwd.

Arago maakte tegen die bewering de moeielijkheid, dat dan de passaatwinden op Jupiter juist in eene tegenovergestelde richting moesten waaien als op onze planeet, want anders zouden zij de beweging dier vlekken, in plaats van te versnellen, integendeel juist trager maken.

Om die moeielijkheid op te lossen, neemt men de vooronderstelling aan, dat de beweging dier vlekken niet veroorzaakt wordt door de eigenlijk gezegde passaatwinden, maar door de hoogere aequatoriale stroomen, waardoor de passaatwinden veroorzaakt worden, en die zich juist in tegenovergestelde richting bewegen.

En zelfs behoeft men zijne toevlucht niet te nemen tot de bovengenoemde vooronderstelling, om de snellere beweging dier vlekken aan den aequator uit te leggen. Want als de vlekken verschijnselen zijn in den dampkring, zooals alle sterrenkundigen beweren, en wel verschijnselen, die eene eigene beweging hebben, kan men uit haar de omwenteling van den Jupiterbol niet bepalen, maar alleen de omwenteling der wolken, of liever het verschil dat de omwenteling van den bol maakt met die van de vlek. Welnu, wanneer die wolk zich op eene zekere breedte van den aequator vormt, wordt zij, zooals de waarneming ons leert, langzamerhand naar den aequator heen getrokken door eene oorzaak, geheel en al overeenkomende met onze passaatwinden; noodzakelijk moet zij dus eene vertraging onder vinden, die grooter is, naarmate zij verder van den aequator is verwijderd.

Wat er van zij, over de ware verklaring van de oorzaken der hier besprokene beweging kan men gissingen maken, maar de zekerheid is op dat punt nog niet gevonden.

Alles wat men met zekerheid uit de waarneming der banden en der vlekken kan opmaken is, dat Jupiter door een dikken dampkring is omringd, in welken dampmassa's, geheel met onze wolken overeenkomende, drijven. Eenige van die vlekken hebben eene zeer langzame

beweging, zoodat Beer en Mädler vlekken hebben waargenomen, die in 24 uren zich nauwelijks 20 geogr. mijlen verplaatsten, dat is de snelheid van een zachten wind; de waarneming leert echter ook, dat de planeet aan hevige stormwinden blootstaat, daar Schröter bewegingen opmerkte van 6 mijlen in het uur. Ja, Schmidt te Athene wil zelfs in het jaar 1852 eene heldere wolk hebben waargenomen, die voortjoeg met eene snelheid van 28 mijlen in het uur.

Een ander bewijs voor den dampkring van Jupiter vindt men daarin, dat de strepen niet zichtbaar zijn tot aan den rand van de planeet, daar worden zij verborgen door de dikkere lagen van den dampkring.

Eenzoo bewezen de spectraal onderzoekingen het bestaan van een dampkring; het rood in het spectrum vertoont eene donkere streep, die volgens den geleerden Secchi haren oorsprong heeft in de opslorping van het zonnlicht door den dampkring van Jupiter.

Door de ontleding en bestudeering van het spectrum der planeet heeft men eenige bepaalde gegevens trachten te verkrijgen, over de natuur van het gasachtig hulsel van Jupiter.

Huggins en Miller, vonden even als Secchi de streep, die op een dampkring wees, eene andere streep kwam echter volstrekt niet met de absorbtiestrepen van onzen dampkring overeen, en wees dus op het bestaan van eene gassoort of damp, welke de aardse dampkring niet bezit.

§ 3. Het Jupiterstelsel; zijne wachters of manen. — Loopbaan en afstanden. — Afmetingen, massa, kleur en glansverandering der wachters. — Omwenteling. — Nut voor de scheepvaart.

De vier hemellichamen, die rondom Jupiter wentelen en hem op zijn tocht om de Zon vergezellen, zijn thans de voorwerpen onzer beschouwing.

De uitvinding der verrekijkers maakte ons bekend met die Jupitermanen, want hoewel zij voor het bloote oog onzichtbaar zijn, vertoonen zij zich reeds in een kijker van zwak vermogen als kleine sterren. Aan Gallilei komt de eer toe van hunne ontdekking, 7 Januari 1610, en hij bepaalde den duur van hunne omwenteling.

De loopbanen, welke de wachters om de Zon beschrijven, verschillen om hunne geringe uitmiddelpuntigheid weinig van een cirkel. De helling dier loopbanen is tevens zeer gering op den aequator van Ju-

piter, en omdat het vlak van den aequator van Jupiter, zooals wij vroeger zagen, bijna evenwijdig is aan het vlak van zijn loopbaan, vertoonen die vier wachters zich steeds in eene bijna rechte lijn ter weerszijden van den Jupiters-aequator.

Ziehier de opgave van den duur der omwenteling en hun afstand tot aan het middelpunt van de planeet.

	Duur van den omloop in				Afstand in	
	Aardsche dagen.		Jupiterdagen.		stralenv.	Jupiter. geogr.m.
1e Wachter, 1 dag	18 u. 27 m.	33,5 s.	4 dag.	275.	5,944.	59,451.
2e " 3 "	13 " 13 "	42 " 8 "	582.	9,462.	94,538.	
3e " 7 "	3 " 42 "	33,4 " 17 "	221.	15,086.	150,890.	
4e " 16 "	86 " 32 "	11,3 " 40 "	426.	26,535.	265,403.	

Die afstanden zijn berekend van middelpunt tot middelpunt, zoodat als men den afstand wil bepalen van de naaste punten op beider omtrek, men van de voorgaande getallen nog af moet trekken de som van den straal van elken wachter en van Jupiter, hetgeen voor ieder eene vermindering in afstand te weeg zou brengen van ongeveer 10302 mijlen.

Op die wachters zijn ook de wetten van Kepler van toepassing: bijv. het kwadraat van den omloopstijd van den eersten en vierden wachter, in elkander gedeeld, geeft tot quotient 89, evenzoo geven de derde machten van hun middelbaren afstand in elkander gedeeld ook het quotient 89.

Omdat de loopbanen van de wachters slechts eene geringe helling hebben op het vlak van de baan, welke Jupiter doorloopt, moeten de drie eerste wachters bij elken omloop telkens in den schaduwkegel komen, welke Jupiter achter zich werpt, en daardoor wordt voor die wachters telkens de zon verduisterd, terwijl voor de planeet zelve, zoowel als voor onze Aarde, telkens eene maansverduistering plaats vindt.

Tevens gebeurt het, al naardat de stand van onze Aarde en Jupiter is, dat die manen vóór zij in den schaduwkegel verdwijnen, reeds door den bol van de planeet bedekt worden, of nadat zij dien schaduwkegel zijn uitgetreden, zich nog met betrekking tot onze Aarde achter de planeet bevinden en dus voor ons onzichtbaar zijn. De vierde en meest verwijderde wachter, ondergaat ook verduisteringen, maar omdat zijn afstand en de helling zijner baan grooter zijn, gebeurt het dat hij soms boven den schaduwkegel rondloopt of er

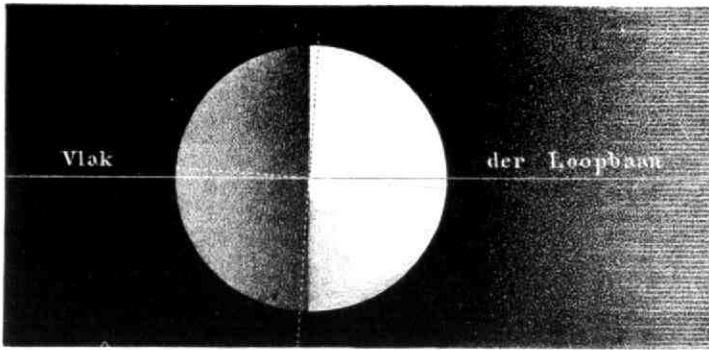


Fig 1 Helling der as op het vlak van Jupiters loopbaan

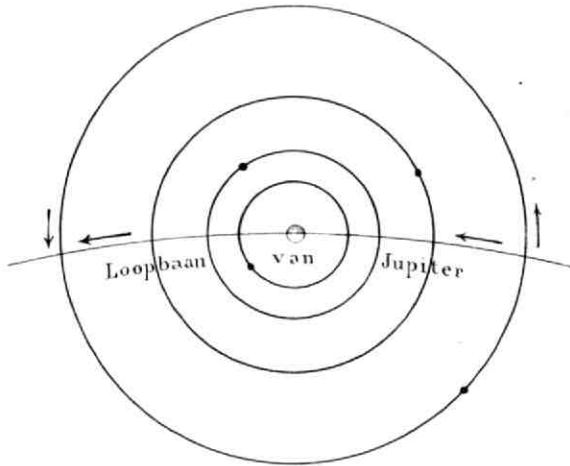


Fig 2 Loopbaan der wachters van Jupiter

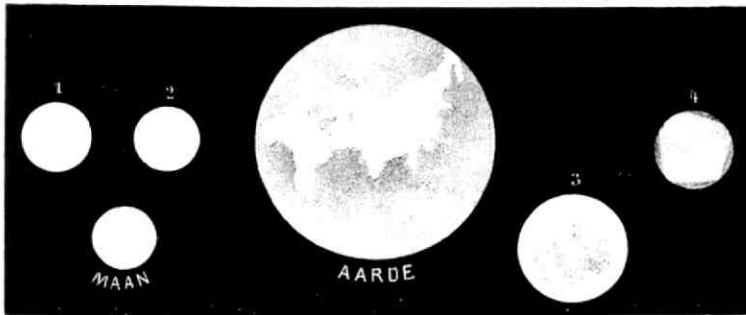


Fig 3 Afmetingen der wachters van Jupiter vergeleken met de maan en de aarde

maar gedeeltelijk intreedt, deze wachter wordt dus bij elken omloop niet verduisterd.

Laplace heeft voor de drie dicht bij de planeet loopende wachters de volgende merkwaardige wetten gevonden: 1. De middelbare hoekbeweging van den eersten wachter, geteld bij het dubbel van de hoekbeweging van den tweeden wachter, staat gelijk met de drievoudige hoekbeweging van den derden wachter. 2. De middelbare lengte van den eersten wachter, verminderd met de drievoudige lengte van den tweeden en vermeerderd met de dubbele middelbare lengte van den derden wachter, geeft immer zeer nauwkeurig 180 graden. Hieruit volgt dus, wat door de waarneming wordt bevestigd, dat de drie het dichtst bij Jupiter loopende manen nooit tegelijk verduisterd kunnen worden; wanneer de tweede en derde wachter bijv. verduisterd zijn en zich dus voor ons in den schaduwkegel achter de planeet bevinden, dan zal de eerste wachter vóór de planeet, dat is in conjunctie met haar zijn. Wanneer integendeel die beide wachters zich vóór de planeet in conjunctie bevinden, dan zal de eerste wachter daarentegen verduisterd zijn en zich in oppositie bevinden. Die omstandigheid vindt echter alleen plaats met de ware verduisteringen, dat is, wanneer de wachters in den schaduwkegel treden, en niet met de bedekkingen der wachters door de planeet, waardoor zij voor onze aarde verdwijnen. ¹

Soms gebeurt het, dat de stand van de wachters zoodanig is, dat er zich geene naast de planeet vertoonen, maar dat zij allen verdwenen zijn, eenigen verduisterd of door de planeet bedekt en anderen voorbij de schijf van Jupiter loopende. Wanneer zij vóór de schijf heengaan, en zich dus tusschen de Zon en Jupiter bevinden, veroorzaken zij op de planeet eene zonsverduistering, namelijk voor die plaatsen, die in den schaduwkegel van den wachter zijn gelegen; dan ziet men van onze Aarde eene kleine ronde zwarte vlek met gelijke snelheid zich over de schijf van Jupiter bewegen, terwijl de wachter

¹ Beide verschijnselen hebben plaats in 1872 op den 24 Mei des avonds ten elf ure ongeveer, en den 8 Juni, 's morgens ongeveer ten half drie ure, dan zijn de tweede en derde wachter in den schaduwkegel achter de planeet en de eerste wachter ziet men vóór de planeet heengaan. Het tegenovergestelde heeft plaats, den 29 Dec. 's middags ongeveer ten 3 ure, dan zijn de beide wachters vóór de planeet, dus in conjunctie, en de eerste wachter is in den schaduwkegel dus verduisterd.

zelve zich als een helder schijfje op de donkere banden van Jupiter vertoont. Plaat XXXIII geeft ons van die schaduw en dien overgang een voorbeeld.

Die verduistering op Jupiter is een direct bewijs, dat de planeet geen eigen licht bezit, maar slechts het zonlicht op ons terugkaatst.

Struve heeft de schijnbare middellijnen van de wachters van Jupiter gemeten, en komt tot de uitkomst, dat de eerste wachter, uit de planeet gezien, ongeveer dezelfde afmetingen bezit als onze Maan uit de Aarde gezien. De tweede en derde wachter worden gezien, meent hij, onder een hoek van 18 minuten, en de vierde onder een hoek van 9 minuten. Voor de ware afmetingen vindt men dan:

Middellijn, de aarde als eenheid genomen.	Middellijn in Geogr. mijlen.	Inhoud, de aarde als eenheid genomen.
0,32	530	0,033
0,27	475	0,020
0,47	776	0,104
0,33	664	0,036

De derde wachter is dus, gelijk men ziet, de grootste. Zijn middellijn is veel grooter dan die van onze Maan, die overeenkomt met den tweeden wachter; maar de vier wachters bij elkander evenaren slechts het 6000ste gedeelte van den machtigen Jupiter.

Cassini, aan wien wij vele waarnemingen op het stelsel van Jupiter verschuldigd zijn, had in den glans der wachters een groot verschil opgemerkt, en daaruit besloot hij, dat zij om hunne as wentelden. W. Herschel vooronderstelde ook eene omwenteling, en wel zooals die onzer Maan, namelijk dat omwenteling en omloop in juist denzelfden tijd volbracht werden.

Beer en Mädler bevestigden die waarneming, ten minste wat betreft den eersten, tweeden en vierden wachter, want over den derden wachter durfden zij geen vast besluit maken. Volgens Secchi heeft die derde wachter eene veel snellere omwenteling, welke veel verschilt met den duur van zijnen omloop; door eene langdurige en nauwgezette waarneming van de vlekken op de schijf van dien wachter kwam hij tot dat besluit.

De wachters van Jupiter onderscheiden zich nog van elkander door hunnen glans. In de juiste bepaling echter verschillen de sterrenkundigen, want Herschel zag bijv. den vierden wachter in eene oranje tint,

terwijl Beer en Mädler hem eene blauwe kleur gaven; komt dit verschil voort uit de kijkers, welke men gebruikt, of uit den dampkring, als de wachters dien bezitten; of is er eene andere oorzaak, welke die kleur voortbrengt? 't Valt moeielijk tusschen die verschillende hypothesen met grond eene keuze te doen.

Om de zoo veelvuldig plaats hebbende eclipsen en overgangen der wachters over de schijf van Jupiter, en om de zoo gemakkelijke waarneming daarvan, zijn die verschijnselen van groot belang en nut voor de zeevaart, ten einde daaruit met juistheid de lengte te berekenen, waarop men zich bevindt; een enkel voorbeeld zal dit duidelijk maken.

Wanneer een schip uitgeilt is het in bezit van goede sterrenkundige tafelen en van chronometers, die den tijd bijv. van Greenwich aangeven, het bevindt zich nu in den Atlantischen Oceaen. Nu neemt men waar, dat op den 7 Febr. 1862 de eerste wachter van Jupiter door de planeet wordt bedekt; de chronometer geeft aan, dat die bedekking geschiedt ten 6 uur 40 min., en de tafelen der eclipsen geven aan, dat die bedekking in Greenwich plaats moet hebben ten 8 uur 40 min. Het is dus op dat oogenblik 8 uur 40 min. in Greenwich, er is alzoo een verschil van 2 uren, gelijkstaande met 30 graden, men is daarom op 30 graden westerlengte van Greenwich, of met andere woorden, het schip bevindt zich op 330 graden lengte.

De breedte (dat is de afstand van den evenaar) vindt men door uit de bekende declinatie of breedte van de sterren¹ den afstand van den aequator te berekenen; zoo geven de sterrenkundige tafelen bijv. voor Jupiter op den 7 Febr. 1872 ten 12 ure 's middags eene declinatie aan van $22^{\circ} 7' 52'' 4$, dit zal door den loop der planeet ten 6 uur 40 min. ongeveer zijn $22^{\circ} 8'$, nu meet men den hoek van de planeet met het Zenith en vindt daarvoor bijv. 20 graden, dan is de gansche breedte van den aequator $42^{\circ} 8'$. Het schip bevindt zich dus op 330 graden lengte en $42^{\circ} 8'$ breedte, even ten noorden van de Azorische eilanden.

Onze voorvaderen begrepen zoo goed het gewicht van Gallilei's

¹ Wij geven hier maar één middel op om de breedte te kennen, hoewel men die breedte ook door andere middelen kent; bijv. door het meten der zonshoogte bij haren doorgang door het zuiden, of door het meten van de hoogte der poolster, of door andere sterrenkundige waarnemingen.

ontdekking, dat de Staten van Holland den grooten sterrenkundige gezanten zonden om hem een gouden keten aan te bieden, en hem zoo dringend mogelijk te verzoeken de tafelen voor de verduistering en van Jupiters wachters te voltooien, een arbeid, waarbij de zeevarende natiën groot belang hadden.

De wachters van Jupiter hebben evenzoo de gelegenheid verschaft om bekend te worden met de verbazende snelheid van het licht; daarvan zullen wij echter in het derde deel van dit werk verslag geven.

VII.

S A T U R N U S †.

§ 1. Saturnus, met het ongewapend oog gezien. — Zijne schijnbare beweging en duur van zijnen synodischen omloop. — Beweging om de Zon, duur van den siderischen omloop. — Elementen van zijne baan en verschil in afstand tot de Zon en de Aarde. — Schijnbare en ware afmetingen. — Poolafplatting. — Oppervlakte, inhoud, massa en dichtheid. — Zwaartekracht op zijne oppervlakte.

Is Jupiter de grootste der planeten van ons zonnestelsel, Saturnus is de rijkste in ondergeschikte stelsels.

Niet vier, zooals bij Jupiter, maar acht Manen wentelen om de hoofdplaneet, en hoewel die wachters niet zoo veelvuldig voor Saturnus zonsverduisteringen veroorzaken als dit bij Jupiter plaats vindt, biedt de planeet toch een geheel eigenaardig verschijnsel, dat in ons zonnestelsel eenig in zijne soort is, namelijk het stelsel harer ringen, die haar op bepaalde afstanden omgeven en met haar rondloopen.

Hoe meer wij doordringen in de beschouwing van onze Zonnewereld, des te meer hebben wij stof om de wondervolle verscheidenheid, die er zich in openbaart, te bewonderen. Dan eens zijn het eenzaam loopende planeten, zooals Mercurius, Venus en Mars; dan weder de groep der kleine teleskopische planeten; dan de Aarde, die met hare Maan rondom het algemeen middelpunt loopt; elders zullen wij zien, hoe de stof van ons planetenstelsel zich nog vertoont in den vorm van het zodiaklicht of van zoogenaamde vallende sterren of van nevelringen; eindelijk zien wij de groote planeten, die niet alleen van de anderen onderscheiden zijn door hunne verbazende afmetingen, maar vooral ook door het getal der ondergeschikte lichamen, die zij beheerschen, en die wereld-

stelsels in het klein vormen, en toch dat alles wijst door de eenheid der wetten, die bij zoo veel verscheidenheid heerscht, op eene eenheid van oorsprong.

Hoe verschillend ook de bestanddeelen waren van de onderscheidene deelen van ons zonnestelsel, welke wij reeds beschouwden, alles had één groot punt van overeenkomst; de vorm namelijk van ieder lichaam, was altijd die van een regelmatig langwerpig rond. Men kon dus uit de overeenkomst reeds gissingen maken over het schouwspel, dat de ringen van Saturnus ons zouden schenken; de hulp echter van goede kijkers was noodig om nauwkeurig bekend te worden met het merkwaardig Saturnus-stelsel. Voordat wij echter die ringen in hunne bijzonderheden beschouwen, zullen wij eerst de astronomische en physische elementen van de planeet zelve nagaan.

Wanneer wij Saturnus met het bloote oog waarnemen, heeft hij den schijn van eene ster der eerste grootte, hoewel hij minder schittering heeft dan Jupiter; zijn licht is rustig en niet tintelend zooals dat der vaste sterren. Zijne schijnbare beweging langs den sterrenhemel, hoewel veel langzamer dan die der beide laatste planeten, welke wij beschouwd hebben, biedt ons dezelfde verschijnselen; dan eens is zijn loop geregeld en overeenkomende met dien der overige sterren (directe genaamd), dan weder schijnt hij eene achterwaartsche beweging te hebben (retrograde), en soms ook schijnt hij op zijne baan stil te staan (stationnair).

Elke 377 dagen en 20 uren staat de planeet met betrekking tot de Zon en onze Aarde in denzelfden stand, dat is de duur van zijnen synodischen omloop, die in twee deelen wordt onderscheiden, de eene duurt 239 dagen ongeveer, en daarin schijnt de planeet van het westen naar het oosten te loopen; de andere 139 dagen, schijnt hij eene geheel tegenovergestelde richting te hebben, en wel van het oosten naar het westen ¹.

Het ware eene noodelooze herhaling hier de redenen van dien schijn-

¹ In het jaar 1872 is Saturnus op den 3 Jan. 's morgens ten 6 u. 33 min. in conjunctie met de Zon ($\text{♄} \text{ } \text{♁}$), en dienzelfden stand heeft hij op nieuw in 1873 den 13 Jan. 's middags ten 4 ure. Den 9 Juli 1872 's avonds ten 11 u. 13 min. is de planeet met de Zon in oppositie ($\text{♄} \text{ } \text{♁}$), en heeft in 1873 den 22 Juli 's morgens 4 u. 57 min. weder dienzelfden stand.

Stationnair is de planeet in 1872 den 1 Mei 's morgens ten 8 ure, en tevens den 18 Sept. 's morgens ten 10 ure 17 min. In 1873 heeft hij dien stand den 12 Mei 's middags ten 2 u. 3 min. en 30 Sept. ten 6 u. 26 min. 's morgens.

baren loop te verklaren, iedereen begrijpt, dat de beweging van onze Aarde de oorzaak van dat verschil in beweging is, overigens verwijzen wij naar bladz. 182 waar bij Mars, de eerste der buitenplaneten, die verklaring uitvoerig is gegeven.

De siderische omloop van Saturnus bedraagt 10750,22 dagen, dat is 29 jaren en 167 dagen. Zoolang behoeft dus de planeet om hare baan rondom de Zon te doorloopen, welke baan ongeveer 1200 millioen Geogr. mijlen lang is.

Het vlak der baan maakt met het vlak van de ecliptica of de baan der Aarde een hoek van $2^{\circ} 29' 28,1''$.

Die verbazend lange baan doorloopt Saturnus met eene snelheid van ongeveer 9925 meters iedere seconde, eene snelheid, toch nog driemaal minder dan die onzer Aarde; omdat de loopbaan van Saturnus geen cirkel is, maar eene ellips, in wier ééne brandpunt zich de Zon bevindt, is de planeet soms dicht bij de Zon en soms verder van haar af, en daarom is de snelheid ook niet even groot, maar soms minder en soms meer; om den verren afstand der planeet is hare verplaatsing aan den sterrenhemel zeer langzaam, zoodat zij zich elk jaar ongeveer slechts 12 graden verplaatst. De uitmiddelpuntigheid van de loopbaan der planeet wordt uitgedrukt door 0,0559956, dat is het twintigste gedeelte van de halve lange as; die uitmiddelpuntigheid is dus meer dan driemaal zoo groot dan die der baan, welke onze Aarde doorloopt, terwijl de middelbare afstand van Saturnus tot de Zon ongeveer negen en een half maal zoo groot is als die van onze Aarde.

	In stralen der aardsche loopbaan.	In millioenen geogr. mijlen.
Perihelium	9,0046	186,24
Middelbaar	9,5388	190,00
Aphelium	10,0730	208,33

Na 15 jaren levert dus de afstand der planeet tot de Zon een verschil op van ruim 22 millioen mijlen; een verschil dat zelfs den afstand onzer Aarde tot de Zon overtreft.

Wanneer men uit Saturnus de Zon beschouwde, zou deze slechts eene middelbare middellijn hebben van $3' 20''$, dus ruim negen maal kleiner dan de Zon zich aan ons oog vertoont, (vergelijk Plaat II). En volgens het kwadraat van den afstand is ook de warmte en lichtuitstraling op Saturnus verzwakt.

Naarmate de stand is van de Aarde en van Saturnus op hunne banen, is ook de afstand dier beide planeten grooter of kleiner. Wanneer de planeet in haar perihelium is, en tevens met betrekking tot onze Aarde in oppositie, dan is de afstand het kleinste, hoewel die dan toch nog 165 millioen geogr. mijlen bedraagt. Maar is de planeet in haar aphelium, en met de Zon in conjunctie, dan bereiken beiden den grootsten afstand, die dan ongeveer 229 millioen mijlen is.

Omdat onze Aarde in veel korter tijd om de Zon loopt, komt Saturnus elk jaar in oppositie en in conjunctie met de Zon met betrekking tot onze Aarde, hoewel hij dan niet den versten en dichtstbijzijnden stand inneemt.

Uit dit verschil in afstand volgt ook een groot verschil in glans, hetzij men Saturnus beschouwt met het bloote oog, of met een genoegzaam vergrootenden kijker, waardoor men zijne schijf kan waarnemen.

Even als bij Jupiter en om dezelfde redenen onderscheidt men bij Saturnus geene schijngestalten, maar hij vertoont zich immer geheel verlicht, hoewel de zwarte schaduwen, welke de wachters bij hunnen overgang op de schijf werpen, en de schaduw van den ring, geen twijfel laten over den oorsprong van zijne schittering; hij bezit geen eigen licht en is donker van natuur, maar straalt het zonlicht op ons terug, en komt daarin overeen met al de planeten van ons stelsel.

De vorm van Saturnus is merkbaar elliptisch, met andere woorden de planeet is aan de beide polen van hare omwentelingsas merkbaar afgeplat. Volgens de metingen, welke W. Herschel ondernam, geloofde men, dat Saturnus een onregelmatigen vorm bezat, en dat zijne grootste middellijn niet in den aequator, maar van 45 graden boven tot 45 graden beneden den aequator lag. De geleerde Bessel bewees uit de onderlinge aantrekkingskracht van den bol en den ring, dat zulk een vorm onmogelijk was, en latere nauwkeurige metingen bevestigden het gevoelen van Bessel, dat Saturnus een regelmatig langwerpig rond is. Volgens Bessel is de aequatoriale middellijn van Saturnus $17,053''$, en de lijn door de polen $15,381''$, waardoor men tot eene afplatting komt van $\frac{1}{10}$. Brengt men dit over in getallen dan verkrijgt men voor de aequatoriale middellijn 15680 mijlen, en voor de poollijn 14140 mijlen, de afplatting aan beide polen bedraagt dus 1540 mijlen. Volgens Littrow is de middellijn 17214 mijlen, en volgens Kaiser 16880. De oppervlakte van Saturnus is 93,6 maal grooter dan

die van onze Aarde, en zijn inhoud 905,9 maal grooter, terwijl hij toch nog maar het 3500 gedeelte der zonnemassa bezit; 101 van onze aardbollen zouden de massa van den Saturnusbol evenaren.

De dichtheid van de stof, waaruit Saturnus bestaat, is zeer gering, en staat in verhouding tot de dichtheid van onze Aarde als 0,112, dat is eene dichtheid veel geringer dan die van waterpotassium, onder de metalen, en zekere houtsoorten, zooals de cypres- en de olijfboom, zijn dan van dezelfde dichtheid als Saturnus. Misschien is de gansche bol van de planeet vloeibaar, of bevat zij eene vaste kern, door gasachtige of vloeibare lagen omgeven; men heeft echter geene gegevens om hierover eene gegronde gissing te maken.

De zwaarte op hare oppervlakte is bijna $\frac{1}{9}$ sterker dan die op onze Aarde, en daarom zou een vallend lichaam op de planeet in de eerste seconde bijna 6 meters doorloopen. Volgens anderen echter, zooals Littrow, wiens berekeningen wij vooral gevolgd hebben, is de zwaarte minder dan op onze Aarde en dus de valhoogte ook minder snel.

§ Omwenteling van Saturnus. — Dagen en jaargetijden. — Warmte, licht op Saturnus. — De ringen der planeet. — Wachters. — Dampkring

Wanneer men op de schijf van Saturnus een kijker van sterk vermogen richt, bemerkt men, dat de planeet een groot aantal banden bezit, die evenwijdig met haren aequator loopen; eenigen zijn wit, anderen meer of minder donkergrijs of geelachtig. W. Herschel onderzocht die banden, en maakte uit zekere onregelmatigheden en vlekken daarin eene berekening over de omwenteling der planeet, welke hij bepaalde op 10 uren, 29 minuten, 17 seconden.

Ziedaar dan op nieuw eene groote planeet, wier omwenteling tweemaal zoo snel is dan die der kleinere planeten. Dag en nacht volgen elkander dus na 5 uren op, maar het jaar bestaat uit bijna 24,615 omwentelingen, dus uit 24,614 dagen; om dien grooten duur van het Saturnus-jaar wijzigen de verschillende jaargetijden ook zeer langzaam den duur van die korte Saturnus-dagen en nachten.

De jaargetijden leveren echter veel meer verschil op dan op Jupiter geschiedt, en dit komt voort uit de grootere helling van de omwentelingsas op de loopbaan der planeet. De as van Jupiter staat, zooals wij vroeger opmerkten, bijna loodrecht op zijne baan, vandaar weinig afwisseling in de verschillende jaargetijden; bij Saturnus echter is die helling grooter, en komt met die van Mars en van onze

Aarde overeen, want zij maakt met het vlak van de loopbaan een hoek van $63^{\circ} 11'$. Uit die helling volgt, dat Saturnus ongeveer 15 van onze jaren zijne polen naar de Zon keert of daarvan afwendt. Ieder jaargetijde van Saturnus duurt dus meer dan zeven van onze jaren.

Om echter de verschijnselen goed te begrijpen, welke de dagen, nachten en jaargetijden van Saturnus opleveren, moeten wij ons een duidelijk begrip vormen, zoowel van de ringen, welke die schoone planeet omgeven, als van de acht wachters, die haar op hare dertigjarige reize om de Zon vergezellen; daarom zullen wij thans het stelsel der ringen en der hemellichamen, welke haar omringen, ontwikkelen en verklaren.

Toen de verrekijkers uitgevonden waren, kwam men ook tot de ontdekking van het vreemde stelsel van Saturnus. Gallileï was de eerste, die er opmerkzaam op maakte, maar om den nog onvolmaakten toestand der kijkers, meende hij, dat Saturnus uit een drievoudig lichaam bestond. „Wanneer ik Saturnus beschouw,” zoo schreef hij aan den groot-hertog van Toscane, „met een kijker van dertigvoudige vergrooing, schijnt de centraalbol de grootste te zijn; de beide andere bollen, die ten oosten en ten westen de planeet aanraken, liggen echter in eene richting, die niet samenvalt met de richting van den dierenriem; het zijn als twee dienaren, die den ouden Saturnus helpen zijn weg te maken, en die hem steeds ter zijde blijven.”

Toen de geleerde sterrenkundige later Saturnus zuiver rond zag, zonder eenig aanvoegsel, wist hij niet meer wat er van te denken, en meende alles, wat hij vroeger had gezien, aan optisch bedrog te moeten toeschrijven.

Onze vaderlandsche Huygens gaf het eerst in 1659 de ware uitlegging van het Saturnusstelsel, welke uitlegging door de theorie van de beweging der planeet en door de waarneming met machtige telescopen bevestigd werd. Rondom Saturnus, ongeveer in het vlak van zijnen aequator, bevindt zich een stelsel van drie platte ringen, onlijk in breedte en zeer dun. De buitenste ring namelijk, die het verste van de planeet is, is van den middelsten ring gescheiden door eene ruimte, waardoor die beide ringen geheel van elkander gescheiden en onafhankelijk zijn, terwijl de binnenste ring daarentegen zeer dicht bij den middelsten ligt, zoodat deze elkander bijna schijnen te raken. William Ball, in 1665, en tien jaren later Cassini, erkenden reeds

die duistere tussehenruimte in de beide uiterste ringen, maar eerst in Nov. 1850 ontdekte Bond, in Noord-Amerika, en Dawes, in Engeland, den derden binnensten ring.

De tint dier drie ringen is zeer verschillend; de middelste, die de helderste is, wint het zelfs in schittering van de Saturnusschijf; de buitenste ring is dof en grijsachtig van kleur, en komt overeen met de kleur der banden, welke men op den bol waarneemt. Beide deze ringen zijn ondoorzichtig en werpen eene sterk geteekende schaduw op de planeet. De binnenste ring is ook donker maar doorschijnend, want door dien ring heen neemt men den verlichten Saturnusbol waar.

Behalve die drie groote en breede ringen nam men nog andere afscheidingen en splitsingen waar, maar die verdeelingen waren van geene blijvende natuur en slechts tijdelijk.

Over de afmetingen dier ringen verschillen de sterrenkundigen nog al in hunne berekening; want om den grooten afstand der planeet en om de ligging dier ringen, levert de meting groote moeielijkheden op; de metingen echter in deze eeuw ondernomen, verschillen niet zooveel als die van vorige tijden. Volgens de berekening van Struve bedraagt de middellijn van het gansche ringstelsel 36.870 geogr. mijlen, en de middellijn, genomen van den middelsten helderen ring, 24,520 mijlen, zoodat de breedte van die beide ringen 6175 mijlen beslaat; de middelste heldere ring is dus van de oppervlakte der planeet 4420 mijlen verwijderd, of beter, omdat volgens de waarnemingen van Gallet in 1684 en van Schwabe in 1827, het middelpunt van het ringstelsel niet samenvalt met het middelpunt der planeet, is de naaste afstand 4240 mijlen. Volgens Bond, die den derden donkeren ring ontdekte, is deze slechts 100 mijlen van de planeet verwijderd. De breedte van de ruimte tussehen de beide eerst ontdekte ringen, welke men naar haren ontdekker Cassinische ruimte noemt, bedraagt 380 mijlen.

Over de dikte van dien ring bestaat evenzoo onder de waarnemers groot verschil. Herschel schatte dezelve op 100 mijlen; anderen geven echter eene veel geringere dikte aan.

Een tal van vragen kunnen er over dat wonderverschijnsel gedaan worden, maar vragen waarop niet immer een afdoend antwoord kan gegeven worden. Hoe blijft dat ringstelsel, kan men vragen, zoo zonder steunpunt of aanraking rondom de planeet hangen, en welke is de kracht, die de verschillende deelen van dien ring samenbindt, en

waarom worden zij door de aantrekking van de planeet niet aange-
trokken en storten op haar neder?

Laplace heeft op die vragen zijn antwoord gegeven. Hij bewees, dat het blijvend evenwicht alleen dan mogelijk was, wanneer de ring van elliptischen vorm, en op verschillende punten ongelijkheid was in breedte, dikte en kromming, en de waarneming heeft dit bevestigd. Men merkte op, dat het middelpunt van de zwaartekracht van den ring niet samenviel met het zwaartepunt van de planeet, en daaruit volgden langzame schommelingen in de onderlinge standen. Overigens moest de ring zich in zijn vlak bewegen en omwentelen, en wel volgens de berekening van Laplace, met eene snelheid gelijk aan die van de planeet, van 10 uren, en waarlijk de waarnemingen van Herschel stemmen met die berekening overeen; hij nam op den ring bergachtige onregelmatigheden waar, en daaruit bepaalde hij de omwenteling van 10 u. 35 m. 15 s.

De Russische astronoom, Otto Struve, wilde opgemerkt hebben, dat de ring van Saturnus in breedte toenam en al meer en meer de planeet naderde, zoodat hij berekende, dat bij dergelijke voortgaande uitbreiding, de ring in het jaar 2068 de planeet zou aanraken, en in 2800 geheel verdwenen zou zijn. Die berekening steunt echter op de metingen van den ring in vorige eeuwen gedaan, die echter te veel verschillen en te onvolmaakt zijn om er zulk een eindbesluit uit te trekken, zoodat Professor Kaiser, die de redeneringen van Struve gewikt en gewogen heeft, daarvan zegt, dat als men in aanmerking neemt de groote onzekerheid der metingen, op welke dat onderzoek van Struve rust, men in verzoeking komt om te twijfelen of de schoone overeenkomsten niet grootendeels aan het toeval moeten worden toegeschreven.

Wat de natuur van die ringen betreft, daarover is men tot geene voldoende verklaring geraakt, en men moet zich tot hypothesen bepalen. De gissing, dat de ring een vast lichaam is, de oude aequator van de planeet namelijk, waarvan deze, hetzij door afkoeling, of volgens Buffon, door de middelpuntvliedende kracht zich heeft afgescheiden, deze hypothese telt weinig aanhangers en is ook onwaarschijnlijk, daar de doorschijnendheid van den derden ring meer op eene gasachtige natuur schijnt te wijzen; de aanhangers van het stelsel der wereldvorming volgens Laplace willen, dat die ringen gasachtig zijn, en zoeken daarin dan een bewijs voor het stelsel van Laplace, maar het blijft eene bloote hypothese, zoodat de ééne gissing de grondslag is voor de andere. Sedert men in de laatste tijden opgemerkt heeft welk eene

belangrijke rol de luchtsteen (aërolithen) in ons zonnestelsel spelen, heeft men eene andere hypothese gemaakt, waarvan Cassini II de schepper is, en zouden die ringen zijn samengesteld uit een zwerm van kleine lichamen, die op elkander gedrongen, hunne omwentelingen om de planeet maken; om hunne kleinheid kan men ze niet onderscheiden, en om hunne nabijheid tot elkander, schijnen zij te zamen één lichaam uit te maken.

Onmogelijk is die gissing niet, alleen is er tot nu toe geen enkel feit voorhanden, dat voor bewijs kan gelden voor welke hypothese ook.

De omwentelingsas van Saturnus behoudt gedurende den omloop om de Zon dezelfde richting, evenzoo is het met de ringen. Omdat nu die ringen, evenals de aequator van Saturnus, een hoek met de ecliptica maken van ruim 29 graden, is het duidelijk, dat de Zon dan eens de eene en dan weder de andere zijde van dien ring beschijnt. Tweemaal gebeurt het nu in het lange Saturnusjaar, dat de Zon niet het plat maar juist den kant van den ring bestraalt; dan is de planeet in haar equinoxe, zooals wanneer bij ons de Zon de evennachtslijn of linie passeert.

Daaruit volgt dus voor de Aarde een verschillende stand van den ring, want dan eens zal die ring zich meer geopend vertoonen en dan weder meer gesloten, zoodat er zelfs twee tijdstippen komen, waarop de planeet met haren ring een stand inneemt, dat deze op eene rechte lijn gelijk, zoodat de dunne ring alleen voor kijkers van een sterk vermogen zichtbaar is, evenals de dunne zwarte schaduw welke hij op den bol werpt ¹.

Plaat XXXV, Fig. 2 maakt verdere verklaring over den stand van den ring overbodig.

Een tweede onderscheidend teeken van den rijkdom van het Saturnusstelsel is het achttal wachters, dat de planeet omgeeft, en dat zooveel verscheidenheid in de hemelverschijnselen oplevert. Hier laten wij de berekeningen volgen van hunnen afstand tot de planeet en de duur van hunnen omloop volgens Kaiser.

¹ In het jaar 1878 zal de ring zich als eene rechte lijn vertoonen, en de planeet zal te vinden zijn in het sterrenbeeld de Waterman; terwijl zij zich in het jaar 1872 in den Schutter bevindt, en slechts weinige graden boven den horizon rijst.

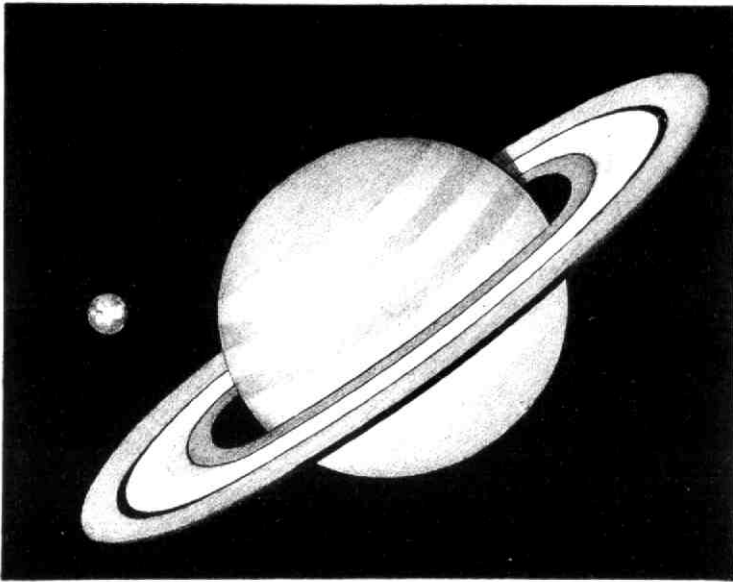


Fig 1. Saturnus en de Aarde.

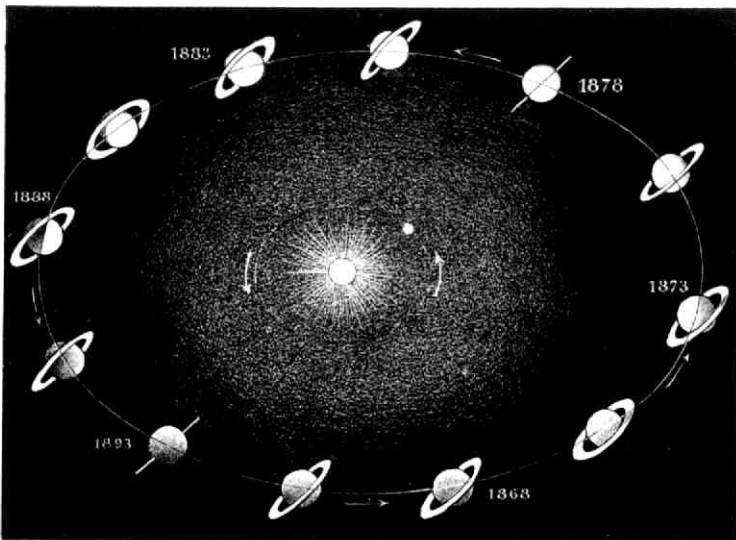


Fig 2 Verklaring der verschillende gestalten van den Saturnusring.

Recht: N. P. W. M. Drupe

	Middelb. afstand in Stralen d. planeet.	Geogr. mijlen.	Siderische omloopstijd in dagen.
I Mimas	2,37	20030	0,9419
II Enceladus . .	3,10	26161	1,3701
III Thetis	5,11	43094	1,8879
IV Dione	6,50	55619	2,7395
V Rhea	9,20	77672	4,5175
VI Titanus . . .	20,01	168866	15,9354
VII Hyperion . .	24,19	204135	21,18
VIII Japetus . .	62,19	524891	79,3292

De eerste vier wachters zijn dichterbij Saturnus dan onze Maan bij de Aarde is, de laatste is echter meer dan tienmaal verder dan onze Maan van zijne hoofdplaneet verwijderd, zoodat Saturnus zijne aantrekking nog uitoefent op een afstand van meer dan 520.000 geogr. mijlen.

De loopbanen dier wachters zijn geene cirkels maar ellipsen, de uitmiddelpuntigheid is van allen echter nog niet met juistheid bekend. De omloop dier wachters geschiedt zeer snel, en daarom volgen de schijngestalten elkander ook zeer spoedig op, zoodat Mimas in minder dan 12 uren van nieuwe maan tot volle maan aanwast; evenzoo geschieden de fasen der andere manen in twee tot 4 dagen, alleen de laatste wachter, Japetus, besteedt meer tijd om zijn omloop te volbrengen dan onze Maan. In het jaar 1845 maakte Herschel op de eigenaardigheid opmerkzaam, die er in den omloopstijd van verschillende Saturnuswachters bestond, namelijk dat de omloopstijd van den derden wachter gelijk is aan het dubbele van den omloopstijd van den eersten en de omloopstijd van den vierden gelijk aan het dubbele van dien van den tweeden; d' Arrest merkte nog eene andere eigenaardigheid op:

494	omloopen van de 1ste maan	=	465d. 18u.
340	" " " 2de "	=	465d. 18u.
247	" " " 3de "	=	465d. 18u.
170	" " " 4de "	=	465d. 18u.

De meesten dier Saturnuswachters zijn moeielijk te onderscheiden, en vorderen een geoefend waarnemer en een krachtigen kijker, en hieruit verklaart zich ook de zoo late ontdekking dier wachters.

Huygens ontdekte in 1655 Dione, terwijl Japetus eerst in 1848 door Bond en Lassell werd ontdekt.

Titanus is de grootste van allen, wiens middellijn men gemeten heeft; men schat deze op het zestiende gedeelte van die van den Saturnusbol, dat is meer dan de helft der middellijn onzer Aarde; deze wachter is dus veel grooter dan de planeten Mercurius of Mars.

Deze ringen en wachters moeten voor Saturnus een tal van verschijnselen opleveren, die van belangrijken invloed zijn op zijne dagen en nachten en op zijne jaargetijden. Naar hetgeen men op Aarde ziet gebeuren, begrijpt men het verschil en de ongelijkheid van dagen en nachten naar gelang de breedte op de planeet is; aan de beide polen en binnen den poolcirkel echter is die ongelijkheid het grootste, want vijftien van onze jaren straalt de Zon onafgebroken op de noordpool van Saturnus, terwijl de zuidpool gedurende dien tijd in een duisteren nacht is gehuld. In de volgende vijftien jaren geschiedt dit verschijnsel in tegenovergestelde orde; eene zware koude is noodwendig het gevolg van die zoo lange berooving der zonnestrallen, zoodat de polen met een breeden gordel sneeuw en ijs moeten bedekt wezen; men neemt dan ook eene witachtige streek bij de polen der planeet waar, wier helderheid afwisselend is, want die pool, die van de Zon is afgewend en dus winter heeft, bezit de helderste tint, evenals men bij de witte poolvlekken van Mars opmerkt. Maar bij den verbazenden afstand waarop Saturnus zich bevindt, verdwijnen alle physische bijzonderheden, en moet men zich enkel tot hypothesen bepalen.

Saturnus heeft zonder twijfel een dikken dampkring, vooral rondom zijnen aequator; men vindt een bewijs voor dien dampkring in de heldere banden, welke men op de schijf waarneemt, en die evenals bij Jupiter veroorzaakt worden door de terugkaatsing van het zonlicht op de onmetelijke wolkenmassa's, die door de snelle beweging der planeet zich ophoopen.

De meer duistere banden wijzen op eene heldere lucht, waardoor men op de minder terugkaatsende oppervlakte der planeet ziet.

De spectraalanalyse levert een ander bewijs voor dien dampkring. Volgens Huggins was het spectrum van Saturnus zeer zwak, hoewel hij er toch strepen in ontdekte, overeenkomende met die in het spectrum van Jupiter. In het spectrum, dat hij nam van de ooren van den ring (dat zijn die gedeelten, welke ter weerszijden van de planeet uitsteken), vond hij die strepen minder sterk geteekend, en

beweest, dat de dampkring om den bol sterker was dan om den ring.

Janssen vond in het spectrum vele strepen, die waterdamp aanduiden. Ook vond Secchi eene groote overeenkomst in de spectra van Jupiter en Saturnus, echter vond hij strepen in dat van Saturnus, die volstrekt niet overeenkwamen met de absorbtiestrepen van onzen dampkring, zoodat hij er uit besloot dat de dampkring van Saturnus gassen bevat, welke in den onzen niet gevonden worden.

Chacornac heeft bij den overgang van een der wachters over de schijf van Saturnus eene merkwaardige waarneming gedaan, namelijk, dat de randen der schijf veel lichtgevender zijn dan het centrum der planeet; bij Jupiter (zie bladz. 210) heeft juist het tegendeel plaats.

Om een goed begrip te krijgen over de verschijnselen, welke het Saturnusstelsel bij dag en bij nacht aan den hemel te weeg brengt, moeten wij ons in gedachten eens verplaatsen op Saturnus.

Wanneer wij van eene der polen naar den aequator wandelen, hebben wij tot op 63 graden breedte die streken doorloopen, waar de driedubbele ring nooit zichtbaar is. Alleen rijzen de verschillende wachters boven den horizon, en schenken ons den aanblik van hunne snel veranderende schijngestalten.

Van af dit punt van 63 graden begint het ringenstelsel zichtbaar te worden; maar alleen in de lente en in den zomer voor de planeet, beschijnt de Zon de vlakke zijde, die naar de pool gekeerd is, vanwaar wij komen, en des nachts kaatst het licht van den ring op de planeet terug; gedurende den dag is het schijnsel van dien reusachtigen boog, die zich meer of minder boven den horizon verheft, zeer zwak, en gelijkt op onze Maan, wanneer zij bij vollen dag zichtbaar is.

Naarmate wij meer den aequator op Saturnus naderen, rijst die boog hooger boven den horizon, zoodat wij op 45° breedte de beide ringen met hunne splitsing boven den horizon zien rijzen, maar naarmate de ringen in hun geheel zichtbaar worden, neemt door den schuinen stand, welken wij met betrekking tot die ringen innemen, hunne breedte af, zoodat wij op den aequator slechts een smalle band waarnemen, die zich door het zenith van het oosten naar het westen uitstrekt.

Plaat XXXVI, Fig. 2 geeft ons een denkbeeld van dien ring te

middernacht, wanneer de planeet hare schaduw juist op het midden van den ring werpt. In de andere uren van den nacht is de stand van die schaduw geheel verschillend; want als de Zon voor de planeet in het westen ondergaat, bedekt de schaduw den oostkant van den ring en loopt zoo naar het westen, als de Zon weer opkomt.

Voeg nu bij het vreemde schouwspel, dat zulk een ring oplevert, een tal van manen, waarvan eenigen vol zijn, anderen wassende en weder anderen afnemende, dan eerst begrijpt men de groote verscheidenheid der Saturnusnachten.

In die streken echter, waar het op de planeet wintertijd is, is de ring niet zichtbaar, omdat hij door de Zon bestraald wordt, juist aan die zijde, welke van die winterstreken is afgekeerd; alleen des nachts ziet men een zwarte band langs den hemel loopen, die alle sterren in die streek bedekt. De dagen van den wintertijd genieten echter een verschijnsel, dat allerszonderlingst is. Omdat de ring met de planeet omwentelt, ondergaat de Zon telkens langdurige verduisteringen, doordien zij achter den ring verdwijnt. Soms schiet zij hare stralen weder door de splitsing heen van den ring, om spoedig op nieuw achter den tweeden ring te verdwijnen. Op 23° breedte hebben de langdurigste zonsverduisteringen plaats. Volgens den stand der Zon volgen die verduisteringen elkander met kortere tusschenpoozen op, en voor sommige gedeelten van Saturnus blijft zelfs de Zon gedurende verscheidene dagen verduisterd. Hoe dichter bij den aequator of bij de polen hoe korter de verduisteringen. Hoewel die eclipsen eene groote duisternis veroorzaken, is deze toch niet volslagen, want door den dampkring heerscht er toch eene soort van schemerlicht.

Wanneer wij ons met de gedachten op de platte zijde van den ring verplaatsen, wordt het schouwspel dat wij zien geheel anders.

Vooreerst heerscht er beurtelings vijftien jaren nacht en vijftien jaren dag. Maar gedurende het tijdperk van verlichting wordt elke tien en een half uur de Zon verduisterd, omdat zij door de wenteling van den ring achter den bol van de planeet verdwijnt; gedurende den vijftienjarigen langen nacht wordt de ring verlicht door het halfrond van Saturnus, hetwelk dan voor den ring in de zonnestrallen schittert, want in ieder tien en een half uur vertoont zich de schijf van Saturnus onder al de schijfgestalten van onze Maan, en dat met eene schijf wier middellijn bijna 40 maal grooter is dan die der Maan (zie

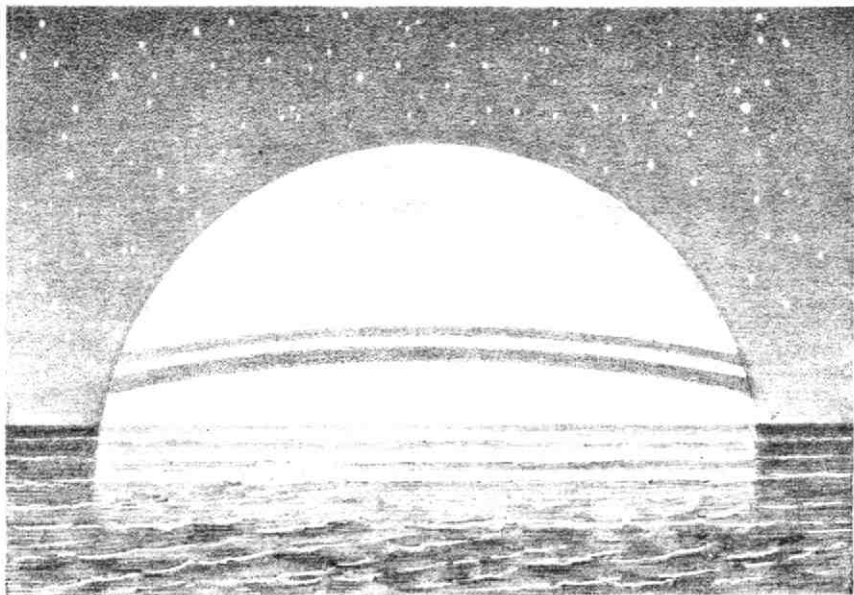


Fig. 1. Saturnus mit den ring gezien.

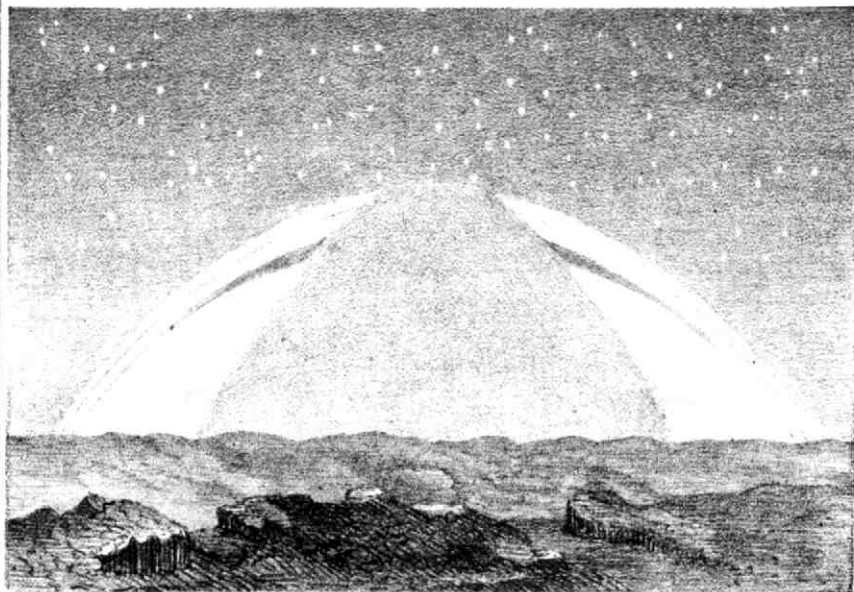


Fig 2. De ring mit Saturnus gezien op het tijdstip tusschen de equinoxen en de solstitien.

Pl. XXXVI Fig. 1). Op die schijf vertoont zich een duistere schaduwband, gescheiden door eene lichtende en heldere streep, de schaduw namelijk van de beide ondoorzichtige ringen, ¹ terwijl andere donkere en heldere banden den bol van de planeet of de wolken in haren dampkring toonen.

Welk een groot aantal zons- en maansverduisteringen leveren die acht wachters voor de planeet op. Die verschijnselen kunnen van onze Aarde worden waargenomen, maar vereischen telescopen van een uitstekend vermogen, zoodat zij voor ons dat nut niet opleveren, dat wij aan de verduisteringen der wachters van Jupiter te danken hebben.

¹ In onze afbeelding hebben wij den ring voorgesteld als vloeibaar. Zulks is echter eene bloote hypothese, waarvoor geene gegronde bewijzen zijn aan te halen. Peirce, een Amerikaansch sterrenkundige, wilde zulks beweren om de tijdelijke en niet blijvende splitsingen in den ring uit te leggen. Het blijft echter eene bloote gissing, onbewezen, hoewel niet onmogelijk.

IX.

URANUS. Ψ

§ 1. Ontdekking van Uranus. — Vorm en afmeting zijner loopbaan. — Schijnbare en ware afmetingen. — Wachters der planeet, helling hunner loopbanen en richting hunner beweging. — Massa, dichtheid en zwaarte op de oppervlakte.

Met uitzondering der planetoïden en der wachters van Jupiter en Saturnus, behoorden de hemellichamen, welke wij reeds beschouwd hebben, tot de aan de ouden bekende zonnewereld, en de grenzen van het bekende planetenstelsel strekten zich niet verder uit dan tot aan Saturnus. Aan een bekwaam waarnemer van lateren tijd was het gegeven op te merken, dat de kring, waarin de Zon hare werking doet gevoelen, zich nog verder uitstreckte.

William Herschel ontdekte den 13 Maart van het jaar 1781 des avonds omstreeks ten tien ure eene nieuwe planeet, Uranus genoemd. Toen hij met zijn teleskoop het sterrenbeeld de Tweelingen waarnam, ontdekte hij eene ster, wier middellijn zijne aandacht trok; toen hij bemerkte, dat zij zich verplaatste, zag hij haar eerst voor eene komeet aan; de streng meetkunstige Laplace bewees echter, dat de nieuw ontdekte ster eene planeet was, die hare baan had buiten dien van Saturnus.

Arago verhaalt, dat Le Monnier reeds verscheidene malen vóór Herschel de planeet gezien had, en haar ook als zoodanig had erkend; maar zijne dagboeken waren in zulk een chaotischen toestand, dat er weinig bepaalds uit op te maken was, zoodat Arago zegt, dat het blad, waarop hij eene waarneming van Uranus vond geschreven, vroeger gediend had om haarpoeder te bewaren.

Herschel gaf aan de nieuw ontdekte planeet den naam van zijnen koninklijken beschermer Georgius III, en noemde haar Georgium Sidus. Bode gaf haar echter den naam, welken zij thans nog draagt, Uranus.

Uranus schittert als eene ster van de zesde en zevende grootte, en is volgens zijnen afstand soms voor het ongewapend oog zichtbaar; die kleinheid is echter betrekkelijk, en komt voort uit den verbazenden afstand, waarop die planeet zich van onze Aarde bevindt, en uit het zwakke licht, dat zij van de Zon ontvangt, want beschouwt men haar met een sterk vergrootenden kijker, dan teekent zich de cirkelvorm van hare schijf scherp af, zoodat men hare schijnbare middellijn meten kan.

De baan, welke zij om de Zon beschrijft, omvat de loopbaan der Aarde zoo ver, dat het onmogelijk is eenige schijngestalte op de schijf waar te nemen, zoodat zij ons immer haar verlicht halfmond toekeert.

Haar loopbaan is geen cirkel, maar evenals die der andere planeten eene ellips, zoodat haar afstand tot de Zon ook op de verschillende punten van hare baan verschillend is.

Haar omloop duurt ongeveer 84 van onze jaren, of nauwkeuriger 84 jaren 26 dagen 19 uren en 42 minuten.

In het perihelium is de planeet 378 millioen geogr. mijlen van de Zon verwijderd, maar in het aphelium 424 millioen, zoodat haar afstand een verschil oplevert van 46 millioen mijlen. Haar afstand tot de Aarde levert nog grooter verschil op, en is het grootst, wanneer de planeet in conjunctie met de Zon is; dan staat de Zon tusschen de Aarde en Uranus, en haar afstand bedraagt 436 millioen mijlen, terwijl tijdens de oppositie die afstand toch nog 357 millioen mijlen groot is. Uit dit verschil in afstand blijkt, dat de schijnbare middellijn ook grooter of kleiner zal wezen. Deze bedraagt op middelbaren afstand 4"; daaruit nu heeft men de ware middellijn berekend, en begroot men die op 8226 geogr. mijlen, volgens Littrow; Mädler echter geeft 7500 mijlen, welke opgave ook die van Kaiser is.

De sterrenkundigen zijn het niet eens of de Uranusbol zuiver rond of aan de polen afgeplat is. Herschel beweerde de afplatting, en Mädler bepaalde die in het jaar 1842 op $\frac{1}{100}$, hetgeen eene snelle omwentelingsbeweging zou aanduiden; andere astronomen, zooals

Otto Struve, konden volstrekt geene afplatting waarnemen, daar door is echter niet bewezen, dat de opgaven van Herschel en Mädler niet goed zijn; want als men vooronderstelt, dat de aequator overeenkomt met de loopbaan van de wachters der planeet, zooals wij bij Saturnus en Jupiter waarnemen, dan begrijpen wij, dat de stand van de planeet zoodanig kan wezen, dat men soms de afplatting kan waarnemen en soms ook niet, want dan ligt de omwentelingsas bijna geheel op het vlak van de eeliptica; wanneer dus die as naar de Aarde is gericht, zien wij recht op de pool der planeet, en eene waarneming der afplatting is onmogelijk, maar heeft de planeet een stand zoodanig, dat wij recht op haren aequator zien, dan is de afplatting, wanneer zij bestaat, merkbaar.

Wegens den grooten afstand, waarop de planeet zich bevindt, is hare verplaatsing aan het hemelruim voor ons oog zeer gering, want in een geheel jaar verplaatst zij zich slechts $4^{\circ} 17' 35''$, zoodat de late ontdekking dier planeet vooral ook aan die omstandigheid is te wijten ¹.

Evenals bij de andere buitenplaneten, doen zich bij haar dezelfde verschijnselen voor, zoodat zij voor- en achterwaartsche bewegingen schijnt te maken, welker verklaring overbodig is hier nogmaals te geven.

Uranus is het middelpunt van een gansch wereldstelsel, evenals Saturnus, want vier wachters loopen om hem langs banen, die bijna loodrecht staan op zijne eigene loopbaan, en die wachters vergoeden gedurende den nacht het zwakke zonlicht van den dag, want de Zon heeft, uit Uranus gezien, eene oppervlakte 370 maal kleiner dan uit de Aarde (vergelijk Plaat II); de warmte en de lichtkracht, welke Uranus ontvangt, is dus 370 maal minder dan die, welke onze Aarde geniet.

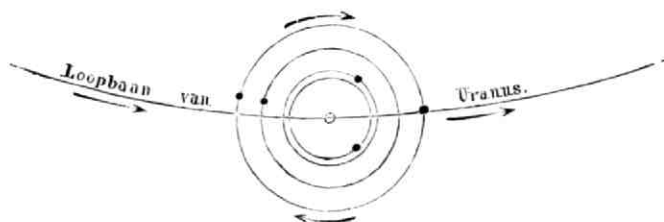
Over het getal dier wachters is onder de sterrenkundigen groot verschil. Herschel meende er zes te ontdekken; latere ontdekkers hebben dat getal tot op acht willen brengen, maar de bekwame Lassell

¹ Uranus is in het jaar 1872 te vinden in het sterrenbeeld de Kleine Hond, een tiental graden ongeveer ten oosten van de heldere ster Procyon. In Jan. is hij het best waar te nemen, omdat hij dan het dichtst bij de Aarde is; want den 19 Jan. is hij in oppositie, den 24 Juli daarentegen in conjunctie. Tot op den 4 April is zijne beweging retrograde, en van dat tijdstip tot op den 11 Nov. is zij wederom recht; maar van den 10 Nov. 1871 tot op den 8 April 1872 neemt hij de schijnbare retrograde beweging weder aan.

heeft op Malta met uitstekende werktuigen en onder de gunstigste omstandigheden er niet meer dan vier kunnen waarnemen, wier afstand en duur van omloop wij hier geven:

	Afstand in stralen van Uranus.	Afstand in Geog. mijlen.	Duur van hunnen omloop.
1. Ariël	7,40	27735	2 d. 12 u. 29 min. 20,7 sec.
2. Umbriël	10,33	38727	4 „ 3 „ 28 „ 7,5 „
3. Titania	16,97	63650	8 „ 16 „ 56 „ 25,6 „
4. Oberon	22,65	84940	13 „ 11 „ 6 „ 55,4 „

De baan van deze wachters heeft, vergeleken met de baan van de wachters der overige planeten eene groote bijzonderheid; deze maken met de loopbaan der hoofdplaneet een meerderen of minderen grooten hoek, maar de banen van de wachters van Uranus staan bijna loodrecht op de baan hunner hoofdplaneet (zie onderstaande figuur), en die wachters volbrengen hunnen loop in eene richting, geheel en



(Fig. 23.) Stelsel der Uranuswachters.

al tegenovergesteld aan de richting van de wachters der overige planeten. Professor Kaiser zegt echter, in zijne verklaring van den sterrenhemel, dat men niet zeggen kan, dat zij zich van het westen naar het oosten of van het oosten naar het westen bewegen, evenmin als men de beweging van een lichaam, dat bijna loodrecht op den grond valt, bepaaldelijk naar deze of gene streek van den horizon kan noemen.

Om het verschil, dat men in de lichtkracht dier wachters meende waar te nemen, en tevens uit de overeenkomst, wilde men tot eene omwenteling besluiten, echter blijft dit om den grooten afstand tot het rijk der hypothesen behooren. Evenmin heeft men iets kunnen waarnemen van hunne overgangen over de schijf of hunne dompeling in den schaduwkegel, hoewel het zeker is, dat zij dezelfde verschijnselen te weeg brengen als op Jupiter.

Wat de physische samenstelling van Uranus betreft, ook op dit punt blijft de waarneming in gebreke, daar op zulk een afstand geene enkele bijzonderheid der planeet is waar te nemen. Astronomische berekeningen geven ons alleen de massa der planeet aan, en stellen die op 17 maal die onzer Aarde, zoodat haar inhoud en omvang in acht nemend, men hare dichtheid stelt op iets meer dan water, namelijk op die van ijs.

Wanneer het waar is, dat de omwentelingsas van Uranus bijna evenwijdig ligt met het vlak van zijne loopbaan, dan brengt dit op zijne oppervlakte vreemde verschijnselen te weeg. Het verschil van klimaat voor de verschillende breedtestreken valt geheel weg, alleen het onderscheid in de jaargetijden is zeer groot. De Zon staat in den zomertijd lang en onbeweeglijk in het zenith van de pool, terwijl de wachters zich jaren lang in eene schijngestalte van eerste of laatste kwartier bevinden, want dan alleen kan het volle of nieuwe Maan zijn, wanneer de Uranuspool de Zon aan den horizon ziet staan.

Hoe weinig men ook van die planeet weet, gaf zij toch aanleiding om den hoogsten triomf der sterrenkundige wiskunde te vieren, door de berekening en ontdekking eener ultra-uranische planeet, welke wij thans zullen beschouwen.

X.

NEPTUNUS. Ψ

§ 1. Geschiedenis en verklaring der ontdekking. — Afstand. — Schijnbare en ware afmetingen. — Massa en dichtheid. — Wachter van Neptunus.

De ontdekking van de planeet Neptunus levert eensdeels het bewijs wat de scherpzinnigheid des menschen vermag, en anderdeels is die ontdekking eene schitterende openbaring van de nauwkeurigheid der nieuwere astronomische stelsels en berekeningen.

Wegens den verbazenden afstand, waarop Neptunus zich op zijne loopbaan beweegt, want zijn middelbare afstand is ruim dertig maal verder van de Zon dan onze Aarde, en hij heeft 165 van onze zonnejaren noodig om die baan rond te loopen, wegens dien afstand heeft men weinige gegevens aangaande die planeet. Wij zullen dus de zoo merkwaardige ontdekking eenigszins uitgebreid verklaren, vooral de wijze, die tot grondslag diende voor die ontdekking.

Reeds op het einde der vorige eeuw werd vaak de vraag geopperd of Uranus wel de laatste planeet van ons zonnestelsel was, zoo bijv. leest men in het astronomisch zakboek van Jacobi voor 1802: "Ophion, de laatste planeet voorbij Uranus, is 780 millioen geogr. mijlen van de Zon verwijderd, en heeft voor zijnen omloop 250 jaar noodig, hij is echter nog niet ontdekt."

Cacciatore meende in Mei 1835 in het sterrenbeeld de Maagd die nieuwe planeet ontdekt te hebben, hetgeen echter eene dwaling bleek te zijn.

Tot nu toe gebruikte men steeds de wijze, welke wij (bladz. 200) reeds verklaard hebben, sprekende over de ontdekking der planetoiden,

thans sloeg men een geheel anderen, en wel een theoretischen weg in. Vroeger berekende men uit de verschillende elementen der planeten en uit hunne massa's de storingen, of met andere woorden, welken invloed de planeten op elkander hadden, waardoor er kleine veranderingen op hunne baan plaats grepen; nu echter berekende men juist omgekeerd uit de storingen, welke men in de baan van Uranus waarnam, de elementen der nieuwe onbekende planeet, waaraan men die storingen toeschreef.

Conti en Delambre berekenden het eerst volledige tafels voor Uranus, die tot op het jaar 1811 met de waarnemingen op de planeet gedaan, en met de juiste plaats aan den hemel, waar zij stond, overeenkwamen, maar van toen af nam men een groot verschil waar.

Bouvard maakte in 1821 nieuwe tafelen, waarin de storingen, welke de bekende planeten op de baan van Uranus konden uitoefenen, berekend waren, en toch was er groot verschil tusschen de berekening en de waarneming, zoodat men op het vermoeden kwam, dat er eene onbekende kracht op de beweging van de planeet invloed had, en zelfs opperde Eugène Bouvard, neef van den bovengenoemden, in 1837, in een brief aan Airy, het vermoeden, dat de storingen op de baan van Uranus wellicht veroorzaakt werden door eene verder omloopende planeet.

In 1842 stelde de Academie van wetenschappen als prijsvraag eene nieuwe bewerking der Uranus-theorie.

In den zomer van 1845 begon Leverrier de bewerking der Uranus-theorie, waartoe hij verplicht was de volgende opgaven op te lossen:

1. Nieuwe en nauwkeurige berekeningen over de storingen, welke Jupiter en Saturnus op de baan van Uranus konden uitoefenen.

2. Herleidingen van 19 oudere en 262 nieuwere meridiaanwaarnemingen, gedaan te Parijs en te Greenwich, en hunne vergelijking met de vooronderstelde theorie van de storingen, door Jupiter en Saturnus veroorzaakt.

3. Het bewijs dat, volgens die vooronderstelling, berekening en waarneming niet overeenstemmen, en alleen overeenstemming te vinden is door de aanname van eene buiten Uranus zich bevindende planeet.

4. Uit de storingen van Uranus de elementen dier onbekende planeet te berekenen.

5. Het bewijs, dat in de vooronderstelling dier transuranische planeet, en dus van de storingen, welke zij veroorzaakt, berekening en waarneming met elkander overeenstemmen.

Leverrier leverde, met bewonderenswaardige scherpzinnigheid, het bewijs dezer vraagstukken. Nadat de storingen berekend en de waarnemingen scherp en nauwkeurig waren gereduceerd, vond hij toch nog een verschil tussehen 4" en 20", veel te groot om zulks aan onnauwkeurigheden te kunnen toeschrijven. Nu maakte Leverrier in Juni 1846 aan de Parijsche Academie bekend, dat hij het bestaan van eene planeet, verder dan Uranus, durfde vaststellen, en daardoor alleen kon dan het waargenomen verschil verklaard worden.

De wet van Titius was hem eene aanwijzing om bij benadering den middelbaren afstand tot de Zon te bepalen, en nu stelde Leverrier de verschillende elementen dier onbekende planeet vast, wees de plaats aan den hemel, waar zij te vinden moest zijn, en verzocht aan den Berlijnschen sterrenkundige Galle, de planeet ter aangewezenen plaats te zoeken.

Den 23 Sept. 1846 ontving Galle den brief van Leverrier, en vond denzelfden avond, met hulp der nauwkeurige Berlijnsche sterrenkaarten, de door Leverrier berekende planeet, niet verre van de aangeduide plaats.

Vroeger had een Engelsch geleerde, Adams, in Cambridge, dezelfde berekeningen gemaakt, en ze in September 1845 reeds aan Airy opgezonden; er was echter geene openbaarheid aan gegeven, hoewel Challis den 4 Augustus 1846 de planeet reeds ontdekt had, zonder haar evenwel als zoodanig te erkennen.

Het bestek van dit werk veroorlooft niet in meerdere bijzonderheden te treden. Om uitspraak te kunnen doen over den voorrang der ontdekking van Neptunus tussehen Leverrier en Adams, verwijzen wij naar den heerlijken arbeid van den Hoogleraar Kaiser: *De geschiedenis der ontdekkingen van Planeten*. Wij kunnen ons niet onthouden de schoone woorden van den vaderlandschen geleerde tot de onzen te maken, als hij schrijft: "Door deze ontdekking wordt niet uitsluitend een Bessel of een Adams of een Leverrier vereerd, zij vereert den menschelijken geest, die in haar proeven gaf van zijn vermogen, en zijn hoogen oorsprong staafde. Huldigen wij alzoo mannen, die ons in de geheimenissen der schepping hebben ingewijd. Vereeren wij hen, die met moeite en zorgen den akker der wetenschap bezaai-

den en besproeiden, maar miskennen wij de Godheid niet, die ook aan haar den wasdom heeft gegeven.

Hier volgen nu de elementen der Neptunusbaan, theoretisch volgens Leverrier en Adams, en die volgens Newcomb, welke hij berekend heeft volgens alle op de nieuwe planeet gedane waarnemingen:

	Leverrier.	Adams.	Newcomb.
Halve groote as der baan	36,1539	37,24	30,0705
Uitmiddelpuntigheid	0,10761	0,120615	0,0084962
Lengte van het perihelium	284° 45' 8"	299° 11'	43° 17' 30",30
Helling	—	—	1° 47' 1",66
Lengte van den klim. knoop	—	—	130° 7' 31",83
Massa	$\frac{1}{9322}$	$\frac{1}{6667}$	$\frac{1}{21000}$
Middelbare lengte	318° 47' 4"	323° 2'	335 6' 38",91
Epoche	1847 Jan. 1.	1846 Oct. 6.	1850 Jan.

Wanneer wij den blik slaan op bovenstaande tabel, dan is het verschil tusschen de theoretisch gevondene elementen en de uit de waarneming berekende zoo groot, dat men geneigd is te betwijfelen of inderdaad Neptunus niet eerder door het toeval dan wel door de berekening gevonden is.

Die twijfel heeft echter geen grond, want het kwam voornamelijk daarop aan, de plaats aan den hemel te bepalen; de verdere baan-elementen konden niet anders dan bij benadering berekend worden. Mannen als Herschel, Airy, Arago, Jacobi, Kaiser hebben dan ook nooit eenigen twijfel gekoesterd over de theoretische ontdekking der planeet, zoodat de macht der astronomische berekening daardoor in een schitterend licht wordt geplaatst, en de wet van Newton over de zwaartekracht een nieuw bewijs erlangt.

De wet van Titius echter kan op de nieuw ontdekte planeet niet worden toegepast. Volgens die wet moest de afstand der planeet zijn 388, als men dien onzer Aarde tot de Zon op 10 stelt; maar de waarneming geeft aan 300, dus een veel korter afstand, en dit is een bewijs dat, zooals wij vroeger beweerden, zij geene wet is op wetenschappelijke gronden steunende, maar alleen een hulpmiddel voor het geheugen.

Neptunus is voor het bloote oog onzichtbaar, en zelfs in machtige telescopen vertoont hij zich als eene ster van de achtste grootte. Zijne schijnbare beweging langs het hemelruim is uiterst langzaam, want

in een gansch jaar verplaatst hij zich slechts $2^{\circ} 10' 18''$. Zijne ware snelheid, waarmede hij zich op zijne baan beweegt, bedraagt 5629 meters iedere seconde, dus 5 en een half maal langzamer dan de beweging onzer Aarde op hare baan. Hij gebruikt bijna 165 jaar om die baan rond te loopen, en daar de excentriciteit zijner baan zeer gering is, verschilt de afstand tot de Zon in zijn aphelium en perihelium 11,43 millioen geogr. mijlen; zijn middelbare afstand is 625 millioen mijlen. De afstand tot onze Aarde levert grooter verschil op; in het tijdperk van conjunctie¹ met de Zon is die afstand het grootst, en bedraagt 648 millioen mijlen, maar als hij in oppositie met de Zon is, zijn wij de gansche middellijn der aardsche loopbaan dichter bij hem genaderd, en wel tot op een afstand van 594 millioen mijlen.

Men heeft op de schijf van Neptunus geen spoor van afplatting kunnen waarnemen, evenmin als eenige vlek om den duur der omwenteling te kunnen bepalen, zoodat deze onbekend is.

De ware afmetingen der planeet zijn echter belangrijk, zoodat Neptunus in grootte de derde planeet is. Zijne middellijn is bijna vijfmaal grooter dan de middellijn onzer Aarde, en meet 7653 geogr. mijlen, terwijl zijne oppervlakte die van onze Aarde bijna 20 maal overtreft.

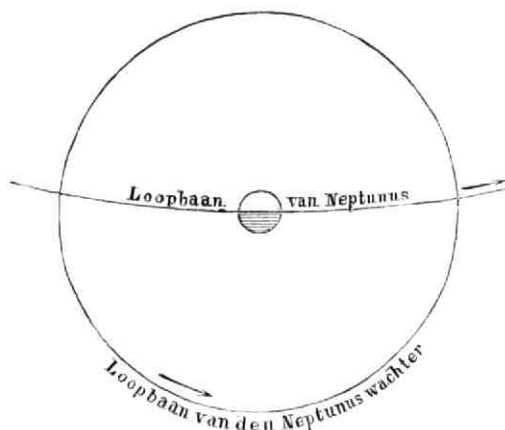
Wanneer wij den blik nog eens slaan op Pl. II, zien wij hoe gering de schijnbare afmeting der Zon is uit Neptunus gezien; op zulk een afstand ontvangt de planeet slechts het duizendste gedeelte van het licht en de warmte, waardoor onze Aarde wordt bestraald; omdat wij echter niets weten over de physische toestanden der planeet, kunnen wij er hoegenaamd geen besluit uit trekken.

Neptunus loopt niet eenzaam door het ruim des hemels, maar wordt op zijne lange reis door éenen wachter vergezeld, ongeveer op denzelfden afstand als onze Maan zich van de Aarde bevindt.

Lassell die dezen wachter ontdekte, meende later er nog een waar te nemen, maar daar men dezen tweeden niet meer heeft waargenomen, blijft zijn bestaan nog een onopgelost vraagstuk;

¹ Den 13 April 1872 is de planeet in conjunctie met de Zon en den 17 Oct. in oppositie; evenzoo den 15 April 1873 en den 19 Oct. 1873. Hare beweging is recht tot op de helft van Augustus, waarna hare schijnbare beweging retrograde is tot in het begin van Januari 1873. Hare plaats aan den hemel is in het sterrenbeeld de Visschen, dicht bij het sterrenbeeld de Ram.

hoewel het volstrekt niet onmogelijk is, dat Neptunus nog meerdere niet ontdekte wachters heeft. Evenzoo heeft men gemeend bij Neptunus een ring te ontdekken gelijk Saturnus bezit, maar het is meer



(Fig. 24.) Loopbaan van den Neptunuswachter.

dan waarschijnlijk, dat optisch bedrog er de oorzaak van was, want ook bij Uranus meende men in den beginne zulk een ring waar te nemen, hetgeen echter later als eene dwaling werd erkend. De Neptunuswachter loopt in 5 dagen 21 uren 4 min. 9 sec. om zijne hoofdplaneet, en daar zijne baan een cirkel is, heeft dit aan de sterrenkundigen gelegenheid gegeven de massa van de planeet te berekenen, welke men gelijkstelt met het 20000^{ste} gedeelte der zonnemassa en met 18 maal de massa van onze Aarde; daaruit tot de dichtheid besluitende verkrijgt men deze bijna vijfmaal minder dan die der Aarde, en met water als eenheid vergeleken staat zij gelijk met 1,15, ongeveer dus de dichtheid van Jupiter, overeenkomende met de dichtheid van barnsteen, iets meer dan zeewater en iets minder dan steenkool.

Aan het einde van onze beschouwing over de bekende planeten doen zich een paar vraagstukken op, welke wij in een kort overzicht van het geheel willen behandelen.

Met de planeet Neptunus eindigt voor ons de kennis van ons planetenstelsel, de kring echter waarbinnen de Zon haar invloed en hare aantrekkingskracht doet gevoelen, strekt zich veel verder uit, daarvan zal het volgende boek ons overtuigen, wanneer wij de kometen zullen behandelen; al die andere lichamen, welke ons planetenstelsel in verschillende richtingen doorkruisen, verschillen echter, zoowel wat de elementen van hunne baan als hunne physische samenstelling betreft zoozeer met de hemellichamen, welke wij behandeld hebben, dat het noodig is dezelve in eene afzonderlijke groep te rangschikken en te beschouwen.

dan waarschijnlijk, dat optisch bedrog er de oorzaak van was, want ook bij Uranus meende men in den beginne zulk een ring waar te nemen, hetgeen echter later als eene dwaling werd erkend.

De Neptunuswachter loopt in 5 dagen 21 uren 4 min. 9 sec. om zijne hoofdplaneet, en daar zijne baan een cirkel is, heeft dit aan de sterrenkundigen gelegenheid gegeven de massa van

Voordat wij de eigenlijk gezegde planetenwereld verlaten, willen wij een enkel woord zeggen tot beantwoording eener vraag, die dikwijls gedaan wordt. Is Mercurius de eerste en Neptunus de laatste planeet? Loopen er tusschen de Zon en Mercurius wellicht nog verscheidene planeten, welke wij om de nabijheid van dien stralenden lichtkogel niet kunnen waarnemen, en bestaan er verder dan Neptunus ook nog planeten, welke om hunnen afstand en hunne uiterst langzame verplaatsing aan het hemelruim voor ons onopgemerkt blijven?

De wetenschap blijft op deze vraag tot nog toe het antwoord schuldig. Het bestaan van planeten tusschen de Zon en Mercurius, *intra-mercurialen* genaamd, is niet onmogelijk, en zooals wij (bladz. 9) reeds opmerkten, meende men in 1859 zulk eene planeet te ontdekken; tot nu toe zijn echter alle pogingen om die binnenplaneet waar te nemen vergeefs, hoewel de geleerde Leverrier de onregelmatigheden in den loop van Mercurius aan den storenden invloed van zulk eene planeet toeschrijft. Nu in onze dagen de zonnescijf het voorwerp is van zoovele waarnemingen, mag men de hoop koesteren, dat, zoo Vulcanus werkelijk bestaat, men die planeet bij eene van hare overgangen zal terugvinden.

Evenzoo is het met het bestaan van planeten nog verder dan Neptunus van de Zon verwijderd, *extra-neptunianen* genaamd; de ontdekking van zulk eene planeet blijft hoogst moeielijk, maar volstrekt niet onmogelijk.

De middelbare afstand van Neptunus is, zooals wij zagen, 625 milioen mijlen, en de komeet van 1811 was in haar aphelium 1700 mijlen van de Zon verwijderd en werd nog door deze in hare baan gehouden; op dien afstand kunnen wij dus nog eene planeet denken, welke om de Zon loopt.

Deelt men den afstand van de naastbijzijnde vaste ster tot de dichtstbijzijnde Zon buiten ons stelsel, in gelijke helften, dan strekt zich het gebied van onze Zon 2,000000'000000 geogr. mijlen uit, en de wet van Titius volgende, zou men 5 of 6 planeten verder dan Neptunus loopt, kunnen denken.

Wanneer wij, om onze verbeelding ter hulp te komen, in de gedachte aan de uitgestrektheid van ons planetenstelsel, de loopbaan van Neptunus beschouwen, die ons gansche stelsel insluit, welk een uitgestrekt veld opent zich dan aan onzen geest. Neptunus is 30 maal verder van de Zon verwijderd dan onze Aarde, zoodat de

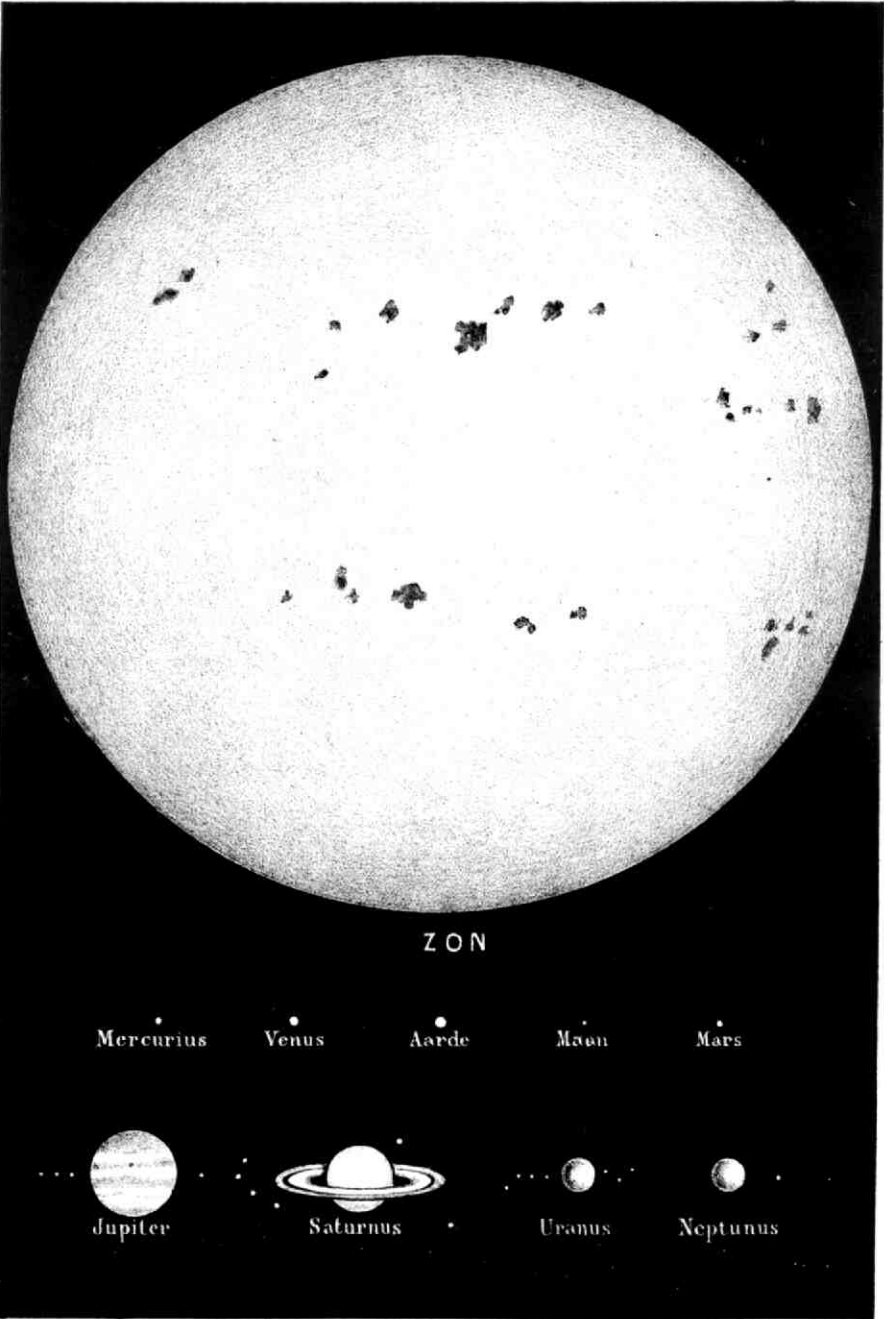
gansche middellijn van de Neptunusbaan 1200 millioen geogr. mijlen lang is. Het licht zou 8 uren 17 min. noodig hebben om die ruimte te doornvliegen; een kanonskogel, die steeds dezelfde snelheid van 500 meters in de seconde behield, zou 570 jaar noodig hebben om dien weg te maken.

Wanneer al de stof, waaruit de Zon en al de planeten met hunne manen bestaan, gelijkelijl in dien reusachtigen ring verdeeld was, zou het waterstofgas, dat de minst dichtste der bekende gassoorten is, toeh nog 400 millioen maal dichter wezen. En toeh de Zon beheerscht door haar invloed die verbaZende ruimte. Zij zelve is 600 maal grooter dan al de planeten met hunne wachters te zamen. Plaat XXXVII, waar die betrekkelijke grootte is afgebeeld, zal onze verbeelding ter hulp komen. Wat is daarmede vergeleken onze gansche Aarde, die op zich zelve beschouwd onze verwondering reeds opwekt, want, zooals wij vroeger reeds opmerkten, bedraagt haar inhoud 2659 millioen kubiek mijlen, en iedere kubiek geogr. mijl bevat 406,000 millioen kubiek meters. Wanneer een metselaar op een dag twee kubiek meters konde metselen, zouden een millioen werklieven toeh nog 600 jaar noodig hebben, om één kubiek mijl op te trekken.

Wanneer wij zoo den blik slaan op die wondervolle groote wereldbollen, die in wijde kringen om het middelpunt van ons stelsel loopen, blijft de menshelijke geest niet uitsluitend in bewondering verzonken, maar men verplaatst zich met zijne gedachten op die hemellichamen, en allerlei vragen dringen zich aan ons op. Zijn het levenlooze massa's of zijn het werelden, bevolkt met wezens, in staat om te denken en te gevoelen; of is onze Aarde alleen het verblijf van alles wat in het heelal leven heeft ontvangen?

Wetenschap noeh openbaring heeft op de vraag naar de planetenbewoners het antwoord gegeven, zoodat het eene hypothese blijft, die, hoe ook beschouwd, hare moeielijkheden maar ook hare schijngronden heeft.

Zonder ons verder in te laten met zekere dwaze droombeelden, waarvan de anders zoo bekwame Louis Fignier ons dit jaar in zijn werk: *Le lendemain de la mort*, eene proeve heeft gegeven, kunnen wij besluiten met te zeggen, dat het bestaan van bewoners op de planeten niet onmogelijl is; de scheppende Almacht is met onze Aarde niet uitgeput. Welke soort van bewoners echter op die planeten leven



Onderlinge afmetingen der zon en der voornaamste planeten.

Uitgegeven door de Koninklijke Akademie van Wetenschappen.

kunnen, gaat boven ons begrip. Mercurius is zoodanig aan de zonnestralen blootgesteld, dat lood er steeds in vloeibaren toestand verkeert, en Neptunus ontvangt zoo weinig licht en warmte, dat ons leven er onmogelijk is; de Maan bezit geen water en geene lucht. Om dit goed te maken, kunnen er eene menigte gissingen gemaakt worden over de organische samenstelling dier bewoners, en zoo kan men hypothese op hypothese bouwen. De bevolking der planeten blijft dus eene zuivere hypothese, die men verdedigen kan, omdat ze niet volstrekt onmogelijk is, dit heeft ze echter gemeen met eene menigte andere zaken, die toch niet bestaan.

DERDE BOEK.

DE KOMETEN.

DE VALLENDE STERREN. — HET ZODIAKAALLICHT.

In het voorgaande boek beschouwden wij de verbazende ruimte, waarin de Zon haar invloed doet gevoelen, en waarin de Planeten zich bewegen; tevens merkten wij op hoe betrekkelijk gering en nietig de plaats is, welke die hemellichamen innemen, daardoor komt onwillekeurig de vraag bij ons op of de Zon en de planeten wel de eenige lichamen zijn, welke die ruimte doorkruisen.

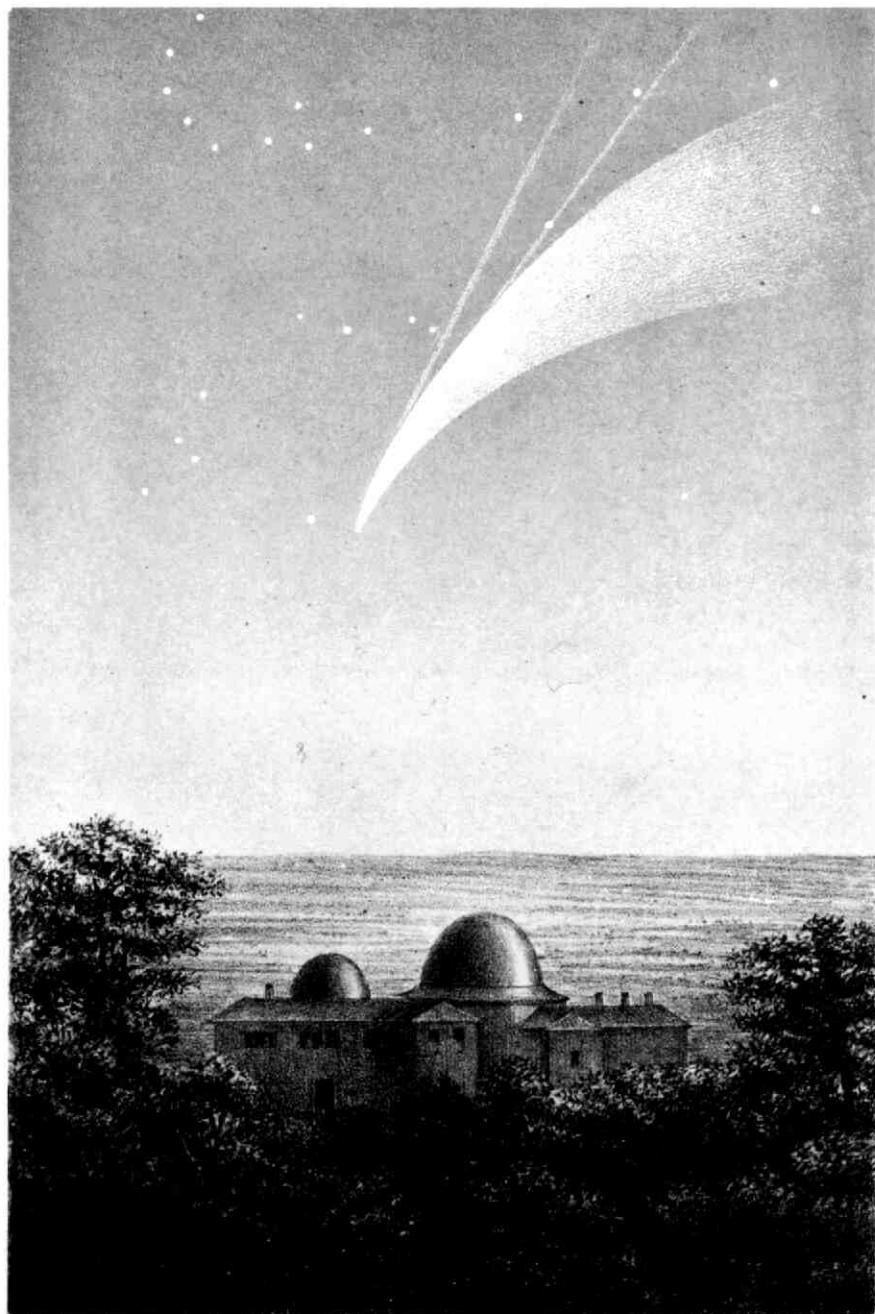
Bij de optelling van de hemellichamen, die tot ons zonnestelsel behooren, gaven wij op die vraag reeds het antwoord; want behalve de Zon en de planeten met hare wachters wordt ons zonnestelsel nog bevolkt door duizende en nogmaals duizende lichamen, die evenals de planeten zich om het gemeenschappelijk brandpunt, de Zon namelijk, bewegen, maar die, wat vorm, beweging en natuur betreffen, geheel verschillen van de reeds behandelde. In de eerste plaats de KOMETEN, die geheimvolle verschijningen, die zooveel verwondering en in vroegere dagen zooveel vrees te weeg brachten.

Vervolgens die zwerm kleinere lichamen, die in verschillende richtingen ons planetenstelsel doorkruisen, en die, naarmate zij in aanraking komen of met onzen dampkring of met de aarde zelve, den naam ontvangen van VALLENDE STERREN of meteoren of luchtsteen.

Eindelijk vinden wij in die ruimte, waarin de Zon haar gebied

voert, nog eene opeenhooping van stof als een lichtenden krans om de Zon, welke men aanduidt met den naam van ZODIAKAALLICHT.

Deze drie verschijnselen zijn het onderwerp van dit boek en de beschouwing daarvan moet ons te meer belang inboezemen, omdat de wetenschap niet alleen tusschen die drie soorten maar ook tusschen zekere nevelen buiten ons stelsel eene groote overeenkomst meent te ontdekken, waardoor de eenheid van Gods groote schepping zich op eene wonderlijke wijze openbaart.



DE KOMEET VAN DONATI

volgens waarneming van G.P. Bond den 1 Oct. 1858

I.

DE KOMETEN.

§ 1. Voorkomen der kometen. — Hoofd, kern en staart. — Verschil met de planeten. — Loopbaan en beweging.

Komeet noemt men eene ster, die in een nevel gehuld, gewoonlijk van een staart voorzien, zich dikwijls zeer onverwacht aan den hemel vertoont om na korten tijd te verdwijnen. Het woord heeft de beteekenis van Haarster, vroeger gaf men aan dergelijke verschijningen den naam van Baardster, vooral dan wanneer de lichtende aanhang met betrekking tot de loopbaan vooruitging, hetgeen bijna immer plaats grijpt, wanneer de komeet het perihelium is doorgegaan en zij zich van de Zon verwijdert.

Xenophanes en Thion van Alexandrië noemden de kometen reizende lichtwolken, terwijl de Chinezen hen met den minder dichtertlijken naam van Bezemster betitelen.

Den uitwendigen vorm eener komeet kent iedereen, want weinige menschen zullen er zijn, die, als er eene komeet onder de sterren straalt, dien vreemden gast niet met verwondering aanschouwd hebben. Zij vertoonen zich echter in zeer onderscheidene vormen.

Bij de groote kometen onderscheidt men de kern, het om die kern zich bevindend nevelachtig hoofd en eindelijk den zoogenaamden staart; geene dier drie onderscheidingen, is echter een eigenaardig kenmerk eener komeet. Want men ontdekt in de diepte des hemels kometen, niet alleen zonder staart, maar ook zonder kern, zoodat zij het voorkomen hebben van eenvoudige nevelsterren. Ja, zelfs het nevelachtig

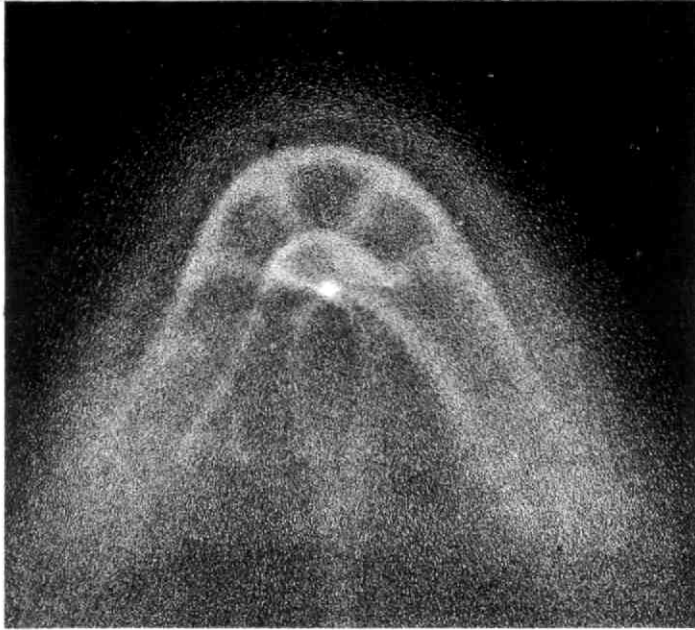
hoofd is geen eigenaardig kenmerk; sommigen vertoonen zich als matte sterren, waardoor de sterrenkundigen ze verwarren konden met planeten. De groote Herschel heeft ons in de vorige eeuw een voorbeeld gegeven van zulk eene verwarring, daar hij de planeet Uranus eerst voor eene komeet hield. Gewoonlijk verschijnen echter de kometen omgeven door een nevel en de grooteren bezitten een lichtenden staart, die zich soms in twee of meer takken verdeelt.

De kern is, wanneer zij bestaat, gewoonlijk zeer klein, rond en veel helderder dan de overige deelen der komeet, echter in haar glans zwakker dan het licht der planeten, in sommige gevallen heeft men twee en meer kernen ontdekt. In sterke telescopen verdwijnt soms de kern, zoodat deze niets anders schijnt te zijn, dan eene verdikking van het lichthulsel; echter is zulks niet bij alle kernen het geval, want de komeet van 1618 bezat eene kern, zoo glanzend alsof zij uit gloeiend metaal bestond, en de tweede ontdekte komeet van 1811 was bijna geheel kern zonder nevelhulsel.

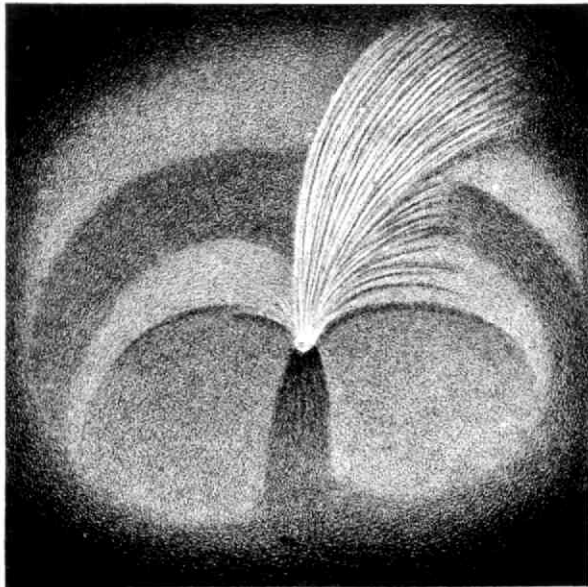
De lichtende nevel, welke de kern gewoonlijk omgeeft en het hoofd der komeet uitmaakt, is matter dan de kern; in den regel heeft hij een ronden of elliptischen vorm, en neemt hij naar den rand toe gewoonlijk in lichtkracht af, zoodat hij ons niet zuiver begrensd toeschijnt. Bij sommige kometen is de kern van het haar omringende hulsel gescheiden door eene duistere tusschenruimte. Dat nevelachtig hulsel verandert dikwijls in zeer korten tijd, het breidt zich uit rondom de kern of krimpt in één, dit laatste heeft immer plaats wanneer de komeet dicht tot de zon nadert; de zon schijnt dus eene samentrekkende kracht op het hoofd der komeet uit te oefenen, hoewel wij ondervinden, dat het zonnelicht en de zonnearmte de lichamen juist uitzetten.

De staart der kometen verschijnt als eene verlenging of uitstraling van het lichthulsel rondom de kern, en gaat nimmer van de kern zelve uit. Wanneer het hoofd der komeet met machtige telescopen wordt onderzocht, bemerkt men, dat in de nabijheid der zon zekere lichtbundels uit de kern naar de zon schieten, die zich echter ombuigen en achter de komeet, den zoogenaamden staart schijnen te vormen. Op Plaat XXXIX geven wij een paar voorbeelden van zulk eene staartvorming.

In tegenovergestelde orde neemt de staart der komeet grooteren of kleineren omvang aan, naarmate de komeet tot de zon nadert of er



Hoofd en kern der komeet van 1858, waargenomen door Bond.



Hoofd en kern der komeet van 1861, waargenomen door Secchi den 14 Juli.

zich van verwijdert, hoe dichter bij de zon hoe langer ¹ staart en omgekeerd. Die staarten, gewoonlijk van de zon afgekeerd, nemen allerlei vormen en afmetingen aan, als bundels of stralen of eigenlijk gezegde staarten, een of meervoudig, recht of gekromd en aan hunne randen soms stralen uitschietend.

Men heeft waargenomen, dat de staarten bij de wederverschijning der kometen immer kleiner worden en ten laatste geheel verdwijnen.

De ouden hielden de kometen niet voor lichamen, maar beschouwden ze meer als voorbijgaande verschijnselen in onzen dampkring. Kepler zelf was die meening nog toegedaan. Thans is het echter aan geen twijfel meer onderhevig, dat zij lichamen zijn, die tot ons zonnestelsel behooren, hoewel hun vreemde vorm, hun loop, soms geheel tegenovergesteld aan die der planeten, en de helling van hunne loopbaan op de ecliptica wel het bewijs schijnen te leveren, dat hun oorsprong niet dezelfde is als die van ons stelsel. Zij bewegen zich met een groot verschil in snelheid langs zeer langwerpige banen om de Zon, die, evenals bij de planeten, de bron is van hunne beweging, en grootendeels ook van hun licht.

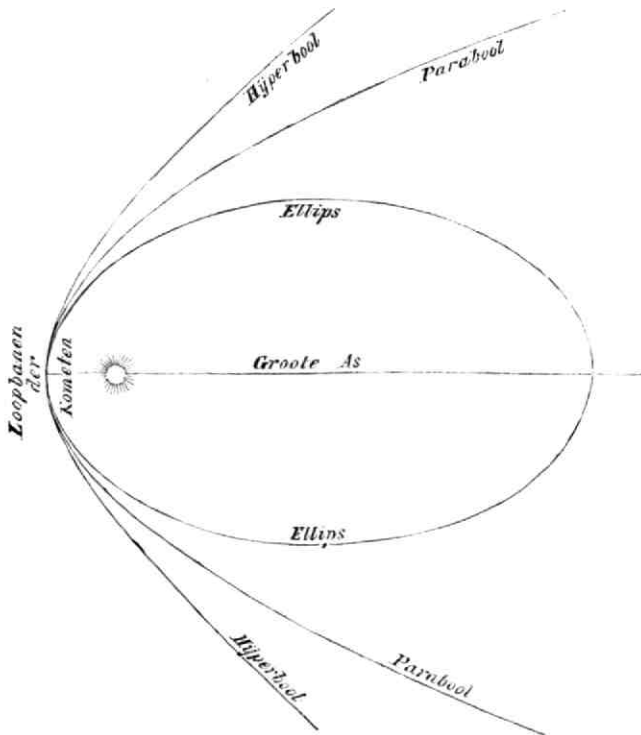
De vorm van hunne loopbaan, welke wij thans zullen beschouwen, zal ons hun eerste onderscheidend en eigenaardig kenmerk leeren.

De planeten bewegen zich, zooals wij vroeger zagen, in langwerpige bijna ronde banen om de Zon, en blijven steeds voor ons zichtbaar, zoo niet voor het bloote oog, dan toch met behulp der kijkers; maar de kometen bewegen zich langs buitengewoon langwerpige banen of langs dezulken, die nooit in zich zelve terugkeeren, maar wier takken zich immer meer en meer van elkander verwijderen.

Hieruit volgt dus, dat de kometen dan alleen zichtbaar zijn, wanneer zij zich in de nabijheid der Zon vertoonen, en daar de duur van hunnen omloop des te langer is, naarmate hunne baan grooter is, heeft men slechts van weinigen met zekere nauwkeurigheid den terugkeer kunnen berekenen; andere kometen vertoonen zich in ons

¹ Wanneer men van de lengte en breedte van den kometenstaart spreekt, moet men onderscheid maken tusschen schijnbare en werkelijke lengte en breedte. Een staart kan zulk eene richting hebben, dat hij ons zeer kort toeschijnt, maar in werkelijkheid zeer lang is en omgekeerd. De schijnbare lengte meet men door graden en de werkelijke door stralen der aardbaan of door mijlen.

stelsel, maar om nooit terug te keeren, daar zij in de onpeilbare diepte van het hemelruim verloren gaan, zooals uit het volgende blijken zal.



(Fig. 25.) Verklaring der kometenbanen.

Bovenstaande figuur geeft ons eene voorstelling van de drie soorten van loopbanen, langs welke de kometen zich bewegen.

De eerste dier banen, de elliptische, hebben wij vroeger, bladz. 72, reeds verklaard. Hoe groot de uitmiddelpuntigheid van zulk eene baan ook is, 't is duidelijk dat een lichaam, dat zich langs zulk eene baan beweegt, op bepaalde tijden terug moet komen, afgezien namelijk van den storenden invloed, welken dat lichaam ondergaan kan, wanneer het groote massa's in zijnen loop ontmoet, welke soms zoodanig kunnen werken, dat daardoor de vorm der baan zelfs kan veranderd worden.

De tweede kromme baan heeft veel overeenkomst met eene ellips, maar is er in den grond van onderscheiden, doordat de beide gelijke takken van die baan elkander nooit naderen, maar in het oneindige

gedurig verder niteenloopen. Zulk eene baan noemt men eene parabool ¹; eene komeet dus, die langs eene parabolische baan loopt, keert nooit op hare afgelegde baan terug.

De derde baan noemt men eene hyperbool, en eene komeet, langs zulk eene baan loopende, keert evenmin terug, want de twee takken van zulk eene baan verwijderen zich voortdurend van elkander in veel grootere mate, dan bij eene parabool het geval is ².

Het is niet waarschijnlijk, dat de kometen eigenlijk gezegde parabolische banen beschrijven, wellicht is hare baan elliptisch, maar zoo langwerpig of met zulk een bepaalden hyperbolischen vorm, dat in het korte gedeelte van hunne baan, waarop zij voor ons zichtbaar zijn, wij hen met parabolen verwarren. Bezitten de kometen, wanneer zij binnen de aantrekkingsfeer van onze Zon komen eene groote snelheid, dan moeten zij hyperbolen beschrijven, maar is integendeel hare snelheid nul of zeer gering, dan moeten zij parabolen of zeer langwerpige ellipsen beschrijven.

Wij moeten hier opmerken, dat wanneer de baan eener komeet zich uitstrekt, tot in die streken van de hemelruimte, waar de aantrekkingskracht van onze Zon even groot is als de aantrekkingskracht van de dichtst nabijzijnde vaste ster, welke eene andere Zon is buiten ons stelsel, dan zou de omloop van zulk eene komeet op zijn minst een millioen jaren duren, en het was onmogelijk om te kunnen onderscheiden of zij eene elliptische of eene parabolische baan beschrijft; maar komt nu zulk eene komeet eenmaal binnen het gebied van onze Zon, dan kan zij in ons stelsel teruggehouden worden door den invloed der groote planeten, en vorm en natuur van hare baan, zou daardoor geheel gewijzigd kunnen worden, zoodat zulk eene komeet eene ellips zou kunnen beschrijven met korten omloop. Leverrier

¹ Parabool is de lijn, welke men op den omtrek van een kegel verkrijgt, wanneer men dezen snijdt evenwijdig met eene der zijden.

Hyperbool is eene kegelsnede, welke evenwijdig met de as van den kegel geschiedt, of wat hetzelfde is, welke loodrecht op de basis wordt gedaan, daardoor zal tevens, wanneer men de lijnen aan het toppunt van den kegel verlengt, en dus een dubbel kegel vormt, de tweede kegel evenzeer gesneden worden, wat bij eene ellips of parabool het geval niet is.

² Newton heeft echter aangetoond, dat volgens de wetten der zwaartekracht de baan der hemellichamen hyperbolisch kan wezen; de berekening van sommige kometenbanen in de laatste jaren heeft aangetoond, dat zij met groote waarschijnlijkheid hyperbolische banen beschrijven, bijv. komeet III en IV van 1853 en VI van 1863.

heeft zulks aangetoond bij de komeet, die men noemt van Lexelle, bij die van Vico en bij meer anderen.

De kometen onderscheiden zich dus eerstens van de planeten door de groote uitmiddelpuntigheid van de baan, welke zij om de Zon beschrijven, want zelfs de kometen wier loopbaan eene ellips is, onderscheiden zich toch van de elliptische loopbaan der planeten door den buitengewoon langwerpigen vorm, of wat hetzelfde is door de groote uitmiddelpuntigheid van hare baan; zoo bijv. heeft de kleine planeet Polyhymnia (33) de grootste bekende excentriciteit, namelijk 0,339,726; als wij de halve groote as der Aarde tot eenheid nemen, dan verkrijgen wij voor de uitmiddelpuntigheid ongeveer 20 millioen geogr. mijlen, terwijl de uitmiddelpuntigheid van de baan onzer Aarde slechts 330,912 mijlen bedraagt, maar de baan der komeet van Faye, welke onder de bekende kometen de kleinste excentriciteit bezit, 0,555,962, heeft toch nog eene uitmiddelpuntigheid van ongeveer 44 millioen mijlen.

Het tweede en onderscheidend kenmerk is de helling der kometenbanen op de ecliptica.

De banen der planeten maken met de ecliptica steeds een kleinen hoek, en loopen dus allen in de streek des hemels, welke de Zon doorloopt, en welke wij dierenriem noemen; maar de kometen bewegen zich in alle richtingen door den sterrenhemel, omdat hunne baan met den Zonsweg een grooten hoek maakt. Zoo bijv. maakt de baan van de komeet van Vico met de ecliptica een hoek van 85 graden, zoodat de baan van deze komeet bijna recht op den zonsweg staat.

Een derde verschil bestaat hierin, dat de kometen zich soms in tegenovergestelde richting als de planeten bewegen; de planeten, zooals wij bladz. 70 opmerkten, loopen voor een beschouwer in de Zon geplaatst, altijd van het westen naar het oosten, maar de beweging der kometen is dikwijls juist tegenovergesteld en dus *retrograde*.

Nog merken wij hier op dat, wanneer er van de loopbaan eener komeet wordt gesproken, er steeds onderscheid gemaakt moet worden tusschen schijnbaren en werkelijken omloop; de eerste beteekent de baan, welke zij aan den hemel beschrijft voor ons oog, namelijk uit de Aarde beschouwd, maar de werkelijke is de baan, welke zij om de Zon beschrijft, namelijk de baan, welke zij, uit de Zon gezien, langs den sterrenhemel maakt.

§ 2. Terugkeerende kometen in ons zonnestelsel. — Hunne beschrijving en elementen hunner loopbaan.

Bij de plotselinge verschijning van eene prachtige komeet wordt het vaak den sterrenkundigen tot verwijt gemaakt, dat zulk eene verschijning niet behoorlijk is aangekondigd en voorspeld. Uit hetgene wij in de vorige bladzijden bespraken, is het gemakkelijk te begrijpen, waarom de geleerden de verschijning eener komeet niet met die zekerheid en nauwkeurigheid kunnen berekenen, waarmede zij den stand der planeten bepalen.

De kometen van ons zonnestelsel hebben de Zon tot brandpunt hunner beweging en loopen langs eene kromme baan om de Zon; maar zooals wij vroeger zagen is de loopbaan der meesten zoo uiterst langwerpig, dat deze in het perihelium den schijn heeft van eene parabool, ja zelfs van eene hyperbool. De meesten der groote kometen bezoeken dan ook voor de eerste maal de hemelstreken, waarin zich onze Aarde beweegt, of wel wanneer zij er zich vroeger in vertoonden, was het in tijden zoo verre van de onzen verwijderd, dat er wellicht nog geen menschelijk wezen op aarde was om die verschijning waar te nemen. Eene wetenschappelijke berekening is dus onmogelijk, want zelfs na de eerste verschijning eener komeet blijven de elementen van hare baan nog hoogst onzeker.

Een klein aantal kometen beweegt zich in elliptische banen, en onder deze moet nog onderscheid gemaakt worden, tusschen kometen met korten omloop en kometen wier omloop jaren en soms eeuwen duurt, maar wier vroegere verschijningen of geheel onbekend of zoo verward zijn waargenomen, dat het ondoenbaar is ze tot grondslag van eenige berekening te maken.

Wat echter de kometen betreft, die op bepaalde tijden terugkeeren, van deze berekent ¹ men met nauwkeurigheid de beweging en den stand, welken zij aan den hemel innemen.

Over de meest bekende kometen zullen wij in eenige bijzonderheden treden.

1. De eerste der kometen, wier terugkeer zoowel door berekening,

¹ Welk een verbazende arbeid de nauwkeurige berekening eener kometenbaan is, blijkt hieruit, dat een bekwaam rekenaar drie jaren noodig had om ééne verschijning van de komeet van Halley onder alle opzichten nauwkeurig te berekenen.

als door de waarneming bepaald werd, draagt den naam van den Engelschen sterrenkundige Halley. Toen deze komeet in 1682 aan den hemel straalde, bewees hij dat zij dezelfde was, die reeds in 1531 en in 1607 was verschenen, en hij voorspelde den terugkeer der komeet op het laatst van 1758 of in het begin van 1759. De uitkomst leverde het bewijs, dat de berekeningen van Halley goed waren, want op den door hem bepaalden tijd, verscheen de komeet met buitengewone pracht.

In dat tijdperk ging de kennis en de theorie over de kometen met groote schreden vooruit. Clairaut in Parijs berekende de storingen, welke de twee groote planeten Jupiter en Saturnus op de baan van de komeet moesten uitoefenen, zoodat de aantrekkingskracht van Saturnus eene vertraging van 100 dagen en die van Jupiter 518 dagen op den terugkeer der komeet moest veroorzaken, en daaruit berekende hij het perihelium der komeet op het midden van April 1759.

In 1835 verscheen de komeet van Halley opnieuw aan onzen hemel, en die wederverschijning was met zulk eene nauwkeurigheid berekend, dat berekening en waarneming slechts een verschil opleverden van drie dagen. In het jaar 1910 zal de komeet zich opnieuw aan onzen hemel vertoonen, en zich volgens de berekeningen van Pontecoulant den 17 Mei in haar perihelium bevinden.

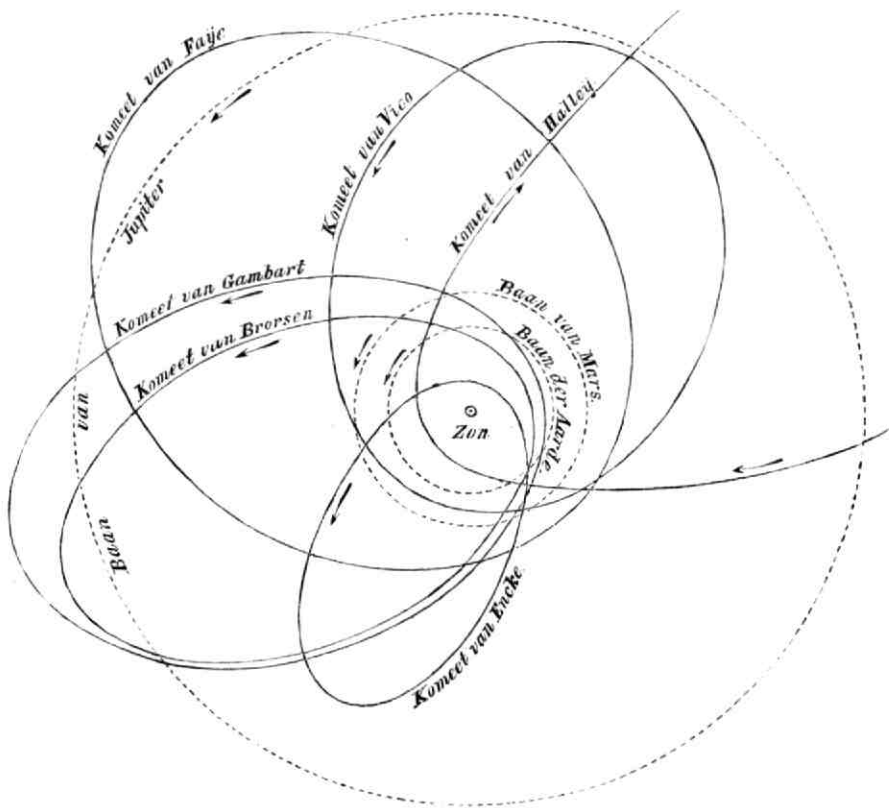
Onderstaande figuur geeft de loopbaan aan van vijf periodieke kometen; de loopbaan van de komeet van Halley vindt men op Plaat XIII in haar geheel, waar men ziet dat zij de loopbaan van Neptunus nog overschrijdt.

De komeet van Halley heeft zich in onderscheidene vormen vertoond; in 1456 verscheen zij met buitengewone pracht, zoodat haar staart eene lengte van 60 graden aan den hemel besloeg; aan het einde spreidde die staart zich als een waaier uit. In 1531 had zij een korten staart evenals in 1607, toen de staart nauw merkbaar was; in 1835 vertoonde zij zich als eene nevelvlek met eene heldere kern, de komeet had geen eigenlijk gezegden staart, alleen schoten eenige stralen aan de eene zijde uit de kern. Zulk eene vermindering en verandering van den staart is bij meer periodieke kometen waargenomen.

Deze komeet behoeft 76 jaar en 126 dagen om hare lange baan te doorloopen; in haar perihelium nadert zij de zon tot op 12 millioen mijlen, veel dichter dus dan Venus; in haar aphelium echter is zij verder dan Neptunus van de bron van licht en warmte verwijderd, meer dan 700 millioen mijlen.

Welk eene verbazende afwisseling brengt dat verschil in afstand te weeg in de licht- en warmtekracht, welke zij van de zon verkrijgt, want in het perihelium is die kracht 3600 maal sterker dan in het aphelium.

De komeet van Halley heeft eene retrograde-beweging; dat is, zij loopt niet zooals de planeten van het westen naar het oosten, maar juist in omgekeerde richting van het oosten naar het westen. Hare baan maakt met de ecliptica een hoek van $17^{\circ}45'5''$.



(Fig. 26.) Banen der periodieke kometen.

2. Wanneer wij ons aan de orde der ontdekking houden, dan volgt de komeet genaamd van Encke.

Deze komeet is voor het ongewapend oog niet zichtbaar, en vertoont zich in de kijkers als eene langwerpige ronde nevelachtige massa, zonder kern noch staart. Zij verschilt in vorm en afmeting en is in haar perihelium het kleinste.

Van alle bekende kometen heeft zij den kortsten omloop, namelijk 3 jaar en 110 dagen. Hare beweging is juist als die der planeten van het westen naar het oosten, zij nadert in haar perihelium de Zon tot op 7 millioen mijlen, en komt dus binnen de loopbaan van Mercurius, terwijl zij zich in haar aphelium ruim 84 millioen mijlen van de Zon verwijdert, en dus dicht de baan van Jupiter nadert; hare loopbaan bezit eene groote uitmiddelpuntigheid, en wel 0,847673, dat is in mijlen uitgedrukt ongeveer 38 millioen geogr. mijlen.

Sinds het jaar harer ontdekking door Méchain, den 17 Jan. 1786, is de komeet telkens met zekere nauwkeurigheid berekend, zij biedt echter deze bijzonderheid, dat de duur van haren omloop telkens vermindert; van 1786 tot op het jaar 1838 bedroeg die vermindering reeds een dag, zoodat in de vooronderstelling dat als de kracht, welke de komeet steeds naar de Zon drijft, voortduurt, men het oogenblik zou kunnen berekenen, dat zij, steeds eene spiraalvormige baan om de Zon beschrijvende, zich eindelijk in de gloeiende zonnemassa moet storten.

De oorzaak van dat verschijnsel zoekt men in den wederstand, welchen de ether ¹, die in het hemelruim verspreid is, aan de beweging der komeet biedt; door dien wederstand wordt dan hare tangential of middelpuntvliedende kracht verminderd, maar om die verminderde snelheid wordt de aantrekkende kracht der Zon op de komeet grooter, zoodat zij niet meer in staat is, zich even ver als vroeger van de Zon te verwijderen, en daarom wordt bij iederen omloop hare baan iets kleiner en nadert zij meer en meer de Zon.

Deze hypothese zou groote waarschijnlijkheid verkrijgen, wanneer de invloed van zulk een wederstand ook bij andere kometen werd waargenomen, maar tot nu toe heeft men nog geene bevredigende uitkomsten verkregen. Men heeft de komeet van Fajje nauwkeurig waargenomen. Leverrier berekende haren omloop op 2717 dagen en 16 uren, en bestemde haar perihelium te middernacht den 3 of 4 April

¹ Ether noemt men de fijne veerkrachtige vloeistof, welke men aanneemt dat de gansche hemelruimte vervult. De bewijzen voor het bestaan van zulk eene stof zoekt men in de vermindering van de lichtkracht der vaste sterren en in de hier opgegevene verkorting van de baan der komeet van Encke. Over de natuur van die middenstof weet men niets, alleen neemt men aan, dat de dichtheid dier stof zoo uiterst gering is, dat zij niet in staat is invloed uit te oefenen op de baan der planeten, maar wel op die der kometen.

1851. Werkelijk was de komeet in November 1850 zichtbaar, en haar perihelium viel in op den 2 April 1851 in de morgenuren. De derde terugkeer dier komeet vond plaats in het jaar 1858 en haar perihelium den 13^u September 's morgens. Nu werd de baan der komeet volgens die drie opgaven nauwkeurig onderzocht, maar men kwam niet tot de overtuiging, dat eene vermindering van omloopstijd noodzakelijk aangenomen moet worden. ¹

3. Den 28 Febr. 1826, ontdekte Biela te Josephsstadt eene zwakke komeet, die ook onder de periodieke wordt geteld met den naam komeet van Biela of ook wel van Gambart. Haar omloopstijd bedraagt 6 jaar 224 dagen. In 1832 en 1839 had die komeet een stand, waarop zij voor ons onzichtbaar was, en toch bracht zij in 1832 eene groote vrees bij sommigen te weeg, door de al te voorbarige voorspelling, dat de komeet tegen onze aarde zou botsen; nauwkeuriger berekeningen toonden echter aan, dat de komeet wel de baan van onze aarde zou snijden, maar op een tijdstip, wel eene maand vóórdat deze dat snijpunt zou bereiken, zoodat eene botsing onmogelijk was. In het volgende hoofdstuk zullen wij de waarschijnlijkheid en het gevaar van zulk eene botsing nader bespreken.

De komeet van Biela verwezenlijkte de vrees voor het vergaan der wereld niet, en toen zij in 1846 op nieuw verscheen bood zij het zonderlinge schouwspel, dat zij zich verdeelde in twee kometen van ongelijke grootte, ieder met een kleinen staart, die dezelfde richting bezaten. Beide kometen hadden dezelfde snelheid, hoewel zij zich steeds van elkander verwijderden, zoodat hun afstand op den 6 Febr. 1846, dus in nog geene maand, reeds 14.000 mijlen bedroeg. De ruimte tusschen de beide kometen was volkomen zuiver en helder, later ontdekte men in die ruimte zekere nevelstralen, die de groote met de kleine komeet schenen te verbinden. De kleinste der twee kometen nam in glans zoo snel af, dat men in de laatste helft van Maart haar niet meer kon onderscheiden, zoodat men meende, dat zij geheel opgelost was. In 1862 echter verschenen beide kometen maar met een afstand van 150.000 mijlen. In het laatst van 1865 moest de komeet terugkeeren, maar tot op dit oogenblik doet zij op zich wachten, zoodat men na de vlijtige waarnemingen van d'Arrest en Secchi niet anders

¹ Den 22 Sept. 1871 werd de komeet van Encke opnieuw het eerst waargenomen door Hinck; den 28 Dec. van datzelfde jaar was de komeet in haar perihelium.

kan aannemen dan dat beide kometen zich tot eene volkome ne onzichtbaarheid hebben opgelost.

De jongste tijd heeft nog een voorbeeld van zulk eene dubbele komeet geleverd. Liass ontdekte den 26 Febr. 1860 eene zwakke komeet, die zich ook dubbel vertoonde. Die, welke het eerste op de baan was, bezat de grootste helderheid en had eene langwerpige gedaante, terwijl de zwakkere een meer ronden vorm had.

Over de andere periodieke kometen zijn geene bijzonderheden op te merken, waarom wij volstaan met een overzicht van de voornaamste elementen harer baan.

NAAM DER KOMEET.	Jaar der ontdekking.	Doorgang door het perihelium.	Afstand in het perih. in mill. mijl.	Afstand in het aphelium.	OMLOOPSTIJD.
Kom. v. Halleij.	1682	16 Nov. 1835	12	708	76 j. 106 d. 8 u.
" " Encke.	1786	15 Sept. 1868	7	81	3 „ 105 „ 23 „
" " Biela.	1826	24 Sept. 1852	17	127	6 „ 226 „ 7 „
" " Faije.	1843	15 Febr. 1866	34	123	7 „ 149 „ 15 „
" " Vico.	1844	2 Sept. 1844	24	104	5 „ 167 „ 21 „
" " Brorsen.	1846	18 April 1868	12	116	5 „ 173 „ 4 „
" " d'Arrest.	1851	23 Sept. 1870	26	119	6 „ 208 „ 1 „
" " Bruhn.	1858	24 Febr. 1858	21	216	13 „ 255 „ 12 „
" " Winnecke.	1858	30 Juni 1869	16	114	5 „ 215 „ 10 „

§ 3. Aantal der kometen. — Teleskopische kometen. — Kometen met langen omloop, groote kometen dezer eeuw. — Massa, dichtheid en licht der kometen. — Verschillende hypothesen over hare natuur. — Gevaar voor onze aarde.

Wanneer wij de vergelijking van Kepler letterlijk wilden opvatten, zijn de kometen zoo talrijk in de hemelruimte verspreid als de visschen in de zee.

Arago vooronderstelt, dat de kometen in alle streken van ons zonnestelsel even talrijk zijn, hij grondt zich op het getal dat men tusschen de Zon en Mercurius heeft waargenomen, en schat dan het aantal kometen alleen binnen den omtrek van het door ons gekende planetenstelsel op zeven en een half millioen.

Lambert volgt een anderen maatstaf, en schat het aantal kometen binnen de loopbaan van Saturnus op 500 millioen.

Dergelijke hypothesen en berekeningen daargelaten, bewijst toch de waarneming, dat het aantal kometen zeer aanzienlijk is; buiten dezulken, die op bepaalde tijden terugkeeren, ziet men er voortdurend uit de diepte van het hemelruim komen, om hare baan om de Zon te volbrengen, en daarna zich weder eeuwen van de Zon te verwijderen.

Alleen in de twee of drie laatste eeuwen is men begonnen ze nauwkeuriger gade te slaan, zoodat men van ruim een 200tal eenige gegevens en bijzonderheden heeft geboekt. Van de vroegeren hebben de Chinezen vooral ook eenige aantekeningen gemaakt, waardoor het getal waargenomene en beschrevene kometen tot op 700 komt, hoewel men slechts van een 40tal met meerdere of mindere juistheid den omloop heeft kunnen berekenen. Sinds de uitvinding der kijkers is het getal waargenomene kometen aanmerkelijk grooter geworden, zoodat er geen jaar voorbij gaat, of verschillende kometen, die om haar zwakken glans alleen door telescopen zichtbaar zijn, worden er ontdekt. Om de waarneming en ontdekking aan te moedigen, heeft de Academie van Wetenschappen te Weenen den 30 Mei 1869 gedurende drie achtereenvolgende jaren elk jaar acht gouden medailles uitgelooft voor de ontdekking eener komeet ¹. Zulk eene komeet wordt ontdekt even als eene kleine planeet door hare verplaatsing met betrekking tot de haar omringende vaste sterren. Om ze te vinden moet men vóór zonsopgang den oosterhemel en na zonsondergang den westerhemel doorzoeken, omdat de kometen alleen op een bepaald punt harer loopbaan zichtbaar worden, namelijk even vóór of na haar perihelium, en dus dicht bij de Zon.

Hoe groot ook het aantal kometen is, toch is het aantal voor het ongewapend oog zichtbare zeer gering, en daarom verwekken dezulken, die met grooter luister aan den sterrenhemel schitteren het meeste belang, en zijn ook tevens het meest geschikt voor wetenschappelijke waarneming.

Wij zullen hier eene korte optelling doen van de groote in onze eeuw waargenomen kometen.

1. In 1807 vertoonde zich eene groote komeet met twee staarten, die gedurende 184 dagen zichtbaar bleef. Herschel schatte de middel-

¹ In het vorige jaar 1871 werden er 5 kometen ontdekt, waarvan twee, genaamd van Encke en van Tuttle, reeds vroeger verschenen en berekend waren.

lijn van hare kern op 110 mijlen, en op den 20 Oct. de middellijn van het gansche hoofd of lichthulsel op 25,640 mijlen, zij was toen ongeveer 19 millioen mijlen van de aarde verwijderd. Op den 3 Nov., toen zij 23 millioen mijlen van de aarde was verwijderd was haar lichthulsel in omvang toegenomen, en had eene middellijn van 43,000 mijlen; volgens de berekeningen van den geleerden Bessel, gebruikte deze komeet 1543 jaren om haren loop om de Zon te volbrengen.

2. In 1811 straalde eene schitterende komeet aan den hemel, wier grootste afstand van de Zon, volgens Argelander op 8700 mill. mijlen werd berekend, zoodat haar omloop 3000 jaar duurt. De nevelachtige kop van de komeet had eene middellijn van 230,000 mijlen, terwijl hare heldere kern 550 mijlen middellijn bezat; haar afstand van de aarde was 21 mill. mijlen, zoodat zij zich nog iets grooter vertoonde dan de Zon. De prachtige staart van deze komeet had eene lengte van 22 millioen mijlen, hij besloeg meer dan 20 graden aan den hemel, 510 dagen was zij zichtbaar; deze komeet straalde aan den hemel ten tijde van den Trojaanschen oorlog.

3. In 1815 ontdekte Olbers den 6 Maart eene aanzienlijke komeet, welke zijn naam draagt. Bessel berekende de elementen dier komeet, en vond voor haren omloopstijd 74 jaar en 2 dagen, zoodat zij in het jaar 1887 den 9 Febr. op nieuw in het perihelium komt.

4. In 1843 zag men op den helderen dag eene komeet, wier perihelium zoo dicht bij de Zon was, dat zij op den 28 Febr. nauwelijks 10,000 mijlen van de oppervlakte der Zon was verwijderd; zij was eene der schitterendsten, die zich aan den hemel vertoonden, want niet alleen de schitterende kern, maar zelfs een gedeelte van den staart kon men bij het daglicht zien, wonderlijk was het, dat zij op één dag een staart vormde, die 100 graden aan den hemel besloeg.

5. Wie herinnert zich niet het prachtige schouwspel, dat in 1858 de komeet, die den naam van haren ontdekker Donati draagt, ons aanbod (Zie Pl. XXXVIII); den 2^e Juni werd zij het eerst te Florence waargenomen, en was in de eerste dagen van September voor het bloote oog aan den Noorderhemel zichtbaar. Hare verplaatsing was voor iederen duidelijk waar te nemen, daar zij elken dag ongeveer 4 graden van plaats veranderde. Op den 3 en 4 Oct. had de kern hare grootste lichtkracht, en op den 7 en 8 Oct. bezat de staart zijne grootste lengte. Om hare langdurige zichtbaarheid en groote uitgebreidheid gaf deze komeet gelegenheid tot nauwkeurige waarnemingen. Door Mädler

zijn juiste metingen ondernomen, en daardoor ontdekte hij, dat op den 17 Sept. de kern der komeet eene middellijn had van 400 mijlen, welke echter geregeld afnam, zoodat op den 8 Oct., toen de staart zijne grootste lengte bezat, de middellijn slechts 70 mijlen bedroeg; de inhoud der kern was dus bij de eerste meting 33 millioen kubieke mijlen, en bij de tweede slechts 117 duizend kub. mijlen. Deze komeet heeft een omloopstijd van 2102 jaar, volgens anderen echter van 1880 jaar. In het perihelium doorloopt zij iedere seconde eene lengte van $7\frac{6}{10}$ mijl, dat is bijna tweemaal zoo snel als onze aarde, die nog geen 4 mijlen aflegt, maar in het aphelium is hare snelheid zoodanig afgenomen, dat zij in eene seconde slechts 100 meters aflegt. Haar dichtste stand bij de Zon was 12 millioen mijlen, dus tusschen de loopbaan van Mercurius en Venus, en haar verste stand 6800 millioen mijlen, dus tienmaal verder dan Neptunus. Haar staart overspande op den 8 Oct. eene ruimte van dertig graden aan den hemel. Wanneer de kop van de komeet door goede kijkers nauwkeurig werd waargenomen, scheen het alsof er stralen ook in de richting der Zon uit de kern schoten, die echter gekromd naar achter bogen, alsof zij bij het doorklieven van het hemelruim tegenstand ondervonden, daardoor was de kop van de komeet omgeven door een lichtkrans, die zich in den staart verlengde. Pl. XXXIX Fig. 1 geeft ons van dat verschijnsel eene voorstelling ¹.

6. In 1860 vertoonde de door Liais ontdekte komeet zich dubbel, evenals de Biela'sche; op den 17 Febr. ten 3 u. 9 m. 14 sec. 's morgens was de eerste in haar perihelium, de tweede bereikte het ongeveer een uur later.

7. Op den 30 Juni 1861 straalde deze komeet aan den hemel. Zij was de tweede, welke in dat jaar ontdekt werd. Trebutt had haar in Nieuw-Holland reeds den 13 Mei waargenomen. Op den 30 Juni had haar staart volgens Smidt eene lengte bereikt van 120 graden.

8. Den 15 Juli 1862, ontdekte Swift, te Marathon in Amerika, deze komeet, welke de derde van dat jaar was; volgens de berekening van Oppolzer bedraagt haar omloop 124 jaar. In Dec. 1866 bevond Schiaparelli, dat de baan van deze komeet eene zeer groote

¹ De Amerikaansche sterrenkundige Bond heeft alle op de komeet gedane waarnemingen bijeenverzameld in een prachtig werk met platen: Account of the great comet of 1858.

overeenkomst had met de baan, welke de vallende sterren van de zoogenaamde Laurentius-periode hadden, zoodat daardoor een nieuw licht verspreid werd over de kometen, zoowel als over de vallende sterren. Op den 14 Aug. bedroeg de middellijn van hare kern, volgens Winnecke, hoogstens 7 mijlen.

9. In 1864 ontdekte Tempel te Marseille de tweede komeet van dat jaar, welke daarom merkwaardig was, omdat zij in haar perihe-lium evenver van de Zon verwijderd bleef als onze Aarde, en volgens de berekening van Kowalzyk langs eene zuiver elliptische baan, in 4754 jaar om de Zon loopt.

10. De eerste der in 1866 ontdekte kometen, was daarom merkwaardig, omdat zij de grootste overeenkomst vertoont in hare baan, met die der vallende sterren van den Novemberstroom, haar omloop bedraagt 33 jaar 60 dagen. Huggins paste vooral op deze komeet de spectraal-onderzoekingen toe, en bevond dat de kern der komeet in een toestand van gloeiend gas verkeerde, en dat het licht van het nevelhulsel verschillend was van het licht der kern.

11. De tweede echter in 1868 door Winnecke ontdekte komeet werd het nauwkeurigste door de spectraal-onderzoekingen waargenomen. Zij vertoonde strepen in het groen, geel en rood, door zekere ruimten van elkander gescheiden; de heldere streep in het groen kwam met de magnesium-streep overeen, en toen Secchi zijne onderzoekingen met die van Angström vergeleek, kwam hij tot de overtuiging, dat de drie heldere strepen op koolstof wezen, welke in de komeet moest gloeien, hoewel het niet te begrijpen is, zegt Secchi, hoe de koolstof, die om hare vastheid bekend is, zich in dampvorm in de komeet kan vertoonen. Huggins kwam, afgescheiden van Secchi, tot dezelfde uitkomst.

Over geen enkel verschijnsel aan den hemel zijn zoovele gissingen gemaakt als over de kometen, wel een bewijs, dat men voor een groot aantal moeielijkheden de juiste oplossing nog niet heeft gevonden. Velen, die over de kometen schrijven, maken er zich gewoonlijk af met eenige kleingeestige spotternijen ten beste te geven over de vrees, welke de verschijning eener komeet in de vroegere, zoogenaamde onwetende tijden, te weeg bracht, maar hoewel thans de vrees verdwenen is, is de kennis naar evenredigheid niet in hare plaats getreden.

Welk een aantal vragen toch komen er bij ons op, wanneer wij over de kometen nadenken. Welke is de stof, waaruit zij bestaan? Is hare zelfstandigheid geheel en al gasachtig, of bevat de kern vaste deelen? Welke is de oorzaak van haren staart, die zich in de nabijheid der Zon tot eene aanmerkelijke lengte uitbreidt, maar verre van haar verwijderd inkrimpt en soms geheel verdwijnt?

Welk is de oorsprong van haar uitstralend licht? Hebben zij eigen licht of kaatsen zij het zonlicht terug?

Wij zullen eerst aangeven wat de nieuwere wetenschap ons met zekerheid over de kometen leert, en daarna de verschillende hypothesen uiteenzetten, welke gemaakt worden om de verschillende verschijnselen der kometen uit te leggen, hoewel er tot nu toe nog geene hypothese bestaat, die algemeen door de sterrenkundigen wordt aangenomen.

De dichtheid der kometen is zeer gering, want zelfs door de schitterendste gedeelten der kometen bemerkt men gemakkelijk sterren van de negende en tiende grootte, hetgeen onmogelijk het geval zoude zijn, wanneer de komeet eenige overeenkomst had met onze bekende dampen of gassen. In het jaar 1861 zag men de kern met zulk eene wondervolle snelheid toe- en afnemen, dat de oorzaak in iets anders dan in het verschil van afstand moest gezocht worden, zoodat eene vastheid in de kern niet aan te nemen is. De immer ronde vorm bewijst, dat de kern zelfs doorschijnend is, want ware de kern vast dan zou men bij de verschillende standen der kometen zekere schijngestalten moeten opmerken, welke men echter nooit heeft waargenomen. De ouden spreken wel van schijngestalten, maar dit zijn meer uitstralingen, die zich als een waaijer sikkelvormig vertoonden. Dat de staart eener komeet niet uit damp of gas bestaat is zeker, want iedere damp of gas doet een lichtstraal eene breking ondergaan, waardoor hij uit zijne richting wordt gebracht, maar de nauwkeurigste metingen door Bessel en Struve ondernomen, hebben zelfs bij de kleinste sterren, welke door den kometenstaart heen schitterden, geene straalbreking kunnen waarnemen. De helderheid van zulke sterren onderging zelfs geene vermindering, terwijl zij integendeel soms zeer sterk fonkelden; dergelijke waarnemingen brengen op het vermoeden, dat de staart uit stofachtige deelen bestaat, die met groote tusschenruimten in de baan der komeet zweven.

Dat de kometen haar licht van de Zon ontvangen is thans aan geen twijfel meer onderhevig, ook al bezitten zij, zooals sommigen beweren,

eigen licht, dan is dat licht al zeer gering in vergelijking met het ontvangen zonlicht. Vaste sterren kunnen met telescopen bij helderen dag zeer gemakkelijk worden waargenomen, maar kometen te vinden is nog veel moeilijker dan planeten. Wanneer kometen zich soms des daags hebben vertoond, bewijst dit alleen dat zij eene groote geschiktheid hadden om het zonlicht terug te kaatsen, maar juist haar rustig en niet-fonkelend licht, zelfs in de grootste schittering, geeft te kennen, dat zij geen eigen licht bezitten; ook zouden dan de kometen zoo spoedig niet verdwijnen, maar met zulk eene groote middellijn moesten wij ze, wanneer ze eigen licht bezaten, in de diepte des hemels kunnen volgen. Overigens leert de waarneming, dat hoe dichter bij de Zon, hoe meer lichtkracht zij bezitten, en als zij zich van de Zon verwijderden, dooft de lichtglans langzaam uit.

In den nieuweren tijd heeft men door middel van den polariscope een direct bewijs gevonden dat de kometen teruggekaatst licht bezitten. Bekend is het dit als men door zekere kristallen, bijv. door kalkspaat, een voorwerp ziet, dit zich dan dubbel vertoont, deze worden daarom dubbelbrekende kristallen genoemd; elke lichtstraal nu, die uit de lichtbron zelve wordt onderzocht, geeft een tweevoudig beeld, dat gelijke lichtkracht bezit, maar onderzoekt men gepolariseerd of teruggekaatst licht, dan bemerkt men wel evenzoo twee beelden, maar van ongelijke lichtkracht. In het jaar 1811 ontdekte echter Arago, dat als men voor die proeve een bergkristal of een glimmerplaatje gebruikt, het onderscheid tusschen de twee beelden niet aangegeven wordt door eene meerdere of mindere lichtkracht, waarin men zich vergissen kon, maar door een onderscheid van kleuren, waarin men zich niet kan vergissen. Ziet men bijv. met zulk een polariscope, rechtstreeks in de Zon, dan bemerkt men twee witte zonnebeelden van gelijke kracht; maar ziet men naar de Zon, na haar eerst in een spiegel of gladde vlakke te hebben opgevangen, dan vertoonen de beide zonnebeelden de levendigste kleuren. Wanneer het eene beeld groen schijnt, vertoont zich het andere rood, beide kleuren zijn altijd aanwezig, wanneer men teruggekaatst licht onderzoekt; de polariscope is dus een zeker middel om eigen van teruggekaatst licht te onderscheiden. Toen Arago den 3 Juli 1819 met dit werktuig het licht van de toen zichtbare groote komeet onderzocht, bleek het dat zij grootendeels met geleend licht schitterde.

Daardoor heeft men echter ook ontdekt, dat het licht van den staart

en van de kern, van elkander verschilt, zoodat de kern eener komeet ook eenig eigen licht kan bezitten; die polarisatie van den staart zou men kunnen vergelijken bij het verschijnsel dat plaats heeft, wanneer een bundel zonnestrallen door eene nauwe opening in eene duistere kamer valt, dan polariseeren de lichtstralen door zich terug te kaatsen op de ontelbare stofdeeltjes, welke in de lucht zweven, vandaar de nieuwere gissing over de kometenstaarten, welke wij hierboven reeds aanstipten en wel, dat zij vereenigingen zijn van weegbare stoffen met groote tusschenruimten.

Om zooveel te beter de natuur der kometen te begrijpen, zullen wij achtereenvolgens verslag geven van de verschillende hypothesen, welke de geleerden gemaakt hebben om de kometen te verklaren.

Volgens Apianus Cardanus Tycho Brahé had de staart der kometen geene werkelijkheid, maar bestond hij alleen in een optischen schijn, veroorzaakt door de breking der zonnestrallen in den gasachtigen en doorschijnenden nevel, welke de kern omringt; die meening is in onze dagen opnieuw verdedigd door Gorgonne, die aantoonde dat men de verschillende vormen, waarin zich de staart vertoonde, kon verklaren door de natuur der nevellagen, waardoor de lichtstralen moesten heendringen. Deze hypothese vooronderstelt eene terugkaatsende middenstof, welke zich van de kern tot op eenen verbazenden afstand uitstrekt, maar de atmosfeer der komeet kan men zich tot op zulk een afstand uitgespreid, niet denken.

Het is meer dan waarschijnlijk dat de staart werkelijk bestaat en samengesteld is uit eene vereeniging van stofdeelen, welke door eene afstootende kracht uit de kern losgemaakt, buiten werking der aantrekkingskracht zijn gebracht, en welke nu uit kracht van hunne verkregene snelheid de beweging van hunne bron volgen.

Waarin echter die afstotende kracht bestaat, en op welke wijze die werkt is onbekend. Kepler, Euler en Laplace meenden dat de zonnestrallen zulk eene kracht bezaten, toen men vroeger de emanatie leer ¹

¹ *Emanatie* of uitvloeiings-theorie, is de leer dat het licht eene stof is, welke niet aan de wetten der zwaartekracht gebonden, met ongeloofelijke snelheid uit de lichtbron wordt voortgestooten. Newton was de schepper dezer theorie. Onze vaderlandsehe Huygens verkondigde eene andere, de *vibratie*-theorie, welke men thans algemeen voor de ware houdt. Volgens deze theorie is het licht geene stof, maar eene trilling in den ether; evenals het geluid veroorzaakt wordt door eene golving in de lucht, zoo wordt het licht veroorzaakt door eene vibratie of golving in den ether.

aannam, was zulk eene hypothese beter dan thans, daar zulks moeielijk rijmt met de tegenwoordig als waar aangenomene vibratieleer. Overigens is, behalve andere moeielijkheden niet te begrijpen, waarom de deelen, die in de nabijheid der Zon opgelost en afgestooten zijn, op het einde in den staart verre van de Zon niet weder tot hunnen oorspronkelijken toestand terugkeeren.

Newton en na hem Hooeke en Boskowitch schreven die afstootende kracht toe aan het verschil van zwaartekracht, tusschen de stof van den staart en den ether, waarin die staart zich beweegt, zoodat men den staart vergeleek met de dampen, die om hunne mindere zwaarte zich ook boven de dikkere lagen van onzen dampkring verheffen.

J. Herschel maakte eene andere hypothese, welke door anderen later is uitgebreid: hij zocht namelijk de oorzaak van die afstootende kracht in de positieve electriciteit van de Zon, de kern was dan negatief-electrisch en werd, naarmate zij meer en meer de Zon naderde, positief-electrisch, daardoor werd zij weder afgestooten en de uitvloeiing der positieve electriciteit vormde dan den staart.

Bessel nam eene soort van poolkracht aan, overeenkomende met eene afstootende magneetkracht, daardoor meende hij de slingeringen uit te leggen, welke men waarnam bij de uitstralingen. Als die hypothese waar is, dan werkt de Zon wel op eene geheel onbekende wijze, maar die toch niet zonder voorbeeld in de natuur is, want wij zien dat de vlam eener kaars of van zuiver waterstofgas afgestooten wordt, wanneer zij binnen de sfeer van een sterken zeilsteen wordt gebracht.

E. Roche had weder eene andere hypothese, en meende de staartvorming uit te leggen door eene oorzaak, geheel overeenkomende met de eb en den vloed van de zee. Dan moest de kometenstof, volgens hem, twee ophoopingingen vormen, ééne aan den zonkant en ééne aan de tegenovergestelde zijde en zoo buiten de aantrekking der komeet komende, zouden er dan twee staarten gevormd worden; de waarneming bestrijdt echter deze hypothese, daar de staart zich steeds alleen tegenover de Zon vertoont.

Welke hypothese men ook aanneemt, het is niet te ontkennen, zegt Herschel, dat de vorming van den staart eener komeet tot nog toe in een diep geheim gehuld is, want als men aanneemt dat de staart eene stof is, welke door eene werking der Zon uit de kern der komeet wordt uitgestooten, dan stuit men op eene niet op te

lossen moeielijkheid, namelijk de verbazende beweging en zwaai, welke die staart maakt in het perihelium. Wanneer de staart eene stof is, kan men begrijpen dat hij in de beweging en richting van zijne bron deelt, en dus de komeet volgt, maar als de komeet in de nabijheid der Zon keert en dus eene baan rondom de Zon maakt, dan blijft de staart altijd van de Zon afgewend en zou dus eene beweging hebben, geheel en al in strijd met de wetten der zwaartekracht. 't Is niet te begrijpen hoe dezelfde stoffelijke staart, zonder te breken, zulk een verbazenden zwaai kan maken.

De geleerde Tyndall droeg den 8 Maart 1869 te Cambridge eene theorie voor over de kometen, waarmede hij alle moeielijkheden meende te ontwijken. Zijne theorie steunt op de ontbinding van dampen door het licht; dikwijls, zeide hij, was ik bij mijne proefnemingen verwonderd over de verbazende massa licht, welke teruggekaatst werd door eene stof in oneindig kleine hoeveelheid aanwezig, wanneer die stof in damp was opgelost. Hij noemt die kracht van het licht eene actinische kracht, (van het Grieksche *aktis* straal), zijne theorie komt op het volgende neer.

1. Eene komeet bestaat uit een damp, welke door het zonlicht opgelost kan worden; het zichtbare hoofd en de staart zijn dus eene soort van actinische wolk, welke haar oorsprong neemt uit de ontbinding of oplossing door de zon.

2. De staart eener komeet is dus volgens die theorie geene uitgestootene stof, maar stof, die polariseert op den bundel zonnestrallen, welke den atmosfeer der komeet doordringt; dat polariseeren gaat met eene verbazende snelheid langs dien stralenbundel en soms ook langzaam, daardoor zoekt hij den verbazend snellen aanwas van sommige kometenstaarten te verklaren.

3. Wanneer de komeet in haar perihelium is en dus keert, zien wij in den staart niet dezelfde maar geheel andere stof, die opnieuw polariseert op de zonnestrallen, welke in andere richting door den atmosfeer der komeet heen schieten. Daardoor wordt de omzwaai van den staart verklaard zonder tot eene onmogelijke beweging daarvan zijne toevlucht te moeten nemen. Wij kunnen het ons aldus voorstellen: wanneer wij in eene duistere kamer een enkelen zonnestraal op een spiegel doen terugkaatsen, dan beweegt de teruggekaatste lichtstraal zich in verschillende richtingen, wanneer wij den stand van den spiegel veranderen, de stofdeeltjes, welke op dien lichtkegel polariseeren en

hem zichtbaar maken, verplaatsen zich niet, maar het zijn bij elke veranderde richting nieuwe stofdeeltjes die polariseeren.

4. De staart is altijd van de Zon afgewend, omdat er twee krachten op de kometenstof werken; eene warmtekracht, waardoor eene oplossing der stof wordt bewerkt en eene actinische kracht, waardoor die opgeloste stof zichtbaar wordt. Om den staart nu achter de komeet te verklaren, neemt hij aan, dat de warmtestralen der zon door het hoofd der komeet heenschietend meer geabsorbeerd worden dan de actinische stralen, deze behouden dus, achter de kern of het hoofd de eigenschap, om de lichtwolk te veroorzaken, welke den staart der komeet uitmaakt.

5. Wanneer door den loop der komeet op hare baan de oude lichtende staart, niet meer beschermd wordt door het hoofd der komeet, die bij wijze van scherm voor den staart is, dan vallen de warmtestralen der Zon rechtstreeks op dien staart, en wordt hij door de zonnestrallen opgelost, hoewel niet oogenblikkelijk, en daarom buigt hij zich immer naar die zijde, welke de komeet heeft verlaten.

6. Er bestaat dus eene soort van strijd tusschen die beide soorten van stralen, zoodat om de eene of andere oorzaak de actinische stralen de bovenhand kunnen hebben, zelfs in die deelen der kometen-atmosfeer, welke door de kern niet beschermd is, en zoo zou men de zijdelingsche uitstroomingen en den schijubaren staart kunnen uitleggen, welke zich soms aan dezelfde zijde der Zon vertoont.

7. De inkrumping van het hoofd der komeet in de nabijheid der Zon wordt veroorzaakt door de warmtestralen, waardoor het hoofd getroffen wordt, daardoor worden de uitvloeiende kanten opgelost en eene inkrumping veroorzaakt.

Wanneer wij de kometen alleen door eene waarneming met het bloote oog kenden, dan wordt door deze theorie de uiterst geringe stof der kometen, hare polarisatie, de beweging en ontwikkeling der staarten genoegzaam verklaard, maar in geen deele de verschijnselen, welke men door telescopen bij de kometen waarneemt.

Want volgens die theorie zou men onmiddellijk achter de kern eene zeer lichtgevende streek moeten vinden, voortkomende uit de door het zonlicht opgeloste dampen, en de waarneming doet ons juist achter de kern eene donkere streek zien. Overigens is de waarneming der staartvorming in tegenspraak met die theorie, want de staart schijnt eerst naar de zon uit te schieten en zich dan naar achteren om te buigen, zooals

Plaat XXXIX ons toont. Duidelijk nam men zulks in 1836 bij de komeet van Halley waar. Bond zegt van de komeet van Donati, dat de stof, die uit de kern voortkwam, in plaats van dadelijk den staart te vormen eerst eenige dagen rondom de kern bleef, en wel aan de zijde van de Zon, en toen die stof genoegzame uitbreiding had verkregen, vloeide zij als eene halve maan langs twee stroomen naar achteren en vereenigde zich met die, welke uit de andere omhulsels der komeet schoten; men neemt ook verschillende lagen van zulke omhulsels waar, die zich immer naar de zon uitstrekken. Bij de komeet van Donati ontdekte men 7 zulke hulsels, en bij de groote komeet van 1861 niet minder dan elf.

Uit dit alles volgt dat de theorie van Tyndall wel eenige verschijnselen uitlegt, maar dat de ware theorie, waardoor alle verschijnselen worden verklaard, nog niet gevonden is.

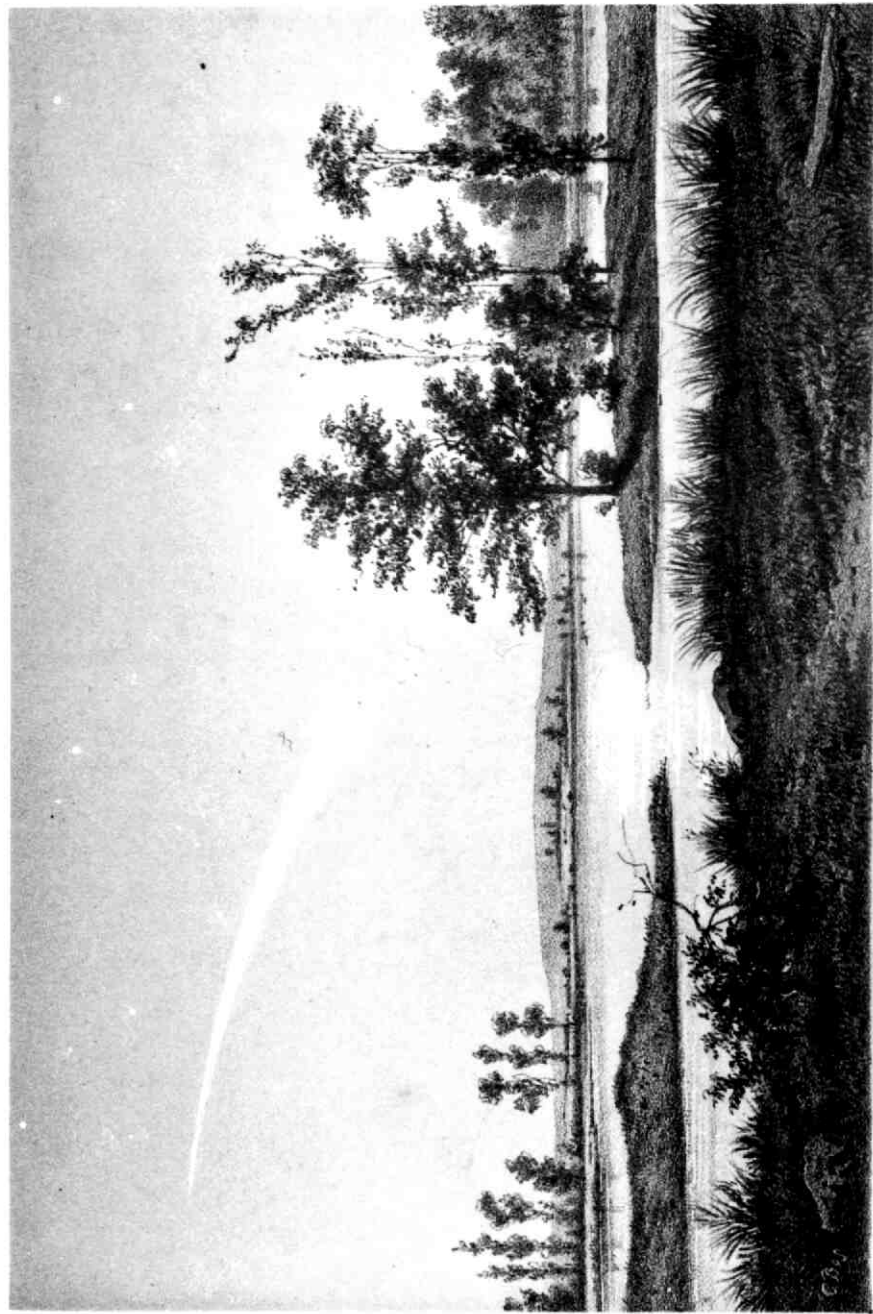
De geleerde Fajje heeft de natuur van die afstootende kracht, welke men in de Zon aanwezig aanneemt, door eene andere hypothese zoeken te verklaren. Hij neemt aan, dat de Zon op de lichamen in de hemelruimte zulk eene repulsieve kracht uitoefent, die volgens hem werkt, niet evenals de zwaartekracht, naar gelang der massa, maar andersom naar gelang van den omvang; die kracht kan door de lichamen als door een scherm worden tegengehouden, terwijl de zwaartekracht, zooals wij weten, hare werking door de lichamen heen doet gevoelen. De verbreiding van die kracht geschiedt niet eensklaps, zooals bij de zwaartekracht, maar opeenvolgend, gelijk bij het licht en de warmte. Eindelijk is die kracht niet onafhankelijk van den physieken toestand van het lichaam; want in ons stelsel schijnt de Zon alleen dergelijke kracht te bezitten. Fajje zou die kracht willen noemen repulsie eener gloeiende oppervlakte, want onderscheidene proeven hebben hem geleerd, dat zeer verdunde lucht door eene gloeiende metaalplaat werd afgestooten; door middel van de vonk eener klos van Ruhmkorff werd die lucht en hare afstooting zichtbaar.

Al deze pogingen, welke de sterrenkundigen aanwenden om door meer of minder waarschijnlijke hypothesen de kometen en hare verschijnselen uit te leggen, leveren het bewijs, dat vooralsnog die hemellichamen met een geheimzinnigen sluier bedekt zijn, welke door de wetenschap nog maar voor een gering gedeelte opgeheven is.

Uit alle gedane waarnemingen schijnt het, dat de kometen zelve uit de vereeniging bestaan van eene nevelachtige stof, die echter

vreemd is aan de stof, waaruit ons stelsel gevormd is, maar die, wanneer zij eenmaal binnen de aantrekkingsfeer van onze Zon is geraakt, door den storenden invloed der planeten wordt teruggehouden, totdat de kracht der zonnearmte ze langzamerhand oplost en in de ruimte verstroot. Deze theorie zal eene treffende bevestiging erlangen door hetgeen wij in het volgende hoofdstuk zullen zeggen over de nieuwste theorie der vallende sterren door Schiaparelli.

Aan het slot van deze beschrijving der kometen antwoorden wij nog op de niet onbelangrijke vraag. Welken invloed hebben de kometen op onze aarde? En het antwoord is, eene komeet oefent geen merkbaaren invloed op de aarde uit, hoe dicht zij deze ook naderd; er bestaat geen reden om ze te vreezen. De stof, waaruit de komeet bestaat, is zoo uiterst gering, dat zelfs in de vooronderstelling dat eene komeet tegen de aarde zou botsen, er al zeer weinig na-deelige gevolgen veroorzaakt zouden worden; meermalen reeds is onze aarde door den staart eener komeet heengegaan, zoodat wij in 1819 en 1823 deelen van den kometenstaart hebben ingeademd, en toch waren de meest gevoelige werktuigen niet in staat eenigen invloed waar te nemen. Is echter de theorie van Schiaparelli de ware, dan zou de aarde, ingeval zij door de dichtere lagen eener komeet heenging, door millioenen vallende sterren en vuurbollen getroffen worden, en zulk een bombardement zou voor ons een ernstig gevaar opleveren: daar echter de wereld aan geen blind toeval is onderworpen, zoo zullen wij veilig zijn onder het wijze bestuur van Hem, die volgens vastgestelde wetten het Heelal bestuurt.



METEOR MET STAART.

II.

DE VALLENDE STERREN.

§ 1. De vallende sterren met het bloote oog waargenomen. — Haar glans. — Vormen van haren staart. — Kleur van haar licht. — De boliden of vuurbollen. — Getal der vallende sterren, zichtbaar voor het ongewapend oog. — Zwerm van vallende sterren. — Gissing naar het geheele getal dier meteoren, over de gansche aarde zichtbaar. — Meteoreregen van Augustus en November. — Voornaamste tijdpunten dier meteorozwermen in den loop van het jaar.

Er is zeker niemand onder onze lezers, wiens opmerkzaamheid nooit is aangetrokken geworden door de waarneming van eene zoogenaamde vallende of verschietende ster, want er gaat geen nacht voorbij of meer dan een verschijnt er aan den onbewolkten hemel. Iedereen weet dat men den naam van vallende sterren geeft aan die lichtende punten, die eensklaps aan den sterrenhemel verschijnen en met groote snelheid een zekeren boog aan den hemel beschrijven, alsof er zich eene ster van het firmament losmaakte, terwijl zij een lichtend spoor achterlaten, dat echter zeer spoedig verdwijnt. De vallende sterren schitteren evenals de vaste sterren des hemels in verschillende grootte. Sommigen evenaren Jupiter en Venus in hunne grootste schittering, anderen zijn nauwelijks merkbaar, en vereischen al de aandacht van hen, die zich met de waarneming daarvan bezig houden, terwijl een groot aantal slechts door kijkers zichtbaar is.

Het lichtende spoor, dat zij achterlaten, geeft met juistheid de richting van hare schijnbare baan te kennen.

Vroeger geloofde men, dat zulk een staart in werkelijkheid niet

bestond, maar dat de blijvende indruk van het zoo snel zich bewegende punt, op het netvlies van ons oog zulk een spoor schijnbaar te weeg bracht, evenals dit het geval is, wanneer eene vuurkool snel wordt rondgeslingerd, waarbij men ook den ganschen cirkel door eene vurige streep ziet afgeteekend; moge het lichtend spoor, dat de ster achter zich laat, gedeeltelijk aan zulk optisch bedrog toe te schrijven zijn, zoo is toch de lange duur bij enkelen waargenomen, waarin zich die staart vertoont, en de waarneming dat deze van de meerdere of mindere grootte der vallende ster afhangt, wel een bewijs dat die achterblijvende staart niet enkel schijn is, maar in de werkelijkheid bestaat. De wijze ook, waarop zulk een lichtend spoor uitdooft, levert een bewijs voor de werkelijkheid daarvan, gewoonlijk verdwijnt het eerst aan de beide einden en in het midden het laatst, hetgeen onmogelijk zou wezen, wanneer die staart alleen in schijn in het oog van den beschouwer bestond; dat bewijs wordt verder ondersteund door de waarneming zelve, want die lichtende strepen nemen, wanneer zij met telescopen bespied worden, allerlei vormen aan, de rechtlijnige vorm gaat gewoonlijk in eenen gegolfd en soms in een elliptischen vorm over.

Overigens leert ons de waarneming, dat niet alle vallende sterren met zulke lichtende staarten verschijnen, hetgeen toch het geval zou moeten zijn, wanneer die staart alleen in het oog van den waarnemer bestond.

Julius Schmidt rekent dat op 100 dergelijke vallende sterren er zich ongeveer 12 of 13 met staarten vertoonen; de kleur van die staarten verschilt volgens hem zeer dikwijls met de kleur van hunne lichtbron, zoodat er van een optisch bedrog geene spraak kan zijn. In het jaar 1845 zag hij zelfs met Argelander eene vallende ster met een dubbelen staart, ter lengte van een boog van ongeveer 10 seconden. Meestal verschijnen die staarten rechtlijnig of zeer weinig gebogen, soms echter ook slangvormig.

De vallende sterren hebben niet alleen eene verschillende grootte, maar ook eene verschillende kleur. Het getal der witten is het aanzienlijkst, maar men neemt ook gelen, rooden, groenen en eenige nevelachtigen waar. De bovengenoemde Julius Schmidt, die met Heis gedurende verscheidene jaren de vallende sterren met groote nauwkeurigheid waarnam, geeft onder 100 vallende sterren van de eerste tot de zesde grootte de volgende verhouding aan: 62 witte, 15 gele, 6 roode, 3 groene en 14 nevelachtige, zonder bepaalde kleur.

De lengte van hare schijnbare baan, de duur harer zichtbaarheid zoowel als haar glans leveren een groot verschil op.

Vroeger onderscheidde men drie soorten, namelijk: vallende sterren, vuurkogels of *Boliden*¹ en luchtsteenen *aerolithen* ook meteoren genaamd. Later zullen wij echter zien, dat wij niet te doen hebben met drie onderscheidene soorten, maar dat het lichamen zijn van ééne en dezelfde soort, die naargelang van hunne uiterlijke verschijning verschillende namen ontvangen.

Onder vallende sterren verstaan wij dezulken, die zich als sterren aan den hemel vertoonen; vuurkogels, boliden, noemt men dezulken, die alle vaste sterren in glans en grootte overschitteren en soms de maan in schijnbaren omvang evenaren, en meteoren noemt men dezulken, die door hun val op aarde een zichtbaar spoor achterlaten.

Het aantal vallende sterren, dat des nachts wordt waargenomen, is zeer verschillend en hangt van vele omstandigheden af. De kortere of langere nacht, de meer of minder heldere hemel, de meerdere of mindere mate van licht, welke de maan in den dampkring verspreidt, zijn zoovele oorzaken, waardoor de waarneming wordt bemoeielijkt of gemakkelijk gemaakt. Op zekere tijden en nachten echter volgen die luchtverschijnselen elkander met zooveel snelheid op, dat men aan die tijdstippen daarvoor eigenaardige namen heeft gegeven, zooals vloed of stroom, en het gezamenlijk getal, dat men in een paar uren waarneemt, noemt men een zwerm.

In het begin van deze eeuw kende men slechts twee of drie dergelijke stroomen of zwermen, welke men noemde naar den tijd van hunne verschijning; zoo sprak men van een Laurentius- of Augustusstroom, van een Novemberstroom, enz. De vallende sterren, welke men op andere nachten waarnam, en welke geen deel dier stroomen schenen uit te maken, noemde men sporadische, dat is onregelmatige of verstrooide.

Sinds men echter aan dat verschijnsel eene meerdere opmerkzaamheid heeft gewijd, heeft men ook meer stroomen waargenomen, wel niet zoo belangrijk als de reeds bekenden, maar die toch dezelfde eigenschappen bezitten, vooral eenen op bestemden tijd bepaalden

¹ Bolide van het grieksche ballo, ik werp, daarvan bolis eene uitgeworpene pijl; hiermede verwant is de uitgang bij parabool en hyperbool.

terugkeer, zoodat zij telkens zichtbaar worden, wanneer de Aarde op een bepaald punt van hare loopbaan is gekomen.

Voor wij verslag geven van de voornaamste verschijningen, willen wij eerst nagaan, wat de voornaamste waarnemers ons leeren over het aantal vallende sterren, dat gedurende een jaar op de aarde wordt waargenomen. Wanneer wij de nachten, waarin een stroom van vallende sterren zichtbaar is, buiten rekening laten, dan bepalen verschillende waarnemers het middelbare getal, dat iemand gedurende een uur op dezelfde plaats kan waarnemen, op 6 of 8.

Toen men het belang van dergelijke waarnemingen beter begreep, vermenigvuldigde men het getal waarnemers, aan wie men eene bepaalde streek des hemels ter onderzoek aanbod.

Professor Newton in Amerika schatte daarop het middelbare getal in een uur op 30 voor éenen horizon, maar omdat iedere horizon slechts voor een gedeelte beschouwd kan worden, terwijl de dikke lagen van den dampkring zeer vele meteoren verbergen, berekende hij dat om geene enkele vallende ster te missen men op 10,000 verschillende plaatsen op de aarde, het uitspansel moest gadeslaan, dat zou dan, in de vooronderstelling dat het nacht is en de hemel helder, ieder uur een getal opleveren van 300,000 vallende sterren.

Dit is echter nog niet alles, daar er hier alleen spraak is van met het bloote oog zichtbare meteoren, maar Newton wil, dat als men een kijker gebruikt van 60 malige vergrooting, men dan 250 maal meer vallende sterren zou waarnemen, zoodat men de meteoren, welke het blauwe uitspansel doorploegen, bij millioenen tellen moet.

De waarde van zulke becijferingen zullen wij echter voor rekening van professor Newton laten.

Niet alleen zijn de vallende sterren belangrijk, omdat zij in sommige nachten zoo talrijk verschijnen, dat men ze stroomen heeft genoemd, maar daarom vooral, omdat die verschijning op bepaalde tijdstippen van het jaar plaats vindt.

Voordat de wetenschap zich met die verschijnselen bezig hield, noemde het volk den sterrenval van den 10 Augustus reeds de vurige tranen van den H. Laurentius. In den nacht van den 9 op den 10 Aug. bereikt het verschijnsel wel den hoogsten trap, maar in de voorgaande en volgende nachten, neemt men ook een veel grooter aantal meteoren waar dan op andere nachten van het jaar. In 1839 telden Capocci en Nobile in Napels 1000 vallende sterren in den tijd van 4 uren. In 1836

nam Walferdin ze waar te Bourbonne-les-Bains, en telde er 316 in een uur. De verschillende jaren leveren echter een groot verschil op.

De Novemberstroom, ook wel genoemd stroom van Humbolt, heeft onze kennis het meeste verrijkt met bijzonderheden over de vallende sterren. In het jaar 1799 had die verschijningplaats met bewonderenswaardige pracht. Humboldt verzekert dat in Noord- en Zuid-Amerika dat verschijnsel zichtbaar was. De langs den hemel voortschietende vonken waren zoo talrijk, dat men ze slechts bij benadering tellen kon. Eerst in 1833, in den nacht van den 12 op den 13 November, vertoonde zich die stroom weder met grooten luister, zoodat Olmsted van Boston de vallende meteoren vergeleek bij eene gewone sneeuwbus, want toen het verschijnsel reeds sterk aan het afnemen was, telde hij nog 650 meteoren gedurende 15 minuten. Toen reeds vermoedde Olbers, dat er eene ongeveer 33jarige periode bestond, waarop dat verschijnsel in buitengewone pracht terugkeerde, en inderdaad in 1866 vertoonde zich dat schouwspel op eene wijze, zooals men niet verwacht had.

Wij zullen aanstonds zien, dat nieuwere ontdekkingen het regelmatig terugkeeren van den Novemberstroom bevestigd hebben, zoodat men er eene geheel nieuwe theorie op gebouwd heeft, waardoor de stroom der vallende sterren met de kometen en zekere nevelvlekken verbonden wordt.

Behalve de twee reeds opgenoemde tijdstippen, waarop zulke stroommen aan den hemel verschijnen, zijn er op andere tijdstippen des jaars ook zulke zwermen van vallende sterren zichtbaar. Vooreerst den 2 Jan. en den 28 derzelfde maand. In Febr. en Maart is er op dit punt niets bijzonders aan te merken, maar den 20 April zijn de meteoren zoo talrijk, dat men noodzakelijk aan eenen stroom moet denken. Mei en Juni zijn onder dit opzicht de minst opmerkelijke maanden des jaars. In de laatste dagen van Juli vertoonen zich een aantal zwermen, vooral den 28 en 29. Na den vuurregen van den 10 Augustus vertoont zich de eerste zwerm op den 18—20 October en na den Novemberstroom verschijnt in Dec. van 6 op 7 en van 11—13 opnieuw een zwerm vallende sterren.

§ 2. Kosmische oorsprong der vallende sterren. — Middelbare hoogte harer ontbranding en harer uitdooving. — Snelheid harer beweging. — Straalpunten van de voornaamste stroomen. — Overeenkomst der meteorostenen en der kometen. — Theorie van Schiaparelli.

Welke natuur de vallende sterren, de vuurbollen en de luchtsteen ook hebben, en waarover wij in het volgende hoofdstuk eenige hypothesen zullen aangeven, 't is thans genoegzaam aangenomen en bewezen, dat hun oorsprong kosmisch of buiten onze aarde is. Het zijn lichamen, welke tusschen de verschillende planeten van ons zonnestelsel rondloopen, en die dan alleen zichtbaar worden, wanneer zij door onzen dampkring heenschieten en door die wrijving gloeiend worden.

Hoewel de ouden zulk een oorsprong reeds vermoedden, heeft men echter in de laatste eeuw bepaalde bewijzen voor die gissing verkregen. De meesten mannen der wetenschap geloofden vroeger, dat de vallende sterren verschijnselen waren, welke zich in den dampkring vormden, door eene vereeniging van ontvlambare stoffen, welke van de aarde waren opgestegen. Die gissing is niet alleen onwaarschijnlijk, maar zelfs onmogelijk, want wij weten dat de hoogte van onzen dampkring immer in dichtheid afneemt, en het is onmogelijk dat zulke fijne in de lucht opgeloste stoffen zich eensklaps vereenigen en verdikken tot massa's van honderde ponden; volgens de wet immers van Mariotte is de dichtheid der lucht op 8 mijlen $\frac{1}{1000}$ van de dichtheid der lucht, waarin wij leven, op 16 mijlen bedraagt die dichtheid slechts $\frac{1}{1000\ 000}$ en op 50 mijlen slechts $\frac{1}{1000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000}$, en zooals wij hierna zien zullen, bedraagt de waargenomene hoogte van sommige meteoren nog grooter afstand.

De beroemde schrijver van de *Mécanique céleste* meende, dat het steenen waren, welke door de vulkanen op de maan naar onze aarde werden geslingerd; maar hoewel zulk eene meening geene onmogelijkheid behelst, is zulk een oorsprong echter zeer onwaarschijnlijk, eerstens omdat men op de maan, hoewel overdekt met kraters, toch geene werkende vulkanen heeft waargenomen (zie bladz. 170), en ten tweede wanneer zulk eene vooronderstelling waar was, dan zou volgens de berekeningen van Olbers de maanvulkaan de kracht moeten hebben om in de eerste seconde zulk een meteorsteen vijf maal sneller dan een kanonskogel voort te werpen, waardoor zulk een steen buiten het bereik van de aantrekkingskracht der maan zou geraken, en

onder de gunstigste omstandigheden op onze Aarde kunnen vallen. Hoewel er niets onwaarschijnlijk is, dat de maanvulkanen dergelijke kracht bezitten, daar onze aardse vulkanen nog grootere kracht hebben; hoewel zij om den tegenstand van onzen dampkring zulke uitwerksels niet kunnen hebben, komen toch dergelijke meteoren niet uit de Maan, want, dan zouden zij op Aarde komende eene snelheid moeten hebben van ruim 10.000 meters in de seconde, en de waarneming leert ons, dat de middelbare snelheid meer dan 30.000 meters bedraagt, hetgeen reeds op een grooteren afstand wijst.

Wanneer zij dus hunnen oorsprong noch uit de Maan noch uit onzen dampkring nemen, moet deze kosmisch wezen, dat is, het moeten lichamen zijn, die van buitenaardsche streken tot ons overkomen.

Het schijnt dat Chladni in 1794 de eerste was, die aan de vallende sterren een oorsprong toeschreef buiten onze Aarde, doch de arbeid van Brandes en Benzenberg en van een groot aantal waarnemers in andere landen hebben aan die theorie een groot gezag gegeven.

De bewijzen, dat de vallende sterren, vuurkogels en meteoren niet tot onze Aarde behooren, komen hierop neder:

In de eerste plaats de hoogte, waarop zij gezien worden en weder verdwijnen. Benzenberg en Brandes beproefden in de vorige eeuw de hoogte te bepalen; zij kozen daartoe in het Hartzgebergte twee op grooten afstand van elkander liggende punten en teekenden de waargenomen meteoren nauwkeurig met eene juiste tijdsbepaling op hunne sterrenkaarten aan, daaruit, zochten zij de parallaxe te berekenen, vooral op het oogenblik, waarop de ster verdween, en aldus kwamen zij tot de uitkomst, dat de afstand een verschil opleverde van 7 tot 23 geogr. mijlen. Twee dergelijke meteoren werden in het begin hunner verschijning en op het oogenblik hunner uitdooving nauwkeurig gemeten; zij verschenen op eene hoogte van 16 en 17 mijlen en verdwenen op eene hoogte van 10 en 11 mijlen; verschillende waarnemingen, door Weiss, Newton en Herschel gedaan, hebben die metingen bevestigd, zoodat de middelbare afstand van hunne verschijning bepaald is op 16 en hunne uitdooving op 12 mijlen.

Zeer vele vallende sterren ontvlammen echter op veel aanzienlijker hoogte, zoodat men zulk een meteor, gelijktijdig te Breslau en te Berlijn waargenomen, op eene hoogte schatte van ongeveer 60 mijlen; evenzoo werden in 1855 te Parijs en te Orleans meteoren waargenomen, waar-

van men de hoogte berekende op meer dan 100 mijlen. De afstand der teleskopische meteoren is zeker nog veel grooter, en deze ontvlammen dus verre buiten de vooronderstelde grenzen van onzen dampkring.¹

Uit die hoogte van de vallende sterren heeft men de baan berekend, welke zij in dat oogenblik afleggen; zelden duurt hunne zichtbaarheid langer dan eene seconde, en in dien korten tijd doorloopen zij ongeveer 20 graden aan den hemel. Uit die schijnbare beweging heeft men bij benadering hunne ware beweging en snelheid afgeleid, en kwam men tot het besluit, dat zij zich veel sneller dan eene der planeten, ja bijna zoo snel als eene komeet in het perihelium bewegen, hetgeen duidelijk bewijst, dat hun oorsprong kosmisch, dat is buitenaardsch is, omdat hunne verschijning in onzen dampkring slechts eene toevallige en waarschijnlijk het einde van hun onafhankelijk bestaan is.

Een tweede bewijs voor hun kosmischen oorsprong is de stroom, waarin zij zich vertoonen.

De meteoren, welke zich op de gewone nachten van het jaar aan den hemel vertoonen, doorsnijden het hemelruim in alle richtingen; maar op de tijdstippen, waarop zich een stroom vertoont, hebben zij dezelfde richting, en schijnen uit een bepaald punt aan den hemel voort te komen. In 1799 had Humboldt die algemeene richting reeds waargenomen, en latere waarnemingen bevestigden, dat het straalpunt, waaruit de meteoren van den Novemberstroom voortschoten, gelegen was in het sterrenbeeld de Leeuw, en wel bij de ster Gamma; dit wil echter niet zeggen, dat al de vallende sterren werkelijk uit dit punt hunne baan beginnen, maar dat als hunne banen verlengd werden, zij elkander in dat bepaalde punt zouden snijden, een klein getal uitgenomen, die men sporadische noemt; dat samenloopen in één punt is een gevolg van de perspectief; de ware banen loopen evenwijdig, maar zij schijnen in elkander te loopen, volgens dezelfde wet waardoor de zonstralen soms uit elkander schijnen te loopen, wanneer zij tusschen de wolken door schieten.

¹ Daar de gloeiing der meteoren aan geene andere oorzaak kan toegeschreven worden dan aan de warmteontwikkeling door hunne wrijving tegen de luchtdeelen, blijkt daaruit, dat de hoogte van den dampkring grooter is, dan men schatte uit de waarneming der schemering. Vergelijk pag. 120 en de daaronder geplaatste noot.

Bij den Laurentiusstroom heeft men de ster Algol, in Perseus, als straalpunt erkend.

Olmstedt heeft de waarneming gedaan, dat het straalpunt van den eenen of anderen stroom gedurende den duur van het verschijnsel niet verandert, hoewel dat punt door de wenteling der Aarde meer en meer boven den horizon rijst; hieruit volgt dus, dat de vallende sterren in geenen deele van de beweging der Aarde afhangen; een bewijs dus, dat hun oorsprong niet tellurisch of aardseh maar kosmisch is.

Dit bewijs krijgt groote kracht door de berekeningen van Encke in 1834, want deze toonde aan, dat de richting der aardbaan op den 13 Nov. juist op het bedoelde punt in de Leeuw was, terwijl op den 10 Aug. de richting onzer Aarde naar het sterrenbeeld Perseus was.

Het gevolg van die overeenstemming is niet twijfelachtig; de vallende sterren, zooals wij hierboven reeds aanmerkten, schieten langs evenwijdige banen voort; een voorbeeld, dat wij bijna dagelijks onder de oogen hebben, verklaart ons hun schijnbaar uiteenloopen duidelijk. Wanneer de wind de wolken langs den hemel jaagt, drijven zij allen in dezelfde richting evenwijdig aan elkander, en toch, als wij ons met het gelaat naar den windkant keeren, schijnt het of zij zich in verschillende richtingen bewegen; recht voor ons schijnen zij te rijzen en naar het zenith te klimmen, maar links en rechts schijnen zij uit elkander te loopen.

De waarneming van zulke straalpunten bij de onderscheidene stroomen verdient al de aandacht; vooral in de laatste jaren is de opletendheid der sterrenkundigen daaraan gewijd, zoodat iedere stroom zijn straalpunt heeft.

In het vorige jaar gaf Chapelas te Parijs een verslag over 39771 gedurende een twintigtal jaren waargenomen vallende sterren; 29686 daarvan werden op verschillende tijdstippen des jaars waargenomen, en 10085 gedurende de Augustus- en Novemberstroomen; de richting van allen met elkander vergelijkende, verkreeg hij voor de middelbare richting van den meteorstroom zuid-zuidoost.

De vallende sterren van den Augustusstroom in 1871 vertoonden zich in kleiner getal dan in vorige jaren; drie schitterende vuurbollen werden er opgemerkt, één waarvan de blauwachtige staart geruimen tijd zichtbaar bleef; als straalpunten werden aangegeven de sterrenbeelden Cepheus, Cassiopeia en Perseus. De richting van het meerendeel was noordoost.

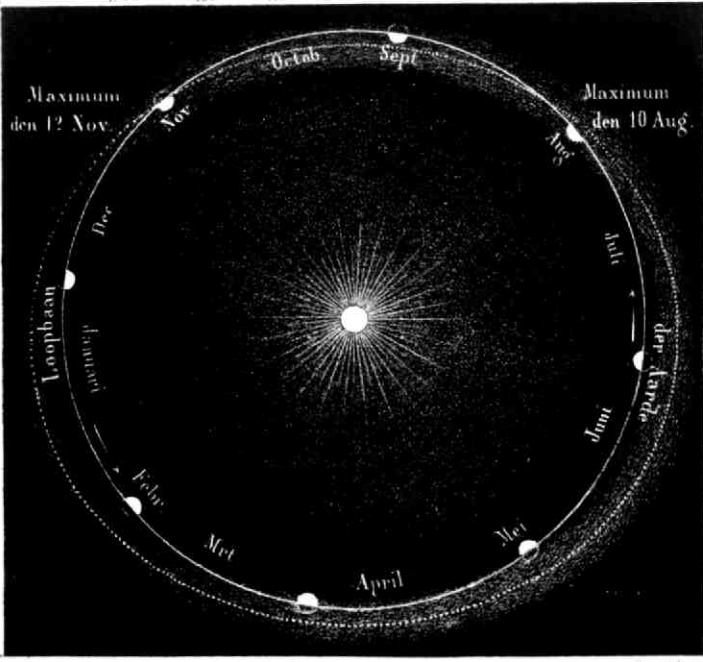
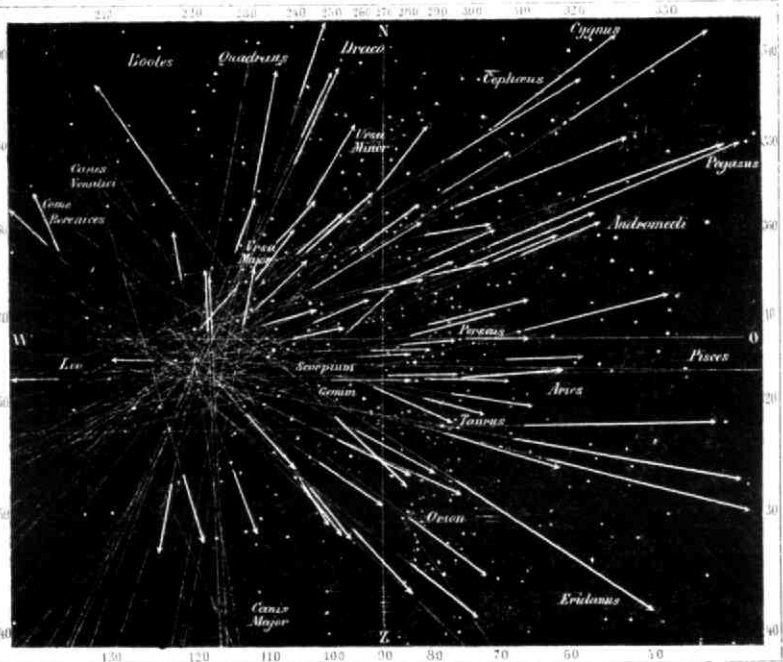
De Novemberstroom van 1871 heeft ook volgens de opgave van Le Verrier eene verandering in het straalpunt doen opmerken, want het bevond zich niet in den Leeuw, maar meer ten noordwesten van dat sterrenbeeld. Kwam die verandering voort uit den weerstand van den dampkring, dan moest met het uur van den nacht ook dat punt veranderen en zich meer naar den Leeuw verplaatsen, wat het geval niet was; maar is de verschijning van eene kosmische natuur, dan kan zij met den dag of het tijdstip veranderen. Faye merkt over die verandering van straalpunt op, dat de Aarde, toen zij zich bij vroegere tijdstippen midden door dien stroom bewoog, daarop zulk een storenden invloed heeft uitgeoefend, dat de baan dier meteoren veranderd is, of de andere stroomen, welke het hemelruim doorkruisen, en dus verschillende straalpunten hebben, waren in dien nacht zichtbaar; want als men de waarnemingen van Heis, Gregg en Herschel inziet, teekenen zij wel verschillende straalpunten aan, maar toch ook de gamma van den Leeuw.

Wij vatten hier thans de verschillende stroomen met hunne straalpunten te zamen. Pl. XLI, Fig. 1, geeft ons eene afbeelding van het straalpunt van den Novemberstroom.

METEOR- STROOMEN.	STAND DER STRAALPUNTEN.		
	Rechte opklim.	Afwijking	Naaste sterren.
2 Januari.	234°	51°	C. Kwadrant.
28 „	233	26	γ N. Kroon.
20 April.	277	34	α Lier.
10 Augustus.	44	56	γ Perseus.
18—20 October.	90	15	ν Orion.
25—26 „	98	25	ε Tweelingen.
14 November.	149	23	γ Leeuw.
11—13 Decemb.	100	33	δ Tweelingen.

De hoogte, waarop de vallende sterren ontvlammen, om aan de grenzen van onzen dampkring uit te dooven; de buitengewone snelheid, waarmede zij voortvliegen, grooter dan die der planeten; de algemeene richting, welke vallende sterren van denzelfden stroom hebben, voortkomende uit hetzelfde straalpunt; de regelmatige terugkeer van de

Binnen van 85 vliegende sterren waargenomen door A.S. Herschel te
 blissing in den nacht van den 13 November 1866. Het gangspunt
 in het sterrenbeeld den Leeuw.



Verklaring van den Augustus en November sterrenval in de
 hypothese van eenen ring met meteoren

stroomen, wanneer de Aarde elk jaar op het zelfde punt van hare baan is, zijn allen zoovele bewijzen, door de waarneming bevestigd, dat de vallende sterren niet tot onze Aarde behooren, maar een kosmischen oorsprong hebben. 't Is dus zeker dat die lichamen, die in gewonen toestand geen eigen licht bezitten, zich in zeer groote getallen in meerder of minder dikke lagen in de ruimte van ons zonnestelsel bewegen. Wij kunnen onze Aarde, wanneer zij op hare baan zulk een stroom ontmoet, vergelijken bij een kanonskogel, die door een zwerm vliegen heenboort.

Een aantal vragen kunnen over die meteorostroomen gedaan worden. Loopen zij om de Zon evenals de planeten langs elliptische banen, of hebben deze overeenkomst met die der kometen? Zijn het parabolen of hyperbolen? Zijn de elementen dier banen te berekenen? Weet men of die zwermen ook massa's vormen, of eenen aaneen verbonden ring met middelpunten van meerdere dichtheid.

Op sommige van die vraagstukken heeft men eene oplossing gegeven, die geheel en al met de waargenomen feiten overeenkomt, zoodat de geopperde hypothese een hoogen graad van waarschijnlijkheid verkrijgt.

De eerste gissing werd door Arago gemaakt, en later vooral door den Berlijnschen hoogleeraar Erman uitvoeriger bearbeid en verdedigd. Volgens deze theorie loopen er door het ruim des hemels in allerlei richtingen vallende sterren, maar er bestaan twee groote stroomen, waarin zij zich bij millioenen in een gesloten ring om de Zon bewegen; de baan van die twee stroomen, ligt niet in het vlak van onze aardbaan, maar wordt tweemaal in het jaar door onze Aarde doorsneden, en daarom vertoonen zij zich zoo talrijk in Augustus en November, zie Plaat XLI, Fig. 2. Die stroom moet eene aanzienlijke breedte bezitten, want gewoonlijk duurt het verschijnsel een drietal nachten, en in drie dagen legt onze Aarde eene lengte af van ongeveer een millioen mijlen. In Augustus en November bevindt zij zich volgens die theorie binnen den ring, dat is aan den kant der Zon, en daarom worden de vallende sterren aan de nachtzijde van onze Aarde waargenomen. Op de andere tijden van het jaar bevindt de Aarde zich aan den buitenkant van dien ring, welke dan tusschen haar en de Zon geplaatst is, en daarom zien wij de meteoren uit dien ring niet, omdat hun val dan bij dag plaats heeft.

Met die theorie verbindt hij dan het feit, dat de dagen van 11 tot

13 Mei zich immer door eene zeer koude temperatuur kenmerken; die dagen vallen juist een half jaar na den Novemberstroom in, wanneer de Aarde volgens Erman door den tweeden knoop van den Novemberstroom gaat, maar omdat de meteororing zich aan de dagzijde van onze Aarde bevindt, kunnen de vallende sterren niet worden opgemerkt, daar zij tusschen de Zon en de Aarde doortrekken, en daardoor veroorzaken zij zoo al niet eene verduistering der zonnestrallen, omdat ze te klein zijn, toch eene merkbare vermindering van warmte op onze Aarde.

Zes jaar later ontving deze theorie eene soort van bevestiging, doordien Capocci, den 11^{den} Mei 1845, te Napels een groot aantal ronde lichamen met verschillende snelheid voorbij de zonneschijf zag trekken en in verschillende soms tegenovergestelde richting.

Dezelfde opmerking wordt gemaakt over den Augustusstroom, die een half jaar later op den 7 tot 10 Februari valt; verschillende waarnemingen bewezen, dat ook in die dagen eene veel koudere temperatuur werd opgemerkt dan vóór of na dien tijd.

In de middeleeuwen had men ook zekere verduisteringen der Zon waargenomen, waarvan men zich geene rekenschap kon geven; zoo werden bijv. in het jaar 1106 twee zulke verduisteringen waargenomen, den 11^{den} Februari en den 18^{den} Mei, eene zonderlinge overeenkomst met de door Erman bepaalde tijdstippen. Evenzoo heeft Messier beweerd, dat hij op den 17^{den} Juni, een half jaar dus na den Decemberstroom, in het jaar 1777 een groot aantal zwarte punten voorbij de Zon zag trekken.

Men heeft tegen dien ring van meteoren zeer vele bezwaren ingebracht, zoodat de theorie over die cirkelvormige loopbaan der meteoren geen algemeen burgerrecht heeft verkregen. ¹

Uit vroegere waarnemingen heeft Schiaparelli, directeur van het observatorium te Milaan, eene nieuwere theorie gevormd, waardoor hij op eene merkwaardige wijze de kometen met de meteorostroomen verbindt.

Wij zullen trachten de hoofdpunten van die hypothese aan te geven en duidelijk te maken.

Schiaparelli ging uit van het feit, dat de middelbare snelheid der vallende sterren een en een half maal die onzer Aarde bedraagt; (1,414) zulk eene snelheid is niet te verklaren door eene baan van geringe uitmiddelpuntigheid en wijst dus op eene parabolische baan;

¹ Zie over die bezwaren tegen dien cirkelvormigen ring ingebracht: de Sterrenhemel, verklaard door den Hoogleeraar T. Kaiser.

daaruit trok hij het besluit, dat de stroom dier meteoren niet tot ons zonnestelsel behoorde, tenminste niet denzelfden oorsprong had als de planeten. De helling van de baan der verschillende meteoren, hunne richting, die zoo verschillend is, geven hen eene groote gelijkheid met de kometen; hunne fysieke gesteltenis, waardoor zij verschijnen als onzamenhangende massa's, schijnt evenzoo op eene groote overeenkomst met dezen te duiden, zij komen dus uit het wereldruim in ons zonnestelsel.

Nu gaat hij na, wat er volgens de wetten der beweging gebeuren moet, wanneer zulk eene nevelachtige massa, zulk eene wolk van meteoren, kosmische of wereldstof genoemd, uit het ruim des hemels binnen den kring komt, waar de Zon hare aantrekking doet gevoelen. Omdat de omvang van zulk een nevel zeer groot is, werkt de aantrekking der Zon het eerst op de deelen, welke het dichtst bij haar zijn gelegen, en daaruit volgt dus, dat wanneer deze deelen naar de Zon beginnen te vallen, zij veel snellere beweging hebben dan de deelen, die hare aantrekking nog niet gevoelen; noodzakelijk moet dus de nevel veranderen in een stroom van parabolischen vorm, die jaren, ja eeuwen noodig heeft eer al hare deelen door het perihelium der Zon zijn gegaan. Ontmoet nu de Aarde op hare baan zulk eene soort van processie, dan zal zij er door heen boren, zooals wij hierboven reeds aanmerkten, als een kogel door een zwerm vliegen, en wanneer die keten van meteoren zeer lang is, zal de Aarde elk jaar op een bepaald punt dien meteorstroom doorsnijden.

Het getal van zulke stroomen, die in alle richtingen ons zonnestelsel doorklieven, is buitengewoon groot; door de eene of andere planeet kunnen er groote storingen in de baan van zulke meteoren plaats grijpen, zoodat verschillende lichamen uit dien stroom gerukt en in het ruim des hemels verspreid worden, en daardoor zou men de sporadische vallende sterren kunnen verklaren. De stroom van zulke meteoren zou daardoor ook afgebroken kunnen worden en oorzaak zijn van de interruptiën, welke men vooral bij den Novemberstroom waarneemt.

Wanneer dergelijke stroomen eens binnen het gebied der Zon zijn geraakt, kunnen zij er in teruggehouden worden door de storende werking der planeten, en daardoor geslotene banen vormen.

De theorie van Schiaparelli heeft eene zeer groote waarschijnlijkheid verkregen, want toen hij in de vooronderstelling van eene para-

bolische snelheid der meteoren, en de richting in acht nemend uit het straalpunt, daaruit de elementen zoekt te berekenen van den Augustusstroom, vond hij eene wondervolle overeenkomst met de elementen van komeet II in 1862, zie bladz. 262. Daaruit nu komt Schiaparelli tot de gevolgtrekking dat de Perseïden (zoo noemt men den Augustusstroom wegens zijn straalpunt in Perseus) niet anders zijn dan de overblijfsels van den kometenstaart van 1862.

Bij de Leoniden of den Novemberstroom heeft hij dezelfde overeenkomst opgemerkt, want de komeet van Tempel, in 1866 ontdekt, heeft dezelfde elementen als de loopbaan, waarin zich de meteoren van November bewegen; de uitmiddelpuntigheid, de groote as, de richting der beweging, de plaats van den klimmenden knoop en van het perihelium, komen in de beide loopbanen merkwaardig overeen, zoodat het besluit voor de hand ligt, dat de kometen groote vallende sterren of liever vereenigingen van meteoren zijn, voortkomende uit de nevelachtige massaas, die van buiten ons zonnestelsel bezoeken.

Die opmerkelijke overeenstemming tusschen de Augustus- en Novemberstroomen met de kometen van 1862 en 1866 heeft het vermoeden opgewekt of de andere stroomen, welke men waarneemt, wellicht ook door kometen veroorzaakt worden; want als die hemellichamen op hunne baan zulke meteorstoffen achterlaten, dan worden, als de Aarde ze ontmoet, daardoor vallende sterren en vuurbollen veroorzaakt. Men heeft dan ook sommige overeenkomsten waargenomen; zoo is het bijv. waarschijnlijk, dat de Decemberstroom een overblijfsel is van de komeet van Biela. Bladz. 257 hebben wij reeds opgemerkt, dat deze komeet zich in eene dubbele heeft opgelost en sinds 1862 niet meer terug is gezien; wellicht zijn hare bestanddeelen nog meer ontbonden en verdeeld, zoodat zij dan alleen zichtbaar worden, wanneer onze planeet ze op hare baan ontmoet, dan worden die deelen voor de laatste maal gloeiend in onzen dampkring, lossen zich daar op of vallen op Aarde neer om zoo voortaan deel uit te maken van onze planeet.

Men moet echter niet gelooven, zegt Secchi, die met de hypothese van Schiaparelli zeer schijnt ingenomen, dat men bij iederen stroom van vallende sterren eene komeet zal vinden, want de groote planeten oefenen op zulke kleine lichamen groote storingen uit, en gedurende het aantal eeuwen, dat de meteorstroomen binnen ons zonnestelsel zijn gekomen, is de oorspronkelijke toestand waarschijnlijk zeer veranderd.

Hoewel de kosmische oorsprong der meteoren bijna algemeen wordt

aangenomen, en waarschijnlijk op goede gronden, heeft toch ook de theorie over den tellurischen of aardsehen oorsprong hare verdedigers. In 1869 wees Charles Sainte Claire-Deville, in de Academie te Parijs op de gelijktijdige verschijning van vele meteorologische verschijnsels van verschillende natuur, en R. Brück gaf in 1869 eene uitgebreide verdediging in het licht van den tellurischen oorsprong der vallende sterren, en zocht daarin te bewijzen, dat de vallende sterren, boliden, luchtsteenen, enz. in onzen dampkring hunnen oorsprong nemen. De verschillende perioden zoekt hij te verklaren door het magnetisme van onzen aardbol, en hij toont eene waarlijk wondervolle overeenkomst aan tusschen de perioden der vallende sterren, epidemische ziekten, aardbevingen, vulkanische uitbarstingen, noorder- en zodiakaallicht.

Hoewel de kosmische oorsprong waarschijnlijker is, biedt toch de verhandeling van Brück menige wetenswaardige bijzonderheid aan; tevens is het zeker dat, niettegenstaande alle verklarende hypothesen, er toch nog veel overblijft dat onbekend is.

§ 3. Physieke natuur der vallende sterren. — Overeenkomst met de boliden of vuurbollen. — Uiteenbarsting der boliden. — Luchtsteenen of aerolithen. — Kosmische oorsprong der luchtsteenen en boliden. — Mineralogische en chemische ontleding der meteoren. — Vergelijking met de rotsdeelen der Aarde. — Classificatie van Daubree.

Welke is de physieke of chemische natuur der vallende sterren? Bestaan zij uit eene gasachtige, vloeibare of vaste massa? Bevatten zij bestanddeelen, die niet op onze planeet gevonden worden? Wanneer op die vragen het juiste antwoord kon gegeven worden, had men ook bepaalde gegevens om de stoffen te kennen, die in het ruim des hemels omloopen, en waren wij in onmiddelijk verband met het uitpansel, welks bevolking wij slechts door het gezicht kennen. In de laatste jaren echter is de kennis dier lichamen ook met groote schreden vooruitgegaan.

De waarneming leert ons, dat de zoogenaamde vallende sterren enkel in de hoogere streken van onzen dampkring verschijnen, dat zij daar een oogenblik schitteren, daarna verdwijnen en dus niet op Aarde komen. Er is dus maar één middel om iets van hunne bestanddeelen te kennen, ten minste op het oogenblik hunner ontvlaming, en dat middel is de spectraal-analyse. Toen Herschel op die wijze de vallende sterren van den 10^{den} Aug. 1866 onderzocht, bevond hij dat de achterblijvende staart en ook sommige kernen een onafgebroken

spectrum gaven met eene schitterende streep in het geel, hetwelk eene gasachtige zelfstandigheid te kennen gaf met sodium, en daar de aanwezigheid van sodium in zulk eene hoogte van den dampkring niet aan te nemen is, besloot Herschel, dat de vallende sterren zelve sodium bevatten. Andere spectra's vertoonden zich zonder eenige strepen, en wezen dus op vaste deelen, die in gloeiing waren. In Nov. 1868 heeft Secchi het licht van een schitterend meteor ont-leed, wiens staart 15 minuten lang zichtbaar bleef, en hij kwam tot het besluit, dat de vallende ster uit gloeiend gas bestond, waarin hij magnesium, sodium en ijzer erkende.

Wanneer men deze uitkomsten vergelijkt met de spectra's der kometen (zie bladz. 262), dan is dit een nieuw getuigenis ten gunste der theorie, welke aan al die verschijnselen een gemeenschappelijk oorsprong toeschrijft.

De eigenlijk genoemde vallende sterren zijn alleen door middel van kijkers te benaderen; zulks is echter niet het geval met de boliden of vuurbollen, welke gewoonlijk tegelijk met de verschillende stroomen verschijnen.

De eerste vraag, welke zich hier voordoet, is, of die boliden inderdaad van de vallende sterren verschillen, of dat zij tot dezelfde soort behooren, alleen met grootere afmetingen.

Gewoonlijk vertoonen zich de boliden met schijnbaar groote middellijnen, soms bij vollen dag. Humboldt spreekt van eene bolide, die bij helderen zonnenschijn zulk een schitterend licht bezat, dat de kamer, waarin zich de waarnemer bevond, er geheel door verlicht werd. Den 4^{den} Maart 1863 vertoonde zich in Nederland, Duitschland, België en Engeland, een vuurkogel met zulk een krachtig licht, dat de waarnemers te verblind waren om de juiste richting aan te geven. Bij verschillende verschijningen van zulke meteoren, vergelijkt men ze dikwijls met den omvang van de Maan; zulks is echter gewoonlijk eene overdrijving, die veroorzaakt wordt door den sterken indruk, welken het onverwacht verschijnsel te weegbrengt.

De kleur dier boliden is evenals die der vallende sterren zeer verschillend: rood, blauw of groen. Men kan echter vragen, is dat verschil van kleur werkelijk in de bolide, of ligt zulks meer aan het oog van den waarnemer? Wanneer men eenige oogenblikken een hel wit licht beschouwt, schijnt het niet meer wit, maar witblauw. Van dit feit kan men zich overtuigen door een oogenblik

in de Zon of in een sterk electrisch licht te zien. Evenzoo is het van algemeene bekendheid, dat vele menschen geen onderscheid kennen tusschen bepaalde kleuren, terwijl anderen sommige kleuren steeds verwisselen, bijv. groen voor blauw aanzien en omgekeerd. Men ondervindt dan ook, dat de kleur van hetzelfde meteor soms zeer verschillend wordt opgegeven. De groote vuurbol van den 3^{den} Maart 1861, werd op 9 plaatsen blauw aangeduid, op ééne plaats groen en op 5 wit. Wat nu waar is valt moeielijk uit te maken.

De vorm der boliden is meest schijfvormig rond en soms ook elliptisch. Zij vertoonen zich dikwijls in eene soort van nevel. Het schijnt, dat de eigenlijk gezegde meteorsteen wel het kleinste deel van den vuurbol uitmaakt, niet zelden vliegen er kleine deelen van de vuurmassa af, die oogenblikkelijk verdwijnen.

Eenige meteoren springen met een hevigen knal van elkander, en laten hunne bestanddeelen op Aarde vallen. Bijna altijd laten zij lichtende staarten of sporen, of meer of minder lichtende wolken achter, die soms langen tijd na het verdwijnen eener bolide nog voortduren. Zoo verhaalt Krusenstern, dat hij de kleine wolk, veroorzaakt door eene bolide, gedurende een gansch uur heeft waargenomen. In den nacht van den 14^{den} Nov. 1868 nam Secchi er eene waar, die opeenvolgend de kleuren van den regenboog vertoonde, en wier spoor geruimen tijd in den vorm van een reusachtigen droppel achterbleef, rood van onder, en verschillend gekleurd in de andere gedeelten. De opeenvolging van verschillende kleuren toont waarschijnlijk den verschillende graad van verbranding bij het verschijnen of de verschillende chemische samenstelling.

Naar alle waarschijnlijkheid verschillen de boliden niet van de vallende sterren dan alleen in omvang. De vallende sterren bestaan uit eene zeer geringe massa, welke zich door hunne snelle vaart door den atmospheer in gas oplost; de boliden behooren tot dezelfde soort, maar met grootere massa, daardoor dringen zij verder in den dampkring, en daar zij hier weerstand ondervinden neemt ook hunne snelheid af. Wanneer de aantrekking der Aarde die snelheid overwint, komen zij op deze neder, dikwijls na eerst in stukken te zijn gesprongen. De aeroliten of luchtsteenen zijn dus van dezelfde soort als de boliden en de vallende sterren, zij hebben allen denzelfden oorsprong.

Dit is ten minste een feit, dat zeer vele luchtsteenen gevallen zijn tegelijk met de verschijning eener bolide.

De meeste waarnemingen over de hoogte, waarop de vuurbollen verschijnen en soms uiteenspatten, zijn zeer verschillend, men meet dien afstand met mijlen. Op zulk eene hoogte is echter de dichtheid der lucht zoo uiterst gering, dat het moeielijk valt hunne zelfontbranding door de wrijving der luchtdeeltjes uit te leggen. Poisson meent, dat de electriciteit de oorzaak is hunner verwarming en gloeiing, maar volgens de berekening van Reichenbach verkrijgt een meteor, die met eene snelheid van 10 mijlen in de seconde de bovenste luchtlag doornvliegt, eene warmte-ontwikkeling van 5178 graden, al heerscht er ook eene koude van 30 graden. De weerstand der lucht moet noodzakelijk een van elkander springen ten gevolge hebben. Wanneer een meteor met eene snelheid van 10 mijlen in de seconde, op eene hoogte van $2\frac{1}{2}$ mijl voortvliegt, heeft hij op de voorzijde een druk van 7700 pond op iederen vierkanten duim, en op eene driemaal grootere hoogte bedraagt de druk nog 300 pond. Zulk een druk nu kan een meteor doorstaan, hoewel er vele voorbeelden bestaan, dat zij bij veel mindere snelheid en veel hooger boven de Aarde, reeds van één springen. Dit punt is dus nog niet geheel en al duidelijk verklaard, evenmin als het verklaard is, hoe het komt dat meteoren in zulk eene fijne lucht hun knal op Aarde kunnen doen hooren; het geluid immers kan zich alleen voortplanten, wanneer de lucht genoegzame dichtheid bezit, en zulks is op eene hoogte van 7 tot 10 mijlen het geval niet. Des te opvallender zijn daarom de geweldige knallen van vele meteoren, die toch op zulke hoogten van één barsten.

De neergevallen meteorsteenen geven ons de gelegenheid om de lichamen te betasten en te onderzoeken, die uit het verre wereldruim ons worden toegezonden, en leveren tevens een treffend bewijs voor de éénheid, welke er in de gansche schepping heerscht. Het onderzoek toch heeft niet bevonden, dat de meteoren uit andere bestanddeelen zijn samengesteld dan die, welke wij op onze Aarde kennen. Tot nu toe heeft men er 22 elementen in ontdekt, hoewel in zeer van elkander afwijkende verbindingen, en van sommigen ontdekte men slechts sporen. Daubree heeft ze volgens hunne hoeveelheid in de navolgende orde geplaatst. In de eerste plaats ijzer, dat voorkomt óf als metaal, óf als sulphas, en in de zoogenaamde steenmeteoren komt het geoxydeerd voor. Vervolgens Magnesium, Silicium (kiezel), Oxygenium (zuurstof), vooral in de steenmeteoren,

Nikkel, Cobalt, Chromium, Manganesium, Titanium, Tin, Koper, Aluminium, Kalium (potasch), Natrium (soda), Calcium, Arsenicum, Phosphorus, Nitrogenium (stikstof), Zwavel, Chloor, Koolstof, en eindelijk ook Waterstof.

Men heeft aan de meteoren twee hoofdonderscheidingen gegeven: wanneer ijzer (dat immer in verbinding met nikkel voorkomt) een hoofdbestanddeel in de massa is, noemt men ze Sideriten (van Sidyros ijzer), en is de steenmassa een hoofdbestanddeel, dan noemt men ze Asideriten (van a en sidyros, zonder ijzer).

Lang heeft men gezocht om een onderscheidend kenmerk te ontdekken voor de meteoren, waardoor geene vergissing mogelijk was. Het eenige kenmerk, dat zekerheid geeft, is de nikkelverbinding, hoewel sommige meteoren geen spoor van ijzer- en nikkelverbinding toonen. Het ijzer, dat in sommigen voorkomt, is gedegen; zoo komt het op Aarde niet voor, daar het zich met de zuurstof van de lucht en het water tot oxyde of roest verbindt. Die meteoren komen dus van eene plaats, waar geen water en geen lucht is, en zijn dus van kosmischen oorsprong of wereldlichamen. In het jaar 1808 ontdekte von Widmannstätt, dat wanneer men geslepen of gepolijste stukken van meteorijzer met salpeterzuur bevochtigde, er zich aanstonds eigenaardige lijnen vertoonden, welke elkander onder verschillende hoeken sneden. De ontdekking dier Widmannstätt'sche figuren scheen in het eerste oogenblik een onbedrieglijk kenmerk voor meteorijzer te geven, maar de bewijskracht is eene zuiver positieve en geene negatieve, want in elk geval waar die figuren zichtbaar werden, was de behandelde massa wel een meteor; maar het niet verschijnen dier figuren was nog geen bewijs, dat de onderzochte massa geen meteor was, daar men bij sommigen geene dergelijke figuren kon ontdekken.

Olbers vestigt de aandacht daarop, dat men tot nog toe geene fossiele meteorsteenen heeft gevonden, zooals fossiele schelpen in de secundaire en tertiaire formatiën. Zou men daaruit moeten besluiten, zoo vraagt hij, dat er vóór den tijd, waarin de oppervlakte onzer Aarde hare tegenwoordige vorming heeft gekregen, nog geen meteorsteenen vielen, daar er thans volgens Schreibers elk jaar een 700 tal meteorvallen plaats hebben. Het is echter niet onmogelijk en zelfs waarschijnlijk, dat de meteoren bij de toenmaals heerschende temperatuur niteen zijn gevallen en zich met onze Aarde vermengd hebben. In

het vorige jaar, 1871, heeft men van de kusten van Groenland eene menigte stukken meteorijzer gehaald, waarvan de voornaamsten aan de musea van Stokholm en Copenhagen zijn afgestaan. Het grootste stuk woog ongeveer 42000 pond, velen werden gevonden onmiddellijk op de basaltrotsen rustende, waarschijnlijk uit het miocene tijdperk; men merkte echter op, dat zij bij de overvoering naar Stokholm met buitengewone snelheid verbrokkelden, en tot stof vervielen; eene bedekking met vernis was niet in staat ze te behouden, zoodat het voornemen bestaat ze in alcohol te bewaren. Zulk eene verbrokkeling is misschien de reden van het niet vinden van fossiele meteorsteenen. In de vooronderstelling van eenen ring zou het mogelijk kunnen zijn, dat deze zoo gelegen was, dat de Aarde op hare baan die vroeger niet ontmoette, maar dat door de storingen der planeten die ring zich verplaatst had, zoodat de Aarde hem thans snijden moet, en volgens de theorie van Schiaparelli, dat die zwermen uit het hemelruim komen, zou men kunnen aannemen, dat in dergelijke, ver verwijderde tijdperken zulke stroomen nog niet binnen de aantrekkingsfeer van onze Zon gekomen waren. Wat er van zij, veel blijft er over die meteoren nog te vragen, waarop men het juiste antwoord nog verschuldigd blijft. "Hoe onaangenaam het ook is", zegt Prof. Kaiser, "zijne onwetendheid te moeten belijden, blijft ons echter tot de vallende sterren geen anderen uitweg over."

Wanneer wij nu op het behandelde terug zien, dan trekken wij alles, wat de nieuwste wetenschap ons over de meteoren leert, in de volgende drie punten te zamen:

1. De vallende sterren, welke ééne soort uitmaken met de vuurkogels en meteoren, toonen dat zij zich evenals de planeten of kometen om de Zon bewegen en dus tot ons zonnestelsel behooren.

2. De staart der vallende sterren en der vuurbollen, maar vooral hunne snelle en waarschijnlijk zeer uitmiddelpuntige beweging wijzen op eene groote overeenkomst met de kometen.

3. De zwaarte en de fysieke gesteltenis der meteoren echter geven hen meer overeenkomst met de planeten, want al is de grootste der vuurkogels 4000 maal kleiner dan de kleinste der planetoïden, is echter de grootste der planetoïden minstens 10,000 maal kleiner dan Mercurius, de kleinste der planeten.

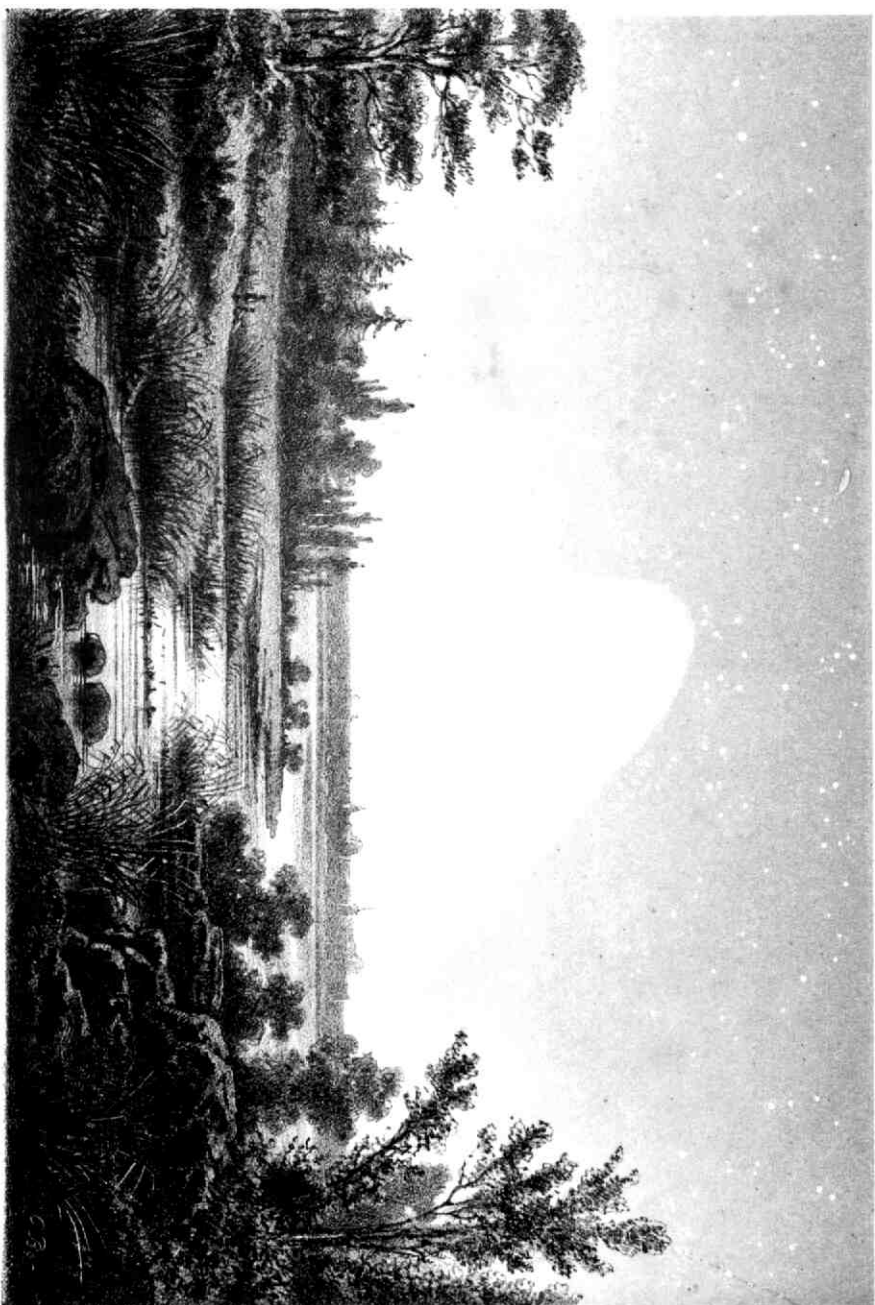
III.

HET ZODIAKAALLICHT.

Het Zodiakaallicht in de verschillende streken onzer Aarde gezien. Waarschijnlijk bestaan van eenen lichtenden ring tusschen de Zon en de Aarde.

Wanneer men in de maanden Februari, Maart, en April, kort na zonsondergang, den westelijken horizon beschouwt, ziet men eene breede lichtschemering in den vorm van een kegel schuin op den horizon staan. Die schemering noemen de sterrenkundigen, het Zodiakaal- of Dierenriemslicht, omdat het zich aan den hemel steeds vertoont in de streek van den Zodiak of dierenriem. Wanneer men niet gemeenzaam is met eene nauwlettende waarneming van den hemel, zou men het kunnen verwarren met de avondschemering, soms ook met een gedeelte van den melkweg of het noorderlicht, een opmerkzaam waarnemer kan er zich echter niet in vergissen; de driehoekige of liever de kegelvorm van dien lichtbundel en zijn schuine stand op den horizon maakt het tot een opmerkenswaardig voorwerp onzer beschouwing. Plaat XLII geeft er eene afbeelding van.

Wanneer de dagen langer worden en tevens ook de avondschemering, verdwijnt het Zodiakaallicht, ten minste het wordt voor onze streken onzichtbaar. Dicht bij de Herfstequinox vertoont het zich weder des morgens vóór zonsopgang aan den Oosterhemel, vooral in September en October, wanneer ook de morgenschemering kort is; echter heeft men dat licht onder gunstige omstandigheden, met een helderen hemel zonder maneschijn en ook wel op andere tijdstippen des jaars in



ZODIAKKAAL-LICHT.

Van der Waerden

onze streken waargenomen. Chacornac zag het te Parijs in Januari en Februari en in December te Lyon, hoewel de groote steden om hare verlichting niet geeigend zijn het gemakkelijk waar te nemen.

De oorzaak waarom het voor eenigen tijd in onze streken onzichtbaar is, ligt niet alleen in den duur en de kracht van de avond- of morgenschemering; maar omdat de as van den kegel, waarin zich dat licht vertoont, ongeveer in de richting van den zonsweg geplaatst is, verschilt ook de stand, welken die kegel op den horizon inneemt, en daaruit verklaart men, waarom het op sommige tijden beter waar te nemen is dan op anderen, want het staat dus meerder of minder schuin op den horizon. Binnen de keerkringen is die schuinsche richting zeer gering, zoodat het soms rechtstandig ten hemel rijst. Daarom, en ook om de helderheid en zuiverheid van den hemel, schittert het daar in voor ons ongekeude pracht. In de tropische gewesten is het gedurende het gansche jaar zichtbaar.

De glans, waarin het zich vertoont, kunnen wij vergelijken met de schittering van den Melkweg, of met den staart van eenige kometen. Door die lichtschemering heen zien wij de sterren fonkelen, hoewel Chacornac beweert, dat sterren van de twaalfde en dertiende grootte door den glans van het Zodiakaallicht verdwenen. De glans, waarmede het straalt, schijnt echter aan periodieke wisselingen onderhevig te zijn, men heeft zelfs tegenover het Zodiakaallicht eene soort van weerschijn, en zelfs vertakkingen over een groot deel van den hemel opgemerkt.

De kleur van dit licht is gewoonlijk niet zuiver wit, zooals van den Melkweg, maar vooral aan den horizon roodachtig geel; aldus namen Arago en andere sterrenkundigen het in 1843 waar, terwijl Derham het reeds in 1707 als zoodanig had beschreven.

De waarnemingen hebben ons geleerd, dat de uiterste spits van de kegelvormige lichtschemering soms meer dan 90 graden van de Zon verwijderd is, zoodat daaruit volgt, dat de lengte zich uitstrekt tot voorbij de baan van onze Aarde.

Dat de vorm, waarin dat licht zich aan ons oog vertoont, schijnbaar en niet de ware is, daarover bestaat geen twijfel. Moeielijker echter blijft het te beslissen, of men inderdaad te doen heeft met een vlakken lensvormigen ring van den uitgezette zonneatmosfeer, of met een grooten, vrijzwevend en lichtenden ring van nevelstof.

Dat het Zodiakaallicht geen meteorologisch verschijnsel is ¹, is zoo goed als zeker, want de invloed ervan op de dagelijksche beweging onzer Aarde, de zichtbaarheid van dat verschijnsel op ver van elkander verwijderde punten der Aarde en de bijna bestendige richting langs de ecliptica, dit alles geeft genoegzame zekerheid, dat de oorzaak, welke dat verschijnsel teweegbrengt, buiten onzen dampkring in de ruimte des hemels is gelegen.

De waarschijnlijkste verklaring is, dat het Zodiakaallicht een platte nevelachtige ring is, welke de Zon op zekeren afstand omringt, want 't is opmerkelijk, dat als men de as van den lichtkegel onder den horizon verlengt, deze immer door de Zon gaat. Eerst meende men, dat de stand van het licht met de middellijn der Zon overeenkwam, maar het schijnt zekerder, dat die stand overeenkomt met het vlak van de aardse loopbaan of van de ecliptica, hoewel Heis in Munster, en Jones in Japan, door gelijktijdige waarnemingen, tot de overtuiging zijn gekomen, dat de as van den lichtkegel met de ecliptica een kleinen hoek maakte.

Nieuwere waarnemingen hebben aangetoond, dat de lengte van de groote as van het Zodiakaallicht verschillend is, grooter of kleiner volgens zekere tijdperken. Zulks kan op twee wijzen verklaard worden: door te vooronderstellen, dat de vorm van dien ring elliptisch is, of wel, wanneer hij cirkelvormig is, dat zijn stand met de Zon excentrisch is, dat wil zeggen, dat zijn middelpunt niet samenvalt met het middelpunt der Zon.

De oorsprong van de natuur dier lichtende massa is moeilijker te verklaren. Mairan wilde in de vorige eeuw beweren, dat het eene uitzetting van den dampkring der Zon was, die in de wentelende beweging van dat hemellichaam deelde, en daardoor het Zodiakaal- en het noorderlicht veroorzaakte.

Die theorie is echter tegenwoordig niet meer vol te houden, want men weet thans met zekerheid, dat het noorderlicht een elektrisch verschijnsel is, en overigens is het niet mogelijk, dat de zonneatmosfeer zich zoover kan uitstrekken; op zijn meest kan die uitbreiding plaats

¹ De Brück, over wiens theorie wij in het vorige hoofdstuk verslag gaven, wil bewijzen, dat het Zodiakaallicht zijn oorsprong heeft uit het magnetisme der Aarde. Het wordt volgens hem voortgebracht door de magnetische stroomen, die in de equatoriale streken opstijgen naar de hogere gewesten van onzen dampkring. Die elektrische ladingen spelen daar een groote rol in alle meteooverschijningen.

hebben tot op 0,436 gedeelte van den Mercurius afstand, want verder zou de middelpuntvliedende kracht sterker zijn dan de aantrekkingskracht der Zon, en daarvan zou het gevolg zijn, dat die deelen of samenhangende planeten-massa's moesten vormen of als een samenhangende ring een zelfstandigen omloop zouden verkrijgen. Dit laatste nu kan werkelijk het geval zijn, zoodat deze meer aangenomen hypothese verkondigt, dat het Zodiakaallicht gevormd wordt door ontelbare vaste maar kleine lichamen, geheel overeenkomstig met de meteoren, boliden en luchtsteen; van elkander afgescheiden wentelen zij met eene gelijkvormige beweging rondom het middelpunt van ons stelsel.

Het licht van dien ring zou dan in die vooronderstelling veroorzaakt worden door de opeenhooping van die stralende punten, die op ons het zonlicht terugkaatsen; daardoor wordt dan ook de meerdere of mindere kracht van het licht op verschillende tijdstippen verklaard; men behoeft dan maar aan te nemen, dat de dichtheid van dien ring niet in zijne gansche uitgestrektheid dezelfde is, en dat, door de beweging onzer Aarde om de Zon, wij dan eens meerdere dan eens mindere dichte deelen zien. Den 21^{sten} Augustus 1871 maakte Galliard in de Fransche Academie eene waarneming bekend, welke hij op Guadeloupe had gedaan, namelijk dat de zonneuitstraling in juiste overeenstemming is met de meerdere of mindere dichtheid van het Zodiakaallicht, hetwelk eene soort van scherm is, dat een gedeelte der uitgestraalde zonnewarmte tegenhoudt; een groot aantal thermometrische waarnemingen, vergeleken met de waarneming van de schijnbare dichtheid van het Zodiakaallicht, brachten dit feit buiten twijfel. Dus hoe sterker Zodiakaallicht hoe minder warmtegraad en omgekeerd.

Maar waarom, zou men kunnen vragen, ziet men dan het Zodiakaallicht niet ten tijde van totale zonsverduisteringen? Omdat het zonlicht, dat in den dampkring verspreid is, sterker is dan het licht der volle Maan, overschittert zulks het zwakke Zodiakaallicht. Deze theorie heeft bij de zonsverduistering van den 11^{den} December 1871 eene zekere bevestiging gekregen door de waarneming, dat de lichtende kroon of straalkrans, welke men gewoonlijk bij zonsverduisteringen waarneemt, eene stof is, zich verder uitstrekkende dan de dampkring der Zon; men is die waarneming aan Jansen verschuldigd, die op de kust van Malabar de verduistering waarnam.

Daardoor zoude er overeenkomst bestaan met de vallende sterren,

kometen, enz. 't Zou dus een stroom meteoren zijn, die langzaam naar de Zon trekt, evenzoo krijgt daardoor de theorie over de voeding der zonnearmte (zie bladz. 48) door den val van meteoren eene zekere bevestiging, wanneer men ten minste de bron der zonnearmte niet uitsluitend aan zulk een meteorval toeschrijft.

Sommige geleerden, zooals Heis, meenden in 1856, dat het Zodiakaallicht veroorzaakt werd door een nevelring, welke zich tusschen onze Aarde en de Maan bevond, Jones kwam ook tot die meening. Latere waarnemingen door Heis en Schmidt gedaan, kwamen echter met die hypothese niet overeen, vooral niet met de vooronderstelling, dat die ring eigen licht bezat; volgens Liais geeft het Zodiakaallicht geen spoor van polarisatie, waaruit dus zou volgen, dat de stof, waaruit die ring bestaat, eigen licht bezit, of wel uit afzonderlijke niet samenhangende lichamen bestaat, die ieder voor zich het zonlicht terugkaatsen.

Na deze korte uiteenzetting van het Zodiakaallicht kunnen wij eindigen met de opmerking, dat zoolang de verschillende waarnemingen en hypothesen zoo uiteenloopende zijn, het zeer gewaagd is zich op eene beslissende wijze voor de eene of de andere te verklaren, vooralsnog blijven dus de kometen en vallende sterren een raadselachtig verschijnsel.

TWEEDE DEEL.

EERSTE BOEK.

DE VASTE STERREN.

Wanneer wij ons een kring verbeelden, met de Zon als middelpunt, maar een kring, wiens omtrek dertigmaal verder van zijn middelpunt is verwijderd, dan de afstand van onze Aarde tot de Zon bedraagt, dan zal die kring, met uitzondering der kometen, al de hemellichamen bevatten, welke wij tot nu toe beschouwd hebben; want binnen dien kring volbrengt de laatste der bekende planeten, Neptunus, haar loop om de Zon. Zulk een denkbeeldige kring komt onze verbeelding ter hulp bij de beschouwing der afmetingen van ons zonnestelsel.

Gaan wij thans verder, verdrievoudigen wij eens den straal van dien opgenoemden cirkel, dat wil zeggen, verbeelden wij ons een cirkel, wiens straal honderdmaal grooter is dan de straal van onze aardsche loopbaan, dan verkrijgen wij een cirkel met eene middellijn van ongeveer 4000 millioen geogr. mijlen. Eene ruimte, binnen zulk een cirkel besloten, wordt zeer moeielijk door ons begrip bevat; een kanonskogel zou, steeds dezelfde snelheid behoudende, bijna 2000 jaar noodig hebben om den weg langs de middellijn van zulk een cirkel af te leggen, terwijl het licht, niettegenstaande het eene snelheid bezit, waarvan wij ons geen denkbeeld kunnen vormen, namelijk 40.000 mijlen in eene seconde, toch nog 28 uren zou behoeven om dien afstand te doorloopen.

En toch zullen wij weldra zien, dat zulk een verbazende omvang, wanneer wij dien vergelijken met de afmetingen, welke wij in het

wijduitgestrekt heelal met eigen blik omvatten kunnen, tot een nietig punt ineenkrimpt. Immers van die ontelbare zonnestelsels wier centraal-bollen wij in de vaste sterren in de diepte der hemelen waarnemen, is het dichtste dat bij het onze is gelegen, toch nog 2000 maal verder dan de lengte van den straal van den zoo even beschreven denk-beeldigen cirkel, zoodat het licht van de naastbijzijnde zon of vaste ster bijna 4 jaren noodig heeft om tot onze Zon door te dringen. Het scheen dus, dat men geene hoop mocht koesteren om, zelfs met de machtigste telescopen, eenige physische bijzonderheden van die zoo ver verwijderde hemellichamen waar te nemen, maar de verbazende vooruitgang der wetenschap heeft door scherpzinnige methoden en kunstig uitgedachte werktuigen het middel gevonden om belangwekkende verschijnselen te bespieden. Langzamerhand is men tot de kennis gekomen van de samenstelling van het zichtbare heelal. De verdeling der sterren, hunne groepeeringsen en bewegingen, de kracht en de kleur van hun licht en vele andere bijzonderheden zijn voor de sterrenkunde van de hoogere streken des hemels van het hoogste gewicht. Sinds de laatste jaren vooral heeft men een probleem opgelost, dat vroeger onoplosbaar scheen; want nooit toch, meende men, zou het mogelijk zijn iets over den physischen toestand, over de bestanddeelen dier hemellichamen, te kennen; de ontdekkingen der laatste jaren beschaamden die moedeloosheid, want door de toepassing der spectraalanalyse op het sterrenlicht heeft men den opgevangen lichtstraal tot een bode gemaakt, die ons mededeelingen doet over het huis, waar hij is uitgegaan.

Ziedaar dus de vraagstukken, wier beantwoording wij thans zullen geven; ziedaar het onmetelijke veld, dat wij met onze gedachten zullen binnendringen. Tot nu toe hebben wij ons, om zoo te spreken, slechts in eene enkele streek dier hemelruimte opgehouden, in eene streek, die reeds zoo groot was, dat hare afmetingen ons verbaasden, maar in eene streek, die met betrekking tot het geheel zoo klein is, dat zij verdwijnt als een enkel punt in de onmetelijkheid.

De kennis echter, welke wij reeds opgedaan hebben over het stelsel, waartoe onze Aarde behoort, zal ons tot groote hulp zijn in de beschouwing van de andere streken des hemels.

I.

DE VASTE STERREN.

§ 1. Tinteling der sterren, theorie van Arago en Respighi. — Verschil met de planeten. — Verdeeling der vaste sterren. — Getal zichtbaar met het bloote oog en met den telescoop. — Eigen licht der vaste sterren. — Fundamentealsterren.

Heerlijk en wondervol is de beschouwing van den sterrenhemel, die in een helderen nacht boven onze hoofden welft. Zoovele sterren daar schitteren, zoovele wereldstelsels met hunne centraalbollen en ondergeschikte lichamen wentelen daar langs onmeetbare banen in het onpeilbaar ruim des hemels. Hoe groot moet Hij wel zijn, die al die ontelbare werelden heeft geschapen, hun loop regelt en wiens machtige hand ze binnen de bepaalde banen houdt! En wat is de Aarde, die wij bewonen, vergeleken bij het firmament. Als zij vernietigd werd, zou haar verdwijnen in het wijdomvattend heelal evenmin worden opgemerkt als eene enkele zandkorrel langs het zeestrand voortgejaagd. Wat anders zijn al de planeten van ons stelsel dan stofjes gelijk, die in de zonnestralen spelen.

Heerlijk en wondervol is de beschouwing van den sterrenhemel, en toch, hoe wondervol en rijk het uitspansel boven onze hoofden is, de sterrenhemel kent zijne eigene schoonheid niet; de mensch alléén, door God met eene denkende ziel geschapen, heeft veel hoogere waarde dan die ontelbare stralende wereldebollen, die zich zelve niet kennen.

Gebruiken wij dan die edele gave om, geleid door de wetenschap, met onzen geest in die eindeloze diepte door te dringen, waar geene duisternis heerscht, maar millioenen zonnen hun licht uitstralen, om zodoende den grooten Schepper van 't heelal meer en meer uit zijne werken te leeren kennen.

Wat leert ons een eerste blik op den sterrenhemel?

Een eerste kenmerk, dat aan alle vaste sterren gemeen is, zien wij in die onophoudelijke en snelle lichtafwisseling, welke wij het tintelen of fonkelen der sterren noemen. Gewoonlijk gaat dat verschijnsel vergezeld met snelle veranderingen in de kleur, zooals wij soms met het bloote oog aan de heldere ster Sirius kunnen waarnemen; daaraan kunnen wij eene planeet van eene vaste ster onderscheiden, wanneer

men niet gemeenzaam is met de sterrenbeelden, want de planeten fonkelen niet of zeer weinig; alleen neemt men er soms iets van waar bij Mercurius en zeldzaam nog bij Venus en Mars.

Vroeger heeft men zich veel moeite gegeven dat verschijnsel wetenschappelijk te verklaren. Arago was een der eersten, die er eene bepaalde theorie over verkondigde, en de verklaring daarvan zocht bij in de interferentie van het licht ¹.

Respighi komt in de hoofdoorzaak, namelijk de breking van den lichtstraal, met Arago overeen, echter wil hij deze meer toeschrijven aan de wenteling, welke de dampkring met de Aarde maakt, tusschen ons oog en de waargenomene ster; want toen hij het spectrum eener ster, welke aan den horizon stond, onderzocht, bemerkte hij, dat het doorloopen werd door zekere dwarsstrepen geheel evenwijdig met de gewone strepen van het spectrum. Wanneer hij eene ster onderzocht, hooger boven den horizon, dan waren de loopende strepen van het spectrum veel schuiner, zoodat zij bij eene ster van 45 graden hoogte in plaats van vertikaal, zooals aan den horizon, dan horizontaal waren. In het Westen was de beweging dier strepen juist tegenovergesteld aan de beweging, welke zij hadden in het Oosten, zoodat er voor die fonkeling geene andere oorzaak gezocht kon worden, dan de gelijkmatige beweging van den dampkring, die in het Westen en Oosten geheel aan elkander tegenovergesteld is: in het Westen immers rijst de dampkring naar het Zenith, in het Oosten daalt hij.

Wat er van zij, de breking van den lichtstraal in de verschillende lagen van den dampkring is de oorzaak der tinteling. Een duidelijk voorbeeld hiervan zien wij, wanneer wij over eene verwarmde plaat heen op een enkel punt staren, dan schijnt dit ook in eene trillende beweging te zijn, voortkomende uit de breking van den straal uit dat punt in de opstijgende verwarmde luchtdeeltjes.

Omdat de planeten zich niet aan ons oog voordoen als punten, maar als lichamen met eene merkbare middellijn, tintelen zij niet zooals de vaste sterren, die slechts punten zijn, en van welke dus de minste beweging in den lichtstraal eene plaatsverandering te weeg brengt.

¹ Interferentie van het licht is die eigenschap, wanneer, door de samenkomst of kruising van twee lichtstralen, nu eens een sterker, dan weder een minder licht, ja zelfs volkomene duisternis wordt te weeg gebracht.

Carlini heeft opgemerkt, dat, toen hij met zijn grooten meridiaankijker den doorgang van de Poolster waarnam, hij de zonderlinge verschijning opmerkte niet alleen van eene heen en weder flikkering, die 10 tot 20 seconden hoekbeweging bedroeg, maar zelfs eene deeling in de ster, zoodat hij twee beelden zag.

Brandes verzekert ook, dat hij in zijn heliometer ¹, vooral op zeer warme dagen, dubbele beelden der zonnevlekken waarnam. De oorzaak van zulke verschijnsels ligt duidelijk in den dampkring.

Bij vorst, met helder weder neemt men soms eene buitengewone tinteling der sterren waar, welke men dan toeschrijft aan de menigte fijne ijsnaalden, die in den dampkring zweven.

Een ander eigenaardig kenmerk der vaste sterren is, dat men bij geen enkele eenige middellijn kan waarnemen; de planeten vertoonen zich in kijkers met meetbare middellijnen, maar hoe machtig ook de kijker is, welke men gebruikt, de vaste sterren vertoonen zich nooit anders dan als lichtende punten, zonder eenige andere afmeting. De oorzaak hiervan is de verbazende afstand, welke ons van die hemellichamen scheidt, zoodat hunne middellijnen, hoe groot ook, toch tot één punt samenkrimpen. Wanneer de helderste der vaste sterren, Sirius namelijk, zich voor ons vertoonde met eene schijnbare middellijn van $\frac{1}{50}$ gedeelte eener seconde, dan zou dit, om den afstand, wijzen op eene middellijn meer dan 13 maal grooter dan die der Zon, die, zooals wij weten, 112 maal grooter is dan de middellijn van onze Aarde.

Dat onwaarneembare van eenige afmeting is echter niet altijd een kenmerk om de planeten van de vaste sterren te onderscheiden. Sommige planeten toch vertoonen zich zelfs in de grootste kijkers als eenvoudige punten. Een eigenaardig kenmerk echter, waarin men zich niet kan bedriegen, en waardoor men immer de vaste sterren onderscheiden kan van de hemellichamen van ons zonnestelsel is hunne

¹ Heliometer of Zonmeter is een werktuig, dat oorspronkelijk diende om de middellijn van de Zon te meten; maar na de grootere volmaaktheid, welke dat werktuig door Fraunhofer verkreeg, gebruikt men het thans ook om uiterst fijne hoeken en afstanden aan den hemel te meten. Het bestaat uit een kijker, wiens voorwerpglas midden door is gedeeld en dus twee beelden geeft; beide gedeelten zijn beweegbaar, en de beide beelden kunnen dichter of verder van elkander gebracht worden; daarmede nu meet men middellijnen of kleine afstanden en bewegingen.

schijnbare onbeweeglijkheid en de schijnbare vaste stand, waarin zij zich steeds met betrekking tot elkander vertoonen. Vandaar ontvingen zij den naam van vaste sterren; terwijl men de lichamen van ons stelsel met den naam van Planeten of dwaalsterren bestempelde, omdat een enkele nacht dikwijls genoegzaam is om hunne verplaatsing aan den hemel waar te nemen, terwijl de stand van de vaste sterren onveranderlijk scheen.

Later zullen wij zien, dat de naam vaste sterren geene gepaste aanduiding is voor lichamen, die zich bewegen op hunne banen met eene snelheid, welke niet onderdoet voor de snelheid van de lichamen van ons zonnestelsel; de afstand alleen is de oorzaak van dien schijnbaren vasten stand.

Iedereen bemerkt, wanneer hij den blik slaat op den sterrenhemel, het groot verschil in den glans der sterren. Sommigen schitteren reeds aanstonds na den ondergang der Zon; anderen zijn veel flauwer van licht, zoodat zij alleen voor een scherp oog zichtbaar zijn, terwijl de meesten enkel door kijkers zijn waar te nemen. Hoewel men de oorzaak van die meerdere of mindere schittering voor eene bepaalde ster niet kan aangeven is het toch duidelijk dat zulks voortkomt uit bekende oorzaken; de grootere of kleinere afstand, de ware meerdere of mindere grootte, de eigene lichtkracht, veroorzaken den voor ons meerderen of minderen glans der sterren. Zonder op de oorzaken acht te geven, welke die meerdere of mindere lichtkracht te weeg brengt, heeft men de sterren volgens dien schijnbaren glans in verschillende klassen verdeeld; men heeft namelijk eene verdeling gemaakt van sterren der eerste grootte af, tot aan sterren der 16 of 17 grootte toe. De sterren der 6 eerste grootheden zijn alleen met het ongewapend oog zichtbaar. Een nauwkeurige maatstaf om ze in eene bepaalde klasse te tellen bestaat er echter niet; de nieuwere wetenschap heeft ons wel het middel aan de hand gegeven om het licht der vaste sterren rechtstreeks te meten, maar dergelijke photometrische metingen heeft men nog niet met goed gevolg op de classificatie der vaste sterren kunnen toepassen (zie over den photometer bladz. 198). In het algemeen neemt men voor regel, dat iedere volgende klasse sterren bevat, die viermaal minder lichtkracht bezitten dan die der voorgaande klasse.

Omdat alle sterren van dezelfde klasse niet dezelfde lichtkracht bezitten, heeft men, om ze te kunnen onderscheiden, onderdeelen van

die klassen aangenomen, welke men aanduidt door tiende deelen, bijv. 1,1: 1,2: 1,3: 1,4: 2,1 enz.

Het getal der vaste sterren is in den volsten zin des woord ontelbaar, want naarmate de macht des kijkers grooter is, vertoonen zich nieuwe zonnen en werelden aan den ver doordringenden blik, en in eindelooze opvolging schitteren de reien der sterren in de diepten des hemels, en daar waar onze telescoop niet meer doordringt, plaatst ons verstand nieuwe werelden, zoodat die ruimte eindeloos is.

Niettegenstaande het verbazend getal vaste sterren schijnt toch gewoonlijk het aantal sterren, dat met het ongewapend oog zichtbaar is, veel grooter te zijn dan het in der daad is. Bij eene oppervlakkige waarneming van den sterrenhemel, zou men meenen, dat die lichtende punten, waarmede het hemelgewelf bezaaid is, ontelbaar zijn, en dat zij millioenen en millioenen in getal zijn; daarin bedriegt men zich echter, de sterren voor het bloote oog zichtbaar, zijn niet zoo talrijk als men wel zoude meenen. De waarnemers, die zich de moeite gegeven hebben eene nauwkeurige telling te doen, van de voor het ongewapend oog zichtbare sterren, brengen dat getal niet verder dan ongeveer 3000 voor het halfronnd, dat men voor oogen heeft, dat is ongeveer 6000 voor den ganschen hemel. De juistheid van zulk eene telling kan men eenigszins nagaan, wanneer men een bepaald gedeelte van den hemel waarneemt, en de sterren telt, welke zich bijv. in het vierkant van den Grooten Beer of van Orion bevinden, en uit zulk een gedeelte besluit men dan tot het gansche halfronnd. Argelander heeft in zijn heerlijken atlas van den noordelijken sterrenhemel 5876 sterren aangeteekend, welke volgens hem in een jaar zichtbaar zijn voor het bloote oog; wij weten dat Argelander bekend is om zijn scherp gezicht.

De nieuwe atlas van Heis, die de sterren aanteekent van de eerste tot en met de zevende grootte, bevat er 2000 meer, welke hij als zichtbaar opgeeft.

Wat er van zij, dat de gewoonte om den sterrenhemel waar te nemen en de helderheid van den dampkring op dat getal van grooten invloed is, laat zich gemakkelijk begrijpen.

Wondervoller wordt echter het schouwspel, dat zich aan onzen blik vertoont, wanneer wij het oog aan een goeden telescoop plaatsen; dan zien wij die verbazende getallen, welke onze verbeelding ons voorspiegelt.

Argelander heeft in zijn atlas, waarin hij sterren opneemt tot van de 10^{de} grootte, 324,198 sterren aangeteekend. Eene beschouwing van de verschillende klassen, waarin hij ze optelt, leert ons, dat telkens de volgende klasse, viermaal zooveel sterren bevat, dan de klasse van de voorafgaande grootte; hij telt bijv. 10 sterren van de eerste grootte, 37 van de tweede, 130 van de derde en 237,131 van de negende grootte. Wanneer wij nu die opklimmende orde zouden volgen tot aan de 17 grootte, welke sterren door den grooten kijker van Herschel nog zichtbaar waren, dan verkrijgt men 617 millioen voor onzen Noorderhemel; het dubbele daarvan, 1234 millioen, stelt ons dus het gezamenlijk getal sterren van den ganschen hemel voor oogen; hoewel het zeker is, dat zulk een getal zeer verre beneden de werkelijkheid is, want een aantal vlekken aan den hemel, die voor zwakke telescopen slechts eene lichtschemering schijnen, worden in groote telescopen in millioenen sterren ontbonden, en men ontdekt duizenden zulke vlekken in de diepte van het hemelruim; ontelbaar dus als het zand aan den zeeoever zijn de sterren des hemels.

Dat de vaste sterren zonnen zijn, die even als onze Zon met eigen licht bedeed zijn, is thans aan geen twijfel meer onderhevig. Het van de Zon afstralende licht bezit zekere eigenschappen, welke het verliest, wanneer het eerst op andere lichamen valt, zooals op de Maan of de planeten, en van daar tot ons terugkaatst. In zulk een toestand noemt men het gepolariseerd licht, en is geheel onderscheiden van het niet gepolariseerde licht, dat rechtstreeks uit de lichtbron voortkomt; welnu alle vaste sterren bezitten, zooals uit het onderzoek met den polariscoop¹ blijkt, niet gepolariseerd licht, evenals onze Zon, en stralen dus in eigen licht.

De spectraal-analyse levert een tweede bewijs dat de vaste sterren met eigen licht stralen, want de spectra's van alle door de Zon verlichte hemellichamen zijn in het algemeen zeer overeenkomende, en het teruggekaatste licht doet zich duidelijk als zonlicht kennen, maar de spectra van de vaste sterren zijn in den grond verschillend van die onzer Zon. Later komen wij meer uitvoerig op die spectraal-onderzoekingen terug.

Wanneer wij overigens den verbazenden afstand bedenken, waarop

¹ Zie over den polariscoop, bladz. 264.

die hemellichamen zich van de Zon bevinden, dan begrijpen wij gemakkelijk de onmogelijkheid om van de Zon dat stralende en fonkelende licht te kunnen verkrijgen, hetwelk zij bezitten. Eene enkele ster, werpt immers volstrekt geen lichtglans op onze Aarde, evenmin zou onze Zon, die voor de vaste sterren slechts een lichtend punt is, eenigen lichtglans aan die hemellichamen kunnen mededeelen.

Wollaston heeft door nauwkeurige photometrische onderzoekingen gevonden, dat het licht van onze Zon staat tot het licht van Sirius, die de helderste der vaste sterren is, als 20,000 millioen tot 1. Wanneer nu onze Zon op den afstand van Sirius onze Aarde bestraalde, zouden wij er even weinig licht van erlangen, als thans van Sirius.

Vroeger hebben wij het middel reeds verklaard, waarmede men den stand van een hemellichaam bepaalt, den afstand van het voorjaars-evennachtpunt, noemt men *Ascensio Recta*, rechte opklimming (R. A.), en den afstand van den hemel-aequator noemt men de *declinatie* (D). of *afwijking* eener ster, en door die beide plaatsbepalingen kent men met nauwkeurigheid den stand van het hemellichaam; omdat echter dat voorjaars-evennachtpunt door niets aanden hemel wordt aangeduid, kan men ook niet rechtstreeks uit dat punt den afstand meten, maar men moet een ander middel gebruiken.

Men neemt de Zon waar, wanneer die op den 21^{sten} Maart in het voorjaars-evennachtpunt staat, dat is, wanneer het middelpunt der Zon juist in den hemel-aequator staat, nu neemt men het aantal uren of minuten waar, waarop eene vaste ster later ook den meridiaan doorgaat, en dan kent men den afstand van die ster tot het evennachtpunt, één uur later is gelijk met een afstand van 15 graden aan den hemel, bijv. in het jaar 1872 nam men waar, dat de ster Alpha uit het sterrenbeeld Andromeda 7 seconden later den meridiaan doorging dan de Zon, daaruit volgde nu dat die ster $0^{\circ} 1' 45''$ van het evennachtpunt afstaat.

Op die wijze heeft men op verschillende lengtegraden den juisten afstand bepaald van vele heldere sterren, en deze dienen nu tot uitgangspunt om de rechte opklimming van andere hemellichamen te bepalen. Men noemt zulke sterren *Fundamental- of Grondsterren*.

Omdat echter dat evennachtpunt, waaruit de lengte geteld wordt, elk jaar iets verschuift, verschilt ook elk jaar de lengte van die fundamenteal-sterren. In het derde deel zullen wij dat verschil in het evennachtpunt uitvoerig verklaren.

II.

DE STERRENBEELDEN.

§ 1. Algemeen overzicht. — Benamingen en gewaande oudheid van den Dierenriem. — Hypothese van Laplace, Dierenriem van Denderah. — Circumpolairsterren. — Beweging der Sterrenbeelden en stand op verschillende tijden. — Beschrijving der Sterrenbeelden rondom de Poolster.

Eer wij de verschillende verschijnselen beschrijven, welke de sterrenhemel ons aanbiedt, en voordat wij, voor zooverre het ons gegeven is, doordringen in de diepte van het hemelruim om de wondervolle samenstelling en grootheid te omvatten, is het echter hoogst nuttig zich eenigszins bekend te maken met de groepeeringsen, waarin de sterren zich aan ons oog vertoonen. Omdat de bewegingen der zoogenaamde vaste sterren zoo uiterst langzaam voor ons oog geschieden, volgt hieruit, dat de groepen of beelden, waaronder men ze voorstelt, langen tijd dezelfde figuur behouden, en daardoor alleen is het mogelijk geworden in die schijnbare verwarring van die ontelbare lichtende punten te recht te komen.

Reeds in de vroegste tijden verbond men verschillende bij elkander staande heldere sterren door lijnen, aan welke groep men overeenkomstig de figuur, welke zij dan maakte, soms geheel willekeurig een bepaalden naam gaf. Zulk eene groep nu noemde men *Constellatie* of *Sterrenbeeld*.

De oorsprong van die namen verliest zich in de verste oudheid. In het boek Job vinden wij reeds gewag gemaakt van de Pleiaden, de Hyaden, Orion, Arcturus, enz. Het is zeker, dat de benamingen der 48, reeds aan de ouden bekende, sterrenbeelden in innig verband staan met hunnen godsdienst. Attributen hunner Goden, dieren, welke zij als geheiligd hielden, helden en mannen, die zich door groote daden of uitvindingen verdienstelijk maakten, werden door de onvergankelijkste aller monumenten aan den hemel vereeuwigd.

De acht en veertig sterrenbeelden der ouden waren over den ganschen sterrenhemel verbreid, maar niet alle plaatsen waren daarmede vervuld, zoodat de ruimten tusschen de groote beelden nog ledig en onbenoemd waren. Langzamerhand werden er verschillende nieuwe

beelden aan den hemel geplaatst, welke door hunne platte en huise-lijke namen zeer afsteken bij de meer dichtelijke benamingen der ouden.

Het heeft waarlijk iets belachelijks, wanneer men naast de namen van Hercules, Orion, Centaurus, de namen vindt van Boekdrukkers-werkplaats, Electrificeermachine, Chemische oven en meer dergelijke smakeloze benamingen; maar de sterrenkundigen, hoe ver ook met hunne aandacht boven de Aarde verheven, waren niet zoo vrij van menschelijke harstochten, dat ook de ijdelheid geene voorname rol bij hen speelde; voor eene nieuwe ontdekking of uitvinding was het niet genoeg dat zij op Aarde hare toepassing vond, neen zij moest ook aan den hemel prijken. Vleierij plaatste de hoedanigheden van be-roemde of beruchte koningen onder de sterren; ja men ging zelfs verder, zoodat Lalande op het einde der vorige eeuw zijne lievelingskat nog tusschen de beelden der helden en Goden in schoof, en daaraan is het toe te schrijven, dat de edelste der wetenschappen de slechtste terminologie bezit.

En toch heeft men over die benamingen zulke wonderlijke hypothesen gemaakt, dat men zich verwonderen moet, dat geleerde man-nen zich met zulke lichtkasteelen kunnen bezighouden.

Een der 12 sterrenbeelden van den schijnbaren weg, welken de Zon langs den hemel maakt, is zooals men weet de Steenbok; daarop bouwde nu de geleerde Laplace de volgende hoogst zonderbare hypo- these: omdat de steenbok, zoo redeneert hij, een dier is, dat steeds de toppen der rotsen bestijgt, heeft men het hoogste punt boven den evenaar, dat de Zon bereikt, waarschijnlijk ook Steenbok genoemd; maar ieder jaar verandert dat hoogste punt een weinig, en wel iedere 72 jaren een vollen graad aan den hemel, en thans is de Steenbok niet meer het hoogste punt boven den evenaar, maar dat sterrenbeeld is zelfs reeds 30 graden voorbij het laagste punt onder den evenaar, en dus 210 graden van dat hoogste punt verwijderd; wanneer zijne vooronderstelling over de benaming van dat sterrenbeeld waar is, dan zou dat nu 210×72 of 15120 jaar geleden zijn. Wij zullen voorloopig onze tijdrekening naar die hypothese van Laplace niet regelen.

In de vorige eeuw kreeg die dwaze gissing eene soort van beves- tiging, zoo meende men, door de ontdekking van de sterrenbeelden van den Dierenriem, tegen de zoldering van een tempel in de oude Egyptische stad Denderah of Tentyris. Die figuren kwamen in de-

zelfde volgorde voor, waarin wij ze kennen. Omdat nu de Leeuw op de eerste plaats staat, en uit de tempelpoort schijnt te treden, was men aanstonds met eene hypothese gereed, en men meende, dat toen die tempel werd gebouwd, de Zon zeker bij het begin des jaars in het sterrenbeeld de Leeuw stond, daaruit zou dan volgen, dat het tijdstip, waarop bij de Egyptenaren het landbouwersjaar begon, namelijk het solstitium, thans 60 graden verder is gelegen, omdat het niet meer in den Leeuw maar in de Tweelingen ligt, en dan zou die tempel zijn gesticht $72 \times 60 = 4320$ jaren geleden, dat is 2450 jaar vóór onze christelijke jaartelling. Anderen zooals Dupuis (in zijne origine des cultes) maakten het nog erger, en zij zochten er niet den zomerzonnestand, maar den winterzonnestand uit; dan zou men bij het getal 2450 vóór Chr. nog moeten voegen $180 \times 72 = 12960$ jaren, en was de tempel van Denderah gesticht 15410 jaren vóór onze jaartelling.

Wat vervoeren harstocht en vooroordeel anders geleerde mannen tot onbegrijpelijke dwaasheden: Champollion en Letronne, die zich op meer oordeelkundige wijze met dien dierenriem bezighielden, kwamen door gevondene inscriptiën tot de uitkomst, dat de tempel onder Tiberius gebouwd was, dus in het begin onzer tijdrekening. Visconti en Paravey kwamen in hunne onderzoekingen tot dezelfde uitkomst, en leverden de bewijzen, dat de gansche dierenriem, waaraan men zulk eene groote astronomische waarde wilde toekennen, slechts eene astrologische horoscoop is.

Thans is de hemel overdekt met sterrenbeelden, zoodat Arago er 131 optelt; niet allen hebben echter het burgerrecht verkregen, zoodat men bij verschillende sterrenkundigen ook verschillende opgaven ontmoet. Gewoonlijk vindt men op globen en sterrenkaarten de navolgenden, hier in alphabetische orde geplaatst:

Altaar.	Beeldhouwerswerkplaats.	Cirkel.
Andromeda.	Beker.	Dolfijn.
Antinous.	Boekdrukkersp.ers.	Dorade. (goudvisch.)
Arend.	Boötes.	Draak.
Argo. (schip)	Bij.	Driehoek. (Noordel.)
Ballon.	Cassiopeia.	„ (Zuidel.)
Beer. (grootte)	Centaurus.	Duif.
„ (kleine)	Cepheus.	Eenhoorn.
Beerenjager.	Chameleon.	Electriseermachine.

Eridanus vloed.	Liniaal.	Slang.
Feniks.	Loglijn.	Slangendrager.
Frederikseer.	Losch.	Steenbok.
Gans. (Amerikaansche)	Luchtpomp.	Stier.
Graveerijzer.	Lijster.	Stier v. Poniatowski.
Haar v. Berenice.	Maagd.	Tafelberg.
Haas.	Microscop.	Telescoop v. Herschel.
Hagedis.	Muurkwadrant.	Telescoop.
Harp.	Net. (Rhomboidische)	Toekan. (Gans.)
Hereules.	Orion.	Tweelingen.
Hond. (grootte)	Oven. (chemische)	Uurwerk.
„ (kleine)	Paard. (kleine)	Visch. (zuidel.)
Hydra.	Paradijsvogel.	„ (vliegende)
Jachthonden.	Pauw.	Vlieg.
Indiaan.	Pegasus	Voerman.
Kameelpaard.	Perseus	Vos.
Karelshart.	Pijl.	Walvisch.
Kat.	Raaf.	Waterman.
Kompas.	Ram.	Waterpas.
Kraanvogel.	Rendier.	Waterslang. (Hydra)
Kreeft.	Scheepsoctant.	Weegschaal.
Kroon. (noord.)	Schepter.	Winkelhaak.
„ (zuid.)	Schildersezel.	Wolf.
Kruis.	Schild v. Sobieski.	Xiphias.
Leeuw. (grootte)	Schorpioen.	Zeekompas.
„ (kleine)	Schutter.	Zwaan.
Lier.	Sextant.	Zwaardvisch.

Te laat begreep men, dat zodoende de wetenschap niet gebaat werd, en dat het de weg niet was om achting voor de sterrenkunde te verkrijgen.

De verdienstelijke Olbers was de eerste, die de stem verhief tegen die talrijke en smakelooze beelden, en hij wilde alle sterrenbeelden, na Hevelius ingevoerd, afgeschaff hebben. Argelander is in zijne nieuwe Uranometrie reeds begonnen een groot aantal onvermeld te laten. Piazzi ging echter nog verder, en heeft volstrekt geene namen, maar deelt den hemel in 24 sterrenuren, en in ieder van die uren bepaalt hij de sterren volgens hunne lengte en breedte.

John Herschel deed den voorslag om de namen der beelden nie

af te schaffen, maar hunne grenzen nauwkeurig te bepalen door meridianen en parallellen. Zoo zou dan de gansche hemel in bolvormige vierhoeken verdeeld worden.

Ook hierin was het: "zoo vele hoofden, zoo vele zinnen", zoodat de benamingen gebleven zijn, zooals zij waren.

Om de verschillende sterren in de sterrenbeelden te onderscheiden, gebruikt men tegenwoordig de letters van het Grieksche Alphabet. Zoo spreekt men bijv. van Alpha uit Hercules, Alpha uit Orion, Gamma uit den Grooten Beer, enz. De voornaamste en helderste hebben eigene namen, waarvan wij de meest gebruikelijke zullen opnoemen in het algemeen overzicht van den sterrenhemel, waarbij wij tevens eenige hulpmiddelen zullen aangeven om met behulp van kaarten en platen de sterrenbeelden des hemels gemakkelijk te vinden en te onderscheiden.

De eigenlijk gezegde beelden zijn van de nieuwere kaarten verdwenen, men vindt ze nog op oudere of op hemelgloben; men duidt de verschillende beelden thans aan door strepen, waarmede men de voornaamste sterren van eenig beeld onderling verbindt.

Voor dat wij den hemel willen doorloopen, moeten wij eerst nog opmerken, dat gedurende de 24 uren, waarin de Aarde hare wenteling maakt, al de streken van den Noorderhemel voor ons zichtbaar worden; het daglicht echter belet ons de sterren waar te nemen, welke dan boven den horizon staan, zoodat, wanneer de Aarde op hetzelfde punt van hare baan bleef wentelen, het gedeelte van den hemel, dat zich des daags boven ons hoofd uitspreidt, immer voor ons onzichtbaar zou blijven. Omdat echter onze Aarde op hare baan voortgaat en zich in één jaar rondom de Zon beweegt, keert zij haar nachtelijk halfmond achtereenvolgens naar den ganschen hemel toe, en daardoor ziet men in het Oosten telkens nieuwe sterren verrijzen en in het Westen weder anderen verdwijnen, die daags te voren op dat uur nog aan den hemel straalden.

Men moet echter niet uit het oog verliezen, dat op onze breedte de gansche hemel nooit zichtbaar is, en dat een aanmerkelijk deel van den sterrenhemel immer voor ons verborgen blijft. Er bestaat evenwel op onze breedte een punt aan den hemel, ongeveer 52 graden boven den horizon, dat in de schijnbare wenteling van den sterrenhemel niet deelt. Dat punt is de pool, en waar ook onze Aarde zich op hare baan bevindt, immer behoudt hare as de richting op dat pool-

punt, zooals wij vroeger, (bladz. 127) reeds opmerkten. Daaruit volgt, dat al de sterren des hemels cirkels schijnen te beschrijven om dat punt, hoe dichter bij dat punt, hoe kleiner de kring is, en hoe verder, hoe grooter. Sommige van die sterren beschrijven schijnbaar zulke kleine kringen, dat zij nooit onder den horizon komen, en dus altijd des nachts gedurende het gansche jaar zichtbaar zijn; dezulken gaan dus noch op, noch onder en worden Circumpolair Sterren genoemd, en daartoe behooren al de sterren, welke minder dan 52 graden van de pool staan.

Worden de schijnbare kringen der sterren echter grooter, dan valt een gedeelte van dien kring onder den horizon; naarmate ze dichter bij den evenaar staan worden de kringen, welke zij beschrijven, grooter. Staan de sterren echter ten Zuiden van den aequator, dan nemen de schijnbare kringen weder af, zoodat de sterren, welke de zuidpool omringen, nooit voor ons zichtbaar worden, daar de kringen, welke zij om die pool maken, te klein zijn om boven onzen horizon te rijzen. Alleen dan, wanneer wij ons op den evenaar van onze Aarde zouden bevinden, zou er niets van den sterrenhemel voor onze blikken verborgen blijven; want daar de beide polen van onze Aarde dan voor ons in den horizon liggen, zoude niets ons verhinderen om door de wenteling der Aarde den ganschen sterrenhemel te overzien.

Wij kunnen dus den sterrenhemel, op de breedte, waar wij wonen, in drie streken verdeelen. De *eerste*, die gedurende het gansche jaar, des nachts voor ons zichtbaar is; de *tweede* de streek, welke slechts gedeeltelijk voor ons zichtbaar is, en de *derde* die, welke steeds voor ons verborgen blijft en onzichtbaar is.

Deze drie verschillende streken willen wij thans vluchtig doorloopen, en wel het eerst de streek, welke bij heldere lucht altijd voor ons en voor al de streken onzer Aarde, welke op denzelfden breedtegraad liggen, zichtbaar is. Leiden ligt op $52^{\circ} 9' 28.2''$ breedte, dat is de afstand van den evenaar. Al de sterrenbeelden, welke deze streek bevat, staan aangeduid op Plaat XLIII. (Zie de titelplaat.)

Elken dag verandert de stand der sterrenbeelden eenigszins, omdat de Aarde op hare baan met betrekking tot de Zon eene andere plaats inneemt; het verschil immers tusschen een zonnedag en een sterren-dag is, zooals wij (bladz. 126) verklaarden, ongeveer 4 minuten. Omdat nu de Zon elken dag volgens den middelbaren tijd ongeveer 4 minuten later door den meridiaan gaat, volgt daaruit, dat de sterren

elken dag ongeveer 4 minuten middelb. tijd vroeger door den meridiaan gaan, en daardoor nu verschilt de schijnbare stand dier hemellichamen elken dag voor hetzelfde uur.

Plaat XLIII stelt ons den hemel voor op den 1^{sten} Januari te middernacht. Om den stand van den sterrenhemel te weten 's middags op den 1^{sten} Jan. zouden wij de plaat geheel moeten omkeeren, zoodat wat eerst onder was nu boven gezocht moest worden; ten 6 ure 's morgens zou de stand wezen, wanneer wij de plaat van den rechterkant beschouwen, met het sterrenbeeld den Grooten Beer onder aan den horizon, en des avonds ten 6 ure zouden wij de plaat van den linkerkant moeten bezien met den Grooten Beer in het bovenste gedeelte.

Te middernacht echter van den 2^{den} Januari zou de stand, hoezeer niet zooveel verschillende, toch niet juist dezelfde zijn als daags te voren op hetzelfde middelbare uur, omdat de wenteling der Aarde korter is dan de 24 middelbare uren van onze tijdsbepaling. Drie maanden later, dus op 1 April zou men denzelfden stand waarnemen, als de plaat aangeeft, maar des avonds ten 6 ure; en evenzoo den 1 October maar des morgens ten 6 ure en op den 1 Juli 's middags ten 12 ure.

Beschouwen wij thans de sterrenbeelden, welke voortdurend voor ons zichtbaar zijn. Wij vooronderstellen, dat het middernacht is, en dat wij met het gelaat naar het Noorden gericht den tintelenden sterrenhemel bezien; wanneer wij dan het oog vestigen op een punt, ongeveer halverwege tusschen den horizon en het zenith of toppunt boven ons hoofd, dan is onze blik gericht op het noorder poolpunt aan den hemel; zeer dicht bij dat punt op 1° 24' afstand zien wij eene heldere ster van de tweede grootte, welke men de POOLSTER noemt.

Omdat het van belang is die ster, welke in den loop der nachten van het jaar zoo weinig van plaats verandert, dat zulks voor het bloote oog onmerkbaar is, ten allen tijde te kunnen vinden, zullen wij daarvoor aanstonds een eenvoudig middel aangeven.

Slaan wij daarom eerst de oogen op de rechterzijde van Plaat XLIII, dan zien wij eene groepeerings van 7 helder fonkelende sterren, welke wij dikwijls aan den hemel bewonderd hebben, en welk sterrenbeeld vrij algemeen bekend is onder den naam GROOTE BEER of wel de WAGEN.

Van dit sterrenbeeld nu moeten wij uitgaan om de overigen te leeren kennen.

De vier in een vierhoek geplaatste sterren maken het lichaam, en de drie in eene gebogene richting zich bevindende onderste sterren maken den staart uit.

Zes sterren van het zevental hebben ongeveer denzelfden glans en zijn sterren van de tweede grootte. Duidelijk ziet men reeds met het bloote oog, dat eene der sterren uit den vierhoek en wel degene, die het dichtst aan den staart is geplaatst, minder glanst dan de overigen, zoodat deze thans tot de vierde grootte behoort, hoewel zij in de zeventiende eeuw in schittering niet van de anderen te onderscheiden was. De middelste ster uit den staart is vergezeld door eene kleine ster *Alcor* genoemd, welke men door een goeden zakkijker duidelijk waarneemt ¹.

Het gansche sterrenbeeld van den Grooten Beer bevat 138 met het bloote oog zichtbare sterren. Wanneer wij nu de beide sterren, die zich aan de tegenovergestelde zijde van den staart in het vierkant van den Grooten Beer bevinden, door eene denkbeeldige lijn verbinden, en die lijn doortrekken aan de zijde, waar zich de staart bevindt, dan vinden wij gemakkelijk de Poolster.

Zij is de helderste van het zevental, dat met minder glans en in omgekeerde richting dezelfde figuur vormt als de zeven sterren van den Grooten Beer, en welke groepeerling men den KLEINEN BEER noemt, waarin 27 sterren met het bloote oog zijn te onderscheiden. De Poolster is het middelpunt van den noorderhemel, en speelt er eene groote rol, omdat zij de naastbijzijnde ster is bij het punt, dat de verlengde denkbeeldige as van onze Aarde aan den hemel treffen zou; daaruit volgt dus, dat zij onbeweeglijk aan den hemel schijnt, en immer even hoog boven den horizon staat, terwijl al de andere sterren grootere of kleinere cirkels rondom die Poolster schijnen te beschrijven. Omdat zij echter niet juist in het poolpunt staat, beschrijft zij toch ook een kleinen cirkel rondom dat punt, hoewel die beweging voor het bloote oog niet is waar te nemen. Omdat de as der Aarde ook eene geringe verandering ondergaat, is de afstand van de Poolster tot het poolpunt ook verschillend. Ten tijde van Hipparchus, 150 jaar vóór onze jaartelling, stond zij nog 12° van het noorderpoolpunt verwijderd; Tycho vond in 1577, dien afstand tot op 3

¹ Zij die de gewoonte hebben den sterrenhemel te beschouwen en met een scherp gezicht begaafd zijn, nemen die kleine ster met het bloote oog waar.

graden verminderd, en thans bedraagt die ongeveer $1^{\circ} 24'$; na 230 jaar zal zij den dichtsten stand bij het poolpunt bereiken, namelijk een halven graad ongeveer, en daarna zal zij zich van de pool meer en meer verwijderen, om eindelijk na jaren haren naam Poolster te verliezen, want na 12,000 jaar zal de Alpha in de Zwaan het dichtste bij het poolpunt staan, en dus Poolster worden.

Om te weten welke sterren in den loop der eeuwen poolsterren zullen worden, behoeft men op eene sterrenkaart of globe uit de pool van de ecliptica ¹ slechts een cirkel te trekken met een straal gelijk aan de helling van de ecliptica, van $23\frac{1}{2}$ graad; alle sterren nu, welke dicht bij dien cirkel staan, worden eenmaal poolsterren.

De stand of liever de hoogte boven den horizon van de Poolster betreft alleen de plaats, waar wij wonen, en al die plaatsen, welke op dezelfde breedte liggen, dat is denzelfden afstand hebben als de plaats waar wij zijn; maar naarmate men meer de pool der Aarde nadert of er zich van verwijdert, wordt de afstand van de pool tot den horizon grooter of kleiner, zoodat als men kon doordringen tot aan de werkelijke pool van onze Aarde, men dan de Poolster in het toppunt of zenith zou zien staan, en als men zich op den equator van onze Aarde bevond, zou men de poolster vlak aan den horizon zien. Daar nu de afstand van de pool tot den aequator op elke plaats onzer Aarde immer 90 graden bedraagt, volgt uit dit alles, dat de hoogte der pool steeds gelijk is aan den afstand van den aequator. Wij zien bijv. de poolster ongeveer 52 graden boven den horizon staan, en evenzoo ver zijn wij ook verwijderd van den aequator. Daaruit begrijpt men reeds het groot belang, zoowel voor de sterrenkunde als voor de geographie, en wel voornamelijk voor den zeevaarder om de ware poolhoogte eener plaats te kennen.

Wanneer men uit de middelste ster (de minst heldere) van den Grooten Beer eene lijn trekt door de Poolster, en haar verlengt, zoodat deze op het midden van die lijn staat, vindt men eene groepeerings van zes heldere sterren, waarvan er twee tot de tweede grootte, drie tot de derde en ééne tot de vierde grootte behooren. Haar vorm gelijkt op

¹ De polen van de ecliptica zijn die punten aan den hemelkugel, welke juist 90 graden van den cirkel der ecliptica verwijderd zijn. Zij worden verdeeld in Noord- en Zuidpool. De eerste valt in het sterrenbeeld den Draak; de Zuidpool daarentegen ligt tusschen de sterren van den Zwaardvisch.

eene op den kant staande letter W. Dat sterrenbeeld nu heet CAS-SIOPEIA en bevat 67 sterren, voor het bloote oog zichtbaar. Een der beide helderste sterren draagt den naam *Schedir*, hoewel zij tegenwoordig meer bekend is als Alpha uit Cassiopeia; zij behoort tot de veranderlijke sterren, waarover wij later zullen handelen.

Rondom den Kleinen Beer slingert zich eene rij van sterren, waarvan er slechts twee tot de tweede grootte behooren, hoewel er in dat sterrenbeeld, den DRAAK genaamd, 130 sterren met het bloote oog te tellen zijn. Onder den Kleinen Beer vindt men den kop van den Draak, voorgesteld door een langwerpig vierkant, waarin vier sterren zijn geplaatst.

Tusschen den Kleinen Beer en Cassiopeia vindt men CEPHEUS, terwijl de LOSCH en de GIRAFFE evenzeer in de nabijheid van de pool gevonden worden. Deze drie sterrenbeelden, vooral de beide laatsten bestaan uit kleinere sterren, waarvan men er 215 met het ongewapend oog tellen kan, overigens bieden zij ons geene merkwaardigheid aan.

Eene der schitterendste sterren, welke nooit op onze breedte ondergaat, is bekend onder den naam *Capella*, de Geit, zij is eene ster der eerste grootte en staat op den 1^{sten} Jan. te middernacht ongeveer boven ons hoofd. Zij behoort tot het sterrenbeeld den VOERMAN, waarin 69 sterren zichtbaar zijn. Wanneer men de beide sterren uit het vierkant van den Grooten Beer, welke zich aan de zijde van de Poolster bevinden, door eene denkbeeldige lijn vereenigt, dan wijst het verlengde van die lijn ons gemakkelijk de heldere ster *Capella* of Alpha van den Voerman aan.

Wanneer men de beide heldere sterren uit den Voerman met elkander verbindt, dan brengt de verlengde lijn dwars door den melkweg heen ons in het sterrenbeeld PERSEUS, dat ook onder de circumpolairbeelden geteld wordt, omdat een groot gedeelte van dat sterrenbeeld voor ons niet ondergaat. 81 sterren zijn met het bloote oog zichtbaar, waaronder de ster *Algol* of *Beta*, die om hare snelle veranderlijkheid merkwaardig is.

De sterren van de hier beschreven beelden zijn, omdat zij nimmer onder den horizon verdwijnen, zeer geschikt om de ware poolhoogte te vinden; want omdat zij een eirkel om de pool beschrijven, gaan zij dus tweemaal elke 24 uren door den meridiaan, eenmaal boven en eens beneden de pool. In de lange winternachten geschiedt zulks in

denzelfden nacht tweemaal. Meet men de ster bij hare beide doorgangen door den meridiaan ¹ dan ligt de ware pool juist in het midden. Bij dergelijke metingen moet vooral gelet worden op de straalbreking, waardoor de sterren hooger schijnen te staan. (Zie hierover bladz. 123 en volgenden.)

Wij geven hier een voorbeeld van dergelijke berekening voor onze breedte, en nemen daarvoor de ster Capella uit den Voerman.

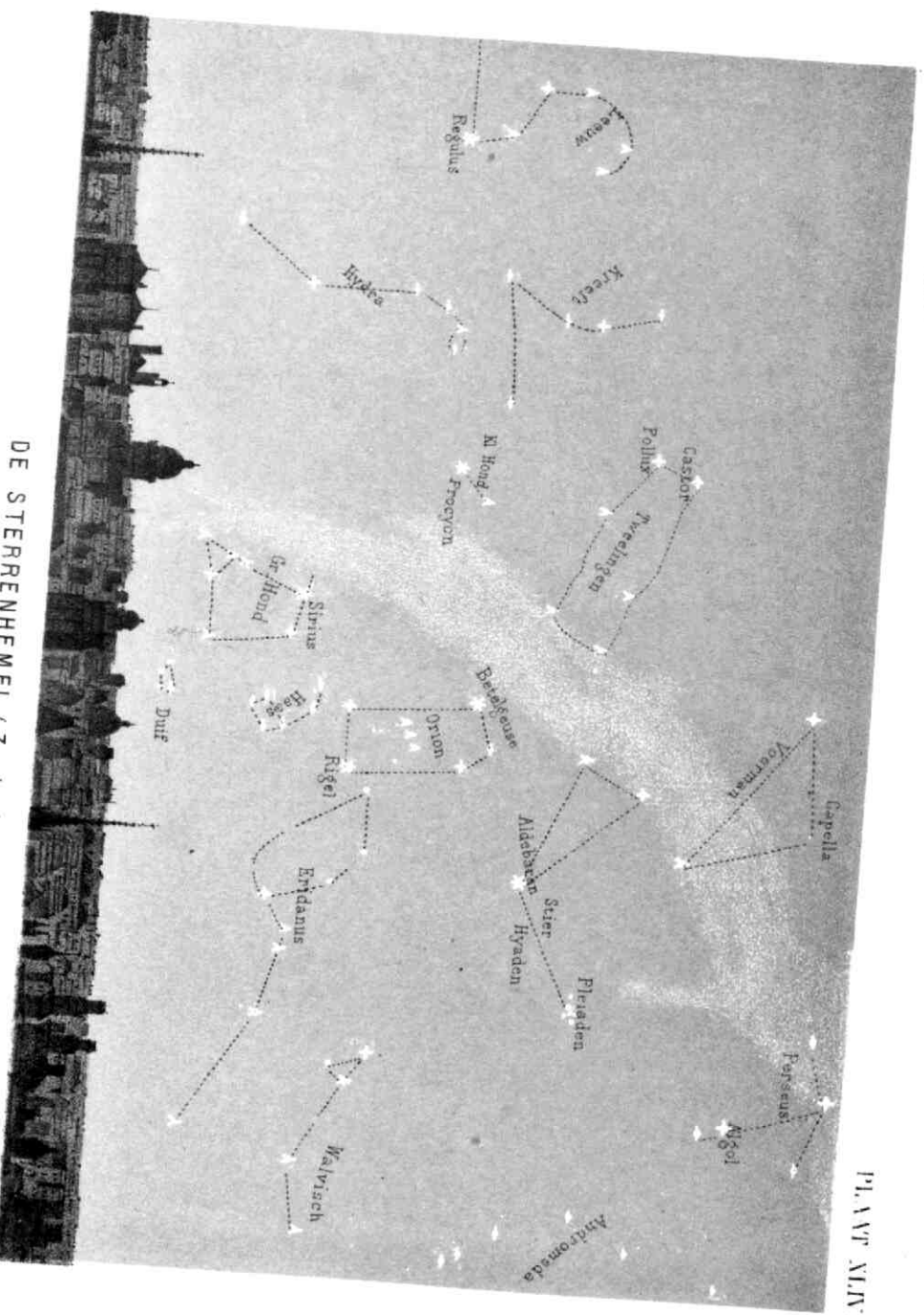
Grootste hoogte	94° 13' 46''	Kleinste hoogte	10° 10' 45''
Refractie	5''	Refractie	5' 30''
Ware gr. hoogte	94° 13' 41''	Ware kl. hoogte	10° 5' 15''
" kl. "	10° 5' 15''		
	84° 8' 26''		

$$\text{dus de helft } 42^{\circ} 4' 13'' + 10^{\circ} 5' 15'' = 52^{\circ} 9' 28''$$

§ 2. Sterrenbeelden aan den zuiderhorizon zichtbaar. Orion met Beteigeuze en Rigel — Grootte en Kleine Hond met Sirius en Procyon. — Stier met de Hyaden, Aldebaran en de Pleiaden. — De Tweelingen, Castor en Pollux. — Ram, Walvisch, Eridaanvloed en de Kreeft — De Leeuw met Regulus. — De Maagd met Spica. — Boötes en het haar van Berenice. — De Kroon met Gemma. De Slang en de Slangendrager. — Weegschaal, Raaf, Beker. — Schorpioen met Antares. Lier met Vega. Arend met Athair. Hercules en de Zwaan. Andromeda en Pegasus. — De Visschen.

Slaan wij thans den blik op Plaat XLIV, waar wij de sterrenbeelden zien, welke de zuiderhorizon ons des middernachts van den 20 Dec. aanbiedt. De mat lichtende melkweg doorsnijdt in eene schuinsche richting het tooneel, dat wij voor oogen hebben, terwijl het prachtige sterrenbeeld ORION in het Z. Z. W. het midden inneemt en aanstonds onzen blik trekt. Die heerlijke sterrengroep vormt een langwerpige vierkant in welks midden zich drie sterren bevinden van de tweede grootte, die in de volkstaal bekend staan als de Driekoningenster. De twee schitterende sterren, welke de hoeken van het vierkant innemen, dragen eigen namen. De hoogste, het dichtst aan den melkweg gelegen, is *Beteigeuze*, en de onderste *Rigel*. Juist onder de drie sterren, welke men ook den gordel van Orion noemt, ziet

¹ De wijze, waarop de hoogte eener ster of de doorgang door den meridiaan genomen wordt, zullen wij nader beschrijven bij de verklaring der voornaamste sterrenkundige werktuigen.



DE STERRENWEL (Zuden).

Middernacht 30 December

5 1887

men een matten schijn, waar een goede kijker ons de beroemde nevelvlek vertoont, waarvan wij later uitvoerig eene beschrijving zullen geven.

De aequator des hemels, welke midden door dit sterrenbeeld loopt, bevindt zich even boven de hoogste van het in het midden geplaatste drietal sterren. Met het bloote oog telt men in Orion reeds 117 sterren. Verbazingwekkend is echter het prachtige schouwspel, dat een krachtige kijker ons schenkt, wanneer wij een blik op dat sterrenbeeld vestigen, en daardoor de lichtstraal van honderde en nogmaals honderde sterren ons oog treft.

Wanneer wij de drie heldere sterren van Orion door eene denkbeeldige lijn verbinden en deze naar het zuiden doortrekken, vinden wij juist in het zuiden de helderste ster van den ganschen sterrenhemel, *Sirius* genaamd, die deel uitmaakt van het sterrenbeeld den GROOTEN HOND. In dit sterrenbeeld telt een goed oog 66 sterren.

Wanneer wij de lijn, welke ons naar Sirius bracht, in tegenovergestelde richting verlengen, vinden wij de roode en heldere ster *Aldebaran*, de schitterendste van het sterrenbeeld den STIER, waartoe zij behoort. Aldebaran staat in het midden eener groep sterren, welke den naam heeft van *Hijaden*, terwijl men verder in dezelfde richting eene zelfde maar talrijker, helderder groep vindt, de *Pleiaden* genaamd. In de volkstaal wordt die groep ook wel aangeduid door den naam van Zevengesternte. 121 sterren zijn met het bloote oog in den Stier te tellen.

Dit sterrenbeeld behoort tot den Dierenriem, omdat de Aarde op hare baan zoodanig is geplaatst, dat de Zon zich juist tusschen haar en dat sterrenbeeld bevindt, zoodat van de Aarde beschouwd, het schijnt dat de Zon in dit sterrenbeeld staat. Dien stand heeft de Aarde omstreeks de maand Mei, zoodat de Zon op de helft van die maand juist bij de Pleiaden staat.

Wanneer wij nu weder naar Orion terugkeeren, vinden wij op dezelfde hoogte ten oosten, even ver van het zuiden als Beteiguse ten westen er van af is, eene heldere ster van de eerste grootte, *Procyon* genaamd, welke deel uitmaakt van het sterrenbeeld den KLEINEN HOND. De drie heldere sterren Beteiguse uit Orion, Sirius uit den Grooten Hond en Procyon uit den Kleinen Hond maken met elkander een ongeveer gelijkzijdigen driehoek, daardoor zijn die sterren gemakkelijk te vinden.

Wanneer wij van Procyon uit recht naar het Zenith opgaan, treffen twee heldere sterren op korten afstand van elkander onzen blik, *Castor* en *Pollux* namelijk, de beide voornaamsten uit het sterrenbeeld de TWEELINGEN, waarin wij 51 sterren kunnen onderscheiden. De Tweelingen behoren ook tot die sterrenbeelden, waarin zich de Zon vertoont en wel in de maand Juli.

Naast de Pleiaden, meer naar het westen, bevindt zich het sterrenbeeld de RAM, waarin de Zon zich voor ons oog bevindt op het einde van de maand April.

Onder den Ram in het Z. W. ziet men de heldere ster *Menkar* of *Mekab* fonkelen, die tot den WALVISCH behoort, en nog meer naar het zuiden laag aan den horizon staat het sterrenbeeld de vloed ERIDANUS; in beide sterrenbeelden vindt men op onze breedte geene sterren der eerste grootte.

Aan de oostzijde van de Tweelingen vindt men de ster *Praesepe* (Kribbe), welke de voornaamste is uit het sterrenbeeld den KREEFT, ook behoorende tot den Dierenriem, waarin de Zon zich op het einde der maand Juli bevindt.

Door de wenteling onzer Aarde gaan langzamerhand de sterren in het westen onder, terwijl nieuwe beelden in het oosten boven den horizon rijzen. Voordat wij ze vluchtig in oogenschouw nemen merken wij hier op, dat dezelfde stand waarin plaat XLIV ons den hemel toont, terugkeert op de volgende tijdstippen.

20 Maart	ten	6 ure	's avonds.
20 Juni	„	12 „	's middags.
20 September	„	6 „	's morgens.

Omdat de Aarde zich op hare baan verplaatst, worden elken nacht oostelijker sterrenbeelden zichtbaar, zoodat drie maanden later op hetzelfde uur de zuidelijke horizon bijna geheel door andere sterrenbeelden is ingenomen. Wij kiezen daarvoor den 22^{sten} Maart, en plaat XLV toont ons den hemel te middernacht.

Een prachtig en gemakkelijk te kennen sterrenbeeld, de LEEUW namelijk, neemt ongeveer het midden in van het tooneel, dat zich aan onze bliken vertoont, wanneer wij ons naar het zuiden keeren. De melkweg strekt zich langs den horizon uit en is alleen in het westen zichtbaar.

De sikkelvormige boog, waarin deze groep sterren zich vertoont, doet dit sterrenbeeld gemakkelijk onderscheiden. De helderste ster is

Regulus, soms ook wel het hart van den Leeuw genaamd. De tweede heldere, meer in het zuiden zich bevindende ster is *Denebola*. 76 sterren zijn in dit sterrenbeeld met het bloote oog te onderscheiden.

Tegelijk met *Regulus* staan er nog drie sterren van de eerste grootte fonkelend aan den hemel. *Procyon* is in het Z. W. nog niet ondergegaan. Op dezelfde hoogte ongeveer boven den horizon in het Z. O. fonkelt *Spica* uit het sterrenbeeld de MAAGD, dat 100 zichtbare sterren bevat. In het Z. O. schittert boven ons hoofd *Arcturus* de helderste uit het prachtig sterrenbeeld, BOËTES, waarin 18 zeer heldere sterren en 67 van minderen glans te tellen zijn.

Tusschen den Leeuw en Boëtes ziet men eene verzameling van kleine sterren zoo kort op elkander gedrongen, dat het zeer moeilijk valt ze duidelijk te onderscheiden. Men noemt die groep het HOOFDHAAR van BERENICE. Recht in het zuiden ongeveer een 15tal graden lager dan *Denebola* uit den Leeuw is het punt, waar de Zon den aequator op den 21^{sten} September doorsnijdt, dat is het winterevennachtpunt. Dat punt is het begin van de weegschaal, hoewel het thans dicht bij den Leeuw in de Maagd ligt.

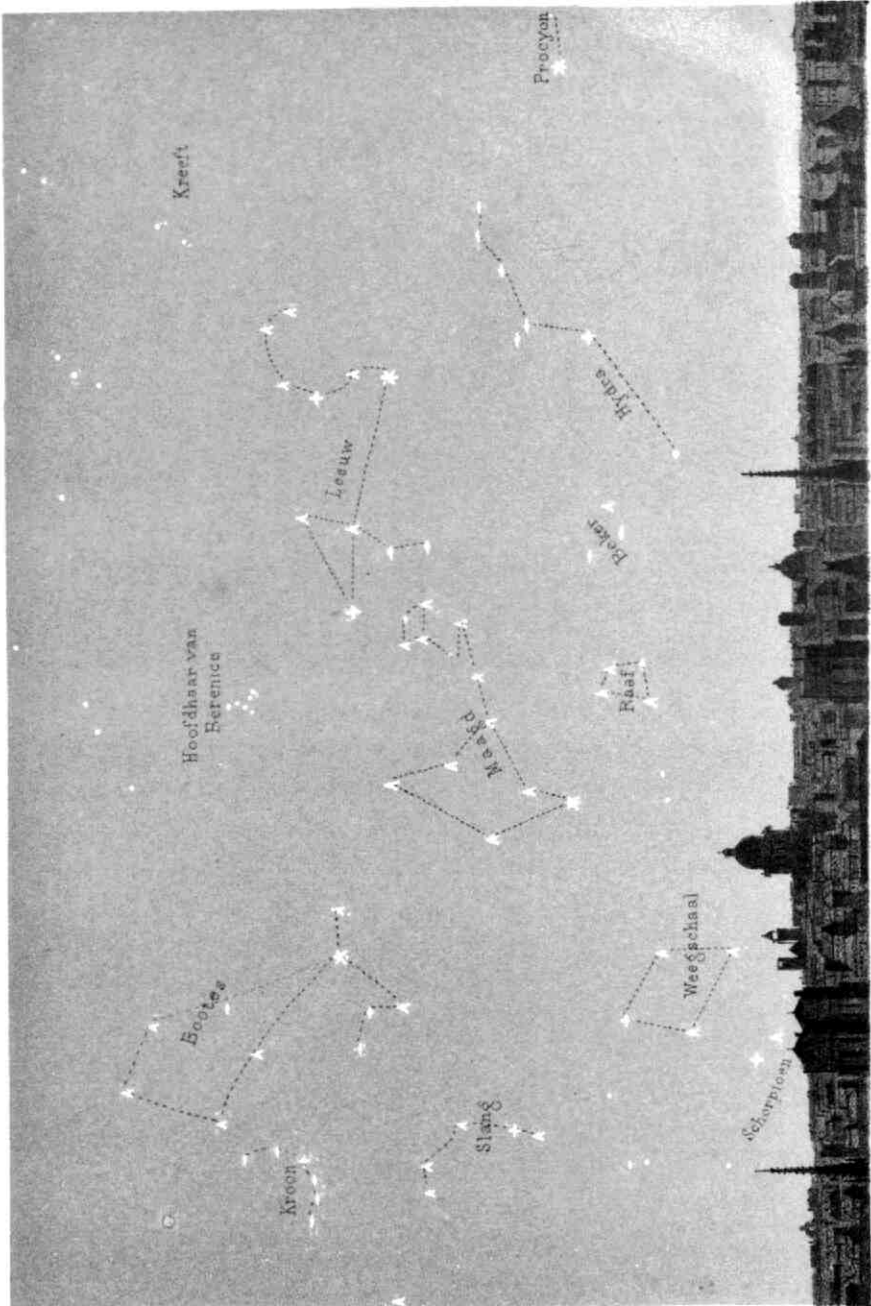
In het oosten op halver hoogte tusschen het zenith en den horizon is duidelijk de NOORDERKROON te kennen: een zestal sterren ziet men in een halfmond geschaard; de helderste is *Gemma* (edelgesteente.) Onder de Kroon bevindt zich de kop van de slang met OPHIUCUS, den slangendrager.

Ter weerszijden van *Spica* vindt men aan den oostkant de WEEG-SCHAAL, het sterrenbeeld, waarin de Zon zich den 1^{sten} Nov. bevindt; aan den westkant vindt men den RAAF en den BEKER, waarin men om den lagen stand aan den horizon weinige sterren ontdekt.

Om het overzicht te eindigen wijzen wij nog aan: de JACHTHONDEN boven het Hoofdhaar van Berenice, den KLEINEN LEEUW, boven den Grooten Leeuw, en eindelijk laag aan den horizon in het zuiden de HYDRA, waarin de veranderlijke ster, het HART genaamd in het Z. W. behoort. Eveneens grenst laag aan den horizon in het W. Z. W. het sterrenbeeld de EENHOORN.

De hier beschrevene stand van de opgenoemde sterrenbeelden volgens plaat XLV komt terug:

den	21 Juni	des avonds	ten	6 ure,
„	22 Sept.	„ middags	„	12 „
„	21 Dec.	„ morgens	„	6 „



DE STERRENHEMEL (Zuiden).

Middernacht 22 Maart

1871-1872

Te middernacht op den 21 Juni, den dag waarop de Zon de grootste hoogte boven den aequator heeft bereikt, en dus de oorzaak is van den langsten dag, is de hemel wederom door andere sterrenbeelden ingenomen, waarvan wij eene vluchtige beschouwing willen geven; plaat XLVI vertoont ons den stand des hemels op dat tijdstip.

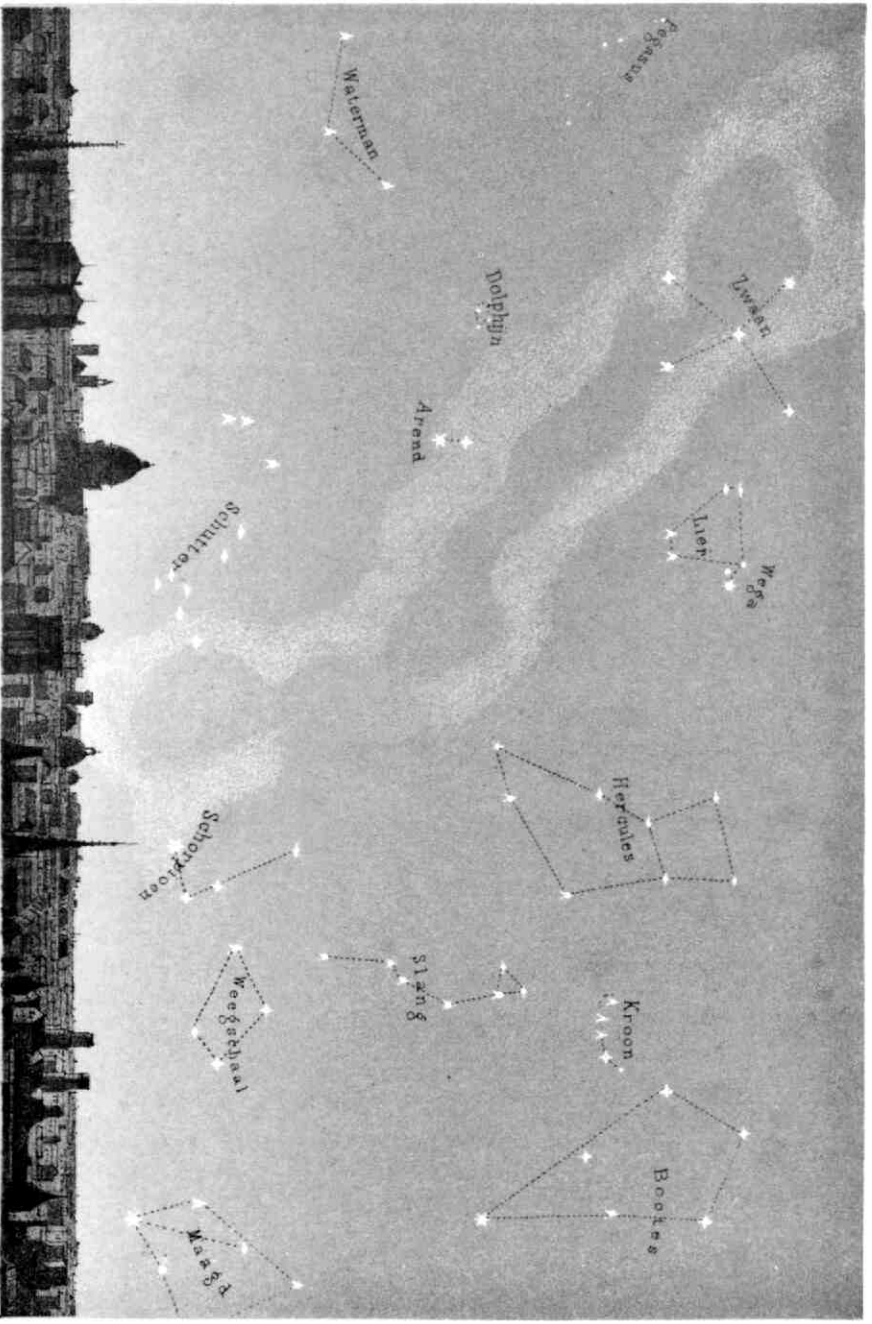
De Noorderkroon, Boötes, de Slang, de Weegschaal en de Maagd, welke wij den 21 Maart in het oosten waarnamen, bevinden zich thans in het westen. Arcturus staat loodrecht boven de heldere ster Spica, welke in het W. Z. W. laag aan den horizon fonkelt. De Melkweg, die in twee takken gescheiden is, loopt van het zuiden naar het noord-oosten.

Onder deze sterrenbeelden is er geen, dat door eene bijzondere schittering onze aandacht trekt; behalve de beide hierboven genoemde sterren, stralen er echter op zeer ongelijke hoogten drie van de eerste grootte. *Antares* in het Z. Z. W. laag aan den horizon, behoort tot den SCHORPIOEN, in welk sterrenbeeld de Zon ongeveer op de helft van November treedt.

De tweede ster van de eerste grootte staat bijna in het zenith en is *Wega* uit de LIER, terwijl in het Z. O. de heldere ster *Athair* uit den AREND door hare schittering onze aandacht trekt.

Boven ons hoofd tusschen de Lier en de Noorderkroon vinden wij het groote sterrenbeeld HERCULES, waarin wij 155 sterren met het bloote oog tellen kunnen. In dit sterrenbeeld ligt het punt, waarheen de baan loopt, welke onze Zon maakt, omringd door hare planeten, wachters en kometen; daarover zullen wij echter later handelen, 't is genoeg het hier slechts aan te duiden.

Naast de Lier vinden wij boven ons hoofd midden in den Melkweg het sterrenbeeld de ZWAAN, waarvan *Deneb* of Alpha de helderste ster is en het toppunt uitmaakt van een kruis, dat zij met nog vier andere heldere sterren maakt, en waaraan dit beeld gemakkelijk te kennen is. In de Zwaan is eene kleine ster, voor het ongewapend oog nauw zichtbaar, en welke men aanduidt door het getal 61 uit de Zwaan. Die ster heeft eene astronomische vermaardheid gekregen, omdat zij de eerste vaste ster is, wier afstand tot de Aarde gemeten is. 145 sterren kan men in dit sterrenbeeld met het bloote oog tellen. De VOS, de PIJL, de DOLPHIJN en het KLEINE PAARD, welke zich in de richting naar het Z. O. bevinden, bieden geene bijzonderheden aan. Laag aan den horizon vindt men in het O. Z. O.



DE STERRENHEMEL (Zuiden)

Middernacht 30 Juni.

den WATERMAN; zoo langs den horizon voortgaande, naar het zuiden in het Z. O. den STEENBOK, in het zuiden den SCHUTTER, in het Z. Z. W. den SCHORPIOEN en in het Z. W. de WEEGSCHAAL.

Denzelfden stand vindt men terug op den

22 Sept. des avonds ten 6 ure.

21 Dec. „ middags „ 12 „

22 Maart „ morgens „ 6 „

Den 22 September hebben wij te middernacht weder een ander tooneel voor oogen. Plaat XLVII geeft er ons de afbeelding van. In het W. Z. W. fonkelt *Athair* uit den AREND; vlak in het westen, maar meer in het toppunt, straalt *Deneb* uit de ZWAAN. In het O. Z. O. zien wij de Pleiaden, terwijl Orion in het oosten boven den horizon rijst. Wij hebben dus met deze plaat de afbeeldingen gegeven van den ganschen cirkel van den sterrenhemel, zooals die zich te middernacht achtereenvolgens vertoont in den loop van het jaar. Bijna in ons toppunt vinden wij een groot vierkant gevormd door vier heldere sterren, waarvan er drie tot de tweede grootte behooren. Twee er van staan loodrecht boven elkander, juist in het zuiden. Deze behooren tot het sterrenbeeld PEGASUS. Een dertiental graden lager dan de onderste ster van het tweetal, dat in het zuiden staat, is het denkbeeldige punt, vanwaar men de lengtetelling begint, zoodat deze beide sterren dan ook tot de fundamenteal sterren behooren, (zie bladz. 306) wier afstand van het voorjaars-evennachtspunt nauwkeurig wordt bepaald.

Aan dit vierkant sluiten zich naar het oosten drie heldere sterren, ongeveer met het vierkant van Pegasus eene figuur makende als van den Grooten Beer. De laatste en meest oostwaarts geplaatste ster is *Algol*, de veranderlijke ster uit het sterrenbeeld PERSEUS, terwijl de drie overigen, daarin begrepen de hoekster uit het vierkant van PEGASUS, tot ANDROMEDA behooren. Andromeda en Pegasus bevatten 191 met het ongewapende oog zichtbare sterren. In het Z. O., recht onder de beide heldere sterren van Andromeda vindt men den DRIEHOEK, de Vlieg en den RAM. Het punt dus, waarvan wij hierboven spraken, vanwaar de telling begint, noemt men wel de Zon in den Ram, maar dat punt ligt niet in het sterrenbeeld de Ram, maar in het sterrenbeeld de Vischen, de oorzaak is de achteruitgang van de evennachtspunten, waarover later.

Onder de VISSCHEN en den RAM ligt de WALVISCH, een groot

sterrenbeeld, dat zich tot den horizon uitstrekt; 98 sterren zijn er met het bloote oog in te tellen. In het Z. Z. O., iets beneden den aequator, staat eene ster, die zeer merkwaardig is om hare verandering in lichtglans, en daarom *Mira* of de wonderbare wordt genoemd. Later willen wij die veranderlijkheid in de vaste sterren uitvoeriger behandelen.

In het zuidwesten vinden wij den STEENBOK en in het Z. Z. W. den WATERMAN, terwijl zeer laag aan den horizon in het Z. Z. W. onder den Waterman bij eene gunstige weersgesteldenis eene schoone ster schittert, *Fomalhaut* genaamd, welke tot den ZUIDERVISCH behoort.

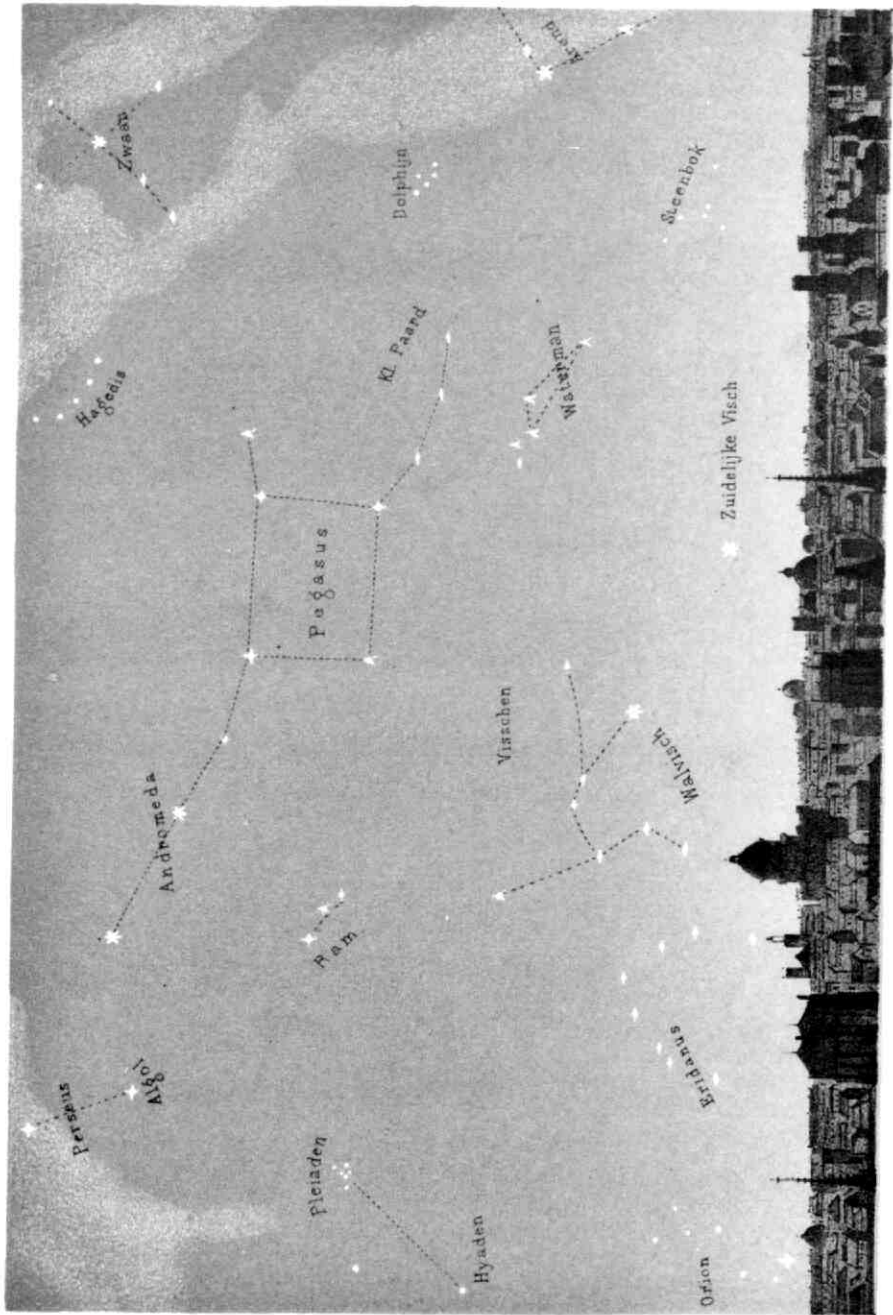
De stand van Plaat XLVII keert terug op de volgende tijdstippen:

den 21 December ten	6 ure des avonds.
„ 21 Maart „ 12 „ „	middags.
„ 21 Juni „ 6 „ „	morgens.

§ 3. Sterrenbeelden aan den Zuiderhemel, voor onze breedte onzichtbaar. — Omgekeerde vorm. — Zuiderkruis. Centaurus. Wolf. Altaar. Driehoek. — Argo met Canopus en Eta. — Vliegende visch. — Draadnet. Eridaan met Achernar. — Phenix. Toecan. Kraanvogel. Indiaan. Pauw. — Waterslang met Beta. — Wolken van Magellaan. — Tijdsbepaling door de Sterren. —

Plaat XLVIII geeft ons den stand van de voornaamste sterrenbeelden van den zuiderhemel, beschouwd op eene breedte ten zuiden van den aequator even groot als waarop wij ten noorden wonen, het zuidelijk punt namelijk van Zuid-Amerika, Patagonië. Op die breedte staat de zuidpool ook ongeveer 52 graden boven den horizon, en al de sterrenbeelden, welke minder dan 52 graden van dat poolpunt zijn verwijderd, gaan er niet onder, maar behooren tot de zuider circumpolairbeelden en zijn op onze breedte immer onzichtbaar.

Wanneer wij van dit punt den blik wenden naar het noorden, naar den aequator, dan zien wij met uitzondering van de noorder circumpolair-sterren, al de in het vorige hoofdstuk beschrevene sterren in den loop van het jaar te middernacht voorbij trekken, echter met betrekking tot den horizon in eene geheel andere orde, zoodat wat wij op onze breedte in het bovenste gedeelte van het sterrenbeeld zien, wij dat van ons standpunt in het onderste gedeelte ontmoeten. De twee groote sterren, bijv. van het vierkant uit Orion, welke wij als de basis aanmerken, zouden wij in Patagonië in het



DE STERRENHEMEL (Zuiden).

Middernacht 22 September.

bovenste deel van het vierkant zien. Hier zien wij Sirius aan de linkerzijde van Orion en lager dan dat sterrenbeeld, maar in het zuiden zouden wij Sirius aan de rechterhand zien en wel hooger dan Orion. Die verandering in het voorkomen van de sterrenbeelden verklaart zich gemakkelijk door den veranderden stand van den beschouwer; want met de sterrenbeelden geschiedt wat er gebeurt, wanneer wij een figuur aan het plafond eener kamer van twee tegenover elkan- der liggende zijden beschouwen: wat in den eersten stand boven en onder, rechts en links was, wordt nu in den tweeden stand juist tegen- overgesteld onder en boven, links en rechts.

Wij vooronderstellen ons te bevinden in den nacht van den 21 Dec., den langsten nacht op onze noorderbreedte en den kortsten daaren- tegen op het zuider-halfroond, en wenden ons naar de zuidpool.

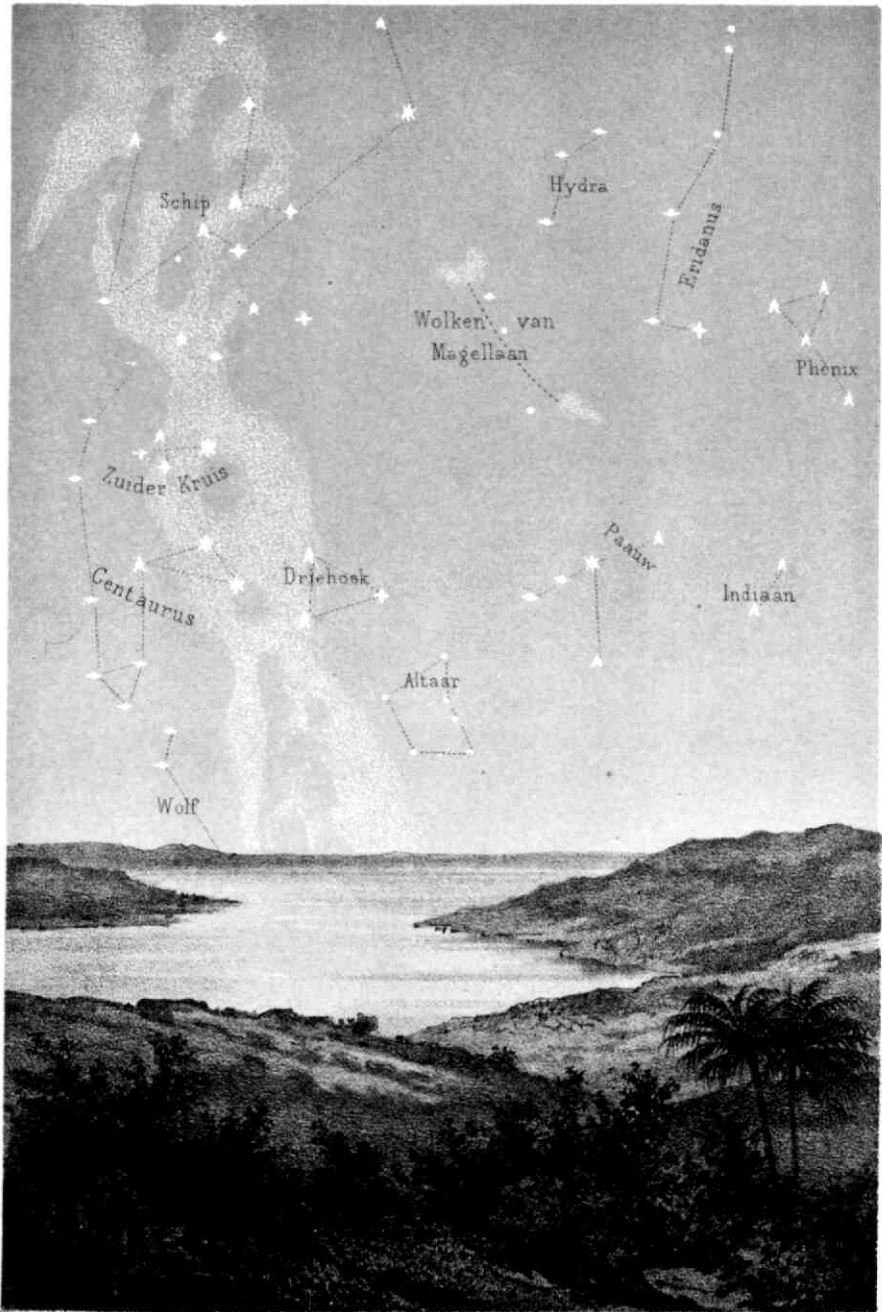
De Melkweg vertoont zich in vele takken gesplitst, en de groote menigte heldere sterren, welke in de streek van den Melkweg fon- kelen, trekt onze aandacht.

Het schoonste sterrenbeeld is het ZUIDERKRUIS. Vier heldere sterren vormen een kruis, dat evenwijdig met den horizon ligt.

Lager en onder het kruis schitteren tusschen de beide armen van den Melkweg twee sterren van de eerste grootte, terwijl wij in den omtrek nog vijf sterren der tweede grootte opmerken, welke allen behooren tot het uitgestrekte sterrenbeeld CENTAURUS. Later zullen wij gelegenheid hebben om de schitterendste van die sterren te bespreken, daar zij een stelsel vormt van twee zonnen, die om el- kander wentelen, tevens is zij de dichtst nabijzijnde ster, welker af- stand men heeft kunnen meten. Laag aan den horizon bemerken wij eene groote menigte sterren van de derde en vierde grootte, welke tot het sterrenbeeld den WOLF behooren.

Het ALTAAR en den DRIEHOEK vinden wij naast den Melkweg in het Z. O., in welke sterrenbeelden overigens niets merkwaardigs is op te merken.

Recht boven het Zuiderkruis schittert met een groot aantal heldere sterren het prachtige sterrenbeeld het SCHIP of ARGO. De helderste ster, welke bijna in het zenith ongeveer in het zuiden staat, heet *Canopus* en werd vroeger na Sirius voor de helderste ster gerekend van den ganschen sterrenhemel. Eene andere ster echter uit dit ster- renbeeld, de *Eta*, schitterde eenige jaren geleden met zooveel glans, dat Canopus er voor onder moest doen, en thans is de Eta zoodanig



DE STERRENHEMEL (Zuiderhalfrond).

Middernacht 20 December, gezien op de kusten van Patagonië.

in schittering afgenomen, dat men haar ter nauwernood met het bloote oog kan waarnemen.

Naast het Schip vinden wij den VLIEGENDEN VISCH, den DO-RADE of GOUDVISCH, het DRAADNET en naderen dan den ERI-DAANVLOED, waarvan wij reeds een gedeelte boven onzen horizon beschouwd hebben.

Op het uiteinde van dit sterrenbeeld, naar het poolpunt toe, straalt eene ster van de eerste grootte, *Achernar*.

Aan de rechterzijde van Achernar bevindt zich het sterrenbeeld de PHENIX, terwijl lager op den horizon en meer naar den meridiaan men den TOECAN, den KRAANVOGEL, den INDIAAN en den PAUW vindt, in welke sterrenbeelden niets bijzonders is op te merken.

Eene eigenlijke Poolster, zooals wij waarnemen, bezit het zuiderhalfrond niet; de ster *Beta* uit het sterrenbeeld de WATERSLANG is er het dichtste nabij. Terzijde van den Melkweg en juist in die streken, welke het armste aan sterren zijn, treffen een paar voorwerpen onze aandacht, die een geheel eigenaardig kenmerk aan den zuiderhemel geven. Het zijn twee witte wolkachtige vlekken van ongelijke grootte, alsof zij stukken zijn van den Melkweg.

Men onderscheidt hen in de groote en kleine wolk hoewel zij meer bekend zijn onder den naam van MAGELLAANSCHÉ WOLKEN. In het volgende boek, wanneer wij spreken over de nevelvlekken, zullen wij die merkwaardige voorwerpen nader beschouwen.

En hiermede eindigt onze vluchtige blik op den sterrenhemel: met behulp van de bij dit werk gevoegde kaart en hare verklaring zal het voor iedereen gemakkelijk zijn het groote tooneel boven onze hoofden in zijne afzonderlijke gedeelten te leeren kennen.

Voordat wij echter in de diepte des hemels doordringen om die duizende zonnen, welke daar haar licht uitstralen, meer in het bijzonder te leeren kennen, moeten wij eerst nog een paar aanmerkingen maken over de sterrenbeelden, om een duidelijk begrip van zulk eene sterrengroep te verkrijgen.

Wij zien de sterren volgens eene of andere figuur dicht bij elkander staan, echter moeten wij ons niet voorstellen, dat zulks altijd zoo in de werkelijkheid bestaat, want wat in ons oog dicht bijeen schijnt te staan, is wellicht op onmeetbare afstanden van elkander geplaatst, zoodat de eene ster veel dichter bij ons zijnde dan een achter haar

geplaatste ons den schijn geeft, alsof zij zich naast elkander bevonden. Ieder sterrenbeeld is dus nog geen sterrenstelsel. Wij zien dus in de sterrenbeelden den hemel, zooals die ons toeschijnt te zijn, en niet zooals die in de werkelijkheid bestaat. Eeuwen zullen er nog voorbij moeten gaan, eer wij over de bewegingen en de veranderingen in glans met eenige zekerheid meer zullen weten dan thans. En hoeveel blijft er dan nog verborgen, in die streken, waarin het sterk gewa- pend oog niet kan doordringen.

Op bladz. 314, sprekende over de Poolster, merkten wij op, dat zij voor ons een zeker middel is om de breedte te bepalen, waar wij ons op Aarde bevinden.

Wanneer wij nu door middel van de Poolster de vier hemelstreken kennen, is het gemakkelijk om zonder eenige werktuigen den tijd te bepalen, waarop men eene ster waarneemt. Daartoe is het noodig acht te geven op eenige heldere en gemakkelijk te kennen sterren, en waar te nemen, wanneer zij door den meridiaan gaan, dat is wanneer zij recht tegenover de Poolster en dus vlak in het zuiden staan.

Wij geven hier eene kleine lijst van zulke sterren volgens de verschillende tijden van het jaar.

Te middernacht staan in den meridiaan:

Castor	(uit de Tweelingen)	op den 12 Jan.
Procyon	(„ den Kl. Hond)	„ „ 14 „
Alphard	(„ de Waterslang)	„ „ 10 Febr.
Regulus	(„ den Leeuw)	„ „ 21 „
Denebola	(„ „ „)	„ „ 18 Maart.
Spica	(„ de Maagd)	„ „ 11 April.
Arcturus	(„ Boötes)	„ „ 24 „
Gemma	(„ de Kroon)	„ „ 15 Mei.
Antares	(„ den Schorpioen)	„ „ 28 „
Vega	(„ de Lier)	„ „ 30 Juni
Athair	(„ den Arend)	„ „ 18 Juli.
de Alpha	(„ den Waterman)	„ „ 21 Aug.
„ „	(„ Andromeda)	„ „ 22 Sept.
„ „	(„ den Ram)	„ „ 22 Oct.
„ „	(„ den Walvisch)	„ „ 5 Nov.
Aldebaran	(„ den Stier)	„ „ 28 „
Sirius	(„ den Gr. Hond)	„ „ 31 Dec.

Drie uren vóór middernacht staan die sterren in het zuid-oosten en drie uren na middernacht in het zuid-westen.

Omdat de sterren, zooals wij reeds weten, elken dag ongeveer 4 minuten vroeger door den meridiaan gaan, is het noodig om zoo veel maal 4 min. ¹ als er dagen verlopen zijn, sinds zij te middernacht in het zuiden stonden, van middernacht af te trekken.

Een enkel voorbeeld zal de zaak duidelijk maken.

Het is den 1^{sten} Maart 1872, en ik neem waar, dat de zoo gemakkelijk kenbare Hondster of Sirius juist in het zuiden staat.

Hoe laat is het nu?

Sirius culmineert ² op den 31^{sten} December. Er zijn dus sinds dien tijd verlopen 61 dagen 61 maal 4 minuten geeft — 4 ur. en 4 min. dit afgetrokken van middernacht is 7 ur. en 56 min. Het is dus ongeveer 8 uur.

Op den 1^{sten} April 1872 zie ik Aldebaran, uit den Stier, vlak in het westen staan.

Hoe laat is het nu?

Aldebaran culmineert op den 28^{sten} Nov. middernacht. Er zijn sinds dien tijd reeds verlopen 125 dagen. 125 maal 4 minuten geeft 8 uren en 20 minuten, dit afgetrokken van middernacht is 3 uur 40 min., dat was dus het uur, waarop Aldebaran op den 1^{sten} April door den meridiaan gaat, maar omdat zij vlak in het Westen staat, zijn er reeds 6 uren verlopen, zoodat het op het oogenblik 9 uur, 40 minuten is. Evenzoo leert de stand der sterren ons den tijd van het jaar kennen. Wij zien bijv. op zekeren avond ten 10 ure Procyon, uit den Kl Hond, juist in het zuiden staan. Welke tijd van het jaar is het nu? Procyon culmineert te middernacht den 14^{den} Jan. Het is nu 2 uren, dat is 120 minuten, vroeger. 120 gedeeld door 4 geeft mij een verschil van 30 dagen, het is dus eene maand later dan den 14^{den} Januari.

Uit dit weinige blijkt, hoe de hemellichten ons dienen om uren en dagen te kennen, en een heerlijk geregeld uurwerk voor onze blikken zijn.

¹ Tot gemak nemen wij het ronde getal 4 minuten, hoewel wij op bladz. 126 reeds zagen, dat het verschil 3 min. 56 seconden bedraagt.

² Culmineeren eener ster is de gewone nitdrukking, welke de sterrenkundigen bezigen, om aan te duiden dat eene ster door den meridiaan gaat, omdat zij op dat oogenblik haar hoogsten stand aan den hemel bereikt.

III.

AFSTAND EN BEWEGING DER VASTE STERREN.

§ 1. Afstand van eenige Vaste Sterren van onze Aarde. Tijd, welken het licht noodig heeft om tot ons te komen. — Gissingen naar de grootte der Sterren — Eerste blik op de afmetingen van het zichtbare Heelal.

Iedere vaste ster is eene stralende zon.

Elk van die lichtende punten, die boven ons hoofd aan het uitspansel bij duizendtallen schitteren, en welke de telescoop ons bij millioentallen doet ontdekken, straalt door eigen licht, de bewijzen hebben wij bladz. 305 reeds aangegeven. Iedere vaste ster is dus evenals onze Zon een middel- en een brandpunt, rondom hetwelk waarschijnlijk een aantal donkere lichamen wentelen, evenals onze planeten rondom de Zon; zoodat iedere ster een stelsel vormt, geheel en al overeenkomende met ons zonnestelsel.

Het zichtbare heelal is dus eene verzameling van ontelbare zonnen, en de nieuwere ontdekkingen der wetenschap, vooral sinds men bepaalde gegevens over den afstand der vaste sterren heeft verkregen, laten niet meer toe zulks als eene hypothese te beschouwen.

Wij willen de voornaamste uitkomsten, waartoe de wetenschap geraakt is over den afstand van sommige vaste sterren, nagaan; later zullen wij in het derde deel van dit werk de verschillende wijzen verklaren, welke de sterrenkundigen gebruiken om den afstand der sterren te meten.

Zoolang wij ons bezig hielden met ons planetenstelsel, gebruikten wij de afmetingen van onze Aarde, en wel de halve middellijn of straal tot eenheid of astronomischen meter. Zoo bepaalden wij den afstand van onze Aarde tot de Zon door 24.300 aardstralen of 20.000000 geogr. mijlen. Diezelfde maat pasten wij toe op den afstand van alle andere planeten. Maar als wij buiten ons zonnestelsel treden, is die maat niet langer toe te passen op den afstand der vaste sterren, want in vergelijking met zulk een wondervollen afstand, krimpt onze aardstraal van 859 geogr. mijlen tot een enkel punt ineen, zoodat wij naar een anderen astronomischen meter moeten nitzien. Daarvoor gebruikt men nu den straal der aardse loopbaan, met andere woorden den afstand van onze Aarde tot de Zon, hoewel die maat

van 20 millioen mijlen op zekere afstanden in de hemelruimte toch nog ontoepasselijk blijkt, daar zij ook als een mathematisch punt ineenkrimpt. De zoo volmaakte en nauwkeurige werktuigen tot meting van geringe verschillen, hebben het evenwel aan zeer bekwame sterrenkundigen mogelijk gemaakt den afstand van eenige vaste sterren bij benadering te bepalen, en dien afstand te meten door den straal van onze aardsehe loopbaan. ¹

Aan Bessel, den Koningsberger geleerde, komt de eer toe in 1840 het eerst den afstand eener vaste ster bepaald te hebben, en wel van eene onaanzienlijke, voor het bloote oog bijna onzichtbare ster uit het sterrenbeeld de Zwaan, welke aangeduid wordt door het cijfer 61. Hij bevond, dat de jaarlijksche parallaxe $\frac{1}{3}$ gedeelte van eene seconde bedroeg. Zulks wees op een afstand 400.000 maal verder dan onze Zon, en dus 8.000,000.000,000 geogr. mijlen.

Wiens verbeelding kan zulk een afstand omvatten; te vergeefs zouden wij cijfer op cijfer stapelen, zulk een afstand valt reeds buiten het bereik onzer verbeelding, door zekere beelden moeten wij haar ter hulpe komen; want hoewel de getallen den afstand wel uitdrukken, toch spreken zij niet genoegzaam tot ons.

Wij kennen de duizelingwekkende snelheid van het licht; in eene enkele seconde doorvliegt het eene ruimte van 298,000,000 meters of ongeveer 40,000 geogr. mijlen, dat is meer dan zevenmaal de omrek onzer Aarde. Welnu een lichtstraal van de door Bessel gemetene ster uitschietend heeft 9 volle jaren noodig om ons oog te treffen. Wanneer wij ons op Aarde de grootste afstanden voorstellen, honderd en duizend mijlen, dan kost het reeds moeite ons eene duidelijke voorstelling van zulk een weg te maken, en wij vragen hoe lang een voetganger noodig heeft om zulk een weg af te leggen. De afstand

¹ Hoewel wij later de wijze zullen verklaren, waarop zulk een afstand bepaald wordt, is het toch nuttig hier reeds in het kort op te merken, dat de afstand berekend wordt uit het vinden van de parallaxe. (Zie bladz. 20.) Daartoe gebruikt men de middellijn van de loopbaan onzer Aarde om de Zon. Men beschouwt eene ster op het oogenblik, dat onze Aarde twee aan elkander tegenover gestelde punten op hare baan heeft bereikt. De afstand tusschen de beide punten bedraagt dus ongeveer 40 millioen mijlen, en zoo men nu op de uiteinden van zulk een verbazend lange basis eenig verschilzicht of parallaxe der ster kan opmerken, dan berekent men daaruit den afstand. Op welke wijze men daarvoor de dubbelsterren gebruikt, wordt in het derde deel verklaard.

nu van 40,000 mijlen, welke in eene enkele seconde door het licht wordt afgelegd, is als een afgrond voor onze verbeelding. Herinneren wij ons nu eens, dat elke dag 86,400 zulke seconden heeft; na een enkelen dag zou dus de lichtstraal een afstand doervlogen hebben zesmaal verder dan de meestverwijderde der bekende planeten, en heeft dan toch nog niet het $\frac{1}{3000}$ gedeelte van zijn weg afgelegd; want om van ster 61 tot ons oog doortedringen, moet hij 3441 dagen gebruiken.

Bij onderscheidene sterrenkundigen ontmoet men verschillende opgaven van de parallaxe der vaste sterren. De reden daarvan is de buitengewone moeielijkheid om zulke geringe afstanden te meten; want met de grootste kijkers en de volkomenste werktuigen van den tegenwoordigen tijd, kan men deze niet met volstrekte nauwkeurigheid bepalen. Wanneer men bijv. een hoofdhaar, dat $\frac{1}{20}$ gedeelte eener streep dik is, op den afstand van een arm lengte van ons oog houdt, dan bedekt zulk een hoofdhaar toch nog ééne minuut aan den hemel. Welnu het 60ste gedeelte van die dikte is ééne seconde, en de parallaxe der vaste sterren bedraagt immer slechts onderdeelen van zulk eene seconde. Daaruit begrijpen wij de groote moeielijkheid om met nauwkeurigheid zulke geringe hoeken te meten, en omdat uit die parallaxe de afstand bepaald wordt, moet die bij verschillende sterrenkundigen ook verschillend worden opgegeven. Maar al kennen wij den afstand der vaste sterren niet met zekerheid, dit is toch zeker, dat zij zich niet dicht bij ons bevinden, want dan zou de parallaxe grooter moeten wezen.

Hier volgt de berekende afstand van sommige vaste sterren:

	Parallaxe.	Stralen der aardbaan.	Afstand in millioen mijlen.	Lichtjaren.
Alpha, in den Centaurus.	0".91	226400	4754000	3.62
61, in de Zwaan.	0 .35	420000	8375000	6.58
Alpha, in de Lier.	0 .26	785600	16498000	12.57
Sirius.	0 .15	1373000	28833000	21.97
Arcturus.	0 .13	1624000	34104000	25.98
Poolster.	0 .10	1946000	40866000	31.14
Capella.	0 .04	4484000	94164000	71.74

De dichtst bij ons zonnestelsel komende Zon is dus meer dan 4 biljoen geogr. mijlen van ons verwijderd, welken afstand men een *sterrenafstand* noemt; evenals men den afstand, welken het licht in

één jaar doorloopt, een *lichtjaar* noemt. Hierboven gaven wij, berekend uit de parallaxe, den vermoedelijken afstand van sommige sterren, die zich het dichtst bij ons zonnestelsel bevinden; maar wanneer wij, steunende op de hypothese, dat alle vaste sterren even groot zijn en even sterke lichtkracht bezitten, onze aandacht vestigen op de vermindering van licht, welke wij zelfs bij sterren van de eerste grootte waarnemen, en dan daaruit besluiten tot den afstand der sterren van mindere grootte, dan duizelt onze zwakke verbeelding.

Wanneer wij dan den middelbaren afstand van vaste sterren der eerste grootte op een millioen stralen der aardbaan stellen, dan heeft het licht, om uit de sterren der zesde grootte, welke wij nog met het ongewapend oog waarnemen, tot ons door te dringen, 120 jaar noodig, en dat van de sterren der tiende grootte, welke 37 millioen aardstralen van ons verwijderd zijn, gebruikt daartoe 586 zulke lichtjaren; ja, om uit de verst verwijderde sterren, welke Herschel met zijnen 20 voet langen reuzentelescoop nog kon waarnemen, tot onze Aarde te komen moet de lichtstraal eene reis afleggen van 3541 jaren.

Hieruit volgt dus, dat wij de vaste sterren niet zien in haar tegenwoordig bestaan, maar zooals zij bestonden voor 50 of 100 of meer jaren. Sterren dus, die ons thans nog lichtend schijnen, kunnen jaren en eeuwen reeds uitgedoofd zijn, en de nieuwe sterren, welke men soms waarneemt, straalden reeds voor eeuwen aan den hemel, want de eerste lichtstraal was nog niet tot ons doorgedrongen ¹.

Iedere poging om zich zulke afstanden eenigszins zinnelijk voor te stellen lijdt schipbreuk, en valt dikwijls in het belachelijke, en toch is hier slechts sprake van die vaste sterren, welke met betrekking tot millioenen anderen nog genoemd kunnen worden tot de dichtst bij ons zijnden te behooren.

Wanneer wij uit de dichtst nabij zijnde vaste ster, uit de Alpha van den Centaurus, eens de gansche baan beschouwen konden, welke onze Aarde in een jaar om de Zon maakt, en welke eene middellijn

¹ Bij dergelijke berekeningen gaat men uit van de hypothese, dat de snelheid van het licht, namelijk 40,000 mijlen iedere seconde, dezelfde is, ook buiten ons zonnestelsel; de waarneming van de verduisteringen der Jupiter-wachters, zooals wij later zullen zien, heeft ons geleerd, dat het licht zulk eene snelheid bezit; maar wie verzekert ons, dat zulk eene snelheid geen ware slakkengang is, vergeleken met de snelheid, welke de lichtstraal bezit buiten ons zonnestelsel; die afstand gemeten door den tijd, welken het licht noodig heeft, is dus eene zuivere hypothese.

heeft van ongeveer 40 millioen mijlen, dan zou die gansche baan in hare uitgestrektheid ons zoo klein toeschijnen, dat zij achter een draad van nog geene streep dikte op een meter afstand van ons oog gemakkelijk verborgen kon worden; met andere woorden de lengte van die 40 millioen mijlen zou tot een enkel punt voor ons inkrimpen.

Wanneer onze Zon eens geplaatst was op den afstand van de dichtst nabij ons zijnde vaste ster, dan zou volgens de regelen der optica haar licht voor ons zijn afgenomen tot op die kracht, waarmede sterren van de eerste grootte schitteren. Daaruit begrijpt men reeds zonder de op bladz. 305 vermelde bewijzen, dat het onmogelijk is, dat de sterren haar licht van onze Zon verkrijgen. Iedere vaste ster is dus eene Zon, die met eigen licht bedeed is, het middelpunt van wellicht een gansch stelsel planeten met hare wachters en kometen evenals onze Zon.

Wanneer de afstand der vaste sterren zoo buitenmate groot is, hoe groot moet dan het lichaam niet wezen, dat op zulk een afstand nog zichtbaar is. De werkelijke grootte echter van die zonnen buiten ons stelsel blijft eene gissing, en eene bepaalde berekening kan er niet over gemaakt worden, want de schijnbare middellijn der helderste sterren blijft steeds, zelfs in de grootste telescopen, zoo klein, dat eene meting onmogelijk is. Een spinrag, in het brandpunt van een kijker geplaatst, bedekt en verbergt de gansche schijf van de vaste ster, en om de ware grootte van een hemellichaam te berekenen, moet men behalve de parallaxe ook de schijnbare middellijn kennen¹, en zulks is tot nog toe met de nauwkeurigste en fijnste werktuigen en den grootsten kijker eene onmogelijkheid.

Toch kunnen wij met groote waarschijnlijkheid aannemen, dat zoo er al onder de vaste sterren velen zijn, die met onze Zon in grootte niet verschillen, er toch ook zullen zijn, welke haar in grootte verre overtreffen. Zooals onze Zon de haar omringende planeten en wachters overtreft, zal er zeker in die stelsels, waar zonnen om zonnen wentelen, ook eene wassende maat van grootheden bestaan.

Struve geeft ons in zijn geschrift over het meten der dubbelsterren daarvan een voorbeeld. Hij nam met groote nauwkeurigheid de dub-

¹ De parallaxe van eene vaste ster staat tot de schijnbare middellijn in dezelfde verhouding als de straal der aardbaan staat tot de ware middellijn van de ster.

belster waar uit den Grooten Beer, Zèta genaamd, waarover wij bladz. 313 reeds spraken. Die beide zonnen zijn door onderlinge aantrekkingskracht tot één stelsel vereenigd. Hare massa's overtreffen die van onze Zon 117 en 42 maal. Wanneer wij nu in die beide lichamen dezelfde dichtheid aannemen, als in onze Zon, dan zijn hunne middellijnen 5 en $3\frac{1}{2}$ maal grooter dan die dezer laatste, en daaruit den inhoud van een kogel berekend (onder welken vorm wij ons die hemellichamen moeten denken) komt men tot het besluit, dat die beide vaste sterren 125 en 43 maal grooter zijn dan onze Zon. Bij den afstand dezer beide sterren van onze Aarde op $7\frac{1}{2}$ millioen zonneafstanden, ieder van 23 millioen mijlen, schat men dan de schijnbare middellijn op $\frac{1}{400}$ en $\frac{1}{565}$ gedeelte eener seconde. Dat zulk een gering gedeelte eener seconde niet gemeten kan worden is duidelijk, hoe fijn ook de metingswerktuigen zijn, hierin toch blijven zij in gebreke. Hoeveel wij ook bij dergelijke opgaven op gissingen moeten steunen, is het toch eene soort van maatstaf, waardoor wij eenig begrip verkrijgen van die matelooze ruimte buiten ons.

Wanneer de naast bij ons geplaatste vaste ster, welke eene parallaxe heeft van ongeveer éene seconde, eene schijnbare middellijn bezat van ook éene seconde, dan zou zulks wijzen op eene ware middellijn van ongeveer 40 millioen geogr. mijlen lengte, namelijk gelijk aan de gansche middellijn van de aardbaan.

De geleerde Olbers heeft uit photometrische berekeningen opgemaakt, dat de lichtglans van onze Zon 97000 millioen maal sterker is dan die eener vaste ster, en omdat de lichtkracht afneemt volgens het kwadraat van den afstand, zoo moest onze Zon 310000 maal verder van ons verwijderd wezen, dan zij thans is, om in lichtglans eene vaste ster van de eerste grootte te evenaren. De Zon zou dus 310000×20 millioen, dat is 6 biljoen mijlen van ons moeten verwijderd staan.

Wanneer wij nu zien, dat de heldere ster Sirius ongeveer 50 biljoen mijlen van ons verwijderd is, dus nog acht-maal verder, en dat zij daar straalt met dezelfde lichtkracht, welke onze Zon zou hebben op den afstand van 6 biljoen mijlen, hoe reusachtig groot moet dan dat hemellichaam niet wezen.

Ziedaar slechts eene enkele schets van het voor ons zichtbare heelal, waarop wij later zullen terugkomen, wanneer wij volgens de nieuwste ontdekkingen der sterrenkunde niet alleen de enkele sterren,

maar hare groepeerings en stelsels nader zullen beschouwen, en toch dat alles is zeker maar een zeer klein gedeelte van het groot geheel, dat voor geen menschelijk oog te bereiken is. 't Is slechts de voorhof van den onmeetbaren tempel, welken de Almachtige voor zich heeft gebouwd, en waarin geen sterveling, hoe ook toegerust met de volmaaktste kunstmiddelen een blik kan slaan, want wie kent de eindpalen der schepping?

§ 2. De sterren zijn niet onbeweeglijk. — Meting en waarneming van die beweging; snelheid. — Beweging van ons Zonnestelsel. — Richting van die beweging in de ruimte. — Centraalzon.

Behalve de dagelijksche beweging der vaste sterren, waardoor zij op- en ondergaan, en welke slechts schijnbaar is, omdat zij voortkomt uit de wenteling, welke wij met onze Aarde maken, hebben zij toch ook eene ware en eigene beweging, waardoor zij voortrukken langs de haar bestemde baan. Langen tijd meende men, dat de vaste sterren onveranderd den stand behielden, waarin zij zich aan ons oog vertoonden, en onbeweeglijk waren even als de Zon, daarom gaf men haar den naam van vaste sterren, in tegenstelling met de sterren van ons zonnestelsel, welke men planeten of dwaalsterren noemde, omdat de verplaatsing van deze laatsten duidelijk was waar te nemen. De nieuwere sterrenkundige waarnemingen met de zoo volmaakte meetwerktuigen hebben het thans echter zeker gemaakt, dat noch de Zon, noch de vaste sterren onbeweeglijk zijn, maar dat zij zich in de ruimte bewegen, zoodat geen enkel hemellichaam in rust is, maar de beweging de groote en eenvoudige wet is, eigen aan alle deelen van het groot heelal.

De beweging hebben wij bij de beschouwing van ons zonnestelsel in al zijne deelen reeds waargenomen. De planeten met hare wachters zagen wij op eene tweevoudige wijze bewegen, rondom hare as en rondom het brandpunt harer baan; de Zon, de kometen zagen wij evenzoo in duizelende vaart, zelfs buiten de greuzen van onze planetenwereld, voortgeslingerd; bij de Zon namen wij reeds waar, dat zij in ongeveer 25 dagen om zich zelve wentelde. Welnu die Zon beweegt zich ook op hare baan in de ruimte, terwijl zij als eene vorstin haren stoet van planeten en kometen met zich mede voert. Onze Zon is dus het onderdeel van een stelsel, dat ons nog onbekend is, en mis-

schien heeft zij millioenen eeuwen noodig om hare baan rond te loopen.

Evenzoo is het met de zonnen buiten ons stelsel; van velen is reeds met zekerheid die beweging waargenomen, en heeft men de snelheid en richting van hare verplaatsing bepaald.

Eene gemeenzame vergelijking zal ons doen begrijpen, hoe het mogelijk is, zich van zulke feiten te verzekeren. Verbeelden wij ons eens op eene uitgestrekte vlakke te wezen, die overal in verschillende richtingen doorkruist wordt door wandelaars, rijtuigen, spoor-treinen, enz. dan bemerken wij aanstonds, dat, hoe dichter de zich bewegende voorwerpen bij ons zijn, des te sneller hunne beweging schijnt. De beweging van een langzamen wandelaar in onze nabijheid schijnt dan veel sneller dan de beweging van den spoor-trein, welken wij aan den horizon waarnemen; zoodat het ons zal toeschijnen, dat de zich bewegende voorwerpen, die zich aan den gezichteinder verliezen, voor ons oog bijna onbeweeglijk zijn. Nemen wij echter een goeden kijker ter hand, dan verkrijgen zij op nieuw de snelheid, welke de afstand hun had doen verliezen.

Evenzoo gebeurt het met de vaste sterren, die ons overal omringen. Haar afstand is, zooals wij hierboven zagen, zoo verbazend groot, dat hare verplaatsing ons niet in het oog valt, en zij onbeweeglijk schijnen. De krachtige kijkers en nieuwere werktuigen vooral, waarmede men zelfs onderdeelen van seconden nauwkeurig meet, hebben het echter mogelijk gemaakt, waar te nemen, dat vele sterren zich met ongelijke snelheden en in verschillende richtingen verplaatsen. Zulk eene verplaatsing is voor ons oog zeer gering, want men kent tot nu toe geene enkele vaste ster, wier verplaatsing aan den hemel jaarlijks meer dan 10 seconden bedraagt, alleen na eeuwen kan zulk eene plaatsverandering duidelijk worden waargenomen.

Aan Halley komt de eer toe het eerst die veranderingen te hebben waargenomen, want door de vergelijking van den sterrenstand met de oudere opgaven van Ptolomeüs, kwam hij tot de overtuiging, dat de heldere sterren Sirius, Arcturus en Aldebaran haren stand aan den hemel veranderd hadden.

Hier volgt eene opgave van eenige sterren, welke de grootst bekende eigene beweging bezitten:

	Jaarl. eigene beweging.
2151 Schip	7",87.
ε Indiaan	7 ,74.

	Jaarl. eigene beweging.
1830 Groombridge ¹	7 ^o ,01.
61 Zwaan	5,22.
0 ² Eridanus	4,09.
μ Cassiopeia	3,83.
α Centaurus	3,67.
α Boötes	2,26.
Sirius	1,24.
Capella	0,46.
Vega	0,33.
Poolster	0,04.

Iedereen begrijpt, dat hier slechts sprake is van eene schijnbare beweging, welke door hoeken gemeten wordt; om de ware beweging of de snelheid, waarmede die lichamen op hunne baan voortwentelen te kennen, moet de afstand bekend wezen, en daaruit heeft men de berekening gemaakt, dat bijv. de ster 1830 van Groombridge eene snelheid bezit van ongeveer 20 mijlen in de seconde. Zulk eene berekening rust echter op de vooronderstelling, dat men de hoekbeweging van het hemellichaam met juistheid heeft gemeten. De waargenomene beweging kan echter een zeer groot verschil opleveren, naarmate de richting van de baan is, waarop zich het hemellichaam beweegt. Immers, om bij de vergelijking van de hierboven vooronderstelde vlakke te blijven, zullen de personen, die in de verte ons in eene dwarsche richting voorbijwandelen, grootere hoekbeweging maken dan de voortsnellende spoor trein op denzelfden afstand, die zich in eene van ons afgewende richting verwijdert. Het kan dus zijn, dat wij op de baan van de vaste ster in eene schuine richting zien, en dat de hoekbeweging veel grooter zou wezen, wanneer die baan te onzen opzichte dwars liep, en daarom kan de ware snelheid veel grooter zijn, hoewel de nu reeds berekende, die van onze planetenwereld verre overtreft; want hoewel onze Aarde zich met zulk eene wondervolle snelheid op hare baan om de Zon beweegt, is toch hare beweging vijfmaal langzamer dan die, welke ster 1830 uit de Jachthonden bezit.

¹ Groombridge, een Engelsch sterrenkundige in 1832 gest., heeft eene catalogus van circumpolair-sterren uitgegeven, welke hij door getallen aanduidt. De hier genoemde ster bevindt zich in het sterrenbeeld de Jachthonden.

Daar de vaste sterren zich dus ook bewegen, en wel in verschillende richtingen, zoo volgt daar noodzakelijk uit, dat zij haren onderlingen stand langzamerhand veranderen, en dat de sterrenbeelden voor onze Aarde na eeuwen den vorm niet meer zullen hebben, waarin zij zich thans aan ons oog vertoonen. Zoo zal bijv. de eigenaardige vorm van het prachtige Zuider-Kruis niet bewaard blijven, omdat zijne sterren zich in verschillende richting en met ongelijke snelheid van elkander verwijderen; hoevele milliarden eeuwen echter er nog verloop moeten tot aan eene geheele oplossing van het kruisfiguur is niet te berekenen.

De waarneming, dat de vaste sterren zich langs bepaalde banen in de hemelruimte verplaatsen, moest noodwendig tot de gedachte brengen, dat onze Zon, die in alles geheel overeenkomt met de vaste sterren, ook in die algemeene wet der natuur moet deelen, en met hare planeten dus evenzoo op hare baan om een brandpunt moet loopen.

Lalande was de eerste, die in 1776 het denkbeeld van eene verplaatsing onzer Zon ter sprake bracht. Hij ging uit van het beginsel, dat omwenteling zonder omloop onbestaanbaar is. Maar omdat het noodzakelijk is, dat de Aarde met al de planeten en kometen, welke van de Zon afhangen, in die beweging deelt, zoo bemerkten wij die verplaatsing niet dan alleen na tal van eeuwen, waarop men dichter bij eenige vaste sterren zal gekomen zijn, en zich verder van anderen zal verwijderd hebben; dan eerst zal men kunnen waarnemen in welke richting ons zonnestelsel zich door de hemelruimte voortbeweegt.

Fontenelle, Bradley, Mayer en Lambert hadden vroeger reeds de verplaatsing der Zon als eene zeer waarschijnlijke hypothese aangenomen, zonder haar echter zoo bepaald te formuleeren als Lalande deed. „Iedere vaste ster”, zoo schreef Lambert in de vorige eeuw in zijne cosmologische brieven, „heeft in de hemelruimte hare bepaalde „baan, welke zij doorloopt, omringd door hare planeten en kometen.” Wanneer men bewijzen kan, dat ieder lichaam dat eene rondwentele beweging heeft, ook noodwendig eene baanbeweging moet hebben, dan zou hieruit volgen, dat onze Zon ook zulk eene baanbeweging bezit, omdat wij waarnemen, dat zij om hare as wentelt. „Het „schijnt wel”, zoo schrijft hij, „dat het mechanisme der wereld het verband tusschen die beide bewegingen eischt, hoewel wij er niet duideljk de reden van inzien. Wat echter buiten twijfel is, is dat de „Zon zich verplaatst’..... En later over de eigene bewegingen der

vaste sterren sprekende, voegt hij er bij: „omdat de schijnbare verplaatsing der vaste sterren van de beweging der Zon zoowel als van hare eigene beweging afhangt, zullen wij daaruit kunnen besluiten in welke richting ons zonnestelsel zich beweegt. Maar hoeveel tijd zal er nog moeten voorbijgaan, voordat wij den omloop der Zon zullen kennen. Wellicht is een platonisch jaar ¹ (26000 jaar) nog te kort. Misschien heeft de Zon zulk een jaar noodig om een enkel teeken van haren Zodiak te doorloopen.”

Aan den grooten W. Herschel was het voorbehouden datgene, wat slechts gissing en theorie was, tot een vasten grond van waarneming te maken, en hoe stout ook de hypothese was over de verplaatsing der Zon, stouter was de arbeid om zulk eene hypothese wetenschappelijk te bewijzen; want om tot eene zekere uitkomst te geraken was het noodig al de oorzaken, die invloed kunnen hebben op de schijnbare verplaatsing der sterren, zooals de vooruitgang der evennachten, de mutatie van de as der Aarde, de jaarlijksche omloop onzer Aarde om de Zon, de aberratie van het licht deugdelijk te onderscheiden, en eerst dan, wanneer de invloed van deze oorzaken berekend en gekend is, kan men tot de ware beweging besluiten.

Om de wijze duidelijk te maken, waardoor men én de beweging van onze Zon én hare richting bepaald heeft, gebruiken wij een voorbeeld uit het dagelijksch leven. Men verbeelde zich op eene uitgestrekte vlakte te wezen, welke men van het zuiden naar het noorden doorwandelt. Vóór en achter ons, rechts en links wordt de vlakte door eene groote menigte menschen in verschillende richtingen doorkruist. Wanneer wij een tijd lang op die vlakte stilstaan, dan nemen wij rondom ons bewegingen waar in allerlei richtingen, maar wandelen wij naar het noorden, dan zullen ons meer menschen tegenkomen dan met ons gaan, omdat wij voortdurend eenige menschen inhalen. Achter ons, in het zuiden, zal het schijnen, alsof de menschen talrijker en nauwer opeengedrongen zijn, terwijl daaren-

¹ Platonisch jaar noemt men de tijdruimte, waarin de polen van den aequator hun omloop om de polen van de ecliptica volbrengen; met andere woorden, de tijd, welken de snijpunten van den aequator en der ecliptica noodig hebben om een ganschen omloop te volbrengen, daar zij zich ieder jaar ongeveer 50" verplaatsen, of nauwkeuriger 50",2113; zulk een omloop noemt men platonisch jaar, en duurt 25811,14 jaren. De oorzaak dier verplaatsing zullen wij in het derde deel verklaren, wanneer wij spreken over de praecessie der evennachten.

tegen in het noorden, waarheen wij wandelen, de menschen minder talrijk schijnen en meer van elkander verwijderd zijn.

Juist zoo is het met onze Zon. Te midden van het ontelbaar heir van vaste sterren is zij een wandelaar gelijk, die omringd door millioenen sterren haren weg vervolgt; wanneer men nu het punt aan den hemel kon waarnemen, waar de sterren zich meer en meer van elkander verwijderen, en het punt in tegenovergestelde richting, waar de sterren elkander meer en meer schijnen te naderen, dan kan men de richting bepalen, waarheen ons zonnestelsel zich beweegt, hoe eenvoudig dit vraagstuk ook theoretisch is, zoo samengesteld is de nauwkeurige en rechtstreeksche waarneming. Herschel, en gelijktijdig met hem Prevost, bepaalde het punt aan den hemel, waarheen de richting is van ons zonnestelsel, en wel dicht bij de ster λ in het sterrenbeeld Hercules. De bepaling echter van die richting vond toenmaals onder de geleerden geen algemeenen bijval, want als onze Zon zulk eene verplaatsing ondergaat en evenzeer de andere vaste sterren zich bewegen, welk middel is er dan, om de schijnbare van de ware verplaatsingen te onderscheiden.

Dit gaf aanleiding dat Argelander vijftig jaar later het vraagstuk aan eene nieuwe bewerking onderwierp; in de vooronderstelling, dat ons zonnestelsel zich bewoog, moesten de sterren, waarheen de richting was, uit elkander treden, de sterren, vanwaar de richting kwam, zich nader bij elkander voegen, en de sterren, welke zich in een rechten hoek met die vooronderstelde richting bevonden, moesten de grootste plaatsveranderingen aanduiden. En werkelijk vond hij door de waarneming van 390 sterren dat drievoudig gevolg en bepaalde het punt, waarheen de richting van ons zonnestelsel was, evenals Herschel in het sterrenbeeld Hercules en wel

259° 35'.1 rechte opklimming. 34° 33'.6 afwijking,
dat is tusschen de Kroon en de Lier, en wel tusschen de beide sterren π en μ van Hercules.

Struve heeft getracht de snelheid dier beweging te bepalen, en stelt de hoekbeweging, welke onze Zon gedurende een jaar maakt, wanneer die op den middelbaren afstand der vaste sterren zou waargenomen worden, op 0'',34, welk getal gelijk staat met 1.623, wanneer wij den straal der aardsehe loopbaan tot eenheid nemen. 's Jaarlijks dus snelt, volgens Struve, ons zonnestelsel 1.623 maal de straal der aardbaan of 20.000000 geogr. mijlen, dat is 32.460000 mijlen, op hare

baan voort, dus ongeveer 90.000 mijlen daags of 1,2 milj iedere seconde.

De waarneming heeft hier alzoo weder de theorie bevestigd, en de verplaatsing van ons zonnestelsel in de hemelruimte is bewezen.

Wanneer ons zonnestelsel zich op zijne baan voortbeweegt, blijft de vraag over naar den aard van die beweging, of de Zon zich ook om een middelpunt beweegt, zooals wij in ons stelsel bij de planeten waarnemen, of zij op zich zelve een sterrenstelsel uitmaakt en een gedeelte is van het groote Melkwegstelsel, dan wel of onze Zon de wachter is van eene andere grootere Zon. In de vooronderstelling, dat ons zonnestelsel eene rondlopende beweging bezit, kan zulks eerst na eeuwen worden waargenomen, wanneer men eene verandering in de richting der beweging opmerkt, dan eerst kan men uit de kromme baan door middel der voerstralen, het brandpunt van die baan kennen. Thans kan men echter veilig aannemen, dat het onbekende middelpunt dier baan zich in eene rechthoekige richting met de loopbaan van ons zonnestelsel moet bevinden. Mädler waagde het in 1846 zulk een centraalzoon als middelpunt van het gansche sterrenstelsel te bepalen in ALCYON, de helderste van de Pleiaden, en deze zelve nam hij aan als de massa, waardoor de beweging van ons zonnestelsel veroorzaakt wordt. Vroeger had men die centraalzoon in Sirius en ook in het sterrenbeeld Perseus gezocht, en men meende dan, dat zij onzichtbaar was en geen eigen licht bezat.

Mädlers waarnemingen wezen op Aleyon in de Pleiaden, omdat de sterren, die in rechte lijn met Aleyon achterwaarts stonden, eene onmerkbaar, maar de meest verwijderde sterren, de grootste eigene beweging vertoonden.

Thans echter gelooft men, dat er geene centraalzoon bestaat, maar men neemt wel in de nabijheid van Aleyon een punt aan, dat men beschouwt als het middelpunt, om hetwelk de beweging der sterren van den Melkweg geschiedt, waartoe zooals wij later zullen zien, ook onze Zon behoort.

De tegenwerping, hoe dan zulk een punt zonder eenige massa invloed kan hebben op de bewegingen, die rondom dat punt geschieden, zoekt men op te lossen door te zeggen: alle hemellichamen oefenen wederkeerig op elkander eene aantrekking uit, en uit al die aantrekkingen ontstaat als produkt eene zwaartekracht, welke als centraal-attractie op de hemellichamen werkt en hen in hunne banen houdt.

Het middelpunt nu van die centraalkracht kan in het zoogenaamde ledige vallen, dat is, behoeft niet aan eene massa te zijn vastgehecht.

Dat zulk eene bepaling van het middelpunt van het heelal eene zuivere hypothese blijft, is duidelijk genoeg; de vermelding echter alleen van zulke gissingen geeft ons nieuwe inzichten in de samenstelling van het heelal: geen lichaam in het wijduitgestrekt heelal is onbeweeglijk. De Maan wentelt om onze Aarde, terwijl zij tegelijk met de Aarde en met alle andere planeten haren jaarlijkschen tocht om de Zon volbrengt; die Zon loopt tezelfder tijd met al hare planeten langs hare baan rondom een nog voor ons onbekend middelpunt, dat ook niet onbeweeglijk is, maar eveneens op zijne baan voortsnelst om een punt van hoogere orde. Wie weet waar die incengripping van banen en wereldstelsels ophoudt! De gansche melkweg met zijne millioenen zonnestelsels, wat is hij anders dan een archipel in een oceaan, maar een archipel, die in de diepten van het hemelruim voortrukt, zooals al de melkwegen, welke de telescoop in de diepte des hemels heeft ontdekt. Wie duizelt niet, wanneer hij met zijne gedachten in die peillooze kolken zoekt doortedringen, en in ons zelve teruggekeerd, begrijpen wij dan het schoone woord van den gewijden dichter: „De hemelen verhalen de glorie van God, en het uitspansel verkondigt het werk zijner handen.”

IV.

DUBBEL- EN VEELVOUDIGE STERREN.

§ 1. Onderscheid tusschen optische en physische dubbelsterren. — Wenteling der dubbelsterren. — Optelling der voornaamste berekende dubbelsterren. — Eenheid der natuurwetten. — Wachter van Sirius. — Stelsels van veelvuldige Zonnen.

DUBBELSTERREN noemt men een sterrenpaar, dat schijnbaar zoo dicht bij elkander staat, dat het ons met het bloote oog en met zeer zwakke kijkers als ééne ster toeschijnt, zoodat men een krachtigen kijker noodig heeft om de beide naast elkander zich bevindende sterren te onderscheiden. Gewoonlijk telt men onder de dubbelsterren ieder paar, dat minder dan 32" van elkander afstaat, en bevinden zich

binnen dien afstand nog andere sterren, dan noemt men zulk eene vereeniging eene drie-, vier- of meervoudige ster.

Wanneer men nu zulke in elkanders nabijheid geplaatste sterren waarneemt, kan zich een tweevoudig geval voordoen, 1^o de oorzaak hunner nabijheid kan liggen in de perspectief. Zij kunnen immers op verbazend verre afstanden achter elkander liggen, en toch den schijn voor ons hebben, alsof zij zich zeer dicht naast elkander bevinden, en 2^o. zij kunnen zich in werkelijkheid zoodanig bij elkander bevinden, dat zij zich even ver van onze Aarde bevinden en met elkander een stelsel uitmaken; daarom maakt men bij de dubbelsterren onderscheid tussehen *optische*, zooals de eerste soort, wier korte afstand slechts schijnbaar is, en *phijssische* zooals de tweede soort, die zich werkelijk zoo dicht bij elkander bevinden.

De kennis der dubbelsterren begon eerst met de uitvinding der verrekijkers, en Gallileï noemde ze reeds geschikt om de parallaxe der vaste sterren te kennen; hij ging van het denkbeeld uit dat hare nabijheid slechts schijn was, en dat zij zich in werkelijkheid op verren afstand de een achter de andere bevonden. Negentig jaar later spraken Lambert en Michell het vermoeden reeds uit, dat de dubbelsterren eigene stelsels vormden, en in 1778 sprak de Manheimer sterrenkundige, Christiaan Mayer, reeds van de wachters der vaste sterren; omdat hij echter dubbelsterren noemde dezulken, die 2 ja 3 graden van elkander stonden, verwekte zijne bewering slechts twijfel en spot.

Aan William Herschel bleef het voorbehouden de rijke wereld der dubbele en meervoudige sterren voor de verbaasde oogen der menschen te ontsluiten, en door de waargenomene bewegingen leverde hij het bewijs, dat vele dubbelsterren physisch tot één stelsel verbonden waren. In 1782 gaf hij eene lijst uit van 846 dubbelsterren, wier onderlinge afstand minder dan 30" bedroeg.

Het aantal tot nu toe bekende dubbelsterren bedraagt ongeveer 6000, van welke de meesten deels om hare om elkander loopende beweging, deels om haar gemeenschappelijk voortgaan in de hemelruimte, zich als physisch met elkander verbonden, hebben bewezen.

Gelijk wij in ons zonnestelsel de planeten door de zwaartekracht aan de Zon gebonden zien, zoodat zij om dat gemeenschappelijk middelpunt rondwentelen, zoo zien wij in de diepte des hemels, hoe daar zonnen om zonnen wentelen, onderworpen aan de zelfde Newtonsche wet der zwaartekracht, en dat zulk een stelsel niet willekeurig is,

wordt duidelijk bewezen door de waarneming van den omloop om elkander; zoo bijv. hebben de wachter van Castor, die van Eta uit Casiopeia, die van Xi uit den Grooten Beer sinds hunne ontdekking in 1780 reeds een ganschen omloop gemaakt.

Niet alleen zien wij twee zonnen tot één stelsel verbonden, maar het hemelruim toont ons stelsels van drie, vier en meer zonnen. In het prachtige sterrenbeeld Orion, dat door bijna iedereen gekend wordt, ziet het ongewapend oog de merkwaardige nevelvlek, welke wij later zullen beschrijven; in het midden van die vlek merkt men eene ster op, die zich voor het ongewapend oog als een enkelvoudig punt voordoeft, maar met behulp van een krachtigen kijker ontbindt zich dat punt in vier sterren; en gebruikt men eene nog sterkere vergrooting, dan ziet men dat twee der in een vierhoek (trapezium) geplaatste sterren door twee kleinere vergezeld worden, terwijl Lassell nog eene zevende ontdekte, zoodat de Thêta van Orion eigenlijk eene zevenvoudige ster is, welk zevental tot één stelsel is verbonden, want de kleinere sterren deelen in de eigene beweging van de voornaamste en grootste ster. Zal men nu na jaren hebben opgemerkt, dat de verschillende deelen van dit stelsel zich op hunne banen hebben verplaatst, dan is de wetenschap verrijkt met een feit, dat de aandacht der meetkundigen overwaardig is, namelijk de wederkeerige en gelijktijdige bewegingen van zeven zonnen.

Welk eene wondervolle verscheidenheid biedt de sterrenwereld ons aan! Onze zonnewereld toonde ons reeds het grootsche schouwspel eener centraalster, welke door meer dan honderd duistere lichamen en door duizende kometen omringd was, die rondom dat brandpunt van warmte, licht en leven hunne wenteling en hunnen omloop volbrachten, en in de onpeilbare diepte des hemels buiten ons zonnestelsel zien wij op duizelingwekkende afstanden millioenen sterren, die ook zoo vele zonnen zijn, wellicht ook omringd door haren stoet van planeten, en onder die myriaden van wereldstelsels zijn er, welke ons de wondervolste samenstelling vertoonen van twee, drie, vier of meer zonnen, welke zich om elkander bewegen op dezelfde wijze als de planeten om de Zon.

En toch heerlijke eenheid! dezelfde wetten heerschen daar, zoowel als in ons planetenstelsel. De algemeene zwaartekracht is het eenige geldige beginsel, dat in het wijduitgestrekt heelal heerscht; uit den aard en de wijze, waarop zich de hemellichamen bewegen, kan men

besluiten tot de kracht, waardoor zij binnen hunne banen worden gehouden; deze berekening is op zekere dubbelsterren toegepast, en men heeft bevonden, dat de kracht, waaraan zij op hare baanbeweging gehoorzamen, eene aantrekkende is, welke volgens het kwadraat van den afstand in kracht afneemt.

Wanneer de dubbelsterren, zooals wij hierboven reeds aanmerkten, eene gemeenschappelijke beweging vertoonen, dan is het zeer waarschijnlijk, dat men eene physische samenstelling waarneemt. Het tegendeel nu neemt men waar bij de optische dubbelsterren. Zij vertoonen in geen deele eene beweging, waardoor men besluiten kan dat zij om elkander wentelen, terwijl men integendeel bij de ééne eene beweging waarneemt, waarin de andere niet deelt. Zulke optische dubbelsterren zijn bijv. Vega, Athair, Pollux en Aldebaran. Dan is het duidelijk, dat zij geen stelsel vormen, maar zich op ongelijken afstand van ons zonnestelsel bevinden, en alleen de richting, waarin zij geplaatst zijn, doet hen schijnbaar tot elkander naderen.

En toch zijn zulke optische dubbelsterren van groot gewicht geweest voor de sterrenkunde. De physische dubbelsterren hebben 's menschen kennis over het samenstel der schepping verrijkt en de eenheid der wetten getoond, waardoor God het heelal regelt, maar de optische hebben ons het middel aan de hand gegeven om de afstanden te meten en de diepte der hemelen te peilen.

In de vorige hoofdstukken hebben wij de uitkomsten van die zoo fijne parallaxe-berekeningen reeds gegeven, later zullen wij de wijze nagaan en verklaren, waardoor men tot de oplossing van dat zoo gewichtig vraagstuk is gekomen. ¹

Thans zullen wij in eenige bijzonderheden treden over de voor naamste dubbelsterren, wier beweging men heeft nagespeurd, hoofdzakelijk over dezulken, welke met kijkers van middelmatige en geringe kracht ontbonden kunnen worden, en welke gemakkelijk met behulp der aan dit werk toegevoegde sterrenkaart gevonden kunnen worden.

¹ De dubbelsterren worden met voordeel aangewend om de optische kracht van een kijker te beproeven; hoe beter een kijker dicht bij elkander staande sterren gescheiden vertoont, des te grooter is zijne kracht. Voor gewone kijkers van 3 Rijnl. voeten brandpuntsafstand, richt men ze gewoonlijk op de Poolster. Ziet men die dubbel, dan is zulk een kijker bruikbaar; grootere instrumenten toetst men aan moeilijker dubbelsterren, bijv. aan Sirius.

α Cassiopeia. De hoofdster is van de 4^e grootte en geel, de geleider van de 7^e en purperrood; hun afstand bedraagt 7^o,7; beiden zijn physisch met elkander verbonden, daar hunne beweging ontwijfelbaar is waargenomen, hoewel nog niet voldoende tot bepaling hunner baan.

ψ Cassiopeia is eene drievoudige ster. Herschel zag alleen den heldersten begeleider op een afstand van 32". Struve nam de tweede kleinere waar op een afstand van 3" van de hoofdster.

γ Andromeda werd vroeger als dubbelster beschreven op een afstand van 10", de hoofdster is goudgeel en de kleine donkerblauw. Struve nam waar, dat zij eene drievoudige ster was; door een kijker van gering vermogen wordt zij gemakkelijk als dubbelster ontbonden.

δ Orion eene zevenvoudige ster, waarvan wij hierboven reeds spraken. Huyghens zag in 1656 drie der helderste sterren van het zoogenaamde trapezium, Cassini ontdekte de vierde. De oudere Herschel ontdekte in den vierhoek niet meer dan 4 sterren. In 1826 nam Struve de 5^e waar, en John Herschel en South zagen in 1832 de 6^e, terwijl de Vico nog drie anderen meent gezien te hebben, zoodat deze ster wellicht eene negen- of meervoudige is. Een goede zakkijker toont ons reeds het trapezium, in kleur wisselen zij af in geel, blauw en wit, de afstand van de verst verwijderden bedraagt ongeveer 16".

α Tweelingen, Castor genaamd, de hoofdster is van de derde grootte en haar geleider van de vierde, beiden zijn groenachtig. In het jaar 1779 bedroeg volgens Herschel de afstand $5\frac{3}{10}$ seconde. Struve vond die in 1819 $5\frac{1}{2}$ en John Herschel in 1823 $5\frac{4}{10}$ seconde. De schijnbare baan is cirkelvormig, maar de waarnemingen van den standhoek ¹ bewijzen, dat de ware baan elliptisch is.

ζ Kreeft, eene drievoudige ster, door een kijker van minder vermogen reeds waartenemen; de hoofdster is van de 5^e, de beide anderen van de 6^e grootte, allen geel en in grootsten afstand 5". Beide geleisterren toonen eene merkbare beweging, de omloop

¹ Stand- of positiehoek is de hoek, welken de geleister met de hoofdster maakt; gewoonlijk telt men van het punt, dat de ster inneemt, wanneer zij zich juist in het noorden van de hoofdster bevindt; wanneer zij zich juist ten zuiden bevindt, is haar standhoek 180 graden en juist ten noorden, 0 graden. Wanneer er dus van eene dubbelster gezegd wordt, dat zij 200 graden standhoek heeft, beteekent zulks dat zij nog 160 graden verwijderd is van het punt juist ten noorden van hare hoofdster.

van de dichtstbijzijnde ster is berekend op bijna 60 jaar; de omloop echter van de meer verwijderde, welke volgens de waarnemingen sinds Herschel cirkelvormig is, moet weinig minder dan 1000 jaar bedragen.

ω Leeuw, beide sterren zijn rood. Sinds Herschel is de afstand voortdurend afgenomen, zoodat in 1842 de groote kijker van Dorpat ze niet meer gescheiden vertoonde; volgens de tegenwoordige waarnemingen schijnt de omloop ongeveer 133 jaar te bedragen.

β Leeuw, eene schoone dubbelster. De hoofdster is van de 2^e grootte en glanzend goudgeel, de geleider is van de 3^e grootte en roodachtig groen, met een zwakken kijker reeds waartenemen. De verandering in den positiehoek toont duidelijk aan, dat deze beide sterren physisch met elkander zijn verbonden.

ξ Grootte Beer, eene dubbelster van de 4^e en de 5^e grootte, beiden zijn wit. Toen Herschel op het einde van 1781 deze sterren waarnam, vond hij den begeleider op 4" afstand; in 1803 was de standhoek $48^{\circ} \frac{3}{4}$ veranderd, en daaruit leidde hij eene kringvormige beweging van de kleine ster om de groote af. In het begin van Februari 1817 had de kleine volgens berekening haar perihelium bereikt.

z Kroon. De hoofdster is van de 5^e grootte en de begeleider van de 6^e, beiden zijn geel. Sinds het tijdstip, waarop Herschel ze waarnam, heeft de geleider reeds $1 \frac{1}{2}$ maal den omloop volbracht, waardoor de bepaling van de baan betrekkelijk zeker wordt. De omlooptijd is dus korter dan die van de planeet Uranus in ons stelsel; omdat de afstand nog geene seconde bedraagt, is er een krachtige kijker noodig ze beiden te zien.

γ Kroon. De hoofdster is van de 4^e grootte en bleek groen, de geleider van de 7^e en purperrood. In 1826 nam Struve haar het eerst waar; de kleine ster bewoog zich toen schijnbaar in eene rechte lijn naar de hoofdster, zoodat zij in 1832 elkander aanraakten, en in 1835 de centraal bedekking plaats vond; in 1842 was de kleine ster weder aan de andere zijde van de hoofdster zichtbaar; de afstand bedraagt slechts een klein gedeelte eener seconde, zoodat alleen een zeer krachtige kijker in staat is deze dubbelster te ontbinden.

ξ Weegschaal, een stelsel van drie zonnen. De beide grootste sterren zijn geel en van de 5^e grootte, de meest verwijderde is blauwachtig en van de 7^e grootte. Sinds Herschels tijd hebben de beide helderste sterren meer dan een halven omloop volbracht; de beweging

van de kleinste is in tegenovergestelde richting van die der andere en hare hoekbeweging is zeer gering.

α Hercules, eene zeer gemakkelijk te onderscheiden dubbelster van de 5^e en 6^e grootte, beiden geel. Ofschoon deze ster in 1703 reeds door Flamsteed werd waargenomen, heeft men nog geene bepalingen kunnen maken over hare baan, de afstand bedraagt 30".

σ Kroon, eene dubbelster van de 5^e en 6^e grootte, waarvan de eerste geel en de tweede blauwachtig is; volgens eene opgave van Prof. Kaiser is deze ster drievoudig, terwijl de derde ster een afstand heeft van 44"; eene baanberekening is niet geschied.

ζ Hercules, eene dubbelster, waarvan de hoofdster geel is en de geleister rood, van de 3^e en 6^e grootte. In 1782 werd zij door Herschel waargenomen, maar in 1802 was de afstand zoozeer afgenomen, dat hij beide sterren niet meer onderscheiden kon. Eerst in het jaar 1826 gelukte het met den grooten refractor van Dorpat de geleister te onderscheiden, maar in het volgende jaar verdween zij weder; eerst in 1832 gelukte het opnieuw aan Struve bij eene aanwending van 800 malige vergrooing haar op nieuw te zien; de schijnbare afstand bedroeg toen $\frac{4}{5}$ seconde.

ε Lier, een dubbelle dubbelster, bestaande uit twee sterren ε en 5, zoo dicht bij elkander, dat zij door een ongewapend oog niet ontbonden kunnen worden, en zich als ééne ster vertoonen; hun afstand bedraagt $1\frac{1}{2}$ minuut, en een gewone zakkijker is voldoende om ze gescheiden te zien; gebruikt men echter een krachtigen kijker dan neemt men waar, dat iedere der twee sterren door eene geleister vergezeld is. Beide stelsels schijnen echter om hunne gelijke beweging physisch met elkander verbonden te zijn.

δ Zwaan. De hoofdster is groen en van de 3^e grootte, terwijl de geleister aschgrauw is en van de 7^e grootte. Herschel nam deze dubbelster waar in 1783, hoewel het eerst in 1826 aan Struve gelukte de geleister weder te zien.

61 Zwaan, eene gemakkelijk te onderscheiden dubbelster van de 5^e en 6^e grootte met een afstand van 16", beiden goudgeel. Hoewel de waarnemingen op deze ster eene tijdruimte omvatten van bijna 100 jaar, heeft men toch nog geene bepaling over hare baan kunnen maken. Bessel en Struve hebben den afstand van deze dubbelster tot onze Aarde gemeten.

ζ Waterman, eene dubbelster, beiden van de 4^e grootte. De afstand

tusschen beide sterren is voortdurend afgenomen, terwijl de kleine sinds den tijd van Herschel in eene retrogade beweging een boog van 26° om de hoofdster beschreef, zoodat de physische verbinding tot één stelsel niet te betwijfelen is.

De dubbelsterren, welke door een gewonen achromatischen kijker gemakkelijk ontbonden kunnen worden, zijn: ζ groote Beer, γ Andromeda, θ Slang, α Herkules, ζ Lier. De volgenden vereischen een kijker van sterker vermogen: Castor, π Bootes ζ Kreeft, ω Visschen, α kleine Beer of Poolster. — De oorzaak, waarom sommige sterren zich zoo moeielijk dubbel vertoonen, hoewel de onderlinge afstand niet zoo gering is, ligt hierin wjl het sterkere licht van de ééne ster het zwakkere licht van de andere overschittert.

De onderstaande tafel bevat eene opgave van de baanelementen der berekende dubbelsterren.

Naam der Dubbelster.	Omloopstijd.	Uitmiddelpuntigheid.	Middelb. afstand.
ξ Groote Beer . . .	$63\frac{1}{7}$ jaar.	0,3929	2,454 second.
Σ Cassiopeia	$112\frac{3}{5}$ "	0,5009	1,310 "
Castor	520 "	0,2190	5,690 "
Sirius	$49\frac{2}{5}$ "	0,6148	2,331 "
α Kroon	$66\frac{1}{4}$ "	0,4695	1,111 "
ζ Kreeft	$59\frac{6}{10}$ "	0,3662	0,934 "
τ Slangendrager . .	87 "	0,0370	0,818 "
λ "	89 "	0,4530	0,842 "
P "	$92\frac{1}{3}$ "	0,4445	4,966 "
ζ Herkules	$36\frac{2}{5}$ "	0,4482	1,254 "
γ Maagd	$153\frac{1}{5}$ "	0,8699	3,446 "
δ Zwaan	$280\frac{6}{10}$ "	0,8470	3,165 "
α Centaurus	$78\frac{1}{2}$ "	0,7187	12,128 "

Al heeft men den vorm bepaald van de baan, welke het zonnepaar om elkander beschrijft, en den duur van die beweging berekend, toch is daarom de *ware* afmeting van hunne baan nog niet bekend, daarvoor moest de juiste afstand bekend zijn, waarop dat zonnestelsel zich van onze Aarde bevindt. Van twee zulke dubbelsterren, zooals wij

vroeger opgaven, kent men den afstand, α uit den Centaurus, en 61 uit de Zwaan, en daaruit nu heeft men den waren onderlingen afstand berekend, welken de beide zonnen in dat stelsel hebben. De afstand bij de eerstgenoemde bedraagt ongeveer 200 millioen geogr. mijlen; vergeleken met de afstanden in ons zonnestelsel van de planeten tot de Zon, zouden die beide zonnen zoover van elkander verwijderd zijn als Saturnus van onze Zon. De loopbaan van den wachter van 61 uit de Zwaan heeft een straal ongeveer 45 maal grooter dan de afstand van onze Aarde tot de Zon, namelijk 900 millioen geogr. mijlen.

Hoe verbazend zulke eene afmeting ook is, toch krimpt zij wegens den afstand tot één punt te zamen, alleen een machtige kijker is in staat eenigen afstand waartenemen.

Al laat de nauwkeurigheid en juistheid, waarmede men de elementen dier zoo ver verwijderde zonnestelsels berekent, ook al iets te wenschen over, toch is het eene wondervolle uitkomst, vooral wanneer die gesteund wordt door betrouwenswaardige waarnemingen. En toch het is nog niet alles: zonderling zelfs klinkt het, dat men bij benadering de massa van dergelijke stelsels berekent; uitgaande van de vooronderstelling, welke thans genoegzaam is bewezen, dat dezelfde krachten bij de sterren buiten ons stelsel werkzaam zijn als in ons stelsel, heeft men bevonden, dat die kleine ster 61 uit de Zwaan, welke voor het ongewapend oog nauwelijks zichtbaar is, een derde zwaarder is dan onze Zon, terwijl de beide sterren, welke het stelsel Alpha uit den Centaurus uitmaken, te zamen eene massa bezitten kleiner dan de helft van onze zonnemassa.

Weinige jaren geleden ontving deze theorie eene waarlijk schitterende bevestiging. Wie kent Sirius niet, de schitterendste onder de vaste sterren aan den hemel. Toen de geleerde Bessel in 1845 de beide sterren, Sirius uit den Grooten- en Procyon uit den Kleinen Hond, aan een nauwkeurig onderzoek onderwierp, kwam hij tot de overtuiging, dat beiden zekere storingen in hunne bewegingen toonden, die veroorzaakt moesten worden door dicht bij haar gelegen massa's. Niettegenstaande het groote gezag van Bessel beschouwde men toch die bewering als ongegrond, te meer toen in 1847 Fuss in Pulkowa beweerde, dat de door Bessel gevondene onregelmatigheden in de beweging dier beide sterren zeer goed door eene rechtlijnige baanbeweging verklaard konden worden. In 1856 hielden Peters in Altona en Schubert zich opnieuw met de berekeningen van Bessel

bezig, en beiden verkregen dezelfde uitkomst als hij; alles wees op een wachter, wiens omloopstijd men op 50 jaar bepaalde. Zoo stonden de zaken toen Clark den 31^{sten} Jan. 1862 met den grooten kijker van Cambridge werkelijk den wachter ontdekte, die de oorzaak was van de waargenomene storingen, welke ontdekking met de groote instrumenten der voornaamste sterrenwachten volkomen bevestigd werd.

Zoo werd de verwachting vervuld, welke Struve dertig jaar vroeger reeds uitdrukte, toen hij schreef: “De wetten der algemeene zwaartekracht zijn wij verschuldigd aan de heerlijkste ontdekking, welke de menschelijke geest in den loop der eeuwen heeft gedaan, en wij zijn er dicht bij om te kunnen bepalen of die wetten alleen hare toepassing vinden in ons zonnestelsel, dan wel of zij de wetten zijn, waardoor het gansche heelal wordt bestuurd. De sterrenkunde gaat dus een nieuw tijdvak te gemoet, waarin men het bewijs zal leveren, dat de mechanica ¹ des hemels zich niet bepaalt tot de verschijnselen van onze zonnewereld, maar ook van toepassing is op de bewegingen der vaste sterren.”

Nadat de hypothese van Bessel, over den wachter van Sirius, steunende op de theorie der zwaartekracht, eene heerlijke bevestiging heeft verkregen, is de voorspelling van Struve vervuld, en als die tak van wetenschap, alleen in de laatste eeuw ernstig bestudeerd, reeds zulk eene schoone uitkomst levert, dan mogen wij er groote vorderingen van verwachten in de kennis der vaste sterren.

Vele punten zullen echter waarschijnlijk wel immer tot het rijk der gissingen blijven behooren; maar zonder tot onwaarschijnlijkheden zijne toevlucht te nemen, kan men zich toch een juist begrip vormen over de eenheid der wetten, waardoor God het Heelal bestuurt, en over de verscheidenheid der verschijnselen, welke zich voor onze waarneming opdoen.

Daarom is het geoorloofd die ontelbare zonnen, welke wij in het ruim des hemels waarnemen, te vergelijken met de Zon van ons stelsel. Om ieder van hen bewegen zich dan andere lichamen in vasten toestand, zooals onze planeten, of in gasachtigen toestand, zooals onze kometen; al de verschijnselen van dag en nacht en van jaar-

¹ *Mechanica* is de leer over de beweging en over de krachten als oorzaken dier beweging.

getijden hebben op die ondergeschikte hemelbollen plaats, hoewel de schrikwekkende afstand ze voor ons onzichtbaar maakt. Hoe verscheiden moeten in zulk eene hypothese de verschijnselen zijn op die aardbollen, die tot een stelsel van twee en drie zonnen behooren, wier licht en warmte elkander dan eens opvolgen en dan weder vereenigd zijn; dan eens straalt er ééne dan weder ziet men twee of drie zonnen boven den horizon. Volgens het uur van den dag of den tijd van het jaar moet zulks de vreemdste contrasten opleveren.

§ 2. Sterrengroepen, verzameling van Zonnen, zichtbaar voor het ongewapend oog. — Pleiaden. — Hyaden. — Praesepe. — Hootdhaar van Berenice. — Groep uit Perseus.

Het voorgaande leerde ons reeds, dat de sterren met het bloote oog zichtbaar niet zonder eenige orde en verband in de hemelruimte verspreid zijn; de beschouwing der dubbel- en veelvoudige sterren toonde ons tusschen die verschillende zonnen ware en natuurlijke verbindingen. Wanneer wij later zullen nagaan wat machtige telescopen ons in het ver verwijderde hemelruim doen ontdekken, dan zullen wij eene groote menigte sterrenhoopen waarnemen, waarin de zonnen zich zoo talrijk en op elkander gedrongen vertoonen en zulke regelmatige figuren vormen, dat het onmogelijk is er geen onderling verband in te zien. Voordat wij die archipels van werelden, die met zulk eene wondervolle overdaad in den oceaan des hemels zijn gezaaid, nader bespreken, zullen wij eerst die groepeeringsen nagaan, die voor het bloote oog zichtbaar zijn, en over wier verband men geen twijfel kan koesteren.

In de eerste plaats de Pleiaden of het Zevengesternte, waarvan wij vroeger reeds spraken bij de behandeling der centraalzon van ons stelsel. Wanneer men eene denkbeeldige lijn trekt door de drie heldere sterren van Orion naar het westen, dan treft die lijn eerst de heldere ster Aldebaran met de Hyaden en daarna de Pleiaden. De oudere dichters gaven aan deze groep den naam van Hesperiden of ook wel Atlantiden. Lalande wil den naam Pleiaden afleiden van het Grieksche *plein*, dat varen beteekent, omdat op het tijdstip wanneer deze sterrengroep tegelijk met de Zon opging, namelijk half Mei, de groote vaart op de Middellandsche Zee begon. De eenvoudigste afleiding is echter van het Grieksche woord *pleion* dat *meerder* beteekent; die groep bestaat uit 80 sterren, waarvan er slechts 6 met het bloote oog zichtbaar zijn. Uit den naam Zevengesternte blijkt, dat

men er vroeger 7 telde, zoodat ééne er van of in lichtglans is afgenomen of geheel verdwenen.

De schitterendste is Aleyon, van de 3^e grootte, Electra en Atlas zijn van de 4^e en Meropé, Maia en Taijgetes van de 5^e grootte. Drie anderen, die echter voor het ongewapend oog onzichtbaar, en van de 7^e en 8^e grootte zijn, heeft men Pleione, Celeno en Asterope genoemd; hoewel er een kijker van groote kracht vereischt wordt om in die groep een 80tal sterren te tellen, biedt toch het zien door een goeden verrekijker reeds een ongemeen prachtig schouwspel aan.

De Hyaden bevinden zich even als de Pleiaden in het sterrenbeeld den Stier; omdat zij zich echter in de nabijheid bevinden van de heldere ster Aldebaran, zijn zij voor het bloote oog moeielijk te onderscheiden; den naam leidt men af van het Grieksche *hwei*, *het regent*, omdat zij zich gewoonlijk in den regentijd aan den hemel vertoonen. Hoewel het onderling verband van deze groep niet zoo duidelijk in het oog valt als bij de Pleiaden, schijnt het toch moeielijk aantemen, dat zij in geene onderlinge betrekking met elkander staan.

Wanneer wij de ligging der beide sterrengroepen, de Pleiaden en de Hyaden, opmerken, zoo dicht bij den Melkweg, dat zij zich als in eene vertakking van dien grooten sterrengordel bevinden, dan is het zeer natuurlijk die te beschouwen als behoorende tot den Melkweg, waartoe ons zonnestelsel, zooals wij later zien zullen, ook behoort.

Het Hoofdhaar van Berenice, aan den oostkant van het sterrenbeeld den Leeuw gelegen, is ook eene groep, waarvan de meeste sterren voor een ongewapend oog zichtbaar zijn; de omstandigheid, dat geene enkele heldere ster in die strek ons gezicht hindert, is voor de waarneming zeer gunstig.

De beide volgende groepen, die voor het bloote oog waartenemen zijn, bevinden zich de eene in het sterrenbeeld den Kreeft aan de westzijde van den Leeuw, en wordt genoemd Praesepe of Kribbe, de andere in het sterrenbeeld Perseus.

Hoewel beide groepen met het bloote oog zijn waartenemen, heeft men toch een kijker van middelmatige kracht om de sterren, waaruit zij bestaan, te onderscheiden. De hier opgenoemde groepen maken eene soort van overgang tusschen de aan het hemelgewelf verspreide vaste sterren en de meer geconcentreerde ophooping, welke men met

den algemeenen naam van *nevelvlekken* aanduidt. Wanneer het ons gegeven was om van een meer verwijderd punt in de hemelruimte de sterren waartenemen, welke ons thans verspreid toeschijnen, dan zouden wij wellicht zien, dat zij elkander schijnbaar naderden, en zich verbonden tot ophooping, gelijk wij thans de Pleiaden zien, en zouden wij daarentegen doordringen tot in zulke ophooping, dan zou zich eene onmetelijke ruimte voor onze bliken openen: de sterren zouden zich van elkander verwijderen en het hemelgewelf zou zich voor ons vertoonen, zooals wij het thans zien.

Later, in eene beschouwing over het geheel van den zichtbaren hemel, komen wij hierop terug, om ons een beter denkbeeld te vormen over den ganschen bouw van het heelal.

V.

VERANDERLIJKE EN NIEUWE STERREN.

§ 1. Veranderlijke sterren. — Mira uit den Walvisch en Algol uit Perseus. — γ uit het Schip en β uit de Lier.—Voornaamste veranderlijke sterren met bekende perioden.

Tot nu toe hebben wij van de vaste sterren niet anders leeren kennen, dan dat zij zonnen zijn, die evenals onze Zon met eigen licht bedeed zijn. Wij kennen van sommigen den afstand, waarop zij stralen, en van anderen de kleinste grenzen van hunnen afstand; wij namen waar, dat zij zich in de diepte des hemels bewogen met snelheden gelijk, ja grooter dan die, welke wij in ons zonnestelsel waarnemen. Wij weten echter nog niet of de fysieke samenstelling van die zoo ver verwijderde zonnen overeenkomt met die van onze Zon: om aangaande dit punt eenige kennis te verkrijgen bestaat er maar één, doch een voornaam middel: het licht namelijk.

Langen tijd wist men door dit middel slechts twee zaken: de glans of het licht der sterren en de kleur van dat licht, en de oudere sterrenkundigen namen reeds waar, dat sommige vaste sterren in lichtglans afnamen of vermeerderden, ook bemerkten zij de verschijning van vroeger onbekende sterren, terwijl anderen verdwenen. De nieuwe wetenschap ging echter verder, en toonde aan, dat zulke veranderingen

aan regelmatig tijdsverloop gebonden waren, en de duur er van werd met nauwkeurigheid gemeten.

Wij zullen hierover in eenige bijzonderheden treden. Fabricius nam in 1596 het eerst zulk eene verandering in lichtglans waar bij eene ster uit het sterrenbeeld den *Walvisch*, die op de sterrenkaarten met de grieksche letter σ (*omicron*) geteekend staat, en welke den naam ontving van *Mira*, de *wonderbare*. Die vermeerdering en vermindering in lichtglans geschiedt zeer regelmatig. Wanneer zij in haren grootsten glans is, straalt zij gedurende veertien dagen als eene ster van de tweede grootte, daarna neemt haar licht gedurende drie maanden af, zoodat zij geheel onzichtbaar wordt zelfs in krachtige kijkers; vijf maanden lang blijft zij in dien toestand, waarna zij weder drie maanden gebruikt om opnieuw in haren vorigen glans te stralen. Men kent tegenwoordig met groote juistheid de middelbare periode van die lichtverandering en men schat dezelve op 331 dagen en 20 uren. Men heeft bij *Mira* zekere onregelmatigheden waargenomen, welke het verschijnsel nog belangrijker maken, omdat ook deze aan eene bepaalde periode gebonden zijn. In haren grootsten luister bereikt zij niet immer den glans, welchen zij vroeger bezat. Soms is zij ter nauwernood gelijk aan eene ster der vierde grootte, soms, zoodat den 6^{den} Nov. 1799, evenaart haar licht dat van eene ster der eerste grootte, soms ook is zij veel langer onzichtbaar gebleven; zoo bijv. was zij van October 1672 tot December 1676 onzichtbaar. *Argelander* heeft in die schijnbare onregelmatigheid eene zekere orde gevonden; hij meent in een tijdperk vier zuke aangroeiingen en afnemingen te hebben opgemerkt, van welke de eerste 11, de tweede 88, de derde 176 en de vierde 264 maal zoo lang aanhoudt als het tijdperk zelf is.

Merkwaardiger nog is de ster *Algol* uit het sterrenbeeld *Perscus*. Zij schittert onafgebroken gedurende 2 dagen en 13 uren als eene ster der 2^e grootte en dan volgt een tijdperk van vermindering, waarin zij in omstreeks 4 uren tot eene ster der vierde grootte afneemt; ongeveer 18 minuten blijft zij in dien toestand om dan weder in bijna 4 uren tot haren eersten glans te geraken. Men heeft echter opgemerkt, dat de duur van die gansche periode telkens korter wordt, en dezelve bedroeg

in 1784	2 dag.	20 u.	48 m.	59,4 sec.
in 1842	2 „	20 „	48 „	55,2 „
in 1865	2 „	20 „	48 „	53, „

De nieuwste waarnemingen echter toonen wederom eene verlenging dier periode.

Eene der zonderlingste sterren, welke gedurende eene eeuw de aandacht der sterrenkundigen bezig houdt, is de ϵ ta (ϵ) uit het sterrenbeeld het Schip, dat aan den zuiderhemel straalt en voor onze breedte onzichtbaar is.

Op het einde der zeventiende eeuw behoorde deze ster tot de vierde grootte, terwijl zij in 1751 zoozeer was toegenomen, dat men haar onder de sterren der tweede grootte tellen kon; 60 jaar later had zij opnieuw haren verminderden vroegeren glans om tot aan het jaar 1826 weer in lichtkracht toetenemen. Sinds dat tijdstip heeft zij de onregelmatigste lichtverschijningen doorloopen; dan eens schitterende als eene ster der eerste, dan weder als eene ster der tweede grootte. De snelheid, waarmede deze veranderingen elkander opvolgen, hare ongelijke perioden, de lange duur van die veranderlijkheid en de onmogelijkheid om er tot nu eene meer of minder regelmatige wet in te vinden, dat alles maakt deze ster tot een allermerkwaardigst voorwerp van den zuiderhemel. Toen zij in 1843 een glans bezat gelijk aan dien van Sirius, is zij langzamerhand zoozeer in lichtkracht afgenomen, dat zij in 1863 voor het bloote oog niet meer zichtbaar was.

Ook in de Lier bevindt zich nog eene merkwaardige veranderlijke ster, Bêta (β) genaamd; in iedere periode vertoont deze een tweevoudig maximum en minimum in hare lichtkracht. Argelander heeft aangetoond, dat de periode, waarin zij hare lichtwisseling volbrengt, telkens 0,7 seconde langer duurt dan de voorgaande, de periode duurde in 1855 12 dag. 21 ur. 47 min. 16,8 sec.

Naarmate de kaarten van den sterrenhemel volmaakter en nauwkeuriger worden, en men daardoor de veranderingen in stand en glans gemakkelijk kan opmerken, worden ook de veranderlijke sterren talrijker, hoewel het moeilijker is in die verandering eene bepaalde periode te erkennen, welke soms zeer lang kan duren.

De oorzaken en de over die veranderingen gemaakte hypothesen zullen wij later opgeven, wanneer wij eerst de nieuw ontdekte sterren en het verschil in kleur hebben nagegaan. Wij besluiten dit hoofdstuk met voor de minnaars der sterrenkunde eene lijst te geven van de voornaamste veranderlijke sterren en hare waargenomene perioden, waarin volgens Argelander die verandering plaats grijpt:

Algol β Perseus	2 Dag. 20 ur. 49 min.	α Orion	196 Dag. 0 ur. 0 min.
δ Cepheus	5 „ 8 „ 49 „	R Leeuw	312 „ 18 „ — „
η Arend	7 „ 4 „ 14 „	R Kroon	323 „ — „ — „
ζ Tweelingen	10 „ 3 „ 35 „	ϵ Walv.	331 „ 20 „ — „
β Lier	12 „ 21 „ 45 „	R Pegasus	350 „ — „ — „
β Pegasus	40 „ 23 „ — „	R Slang	359 „ — „ — „
α Hydra	55 „ — „ — „	ϵ Slang	367 „ 5 „ — „
α Hercules	66 „ 8 „ — „	R Kreeft	380 „ — „ — „
R Schild	71 „ 17 „ — „	R Waterm.	388 „ 13 „ — „
α Cassiopeia	79 „ 3 „ — „	χ Zwaan	406 „ 1 „ 30 „
R Maagd	145 „ 21 „ — „	30 Hydra	495 „ — „ — „

§ 2. Nieuwe sterren: van Tycho-Brahé in 1572. — Van Kepler in 1600. — Nieuwe ster van 1866 in de Kroon.

De verschijning van eene nieuwe, vroeger onbekende ster is eene buitengewoon zeldzame gebeurtenis. In den loop der laatste twintig eeuwen kan men er met zekerheid slechts een twintigtal optellen; dit bewijst reeds het ongewone van zulk eene verschijning. Hierin ligt echter geen bewijs, dat wij aan eene eigenlijke nieuwe ster te denken hebben, want wellicht behooren zij tot de veranderlijke sterren met een zeer langen duur van onzichtbaarheid; hadden de vroegere sterrenkundigen, die de verdwijning van zulke sterren waarnamen, onze hulpmiddelen bezeten, dan hadden zij wellicht met krachtige kijkers waargenomen, dat alleen haar lichtglans zoodanig was afgenomen, dat zij voor een ongewapend oog onzichtbaar waren.

De eerste vermelding eener nieuw verschenen ster danken wij aan de alles opteekende Chinezen; ongeveer 134 jaar vóór onze tijdrekening namen zij eene nieuwe ster waar in den Schorpioen. Herschel meent, dat het dezelfde is, welke volgens de getuigenis van Plinius ook door Hipparchus ontdekt werd.

Omdat de aantekeningen van zulke sterren in de vroegere eeuwen zoo kort en zoo onzeker zijn, en slechts plaats en tijd behelzen, zullen wij alleen eenige bijzonderheden mededeelen over de meer jongere door bekwame sterrenkundigen beschreven nieuwe sterren.

In de eerste plaats de schitterende vaste ster, welke men plotseling in November 1572 in het sterrenbeeld Cassiopeia waarnam.

Tycho-Brahé, die haar, bij het klooster Herrigwadt zijnde, opmerkte, heeft zulke nauwkeurige aantekeningen achtergelaten, dat men met juistheid hare plaats aan den hemel bepalen kan. Die nieuwe ster had volstrekt niet het voorkomen eener komeet, zonder nevel noch staart, behield zij gedurende de zeventien maanden, waarin zij aan den hemel straalde, onveranderd haren stand. Een buitengewoon fonkelen onderscheidde haar van de overige vaste sterren, welke zij allen in glans verre overtrof, zoodat men haar vergeleek met Venus in hare grootste lichtkracht, midden op den dag kon men haar aan den hemel onderscheiden. In December echter begon haar lichtglans aft nemen, zoodat zij in Januari 1573 reeds minder was dan Jupiter. In het begin van Mei was zij gelijk aan eene ster der tweede grootte, en in Maart 1574 verdween zij voor het bloote oog. Ook de kleur van die zonderlinge ster onderging groote verandering. In de eerste maanden was zij zuiver wit en ging toen in geel over, later kreeg zij de roode tint van Mars, en ten laatste kreeg zij de witte kleur terug; tot op het laatste zichtbaar zijn bleef zij steeds sterk fonkelen.

Argelander heeft nauwkeurige onderzoekingen aangaande deze ster gedaan, waarvan wij het volgende overnemen: voor 1855 bepaalde hij de plaats dier ster op R O, Ou 16^m 47^{sec.} dat is 4° 11' 45" en noordel. Declin. 63° 20,6'. Deze plaats stemt zonderling overeen met eene kleine ster van de 11^{de} grootte door d'Arrest in Kopenhagen ontdekt. Deze sterrenkundige heeft eene zeer nauwkeurige kaart ontworpen van de plaats waar deze Tychosche ster verschenen was; daarop zijn 212 sterren opgenomen, zoodat ieder aan den hemel zichtbaar wordend voorwerp, dat op die kaart niet is aangeteekend, met zekerheid als nieuw of veranderlijk kan beschouwd worden. Vroeger had Argelander die zwakke ster der 11^e grootte niet ontdekt, zoodat men vooronderstellen mag, dat zij toen nog zwakker was, en men nu vragen kan of zij wellicht de toenmaals verschenen ster is, die zich thans in eene periode van toenemende lichtkracht bevindt. In de oudere aantekeningen vinden wij tweemaal gewag gemaakt van eene nieuwe ster in Cassiopeia, in 945 en in 1264. Wanneer dit dezelfde ster was, zou zulks wijzen op eene veranderlijke ster met eene periode van ongeveer 300 tot 320 jaar, en nog in deze eeuw zou zij weder in hare grootste lichtkracht verschijnen. De toekomst zal leeren wat er van die hypothese waar is.

Volgens Chineesche aantekeningen werden in de 16^{de} eeuw nog

twee nieuwe sterren waargenomen, beiden in het sterrenbeeld den Schorpioen; het is opmerkenswaardig, dat in dit sterrenbeeld volgens de historische aantekeningen 5 maal eene nieuwe ster verscheen.

In het jaar 1600 werd in de Zwaan eene nieuwe ster opgemerkt, welke door Kepler nauwkeurig werd gadeslagen. Wilhelm Janson ontdekte die het eerst, twee jaren later vond Kepler ze als eene ster der 3^e grootte. In 1621 verdween zij, maar nam in 1655 weer toe tot eene ster der 8^e grootte, daarna verdween zij weder totdat Hevelius in 1665 haar weder waarnam, hoewel zij de 3^e grootte niet weder bereikte. In 1682 was zij gelijk aan eene ster der 6^e grootte, en is in dien toestand gebleven tot op den huidigen dag; men vindt haar op de sterrenkaarten aangeduid in het sterrenbeeld de Zwaan met het cijfer 34 ook wel met de letter P.

De laatste verschijning eener nieuwe ster viel voor op een tijdstip, waarop de wetenschap met krachtige en nieuwe hulpmiddelen uitgerust in de diepte des hemels dat voorwerp kon waarnemen. In den nacht van den 12^{den} op den 13^{den} Mei 1866 ontdekte Birmingham te Tuam in Ierland eene heldere ster van de 2^e grootte in het sterrenbeeld de Kroon op een punt, waar het bloote oog vroeger nooit eene ster had ontdekt. In denzelfden nacht begon haar lichtkracht reeds te verminderen, zoodat zij drie dagen later tot op de vierde grootte was gedaald. Op den 20^{sten} Mei was zij voor het bloote oog reeds onzichtbaar, thans is zij eene ster der 9^e grootte en alleen door goede kijkers waartenemen, hare plaats aan den hemel is voor 1866 R O 15^u 53^m 53,68^{sec}, of 238° 28' en N D 26° 20' 17,6". Zij staat aangeteekend met de letter T, wellicht behoort zij ook tot de veranderlijke sterren met lange perioden; later, wanneer wij de gissingen zullen bespreken over die veranderlijkheid in het voorkomen der vaste sterren, zullen wij de redenen opgeven, welke voor die hypothese pleiten; eerst willen wij echter in eenige bijzonderheden treden over de kleur, welke wij bij de vaste sterren opmerken.

§ 3. Verschil in kleur van het sterrenlicht. — Enkelvoudige gekleurde sterren. —
 Kleur der dubbel- en meervoudige sterren. — Kleurverandering der sterren. —
 Hypothesen over die verandering.

De snelle glansverandering, welke men bij de vaste sterren waarneemt, wanneer men ze met het bloote oog beschouwt, gaat gewoonlijk

gepaard met oogenbliklijke kleurveranderingen. Aan de vereeniging dier beide verschijnselen heeft men, zooals wij vroeger reeds opmerkten, den naam tinteling gegeven. Tegenwoordig weet men met zekerheid, dat deze tinteling niet in de sterren zelve is gelegen, maar dat de oorzaak er van te zoeken is in den dampkring onzer Aarde, waardoor de lichtgolven heengaan.

Afgescheiden echter van die tinteling en lichtschakeering hebben de sterren toch ook eigene en vaste kleuren, waardoor men met recht besluiten mag tot een wezenlijk verschil in haar licht; een enkele blik op den tintelenden helderen sterrenhemel overtuigt er ons aanstonds van. Wanneer wij bijv. het licht van Sirius, Regulus, en Vega vergelijken met de helderste ster van Orion, Beteigeuze, of met Aldebaran uit den Stier, dan merken wij duidelijk op, dat de drie eersten helder wit licht bezitten en de beide laatsten daarentegen eene roode tint.

Volgens Arago kenden de Grieksche sterrenkundigen slechts twee soorten van gekleurde sterren, rooden en witten; sinds men echter nauwkeuriger waarnemingen heeft gedaan, ontdekt men in het licht dier zoo ver verwijderde zonnen al de schakeeringen van den regenboog.

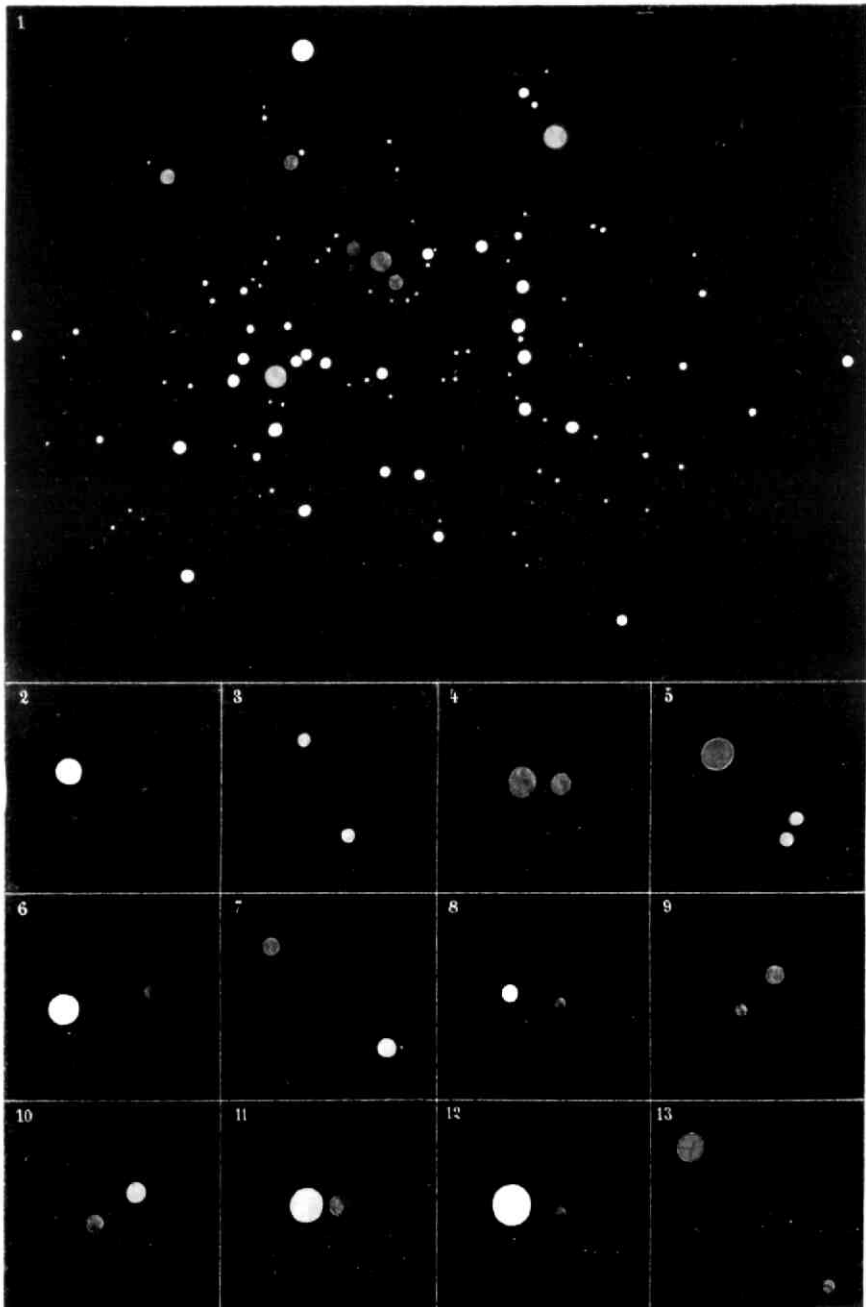
Hoewel de kijkers, door aan het waargenomen punt elke tinteling te ontnemen, de beoordeeling der kleur zekerder maken, blijft deze toch aan vele misvattingen onderhevig. In 1864 stelde de Admiraal Smyth reeds voor eene schaal te vervaardigen, wier verschillende graden tot vergelijking konden dienen.

Volgens Secchi, die zich vooral met de spectraal-analyse, waarover later, heeft beziggehouden, is de witte kleur aan het grootste gedeelte der vaste sterren eigen.

Onder de sterren, die met eene roodachtige tint bedeed zijn, behoren behalve de hierboven opgenoemden nog Arcturus, Antares en Mira. Volgens Hind is de kleur van alle veranderlijke sterren rood; echter is zulks geen wezenlijk kenteeken, want het licht van Algol bijv. is wit.

Procyon, Capella en de Poolster zijn geel. Het licht van Castor is groen en dat van Eta uit de Lier is donkerblauw.

Zulke blijvende en verschillende kleuren kunnen slechts toegeschreven worden aan de natuur van het licht zelve, door die zonnen uitgestraald. Wanneer wij de hypothese van eene photosfeer of gloeiend



KLEUR DER STERREN.

1. Sterrengroep van α met het kruis. — 2. α van Pegasus. — 3. β met de Zwaan.
 4. δ met de Slang. — 5. γ van Andromeda. — 6. η van Cassiopeia. — 7. dubbelster met het Schip. — 8. β met Eridanus. — 9. ϵ met Cassiopeia. — 10. β met de Zwaan. — 11. γ met den Leeuw. — 12. α van Hercules. — 13. η van Perseus.

dampomhulsel, gelijk wij bij onze Zon vooronderstellen, ook op de vaste sterren toepassen, dan zou men het verschil in kleur gemakkelijk kunnen uitleggen door eene verschillende chemische samenstelling dier photosfeer. Bij de dubbelsterren en de groepen van zonnen vertoont zich echter die verschillende kleur in het sterrenlicht in al haar rijkdom. Hoewel de meesten met wit licht stralen, treft men er toch ook in allerlei schakeeringen aan. Men heeft er zekeren regel in willen zoeken door aantemen, dat de geleister immer de complementaire ¹ kleur van de hoofdster bezat, en dat zulks dus zijne oorzaak had in gezichtsbedrog; maar op dien regel zijn zoo vele uitzonderingen, dat hij niet als regel gelden kan. Struve immers telt van 596 dubbelsterren,

375, die dezelfde kleur in gelijke sterkte bezitten.

101 met dezelfde kleur, maar ongelijk in sterkte.

120 met geheel verschillende kleuren.

De waarneming leert ons dat de blauwe kleur, welke wij waarnemen, niet altijd optisch bedrog is, maar dat er werkelijk blauwe sterren bestaan. Struve heeft even dikwijls een blauwen wachter bij eene witte hoofdster waargenomen als bij eene gele. Overigens heeft men dubbelsterren opgemerkt, die beide blauw zijn, zoo bijv. δ uit de Slang.

Bij de gekleurde dubbelsterren ontmoet men alle mogelijke schakeeringen, plaat XLIX geeft er ons eenige voorbeelden van. Fig. 1 geeft volgens Herschel eene afbeelding van eene hoogst merkwaardige groep aan den zuiderhemel uit het Zuider Kruis, dicht bij de ster *Kappa*

¹ Het zonnenspectrum bestaat, gelijk men weet, uit zeven of beter uit zes kleuren, want de beide laatsten, indigo en violet, loopen in een; de volgorde dier kleuren is rood, oranje, geel, groen, lichtblauw en violet. Drie er van: rood, geel en blauw noemt men *primaire* (hoofdkleuren), omdat men door onderlinge vermenging van dezelve alle andere kleuren kan voortbrengen, de andere drie: oranje, groen en violet noemt men *secondaire* (bijkleuren) of *complementaire*. Wanneer men het vlak van een cirkel in zes gelijke deelen deelt en in de volgorde van het zonnenspectrum in ieder deel ééne kleur, dan ligt iedere primaire kleur tegenover die secondaire, welke uit de vermenging der twee andere primaire kleuren voortspruit, bijvoorbeeld rood ligt tegenover het secondaire groen, dat ontstaat uit de vermenging van geel en blauw; geel ligt tegenover violet, dat ontstaat uit de vermenging van rood en blauw; de secondaire kleuren nu, welke tegenover de primaire staan, noemt men complementaire kleuren.

(z). Zij bestaat uit honderd en tien sterren, waarvan er slechts zeven de tiende grootte bereiken. Wanneer men dit voorwerp, zegt Herschel, met een genoegzaam vergrootenden kijker waarneemt om de verschillende kleuren te kunnen onderscheiden, dan levert het een ongemeen prachtig schouwspel op, dat hij vergelijkt met een juweelkistje, gevuld met veelkleurige en schitterende edelgesteenten.

In den beginne maakten wij reeds onderscheid tusschen de oogenblikkelijke licht- en kleurveranderingen en de eigene zelfstandige kleur der vaste sterren; deze laatste ondergaat echter ook soms merkbare veranderingen, zoodat het ontwijfelbaar is, dat sommige sterren in den loop der eeuwen van kleur zijn veranderd. De oudere geschriften noemen bijv. Sirius met *rood* licht bedeed, terwijl zij zich tegenwoordig door hare glanzende *wilheid* onderscheidt.

Twee andere dubbelsterren, eene uit den *Leeuw*, zie Pl. XLIX, en eene uit den *Dolphiyn*, worden door Herschel beiden *wit* opgegeven, terwijl het eerste paar tegenwoordig *geelgoud* is met eene groen roodachtige bijster, en het tweede paar evenzoo *goudgeel*, vergezeld door eene groen blauwachtige bijster.

Overigens kan die kleurverandering ons geene groote verwondering baren, wanneer wij bedenken aan welke verandering de glans van het sterrenlicht onderhevig is.

Indien de wondervolle kleurspeling, zegt Littrow, welke onze Zon aan de natuur geeft, reeds een voorwerp van verbazing is, welk een geheel ander schouwspel moet de werking van twee en meer zonnen van onderscheidene kleur dan teweegbrengen in die ver verwijderde gewesten, door zulke zonnen beschenen. Daar stijgt eene roode Zon boven den horizon, en Aarde en uitspansel schitteren in de oogen van den verbaasden waarnemer in een eigenaardig purperlicht. Na weinige uren wordt die Zon door eene groene of blauwe opgevolgd, en met haar verandert eensklaps het gansche aanzien der schepping: zoolang de roode Zon haar licht verspreidt, zal de wereldbol door haar beschenen in een rozengloed zweven, maar na haren ondergang zal de groene of blauwe Zon, welke dan boven de kim straalt alles, zelfs de woestijn en de zee, met een smaragd of azuurkleurig tapijt bedekken. Door zulk verschillend licht gekleurd, blijft het hemelgewelf niet langer blauw, het veldtapijt niet groen en de sneeuw niet wit, alles zou naar gelang van den tijd des dags in alle kleurschakeeringen afwisselen. Welk eene wondervolle verscheidenheid heeft de groote

Schepper in het heelal ten toon gespreid!! De wereld vergroot zich voor onze blikken, en ons geheele zonnestelsel is slechts eene stip in de ruimte. Hoe groot is het verschil van zulke begrippen over het heelal met de vroegeren, die de wereld bepaalden tot onzen aardbol. Maar al zetten de grenzen van de wereld zich ook uit voor onze blikken, daarom behoeven zij onze ware grootte niet te verminderen. Zeker, wij zijn zeer weinig in de onmetelijkheid van 't heelal, maar hoe grooter de schepping is met betrekking tot ons, hoe grooter verstand er vereischt wordt om die wonderen te ontdekken en te begrijpen. God alleen kan zijn arbeid volkomen begrijpen; gelukkig echter de sterveling, die er een genoegzaam begrip van heeft, om er de grootheid en schoonheid van te kunnen bewonderen.

VI

PHYSISCH EN CHEMISCH WEZEN DER VASTE STERREN.

§ 1. Spectraal-analyse van het sterrenlicht. — Verdeeling der sterren in vier voorname typen. — Chemische samenstelling van eenige merkwaardige sterren. — Overeenkomst en verschil der verschillende typen met de Zon. — Verklaring der kleur van de sterren; blauwe tint van de wachters der dubbelsterren.

Welke kennis men ook verkreeg over de vaste sterren, over hun licht, hunne kleur en de onderlinge stelsels, waarin zij zich bewegen, toch bleef het eigenlijke wezen dier hemellichamen verborgen, en weinige jaren geleden konden de sterrenkundigen er slechts gissingen over maken, want de kracht van den telescoop aan den eenen, en de juistheid der kleinste metingen aan den anderen kant waren uitgeput. De studie over de natuur der sterren, over hunne veranderingen en de vergelijking van hun licht met andere lichtende bronnen, vooral met onze Zon, bleef nog overig, en als men de moeielijkheid bedenkt aan zulk eene studie verbonden, dan moet men verwonderd wezen over de uitkomsten, welke men met zulke geringe hulpmiddelen verkreeg. Deze uitkomsten willen wij thans mededeelen en verklaren.

Toen Fraunhofer de ontelbare donkere strepen had ontdekt, welke zich in het zonnenspectrum vertoonden, begon hij ook het spectrum van de vaste sterren te onderzoeken, en koos daartoe bij voorkeur

de heldersten en schitterendsten: bij sommige zwarte strepen vond hij veel verschil met de strepen uit het zonnespectrum, bij anderen daarentegen veel overeenkomst, wat vooral het geval was met streep D, welke zoo men weet midden in het geel is geplaatst. Later, in 1860, hield Donati zich ook vooral met die waarneming bezig en bepaalde van verschillende strepen den stand. Al wat men echter uit zulke waarnemingen kon besluiten was, dat het licht der waargenomene sterren zoowel onderling als met onze Zon eene groote overeenkomst had, en dat het dus lichtbronnen waren van dezelfde soort.

Die uitkomst kreeg eensklaps eene groote waarde toen Kirchhoff en Bunsen de spectraal-analyse ontdekten en die op de Zon toepasten; want door de vergelijking van de strepen uit het sterrenspectrum met de heldere strepen van de spectra verkregen door gas en metalen, kon men de toepassing maken op de sterren, zooals men gedaan had op de Zon; daardoor kon men tot op zekere hoogte de physische en chemische samenstelling kennen van die lichamen, wier lichtstraal jaren noodig heeft om tot onze Aarde doortedringen. Aan Huggins en Miller in Engeland, Janssen, Wolf en Rajet in Parijs, maar vooral aan Secchi in Rome zijn wij de belangrijkste ontdekkingen op dit gebied verschuldigd; bijzonder zullen wij verslag geven van den arbeid van den geleerden Romeinschen sterrenkundige, die daardoor groote diensten aan de wetenschap bewezen heeft.

Om het sterrenlicht te ontleden kan men zich bedienen van een spectroscop, waarvan wij op bladz. 57 reeds verslag gaven, omdat deze toestel echter wegens de nauwe spleet, waardoor de straal valt, en wegens de verschillende lenzen het te onderzoeken licht zeer verzwakt, is het voordeelijker een anderen toestel te gebruiken, waaraan men den naam van spectroscop à vision directe gegeven heeft. Door zulk een werktuig wordt het licht minder verzwakt, en aan een kijker gebracht van 25 centimeters opening, verkreeg Secchi de spectra van sterren der zevende en achtste grootte. De sterren der eerste grootte gaven zulke heldere spectra, dat het zeer gemakkelijk was de strepen te teekenen en met juistheid den stand te meten.

Naar gelang van het spectrum, dat de waargenomene sterren gaven, verdeelt Secchi deze in vier voorname soorten, welke hij typen noemt. De EERSTE TYPE is het spectrum der WITTE sterren, zooals Sirius, Vega, Altair, Regulus, Rigel, en behalve de Alpha, al de sterren van den Grooten Beer.

Het spectrum van deze type vertoont de gewone zeventvoudige kleur, doorsneden met vier zware zwarte strepen, ééne in het rood, overeenkomende met C uit het zonnenspectrum (zie Plaat IX), ééne in het lichtblauw, overeenkomende met F en twee in het violet, waarvan er eene overeenkomt met G uit het zonnenspectrum. Deze vier strepen zijn de eigenaardige kenmerken van hydrogenium (waterstofgas), want als men het spectrum van zulk een gas bijv. in eene buis van Geisler waarneemt, ziet men juist dezelfde vier strepen. In den dampkring dus van die witte sterren bevindt zich waterstofgas. Behalve de breede grondstrepen ziet men in het spectrum der helderste sterren eene fijne streep in het geel, welke overeen schijnt te komen met de natriumstreep, en in het groen zwakkere strepen, welke magnesium en ijzer aanduiden.

Eene eigenaardige bijzonderheid van deze type is de breedte van sommige strepen, waardoor aangeduid wordt dat de absorbeerende dampkring eene groote dikte bezit en aan eene aanzienlijke drukking onderhevig is.

In de kleinere sterren is de streep in het rood moeielijk te onderscheiden, wegens de geringe lichtkracht van het spectrum, en omdat deze kleinere sterren eene blauwachtige tint hebben, toonen hunne spectra weinig geel en rood; blauw en violet voeren den boventoon.

Ongeveer de helft van alle sterren des hemels behooren tot deze type, die gemakkelijk is waartenemen, zelfs met een kijker van gering vermogen.

De TWEEDE TYPE bevat de GEELE sterren, zooals Capella, Pollux, Arcturus, Aldebaran, Alpha uit den grooten Beer, Procyon, enz.

Het spectrum van deze tweede type is volkomen overeenstemmend met het spectrum van onze Zon; het is gevormd door een groot aantal fijne, dicht op elkander gedrongene strepen, die denzelfden stand innemen als in het zonnenspectrum; deze sterren zijn niet gemakkelijk waartenemen. In Pollux en Capella zijn de strepen ongemeen fijn, in Arcturus en Aldebaran zijn zij echter breeder en beter waartenemen; deze laatste ster, zegt Secchi, zou men kunnen beschouwen als eene soort van overgang tussehen de tweede en derde type, zooals Procyon is tussehen de eerste en tweede. De sterren van deze type hebben dus dezelfde natuur als onze Zon; de overeenkomst van de strepen uit het spectrum met die van het zonnenspectrum is zoodanig, zegt

Secchi, dat bij afwezigheid der Zon, ik niet zou aarzelen om op die strepen de werktuigen te regelen.

Vele sterren van deze type schijnen een onafgebroken spectrum te geven, zooals men dat waarneemt van eene vaste gloeiende stof; zulks is echter schijnbaar en vindt zijne oorzaak in de groote fijnheid der strepen en de moeielijkheid om ze waartenemen, want als de lucht kalm is, ontdekt men ze gemakkelijk met goede instrumenten. Wanneer de eerste type volgens Secchi de helft der waargenomene sterren bevat, dan behooren twee derden van de overblijvenden tot deze tweede.

De bestanddeelen, welke men dus in de Zon heeft opgemerkt, (zie bladz. 53) bevinden zich ook in de sterren, welke tot deze type behooren.

De DERDE TYPE vertoont een zeer merkwaardig spectrum, samengesteld uit een dubbel stelsel van nevelachtige banden en zwarte strepen. De schoone sterren, welke tot deze type behooren zijn niet talrijk; de merkwaardigsten zijn ten getalle van bijna 30, en de sterren van den tweeden rang, welke er toe behooren, meëtellende, heeft Secchi er op zijn hoogst een honderdtal gevonden. Daartoe behooren, behalve Mira en Alpha uit den Walvisch, ρ uit Perseus, α uit Orion, Antares, Alpha uit Hercules, Beta uit Pegasus, enz.

Die sterren behooren allen tot de veranderlijken, en hebben eene meer of minder sterke roode tint. De Alpha (α) van Hercules is de grondtype van deze soort. Hoewel de zwarte fundamentale strepen dezelfde zijn als bij de tweede type, toont dit spectrum toch iets geheel eigenaardigs; het bevat breede, schitterende strepen ten getalle van zes of zeven, afgescheiden door breede nevelachtige banden, waardoor het geheel zich vertoont als eene soort kolonnade, aan ééne zijde verlicht. Bij eenige kleinere sterren neemt men in plaats van zulk eene kolonnade een aantal schitterende strepen waar, door duistere ruimten van elkander gescheiden. De spectrale strepen hangen dus af van de veranderingen in de sterren, en die veranderingen zelve vinden hunne oorzaak in het meer of minder absorbeerend vermogen van hunnen dampkring. Zoo heeft de spectraal-analyse der Zon ons geleerd, dat het spectrum hetgeen men van de zonnevlekken nam, scherpere strepen vertoonde, en daaruit kan men besluiten, dat het spectrum van deze sterren veroorzaakt wordt door eene absorbtie geheel en al overeenkomend met die, welke zich in de zonnevlekken vertoont. Wanneer dus onze Zon eens beroofd was van hare schitterende pho-

tospheer en van die lichtende korrelingen, welke men op hare oppervlakte waarneemt, (zie bladz. 38) zou zij een spectrum opleveren zooals de sterren van deze type. De voornaamste strepen, waardoor de lichtende kolommen in dit spectrum gescheiden zijn, behouden bij alle sterren dezelfde plaats; een groot aantal metingen hebben dit feit bevestigd. Magnesium, sodium en ijzer worden duidelijk aangegeven; ook vindt men er watergas, hoewel niet zoo overwegend als in de beide eerste typen. Eerst geloofde men dat deze derde type geene waterstof bevatte, maar een nauwkeurig onderzoek door Secchi heeft het bestaan der strepen, die op waterstof duiden, aangetoond.

De sterren dus van deze type verschillen alleen van onze Zon door de dikte van hunnen dampkring, en door dat hunne photosfeer waarschijnlijk vlekken of openingen heeft zooals onze Zon, maar van veel aanzienlijker uitgebreidheid, want het spectrum van deze type komt geheel en al overeen met dat van de zonnevlekken.

De VIERDE TYPE levert eene bijzonderheid op, welke men in geene andere vindt; daartoe behooren alle kleine sterren, BLOEDROOD, waarvan geene enkele de vijfde grootte bereikt. Het spectrum van deze soort bevat drie fundamentele strepen: rood, groen en blauw, waarbij een groot verschil van lichtverdeeling is waartenemen. In de derde type is het licht het sterkst aan de zijde van het rood en neemt dan langzamerhand af naar het violet; in het spectrum echter van deze soort is zulks juist in tegenovergestelde orde: het licht is het sterkst aan de zijde van het violet en neemt af in kracht naar het rood. Secchi beschouwt het als een spectrum, dat voortgebracht wordt door een gasachtig lichaam, en zoo men het zou willen beschouwen als een omgekeerd spectrum, dan levert het de kenteekens van koolstof in hare verschillende verbindingen.

Behalve deze vier voorname typen zijn er ook eene menigte sterren, wier spectrum van de hier aangegevene soorten afwijkt. Zoo bijv. is de Alpha uit Orion, in wier spectrum het rood en het geel bijna geheel verdwenen is; al de sterren uit deze streek des hemels vertoonen een dubbel karakter: 1^{ste} hebben zij eene sterke groene tint; 2^{de} zijn de strepen zoo fijn, dat zij moeielijk te scheiden zijn. De streken van den Walvisch en Eridaan bevatten eene groote menigte gele sterren; zulk eene verdeeling kan onmogelijk het werk van het toeval wezen, maar moet zijn grond hebben in de natuur en den

toestand van de stoffen, welke zich in de verschillende streken van het heelal bevinden.

Secchi noemt nog eene VIJFDE soort op, waartoe slechts weinige sterren behooren, welke echter dit zonderlinge toonen, dat zij ons een direct spectrum van hydrogenium geven. De merkwaardigste van deze soort is de Gamma (γ) van Cassiopeia, die op C en F in plaats van zwarte absorbtie-strepen integendeel schitterende vertoont; in het violet zijn zij te zwak om ze te kunnen onderscheiden. Ook in het geel vertoont zich dezelfde schitterende streep, die overeenkomt met die welke, wij in het spectrum der zonneprotuberancen waarnemen.

Hetzelfde karakter vinden wij nog bij Bêta (β) uit de Lier, eene, zooals wij vroeger opgaven, veranderlijke en tevens ter goede waarneming moeielijke ster.

De vroeger opgegeven nieuwe ster van 1866 uit de Kroon en de ster R uit de Tweelingen geven ook een direct spectrum, dat wil zeggen, niet omgekeerd, niet doorsneden met zwarte strepen; beide deze sterren vertoonen het spectrum van waterstofgas, maar toch vermengd met andere bestanddeelen, waaronder men magnesium opmerkt. Hun glans is te zwak om tot volmaakte uitkomsten te geraken. Zulke spectra geven te kennen, dat er eene snelle verbranding plaats grijpt, welke zonder twijfel op een zeer verwijderd tijdstip geschiedde, maar welke zich om den verbazenden afstand eerst zeer lang daarna aan ons openbaart.

Men heeft de vraag geopperd of Algol tot dezelfde type behoort als de andere veranderlijke sterren, welke gekleurd zijn. Secchi heeft die ster met zorg waargenomen en bevonden, dat zij blijvend een spectrum levert zooals de sterren, welke wij onder de eerste type gerangschikt hebben, zoodat hij er het besluit uittrekt, dat de meerdere of mindere glans, waarmede Algol schittert, niet is toetescrijven aan eene meerdere of mindere absorbtie der lichtstralen, want dan zou er ook verandering in het spectrum plaats grijpen, maar die verandering moet eene andere oorzaak hebben, zooals wij hierachter zullen aangeven.

Huggins schrijft de verschillende kleur der vaste sterren aan de meerdere of mindere absorbtie toe in den dampkring dier zonnen. Op het oogenblik der uitstraling is volgens Huggins het licht van alle sterren wit; vóór dat zulk licht zich echter in de ruimte verspreidt, moet het den dampkring doorgaan, waardoor die zonnen omgeven zijn, en naarmate nu de chemische toestand van dien dampkring is, worden

sommige stralen geabsorbeerd, en daardoor verkrijgt men de zwarte absorbtie-strepen in het spectrum. Omdat nu die strepen meer of minder krachtig zijn en meer of minder talrijk in de verschillende deelen van het spectrum, volgt er noodzakelijk voor die kleuren eene vermindering van lichtkracht, waardoor de andere niet zoo sterk geabsorbeerde kleuren den voorrang behouden.

Bij de witte sterren vindt men de strepen overal gelijkelijk in het spectrum verspreid. In de Alpha (α) van Hercules, eene oranjekleurige ster, neemt men een aantal donkere strepen waar, welke de groene, blauwe en roode kleuren van het spectrum verzwakken, alleen het oranje en het geel behouden hunne kracht en vandaar de kleur dezer ster.

Eene vergelijking van de spectra der dubbelsterren deed Huggins tot het besluit komen, dat de blauwe kleur der kleine sterren werkelijk blauw is en niet een gevolg van contrast met de hoofdster.

§ 2. Verschillende hypothesen over de veranderlijke sterren. — Rotatie-hypothese. — Gissing van Maupertuis. — Sterverduisteringen. — Spectraal-analyse en bewijs van waterstofgas-verbranding.

Om de veranderingen te verklaren, welke men in den lichtglans en de kleur der sterren waarneemt, maakt men tal van gissingen, waarvan wij thans verslag zullen geven; het blijven echter hypothesen, meer of minder waarschijnlijk, want de ware oorzaak kan tot nu toe nog met geene zekerheid worden aangegeven, 't is mogelijk dat bij verscheidene veranderlijke sterren ook verschillende oorzaken werkzaam zijn.

De oudste gissing over de veranderlijke sterren was, dat zich op zulk een hemellichaam groote gedeelten bevonden, welke duister en wederom andere gedeelten, welke lichtend waren; men ging van de vooronderstelling uit, dat zulk eene ster om hare as wentelde, en dan eens hare duistere dan weder hare lichtende zijde naar ons keerde. Deze hypothese bezat zekere waarschijnlijkheid, omdat men weinige jaren te voren de omwenteling der Zon had ontdekt, en het dus zeer natuurlijk was zulk eene beweging ook in de sterren te vooronderstellen. Wat de meerder of minder lichtende kanten betreft op die bollen zulks kon gemakkelijk verklaard worden door eene opeenhooping van vlekken, zooals wij die op de Zon waarnemen. Hoewel niet alles daardoor wordt verklaard, toch is deze hypothese zoo weinig

onwaarschijnlijk, dat men de asbeweging als eene der hoofdoorzaken beschouwd van de veranderlijkheid, welke men in den lichtglans der vaste sterren waarneemt, vooral wanneer die veranderlijkheid aan vaste tijdperken verbonden is en geregeld plaats grijpt.

Het is echter niet de eenig mogelijke hypothese; om de onregelmatigheden bij die lichtveranderingen te verklaren, neemt men zijne toevlucht tot de vooronderstelling, dat in die ver verwijderde zonnen hetzelfde plaats vindt wat wij in onze Zon opmerken, namelijk eene verandering in de zonnevlekken. Sommige sterrenkundigen maken de gissing, dat de veranderlijke sterren zonnen zijn, zoozeer afgekoeld, dat er op hunne oppervlakte vaste gedeelten ontstaan zijn, het zouden dus eene soort van omkorste zonnen zijn.

Maupertuisus maakte eene zonderlinge hypothese; hij meende dat die hemellichamen eene zeer snelle omwentelingsbeweging en daarom eene buitengewone afplatting hadden, waardoor zij meer de gedaante kregen van molensteenen dan van bollen; nu dacht hij dat zij dan eens hunne breede en dan weder hunne smalle zijde ons toekeerden en van daar grooter of kleiner lichtglans vertoonden. Om die verschillende wenteling te verklaren nam hij eene tweede hypothese aan, dat er namelijk om die bollen groote planeten liepen langs zeer uitmiddelpuntige banen, die, wanneer zij in hun perihelium waren, zulk een grooten invloed uitoefenden op de Zon, om welke zij wentelden, dat hare gansche omwentelingsas van richting veranderde. Deze hypothese is echter geheel onhoudbaar, omdat zij in strijd is met alle wetten der hemelsche werktuigkunde.

Om de periodieke veranderlijkheid der sterren te verklaren heeft men eene andere hypothese aangenomen, welke bij sommige sterren eene groote waarschijnlijkheid verkrijgt; men vooronderstelt dat de loopbaan van sommige planeten, welke die zonnen omgeven, in eene rechte lijn met onze Aarde ligt, zoodat wij op bepaalde tijden eene sterverduistering zien. Bij sommige sterren, zooals bij Algol, kan men door zulk eene hypothese de lichtverandering verklaren, maar bij de meeste anderen niet, want dan moesten de periode, waarop de ster verdwijnt en de aangroeiing of vermindering van den lichtglans zeer kort zijn in evenredigheid met de periode, waarin zij een blijvenden lichtglans vertoont; zulks zien wij wel bij Algol, wier vermindering zeer kort is met betrekking tot de gansche lichtperiode, maar bij de meeste anderen gaat deze hypothese niet op.

In plaats van donkere planeten, waardoor het licht der sterren verduisterd wordt, heeft men nevelwolken voorondersteld, die zich op bepaalde tijdstippen tusschen de ster en onze Aarde plaatsten, en daar zulke nevelwolken lang uitgestrekte vormen kunnen hebben, zooals de meteorstroomen in ons zonnestelsel, kan men daardoor op eene meer voldoende wijze de waargenomene verschijnselen verklaren; die hypothese vindt eene zekere bevestiging in de waarneming, welke men gedaan heeft, dat sommige veranderlijke sterren op het tijdstip van hunnen minsten lichtglans zich door eene soort van nevel omringd vertoonden.

Het valt moeielijk te beslissen, welke van die onderscheidene hypothesen de waarschijnlijkste is; misschien hebben zij allen iets waars, maar de hypothese over de rotatie als oorzaak der veranderlijkheid is wel de meest aangenomene, en dan zou de lijst, welke wij vroeger gaven van de veranderlijke sterren met hunne waargenomene perioden ons tevens den duur aangeven van den tijd, waarop die zonnen hare omwenteling volbrengen; dan zou Algol eene rotatie-beweging hebben ongeveer negenmaal sneller dan onze Zon, terwijl de laatstgenoemde ster dier lijst, 30 uit de Hydra, bijna twintigmaal langzamer om hare as zou wentelen dan het middelpunt van ons stelsel.

Die rotatie-hypothese verklaart echter niet geheel en al de verschijnselen ons gegeven door de onregelmatig veranderlijke sterren, door de zoogenaamde nieuwe sterren en door dezulken, die verdwenen zijn; daartoe moet men zijne toevlucht nemen tot de vooronderstelling, dat er in die sterren zelve groote veranderingen hebben plaats gehad, wij zullen er aanstonds voorbeelden van zien. Dit echter blijft waar, dat men door het aannemen van een duister voorwerp, dat zich geplaatst heeft tusschen de ster en onze Aarde tot op eene zekere hoogte rekenschap kan geven van de lichtverzwakking gedurende geruimen tijd.

Wanneer men de nieuw verschenen sterren, zooals die uit de Kroon en uit de Zwaan, ook onder de veranderlijke sterren rangschikt, wier periode van vermindering of uitdooving zeer lang is, hoe is dan die plotselinge lichtkracht te verklaren, waardoor zij eensklaps in vollen luister schitteren?

Om dit te verklaren vooronderstelde men in zulke sterren eene verbazend snelle beweging, waardoor zij in korten tijd onze Aarde naderden of er zich van verwijderden, maar dan moet men in die

hemelbollen eene snelheid aannemen, welke die van het licht verre overtreft, want om van de eerste grootte tot de tweede te verminderen, alleen door verandering in den afstand, zou volgens Arago zulk eene ster zes jaren noodig hebben om zich met de snelheid des lichts verder te verplaatsen, en de ster van 1572 in Cassiopeia werd in den tijd van ééne maand eene sterregrootheid minder. Men moet dus vooronderstellen, dat zulke hemelbollen op hunne baan voortwentelen met eene snelheid 72maal grooter dan de snelheid van het licht, en al behoort zulks niet tot de onmogelijkheden toch schijnt het hoogst onwaarschijnlijk.

Een andere en door de spectraal-analyse waarschijnlijk gemaakte hypothese schrijft zulk eene plotselinge verschijning in volle lichtkracht toe aan een reusachtigen brand, welke plaats vindt op de oppervlakte van tot op dat oogenblik duistere wereldbollen, wij zouden dus het schouwspel van den ondergang eener wereld voor oogen hebben.

De waarnemingen door de spectraal-analyse, vooral bij de verschijning van de nieuwe ster in de Kroon in 1866, hebben die hypothese zoo niet bevestigd dan toch waarschijnlijk gemaakt, en een nieuw licht doen opgaan over de physische en chemische samenstelling der sterren. Aan Huggins, Miller en Secchi ontleenen wij de volgende bijzonderheden. Het spectrum van de veranderlijke ster uit de Kroon vertoont zich dubbel. In het eerste spectrum vertoonen zich vier heldere strepen, het tweede is geheel en al overeenkomende met het zonnenspectrum; blijkbaar komen die beide spectra voort uit twee van elkander onafhankelijke lichtbronnen.

Het spectrum, dat met zwarte strepen doorsneden is, levert het bewijs van eene photosfeer in gloeienden toestand, omringd door eene atmosfeer van dampen in minder verhitten toestand, waardoor de zwarte absorbtie-strepen veroorzaakt worden; in zooverre komt dit spectrum met dat van de Zon geheel overeen, maar het tweede vertoont schitterende strepen; er bestaat dus een tweede lichtbron, en die bron moet een lichtgevend gas zijn; de strepen, die er zich in vertoonen leeren ons, dat dit gas vooral waterstof moet bevatten, en omdat die strepen helder zijn, bewijzen zij dat de gloeikracht van dit gas grooter is dan van de photosfeer, anders zouden zij niet helder maar donker wezen.

Uit die feiten, in overeenstemming met de zoo plotselinge lichtsterkte

der ster en met hare zoo snelle vermindering in 12 dagen van de tweede tot de achtste grootte, besluit men, dat zij plotseling omgeven is door een vlammeud waterstofgas; wellicht is het ook mogelijk, dat zij de zetel is geweest van eene groote beroering, waardoor die waterstof zich ontwikkeld heeft. Toen de waterstofgas uitgeput was werd de lichtkracht langzamerhand minder en de ster keerde tot haren eersten toestand terug. Wij moeten niet vergeten dat daar het licht, hoe snel ook, toch tijd noodig heeft om tot ons te komen, de gebeurtenis, welke wij bij de ster van de Kroon waarnamen, reeds jaren te voren had plaats gehad, want de blik op den hemel leert ons niet de tegenwoordige maar de vroegere geschiedenis der sterren kennen.

Wanneer het waar is, dat de nieuwe sterren, welke men ontdekt heeft, in den loop der eeuwen het tooneel geweest zijn van monsterbranden, waarbij de waterstofgas eene groote rol heeft kunnen spelen, dan blijven dergelijke verschijnselen ook voor ons stelsel van hoog belang, vooral sinds men ontdekt heeft, dat ook de photosfeer van onze Zon door eene laag hydrogeengas omringd is, waarin de vlammeude protuberancen zich vertoonen. Zie hieromtrent wat wij over de Zon schreven, bladz. 58.

TWEEDE BOEK.

DE NEVELVLEKKEN.

Wanneer men opmerkzaam den nachtelijken sterrenhemel gadeslaat, ziet men reeds met het bloote oog, maar meer nog met krachtige kijkers, sommige heldere voorwerpen, welke zich als wolkjes van meerdere of mindere lichtkracht vertoonen. Aan dergelijke voorwerpen heeft men den algemeenen naam van NEVELVLEKKEN gegeven, en de hemelruimte is er mede bezaaid, terwijl afmeting, glans en vorm een groot verschil opleveren. Dat zij geene wolken zijn en dus niet tot onzen dampkring behooren volgt reeds daaruit, dat zij onveranderd een vasten stand aan den hemel innemen. Zeer weinigen zijn voor het ongewapend oog waarneembaar, eensdeels om hare geringe afmetingen, en anderdeels, omdat zij door het licht van zich in hare nabijheid bevindende sterren overschitterd worden. Het getal echter, dat zich door krachtige kijkers laat waarnemen, is zeer groot, want zij worden bij duizendtallen geteld, zoodat er thans meer dan 5000 bekend zijn, welk getal voortdurend toeneemt, naarmate men met krachtiger kijkers de hemelruimte onderzoekt.

De kennis dier geheimzinnige voorwerpen is van zeer jongen datum, want vóór W. Herschel had alleen Messier in het begin van deze eeuw zich met de nevelvlekken beziggehouden.

Wat nu zijn de nevelvlekken? Zijn het ophooping van eene door het heelal verspreide wereldstof, of hemelwolken met eigen licht be-
deeld, of zijn het sterrengroepen zoo opééngepakt en zoo ver van ons verwijderd, dat alleen eene lichtschemering voor ons is waar te nemen, of bevatten die beide hypothesen waarheid?

Op die vragen zullen wij antwoorden door de vermelding der waar-

genomen feiten, die zeer merkwaardig zijn, omdat wij daardoor een nieuwen blik slaan in het samenstel en den bouw van het Heelal.

Wanneer wij sommige sterrengroepen beschouwen, bv. de Pleiaden, dan is het een feit, dat menschen met een zwak gezicht er geene enkele ster in waarnemen, maar slechts eene lichtschemering zien; voor zulke menschen hebben deze dus den schijn van eene nevelvlek, wordt echter hun oog gewapend met een krachtigen kijker, dan zien zij in plaats van eene lichtschemering verscheidene sterren. Ditzelfde vindt plaats met eene menigte nevelvlekken; waar een scherp oog of een zwakke kijker slechts eene lichtschemering waarneemt, daar ontbindt zich die schemering voor een sterk gewapend oog in eene groote menigte lichtende punten; vandaar eene eerste klasse van nevelvlekken of liever sterrenhoopen, namelijk dezulken, welke met goede kijkers geheel en al in sterren opgelost kunnen worden, zonder dat er eenige nevelachtigheid overblijft.

Eene tweede klasse bevat dezulken, welke slechts gedeeltelijk in sterren opgelost kunnen worden, en waarin zelfs bij sterke, krachtige kijkers eene nevelachtige lichtschemering overblijft.

Eindelijk behooren tot eene derde klasse al die vlekken, waarin zelfs de krachtigste werktuigen geene enkele ster kunnen onderscheiden, en die men daarom onoplosbaar noemt.

Zulk eene indeeling is echter zeer betrekkelijk; zij is geheel afhankelijk van de kracht der kijkers, de scherpte van den blik en de zuiverheid van den dampkring. Het is dus zeer wel mogelijk, dat eenige nevelvlekken, welke in de tweede of derde klasse gerangschikt worden, eigenlijk in de eerste behooren, als zijnde eene groep dicht bij elkander geplaatste sterren, terwijl anderen werkelijk ophooping van wereldstof. De spectraal-analyse heeft ook in dit opzicht aanwijzingen gedaan, die zeker tot de merkwaardigste ontdekkingen op sterrenkundig gebied behooren.

Vóórdat wij in bijzonderheden treden over de verschillende nevelvlekken der opgenoemde soorten, willen wij eerst den stand opmerken, welken zij aan den sterrenhemel innemen.

Zoowel in het noorder- als in het zuider-halfond is die verdeeling zeer ongelijk, want wij vinden de grootste ophooping der nevelvlekken in eene bepaalde streek, die nauwelijks het achtste gedeelte van het hemelgewelf inneemt, juist aan weerszijden van den Melkweg bij de beide

polen van dien lichtenden gordel; terwijl de streken dicht bij den Melkweg het armste zijn aan zulke nevelvlekken.

De eene streek, waarin zich de meesten vertoonen, omvat de sterrenbeelden den Leeuw, den Grooten Beer, de Giraffe en den Draak, Boötes, het hoofdhaar van Berenice, de Jachthonden en vooral de Maagd, welke streek dan ook den naam ontving van nevelstreek van de Maagd.

Daartegenover aan de andere zijde van den hemel bevindt zich de tweede streek en omvat Andromeda, Pegasus en de Visschen. De andere streken des hemels bevatten weinig of geene nevelvlekken. Rondom de Zuidpool des hemels zijn de nevelvlekken, hoewel meer gelijkelijk verspreid, toch niet zoo talrijk; echter bewondert men daar twee opeenhoopingen, die alleen bijna 400 nevelvlekken of sterrenhoopen bevatten, de prachtige Magellaansche wolken genaamd, welke wij tegelijk met den Melkweg nader willen beschrijven.

I.

STERRENHOOPEN EN NEVELVLEKKEN.

§ 1. Regelmatige sterrenhoopen van bol- of sferischen vorm. — Groot aantal sterren, welke zij bevatten. — Sterrenhoopen uit Hercules, Pijl, Grooten Beer, Waterman, Perseus, Eenhoorn, Giraffe en Tweelingen.

Het twaalfde gedeelte van de thans bekende nevelvlekken is door den telescoop in sterren ontbonden, zoodat men onder de 5000 bekende vlekken van 400 reeds de zekerheid bezit, dat zij veroorzaakt worden door dicht opeengeplaatste zonnen.

Een klein aantal van die sterrenhoopen is lichtend en aanzienlijk genoeg om met het bloote oog waargenomen te kunnen worden, en de sterren zijn zoodanig op elkander gedrongen, dat het onmogelijk is ze niet te beschouwen als bij elkander behoorende, als ware verzamelingen en stelsels van zonnen.

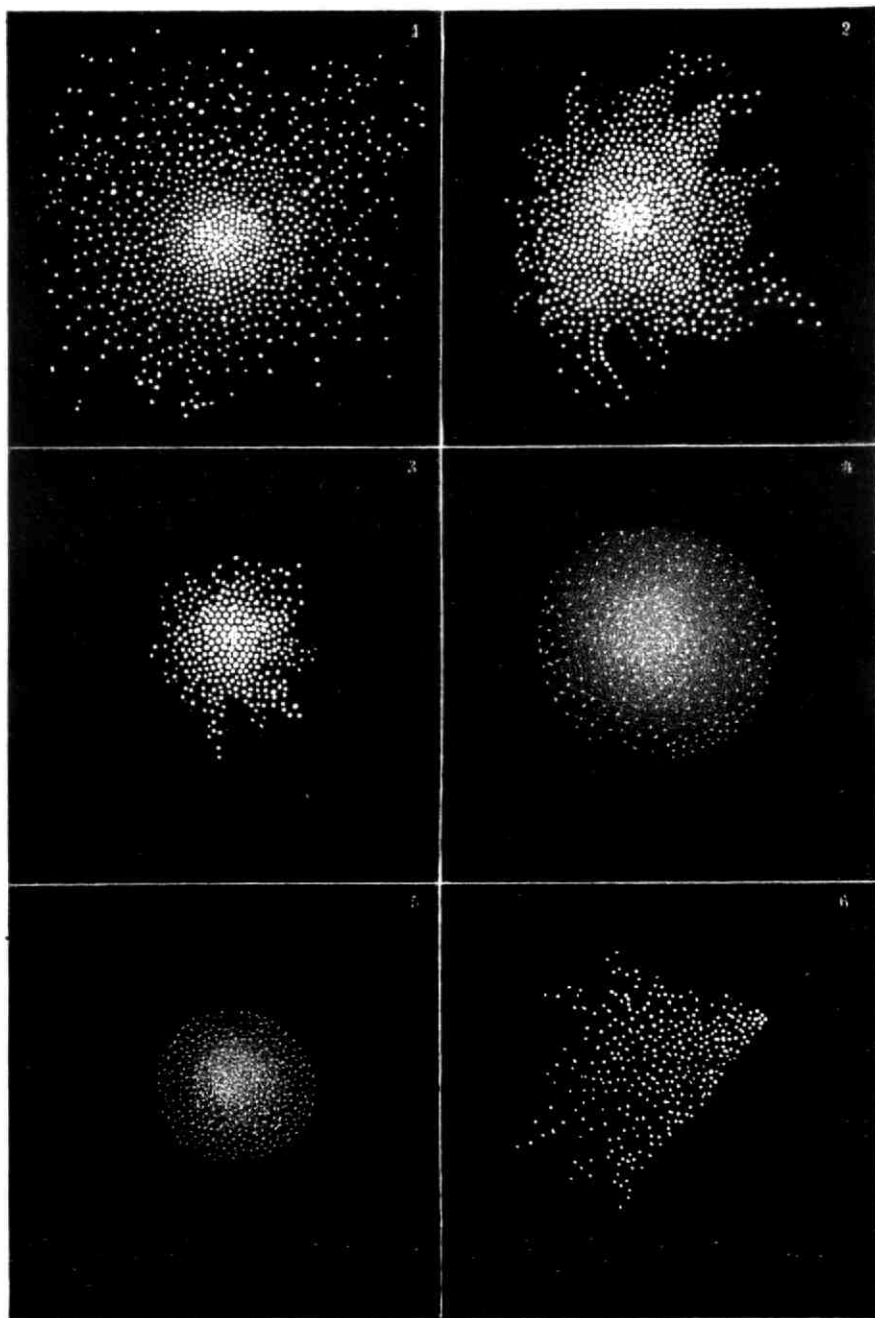
Hun vorm, welke gewoonlijk rond is, maakt dat men ze gemakkelijk met kometen zou verwarren, wanneer men niet zeer bekend is met de verschillende streken van den sterrenhemel; hun blijvende vorm echter en de onveranderde stand doet hen zonder verder onderzoek van de kometen onderscheiden.

Evenzoo is het met die sterrenhoopen, welke een zeer onregelmatigen omtrek hebben, en bij de zoodanigen is het aantal sterren, waarin zij ontbonden worden, gewoonlijk veel geringer dan bij dezulken, die den bolvorm vertoonen. Wanneer wij bijv. Fig. 1, 2 en 3 van plaat L beschouwen, bemerken wij eene sterke verdikking of concentratie naar het middelpunt toe. Die schijnbare opeenhooping in het midden verklaart zich gemakkelijk, wanneer wij vooronderstellen, dat de vorm van de gansche verzameling bolvormig of langwerpig rond is. Want in de vooronderstelling, dat de sterren overal gelijkelijk verdeeld zijn, is het duidelijk dat de meesten zich schijnbaar in het midden zullen ophoopen, wanneer wij met ons oog de gansche menigte in hare grootste middellijn doorschouwen, terwijl aan hare kanten, waar wij kleinere gedeelten zien, zich ook minder sterren zullen vertoonen. De opeenhooping, welke wij bij de sterrenhoopen, die een regelmatigen bolvorm hebben, waarnemen, is dus een gevolg der perspectief.

Men heeft echter waargenomen, dat bij sommige sterrenhoopen de vermeerdering van lichtkracht naar het midden toe veel sneller toeneemt dan bij eene gelijkelijke verdeeling van sterren te verwachten is, en daaruit nu heeft men het besluit gemaakt, dat, behalve die schijnbare en optische verdikking, er toch ook eene ware opeenhooping naar het midden toe bestaat, welke hare oorzaak vindt in de centrale krachten, voortkomende uit de zwaartekracht van die zonnen, welke tot dat stelsel behooren.

Men vergeete echter niet, dat, hoe gering de uitgebreidheid van zulk een sterrenhoop ook voor ons oog is, hun afstand echter zoo verbazend groot is, dat die zonnen, welke wij opééngedrongen waarnemen, toch wellicht een onderlingen afstand hebben als die van de naaste vaste ster tot onze Zon, daarom kunnen hunne bewegingen met orde geschieden in zoodanige ruimten als het algemeene evenwicht daar veroorlooft, zoodat daar waar voor ons oog zich zwermen van zonnen bewegen, geene stoornis of schokken plaats hebben, maar de volkomenste orde en regelmaat heerscht.

Het getal sterren, dat men in de bolvormige sterrenhoopen waarneemt, is wonderbaar groot. Op plaat XL zagen wij reeds, dat het Zuiderkruis, zoo merkwaardig om de verschillende kleuren der sterren, er 110 bevatte. Herschel echter heeft berekend, dat vele sterrenhoopen niet minder dan 5000 sterren bevatten, opeengedrongen in



Uitgegeven door de W.M. Trap

STERRENHOOPEN (volgens teekeningen van J. Herschel).

1. Sterrenhoop uit de Weegschaal. 2. uit Herkules 3. uit den Steenbok
4. uit den Waterman 5. uit de Slang 6. uit de Tweelingen.

eene voor ons schijnbare ruimte tienmaal kleiner dan de schijf der Maan. Zulk een sterrenhoop ontdekken wij in het sterrenbeeld Hercules, tusschen de *Éta* en de *Zêta*, een der prachtigste voorwerpen aan den noorderhemel (Plaat L Fig. 2). In een helderen nacht is die sterrenhoop voor het bloote oog zichtbaar als eene ronde lichtende nevelvlek, maar met een goeden kijker waargenomen ontbindt zij zich in ontelbare sterren, zij behoudt haren ronden vorm met eene soort franje aan hare kanten, welke allen naar dezelfde zijde uitloopen. In het midden zijn de sterren zoo opeengedrongen, dat men ze daar niet van elkander gescheiden kan waarnemen.

De tegenwoordige krachtige werktuigen, vooral de reuzentelescoop van Lord Rossi, heeft een aantal vlekken, waarin men vroeger met mindere kijkers slechts eene schemering kon ontdekken, thans geheel in sterren ontbonden, en daardoor vielen vele hypothesen daarop gebouwd in duigen. Zoo bijv. neemt men niet verre van de ster *gamma* in het sterrenbeeld den Pijl eene nevelvlek waar, door Messier ontdekt, die haar als geene sterren bevattend beschreef. De oudere Herschel bemerkte, dat de vorm dier vlek elliptisch was, en meende dat die vlek zich wel in sterren zou doen oplossen. De jongere Herschel beweerde, dat het eene sterk afgeplatte nevelmassa was, welke eene omwenteling had om hare kleine as, maar in den jongsten tijd maakte Lord Rossi een einde aan alle dergelijke gissingen, daar hij met zijn telescoop den ganschen nevel in sterren oploste.

Evenzoo is het geval met de nevelvlek in den Grooten Beer, dicht bij de ster *gamma*. Messier beschreef haar als geheel zonder sterren, en moeielijk waar te nemen. De oudere Herschel beschreef haar als eene halfronde nevelmassa door een lichten schijn omgeven, welchen de jongere Herschel voor een nevelring verklaarde. Rossi's telescoop loste echter alles in sterren op. Het middengedeelte er uit eene menigte heldere sterren, terwijl de gewaande kere is samengesteld. Het geheel heeft den schijn van ons stelsel uit het wijde wereldruim bezien.

De schoone sterrenhoop uit den Waterman (Plaat L, Fig 4), we door Herschel vergeleken werd bij goudzand, vertoont zich in de kijker van Rossi als eene prachtige vereeniging van sterren.

Over de beide heerlijke vlekken uit Andromeda en Orion, welke reeds gedeeltelijk in sterren ontbonden zijn, spreken wij later.

Nog vindt men in het sterrenbeeld Perseus eene lichte wolk, voor

het ongewapend oog reeds zichtbaar; door een middelmatigen kijker vertoont zich die groep als een prachtig schouwspel met eene dubbelster in het midden.

De volgende met het bloote oog zichtbare nevelvlekken, welke zich door een goeden kijker als sterrenhoopen doen kennen, ontleenen wij aan het nooit genoeg gewaardeerde werk van onzen landgenoot, prof. Kaiser, "De sterrenhemel" beschreven.

Twee er van bevinden zich in het sterrenbeeld de Eenhoorn, en beiden zijn door een kleinen kijker in sterren te ontbinden; de eerste nevelvlek is in den Melkweg geplaatst, ten oosten van de heldere ster *Betelgeuze* uit Orion. De tweede is te vinden ten zuid-oosten van *Procyon* uit den Kleinen Hond.

Evenzoo ziet men in de Giraffe tusschen den Voerman en Cassiopeia eene langwerpige vlek, welke vele zeer heldere sterren bevat. Ook in de Tweelingen, juist bij den Zonsweg, vertoont zich zulk eene groep, waarin een matige kijker een tal van sterren ontdekt (Plaat L, Fig. 6). Zij heeft een driehoekigen vorm, waarin geene concentratie is waar te nemen, hoewel het schijnt dat de sterren, waaruit deze verzameling bestaat, zich in hunne beweging naar eene massa richten in den top van de schijnbare pyramide geplaatst. Andere gemakkelijk te vinden sterrenhoopen zullen wij met de voornaamste nevelvlekken aanteekenen op de aan dit werk toegevoegde sterrenkaart.

§ 2. Onopgeloste nevelvlekken. — Voorkomen in de kijkers. — Regelmatige vormen: rond, elliptisch, ringvormig. — Nevelvlekken uit de Lier. — Planeetachtige nevelvlekken, gissingen naar hunne natuur. — Nevelsterren en hypothesen daarover. — Spiraalvormige vlekken uit de Jachthonden, de Maagd en Cepheus.

De nevelvlekken, waarop wij tot nu de aandacht vestigden, kunnen door meer of minder krachtige kijkers in sterren ontbonden worden; zij worden juister aangeduid met den naam van sterrenhoopen of sterrentrossen.

Hebben die zonnen, welke wij in die groepen waarnemen, dezelfde natuur als de sterren, welke wij schijnbaar verspreid aan den hemel zien fonkelen? Heeft iedere groep hare eigenaardige physische en chemische samenstelling?

Ziedaar vragen, waarop wij het antwoord schuldig moeten blijven, alleen de spectraal-analyse kan er wellicht eenig licht over verspreiden. Daardoor is het misschien tevens mogelijk onderscheid te maken

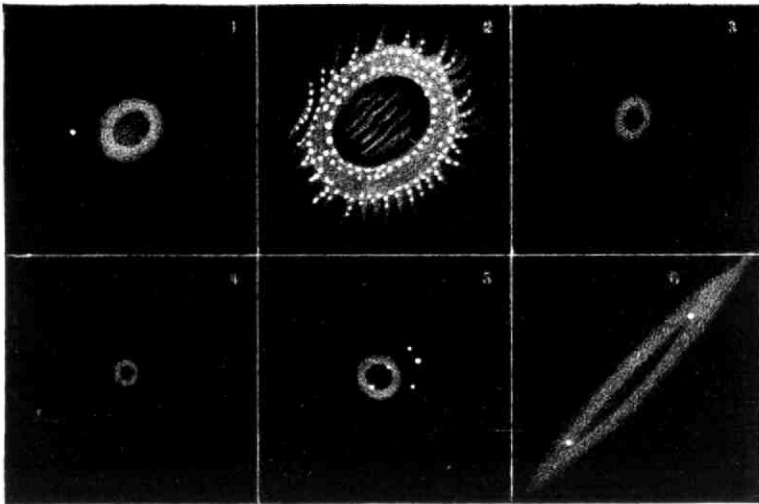
tusschen vlekken, welke uit sterren bestaan, hoewel de krachtigste telescopen ze niet vermogen in sterren te ontbinden en tusschen vlekken, welke niet door sterren maar door eene wereldstof gevormd zijn; over de waarnemingen in dit punt door sommige sterrenkundigen gedaan, spreken wij later.

Thans willen wij eenige nevelvlekken beschrijven, welke door den telescoop of gedeeltelijk of in het geheel niet in sterren ontbonden zijn; wij zullen slechts rekenschap geven over den vorm, waarin zij zich in de kijkers voordoen. Het groot verschil in afstand dat er bestaat bij die zonnenvereeningen of ophooping van nevelstoffen moet noodzakelijk van grooten invloed wezen op hun voorkomen, en hoewel iedere verdeeling zeer willekeurig is, is het toch de gemakkelijkste wijze om eenige orde in zooveel rijkdom te verkrijgen. Wij besluiten voor als nog niets over den physischen toestand dier vlekken, maar beschouwen ze volgens den vorm, en onderscheiden dan ronde, elliptische, ringvormige, kegelvormige en spiraalvormige vlekken.

Wij beginnen met den regelmatigen ronden vorm.

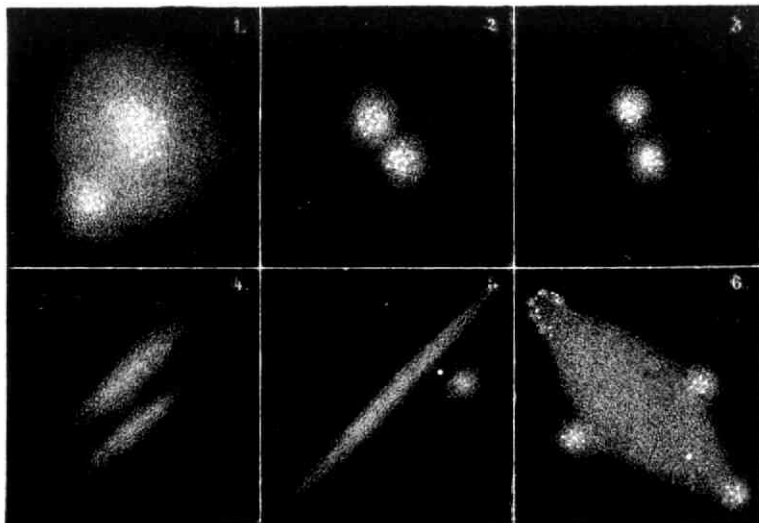
De ronde, elliptische en ringvormen zijn de algemeensten, welke wij bij de vlekken waarnemen. Waarschijnlijk zijn een groot aantal vlekken met zulk een vorm slechts verzamelingen van sterren, welke wij om den verbazenden afstand niet onderscheiden kunnen, zoodat het geheel zich zelfs in de krachtigste kijkers als eene lichtchemering voordoet.

Dat zulk eene gissing volstrekt niet onwaarschijnlijk is blijkt daaruit, dat naarmate men volmaakter en krachtiger werktuigen weet samen te stellen, men nevelvlekken in sterren oplost, welke men vroeger als onoplosbaar had beschouwd, en met zulke krachtige kijkers gewapend, ontdekt men dan in de diepte des hemels weer nieuwe vlekken. Plaat LI vertoont ons een paar voorbeelden van zulke cirkelvormige en langwerpige ronde nevelvlekken. Ja bij sommigen gaat de ovale vorm bijna in eene rechte lijn over, zooals Fig. 6 uit Andromeda en Fig. 5 uit Berenice ons toonen. Bij de meeste ronde nevelvlekken neemt men naar het midden eene soort van verdikking of liever sterkeren lichtglans waar, waardoor zich eene groote overeenkomst verraadt met de sterrenhoopen van ronden vorm. In sommige vlekken geschiedt echter die wassende lichtsterkte niet gelijkmatig, maar meer alsof er rondom het middelpunt lagen zijn geplaatst, en



RINGVORMIGE NEVELVLEKKEN.

1 uit de Lier volgens Herschel. 2 dezelfde volgens Rosse. 3 uit de Zwaan
4 uit den Slangendrager. 5 uit den Schorpioen. 6 bij γ van Andromeda



GROEPEN VAN NEVELVLEKKEN.

1 uit de Maagd. 2 uit Berenice. 3 uit den Waterman. 4 uit de Maagd.
5 uit Berenice. 6 uit de groote Magellaansche wolk

daardoor verkrijgen zij dan eene nieuwe gelijkheid met de sterrenhoopen, welke men reeds in sterren ontbonden heeft.

De ovale vorm, welke soms voor het oog met eene rechte lijn gelijk staat, behoort waarschijnlijk tot massa's, die zeer afgeplat zijn, en welke wij op den kant zien. Een klein aantal nevelvlekken vertoonen zich in een geheel eigenaardigen, merkwaardigen vorm, namelijk ringvormig. Zulk een zeer belangrijk voorwerp vindt men in het sterrenbeeld de Lier, tusschen de beide sterren *Bêta* en *Gamma* niet verre van de heldere ster *Vega*; de schijnbare grootste middellijn bedraagt 1 minuut. Een nevelachtige ring omgeeft eene minder heldere kern. (Zie Plaat LI, Fig. 1). Door den grooten kijker van Lord Rossi heeft de vlek wel haren vorm behouden, maar biedt zij vele bijzonderheden aan. (Zie Fig. 2 van Plaat LI). De binnenste en buitenste randen van den ring zijn bedekt met een krans van lichtende punten, waarschijnlijk sterren, en in het meer duistere midden vertoonen zich evenwijdige lijnen, terwijl de vlek zelve als met franje omboord is en uitvloeit.

Nog geven wij volgens de teekening van J. Herschel een paar voorbeelden van dergelijke ringvormige nevelvlekken, een bij het sterrenbeeld de Zwaan en een in den Slangendrager. (Plaat LI, Fig. 3 en 4). De nevelvlek uit den Schorpioen en de zoo langwerpige uit Andromeda komen daarin overeen, dat beiden aan weerszijden in den ring eene ster hebben, de eerste in de richting van de korte en de tweede in de richting van de lange as. (Plaat LI, Fig 5 en 6).

De eigenlijk genoemde planeetachtige nevelvlekken zijn de merkwaardigste voorwerpen aan den hemel. Zij dragen dien naam, omdat hun vorm ons de schijf eener planeet vertoont met een zwak licht bedeed. Wat hen onderscheidt van de boven reeds genoemde ronde en ovale nevelvlekken is de gelijke lichtkracht over de gansche oppervlakte verspreid, want men neemt volstrekt geene verdikking of vermeerdering van lichtkracht naar het middelpunt toe waar, zooals bij de eerste, alleen aan den rand van de nevelachtige schijf merkt men eene geringe lichtvermindering op.

Daaruit heeft men willen besluiten, dat zulke vlekken niet veroorzaakt worden door eene sferische opeenhooping van sterren, want dan moest bij eene gelijkmatige verdeeling over de gansche groep, de perspectief, zooals wij hier boven reeds aanmerkten, ons noodzakelijk eene schijnbare concentratie vertoonen. J. Herschel maakte de gissing, dat de sterren in zulke vlekken bij wijze van eene holle schelp ge-

plaatst waren, hetgeen echter onwaarschijnlijk is. William Herschel over die planeetachtige vlekken sprekende, zegt in zijne verhandeling daarover in 1802: "Wanneer wij aannemen, dat zulke nevelen eene groote massa nevelstof bevatten, gelijk aan die, waaruit onze Zon bestaat, dan nemen wij aanstonds waar, dat de lichtkracht veel minder is dan die op deze laatste; een enkel gedeelte immers van onze zonnenschijf, 15 seconden groot, verspreidt veel meer glans dan de volle Maan, en het licht van een planeetachtigen nevel van dezelfde uitgebreidheid, evenaart nauwelijks de lichtkracht van eene ster der 8^{ste} of 9^{de} grootte.

In de vooronderstelling dat zij ophoopingingen van sterren zijn, op zulk een verbazenden afstand, dat zij zoo kort op elkander gedrongen schijnen, kan men zich geen rekenschap geven, waarom hun glans zoo gelijkelijk over de gansche vlek verspreid is, zonder verdikking in het midden, en zijn het onregelmatige groepen van sterren, dan is de ronde vorm onverklaarbaar. Daarom komt Herschel later tot de gevolgtrekking, dat die nevelen zich wellicht uit grootere nevelen, langzamerhand hebben samengetrokken of verdikt, zoodat zij in latere tijden sterren zullen worden. Waarschijnlijk zegt Herschel, wentelen zij allen om eene as en verkrijgen dan daardoor een afgeplatten vorm aan de polen.

Dergelijke hypothesen worden echter door de latere waarnemingen met krachtige kijkers niet bevestigd, integendeel daardoor vervallen alle gissingen, welke men gemaakt had over de gelijkelijk verspreide lichtkracht. Een bewijs welk een invloed krachtige kijkers hebben, wordt ons geleverd bij de planeetachtige nevelvlek in den Grooten Beer bij de ster *Bêta*. De middellijn dier vlek bedraagt ongeveer 3 minuten en de schijf toont zich scherp begrensde. In den reuzenkijker van Lord Rossi verdwijnt de gelijkvormige verlichting dier vlek en vertoont zij zich geheel anders; dan ziet men op de schijf twee duistere vlekken, in wier midden zich twee heldere punten vertoonen, die geheel den schijn van sterren hebben, en hieruit volgt dus, dat die nevel niet tot de planeetachtigen behoort.

Een tweede voorbeeld vinden wij in de nevelvlek van Andromeda, dicht bij de ster *Kappa*; volgens de waarneming van Herschel was deze nevelvlek zuiver rond en van gelijke lichtkracht, maar toen Lord Rossi er zijn krachtiger telescoop op richtte, nam hij er een lichten ring in waar.

Eenzoo is het met andere nevelvlekken, zoodat het zeer gewaagd is om, alleen steunende op den vorm, waarin zulk een voorwerp zich in den kijker vertoont, hypothesen te bouwen, welke door de waarneming met krachtiger kijkers weersproken worden.

Eene andere soort van geheimzinnige voorwerpen aan den hemel, zijn de zoogenaamde nevelsterren, wier natuur nog geheel in het duister is gehuld. Zij vertoonen ons nevelvlekken, in wier midden zich eene of meer sterren bevinden, zij nemen verschillende, maar immer zeer regelmatige vormen aan. Eene menigte van waarnemingen zullen nog moeten geschieden, om eenigszins nader met den toestand waarin zij zich bevinden bekend te worden; want dat sterren zichtbare dampkringen bezitten en wel van zulk eene uitgebreidheid, is moeielijk aan te nemen, wanneer wij ten minste die nevelen niet beschouwen als met eigen licht bedeed.

Dat het centraalpunt eene ster is, is aan geen twijfel onderhevig, want het verschilt in niets met sterren van dezelfde grootte; zoo wij ons echter den grooten afstand van zulke sterren in herinnering brengen, dan is de uitgebreidheid van den hen omgevenden nevel waarlijk wonderbaar groot; daarom geloofden Derham en Lacaille, dat zulke nevelen in geen verband met die sterren stonden, maar dat de samenhang slechts schijnbaar was.

Mairan weersprak het eerst en met recht die meening, en de talrijke waarnemingen van den ouderen Herschel bewezen de onhoudbaarheid dier hypothese; want het kan geen toeval wezen, dat bij zulke ronde vlekken de ster juist in het middelpunt staat, en bij een ovaalen vorm vindt men gewoonlijk eene ster in ieder van de beide brandpunten; er schijnt dus een physische samenhang te bestaan van de ster met den haar omgevenden nevel. De hypothese, dat zulke nevelvlekken zich in eene periode van concentratie bevinden, en dat wij in de in het middelpunt geplaatste ster, reeds eene beginnende zon waarnemen, is vooralsnog even onbewezen als eene andere meening van Herschel, dat er in de hoogere streken des hemels zich ook eene duistere nevelstof bevindt, en als eene heldere ster door dien nevel heen schijnt, wij dan de zoogenaamde nevelsterren verkrijgen.

Wanneer wij de hypothese van eene wereldstof aannemen, waaruit zich in de hoogere streken des hemels sterren- en zonnestelsels vormen, waarover wij later zullen handelen, dan moeten wij met zekere

verbazing de spiraalvormige nevelen beschouwen, waar wij dan zulk eene wereldvorming onder onze oogen zien plaats grijpen. Wij moeten echter niet vergeten, dat de vorm waaronder de nevelvlekken zich aan ons vertoonen, grootendeels schijnbaar is, want naarmate er krachtiger werktuigen worden aangewend, verdwijnt de eerst waargenomen vorm soms gedeeltelijk, soms geheel en al; een voorbeeld daarvan, gaven wij in Fig. 1. en 2. van plaat LI., waar de nevelring uit de Lier zich in den kijker van Rossi geheel anders vertoont, dan in den minder krachtigen van Herschel. Dat zulk eene verandering in den vorm slechts schijnbaar is, laat zich gemakkelijk begrijpen. Wij hebben daarvan een voorbeeld in de verbazingwekkende nevelvlek uit de Jachthonden. Herschel teekende die vlek af, als een ring, waarvan de eene helft dubbel was en welke eene heldere, ronde nevelvlek of kern omgaf, terwijl op korten afstand buiten den ring, zich eene tweede heldere nevelvlek bevond. Toen echter Lord Rossi dat voorwerp met zijn zooveel maal sterker telescoop waarnam, toen verdween de schijnbare ring, en een wonderbaar schouwspel vertoonde zich aan zijne blikken. (Zie Plaat LIII).

Schitterende spiraalvormige strepen, die ongelijk verlicht waren en bezaaid met eene menigte sterren, gingen uit het middelpunt van de nevelvlek; elkander omvattend en omsluitend, schijnen zij zich uit te breiden, in eene bepaalde richting uit te loopen en zich te verliezen, terwijl de kleine afgescheidene nevelvlek door zekere vertakkingen met de groote is verbonden. Volgens de nieuwste waarnemingen van Chacornae, heeft die kleine nevelvlek ook den spiraalvorm evenals de groote.

Welke hypothese men ook aanneemt, onze verbeelding blijft geslagen bij de beschouwing van zulk een grootsch schouwspel. In de vooronderstelling dat het eene nevelvlek is, welke door krachtige kijkers in sterren ontbonden kan worden, aan wien is het dan gegeven, die millioenen zonnen te schatten, wier licht dien wonderbaren en in lichtkracht zoo afwisselenden vorm te weeg brengt. Als men steunend op den afstand, zich de afmetingen van dat stelsel zoekt te verbeelden, dan schrikt men terug voor de diepte van het hemelruim, waarin de menschelijke blik is doorgedrongen.

Welk een tal van vragen dringt zich aan ons op. Is de spiraalvorm de eigenaardige en oorspronkelijke vorm van nevelmassa's, wier verdikking het aanzijn gaf aan de sterren, welke wij in die reusachtige

vereeniging zien schitteren, of wel hebben die sterren zulk eene spiraalbeweging in de nevelvlek veroorzaakt? Zie daar vragen wier beantwoording wellicht nog eeuwen van waarneming zal vereischen. Zal men in zulke vlekken veranderingen in den vorm waarnemen, die niet voortkomen uit krachtiger kijkers, maar die in werkelijkheid bestaan? Zulks zal de toekomst moeten leeren.

Die spiraalvorm is niet alleen eigen aan de nevelvlek in de Jachthonden, Pl. LII geeft ons nog een paar even merkwaardige voorbeelden, beiden volgens teekening van Lord Rossi.

Het eerste is uit de Maagd, de vier groote afdeelingen of takken van die spiraal zijn gescheiden door donkere tuschenruimten en zelve zijn zij verdeeld door minder heldere spiraalstrepen, waardoor minder gecondenseerde sterren worden aangeduid; het centraalpunt duidt duidlijk eene groote concentratie aan.

Fig. 2 vertoont ons eene groote nevelvlek met eene sterk aangeduide concentratie, waaruit takken schieten in den vorm van spiralen. Op vele plaatsen van die takken kan men andere punten van concentratie waarnemen. Zullen deze de rol van planeten vervullen, welke rondom hunne gemeenschappelijke zon loopen? Hoevele eeuwen zullen er nog voorbij moeten gaan, eer deze vraag beantwoord kan worden!

Naarmate men met meerdere zorg en gewapend met krachtiger werktuigen de hemelruimte doorzoekt, wordt het getal van de ontdekte spiraalvormige nevelen grooter. In het door Lord Rossi gegeven verslag in 1861 gaf hij reeds een veertigtal spiraalvormige vlekken aan, en bij een dertigtal giste hij denzelfden vorm.

§ 3. Groote onregelmatige nevelvlekken. — Verschil in voorkomen naargelang der kijkers. — Beschrijving der vlekken uit Andromeda, Dumb-bell uit den Vos, de Crab Nebula uit den Stier, en den Orionnevel.

De tot hertoe beschrevene nevelvlekken kenmerken zich door een zeer regelmatigen vorm, en als men daar bij voegt de lichtopeenhoo- ping in het middelpunt, of de in één punt zich kruisende strepen, dan is men gedrongen een zekeren gemeenschappelijken band onder al de sterren, waaruit zulk eene groep bestaat, aan te nemen, of in de vooronderstelling, dat zulk eene vlek uit eene nevelstof bestaat, dan moet men daarin een streven aannemen, om zich in één of meer punten van overwegende aantrekkingskracht te vereenigen en te concentreeren.

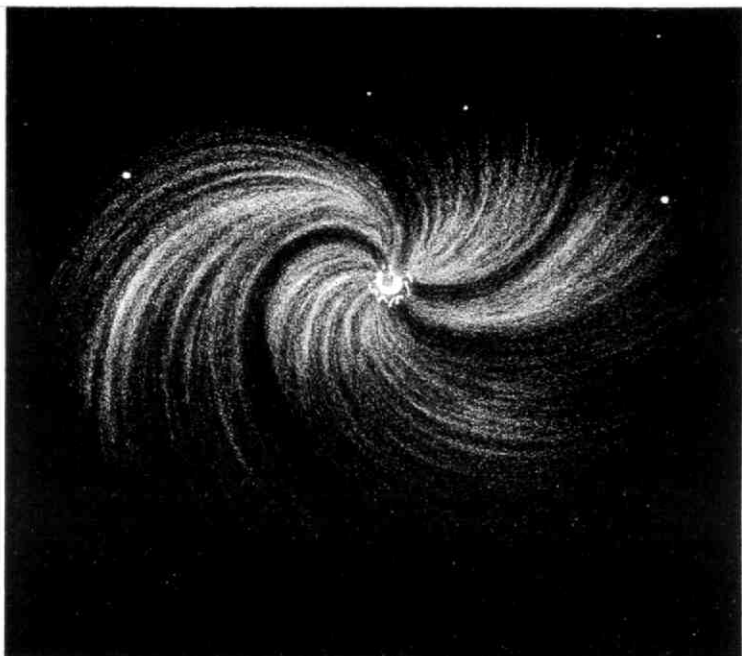


Fig 1 Spiraalvormige neveldek uit de Waagel volgens Lord Rosse



Fig 2 Spiraalvormige neveldek mit Cepheus volgens Lord Rosse

Behalve die regelmatige vormen vertoont het hemelruim ons groote vlekken zonder eenigen bepaalden vorm in weelderigen rijkdom en overgroote verscheidenheid.

Wij zullen eenigen der belangrijkste en meest bekenden nader beschouwen en beschrijven, waarbij wij nog eens opmerken, dat de vorm waarin zij zich vertoonen geheel schijnbaar is, daar de krachtige kijkers er nieuwe bijzonderheden in doen ontdekken, waardoor de gansche vorm verandert. Welk eene verbazende kracht de reuzenkijker van Lord Rossi ook bezit, wellicht zou met nog sterkere werktuigen een tal van bijzonderheden ontdekt worden, waardoor tot nu toe onoplosbare nevelvlekken in sterrenhoopen ontbonden worden, en regelmatige vormen zich als zeer onregelmatig doen kennen.

Hiervan hebben wij reeds een voorbeeld bij de nevelvlek van Andromeda. Simon Marius, die haar het eerst ontdekte, beschreef haar als een kaarslicht, dat men door een dun hoornplaatje beschouwt; Cassini hield haar voor driehoekig; Legentil noemde haar rond, terwijl Messier in 1864 haar als zeer langwerpige ovaal beschreef met eene sterke verdikking in het midden; Lamont beschouwde haar evenzoo, en toen hij eene 1200malige vergrooing gebruikte, ontdekte hij verschillende wolkachtige plaatsen, hetgeen hij als een zeker teeken aannam dat zij oplosbaar was. De groote kijker van Cambridge in Noord-Amerika, vertoonde den nevel weder in een anderen en wel zeer onregelmatigen vorm; daardoor loste men hem op in een zeer groot aantal sterren, zoodat Bond er 1500 telde, gelijktijdig vertoonden zich in haar midden twee evenwijdig loopende zwarte strepen, waardoor de nevelvlek in twee helften verdeeld wordt, waarin zich aan den eenen kant eene cirkelvormige en eene langwerpige lichte vlek vertoont en in de andere helft evenzoo eene langwerpige uitmiddelpuntig geplaatste lichtvlek. De gansche nevel is ongeveer $2\frac{1}{2}$ graad lang en 1 graad breed.

Een ander voorbeeld van zulke optische veranderingen, die enkel hunne oorzaak hebben in de meerdere of mindere kracht van den kijker, welken men gebruikt, geeft ons eene zeer merkwaardige nevelvlek uit het sterrenbeeld den Vos aan den noorder-hemel onder de Zwaan. J. Herschel gaf er het eerst eene teekening van en noemde haar Dumb-bell, volgens hare gelijkenis met een werktuig, dat men bij de gymnastie gebruikt, bij ons halter genoemd. Twee lichtmassa's verbonden door een korten hals vertoonden zich in dien nevel, terwijl het geheel omgeven was door een dun nevelhulsel in ovalen vorm. Toen

Rossi haar beschouwde met een kijker, wiens opening 3 voet bedroeg, bleek het reeds dat de nevelmassa's oplosbaar waren, en met zijn grooten telescoop van 6 voet opening zag hij talrijke sterren op een nevelachtigen grond. Het geheel behield zijn oorspronkelijken vorm. Fig. 1 van Plaat LIV geeft ons van dat zonderlinge voorwerp eene afbeelding.

De onregelmatige nevelvlekken vertoonen zich in de vreemdste vormen. Zoo bijv. de nevelvlek uit den Stier, die in kijkers van weinig vermogen zich als een regelmatige ovale vorm vertoont. In den kijker van Lord Rossi daarentegen vertoont zij zich als eene reusachtige krabbe, wier pooten en vinnen ons worden afgeteekend door lange sterrenrijen. (Zie Fig. 2, Plaat LIV).

De meer uitgebreide en groote nevelvlekken hebben om hunne onregelmatige en vormlooze massa's den schijn van wolken, die door stormen zijn verscheurd en van één gejaagd. In die zoo ver verwijderde opeenhoopingen heeft men echter aanduidingen ontdekt, dat zij in sterren oplosbaar zijn, zoodat daardoor het bewijs schijnt geleverd te worden, dat het onmetelijke sterrenhoopen zijn, archipels van werelden zonder tal; echter zullen wij zien dat de spectraal-analyse ons het bewijs levert, dat die vlekken toch ook gedeeltelijk uit nevelstof bestaan, uit gasachtige massa's, welke eigen licht bezitten.

Vooral dicht bij den Melkweg, midden in de schitterendste sterrenbeelden aan den hemel, vindt men de grootste nevelvlekken van zeer onregelmatigen vorm.

Eéne er van, die aan den noorderhemel voor het bloote oog zichtbaar is, zullen wij met zekere uitvoerigheid beschrijven, namelijk de zoo bekende nevelvlek van Orion.

Cysat was zoover wij weten de eerste, die deze nevel ontdekte en onze landgenoot Huyghens gaf in 1656 er het eerst eene tekening van, hoewel deze in niets overeenkomt met de afbeeldingen der nieuwere sterrenkundigen. Dominicus Cassini, Mairan, Picard, Legentil en Messier hebben zich op veelvuldige wijzen met den nevel uit Orion bezig gehouden; hunne kijkers waren echter te onvolkomen dan dat hun arbeid duurzame vruchten kon opleveren. De latere afbeeldingen door Herschel aan de Kaap de Goede Hoop gemaakt, alwaar de Orionnevel hooger boven den horizon rijst dan op onze breedte, winnen het in volmaaktheid; de schoonste afbeelding heeft Bond in Noord-Amerika ons geleverd. (Zie Plaat LV).

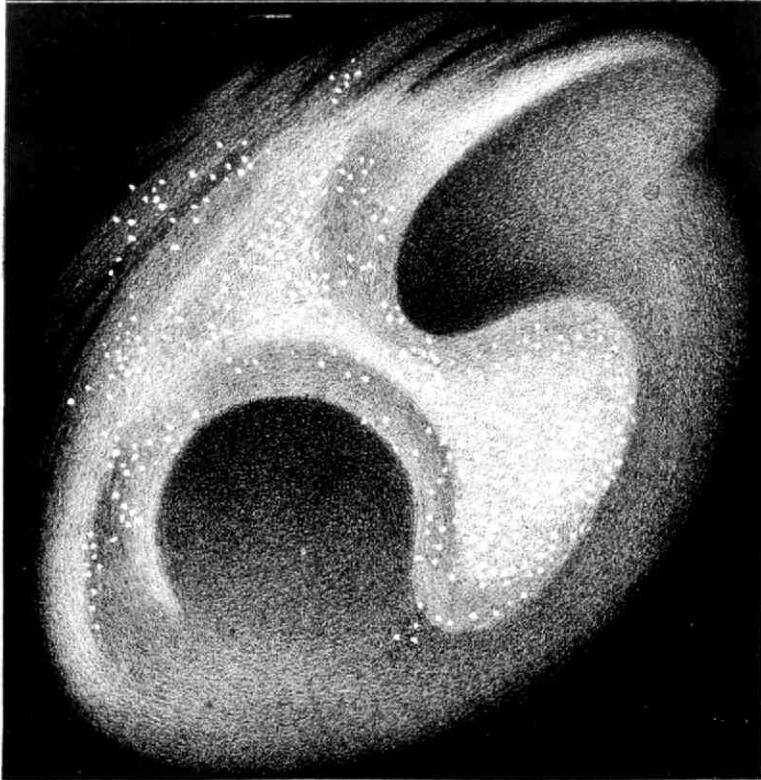


Fig 1. Vogel'slek uit den Vox genaemd Dumb-bell
volgens Lord Rosse.

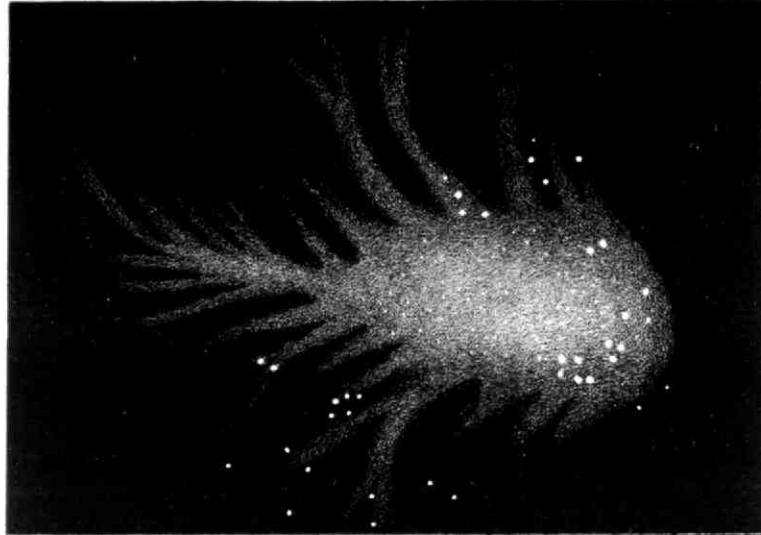
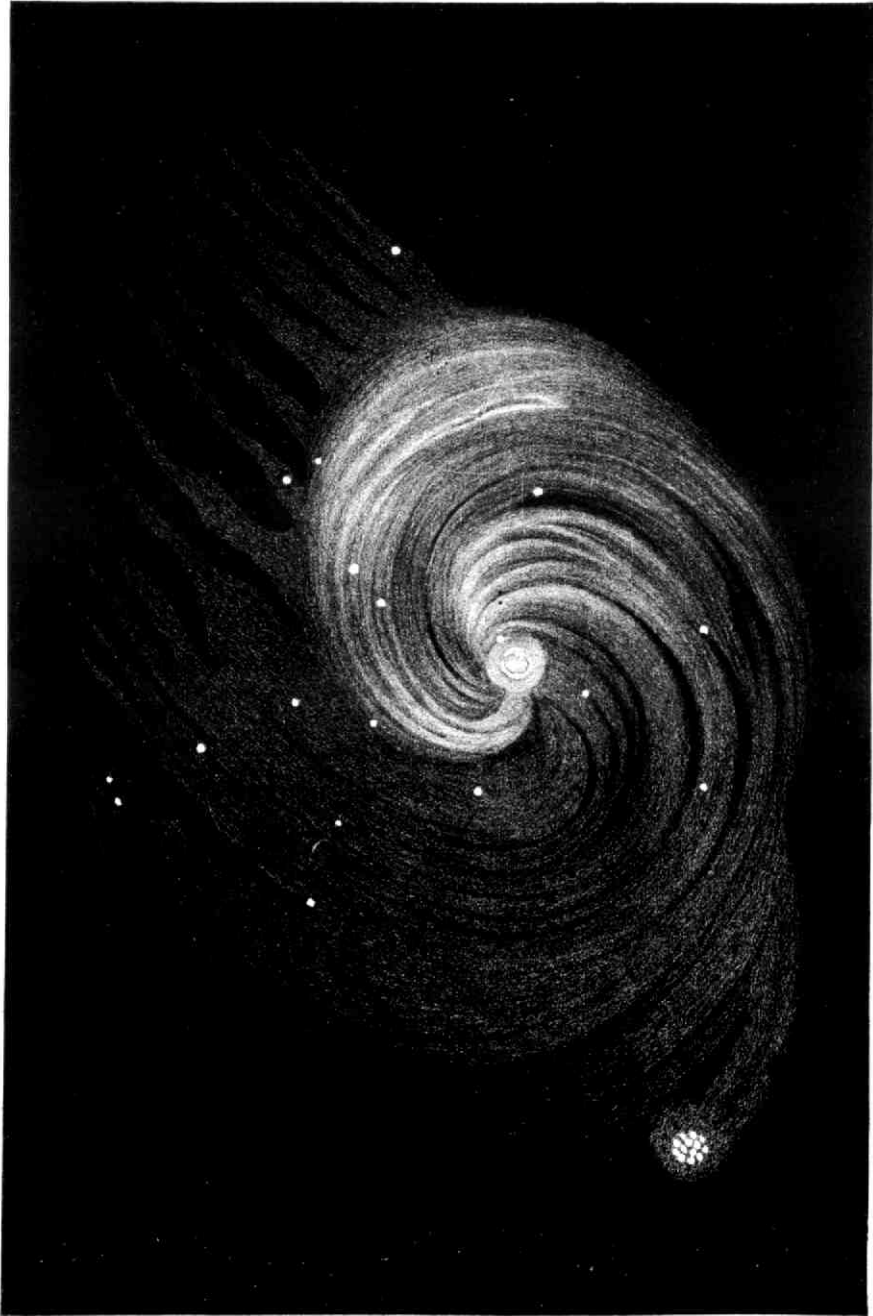


Fig 2. Axelék uit den Stier (axeb nebula)
volgens Lord Rosse.



NEVELVLEK UIT DE JACHTHONDEN.

van der Waerden

Omdat de meer volmaakte en krachtiger kijkers meer sterren in die vlek deden onderscheiden, geloofden de sterrenkundigen, dat zij geheel in sterren oplosbaar was; de uitkomsten echter der spectraal-analyse hebben die overtuiging eenigszins aan het wankelen gebracht.

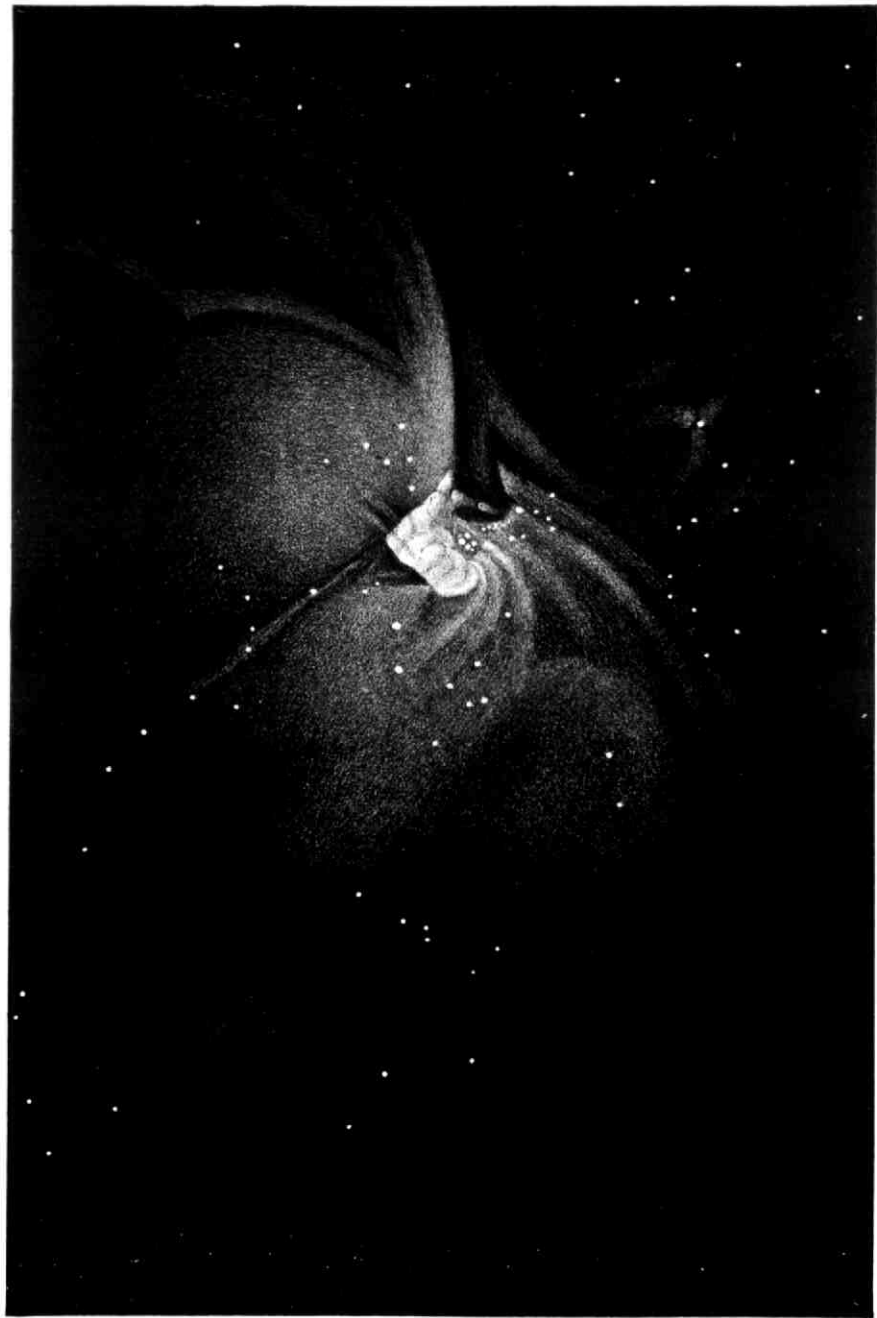
Rossi en Bond hebben de helderste deelen gedeeltelijk in sterren ontbonden. Men heeft het heldere gedeelte, dat aan het trapezium grenst, waarover wij bladz. 344 reeds spraken, de Huyghensehe streek genoemd, welke de gedaante heeft van een rechthoekigen driehoek, terwijl de verlichting niet eenparig maar schubsgewijze plaats heeft, welke ieder een sterrenhoop schijnen te wezen.

Volgens de teekening van Bond schijnen de meer losse strepen in de nevelvlek een zekeren spiraalvorm aan te nemen.

Professor d'Arrest heeft onlangs met den grooten kijker van de sterrenwacht te Kopenhagen den Orionnevel aan een nauwkeurig onderzoek onderworpen, en meent even als Struve eenige verandering daarin te hebben opgemerkt.

Wanneer twee verschillende waarnemers, die verschillende telescopen gebruiken, dezelfde veranderingen opmerken, kan zulks niet aan gezichtsbedrog worden toegeschreven; dit echter kan niet gezegd worden, wanneer men met zwakkere kijkers veranderingen waarneemt op denzelfden avond. Hierboven zagen wij reeds het groot verschil, dat de nevelvlekken opleveren naarmate men ze met krachtiger of zwakker werktuigen waarneemt.

Zoo meenden de waarnemers te Greenwich den 11 Jan. 1864 aanmerkelijke veranderingen waar te nemen, hunne opmerkingen zijn echter toegeschreven aan gezichtsbedrog of aan de mindere helderheid der lucht, of de mindere kracht van het daarvoor gebruikte werktuig. Zulks kan echter niet het geval wezen met de waarnemingen van Struve te Dorpat en van d'Arrest te Kopenhagen, hoewel deze sterrenkundigen zeker te ver gegaan zijn met hunne bewering, dat uit die veranderingen blijkt, dat de Orionvlek uit nevelstof bestaat en aan geweldige stormen en beroeringen onderworpen is. Want als wij opmerken hoe Lamont in het jaar 1837 reeds verklaarde, dat de Orionnevel in sterren oplosbaar was en hoe hij door den grooter Bogenhauser kijker in gunstige omstandigheden de verschillende lichtpunten meende te zien flikkeren; wanneer wij verder vernemen, dat de nog krachtiger kijker, welke Bond bij zijne onderzoekingen gebruikte,



Van der Waerden

NEVELVLEK UIT ORION
volgens teekening van G. Bond.

en dat de reuzenreflector in Parsonstown van Lord Rossi werkelijk een deel van den nevel in een zwerm van ongemeen kleine sterren hebben opgelost, is het gevolglijker, dat men in de overige nog niet opgeloste deelen der vlek ook geene nevelmassa aanneme. Waarschijnlijk vereenigen zich voor ons oog in den Orionnevel eene menigte ver achter elkander liggende sterrenstelsels, en de plaatsverandering van ons zonnestelsel in de ruimte, tegelijk met de verandering van die verre sterrenlagen, moet noodzakelijk met den tijd eenige verandering in sommige deelen van den Orionnevel te weeg brengen.

Later zullen wij de spectraal-onderzoekingen over dezen nevel nader beschouwen.

Volgens Herschel beslaat hij eene ruimte aan den hemel gelijk aan de schijf der Maan, hij meent dat hij eene soort van tak is van den Melkweg en wel de verlenging van die, welke uit Perseus gaat in de richting der Pleiaden en Aldebaran.

II.

GROEPEN VAN NEVELVLEKKEN.

§ 1. Dubbele en meervoudige nevelvlekken. — Waarschijnlijkheid van onderling verband.

Wanneer wij de talrijke nevelvlekken aan den hemel nauwkeurig onderzoeken, bemerken wij dat er velen zijn, welke zoodanig met dubbel- of veelvuldige sterren zijn verbonden, dat er geen twijfel bestaat, dat zij met elkander één samenhangend stelsel uitmaken.

Evenzoo vindt men in de diepte des hemels nevelvlekken zoodanig geplaatst, dat men zulks niet aan schijn kan toeschrijven, maar men gedrongen wordt, zulke vereenigingen van ééne of meerdere vlekken als één geheel te beschouwen, dat een onderling verband bezit, en bij zulke merkwaardige vereenigingen vindt men hetzelfde verschil in vorm als wij bij de enkelvoudige nevelvlekken waarnamen. Plaat LI leert ons eenige van die verschillende vormen kennen; dan eens vertoonen zij zich als een paar bolvormige opeenhooping, zooals Fig. 3 uit den Waterman, dan weder is de elliptische vorm duidelijk genoeg kenbaar, zooals de groep Fig. 4 uit de Maagd ons toont. Soms vertoonen zij zich geheel gescheiden, zooals Fig. 3, 4 en 5, maar

soms ook schijnen zij elkander te doordringen en te omvatten, hetzij zulks in werkelijkheid plaats heeft of slechts schijn is. (Zie Fig. 1 en 2, nevelvlekken uit de Maagd en uit Berenice.)

Het aantal middelpunten, waar eene verdikking schijnt plaats te hebben, is soms zeer groot. Herschel geeft ons een voorbeeld van eene nevelvlek uit de groote Magellaansche Wolk (Zie Fig. 6), waar een zevental zulke verdikkingen zijn waar te nemen.

De groote en ter beantwoording moeilijke vraag is, staan zulke dubbele en meervoudige nevelvlekken in onderling verband, of is dat verband slechts schijnbaar voor ons oog?

Wanneer men de betrekkelijke zeldzaamheid van de meer of minder regelmatige nevelvlekken bedenkt, en daaruit de geringe waarschijnlijkheid afleidt, dat door toeval op zulk een korten afstand zich twee of meer van die raadselachtige voorwerpen bevinden, dan moet men zich verwonderen, dat men volgens den jongeren Herschel reeds een aantal van 146 dubbele, 25 drievoudige, 10 viervoudige, 1 vijfvoudige en 2 zesvoudige nevelvlekken gevonden heeft. Zulk eene groote menigte is zeer moeilijk enkel door het toeval uit te leggen, evenmin als het groot aantal dubbelsterren door het toeval en door optisch bedrog te verklaren is, en evenals men bij de dubbelsterren stelsels aanneemt, van twee of meer physisch bij elkander behoorende zonnen, gelooft men thans ook, dat twee of meer zulke nevelvlekken in onderling verband staan.

D'Arrest, die zich in den jongsten tijd veel met de onderzoeking der nevelvlekken heeft bezig gehouden, bemerkt over de dubbelnevels, dat volgens zijne waarnemingen het aantal van de, naar alle waarschijnlijkheid, physisch met elkander verbonden nevelvlekken zeer groot is, vooral in verhouding van de dubbelsterren tot de vaste sterren, en het is niet onwaarschijnlijk, dat men in de toekomst de banen van zulke dubbelnevels berekenen zal, want daar men tot nu toe zich weinig met die voorwerpen heeft bezig gehouden, is het niet mogelijk om ten minste met zekerheid eenige omloopsbeweging te bepalen; wel zijn reeds aanduidingen waargenomen van eene verandering in onderlingen stand, zoo bijv. bij de nevelvlek n^o. 316 uit den catalogoog van J. Herschel. In 1785 bedroeg de afstand van deze dubbelvlek 60 seconden, in 1827 slechts 45, en de stand- of positiehoek bedroeg 45 graden. In 1862 bevond d'Arrest, dat de onderlinge afstand tot op 28 seconden was afgenomen, terwijl de positiehoek 56° 32'

bedroeg; eene omloopsbeweging is hier dus ontwijfelbaar te erkennen, hoewel men echter over den duur niets naders bepalen kan.

Eene verandering in zulk een kort tijdsverloop waargenomen, zou het zeer waarschijnlijk maken, dat zulk eene nevelvlek niet een sterrenhoop is, welke om zijn afstand niet in sterren opgelost kan worden, want de machtige kijkers van onzen tijd hebben nevelen in sterren opgelost, die 4000 Sirius afstanden bevatten, dat is ongeveer 16,000 billioen mijlen. Wanneer nu de vooronderstelling waar is, dat zulke nevelvlekken, die niet in sterren opgelost kunnen worden, toch veroorzaakt worden door eene opeenhooping van vaste sterren, dan moeten zulke sterrenhoopen veel verder dan 16,000 billioen mijlen van ons verwijderd zijn. Maar wanneer wij op zulk een afstand zulke snelle veranderingen waarnemen als waarvan hier boven sprake was, dan zou daaruit volgen, dat zulke sterrenstelsels, die ons als nevelen toeschijnen, zich om hun gemeenschappelijk zwaartepunt bewegen met eene snelheid, 4000 maal sneller dan die, waarmee onze Zon op hare baan voortsnelt, ongeveer 2 millioen mijlen iedere minuut. Zulk eene snelheid, hoewel niet onmogelijk, is toch zoo verbazend, dat zij twijfelingen doet ontstaan. De veranderingen dus, welke bij nevelvlekken zijn waargenomen, wijzen er op dat zij werkelijke nevelen zijn, door eene centraalster verlicht, en de dubbelnevelen zijn dan de door nevelen omgeven dubbelsterren van onze vaste sterren.

Later zullen wij de eigenlijke natuur van die voorwerpen bespreken, en verslag geven over de meeningen der wetenschap.

§ 2. Beschrijving der beide Magellaansche Wolken aan den Zuiderhemel. — Beschrijving der beide zoogenaamde Kolenzakken.

Wanneer men de hemelruimte rondom de Zuidpool beschouwt, verwondert men zich over het verschil, dat men waarneemt tusschen de aan sterren zoo arme hemelstreken rondom de pool, en den zoo helder blinkenden Melkweg. Slechts ééne enkele ster van de eerste grootte, *Achernar* namelijk uit den Eridaanvloed, schittert in deze streken. Juist echter om die armoede vallen twee nevelvlekken in het oog, alsof het een paar losgescheurde stukken van den Melkweg zijn, en daardoor geven zij aan den Zuiderhemel eene bijzondere schoonheid.

Beiden zijn aan de sterrenkundigen en aan de zeevaarders bekend onder den naam van Magellaansche Wolken, en men maakt onderscheid tusschen de groote en kleine wolk. De eerste heeft eene lengte van

20 en eene breedte van 6 graden, de tweede daarentegen is slechts 12 graden lang en 3 breed; zij zijn beiden met het bloote oog zichtbaar, alleen de kleine is bij maneschijn niet waar te nemen.

Van de groote wolk wordt reeds gewag gemaakt in een werk van den Persischen sterrenkundige Abdurrahman Sufi onder den naam *el-baker* (de os). Later hielden Vespucci en Petrus Anghiera zich met die merkwaardige voorwerpen bezig, maar de schitterende roem en de lange duur van de eerste Magellaansche rondzeiling der aarde (van Aug. 1519 tot Sept 1522), het lange oponthoud in het zuidelijk halfrond was oorzaak, dat de naam van Magellaansche Wolken zich onder alle scheepvarende natiën verbreidde. Langen tijd wist men weinig zekers van die zonderbare lichtnevels, en de zonderlingste meeningen werden er over geuit; aan den jongeren Herschel echter zijn wij de kennis verschuldigd, welke men er thans van bezit. Uit de waarnemingen van dezen sterrenkundige bleek het, dat de wolken van Magellaan niet te beschouwen waren als gedeelten van den Melkweg, zooals eenigen meenden, ook niet als sterrenhoopen, maar daaruit bleek, dat zij samengesteld waren uit eene zonderlinge vereeniging van nevelvlekken, sterrenhoopen en afzonderlijke sterren; want alleen in de groote wolk telde Herschel 291 nevelvlekken, 46 sterrenhoopen en 582 sterren, waarvan eene enkele slechts van de 5^{de} grootte is en een zestal van de 6^{de} grootte, zoodat deze met het bloote oog zichtbaar zouden wezen, als hun licht niet door den glans van de nevelvlek overschitterd werd.

In de kleine wolk zijn de sterren naar verhouding talrijker, daar hij er 200 telde; nog bestond die wolk uit 37 nevelvlekken en 7 sterrenhoopen.

Alle soorten van nevelvlekken worden in die beide wolken vertegenwoordigd; afzonderlijke en met elkander verbondene in groepen van twee, drie, enz., de meesten zeer regelmatig en in ronden vorm. De dubbele, meervoudige nevelvlekken zijn er veel talrijker dan zelfs in die hemelstreken, die er het rijkste aan zijn, zoodat die voorwerpen geheel onderscheiden zijn van den Melkweg, waarvan zij op grooten afstand zijn verwijderd. Zij sehijnen ons een miniatuurbeeld te leveren van den ganschen hemel.

De beide zwarte vlekken, welke men in den Melkweg aan den Zuiderhemel waarneemt, leveren een groot contrast met de zoo heldere Magellaansche Wolken. Men heeft aan die beide voorwerpen den zon-

derlingen naam van Kolenzakken gegeven. De opvallendste van deze vlekken, welke ongeveer 30 kwadraat graden groot is, bevindt zich in het sterrenbeeld het Zuiderkruis, en wel tusschen de sterren Alpha (α) van het Kruis en Beta (β) van den Centaurus.

In die ruimte is voor het bloote oog slechts eene enkele ster van de 6^{de} grootte zichtbaar, terwijl de schemering van den Melkweg en de rondom die opening geplaatste 200 sterren, het ledige van die ruimte des te sterker doen uitkomen, zoodat daardoor het opvallende zwarte van die beide zoogenoemde Kolenzakken gemakkelijk verklaard wordt.

Ook vinden wij in den Schorpioen en in den Slangendrager een paar zulke aan sterren zeer arme streken. William Herschel noemt ze openingen in den hemel; het schijnt dat de sterrenlagen op die punten onderbroken zijn, en wij dus met onze kijkers in het verre wereldruim blikken zonder eenige sterren te kunnen bereiken.

§ 3. De Melkweg. — Schijnbare vorm. — Loop door de noorder- en zuidersterrenbeelden. — De Melkweg met den telescoop bezien.

Met uitzondering van de Magellaansche Wolken en weinige andere sterrenhoopen zijn al de nevelvlekken, waarvan wij gesproken hebben, voor het bloote oog onzichtbaar. De schijnbare kleinheid hunner afmetingen is er eensdeels de oorzaak van, maar ook de verbazende afstand, waarop zij zich van ons verwijderd bevinden, is de reden, waarom zij zich in zulk een verzwakt licht aan ons oog vertoonen.

Dit is echter niet het geval met dien breeden lichtgordel, die langs den hemel loopt, en welke aan iedereen bekend is onder den naam van Melkweg. De lichtschemering van dien gordel is helder genoeg, en om zijne lengte, welke den ganschen hemel beslaat, en om zijne aanzienlijke breedte valt hij ons aanstonds in het oog, wanneer hij zich boven den horizon vertoont. Hoewel hij zich elken nacht op alle breedten der Aarde boven den gezichteinder vertoont, is hij echter het beste waar te nemen naarmate hij hooger rijst; om hem daar in al zijn pracht en schoonheid te beschouwen, moet men zekere tijdstippen van het jaar of bepaalde uren van den nacht gebruiken.

De Melkweg loopt in den vorm van een onregelmatigen grooten lichtgordel van ongelijke breedte rondom het gansche uitspansel; dui-

delijk ziet men, dat hij zich halverwege in het sterrenbeeld de Zwaan in twee takken splitst. Zijne breedte is zeer ongelijk, op enkele plaatsen is hij zoo smal, dat hij nauwelijks 5 graden meet, en op andere, heeft hij eene breedte van 15 graden, hoewel de randen onmerkbaar uitvloeien.

Eer wij iets zeggen over de gissingen naar zijnen waren vorm en samenstelling, zullen wij hem eerst vluchtig beschrijven, en de voornaamste sterrenbeelden optellen, welke hij doorloopt; de bij dit werk gevoegde sterrenkaart zal hem ons duidelijk doen kennen.

De noorderhelft van den Melkweg loopt van het sterrenbeeld den Eenhoorn, waar hij den aequator doorsnijdt langs den Kleinen Hond, door een gedeelte van de Tweelingen, den Voerman, Perseus, Cassiopeia en Cepheus naar de Zwaan, waar hij zich in twee armen splitst, waarvan de eene door de Gans, den Vos en den Arend loopt en de andere in dezelfde richting een gedeelte van Hercules doorsnijdt, om in den Slangendrager te komen.

In Perseus schijnt hij een tak te hebben, die zich in de richting van de Pleiaden verliest. (Zie Plaat XLIV.) In den Arend en de Zwaan heeft de Melkweg de grootste lichtkracht, terwijl hij in Perseus en bij den Eenhoorn het zwakste is; dicht bij de Zwaan bemerkt men ook eene soort van opening, door welke men in de verre ruimte des hemels ziet.

Wanneer hij den evenaar doorsneden heeft, komt hij langs Sirius in het sterrenbeeld het Schip (Argo), en neemt dan onder den zuiderhemel voortdurend in helderheid toe. In het Schip verdeelt hij zich in verscheidene takken, die zich over eene groote breedte als een waaier uitspreiden en dan plotselings afgebroken schijnen, om echter verder in datzelfde sterrenbeeld weer te voorschijn te komen. (Zie Plaat XLVII.) In den Centaurus en in het Zuiderkruis vereenigen zich die verschillende takken tot een smallen lichtenden band, waarin zich de hierboven besproken Kolenzak bevindt. Bij Alpha (α) van den Centaurus verdeelt de Melkweg zich opnieuw in twee groote vertakkingen en loopt dan door den Wolf, het Altaar en den Schorpioen naar den Slangendrager, waar hij weder den aequator doorsnijdt.

In dien loop rondom den ganschen hemel is de lichtkracht van den Melkweg op vele plaatsen zeer verschillend. Aan den noorderhemel is, zooals wij reeds opmerkten, de streek in den Arend en de Zwaan het helderste. Aan den zuiderhemel is de streek tusschen het Schip

en het Altaar de opvallendste door hare helderheid. Wat vooral echter onder den zuiderhemel eene bijzondere schoonheid aan den Melkweg schenkt, is de nabuurschap van dien gordel, heerlijk schitterende sterren, die uitgaande van Sirius uit den Grooten Hond de heerlijke sterren van het Schip, van het Zuiderkruis en van den Centaurus omvat, zoodat de konst van dat gedeelte des hemels boven den horizon zich aankondigt door eene algemeene verlichting in den dampkring, eene verlichting zoo helder, dat reizigers die vergelijken bij het maanlicht.

Wanneer wij gewapend met een telescoop den Melkweg gadeslaan, bemerken wij dat de lichtchemering van dien gordel ontstaat door ontelbare sterren, welke daar in wondervolle menigte zijn opeengehoopt: in vergelijking met de overige streken des hemels zijn zij daar in den Melkweg niet nader bijeen, maar zij liggen voor ons oog in onmetelijke rijen in de ondoorgrondelijke diepte des hemels achter elkander en daardoor schijnen zij voor ons dichter opeengehoopt. De onregelmatige sterrenhoopen vooral zijn in den Melkweg zeer talrijk, zoo niet de meer bolvormige opeenhoopingën, welke men alleen in de meer heldere streken van dien gordel aantreft. Men vindt ook enkele streken, waarin de krachtigste kijkers geene enkele ster ontdekten hebben, zoodat men met reden geloof, dat men daar de niterste grenzen van die sterrenlaag bereikt heeft, en verder in de diepte des hemels blik, want op andere punten heeft men dien nevelgordel geheel ontbonden, zoodat de sterren zich op een donkeren grond vertoonën zonder eenige lichtchemering; op andere plaatsen echter ziet men achter de sterren, waarin men den Melkweg ontbond, nog eene nevelachtige lichtchemering, hetgeen een bewijs is, dat men daar zijne grenzen niet heeft bereikt en hij onpeilbaar is.

In het volgende boek zullen wij nagaan, welke naar alle waarschijnlijkheid de ware vorm van den Melkweg is, en welke gevolgen men daaruit heeft getrokken om een juist begrip te verkrijgen over den algemeenen bouw van het zichtbare heelal.

.III.

PHYSISCHE EN CHEMISCHE NATUUR DER NEVELVLEKKEN.

§ 1. Hypothese over de nevelstof. — Kleur en veranderlijkheid der nevelvlekken. — Oorzaken dier kleur. — Veranderlijke nevelvlekken. — Verdwijning eener nevelvlek.

Eene der belangrijkste en tevens moeielijkste vragen is die naar de ware natuur der nevelvlekken. Zijn al de vlekken, waarmede het ruim des hemels is bezaaid, slechts sterrenhoopen, die door hunne groepeerings alleen in vorm verschillen, of moet men aannemen, dat er onder die hemelwolken eenigen zijn samengesteld uit eene dunne lichtende nevelstof, geheel onderscheiden van de ware hemellichamen, de zonnen?

Lang vóór Herschel gisten Halley, Lacaille en anderen reeds, dat de nevelvlekken, waarin men met de sterkste telescopen geene sterren kon ontdekken toch sterrenverzamelingen waren, wier afstand echter te groot was om door hunne kijkers bereikt te worden. Ook Herschel was eerst van dat gevoelen, hoewel hij later reeds de hypothese uitsprak, dat er in sommige nevelvlekken eene ware nevelstof bestond. Vooral scheen de groote nevelvlek van *Theta* in Orion dat gevoelen te begunstigen, en toen men vele bolvormige nevelvlekken in sterren ontbond, meende men dat alle vlekken, welke uit sterren bestonden, zich in zulk een vorm moesten vertoonen, t. w. rond met eene schijnbare verdikking in het midden, en daaraan is het toe te schrijven, dat men meende dat alle vlekken, welke den ronden vorm niet bezaten, maar zich in eene zeer onregelmatige figuur vertoonden, uit ware nevelstof bestonden.

Toen echter de nieuwere ontdekkingen met krachtiger werktuigen bewezen, dat ook vele onregelmatige nevelvlekken slechts bestonden uit op elkander gedrongen sterren, en toen men ontdekte, dat naarmate men krachtiger kijkers gebruikte men ook meerdere, vroeger voor onoplosbaar gehouden, vlekken in sterren kon ontbinden, zoodat men ontelbare sterren waarnam, waar men nevelstof meende te zien, toen geraakte de meening over zulk eene nevelstof eenigszins op den achtergrond, en velen geloofden dat alle nevelvlekken uit sterrenhoopen bestonden.

De telescopen hoe krachtig ook waren niet in staat de vraag te

beantwoorden, of de niet opgeloste nevelvlekken werkelijk uit oorspronkelijke nevelstof bestonden, waaruit zich in den loop der tijden zonnestelsels zouden ontwikkelen, dan wel of zij bestonden uit volkomen afgesloten wereldstelsels.

Wat echter de reuzenkijkers niet vermochten, deed de schijnbaar zoo nietige spectroscop, want toen men het licht der nevelvlekken begon te onderzoeken, werd duidelijk bewezen, dat sommige vlekken aan den hemel niet te houden zijn voor sterrenhoopen maar voor werkelijk lichtende nevelen, gloeiende gasmassa's.

Voor wij de uitkomsten van die waarnemingen vermelden, willen wij eerst de aandacht vestigen op een paar waargenomen feiten, namelijk op het verschil in kleur en op de veranderlijkheid van sommige nevelvlekken.

Vroeger zagen wij, dat de sterren een groot verschil in kleur hadden, en daardoor is het gemakkelijk te verklaren, waarom de nevelvlekken, welke uit opeenhooping van sterren bestaan, ook in kleur verschillen naarmate de sterren zijn, waaruit zij bestaan. Zoo is de sterrenhoop uit het Zuiderkruis wit, want zij bestaat zooals wij hierboven reeds opmerkten uit vele witte sterren, gemengd met enkele roode, groene en blauwe. J. Herschel maakt melding van eene planetarische nevelvlek met een glans als eene ster der zevende grootte, de elliptische schijf dier vlek heeft een sterk sprekenden en helderen rand en onderscheidt zich door eene donker blauwe kleur. Nog teekent dezelfde sterrenkundige een drietal nevelvlekken aan, wier kleur hemelsblauw is; omdat deze laatsten echter planeetachtige vlekken zijn, moet men, in de vooronderstelling dat zij uit ware nevelstof bestaan, aannemen dat de kleur van hun licht zulk eene eigenaardige tint bezit, wat overigens geene moeielijkheid oplevert. De nevelvlek van Orion heeft ook in al hare deelen eene blauw groenachtige tint, wat te meer opmerking verdient, omdat volgens de waarnemingen van Secchi de meeste sterren van dat sterrenbeeld zulk eene kleur bezitten; later zullen wij zien, dat die nevelvlek gedeeltelijk bestaat uit gloeiende gassen.

Behalve de overeenkomst met de sterren in kleur en in onderlinge verhouding en samenstelling, schijnt men in den laatsten tijd nog eene overeenkomst ontdekt te hebben, namelijk hunne veranderlijkheid in glans.

Twee nevelvlekken in den Stier hebben in dit opzicht zonderlinge

verschijningen geleverd. De eerste, dicht bij eene veranderlijke ster der 10^e grootte, deelde in de veranderingen van de ster en is eindelijk geheel verdwenen. De tweede, gelegen bij de *Zeta* uit den Stier, is evenzoo na gedurende drie maanden in glans te zijn toegenomen, verdwenen. W. Herschel had reeds zulke feiten waargenomen. In 1774 nam hij een paar sterren waar, welke door een ronden nevel omgeven waren, en in 1811 was er van zulke nevelen geen spoor meer te vinden.

Arago vermeldt een ander geval van verandering. Toen Herschel aan de Kaap het sterrenbeeld Argo beschouwde, nam hij in een nevelig hulsel vijf kleine sterren waar, welke men in 1825 met de beste werktuigen niet meer kon terug vinden.

Vroeger hebben wij reeds gezien, dat het moeielijk valt, de verschillende waarnemingen en teekeningen van de nevelvlek in Orion met elkander in overeenstemming te brengen, zonder dat men noodzaak wordt aan te nemen, dat er in den glans van sommige streken dier nevelvlek veranderingen hebben plaats gehad.

Wanneer er sprake is van de veranderlijkheid, ja van het verdwijnen eener ster, zijn er, zooals wij vroeger zagen, hypothesen te stellen, welke genoegzame verklaring geven; dit is echter niet het geval om de veranderlijkheid eener nevelvlek te verklaren, wanneer men aanneemt dat zij bestaat uit eene opeenhooping van sterren. Nu men echter de zekerheid verkregen heeft, dat er ware nevelstof in het hemelruim gevonden wordt, schijnt die veranderlijkheid minder vreemd, en het verschil in glans en de uitdooving van hun licht, is bij nevelstof gemakkelijker te begrijpen, dan bij eene vereeniging van ontelbare sterren.

§ 2. Spectraal-analyse der nevelvlekken. — Spectrum met drie heldere strepen. — Bewijs voor de gasnevelen. Spectrum van nevelvlekken uit den Draak, uit de Lier, Dumb-bell; nevelvlek van Orion. — Doorlopend spectrum van sterrenhoopen.

Bij de ontleding van het sterrenlicht, zagen wij dat de natuur dier hemellichamen physisch en chemisch onderscheiden is. Alle vaste sterren zijn zonnen, namelijk hemellichamen, die evenals onze Zon met eigen licht bedeed zijn; maar de stof, waaruit zij bestaan en wier gloeing ze op zulk een verbazenden afstand zichtbaar maakt, is bij allen niet dezelfde, noch in denzelfden physischen toestand. Wat nu in de sterren plaats vindt, kan men vooronderstellen dat ook bij de

nevelvlekken zal plaats grijpen. De ontleding van het spectrum heeft ons op verschillende punten opheldering gegeven.

Vooraf brengen wij nogmaals in herinnering, dat wij uit de soort van het spectrum niet alleen de stoffen leeren kennen, welke ons hun licht toe zenden, maar ook den toestand, waarin zich die stoffen bevinden. Bestaat het spectrum uit eene rij kleuren, zonder dat deze door eenige strepen onderbroken is, dan is zulks een bewijs dat de lichtbron eene vaste of vloeibare gloeiende stof is. Vertoonen er zich echter in het spectrum heldere strepen, zoo weten wij dat de lichtbron uit gloeiend gas bestaat; zien wij eindelijk dat het spectrum door donkere strepen is afgebroken, dan leert dit ons niets naders over de stof der lichtbron, maar dan weten wij dat de opgevangene lichtstraal door een dampkring is heen gegaan, welke lager temperatuur bezit, en welke door eene absorbeerende kracht, juist die heldere strepen van het spectrum uitwischet, welke hij zelf zou veroorzaakt hebben, wanneer hij alleen zich in gloeienden toestand bevond, daarom noemt men dit laatste omgekeerd spectrum.

In het jaar 1864 onderzocht Huggins met zijn spectroscop, een kleinen maar helderen nevel in het sterrenbeeld den Draak, en bevond dat het spectrum niet het aanzien had van een onafgebroken gekleurden band, zooals bij eene ster, maar er vertoonden zich drie heldere strepen, en daardoor werd dus het bewijs geleverd, dat die vlek niet bestond uit eene opeenhooping van sterren, maar een werkelijk gloeiende gasnevel is.

Om nu de chemische natuur van dien gasnevel op te sporen, vergeleek hij die strepen met het zonnespectrum en met de heldere strepen uit aardsche stoffen verkregen, en verkreeg nu de volgende uitkomst. De helderste streep van het spectrum der nevelvlek, valt samen met de sterkste streep, welke zich in het spectrum van gloeiende stikstof vertoont. De zwakste streep komt overeen met de groene streep van waterstofgas, en de derde streep komt het dichtst bij die, welke men verkrijgt bij de gloeiing van Bariumgas.

Huggins en later Frankland, Lockijer en vooral Secchi hebben zich bezig gehouden met de vraag, waarom de andere strepen, welke het eigenaardig kenmerk zijn der opgenoemde gassen, zich niet in het spectrum vertoonen, en de ondervinding leerde hen, dat wanneer men eene Geisslersche buis, waarin men door eene electricke vonk, stikstofgas of waterstofgas in staat van gloeiing had gebracht, eenigszins

ver van de spleet van den spectroscop plaatste, dat dan met uitzondering der strepen, welke het spectrum der nevelvlek vertoont, alle andere strepen onzichtbaar werden.

Frankland en Lockijer hebben overigens ondervonden, dat het spectrum der bovengenoemde gassen bij lage temperatuur en geringen druk, dezelfde weinige eigenaardige strepen vertoont als in het spectrum der nevelvlek; daaruit zou dus volgen, dat de temperatuur der nevelvlekken veel geringer is dan die onzer Zon, en dat hare massa eene buitengewoon geringe dichtheid bezit.

Nadere proeven en waarnemingen zijn echter noodig om het bewijs te leveren, dat de meening van Huggins de ware is, namelijk dat het verdwijnen der andere strepen uit het spectrum veroorzaakt wordt, door eene absorbeerende kracht van de wereldruimte, met andere woorden, dat de afstand alleen de oorzaak is van het onzichtbaar zijn dier andere strepen.

Behalve die drie heldere strepen, vertoont zich in het spectrum nog een zeer zwakke, onafgebroken, gekleurde band, bijna zonder breedte, alsof hij voortkwam uit een lichtend punt, in het midden der nevelvlek gelegen. Hoewel men vroeger de door Huggins onderzochte nevelvlek, onder de planeetachtige vlekken rangschikte, bezit zij echter eene kleine, maar zeer heldere kern; daaruit maakte Huggins het besluit, dat de stof van deze kern zich niet in den toestand van gas bevond, als waarmede zij omringd was, maar dat zij uit vaste deelen of gloeiende vloeibare stoffen bestond.

Huggins heeft meer dan 60 verschillende nevelvlekken onderzocht en bij een derde gedeelte vond hij een spectrum, overeenkomend met dat uit de nevelvlek van den Draak. De geringe lichtkracht echter van die kosmische nevelmassa's en de omstandigheid, dat alleen bij helderen hemel zonder maneschijn zulke waarnemingen mogelijk zijn, maken de spectroscopische onderzoekingen zeer moeielijk en hare uitkomsten onzeker, alleen door herhaalde metingen en waarnemingen op verschillende plaatsen door verschillende personen gedaan, kan men eenigszins tot zekerheid geraken.

In den Waterman bevindt zich ook een kleine gasnevel, wiens spectrum eveneens drie heldere strepen bezit. In den grooten kijker van Rossi vertoont zich dit voorwerp als een bol, omgeven door een ring, welke wij op den kant zien, zooals Saturnus ons vertoont in eene van zijne schijn gestalten. De strepen wijzen op stikstof en waterstofgas.

Van een spiraalvormigen nevel, No. 4964 uit de lijst van Herschel, verkreeg Huggins 4 strepen, welke ook stikstof en waterstofgas aanduiden. De ringvormige nevelvlek uit de Lier, de merkwaardige vlek uit den Vos en Dumb-bell gaven in hun spectrum slechts eene enkele streep, overeenkomende met de helderste streep van het spectrum uit den Draak, waardoor de aanwezigheid van stikstof wordt aangeduid.

De groote Orion-nevel is meermalen het voorwerp geweest van spectroscopische onderzoekingen, en duidelijk vertoonden zich de drie heldere strepen, waardoor het bewijs geleverd werd, dat deze ook een gloeiende gasnevel is, waarin stikstof en waterstofgas aanwezig zijn. Men moet echter niet vergeten dat Lord Rossi met zijn reuzenkijker in den ringnevel van de Lier, in Dumb-bell en in de Orionvlek kleine roode sterren heeft waargenomen, welke echter te zwak waren om een spectrum te geven.

Het laatste woord over de ware natuur van die massa's is dus nog niet gezegd, hoewel de verschillende waarnemingen het als zeker doen schijnen, dat sommige nevelen in het hemelruim uit gloeiende gassen bestaan.

Alle nevelvlekken, welke door den telescoop in sterren ontbonden zijn, geven een doorlopend spectrum zonder heldere strepen. Zoo bijv. geeft de groote nevelvlek uit Andromeda een doorlopend spectrum zonder heldere strepen, hetgeen overeenkomt met de waarneming van Bond, die de nevelvlek gedeeltelijk in sterren ontbonden heeft. Evenzoo geeft de sterrenhoop uit Hereules een doorlopend spectrum, hoewel dit van den gewonen regel afwijkt, doordat er zich zwarte absorptiestrepen in bevinden.

Wij eindigen met de woorden van den geleerden Secchi, waarop wij echter later terug zullen komen: "De theorie over de vorming van ons zonnestelsel, namelijk de opeenvolgende condensatie eener nevelvlek wordt bevestigd en in zekeren zin bewezen door de ontdekking der gasachtige nevelen, en alles dringt er ons toe aan te nemen, dat zulke gasnevelen eens in sterren zullen veranderen, en dat al de zonnen, die aan ons firmament stralen, zulk een oorsprong gehad hebben."

IV.

BOUW VAN HET ZICHTBARE HEELAL.

§ 1. Ware vorm van den Melkweg. — Plaatsing van ons Zonnestelsel in die sterrenlaag. — Algemeen begrip over de afmetingen van den Melkweg.

De Melkweg vertoont zich, zooals wij weten, als een groote zeer onregelmatige cirkel, waardoor het hemelgewelf in twee ongelijke deelen verdeeld wordt; de schijnbaar kleinste helft bevat de sterrenbeelden rondom het voorjaarsevennachtspunt gelegen.

Uit dien schijnbaren cirkelvorm, welke van alle kanten onze Aarde omgeeft, volgt dat deze in het midden van dien grooten cirkel is geplaatst, want anders kon de Melkweg te onzen opzichte zulk een vorm niet hebben. Wij hebben reeds gezien, dat de lichtschemering van den Melkweg veroorzaakt wordt door eene opeenhooping van sterrenrijen. W. Herschel, die met zijn grooten telescoop niet in staat was de gansche lichtschemering in sterren op te lossen, heeft het aantal vaste sterren, waaruit de Melkweg bestaat, op 18 millioen geschat.

De groote en moeielijke vraag rijst ons voor den geest: Welke is de ware vorm van den Melkweg, waarom vertoonen de sterren zich zoo opééngedrongen juist in de richting van den Melkweg en niet in de andere deelen van het hemelruim? Er is maar ééne hypothese denkbaar, die ons rekenschap geeft waarom de sterren in deze richting veel talrijker zijn dan in andere.

De sterrenkundigen nemen namelijk aan, dat al de sterren van den Melkweg tot één stelsel behooren, dat men het melkwegstelsel noemt, en de vorm waarin al de tot dat stelsel behoorende zonnen zijn geplaatst, is niet de bolvorm maar de linsvorm; met andere woorden, het melkwegstelsel heeft den vorm van een dik brandglas. Was de ware vorm een bol gelijk, dan zouden er zich overal evenveel sterren vertoonen en de gansche hemel zou met eene lichtschemering bedekt zijn; maar als de ware vorm die eener lins is, dan zullen wij in het midden geplaatst en op den scherpen kant van die reusachtige lins ziende, veel meer sterren zien dan wanneer wij op haren vlakken, breedten kant zien. Wanneer wij nu het oog slaan op den Melkweg, zien wij op de scherpe zijde van de lins; daar ver-

toonen zich dus ook de meeste sterrenlagen, maar zien wij in eene richting verre van den Melkweg verwijderd, dan ontmoet ons oog weinige sterrenlagen en dus zeer weinig sterren.

Wij kunnen ons dit het beste voorstellen, als wij aan den horizon eene dunne mist zien; wanneer wij die mist konden waarnemen waar zij hangt, zouden wij er gemakkelijk doorheen zien, maar nu wij haar uit de verte aan den horizon zien, vertoont zij zich als eene sterk geteekende bank; zoo ook zijn de sterren in het gansche melkwegstelsel gelijkelijk verspreid, maar het zich opeenhoopen in eene bepaalde richting is het gevolg van den stand, welke wij met betrekking tot die sterrenlagen innemen.

De beide polen van den Melkweg moeten dus, in de vooronderstelling van een linsvorm, het armst aan sterren zijn, omdat juist in die richting zich de minste sterrenlagen bevinden, welnu de waarneming geeft er ons het bewijs voor. De noordpool van den Melkweg bevindt zich in het sterrenbeeld het Hoofdhaar van Berenice, en het sterrenbeeld de Walvisch bevat de Zuidpool, en juist zijn die beide sterrenbeelden het armst aan sterren, terwijl men vandaar uit meer met zijn blik den Melkweg naderend, voortdurend meer sterren waarneemt.

Ongeveer in het midden van die reusachtige opeenhooping van zonnen, niet verre van de plaats, waar die gordel zich in twee takken splist, bevindt zich in die wolk van werelden ons kleine zonnestelsel; want hoewel de afmetingen en afstanden daarvan, ons reeds in verwondering brengen, toch is het geheel, vergeleken met den ganschen Melkweg, gelijk aan eene enkele zandkorrel verloren onder de menigte.

Dit wordt ons nog duidelijker, wanneer wij nagaan wat de geleerden ons hebben bekend gemaakt over de afmetingen, welke dat Melkwegstelsel bezit.

Vroeger hebben wij reeds vermeld, dat men de meerdere of mindere lichtkracht der sterren gebruikt om haren afstand te bepalen (zie bladz. 302), die photometrische onderzoekingen van W. Herschel met betrekking tot den Melkweg hebben de verwonderlijkste uitkomsten opgeleverd. De sterren der zes eerste grootheden zijn, zooals wij weten, voor het ongewapend oog zichtbaar, en de sterrenkundigen nemen aan, dat de sterren der zesde grootte twaalf maal verder van ons zijn verwijderd dan de sterren der eerste grootte. Nadat Herschel door talrijke onderzoekingen de diepte had bepaald, waarin hij met

behulp van zijn veertig voet langen kijker kon doordringen, kwam hij tot de slotsom dat de laatste sterren, welke hij kon waarnemen, 2300 maal verder gelegen waren dan die der eerste grootte, en nog had hij de grenzen van den Melkweg niet bereikt, want op vele plaatsen bleef er nog eene lichtschemering over, welke hij niet in staat was in sterren te ontbinden.

Wanneer wij ons nu herinneren op welk een verbazenden afstand de vaste sterren der eerste grootte zich van ons bevinden, zoodat getallen zelfs onbekwaam zijn er ons een denkbeeld van te geven; wanneer wij weten dat de lichtstraal van de door Bessel gemetene ster meer dan zes en een half jaar noodig heeft om onze Aarde te bereiken, wie duizelt dan niet bij de gedachte, dat een lichtstraal uit de nog waarneembare sterren van den Melkweg 15000 jaar gebruikt om de reis naar onze Aarde af te leggen. Wanneer wij dus het oog plaatsen aan een der groote sterrenkundige kijkers, dan wordt ons oog getroffen door een lichtstraal welke voor 15000 jaar die gloeiende zonnemassa, welke wij vaste ster noemen, heeft verlaten. De dikte van dat linsvormige melkwegstelsel, hoewel niet zoo aanzienlijk als zijne lengte, schatte Herschel toch op 80 maal de afstand der vaste sterren, en dat hij in die richting de grenzen van het melkwegstelsel bereikt had, werd daardoor bewezen, dat hij daarin met zijnen veertig voet langen kijker niet meer sterren ontdekte dan met zijnen vroegeren twintig voet langen telescoop.

Uit dit kort begrip van het melkwegstelsel volgt dus wat wij in het begin van dit werk (bladz. 3) reeds stelden, dat onze Zon en al de sterren, welke wij met het bloote oog waarnemen, sterren zijn tot den Melkweg behoorende en in zijne ruimte gedompeld.

•
 § 1. Waarschijnlijke afstand der nevelvlekken in de machtigste telescopen zichtbaar. — Andere Melkwegstelsels — Algemeen begrip over den bouw van het Heelal.

Buiten het melkwegstelsel, waartoe wij behooren, ontdekt men in de verre wereldruimte nevelvlekken, zoover van ons verwijderd, dat de machtigste telescopen ze niet in sterren vermogen te ontbinden, hoewel hunne lichtschemering toch veroorzaakt wordt door eene voor ons oog dichte opeenhooping van vaste sterren, zooals de nieuwere volmaakte werktuigen tot zekerheid hebben gebracht. Zulke sterrenhoopen, waarvan wij slechts eene matte lichtschemering waarnemen,

zijn dus wel de meest van ons verwijderde voorwerpen, welke men in het verre hemelruim ontdekt. Herschel nu heeft aangetoond, dat de lichtchemering van een sterrenhoop met zijn telescoop nog waar te nemen is, wanneer deze nog 35000 maal verder verwijderd is dan de vaste sterren der eerste grootte, en omdat zulke vlekken niet in sterren opgelost kunnen worden, moet hun afstand nog grooter wezen. Wanneer wij nu aannemen, dat het licht der vaste sterren middelbaar 10 jaar noodig heeft om tot onze Aarde voort te schieten, dan zou de straal uit zulk een sterrenhoop meer dan 350.000 jaar gebruiken om ons oog te treffen.

In de voorstelling van zulke afstanden schiet onze verbeelding te kort, hoewel wij ons slechts bewegen in dat gedeelte van 't heelal dat voor ons waarneembaar is. Wie echter kan zeggen waar de eindpalen zijn geplaatst van Gods groote schepping!

De sterrenhoopen, welke wij buiten ons melkwegstelsel in het verre wereldruim ontdekken, en wier vorm dikwijls duidelijk linsvormig is, zijn dus andere melkwegstelsels van het onze onderscheiden, hoewel zij met de verschillende melkwegstelsels van het heelal te zamen wellicht weer een nieuw stelsel van hoogere orde vormen. Wanneer wij vandaar uit eens den blik konden slaan op het melkwegstelsel, waartoe ons zonnestelsel behoort, dan zou die reusachtige sterrenverzameling, wier afmetingen ons begrip te boven gaan, inéénkrimpen tot den schijnbaar geringen omvang, waarin de zoogenaamde planeetachtige nevelvlekken zich aan ons oog vertoonen.

Over den eigenlijken bouw van het gansche heelal heeft men vroeger verschillende soms zeer zonderlinge meeningen geopperd. De nieuwere wetenschap komt er echter ridderlijk vooruit, dat wij over het plan en den bouw van het heelal niets met zekerheid weten; zülks is aan de gissingen der verbeelding overgelaten, en de wetenschap is in haar recht die hypothesen te verwerpen, welke niet steunen op feiten en waarnemingen of op deugdelijke gevolgtrekkingen uit zulke feiten afgeleid.

't Is echter niet onbelangrijk te weten, welke gissingen groote geleerden daarover gemaakt hebben.

De scherpzinnige Lambert ontwikkelde in zijne cosmologische brieven een wereldstelsel, dat grootendeels overeenkomt met hetgeen Kant reeds voorstelde, en waarin Herschel hem naderhand volgde. Volgens hem vormt iedere zon met hare planeten en kometen een

stelsel van de eerste en laagste orde. De sterrenhoopen, tot een van welke ook onze Zon behoort, vormen te zamen een stelsel van de tweede orde. Die verschillende sterrenhoopen maken met elkander een stelsel der derde orde uit, het Melkwegstelsel. Al de Melkwegstelsels, welke in het uitgebreid heelal bestaan, vormen een stelsel der vierde orde, en zoo kan de analogie ons brengen tot stelsels der vijfde en zesde orde, en de band, die alles onderling te zamen bindt en overal de oorzaak is der beweging, is de algemeene zwaartekracht.

Verder gaat echter de stoutste vlucht der verbeelding niet; want al stapelen wij, zegt Secchi, getallen op getallen, vergelijking op vergelijking, het begrip van die onmeetbare ruimte is voor ons onmogelijk en de hemelafgrond blijft peilloos. Wat moeten wij denken over die onmeetbare ruimte en over de werelddollen, waarmede zij met zulk een wondervollen rijkdom vervuld is? Wat te denken over die sterren, die waarschijnlijk evenals onze Zon brandpunten zijn van licht, van warmte, van beweging, en die ook bestemd zijn, om evenals onze Zon het leven te onderhouden van eene menigte schepselen van allerlei soort; ons ten minste schijnt het ongerijmd toe om die uitgestrekte streken en werelddollen als onbewoonde woestenijen te beschouwen en het leven enkel tot onze Aarde te bepalen. Hij, die de bron van 't leven is, heeft zijn goddelijk beeld in de gansche schepping uitgedrukt. Hoewel de bewoonbaarheid van het heelal steeds voor ons een raadsel blijft, en geen sterveling in staat is den sluier van dat geheim op te lichten, mogen wij toch de gissing uiten, dat al die werelddollen bevolkt zijn door verstandelijke wezens, in staat hunnen Schepper te kennen, te eeren en te beminnen, en wellicht zijn die schepselen veel getrouwer dan wij in de vervulling van de plichten jegens Hem, die hen uit het niet te voorschijn riep; wij willen ten minste de hoop koesteren, dat er onder hen zulke ongelukkigen niet gevonden worden, die in een dwazen en bekrompen hoogmoed het bestaan en de persoonlijkheid loochenen van Hem, aan wien zij hun eigen bestaan en de gave om de wonderen van zijnen arbeid te kennen, verschuldigd zijn.

DERDE DEEL.

WETTEN DER STERRENKUNDE.

Het heerlijke tooneel, ons in de beschouwing van het zichtbare Heelal aangeboden, hebben wij thans beschreven; vooral het zonnestelsel, waartoe wij behooren, is door ons in zijne bijzonderheden nagegaan, en daardoor hebben wij begrepen welke rol eene enkele van die ontelbare zonnen kan vervullen, welke wij in de vaste sterren aan den hemel zien schitteren; de analogie immers brengt er ons toe om rondom die zonnen evenzoo duistere bollen, ongeschikte lichamen te vooronderstellen als waarmede onze Zon omgeven is; daardoor wordt ons dan in groote mate de heerlijkheid van de Sterrenwereld, de verschillende groepeerings en reusachtige verbindingen van hare miljoenen zonnen geopenbaard; tevens wierpen wij daardoor een blik in die schrikwekkende ruimte van Gods groote schepping tot zoover de krachtigste werktuigen zijn doorgedrongen.

De beschrijvende beschouwing van de Sterrenwereld is hiermede geëindigd, en wat de nieuwste ontdekkingen der sterrenkunde ons geleerd hebben is, zoo wij hopen, teruggegeven op eene wijze, waardoor het belang kon inboezemen, en waardoor men eenig begrip kon verkrijgen van de grootheid en schoonheid van Gods werken.

Volgens ons opgezet plan hebben wij echter achterwege moeten

laten of slechts met een enkel woord kunnen aanstippen datgene, wat de Sterrenkunde als wetenschap tot de volkomenste van alle natuurwetenschappen maakt, de wetten namelijk waardoor de beweging dier hemellichamen wordt geregeld; die thans zoo eenvoudige formules, welke zooveel arbeid, tijd en studie hebben gekost aan hen, die ze ontdekten; voorwaar kostbare overwinningen door den menschelijken geest behaald, waardoor men doorgedrongen is tot in het hart der hemelverschijnselen om oorzaken en gevolgen te bespieden en te verklaren.

Met behulp dier sterrenkundige wetten heeft men met juistheid de beweging der hemellichamen, hunne afmetingen, hun afstand, ja zelfs hunne zwaarte berekend en verklaard, en daardoor aan de andere wetenschappen en aan de zeevaart hoogst belangrijke aanwijzingen gedaan.

Bij de beschrijving der verschillende verschijnselen hebben wij enkel de uitkomsten door de wetenschap verkregen teruggegeven, maar de wijze, waarop men tot zulke stoute uitkomsten geraakte, hebben wij niet verklaard, omdat daartoe eene meetkundige kennis wordt vereischt, waarmede het meerendeel der lezers niet begaafd is, en de taal der Meetkunde, zoo eenvoudig voor de ingewijden en zoo raadselachtig voor de oningewijden, zou een hinderpaal wezen voor de lezing van de Sterrenwereld.

Daarmede is echter niet gezegd, dat men zonder mathematische kennis, volstrekt geen begrip kan verkrijgen van de wetten der Sterrenkunde, en dat het heiligdom dier wetenschap voor de oningewijden steeds gesloten blijft; want zonder zijne toevlucht te nemen tot eene streng meetkundige berekening is eene duidelijke en gemeenzame uiteenzetting en verklaring voldoende om die wetten te begrijpen, en een begrip te verkrijgen over de wijze, waarop de sterrenkundige te werk gaat om tot uitkomsten te geraken, waarvan de niet ingewijde de mogelijkheid nauwelijks inziet.

Om dus den twijfel weg te nemen, welke door oningewijden soms geopperd wordt over groote getallen en over onverklaarbare uitkomsten, volgt op het beschrijvend gedeelte van dit werk eene korte, en zoo wij hopen, bevattelijke verklaring van de voornaamste wetten en berekeningen.

De groote oorzaak van de beweging der hemellichamen, de zwaartekracht met de daardoor veroorzaakte verschijnselen, zooals de

verschillende storingen, de eb en vloed, enz. maken het onderwerp van het eerste boek uit, daarbij zullen wij tevens het stelsel van Laplace, waarin hij de oorsprong en vorming van ons planetenstelsel poogt uit te leggen, bespreken. Daarna zullen wij verslag geven van de wijze, waardoor het den sterrenkundige mogelijk is, zons- en maansverduisteringen te berekenen, en hoe men er toe geraakt is om den afstand der hemellichamen te bepalen, en de mogelijkheid van zulke metingen voor oningewijden aantoonen. Eindelijk volgt eene korte verklaring van de voornaamste sterrenkundige werktuigen, welke men gebruikt om tot zulke uitkomsten te geraken.

EERSTE BOEK.

I.

ALGEMEENE ZWAARTEKRACHT.

§ 1. Algemeene eigenschappen der lichamen. Volume. Massa. Dichtheid. Aantrekking. Zwaarte. Val der lichamen en der planeten. Centraalbeweging. Toepassing der zwaartekrachtswet op de Maan.

Toen wij vroeger ons zonnestelsel beschouwden, bleek duidelijk de invloed, welke die groote centraalbol, de Zon, op zijne ondergeschikte lichamen uitoefent; de eigenlijke oorzaak echter, waardoor de planeten zich met zooveel orde en regelmaat rondom dat middelpunt bewegen, hebben wij toen niet verklaard, en de vraag, welke onwillekeurig in ons moest opkomen, door welke kracht de planeten binnen hunne banen worden gehouden, is toen door ons onbeantwoord gelaten.

Thans zullen wij die kracht, wier kennis wij aan den grooten Newton verschuldigd zijn, verklaren, terwijl wij tot beter begrip eerst eenige algemeene eigenschappen van de lichamen willen nagaan, voor zooverre zulks voor ons doel noodzakelijk is.

Ieder lichaam is vatbaar om op tweecërlei wijze gemeten te worden. De eene wijze bepaalt zijne grootte of uitgebreidheid ook volume genaamd, zonder dat de stof in aanmerking komt, waaruit dat lichaam bestaat.

De andere wijze heeft betrekking op de stof, zonder dat men acht slaat op den vorm of de ruimte, welke het inneemt.

De hoeveelheid stoffelijke bestanddeelen van een lichaam bij elkander genomen noemt men de massa van dat lichaam, en hieruit volgt hoe grooter massa, hoe zwaarder het lichaam, omdat het meer stoffelijke bestanddeelen bevat, en daarom kunnen twee lichamen gelijk zijn in grootte, maar ongelijk in massa; zoo bijv. is de massa van een looden kogel veel grooter dan de massa van een even grooten houten kogel.

Wanneer men nu de massa van een lichaam vergelijkt met die van een ander lichaam, dat een gelijk volume heeft, dan drukt het verschil de dichtheid van dat lichaam uit of met andere woorden het specifiek gewicht er van ¹.

Ter bepaling van de dichtheid der lichamen, heeft men die van zuiver water als eenheid genomen; de dichtheid of het specifiek gewicht van een lichaam is dan het getal, dat aantoont hoeveelmalen een lichaam zwaarder of lichter is dan een gelijk volume water. Om het specifiek gewicht van een lichaam te vinden moet het geheele gewicht van dat lichaam door het gewicht van een gelijk volume water gedeeld worden; daardoor nu vindt men dat een kubiek duim water slechts 1 gram weegt, een kubiek duim ijzer 7,8, een kubiek duim goud 19,258; deze getallen wijzen dus de dichtheid of het specifiek gewicht aan.

Alle lichamen hebben eene neiging om elkander te naderen, met andere woorden, ieder lichaam oefent eene zekere aantrekkingskracht op andere lichamen uit, en wel des te sterker naarmate de massa grooter is. Zulks leert ons de ondervinding. Een in de lucht geworpen steen valt neder, omdat hij door de aarde wordt aangetrokken, evenzoo zouden de regendroppels loodrecht ter aarde vallen, wanneer zij niet door den wind uit die richting gebracht werden. Wanneer de regendroppels langs den muur van een huis vallen, komen zij ook niet zuiver loodrecht neder, omdat de massa van het huis hen aantrekt. Evenzoo ondervonden Maskelijne en Hutton, dat een steile berg, naast welken zij slingerproeven namen, zijne aantrekking op den slinger deed gevoelen. Tevens leert ons de ondervinding, dat de aantrek-

¹ Wanneer D en d de dichtheid, V en v het volumen, M en m de massa van twee lichamen beteekenen, dan is de eenvoudige formule aldus:

$$D : d = M \times v : m \times V$$

$$\text{of } D : d = \frac{M}{V} : \frac{m}{v}$$

king van een lichaam op een ander straalsgewijze uit het middelpunt werkt, zoodat men zeggen kan, dat het eene lichaam het andere aantrekt naar zijn middelpunt, en daarom noemt men die aantrekking ook *centripetaal kracht*.

Die aantrekking, welke overal in de natuur werkzaam is, openbaart zich door drie verschillende werkingen: 1^o door eene kracht waardoor gelijksoortige lichamen te zamen worden gevoegd, 2^o door eene kracht, waardoor ongelijksoortige lichamen verbonden worden, 3^o door eene kracht, waardoor de eigenlijk gezegde zwaartekracht en de planeetachtige aantrekkingen worden veroorzaakt.

Die verschillende verschijnselen nemen hun oorsprong uit ééne en dezelfde kracht waarmede God de stof bedeed heeft, de beweging namelijk. De eigenlijke natuur van die kracht, de wijze, waarop zij tot stand komt, is echter voor den mensch verborgen, wij beoordeelen en kennen haar alleen uit hare gevolgen.

Wij hebben hier slechts te doen met de laatste uiting dier kracht met de *GRAVITATIE* of *ZWAARTEKRACHT*, die zich op twee verschillende wijzen openbaart: 1^o door den val der lichamen naar de aarde, 2^o door de baanbeweging der hemellichamen rondom hun betrekkelijk middelpunt.

Het genie van een Newton was noodig om in te zien en aan te toonen, dat beide soorten van verschijnselen, hoe verschillend ook, toch uit ééne en dezelfde oorzaak voortkwamen.

Lang te voren hadden echter kundige mannen den weg daartoe reeds voorbereid. De grieksehe wijsgeer Anaxagoras, 500 jaren vóór onze jaartelling, noemde, niettegenstaande hij een verkeerd begrip had over den bouw van ons planetenstelsel, de zwaartekracht der Aarde verbonden met de middelpuntvliedende kracht de oorzaak van de cirkelbeweging.

Copernicus verklaarde de ronde gestalte der Aarde uit de streving van de verschillende deelen naar vereeniging.

Kepler, die al zijne voorgangers voorbijstreeft, kwam door de ontdekking van de drie wetten, waarnaar zich de planeten regelen, (zie bladz. 72 en volgenden) een grooten stap nader tot de ontdekking van de wet der zwaartekracht.

Onze vaderlandsche geleerde Huigens, een tijdgenoot van Newton, was wel het dichtst bij de groote ontdekking, zoodat men zich verwonderen moet, dat de groote man de toepassing niet maakte van de

voorstellen, welke hij over de centraalbeweging voordroeg en bewees. De eerste beginselen der rekenkunst toch zijn voldoende om door de verbinding van eene stelling van Huygens met de derde Keplersche wet de wet der zwaartekracht te vinden, waardoor Newton zich een onsterfelijken roem heeft verworven ¹.

Aan Newton toch was de ontdekking van de wet der zwaartekracht voorbehouden. In het jaar 1666 was hij, om de heerschende pest, Cambridge ontvlucht, en bevond hij zich op zijn buitenverblijf te Woolsthorpe, een dorp in het Engelsche graafschap Lincoln. Een van den boom vallende appel zegt men, trof hem en bracht hem de vraag voor den geest, waarom valt de appel en evenzoo ieder losgelaten voorwerp in eene loodrechte richting naar beneden? er moet dus in de Aarde een zeker iets, eene kracht bestaan, waardoor die vallende voorwerpen worden aangetrokken. Zou die kracht ook werkzaam wezen op een afstand zoo groot als de Maan van ons is, en hoe sterk zou die kracht op zulk een afstand nog werken? Nu zag Newton aanstonds in, dat, even als bij het licht, die zwaartekracht afneemt volgens het kwadraat van den afstand, en die stelling nam hij niet enkel aan uit analogie, maar hij zocht die op meetkundige wijze te begrijpen, en de hierboven aangegeven stellingen van Huygens en Kepler kwamen hem te hulp.

¹ Huygens had bewezen, dat bij de in cirkels omloopende lichamen de vierkanten van de omloopstijden in gelijke verhouding staan als de halve middellijn van die cirkels, gedeeld door de drukking, welke die lichamen loodrecht op den onttrek van hunne baan uitoefenen. Wanneer men deze stelling verbindt met de derde wet van Kepler, dan vindt men, dat de zwaartekracht afneemt naarmate het kwadraat van den afstand toeneemt, of met andere woorden in omgekeerde reden van den afstand. Wanneer T en t de omloopstijden van twee lichamen uitdrukken, A en a hun middelbaren afstand, terwijl de kracht of drukking aangeduid wordt door D en d, dan heeft men de stelling van Huygens in teekens uitgedrukt:

$$T^2 : t^2 = \frac{A}{D} : \frac{a}{d}$$

de derde Keplersche wet nu is

$$T^2 : t^2 = A^3 : a^3$$

deze beide stellingen verbonden verkrijgt men

$$\frac{A}{D} : \frac{a}{d} = A^3 : a^3$$

en hieruit $\frac{A \cdot a^3}{D} = \frac{a \cdot A^3}{d} = \frac{a^2}{D} = \frac{A^2}{d}$

waaruit komt $D : d = A^2 : a^2$

Om de wet der zwaartekracht in hare eenvoudigheid te begrijpen, moeten wij ons voorstellen, dat het straalpunt dier kracht in het middelpunt der Aarde zetelt; naarmate nu een voorwerp verder van dat middelpunt verwijderd is, neemt ook de zwaartekracht af en wel volgens het kwadraat van den afstand. Een voorwerp is op de oppervlakte der Aarde, gemiddeld 859 geogr. mijlen van haar middelpunt verwijderd; wanneer die afstand nu dubbel was, zou de zwaartekracht niet tweemaal maar viermaal minder zijn, en zoo wij dien afstand verdrie-, verviervoudigen, enz., dan is die kracht negenmaal, zestienmaal, enz. minder. De Maan is 60 maal de halve dikte onzer Aarde van ons verwijderd, dat is 60 aardstralen. Op zulk een afstand zou dus de zwaartekracht $60 \times 60 = 3600$ maal minder wezen.

Hoe nu zal men vragen is het mogelijk de kracht van die zwaarte te meten? en het antwoord is: door den afstand te meten, welken een lichaam doorloopt in de eerste seconde van zijn val.

De waarneming leert ons, dat een lichaam op de oppervlakte der Aarde in ééne seconde ongeveer 15 parijsche voeten valt, (nauwkeuriger 15,1 p. v.) dat is 4,905 meters. Men noemt dit getal naar den ontdekker het Gallileïsche getal, en in de leerboeken der mechanica zoowel als der sterrenkunde drukt men het uit door de letter *g*. Was dat voorwerp het dubbel van de straal der Aarde, dat is 1719 mijlen van haar middelpunt verwijderd, dan zou de zwaartekracht der Aarde volgens het kwadraat, dat is viermaal minder wezen, en de afstand, welke dat voorwerp doorloopen zou, was ook viermaal minder en dus 3,775 par. voet of 1,226 meters. Was dat voorwerp op den afstand van de Maan, dat is 60 maal de straal der Aarde, dan zou de zwaartekracht 3600 maal minder wezen, en in de eerste seconde zou het slechts een afstand vallen van 0,00419 par. voeten of 0,001361 meter.

De zwaartekracht is eene bestendig werkende kracht, die onophoudelijk haren invloed op het vallende lichaam uitoefent, en daarom eene gelijkmatig versnellende beweging voortbrengt. De eindsnelheden der vallende lichamen zijn evenredig aan den valtijd, dat wil zeggen, dat op het eind van de 2^{de}, 3^{de}, 4^{de} seconde de eindsnelheid 2 maal, 3 maal, 4 maal grooter is dan op het einde der eerste seconde. Wat de weg betreft, welken het vallend lichaam aflegt in de 1^{ste}, 2^{de}, 3^{de}, 4^{de} seconde, deze wordt uitgedrukt door de onevene getallen 1, 3, 5, 7,

of met andere woorden: de doorgeloopene wegen nemen toe of zijn evenredig aan de vierkanten der verloopene tijden.

Het vallende lichaam begint met eene snelheid, die gelijk is aan 0 en heeft op het einde der eerste seconde eene snelheid bereikt van 30 par. voet. Omdat de valsnelheid gelijkmatig toeneemt, zou het lichaam in denzelfden tijd, denzelfden weg hebben afgelegd, wanneer het eene middelbare snelheid van 15 voet had bezeten, en daarom is de weg, welke het vallende lichaam in de eerste seconde aflegt = 15 par. voet. De eindsnelheid bedraagt dus na verloop van de eerste seconde 30 voet. Met deze snelheid voorzien, begint het nu de tweede seconde van zijnen val, maar evenals in de eerste seconde neemt door de steeds voortwerkende aantrekkingskracht der Aarde die snelheid toe, zoodat het lichaam op het einde der 2^{de} seconde eene snelheid bezit van $2 \times 30 = 60$ voet. De weg, welken dat vallende lichaam aflegt, is even groot als het zou afgelegd hebben, wanneer het eene middelbare snelheid tusschen 30 en 60 voet had bezeten, dat is eene snelheid van 45 voet. Daarom legt het vallende lichaam in de tweede valseconde een weg van 45 voeten af, dus in de eerste en tweede seconde een weg van $15 + 45 = 60$ voet, dus in de tweede seconde 2 maal de afstand van de eerste, en aldus vermeerderd de snelheid evenredig met de valtijden, en de doorgeloopte afstand evenredig met het kwadraat der tijden.

Uit het hierboven verklaarde volgt dus, dat de Maan, welke van het middelpunt der Aarde 60,2778 aardstralen is verwijderd, naar de Aarde wordt getrokken met eene kracht, die $60,2778^2$ minder is, dan waarmede die kracht werkt op de oppervlakte der Aarde; wanneer dus de Maan naar de Aarde zou vallen, zou zij in de eerste seconde slechts 0,00136 meter vallen. Zij zou 4,83 dag noodig hebben om met steeds toenemende snelheid op de Aarde te vallen.

Om den duur van den val eener planeet op de Zon of van een wachter op de planeet of van eenig voorwerp van eene aanzienlijke hoogte op de Aarde te berekenen, moet men zijne toevlucht nemen tot zeer samengestelde mathematische formules.

Flammarion heeft echter daarvoor een zeer eenvoudigen regel gegeven, namelijk: "de duur van den val eener planeet op de Zon of van een wachter op zijne planeet, is gelijk aan den duur van den omloop, gedeeld door den vierkantswortel van 32, welke is 5,656856." Wij verkrijgen dan voor de planeten:

	omloop in dagen.				val op de Zon.
Mercurius	87,9692	gedeeld door	5,656856	=	15,55 dag.
Venus	224,7007	"	"	"	= 39,73 "
Aarde	365,2564	"	"	"	= 64,57 "
Mars	686,9796	"	"	"	= 121,44 "
Jupiter	4332,5848	"	"	"	= 765,87 "
Saturnus	10750,2198	"	"	"	= 1901,93 "
Uranus	30686,8208	"	"	"	= 5424,57 "
Neptunus	60127,36	"	"	"	= 10627,34 "

Die vierkantswortel uit 32, is niet een toevallig of willekeurig getal, maar een onmiddellijk gevolg van de derde Keplersche wet verbonden met de wetten der mechanica.

Daardoor zien wij dan ook, dat de duur van den val der verschillende planeten onderling tot elkander staat als de vierkantswortels der kuben van den middelbaren afstand, zoodat het niet noodig is ze allen rechtstreeks te berekenen; indien wij bijv. Saturnus nemen, dan is zijn afstand tot de Zon, met dien van onze Aarde als eenheid, gelijk aan 9,53885; de kube van dien afstand is 867,931, en hieruit den vierkantswortel getrokken geeft 29,46, welnu dit vermenigvuldigd met den val van onze Aarde op de Zon geeft evenzoo 1902.

De planeten echter vallen niet in de Zon noch de Maan op onze Aarde, omdat zij eene kracht bezitten, tangenciaal- of centrifugaal-kracht geheeten, en door de samenwerking van die beide krachten, worden de planeten zoowel als de Maan binnen hare baan gehouden. Eene korte verklaring van die kracht zal ons des te beter de zwaartekracht doen begrijpen.

Centraal-beweging noemt men die beweging, welke bepaald wordt door eene naar een onveranderlijk middelpunt gerichte kracht, daarom wordt deze ook centripetaal-kracht genoemd; maar bezit nu het punt aan die kracht onderworpen tevens eene eigene beweging, welke niet samenvalt met de richting dier eerste kracht, dan moet het punt eene kromlijnige baan beschrijven. Wanneer onze Aarde bijv. zich in a bevond, en alleen onderworpen was aan de zwaartekracht der Zon, welke wij in m vooronderstellen, dan zou zij geene andere richting kunnen volgen dan langs de lijn a m en in de Zon storten, gelijk een losgelaten steen loodrecht op de Aarde valt. De groote Schepper van het heelal heeft echter aan

de Aarde eene eigene beweging gegeven, eene streving namelijk om zich langs de lijn $a b$ te verwijderen, evenals een aan een touw

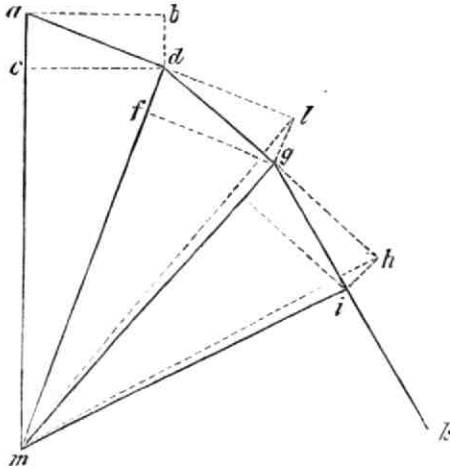


Fig. 27. Verklaring der Centraalbeweging.

rondgeslingerden steen eene neiging heeft om zich van het middelpunt zijner beweging te verwijderen, en daarom noemt men die eigene beweging, middelpuntvliedende- of ook wel tangentialkracht, omdat zij de neiging heeft zich langs de tangens of raaklijn $a b$ te verwijderen.

Wanneer het punt a , zie Fig. 27, eene eigene beweging heeft, zal het zich in eene bepaalde tijdruimte tot b bewegen, maar als dat punt aan eene tweede kracht onderworpen is, waardoor het in dezelfde tijdruimte tot c zou vallen, moet dat punt onder den invloed dier beide krachten zich bewegen naar d , volgens de wet, welke men noemt het parallelogram der krachten. De radius vector of voerstraal heeft dus uit m , den driehoek $a d m$ beschreven. In d gekomen zou het punt a , aan zijne eigene beweging overgelaten, naar l voortsnellen, maar de kracht, welke het naar f dringt, noodzaakt het de richting $d g$ te volgen, zoodat wij daaruit begrijpen, dat de baan van zulk een punt krom moet zijn.

Letten wij nog eens op de beweging van dat punt. In d gekomen zou het zonder den invloed van de kracht, welke uit m werkt, in hetzelfde tijdsverloop den weg naar l afleggen, zoodat $d l = a d$, en daarom is driehoek $d l m =$ driehoek $a d m$. Door den invloed van de kracht in m , komt echter het punt in g , daar echter de meetkunde

ons leert, dat twee driehoeken met gelijke basis en gelijke hoogten ook gelijken inhoud hebben, volgt hieruit, dat driehoek $d l m =$ driehoek $d g m$ en dus driehoek $d g m =$ driehoek $a d m$ is, en zoo kan men de gelijkheid der overige driehoeken bewijzen. Die driehoeken nu zijn de vlakte-uitgebreidheden, welke de voerstraal beschrijft in eene bepaalde tijdruimte, en daardoor heeft men de algemeene wet bij de centraal-beweging: in gelijke tijden beschrijft de voerstraal gelijke vlakte-uitgebreidheden. Deze grondwet van de centraal-beweging voert den naam van tweede Keplersche wet (zie bladz. 74).

Volgens deze wet kan men gemakkelijk de soort en de wijze bepalen der beweging van een door centraal-krachten voortgedreven lichaam. Beweegt zich dat lichaam in een cirkel, zoo moet de beweging noodzakelijk gelijkvormig wezen, want, omdat bij gelijke tijden ook gelijke vlakte-uitgebreidheden behooren, moeten om de cirkelbeweging in gelijke tijden ook gelijke deelen der baan of gelijke bogen beschreven worden. Anders is het echter bij de beweging der planeten, die, zooals wij weten, in eene elliptische baan loopen.

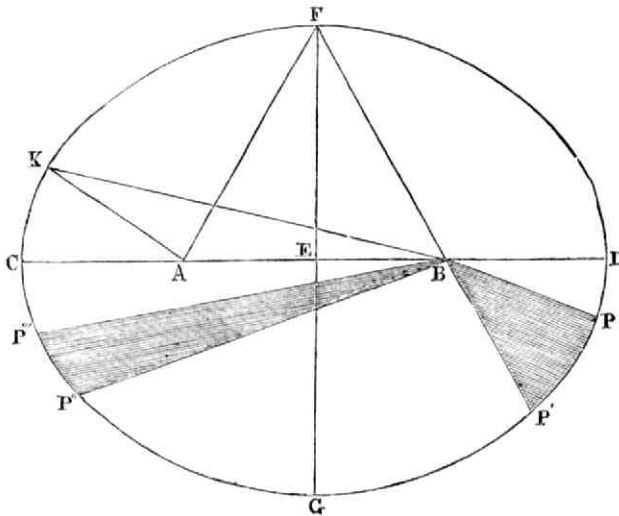


Fig. 28. Wetten der Ellips.

Zij $C F D G$ eene ellips, in wier ééne brandpunt B eene aantrekkende kracht werkt, terwijl het lichaam P de elliptische baan beschrijft. Wanneer dat lichaam nu in eene bepaalde tijdruimte den boog $p p'$ beschrijft, dan beschrijft de radius vector de vlakte-uitgebreidheid $B p p'$. Wanneer dat lichaam in p'' is gekomen, moet

volgens de bovengenoemde wet de radius vector in dezelfde tijdruimte eene gelijke vlakke-uitgebreidheid beschrijven als de voerstraal $B p$. Omdat echter de voerstraal $B p'$ grooter is dan de voerstraal $B p$, zoo is het duidelijk, dat de boog $p'' p'''$ kleiner moet wezen dan de boog $p p'$, en omdat $B. p p' = B. p'' p'''$ volgt hieruit noodzakelijk, dat het lichaam zich langzamer beweegt, want de boog, welke het doorloopt, is kleiner hoewel de tijd gelijk is. Die kleinste snelheid moet dus daar plaats vinden waar het lichaam de grootste afstand van het middelpunt heeft, namelijk in C . De snelheid eener planeet is dus in het perihelium in D het grootst en in het aphelium in C het kleinst; de vermeerderde snelheid daar, waar de aantrekking der Zon het sterkst is, belet dus dat de planeet buiten hare baan wordt gedreven.

Uit dit alles begrijpen wij nu dat de baan, welke de planeten om de Zon en de wachters om hunne hoofdplaneet beschrijven, het resultaat is van twee krachten, van de eigene beweging, welke zij bezitten en van de zwaartekracht.

Toen Newton de wet der zwaartekracht ontdekt had, paste hij die het eerste toe op de beweging der Maan rondom de Aarde, en omdat het bewijs van die stelling de levensvraag is der sterrenkundige wetenschap, willen wij hier de berekening en daardoor het bewijs leveren voor de zwaartekracht.

Hierboven zagen wij, dat de afstand, welke een lichaam doorloopt in de eerste seconde van zijn val, het middel is om de zwaartekracht te berekenen. Wanneer nu de zwaartekracht de oorzaak is, welke de Maan in hare baan houdt rondom de Aarde, dan moet de Newtonsche gravitatiewet ook op haar van toepassing zijn. Wanneer een lichaam op Aarde in de eerste seconde 4,9 meter valt, dan moet die kracht op de Maan $60 \times 60 = 3600$ minder sterk werken, en in de eerste seconde zou dus de Maan slechts 0,00136 meters vallen, dat is in eene minuut volgens de gelijkmatig toenemende snelheid 4,9 meters; de val van de Maan naar onze Aarde is dus in ééne minuut even groot als de val van een lichaam op de oppervlakte der Aarde in ééne seconde. Wanneer wij (Fig. 27) ons de Aarde in m verbeelden en de Maan in a , dan is de lijn $a b$ de afstand, welken de Maan in eene minuut aflegt, en de lijn $a c$ of $b d$ toont ons den val, welken de Maan onder den invloed der zwaartekracht van onze Aarde maakt. Als nu de zwaartekracht ook de Maan beheerscht, dan moet de val $b d$, welke zij in ééne minuut maakt, gelijk zijn aan 4,9 meter.

De gansche baan der Maan bedraagt 2,400000000 meters, welke zij doorloopt in $27\frac{1}{3}$ dag, dat is dus iedere minuut een boog van 61320 meters. Om hiernit nu den val te berekenen is het noodig, dat men het kwadraat van den doorgelooopen boog deelt door de middellijn van de baan ¹⁾, en dan verkrijgt men $61320^2 = 3760142400$ meters, dit nu gedeeld door de middellijn van de maanbaan, namelijk door 767424000 geeft de gezochte 4,9 meter. Newton was bij zijne eerste berekening zoo gelukkig niet, want omdat de straal der Aarde nog niet met juistheid bekend was, nam hij dezen te klein en verkreeg daardoor voor den val van de Maan in plaats van 15 par. voeten, slechts $13\frac{1}{3}$ voet, zoodat hij meende, dat de zwaartekracht de Maan niet binnen hare loopbaan kon houden. Toen hij echter in 1682 door de nauwkeurige graadmeting van Picard, de lengte der aardstraal beter kende, werd zijne gevondene wet glanzend bewaarheid.

Die uitkomst vervulde Newton met blijdschap, en daarvan nu uitgaande spoorde hij die wet bij andere hemellichamen na, en bevond dat alle hemellichamen van ons zonnestelsel aan die wet gehoorzamen. Zoo houdt de zwaartekracht der Zon alle planeten in hare banen, want ook zij oefent die kracht uit volgens het kwadraat van den afstand. Diezelfde wet is ook van toepassing op de verschillende wachters der planeten, en de nieuwere sterrenkunde heeft die wet ook in werking gevonden bij de vaste sterren in die stelsels, waar twee of meer zonnen met elkander zijn verbonden, zoodat die kracht door God in het wijduitgestrekt heelal aan de stof geschonken, den waren naam van algemeene zwaartekracht draagt.

§ 2. Toepassingen der zwaartekracht om het gewicht van een hemellichaam te vinden. Specifiek gewicht van onze Aarde, afgeleid uit de aantrekkingskracht. — Totaal gewicht van onze Aarde. — Grootte der hemellichamen, der Maan en der Zon. — Specifiek gewicht en zwaarte der Zon. — Massa der planeten en der vaste Sterren.

De verklaring van de wet der zwaartekracht voert ons van zelve tot verschillende toepassingen dier wet, en wel tot eene waarheid, die

¹⁾ Deze berekening is volgens de bekende formule.

$$\text{middell.} : \text{Boog} = \text{Boog} : z$$

waaruit volgt

$$z = \frac{\text{Boog}^2}{\text{middell.}}$$

voor oningewijden wonderspreukig klinkt. Niet alleen bepalen de sterrenkundigen den afstand en de grootte van de hemellichamen, die door geen sterveling bereikt kunnen worden, maar zij wagen het zelfs uit te spreken hoe zwaar Zon, Maan en planeten zijn; hoeveel aardbollen men bijv. in eene schaal zou moeten plaatsen om in evenwicht met de Zon te komen.

Vooraf dient men echter goed te begrijpen, wat men er onder verstaat, wanneer men van het gewicht van een hemellichaam spreekt; want dat er van geene nauwkeurige opgave sprake kan zijn, zal iedereen gemakkelijk begrijpen; men neemt eene massa, zooals bijv. onze Aarde tot eenheid, en daarmede vergelijkt men de lichamen wier zwaarte men bepalen wil, zoodat de zaak eigenlijk deze is, eene bepaling hoeveelmaal de massa der Zon, Maan of planeten grooter of kleiner is dan de massa onzer Aarde. Dat nu zulk eene berekening mogelijk is en op goede gronden steunt, zullen wij trachten duidelijk te maken, zelfs voor hen¹, die in de meetkunde niet zijn ingewijd. In de eerste plaats zullen wij de vraag beantwoorden:

Is het gewicht van onze aarde te berekenen, zooals wij dat op bladz. 122 stelden, op 13 quadrilloenen ponden, mogelijk?

Om te weten hoe zwaar een lichaam of wat hetzelfde is, hoe groot deszelfs massa is, dan weegt men het en vindt dan met nauwkeurigheid het aantal ponden, enz.; deze wijze kan echter bij de Aarde niet gebruikt worden. Maar daar men den inhoud der Aarde kan berekenen, namelijk 2659 millioen kub. mijlen in ronde getallen, zoo kon men door een klein gedeelte, bijv. een kubiek centimeter, te wegen door vermenigvuldiging tot de totale zwaarte geraken. Ook deze wijze is echter ondoenlijk, omdat de Aarde uit bestanddeelen bestaat van zeer onderscheidene zwaarte.¹ Tevens weet men van het inwendige der Aarde niets met zekerheid, alleen dat de inwendige deelen dichter en dus zwaarder zijn, wat men gemakkelijk kan begrijpen door de geweldige drukking der bovenste aardlagen. Men moet dus een ander middel bezigen om de middelbare specifieke zwaarte der Aarde te vinden, en de zwaartekracht, met andere woorden de aantrek-

¹ Wanneer men zuiver water tot eenheid neemt, dan weegt kalk, gips en feldspaat, de hoofdbestanddeelen van de uiterste aardkorst, 2,7 tot 3,1 zwaarder dan water, graniet 2,5 tot 3,0, zand en kiezel 2,6, klei 2,63, glimmerschiefer 2,9, zoodat de middelbare dichtheid van deze bestanddeelen is 2,7; koper weegt echter 8,87, zilver 10,7, goud 19,39 maal zwaarder dan water.

kingskracht van de Aarde geeft daartoe het middel aan de hand.

Maskelyne en Hutton gebruikten daartoe den slinger (bladz. 118); nadat zij van een steilen berg het specifiek gewicht benevens den inhoud zoo nauwkeurig mogelijk gemeten hadden, lieten zij in de nabijheid van dien berg den slinger bewegen, en daar ieder lichaam in verhouding tot zijne massa een ander lichaam aantrekt, moest die berg noodzakelijk invloed op den slinger uitoefenen, zoodat het slingeringsvlak niet meer loodrecht bleef. Uit het onderscheid nu van de zijdewaartsche beweging door den berg veroorzaakt, met de loodrechte beweging door de aantrekking der Aarde veroorzaakt, berekenden zij het specifiek gewicht der Aarde, en bepaalden het op 4,7 maal de dichtheid van water. Omdat men echter de innerlijke deelen van den berg niet nauwkeurig kende, kon men ook niet met zekerheid zijne massa berekenen, en daarom bleef de gansche berekening slechts eene onnauwkeurige gissing.

Cavendish nam echter met den slinger andere proeven, en kwam tot eene uitkomst, welke men tegenwoordig voor de ware houdt. Hij hing twee groote looden kogels, wier massa's hij nauwkeurig kende, horizontaal naast elkander en tussehenbeiden in hing hij aan een zilverdraad een metalen staafje, aan beide einden voorzien met een licht metalen kogeltje. Door de verplaatsing der beide zware kogels, geraakten door de aantrekkingskracht de lichte kogeltjes in eene slingerende beweging. Die slingeringen nu vergeleek hij met de slingeringen, welke de Aarde aan elk opgehangen lichaam onder zekere omstandigheden geven kan, en kwam tot het besluit, dat het specifiek gewicht der Aarde gelijk is aan 5,48 maal de zwaarte van water, zoodat het door Cavendish uitgevonden werktuig de schaal is, waarop men de Aarde weegt. Reich heeft naderhand die proeven, waarbij veel voorzorg en groote oplettendheid noodig is, op eene zeer nauwkeurige wijze herhaald, en kwam tot het besluit, dat de Aarde 5,44 maal zwaarder was dan water, zoodat het verschil met de opgave van Cavendish zeer gering is. Wanneer men nu de middelbare dichtheid der Aarde op 5,44 stelt en het gewicht van één kubiek voet water op 70 pond, dan verkrijgt men de volgende eenvoudige vermenigvuldiging $5,44 \times 70 \times 22842,55^3 \times 2650269100 = 13$ quadrilloenen ponden. ¹

¹ De geogr. mijl is gelijk aan 22842,55 par. voeten; de inhoud van een kogel is gelijk aan het product van de oppervlakte met $\frac{1}{6}$ gedeelte der middellijn, daardoor verkrijgen wij dan voor onze Aarde 2650269100 kub. mijlen.

Om de ware grootte van de hemellichamen buiten ons te vinden gaat men niet te werk, zooals bij de berekening van de grootte onzer Aarde, waarbij men van den omtrek uitgaat; maar men berekent eerst de middellijn, en daaruit leidt men gemakkelijk de verschillende grootheden af.

Om de ware grootte van eene middellijn te kennen, heeft men twee verschillende zaken te meten, namelijk de schijnbare middellijn, wat zeer nauwkeurig en gemakkelijk met een micrometer (zie bladz. 301, noot) geschiedt, en vervolgens moet men den afstand kennen. Uit deze beide gegevens berekent men op eene eenvoudige wijze de ware grootte van de middellijn.

Hiertoe gebruikt men twee verschillende wijzen:

Men verbeelde zich den afstand van het hemellichaam als de halve middellijn van een cirkel, waarvan onze Aarde het middelpunt inneemt, dan is het gemakkelijk den omtrek van dien denkbeeldigen cirkel te kennen, en daaruit de ware lengte te bepalen van het gedeelte, dat de schijnbare middellijn van het hemellichaam op dien cirkel inneemt. Zoo bijv. is de afstand van de Maan middelbaar 51805 mijlen van het middelpunt onzer Aarde verwijderd, dus de gansche omtrek van den denkbeeldigen cirkel, waarop wij ons de Maan verbeelden, is 325490 mijlen lang, zoodat iedere graad van dien cirkel gelijk is aan $\frac{325490}{360} = 904$, en iedere minuut ongeveer 15 mijlen. Wanneer nu de Maan door hare schijnbare middellijn een boog van 32 minuten beslaat, dan is de ware middellijn 32×15 mijl = 480 geogr. mijlen. Deze lengte is echter niet de ware, omdat de factoren der berekening niet nauwkeurig zijn genomen. 't Is echter hier voldoende, als de wijze van berekenen maar begrepen wordt.

De tweede wijze om de grootte van een hemellichaam te berekenen is eenvoudiger en gegrond op meetkundige verhoudingen. De formule daarvoor is: de ware halve middellijn van een hemellichaam is gelijk aan zijn afstand van het middelpunt der Aarde vermenigvuldigd met den sinus van de schijnbare halve middellijn. Om zulk een sinus te vinden, sla men eene logaritmisch-trigonometrische tafel na. Bijv. de schijnbare halve middellijn der Zon is ongeveer 16 minuten en de afstand der Zon, volgens de door ons gevolgde parallaxe van $8",57$, is 20,682000 geogr. mijlen. De sinus nu van de schijnbare halve middellijn is gelijk aan 0,0046, daaruit volgt dat de ware halve middellijn is 96400 en de geheele middellijn 192800 mijlen. Hoe men hieruit den omtrek, inhoud, enz. berekent, is vroeger getoond.

Hierboven hebben wij verklaard op welke wijze men het specifiek gewicht van onze Aarde heeft gevonden, en hoe men daaruit de zwaarte of de massa der geheele Aarde heeft berekend; op dezelfde wijze nu kan echter de dichtheid en de massa der andere hemellichamen niet bepaald worden, maar toch kan zulks gevonden worden, en het is ook gevonden, doch op eene juist tegenovergestelde wijze: men berekent eerst de massa en daaruit het specifiek gewicht. Die berekening vindt haren grond in dezelfde wet der aantrekking, waardoor men tot de kennis kwam van het specifiek gewicht onzer Aarde, en evenals men bij de Aarde de massa berekende uit het specifiek gewicht, vermenigvuldigd met den inhoud, zoo berekent men nu juist omgekeerd bij de andere hemellichamen het specifiek gewicht, wanneer men de gevondene massa deelt door den inhoud.

De vraag is dus nu, hoe kan men de ware massa of het gewicht van een hemellichaam berekenen?

Dit geschiedt door de toepassing van de Newtonsche gravitatie-wet.

Wanneer het mogelijk was onze Aarde en de Zon bijv. achtereenvolgens in de nabijheid van een bepaald lichaam te plaatsen, en als wij dan de kracht waarnamen, waarmede de Aarde en de Zon op dat bepaalde lichaam werkten, dan was het vraagstuk opgelost, want dan zou de Zon zooveelmaal zwaarder dan de Aarde wezen als zij dat lichaam sterker zou aantrekken dan deze laatste, en de kracht van die aantrekking beoordeelen wij naar den afstand, welke een vallend lichaam in de eerste seconde doorloopt.

Welnu, wat ons onmogelijk toeschijnt hebben de sterrenkundigen mogelijk gemaakt, zie hier de wijze, waarop men te werk gaat.

De ondervinding heeft ons geleerd, dat een lichaam op de oppervlakte van onze Aarde vallende een afstand aflegt van 4,9 meter in de eerste seconde, en omdat volgens de theorie van Newton de aantrekkingskracht van een bol straalsgewijze uit het middelpunt werkt, kan men zeggen, dat een vallend lichaam op de oppervlakte der Aarde één aardstraal van het middelpunt der aantrekking verwijderd is.

De massa der Aarde dus doet een lichaam op een afstand van 6,400000 meters (aardstraal) in de eerste seconde 4,9 meter vallen.

Onze Aarde wordt, gelijk wij weten, door de Zon aangetrokken, en daar wij nauwkeurig de lengte der baan kennen, welke zij in een jaar rondom de Zon aflegt, valt het niet moeielijk haren val

naar de Zon in de eerste seconde te berekenen; die val nu, welke de Aarde in ééne seconde naar de Zon doet, bedraagt 0,0032 meters.

Nu moet echter gevonden worden hoe groot de val der Aarde in de eerste seconde zou zijn, wanneer zij slechts op den afstand van 6,400000 meters van de Zon stond; met andere woorden, hoe groot de val der Aarde wezen zou, wanneer zij eens 23300 maal dichtter bij het middelpunt der Zon stond, dat is op den afstand van één aardstraal. Dit nu kan volgens de Newtonsche gravitatie-wet gemakkelijk berekend worden; de Zon zou alsdan 23300^2 maal sterker werken, dat is de afstand, welke het vallend lichaam doorliep, zou 542 890 000 maal grooter zijn; in plaats dus van 0,0034 meters zou het lichaam doorloopen $0,0032 \times 542890000 = 1737248$ meters.

Wij hebben thans, wat wij in den beginne eene onmogelijkheid noemden, namelijk een lichaam achtereenvolgens in de nabijheid van de Zon en de Aarde te plaatsen.

Op den afstand van één aardstraal doet de Aarde in de eerste seconde een lichaam 4,9 meter vallen, op den afstand van één aardstraal doet de Zon in de eerste seconde een lichaam 1737248 meter vallen. Hieruit volgt dus noodzakelijk, dat de massa der Zon zooveelmaal grooter is dan de massa der Aarde als 1737248 grooter is dan 4,9. Hieruit besluit men dat de zonnemassa in ronde getallen 354000 maal grooter is dan de massa der Aarde, zoodat men 354000 aardbollen noodig zou hebben om met de Zon in evenwicht te zijn. Omdat het specifiek gewicht van een lichaam gelijk is aan zijne massa gedeeld door den inhoud, en daar wij weten dat de Zon 1400000 maal grooter is dan de Aarde, is het specifiek gewicht der Zon gelijk aan $\frac{354000}{1400000}$ dus gelijk aan 0,25 of $\frac{1}{4}$ van de dichtheid onzer Aarde. De zwaarte der Zon zou dus gelijk zijn aan 354000×13 quadrillioenen = aan

⁵ 4.600000.000000.000000.000000.000000.000000 ¹ ponden.

Op dezelfde wijze kan men nu de massa berekenen van die planeten, welke wachters hebben, want dan verkrijgt men dezelfde betrekkingen als van onze Aarde tot de Maan en tot de Zon. Men kan immers berekenen hoe groot de val is, welke bijv. de vierde maan van Jupiter naar die planeet maakt, dus op een afstand van 265.403 geogr. mijlen; nu berekent men, omdat men den val van Jupiter naar de Zon weet, hoe groot die val zou zijn wanneer Jupiter

ook eens 265,403 mijlen van de Zon stond, uit dien verschillenden val verkrijgt men op de hierboven aangegeven wijze de massa der Zon, en uit de vergelijking met onze Aarde de massa van Jupiter, want dan neemt men de massa der Aarde tot eenheid

Moeielijker valt echter de berekening van de massa dier hemellichamen, welke geene wachters hebben, zoo als Venus, Mars, onze Maan, enz. Hunne massa kan alleen bepaald worden uit den graad van aantrekking, welke zij uitoefenen, wanneer andere planeten, kometen of wachters in hunne nabijheid komen, hetgeen echter veel moeielijker is, zoodat de opgaven der massa en van het specifiek gewicht niet zoo nauwkeurig is als bij die planeten, welke wachters bezitten. Omdat echter alle lichamen aantrekkingskracht bezitten, en die niet enkel op kleinere maar ook op grootere lichamen uitoefenen, moet een wachter ook invloed hebben op zijne hoofdplaneet, en die invloed kan berekend worden. De invloed van onze Maan bijv. kennen wij niet alleen door eb en vloed, maar ook door de verplaatsing van de as onzer Aarde (nutatie), waarover wij in het volgende hoofdstuk zullen spreken. Uit zulke inwerkingen wordt de aantrekkingskracht van de Maan berekend, daaruit hare massa en in verband met hare grootheid leert men dan haar specifiek gewicht kennen.

Dit weinige is voor ons doel genoegzaam; wij wilden alleen aantoonen, welke middelen men gebruikt, en hoeveel scherpzinnigheid, tijd en moeite er noodig is om bijv. de tabel op blz. 84 zamen te stellen.

Tot dusverre toonden wij de wet der zwaartekracht, geldig in ons zonnestelsel, en hoe verbazend ver de grenzen zich uitstrekken van het gebied, waarbinnen de Zon door hare aantrekking heerscht toont ons de laatste der bekende planeten, die zich op een afstand van de Zon bevindt meer dan 20 maal verder dan onze Aarde, en toch door deze in hare baan wordt gehouden. Een kanonskogel die 500 meters in de eerste seconde aflegt, zou, wanneer hij die snelheid kon bewaren, toch 200 jaar behoeven om Neptunus te bereiken.

Het moet waarlijk vermetel schijnen, dat de mensch ook bespiedt wat er buiten dat gebied plaats grijpt, en dat hij een rijk binnentreedt, dat meer dan 4 billioenen mijlen van onze Zon gelegen is, want ook daar heeft de nieuwere sterrenkunde de toepassing gevonden der New-

tonsche gravitatie-wet. Blz. 347 gaven wij eene tafel van de baanelementen van sommige dubbelsterren, en daaruit bleek, dat van deze zonnen de eene zich om de andere beweegt, en wel langs eene elliptische baan, evenals de planeten van ons zonnestelsel. Zulk eene beweging is echter een noodwendig gevolg der gravitatie-wet, zoodat die wet ook buiten ons zonnestelsel in Gods groote schepping geldig is. Mocht men er toe geraken om de halve middellijnen dier banen in eene ons bekende maat uit te drukken, dan zou men, evenals wij bij de planeten gedaan hebben, den val kunnen berekenen, welke de omloopende Zon naar zijn middelpunt maakt, en vervolgens door middel van de gravitatie-wet den val kunnen bepalen, welke die omloopende Zon zou maken op een afstand als die van onze Aarde tot de Zon, en daaruit zou men dan de massa kunnen leeren van die centraalzon met betrekking tot de onze.

II.

VOORUITGANG DER EVENNACHTEN. — NUTATIE — STORINGEN DER PLANETENBANEN.

§ 1. Verschil van een tropisch- en een sterrenjaar. Verklaring van den vooruitgang der evennachten of teruggang der evennachtspunten. Platonisch jaar. Toenemende lengte der sterren. Veranderde poolrichting. Nutatie. Oorzaken der præcessie en nutatie. Verandering in de helling der aardas op de ecliptica.

Onze Aarde wentelt om hare as in 86164 seconden, dat is in 23 uren, 56 minuten en 4 seconden, middelbaren tijd, en die wenteling maakt dag en nacht; de omloop echter van onze Aarde op hare baan om de Zon maakt het jaar; maar zooals wij vroeger (bladz. 125) reeds melding maakten van een tweevoudigen dag: de sterrendag, die onveranderd zijnen duur behoudt, en de zonedag wiens duur in den loop van het jaar verschillend is, en die middelbaar langer is dan een sterrendag; zoo ook onderscheiden de sterrenkundigen een tweevoudig jaar, een tropisch jaar en een sterrenjaar, die ook met elkander in duur verschillen. Een TROPISCH jaar bevat den tijd, welke er ver-

loopt van het oogenblik, waarop het middelpunt der Zon het denkbeeldig verlengde vlak van den aardsehen evenaar doorgaat, en dus in een der evennachtspunten staat, tot op het oogenblik, waarop diezelfde doorgang nog eens geschiedt. Het bevat dus den tijd tusschen twee lente-evennachten, wanneer de Zon boven den evenaar rijst, of tusschen twee herfst-evennachten, wanneer de Zon onder het vlak van den æquator daalt.

Wanneer men nu den duur tusschen twee lente-evennachten waarneemt, vindt men 365,2422166 dagen of 365 dag., 5 ur., 48 min., 47,51 sec. Wanneer men echter den duur waarneemt, waarop de Zon zich opnieuw aan hetzelfde punt van den hemel vertoont, bijv. op den zelfden afstand van eene bepaalde ster, dan heeft men een STERRENJAAR dat 365,2563744 dagen of 365 dag., 6 ur., 9 min., 10,74 sec. lang is. Het tropisch jaar is dus 20 min., 23 seconden korter dan een sterrenjaar.

Wat is daarvan de oorzaak, en op welke wijze is dat verschil te verklaren?

Wij weten, dat de lengte der sterren geteld wordt van het voorjaars-evennachtspunt, zooals wij vroeger op bladz. 305 reeds verklaard hebben. Wanneer wij nu waarnemen, dat het evennachtspunt juist 30 minuten van de ster γ uit Pegasus valt, dan zeggen wij γ Pegasus heeft $0^{\circ} 30'$ lengte. Doen wij nu een jaar later dezelfde waarneming, dan vinden wij, dat γ Pegasus, meer dan 30 min. van dat punt afstaat en wel $0^{\circ} 30' 50''$,24. Een van beiden moet dus plaats hebben, of de ster γ moet van plaats veranderd zijn, of het snijpunt van den æquator met de ecliptica moet verplaatst zijn. Omdat wij echter bij alle sterren die verplaatsing waarnemen, en omdat er in hunne breedte, dat is de afstand van de ecliptica, geene verandering plaats heeft, is het duidelijk, dat het snijpunt niet meer op hetzelfde punt van de baan gelegen is, maar iets vroeger; dat snijpunt loopt dus terug, dat is, tegen de orde der telling in, en daarom spreekt men van den teruggang der evennachtspunten; omdat echter het oogenblik, waarop die doorgang plaats grijpt, elk jaar iets vroeger komt, noemt men het ook den vooruitgang of præcessie der evennachten.

Wanneer het vlak van den evenaar met betrekking tot de ecliptica onveranderd dezelfde richting behield, moest ook noodzakelijk het snijpunt dier beide vlakken op hetzelfde punt gelegen zijn; de rich-

ting dus van het vlak van den evenaar is veranderd en dus ook de pool der Aarde, die wel dezelfde richting behoudt met betrekking tot den evenaar, maar niet in het verre hemelruim; die pool beschrijft langzaam een cirkel om de pool van de ecliptica, en doorloopt in $71\frac{1}{2}$ jaar slechts één graad, zoodat de pool der aarde 26000 jaar noodig heeft om den ganschen omloop te maken, 26000 jaren zijn er dus noodig om het voorjaars-evennachtpunt al de 12 teekens van den dierenriem te doen doorloopen. Zulk een omloop noemt men een PLATONISCH jaar.

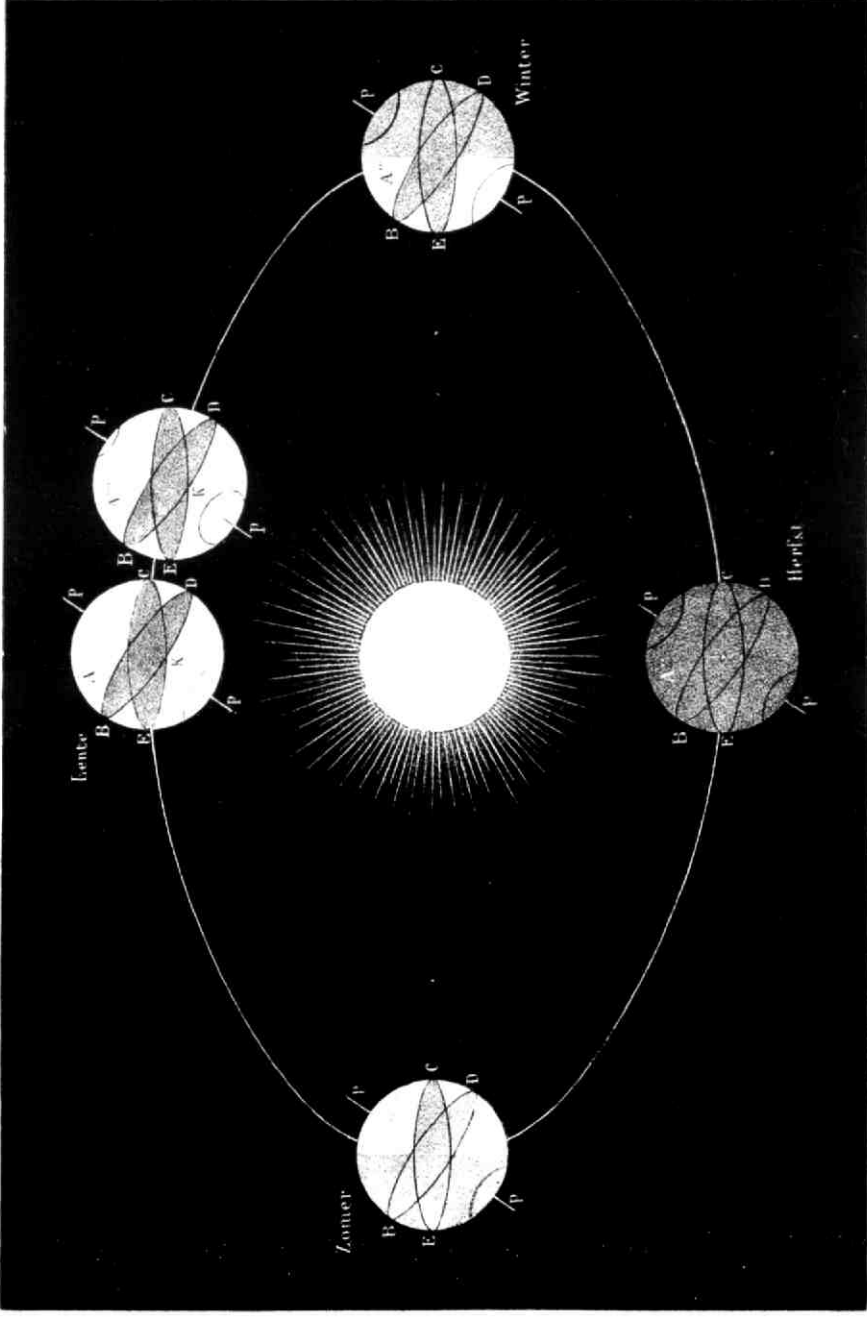
Met de afbeelding van plaat LVI voor ons, zullen wij die praecessie, zoo ik hoop, gemakkelijk begrijpen.

De loopbaan der Aarde is door de woorden lente, zomer, enz. genoegzaam aangeduid. In $A A' A'' A'''$ behoudt de pool der Aarde pp. overal op zijne baan dezelfde richting en dus ook de æquator BD.

In A is de stand afgebeeld der Aarde op het oogenblik van de lente-evening, dan gaat het vlak van den zonsweg juist door het vlak van den æquator; van dit punt af nu begint men de lengtetelling der sterren, en eene ster, welke zich in het verlengde van k bevindt, zou dan 0 graden lengte hebben; wanneer nu de Aarde, na haren omloop te hebben gemaakt, juist denzelfden stand van as en æquator had behouden, zou ook weder het snijpunt in A gelegen zijn, en de waargenomene ster zou op dezelfde lengte, namelijk 0 graden zijn gebleven; maar nu is in den loop van het jaar de as en ook de æquator een weinig verplaatst, (tot beter begrip is in de plaat (A''') de verandering in de as overdreven) en nu valt het oogenblik, waarop die beide vlakken elkander snijden, niet in A, maar vroeger in A'' ; wanneer zich nu weder eene ster zou bevinden in het verlengde van k, dan zou die ster, omdat de telling nu daar begint 0 graden lengte hebben, en de vroeger waargenomen ster zou dan niet meer op 0 lengte staan maar in lengte zijn toegenomen.

Al de vaste sterren nemen zoo elk jaar $50'',24$ in lengte toe, omdat het evennachtpunt elk jaar zooveel achteruitschuift, en dit is de reden, waarom men elk jaar de lengte opgeeft van de zoogenaamde Fundamenteal-sterren (zie blz. 305).

Oude hemelgloben en sterrenkaarten komen dus met de tegenwoordige opgave van den sterrenstand niet meer overeen, want na $71\frac{1}{2}$ jaar neemt men reeds een verschil in lengte waar van één graad. Juist door de vergelijking met oudere sterren-opgaven



Verklaring van de praecessie der Evennachten

Geometria van F. W. M. Trig.

kwam de Griekse sterrenkundige Hipparchus, 128 jaar vóór Chr., tot de ontdekking van de præcessie der evennachten; want toen hij de opgaven van Timocharis en Aristyllis raadpleegde, die ongeveer 170 jaar vóór hem leefden, vond hij een verschil in lengte van meer dan twee graden. Sinds dien tijd, dus ongeveer 2000 jaar geleden, zijn de lengten der sterren merkelyk toegenomen.

Zoo vinden wij spica of α uit het sterrenbeeld de Maagd bij Hipparchus opgegeven, als 174 graden van het evennachtspunt afstaande, en thans in 1873 bevindt zich die ster op $199^{\circ} 37' 30''$ van dat punt, dus in 2000 jaar een verschil van $25^{\circ} 37' 30''$, daarnaar berekend zou het evennachtspunt elk jaar slechts $46'',08$ verschil opleveren. De verschuiving echter bedraagt iets meer, en men neemt $50'',24$ als het middelbaar getal aan.

Uit die achteruitschuiving volgt, dat de 12 teekens van den zonsweg, Dierenriem genaamd, niet meer overeenkomen met de sterrenbeelden, waarvan zij den naam ontleend hebben. Zoo heeft men bijv. het evennachtspunt in het begin der lente, het teeken van den Ram blijven noemen, hoewel dat sterrenbeeld zelf zich 30 graden verder bevindt, zoodat, wanneer wij zeggen de Zon staat in den Ram, zij zich echter in werkelijkheid in het sterrenbeeld de Visschen bevindt.

Tevens keert door die præcessie de pool onzer Aarde zich telkens naar andere streken van het hemelgewelf; want, omdat de pool denzelfden stand behoudt met betrekking tot den evenaar en ongeveer denzelfden stand met betrekking tot den zonsweg of liever loopbaan onzer Aarde, moet de pool of as der Aarde noodwendig een cirkel beschrijven, en daaruit volgt, dat onze tegenwoordige poolster α uit den kl. Beer niet immer poolster geweest is noch blijven zal, want in den loop der eeuwen is de richting van onze aardas naar andere sterren heen. Wij hebben blz. 314 reeds het middel aangegeven om te weten, welke sterren eenmaal poolsterren zullen worden.

Voordat wij de oorzaak verklaren, waardoor die achteruitschuiving der evennachtspunten wordt bewerkt, moeten wij nog opmerken, dat de beweging, welke onze as om de as van de ecliptica maakt, geen zuivere cirkel is, maar meer eene golfachtige beweging, zeer overeenkomende met de baan, welke onze Maan met betrekking tot de Zon maakt. (Zie blz. 153).

Men noemt die schommeling van onze as nutatie, en Bradleij, die de afdwaling van het licht (waarover later) had ontdekt, nam

die schommelingen het eerst waar, want door die nutatie van de as, was de præcessie der evennachten niet altijd even regelmatig, zoodat de lengte der sterren, het eene jaar meer toenam dan het andere; middelbaar was wel de toenemende lengte $50'',24$, maar er was verschil in, echter zoodanig, dat in eene periode van 18 jaar 218 dag. 21 ur. 22 min. 45 seconden de as van onze Aarde dien stand had, welke zij zou hebben, wanneer alleen de præcessie der evennachten er invloed op uitoefende, zoodat de meerdere of mindere jaarlijksche toenemende lengte zich gedurende die periode compenseerde. In eene periode van bijna 19 jaar beschrijft dus de ware pool van onze Aarde rondom de middelbare pool, eene kleine ellips, wier lange as gelijk is aan $18'',44$ en de korte aan $13'',72$.

Die nutatie veroorzaakt tevens, dat de lengte, de rechte opklimming en de declinatie der sterren aan kleine veranderingen onderhevig zijn, echter niet de afstand van de eclipctica of de breedte.

Door de nutatie verandert dus ook eenigzins de helling van de as en dus ook van den æquator met de loopbaan der Aarde; die verandering is echter zeer gering en overtreft de grootte van $10''$ niet. Al die bewegingen, zoowel omwenteling en omloop als præcessie en nutatie worden door onze Aarde gelijktijdig volbracht. Men kan zich de verschillende bewegingen der Aarde het best voorstellen door de beschouwing van een punt- of taatstol, die niet loodrecht maar eenigzins hellend op het vlak, waarop hij loopt, om zich zelve draait. De kromme lijn, welke hij op het vlak maakt, vertegenwoordigt dan de loopbaan der Aarde om de Zon, welke hij om zich zelve wentelend volbrengt. De kop van den tol zal een cirkel beschrijven rondom eene loodlijn op het vlak bij de punt van den tol opgetrokken, daardoor ziet men aanschouwelijk den beschreven cirkel om de pool der eclipctica, en de kleine schommelingen komen dan overeen met de nutatie van onze aardas.

Na de beschrijving van de hierboven opgenoemde verschijnselen, zullen wij thans de oorzaken vermelden, wier invloed præcessie en nutatie te weeg brengt, en den band aantoonen, waardoor zij verbonden zijn met de groote wet van onze zonnewereld, de gravitatie namelijk.

Die oorzaken zijn te zoeken eerstens in de algemeene aantrekkingskracht en in de afplating van onze Aarde aan de polen.

Wanneer onze Aarde den volkomen kogelvorm en naar het middel-

punt toe overal dezelfde dichtheid bezat, zou de werking, welke zij op andere lichamen uitoefent, of welke zij zelve van andere lichamen ondergaat, zoodanig wezen alsof hare gansche massa in haar middelpunt vereenigd was, zij zou dus overal een gelijken invloed ondergaan, en er kon geene verplaatsing van stand in hare as plaats hebben. Maar wij weten, dat de Aarde den kogelvorm niet heeft, doch aan hare polen afgeplat, en in de æquatoriale streken gezwollen is. (zie blz. 120) Welnu de werking van Zon en Maan op dien gezwollen stofring rondom den evenaar is de oorzaak der præcessie.

De middellijnen der Aarde zijn ongelijk in lengte door hare afgeplatte gedaante, en daarom streeft de aantrekking der Zon om de grootste middellijn naar zich te richten, door de wederkeerige aantrekking van de meerdere daar opgehoopte stofdeelen, en dus samen te doen vallen met de baan of het vlak, waarop de Zon zelve staat met betrekking tot de Aarde. Wanneer er nu geene kracht was, welke dat verhinderde, zou de helling van den æquator der Aarde langzaam verminderen, terwijl de snijpunten der beide vlakken onveranderd zouden blijven, en de as der Aarde zou eindelijk loodrecht op hare loopbaan komen te staan. De snelle omwenteling echter der Aarde, waardoor de as in dezelfde richting wordt gehouden, is een hinderpaal voor den invloed der Zon, en juist het tegendeel gebeurt nu van wat gebeuren zou zonder die rotatie, namelijk de helling van de as en dus ook van den æquator der Aarde blijft onveranderd den stand behouden, met betrekking tot het vlak van de loopbaan, maar draait zich met die onveranderde helling regelmatig van het oosten naar het westen rond, juist in tegenovergestelde richting met de wenteling onzer Aarde, die, zooals wij weten, van het westen naar het oosten plaats heeft.

De nutatie vindt ook hare oorzaak in de algemeene aantrekkingskracht, maar is vooral toe te schrijven aan den invloed, welke de Maan op onze Aarde uitoefent, meer bepaald op de onregelmatige zwellings op haren æquator.

De Maan helt met hare baan ook op het vlak van de ecliptica, (zie bladz. 155) en rijst er boven of daalt er onder; in het eerste geval noemt men de Maan in den klimmenden knoop, in het tweede geval in den dalenden knoop. Welnu wanneer zich nu het geval voordoet, dat de Maan in den klimmenden knoop geraakt juist op het oogenblik, dat het voorjaars-evennachtpunt plaats heeft, en Zon en Maan

het vlak van de aardsche middellijn gelijktijdig doorsnijden, dan wordt de invloed van de Zon op onze Aarde door den invloed der Maan versterkt, en een noodwendig gevolg daarvan is, dat de lengte der sterren, bijv. op zulk een tijdstip, meer moet toenemen dan op andere tijden, omdat de teruggang der snijpunten dan sneller is. Dit nu nam Bradley waar. In het jaar 1727 lag de klimmende knoop der Maanbaan juist in het voorjaars-evennachtpunt en de toenemende lengte van de sterren was grooter dan vroeger. In 1732 ongeveer $4\frac{1}{4}$ jaar daarna, toen de knopen der maanbaan terugge-loopen waren tot aan het winterpunt, hadden de sterren weder de gewone middelbare toeneming in lengte. In de volgende $4\frac{1}{4}$ jaar, dus totaal 1736, toen de knopen reeds in het hertstpunt lagen, nam de lengte der sterren af, terwijl in de volgende 9 jaar weder eene toeneming te bespeuren was, zoodat in 1745 de lengte weder evenveel toenam als in 1727. Het was dus duidelijk, dat de Maan de oorzaak was van die kleine schommelingen in onze as, en dat de teruggang der evennachtpunten op de Maan, die in eene periode van 18 jaar, 218 dag., 21 ur., 22 min., 45 sec. hunnen omloop vol-brengen, daarop van grooten invloed is.

Tot nu toe hebben wij, met uitzondering van den invloed der nutatie op de helling van den æquator, op de baan der Aarde of der eclip-tica, die helling steeds als onveranderlijk beschouwd, en toch is zij niet onveranderlijk, maar neemt sinds de oudste tijden een weinig af.

Tschu-Kong in China,	1100 v. Chr.	vond de helling	$23^{\circ} 52' 0''$,
Pijtheas	„ Marseille,	350 „ „ „ „ „	$23^{\circ} 49' 20''$,
Ibn-Junis	„ Egypte,	1000 n. „ „ „ „ „	$23^{\circ} 34' 26''$,
Ulugh-Beigh	„ Samarkand,	1437 „ „ „ „ „	$23^{\circ} 31' 48''$,
Bradley	„ Engeland,	1750 „ „ „ „ „	$23^{\circ} 28' 18''$,
Het jaar	1873 „ „		$23^{\circ} 27' 20''$.

Die vermindering hoe gering ook zal echter niet blijven voortduren, want nimmer zullen æquator en ecliptica te zamen vallen. De invloed der gezamenlijke planeten op de aardbaan geeft men voor reden aan van die verminderende helling, maar na vele duizende jaren zal die vermindering weder in eene vermeerdering overgaan. Volgens vroegere berekeningen van Lagrange, zal die vermeerdering of vermindering van helling zich bewegen tusschen $22^{\circ} 54'$ en $25^{\circ} 21'$, maar nimmer die grenzen overschrijden. Volgens Leverrier zal de helling der eclip-tica in de volgende 70,000 jaar niet meer dan $1^{\circ} 10'$ veranderen,

zoodat wij veilig de baan der Aarde met betrekking tot de helling der as op dat vlak onveranderlijk mogen beschouwen.

§ 2. Begrip van storingen. Periodieke en seculaire storingen. Storingen der Maan, evecctie, variatie, jaarlijksche vereffening. Seculaire versnelling der Maan. Vermindering der omwentelingssnelheid onzer Aarde. Periodieke planetenstoring van Jupiter en Saturnus. Venus en de Aarde. Seculaire planetenstoringen. Storingen der wachters. Storingen der kometen.

STORINGEN of PERTURBATIEN noemt men in de sterrenkunde de afwijking der hemellichamen van hunne zuiver elliptische baan, veroorzaakt door den invloed van andere hemellichamen; wanneer bijv. onze Aarde de eenige planeet was, welke om de Zon liep, dan onderging zij slechts den invloed van de Zon alleen, en zij zou eene zuivere ellips om haar blijven beschrijven; maar daar de Aarde niet de eenige planeet is, oefenen de andere planeten ook haren invloed op haar uit, en daardoor worden nu zekere storingen in den loop der Aarde teweeggebracht.

De grootheid van die storingen te kennen is een noodzakelijk vereischte, om zoowel den waren als den schijnbaren stand van een hemellichaam met juistheid te kunnen bepalen, en de theorie van die perturbatiën blijft voorzeker het moeielijkst op te lossen vraagstuk der sterrenkunde.

Newton, die het eerst de groote grondwet naspeurde, welke in het hemelruim heerscht, was ook de eerste die zich bezig hield met een onderzoek naar die storingen. Na hem hebben vooral Clairaut, d'Alembert, Euler, Lagrange, Laplace, Poisson, Leverrier en Hansen zich met dat onderzoek bezig gehouden en zijn tot gewichtige en verrassende uitkomsten geraakt.

Men onderscheidt in het algemeen twee soorten van storingen, PERIODIEKE en SECLAIRE storingen genaamd.

De eerste soort hangt af van den tijdelijken stand, welchen de planeet op hare baan inneemt, en wordt veroorzaakt door den onderlingen stand, welchen twee planeten innemen; zulke storingen noemt men periodiek, omdat zij in eene betrekkelijk korte periode terugkeeren, wanneer de stand der planeten dezelfde is.

De seculaire storingen hebben meer betrekking op de veranderingen, welke eene geheele loopbaan ondergaat, en zijn dus eigenlijk ook perio-

dieke storingen, omdat zij in bepaalde tijdruimten periodiek terugkeeren; omdat echter die perioden eene alle menschelijke inrichtingen overtreffende lengte hebben, onderscheidt men ze van de hierboven genoemde periodieke storingen.

Daar het onmogelijk is in een werk als dit eene volledige ontwikkeling der storingen te geven, en daar wij die storingen toch niet onbesproken mochten voorbijgaan, zullen wij ons alleen bepalen tot eene spaarzame mededeeling van de uitkomsten door de wetenschap verkregen, en alleen de naaste oorzaak met hare gevolgen vermelden.

De meest opvallende storingen toont ons de Maan, en wel eensdeels door den invloed der Zon, en anderdeels door de inwerking van den machtigen Jupiter en van de zoo dichtbijzijnde Venus.

De drie voornaamste periodieke storingen der Maan zijn de ERECTIE, de VARIATIE en de jaarlijksche of PARALLACTISCHE VEREFENING.

Over de ERECTIE hebben wij bij de beschrijving der Maan reeds gesproken (zie bladz. 154).

VARIATIE der Maan noemt men de door Tycho Brahe in 1590 ontdekte groote onregelmatigheid in hare beweging, welke meer betrekking heeft op den stand der Maan, zooals de ERECTIE betrekking heeft op de meerdere of mindere snelheid. In de Syzygien (volle en nieuwe Maan) en in de quadraturen der Maan (eerste en laatste kwartier) is die onregelmatigheid niet te bemerken, maar in de octanten is zij het grootst.

De oorzaak der Variatie is daarin te zoeken, dat de tangentialkracht der Maan in de Syzygien het grootst is, omdat zij in dien stand het verste van de Aarde is verwijderd, veroorzaakt door de aantrekking der Zon, en in de quadraturen het kleinst. Wanneer de Maan van de conjunctie of nieuwe Maan, het eerste kwartier nadert, neemt, door de verminderde aantrekking der Zon, de snelheid der Maan af, welke zij bezat van het laatste kwartier tot nieuwe Maan, maar van het eerste kwartier tot volle Maan vermeerderd die snelheid; van volle Maan tot eerste kwartier neemt die snelheid weder af en neemt weer toe na het laatste kwartier tot nieuwe Maan. Wanneer wij dus bij de Maan eene middelbare snelheid aannemen, dan moet in het eerste en in het derde kwadrant de ware stand der Maan den middelbaren vooruit wezen, evenals in het tweede en vierde kwadrant de ware stand bij den middelbaren achterblijft. Die storing kan

eene Variatie in stand teweeg brengen van ongeveer $35'$, en de periode van zulk eene storing bedraagt $14\frac{3}{4}$ dag of de halve synodische maan-omloop.

JAARLIJKSCHE VEREFFENING noemt men die storing, welke veroorzaakt wordt, doordat de Aarde met de Maan niet overal op denzelfden afstand van de Zon blijven. Onze Aarde beweegt zich in eene langwerpige ronde baan om de Zon; wanneer nu de Aarde van het perihelium naar het aphelium gaat, moet ook de invloed der Zon verminderen, evenals die invloed weder toeneemt, wanneer onze Aarde van het aphelium naar het perihelium gaat; de storende invloed der Zon op de maanbaan, is dus in het perihelium der Aarde het sterkst en in het aphelium het zwakst. Uit dien vermeerderden invloed der Zon volgt, dat de maanbaan in het perihelium der Aarde grooter is dan in het aphelium, omdat in het eerste geval de Maan door de Zon meer van de Aarde wordt verwijderd. Die vergrooing der maanbaan zou door rechtstreeksche metingen moeielijk zijn aan te toonen, maar de veranderingen, welke er in den omloopstijd der Maan ontstaan, zijn gemakkelijker waar te nemen. En inderdaad, de Synodische omloop der Maan in het begin van Januari, wanneer onze Aarde zich in het perihelium bevindt, bedraagt $29\frac{3}{4}$ dagen, maar een half jaar later, als de Aarde in Juli in het aphelium is, dan bedraagt de Synodische maanomloop slechts $29\frac{1}{4}$ dag. In de eerste periode heeft dus de Maan meer tijd noodig om een omloop te volbrengen, hare middelbare beweging is dus langzamer dan in de tweede periode en tengevolge daarvan vermindert de lengte der Maan in de eerste helft des jaars, evenals deze toeneemt in de tweede helft. De duur van zulk eene periode is een jaar, vandaar den naam.

Over die storing, waardoor de absidenlijn een ganschen omloop maakt, en over de storing, waardoor de knoopen van de maanbaan terugloopen, hebben wij ter plaatse reeds gesproken. (Zie bladz. 154 en volgenden.)

Eene zeer merkwaardige storing mogen wij echter niet onvermeld laten, namelijk de sinds eeuwen waargenomene regelmatige versnelling der Maan op hare baan. Sinds de dagen der Chaldeërs neemt de omlooptijd der Maan af, terwijl hare hoekbeweging vermeerdert.

Lagrange en Laplace wezen echter de oorzaak van die verschijning theoretisch aan; zij zochten de oorzaak in de streving, welke de Aarde heeft om uit hare elliptische baan in eene ronde over te gaan, zoodat

de excentriciteit van de baan, welke onze Aarde om de Zon maakt, in den loop der eeuwen afgenomen is. De storende invloed, nu zeggende de geleerden, is oorzaak, dat de aantrekking der Aarde op de Maan vermeerdert, en daarom loopt de Maan sneller dan zij anders wel zou doen. Laplace bepaalde theoretisch den invloed, welke de vermindering der excentriciteit van de Aardbaan op de beweging der Maan moest hebben, en nam bij de Maan gedurende de verloopene 18 eeuwen eene lengte-vermeerdering aan van $10,7''$. Hansen vergeleek en berekende de oudere eclipsen en kwam ongeveer tot hetzelfde resultaat van $12,2''$.

Adams en Delaunay bepaalden door nieuwe theoretische berekeningen de grootte der Variatie op slechts $6,11''$, zoodat hier de theorie met de waarnemingen in strijd schijnt, want zakelijk bedraagt de Variatie ongeveer $12''$.

Dit nu zoekt men overeen te brengen en met recht, door eene vermindering aan te nemen in de snelheid der Aarde bij hare aswenteling, en wanneer men dan met Adams eene vermindering in snelheid der omwenteling aanneemt van $0,012$ seconden in de laatste 2000 jaar, dan is dit voldoende om eene overeenstemming te verkrijgen van de theorie met de waarneming.

Maar welke is nu de oorzaak, dat de omwenteling der Aarde langzamer geschiedt?

De Maan zelve veroorzaakt door de eb en den vloed, welke zij op Aarde maakt, die verminderde snelheid van omwenteling. Men verbeelde zich eens de Maan vaststaande en de Aarde van het westen naar het oosten wentelend; wanneer zich dan aan den westkant van den meridiaan, waarin de Maan staat, zich een berg bevindt, dan zal door de aantrekking der Maan de omwentelings-beweging der Aarde versneld worden, maar is eenmaal die berg door de wenteling der Aarde den meridiaan voorbij, dan zal de invloed der Maan op dien berg de omwenteling tegenhouden; welnu de vloed der zee is als een immer blijvende berg aan de oostzijde van den meridiaan te beschouwen, zoodat door den invloed der Maan op dien waterberg de omwenteling der Aarde wordt tegengehouden.

Dit weinige zij genoeg om ons te doen begrijpen, wat eigenlijk storringen zijn, en hoeveel de sterrenkundige in acht moet nemen, om met nauwkeurigheid den waren stand van de Maan te kunnen aangeven, welke onderzoekingen voor de zeevaart allernoodzakelijkst zijn.

Nog een enkel woord over de storingen, welke de planeten wederkeerig op elkander veroorzaken. De grootte der storingen hangt af zoowel van de massa der planeet, welke de storing teweegbrengt, als van den stand, welke zij inneemt met betrekking tot de planeet, welke de storing ondergaat, en daaruit blijkt dan aanstonds, dat in de planetenwereld de beide groote planeten Jupiter en Saturnus en vooral de eerstgenoemde de meeste storingen veroorzaken. Al die storingen moeten in het oog gehouden en berekend worden om de zoogenaamde planetentafels zamen te stellen, waardoor de stand dier hemellichamen voor iederen gegeven tijd wordt aangeteekend. Omdat de stand, waarin zij op elkander de grootste storingen teweegbrengen, na een bepaalden tijd terugkeert, is het duidelijk dat die planetenstoringen periodiek zijn.

De storingen vooral, welke er plaats hebben tusschen Jupiter en Saturnus zijn vermaard geworden. Toen Halley de oudere opgaven van de omloopen der planeten ten tijde van Hipparchus, 140 jaar voor Chr., vergeleek, bemerkte hij, dat de omloop van Jupiter vroeger korter was dan thans, zoodat de beweging van Saturnus vertraagd en die van Jupiter daarentegen versneld was.

Lambert bevond echter in de vorige eeuw, dat de beweging dier beide planeten sinds Tycho weder eene verandering in tegenovergestelden zin had ondergaan, en wel dat de omloopstijd van Saturnus korter en die van Jupiter langer was geworden, en dat dus de beweging van Saturnus versneld en die van Jupiter langzamer was dan vroeger.

Laplace gaf in 1785 van dat verschijnsel de nauwkeurige verklaring door de storingen aan te wijzen, welke beide planeten elkander deden ondergaan, zoodat aan de juistheid van dat vroeger raadselachtig verschijnsel niet langer getwijfeld kan worden. De storende krachten, waarmede beide planeten op elkander werken, streven er naar, de groote assen van hunne banen te veranderen en wel zoodanig, dat de as der Jupitersbaan grooter wordt en die der Saturnusbaan kleiner, wanneer de beide planeten zich in elkanders nabijheid bevinden, en juist omgekeerd, wanneer zij zich van elkander verwijderen, want dan treden beide banen weder in hun oorspronkelijken toestand, zoodat dan de baan van Jupiter kleiner en die van Saturnus weder grooter wordt. De periode van die storing duurt 930 jaar, zoodat sinds 1562 de beweging van Jupiter sneller en die van Saturnus trager wordt.

en zulks duurt voort tot het jaar 2027, wanneer Jupiter zijne grootste en Saturnus zijne geringste snelheid heeft bereikt. Van dien tijd af wordt de beweging van Jupiter weder langzamer en die van Saturnus sneller tot het jaar 2492, wanneer de periode opnieuw begint.

De verandering, welke die storingen in de assen der planetenbanen teweegbrengt, is echter zeer gering, en bedraagt bij Jupiter nauwelijks $\frac{1}{30000}$ en bij Saturnus $\frac{1}{3000}$, en kunnen dus door rechtstreeksche meting moeielijk berekend worden; daarentegen openbaart zich die verandering duidelijk in het verschil der lengte van de planeet, en daardoor werd Halley er het eerst opmerkzaam op.

Dergelijke maar kleinere en kortere ongelijkmatigheden hebben ook bij andere planeten plaats; zoo brengt bijv. de periodieke stand van Venus met de Aarde in beider beweging eene storing te weeg, wier periode van maximum en minimum 239 jaar bedraagt.

Evenzoo is er eene periode van storing tusschen Mercurius en onze Aarde, wier duur zevenjarig is. Door dergelijke storingen worden niet enkel de groote assen der planetenbanen periodiek veranderd, maar ook de excentriciteiten en de ligging van het perihelium. De excentriciteit heeft dan hare middelbare grootte, wanneer het perihelium zijn stand het meeste heeft veranderd, en omgekeerd het perihelium bevindt zich in zijn middelbaren stand, wanneer de excentriciteit haar maximum of minimum heeft bereikt.

Wij moeten nog eens herhalen, dat het eene onmogelijkheid is in een werk als dit eene volledige ontwikkeling der verschillende storingen te geven. Ons doel hebben wij bereikt, wanneer wij een begrip van de storingen met hunne oorzaken gegeven hebben.

Wij noemen hier nog de seculaire storingen der planeten, waardoor veranderingen ontstaan in de ligging der knooplijn, en in de helling der baan op de ecliptica en in de uitmiddelpuntigheid der baan.

Wanneer wij de seculaire storingen nagaan, dan is het zeker, dat de knooplijn van de gestoord wordende baan altijd achteruit moet gaan met betrekking tot de storende, maar met betrekking tot een derde vlak, kan de beweging vooruitgaan, en de helling der planetenbanen kan afwisselend af- en toenemen, evenzoo de excentriciteiten, hoewel die verandering noodwendig binnen zeer enge grenzen moet begrepen blijven.

Met welk eene hooge volkomenheid de theorie der storingen bearbeid is geworden, hebben wij reeds op blz. 234 en volg. aangetoond

toen wij de ontdekking van Neptunus bespraken en opmerkten, dat die planeet hoewel nog niet ontdekt, hare tegenwoordigheid verried door de storingen, welke zij op de baan van Uranus teweegbracht.

Ten slotte geven wij in eene tafel een gezamenlijk overzicht van de jaarlijksche veranderingen in de elementen der planetenbanen door de seculaire storingen veroorzaakt.

	jaarlijksche verandering der excentriciteit.	jaarlijksche verandering der lengte van het perihel.	jaarlijksche verandering van de heling der baan.	jaarlijksche verandering der lengte van den klimknoop.
Mercurius	+ 0.0000002053	+ 55,"522	+ 0,"0748	+ 42,"698
Venus	— 0.0000004800	+ 50, 602	+ 0, 0384	+ 32, 861
Aarde	— 0.0000004135	+ 61, 674	—	—
Mars	+ 0.0000009001	+ 66, 021	— 0, 0218	+ 27, 859
Jupiter	+ 0.0000012993	+ 56, 615	— 0, 2015	+ 36, 557
Saturnus	— 0.0000026893	+ 66, 887	— 0, 1349	+ 31, 375
Uranus	— 0.0000002696	+ 53, 283	+ 0, 0189	+ 18, 338
Neptunus	+ 0.0000000616	+ 50, 825	— 0, 3379	+ 39, 536

Om de zuivere siderische jaarlijksche verandering te kennen in de lengte van het perihelium en in die van den klimmenden knoop, is het noodig de waargenomene præcessie van onze evennachten van de hierboven opgegevene gevallen af te trekken, zoodat bijv. de zuivere siderische beweging van den klimmenden knoop van Mercurius = 42,"698 — 50,"24 = —7,"542 is, dus op Mercurius gaat de kl. knoop ieder jaar 7,"542 achteruit.

Evenals de Zon met de Aarde storingen teweegbrengt in de baan van onzen wachter, eveneens ondergaan de wachters van Jupiter, Saturnus en Uranus, storingen door de Zon in hunne hoofdplaneet veroorzaakt; de invloed echter, welchen zij op elkander uitoefenen, brengt eene groote wijziging in die storingen teweeg. Het stelsel van Jupiter is met zijne manen, wat die storingen betreft, volledig en nauwkeurig onderzocht. De wachters van Saturnus en Uranus missen om hunnen grooten afstand en moeielijke waarneming het belang, dat de wachters van Jupiter aan de sterrenkundigen hebben ingeboezemd.

Omdat de massa der kometen, gelijk wij vroeger zagen, zoo gering is, zijn zij niet in staat invloed uit te oefenen op de lichamen van ons zonnestelsel, maar omgekeerd ondergaan zij binnen ons stelsel storingen, van welke bij de planeten geene voorbeelden gevonden worden; de geringheid harer massa is daarvan echter niet de oorzaak,

maar vooral de vorm van hare baan; dus om hare geringe massa oefenen zij zelve geen invloed uit, doch om de gedaante harer baan ondergaan zij zelve zeer groote storingen, zoodat zij soms de speelbal worden der planeten.

III.

DE GETIEN.

§ 1. Verschijnsel van ebbe en vloed. Springvloed en doode tijen. Overeenkomst met den stand der Maan en der Zon. Theorie volgens de wet der zwaartekracht. Haventijd. Ontwikkelde kracht der aantrekking van de Maan.

De voor ons meest bevattelijke storing, welke de Maan op onze Aarde teweegbrengt, is het periodiek wassen en dalen der zee, aan een ieder onder den naam VLOED en EBBE bekend.

Tweemaal daags keeren de ebbe en de vloed terug; nauwelijks heeft het zeewater den hoogsten stand bereikt, of ongeveer 6 uren lang zakt het, en bereikt dan den laagsten stand, waarna het weer wast; zoodat men iederen dag tweemaal vloed of hoog water en tweemaal ebbe of laag water heeft.

De laagste stand van het water valt echter niet juist tusschen de beide op elkander volgende hooge waterstanden in, omdat de vloed korter is dan de ebbe; met andere woorden, het water gebruikt meer tijd om te vallen dan om te rijzen. Dit verschil heeft verschillende waarden, volgens de havens; zoo levert het bijv. te Brest een verschil op van 16 min., maar daarentegen te Havre een verschil van 2 ur. 16 min.

Voordat wij de oorzaken van dit verschijnsel verklaren, moeten wij eerst het feit zelve nauwkeurig nagaan.

De wisseling van ebbe en vloed komt dagelijks tweemaal terug; echter zoodanig dat de vloed bijv. den volgenden dag ongeveer 50 min. later komt dan den vorigen dag, zoodat de dagelijkse periode van dat verschijnsel even lang duurt als een Maandag; de Maan immers komt ook elken dag ongeveer 50 min. later door den meridiaan.

Uit die dagelijkse vertraging volgt, dat na verloop van $14\frac{3}{4}$ dag de ebbe en de vloed een verschil opleveren van 12 uren, en dus na 29 dag. 12 uren, juist een vollen dag van 24 uren. Na 14 dagen zijn dus de uren van ebbe en vloed dezelfde, met dit verschil dat de tijden van 's avonds, 's morgens vallen en omgekeerd, maar juist na eene Maanmaand keert hetzelfde uur terug.

De kracht echter of de grootte van dat verschijnsel is in dezelfde zee en in dezelfde haven zeer verschillend, en toont zulk eene merkwaardige overeenstemming met den stand van de Maan, dat het verband overduidelijk is.

De hoogste vloed en de daarmee verbondene laagste ebben vallen immer samen met de dagen van nieuwe en volle Maan, men heeft er den naam van SPRINGVLOED aan gegeven.

De laagste vloed en de daarmee verbondene ebben vallen samen met het eerste en laatste kwartier, men noemt ze DOODE TIJEN.

Hier merken wij reeds op, dat de hoogste vloed en de laagste ebbe niet juist plaats heeft op den dag zelve, waarop de Maan de bedoelde schijngestalte heeft, maar in al de havens van den Oceaan komt dat verschijnsel 36 uren of $1\frac{1}{2}$ dag later, zoodat de derde vloed na nieuwe of volle Maan de grootste en de derde ebbe, die op de kwadratuur der Maan volgt, de laagste is.

De hoogte van den vloed verschilt ook naarmate de stand van Zon en Maan is; naarmate die beide hemellichamen dichter bij den aquator staan is hun invloed het sterkste; tweemaal in het jaar, omstreeks den 21^{sten} Maart en den 22^{sten} September, staat de Zon in het vlak van den evenaar; wanneer nu op dat tijdstip de Maan dichtbij of in hetzelfde vlak staat, dan is de vloed buitengewoon hoog.

Daarentegen hebben de zwakste vloed en laagste ebbe plaats ten tijde der solstitiën, wanneer tevens Zon en Maan den hoogsten of laagsten stand in den meridiaan hebben.

De ware afstand van Zon en Maan van de Aarde is ook niet zonder belangrijken invloed, zoodat de vloed het hoogst is, wanneer de Maan in haar perigeetm en de Aarde in haar peribelium is, en daarom is de vloed tijdens het wintersolstitie grooter dan tijdens het zomersolstitie. Het gansche verschijnsel vertoont zich alleen zoo regelmatig bij windstil weder, want het is duidelijk, dat de kracht en de richting van den wind, de gedaante en ligging der zeekust, de diepte en uitgestrektheid der zee van grooten invloed zijn.

In de zeeën, die afgescheiden zijn van den grooten Oceaan, is de vloed vaak zeer onbeduidend: zoo bedraagt de vloed in de havens van Toulon en Napels ongeveer een par. voet. In de Oostzee is de wisseling van ebbe en vloed nauwelijks merkbaar, zoodat zij in de haven van Wismar slechts $3\frac{1}{2}$ duim bedraagt. Aan de Noordzeekusten is de grootte van den vloed zeer verschillend, vooral wanneer een noordwesten storm de watermassa's op onze kustten werpt, zou een tegelijk invallende springvloed schromelijke onheilen te weeg kunnen brengen; plaatselijke omstandigheden brengen dus het hare bij om den vloed grooter of wel zwakker te maken, en veroorzaken ook groote afwijkingen van den algemeenen regel. Zoo bijv. duurt, volgens de mededeelingen van Davenport en Knop, de vloed aan de kustten van Tonkin in Oost-Azië 12 uren en evenzoo iedere ebbe.

De vloed doet zich ook in de rivieren gevoelen, en wel verder van haar mond, naarmate deze wijder en hare beddingen dieper zijn. Wanneer de vloedgolf in de monding eener rivier dringt, ontstaat soms een geweldig hoog opgestapelde waterberg, die met groot geweld en snelheid voortdringt.

De snelheid van zulke vloedgolven is zeer verschillend, en natuurlijk daar het grootste waar de minste hinderpalen bestaan.

Zoo legt de vloedgolf in den Atlantischen Oceaan tusschen den æquator en 20 graden noorderbreedte ieder uur een afstand af van 600 zeemijlen ¹. In den stillen Oceaan, onder 60 graden zuiderbreedte, bedraagt die snelheid 450 zeemijlen per uur. Hoe dichter bij de kust hoe meer die snelheid afneemt, zoodat tusschen de zuidelijke punt van Ierland en de noordpunt van Schotland de snelheid slechts 52 zeemijlen bedraagt.

Nadat wij het feit van het verschijnsel beschreven hebben, volgt nu de theoretische verklaring, welke kennis van zulk een groot nut is.

De overeenstemming der hooge vloedten met den stand van Maan en Zon in betrekking tot onze Aarde deden reeds vroeg het vermoeden niten, dat de oorzaak van dat verschijnsel in die beide hemelli-

¹ De hier bedoelde zeemijlen zijn Engelsche, 1851 meters groot; eene Hollandsche zeemijl is 5555 meters; eene Fransche 5555, en eene Spaansche 6364 meters. De Oostenrijksche en de Portugeesche zeemijlen zijn evenals de Engelsche 1851 meters groot.

chamen zetelde, zoodat de oude Plinius, 70 jaar voor Chr., reeds schreef, dat Zon en Maan de oorzaak waren van ebbe en vloed; maar eerst de nieuwere wetenschap loste het vraagstuk op en verklaarde de natuur van dien invloed; want hoewel Galileï en Kepler het verschijnsel poogden te verklaren, wees Newton door de gravitatiewet de eigenlijke oorzaak aan, en na hem hebben Bernoulli, Maclaurin, Euler en vooral Laplace die theorie tot eene bewonderenswaardige volmaaktheid gebracht.

De aantrekking welke Zon en Maan uitoefenen op de vloeibare massa, waarmede onze Aarde voor drie vierden omringd is, brengt vloed en ebbe voort.

Wanneer twee lichamen zooals de Aarde en de Maan zich in elkanders nabijheid bevinden hebben de verschillende deelen van die lichamen eene streving om elkander te naderen door de algemeene aantrekking of gravitatie; de kracht van die aantrekking verschildt, zooals wij reeds weten, naar gelang der massa, en neemt af volgens het kwadraat van den afstand.

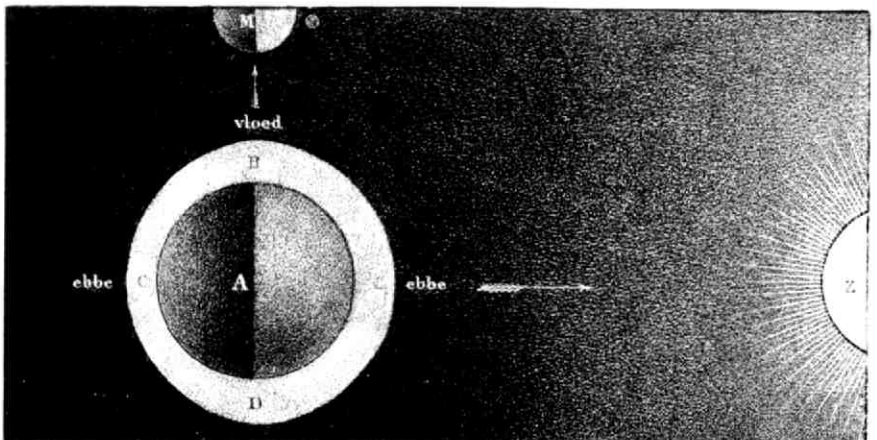
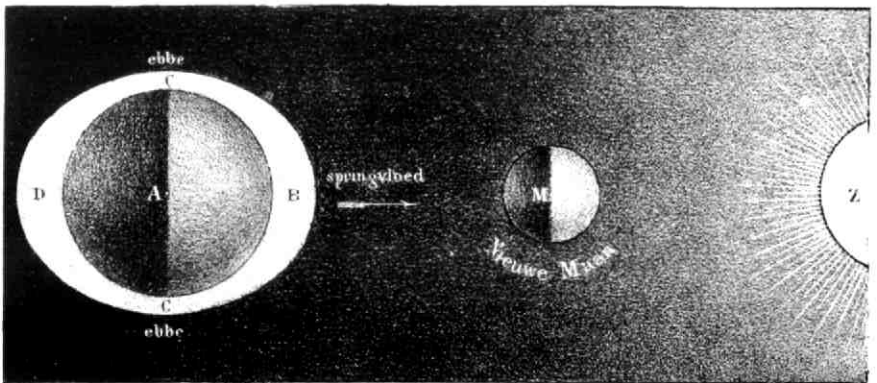
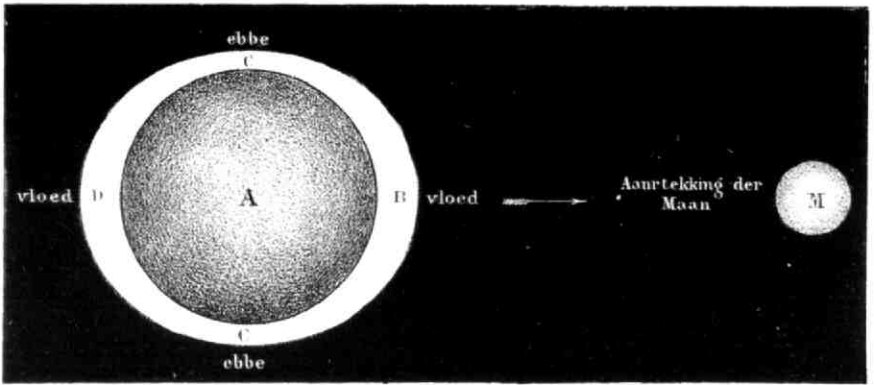
Passen wij nu die algemeene wet toe op de Maan en de vloeibare deelen onzer Aarde, en zien wij tot meerdere duidelijkheid op plaat LVII. Fig. 1.

Wanneer wij ons de Aarde in A verbeelden omgeven door water in BeDe., en de Maan in M., dan zal voor het punt B op Aarde de Maan in het zenith staan en voor het punt D daarentegen in het nadir of voetpunt, overigens zullen alle plaatsen op Aarde, welke dezelfde lengte hebben de Maan in den meridiaan hebben.

Omdat de aantrekkingskracht der Maan vermindert volgens het kwadraat van den afstand, zal de Maan meer invloed uitoefenen op het punt B, dan op de punten C C; naarmate de afstand van B tot C grooter wordt, neemt ook de aantrekking der Maan af, die in B het sterkst is. Hieruit volgt dus, dat de vloeibare massa zich aan de zijde der Maan ophoopt en dus rijst, want het vloeit van C C naar B; in dat punt is het dus vloed en in C C is het ebbe.

Wanneer de Aarde stil stond, zou die vloed tegelijk met de Maan om de Aarde loopen, maar omdat onze Aarde in 24 uren rond wentelt, keert de gansche omtrek der Aarde zich in dien tijd naar de Maan, en de vloed loopt dus in 24 uren geheel om de Aarde rond.

Tot zooverre is het gemakkelijk te begrijpen, waarom er vloed is



Verklaring van ebbe en vloed.

op het naar de Maan gekeerde halfmond; maar waarom is er op hetzelfde tijdstip vloed in D, op het van de Maan afgewende halfmond?

Wanneer de afstand van het middelpunt der Maan tot het middelpunt der Aarde 60 aardstralen bedraagt, dan is de afstand der Maan tot het punt D gelijk aan 61 aardstralen; op het middelpunt der Aarde werkt dus de Maan volgens het kwadraat dus 60×60 , maar op het punt D slechts volgens 61×61 . Een noodzakelijk gevolg hiervan is, dat het middelpunt der Aarde iets van zijne aantrekking verliest in de richting naar D, en het water wordt dus in D, met minder kracht naar de Aarde getrokken dan in C. Om dus het evenwicht te herstellen stroomt het water naar D, en ook daar wordt het dus vloed, gelijktijdig als in B.

Zoo dikwijls dus de Maan de bovenste of onderste meridiaan van eene plaats doorgaat, dat is iedere 12 uren en 25 minuten, is er vloed, en wanneer de Maan zich voor diezelfde plaats aan den horizon bevindt is er ebbe.

Tot nu toe beschouwden wij alleen de werking van de Maan. De Zon echter oefent ook invloed uit op de watermassa der Aarde; omdat hare afstand echter 400 maal grooter is dan de afstand der Maan, is die werking 400×400 maal minder; maar hoewel de massa der Zon ongeveer 34 millioen maal grooter is dan de massa der Maan, is toch de vloed, welke door de Zon veroorzaakt wordt, veel zwakker, en staat in verhouding als 10 tot 22, dus ongeveer de helft; de oorzaak van dit verschil is daarin te zoeken, dat de Zon haren invloed op de gansche Aarde uitoefent, de Maan echter wegens hare meerdere nabijheid meer op de onderdeelen der Aarde.

Wanneer nu Zon en Maan op hetzelfde punt van de Aarde hunnen invloed uitoefenen, moet noodzakelijk de vloed daar hooger worden, men noemt dit SPRINGVLOED, en zulks gebeurt ten tijde der sijzygiën, wanneer zij tegelijk den meridiaan doorgaan. (Zie Fig. 2 plaat LVII.)

Wanneer echter Zon en Maan in tegenovergestelde richting met elkander op de Aarde werken, zooals in de quadraturen der Maan, (zie Fig. 3 Pl. LVII) dan ontnemt de aantrekkingskracht der Zon een gedeelte van de kracht der Maan, dan werken zij elkander tegen, en is er wel vloed in B en D en ebbe in C, maar een geringer vloed en ebbe, welke men den naam van DOODE TIJËN heeft gegeven.

Men dient hier nog op te merken, dat het voor eene bepaalde plaats niet juist vloed is als de Maan door den meridiaan gaat, want door de traagheid der waterdeelen kunnen deze de schijnbare beweging der Maan niet nauwkeurig volgen, zoodat de vloed altijd iets later voorvalt, dan het oogenblik, waarop de Maan door den meridiaan gaat.

De tijd nu, welke er verloopt tusschen dien doorgang der Maan en den vloed, noemt men het *Havengetal* of den *Haventijd*, en is voor verschillende plaatsen ook verschillend, want men begrijpt licht, dat plaatselijke gesteldheden daarop van grooten invloed zijn¹.

Wanneer wij, om ons eene voorstelling van de kracht te maken welke de Maan op de Aarde uitoefent, daarvoor de eenvoudigste uitdrukking bezigen, dan zeggen wij de Maan sleept dagelijks 220 kub. mijlen water rondom de Aarde.

Wat is daarmee vergeleken de kracht, waarover wij menschen beschikken kunnen! De kracht van een paard kan slechts in ééne minuut 550 kub. voet water 1 voet hoog op werken, zoodat er 90,000 paardenkrachten vereischt zouden worden om die massa rondom de Aarde te voeren.

Maar die 550 kub. voet is slechts het 25000,000000 gedeelte van eene enkele kub. mijl. Om dus ééne enkele kub. mijl water in 24 uur rondom de Aarde te slepen, zouden er 2250 biljoen paardenkrachten noodig zijn. Om dus te weten met hoeveel paardenkracht de Maan op de Aarde werkt moet het laatste getal nog met 220 vermenigvuldigd worden.

Om den tijd te vinden, waarop het voor eene bepaalde plaats, welker haventijd men kent, vloed of hoogwater is, moet men eerst de nieuwe Maan berekenen en er voor elken verlopen dag 50 minuten bijtellen, om den tijd te kennen, waarop de Maan door den meridiaan gaat, daarbij de haventijd opgeteld, geeft het uur van den vloed aan. De zeelieden bedienen zich van de volgende eenvoudige tafels, waarvan de eerste den ouderdom der Maan aangeeft op den eersten van elken maand, en de tweede de correctie voor den ouderdom der Maan op iederen dag.

¹ Whewell in Engeland is het eerst op de gedachte gekomen om op eene wereldkaart de plaatsen, waar het gelijktijdig vloed is, door lijnen te verbinden, welke men *Isorachiën* noemt, van het Grieksch *isos* gelijk en *rachia* vloed. Zulk eene kaart toont ons voor ieder uur de vloedgolf, zoodat men die door den Oceaan rondom de Aarde kan volgen.

Tafel I.

Jaar	Jan.	Febr.	Maart.	April.	Mei.	Juni.	Juli.	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
1873.	2	3	2	4	4	6	6	8	9	9	11	11
1874.	12	14	13	14	15	16	17	18	20	20	22	22
1875.	23	25	24	25	26	27	28	29	1	1	3	3
1876.	4	6	5	6	7	8	9	10	12	12	14	14
1877.	15	17	16	17	18	19	20	21	23	23	25	25
1878.	26	28	27	28	29	0	1	2	4	4	6	6
1879.	7	9	8	9	10	11	12	13	15	15	17	17
1880.	18	20	19	20	21	22	23	25	26	26	28	28

Tafel II.

Ouderdom der Maan.	Correctie.		Ouderdom der Maan.	Correctie.		Ouderdom der Maan.	Correctie.	
	u.	min.		u.	min.		u.	min.
0	0	0	11	9	17	22	16	51
1	0	36	12	10	9	23	18	0
2	1	11	13	10	53	24	19	18
3	1	46	14	11	33	25	20	31
4	2	21	15	12	8	26	21	31
5	3	1	16	12	45	27	22	21
6	3	44	17	13	19	28	23	3
7	4	37	18	13	54	29	23	42
8	6	40	19	14	30	29 ³ / ₄	24	0
9	6	58	20	15	11			
10	8	14	21	15	56			

Om bijv. te weten, hoe laat het op den 4^{den} Juni 1874 vloed is aan het strand te Katwijk, waar de haventijd 2^{u.} 40^{min.} bedraagt, zoekt men eerst achter het jaartal der eerste kolom het getal der gevraagde maand, en vindt dan voor Juni 1874 het getal 16, hierbij voegt men den datum der maand dus $16 + 4 = 20$, dat is dus de ouderdom der Maan op dien dag. Nu zoekt men in de tweede tafel de correctie van dien ouderdom en vindt 15^{u.} 11^{m.}, — voegt hierbij nu den haventijd, $15^{u.} 11^{m.} + 2^{u.} 40^{m.} = 17^{u.} 51^{m.}$, zoodat het op den 4^{den} Juni 1873 te Katwijk omstreeks 5 ure vloed is, want als de correctie de som van 12^{u.} 24^{m.} te boven gaat, moet men dat getal er van aftrekken, en mocht de correctie meer bedragen dan 24^{u.} 48^{m.}, dan moet eerst dit getal er van worden afgetrokken.

Deze berekening is slechts eene benadering, hoewel zij voor de praktische zeevaart voldoende is en gewoonlijk gebruikt wordt; men verkrijgt den tijd van den vloed volgens den waren tijd, welken men gemakkelijk in middelbaren tijd veranderen kan, zie hierover blz. 134.

Hieronder geven wij den Haventijd voor eenige der voornaamste plaatsen van ons Vaderland.

Ameland.	9 ur.	30 min.	Medemblik.	10 ur.	30 min.
Amsterdam	3 "	15 "	Middelburg.	1 "	30 "
Bath	3 "	25 "	Moerdijk.	4 "	33 "
Briel.	3 "	0 "	Monnikendam	2 "	15 "
Brouwershaven . . .	2 "	15 "	Nieuwe Diep	7 "	0 "
Delfzijl.	11 "	15 "	Rotterdam	4 "	50 "
Dordrecht	4 "	45 "	Scheveningen	3 "	45 "
Edam	1 "	45 "	Spendam.	3 "	31 "
Enkhuizen.	12 "	15 "	Terschelling.	8 "	40 "
Goeree.	2 "	10 "	Texel	9 "	0 "
Gorinchem.	6 "	50 "	Tholen.	4 "	0 "
Gouda	6 "	40 "	Urk	1 "	0 "
Groningen	12 "	15 "	Veere	1 "	0 "
Harlingen	8 "	45 "	Vlaardingen	4 "	7 "
Hellevoetsluis . . .	2 "	30 "	Vlissingen	1 "	20 "
Hoorn	12 "	45 "	Willemsdorp.	4 "	12 "
Katwijk	2 "	40 "	Willemstad.	3 "	19 "
Kijkduin.	6 "	45 "	Zaandam.	3 "	45 "
Lemmer	12 "	51 "	Zierikzee.	2 "	0 "
Maassluis	3 "	15 "			

IV.

§ 1. Oorsprong der Zonnewereld. Drie hoofdstelsels. Hypothese van Laplace. Proeve van Plateau. Waarschijnlijkheidsgronden voor die hypothese. Stabiliteits-probleem..

Het schijnt eene streving van het menschelijk verstand te zijn, zich liever bezig te houden met het onderzoek van niet op te lossen vraagstukken, dan wel met die dingen, welke onder ons bereik zijn.

Zoo zoekt bijv. de wetenschap naar den oorsprong en het einde der dingen, naar het wezen van de eerste oorzaak en naar meer vraagstukken, die eer tot het gebied der metaphysica dan wel totdat der positieve wetenschap behooren.

't Is den mensch niet genoeg met zijn blik in de onuitsprekelijke diepte van het heelal door te dringen en daar zonder eind zonnen en zonnen te vinden; verder nog streeft zijne gedachte om naar de grens en het eind van die opeenhoopingen te zoeken; alles immers, wat geteld wordt, vermeerdert of vermindert en komt tot een eersten en tot een laatsten term; eene reeks komt noodzakelijk uit de eenheid voort. Welnu die eenheid waaruit spruit die voort?

Wat is voorgegaan, de plant of het zaad? en vanwaar ontstond die eerste plant of dat eerste zaad? Te vergeefs zal de wetenschap zich onbevoegd verklaren, daarover uitspraak te doen; de mensch wil weten vanwaar hij komt om te kennen waarheen hij gaat, zoodat het vraagstuk der schepping zich steeds aan hem opdringt.

Wij zullen ons woord over die zaak meespreken, want een vraagstuk van zoo hoog gewicht te willen ontwijken, noemen wij geene wijsheid.

Hoe heeft men in den loop der eeuwen dat vraagstuk opgelost? met andere woorden, wat heeft men gedacht over het begin der dingen?

Drie leeringen worden ons aangeboden.

De pantheïstische, de dualistische en de christelijke leer; naarmate men eene van die verschillende leeringen aanneemt, huwt men zich aan eene wijsbegeerte, neemt men een godsdienst aan.

Voor zoover wij kunnen nagaan is Indië het vaderland van het Pantheïsme. In het begin der dingen verbleef God (Brahma) in een ei schitterend als goud, en daaruit kwam de gansche wereld voort. Volgens een ander beeld was Brahma de eeuwige spin, die uit haren boezem den oneindigen draad spon, waaruit de schepping werd geweven. Brahma wordt vergeleken met een oeverloozen oceaen, op wiens oppervlakte de golven verschijnen en verdwijnen. De wezens zijn, volgens de beeldspraak der Indiërs, het lichte schuim, de vergankelijke waterbellen, de vluchtende golven van die oneindige zee. Maar gelijk alles uit Brahma voortkomt, zoo keert ook alles tot hem weer. De goden, de geniussen, de sterren, de menschen, de dieren en de planten. De minder zuivere uitstralingen of emanatiën volgen op de meer zuivere. De ontwikkeling bij het pantheïstische scheppingsidee gaat dus van het meer volmaakte tot het minder volmaakte, geheel in

strijd met hetgeen de nieuwere wetenschap ons leert. De Indische wereld zakt dus trapsgewijze tot duisternis en bederf; wanneer Brahma waakt, dan leeft de wereld, wanneer hij slaapt, dan bezwijmt zij. De mensch en de natuur zijn dus niets, de goddelijke werkzaamheid is alles, de gansche wereld is één met God, is dus God zelf.

Daar tegenover staat de tweede leer, het Perzische dualisme. Ormuzd is Schepper van alles wat goed is, hij is de koning der goede geniussen. Ahrimanus is de vader van alles wat kwaad is, de een brengt de dieren en planten voort, die zuiver zijn, de ander daarentegen de onzuivere dieren en planten, in één woord, alles vindt zijn oorsprong in twee eeuwig bestaande en vijandelijke beginselen.

De Grieksche wijsgeeren waren bijna allen dualisten, in dien zin namelijk, dat zij twee eenige oorzaken aannamen. De twee grootste denkers onder hen erkenden wel een goddelijk beginsel, maar namen daarbij de stof ook als eeuwig aan ¹. Het Neoplatonisme zocht die eeuwigheid der stof te vermijden, maar verviel daardoor in een Pantheïsme, dat in vele opzichten met de Indische leer overeenkomt.

De gevolgen van de pantheïstische leer en van het dualistisch begrip liggen voor de hand. In het eerste verdwijnt de mensch met zijne vrijheid, verantwoordelijkheid en persoonlijkheid, 't is alles God. In het tweede is het oneindige wezen, God, wezenlijk eindig, want twee eeuwige oorzaken moeten noodwendig elkander begrenzen.

Het Pantheïsme is logisch onzin, want dan zou dezelfde zaak eindig en oneindig wezen, schepper en schepsel.

Het Dualisme wordt ten laatste fatalisme, de mensch is noodzakelijk onder de macht van het kwaad, zijn wil is dus onmachtig; tusschen fatalisme en zedelijke onverantwoordelijkheid is geen onderscheid.

Naast die beide valsehe stelsels plaatste zich met al den eenvoud der waarheid de Christelijke leer met haar dogma. In den beginne schiep God hemel en aarde. (Gen. I : 1.) Daardoor wordt aan God zijne almacht gelaten in tegenstelling met het ontwikkelend Pantheïsme, en aan den mensch zijne verantwoordelijkheid in tegenstelling met het dualistisch begrip.

Dat een eeuwig wijze, goede en almachtige Geest, dat God de

¹ Die eeuwigheid der stof vinden wij in sommige schoolboekjes van onze hogere burgerscholen als leerstuk aangegeven.

Schepper is van die wereld vol heerlijke wonderen, welke wij beschouwd en bewonderd hebben, zulk een besluit is niet het resultaat van spitsvondige opmerkingen en onderzoekingen; integendeel, men moet de oogen sluiten om de bewijzen van Gods almacht niet overal in de Schepping te zien, en daarom hebben de onbeschaafde en onwetendste natiën zulk een besluit reeds gemaakt.

Wanneer de hemelen dan de glorie van den Allerhoogste vermelden, en het uitspansel ons het werk zijner handen verkondigt, hoe dwaas, hoe vermetel, ja hoe den redelijken mensch onwaardig is het dan om al die wondergewrochten, die ons omringen, aan een blind toeval, aan eene zich zelve onbewuste oorzaak toe te schrijven. Als wij een werktuig bewonderen, kunstig ineengezet, juist in elkander grijpend, zuiver en geregeld in werking, wie is dan zoo dwaas zulks aan het toeval toe te schrijven? neen de bekwaamheid van den kunstenaar spreekt te duidelijk uit zijn werk. Zoo ook toont de bouw van het gansche Heelal, van dat groote en heerlijke in elkander grijpend raderwerk, ons te duidelijk de hand van een oneindig persoonlijk Wezen. Uit het plan schittert zijne wijsheid, uit de daarstelling zijne almacht, maar bovenal uit de regeling zijne oneindige goedheid.

Wij zullen ons niet ophouden om na te gaan, welke verschillende hypothesen er gesteld zijn om de vorming van onze Aarde en van ons gansche zonnestelsel na de oorspronkelijke schepping te verklaren, alleen de vermelding van de algemeen aangenomen hypothese is hier voldoende.

Vooraf moeten wij opmerkzaam maken op eene dwaling, die zeer algemeen verspreid is, en wel dat de Bijbel geheel in tegenspraak met de sterrenkundige stelsels, onze Aarde niet alleen tot middelpunt van ons planetenstelsel maakt, maar tot centrum van het gansche uitgestrekte heelal. Dit is onwaar en vals, de Bijbel is even vreemd aan het stelsel van Ptolomeüs als aan dat van Copernicus. De uitleggers hebben aan de bijbelschrijvers hun eigen begrip toegeschreven, maar onze nietige planeet wordt door Mozes niet als middelpunt der wereld beschouwd. De Bijbel doet ons immers duidelijk verstaan, dat er buiten ons zonnestelsel nog andere hemelen en stelsels zijn, zoodat de eer van die ontdekking niet eens aan de nieuwere sterrenkundigen toekomt.

Zie hier dan eene der meest aangenomen hypothesen over de vorming onzer Aarde.

De Aarde, zoo gelooft thans de wetenschap, was vroeger een bol van gloeiende stoffen, die om zijn as wentelend, tevens een omloop om de Zon volbracht; niemand kan zeggen hoelang die toestand heeft geduurd, zoodat de wetenschap dat tijdvak bij duizende jaren tellen mag. Het water, dat thans de Aarde omgeeft, en vele lichamen die thans vast zijn, maar zich vroeger in een gasachtigen toestand bevonden, vormden rondom de Aarde dikke en ondoordringbare dampen, en langzamerhand had de warmteuitstraling in het hemelruim, eene vermindering van temperatuur ten gevolge, zoodat er rondom die vloeiende en gloeiende massa eene vaste korst ontstond. Er gebeurde dus iets, wat wij in het klein vaak zien. Op de gesmolten metaal massa vormt zich zoodra het vuur vermindert eene korst; het water ziet men stremmen en zich tot ijs vormen, zoodra de buitentemperatuur afneemt.

De opgeloste lichamen en het dampvormige water sloegen dus neer, zoodat de Aarde door water omgeven was. Toen ontstond er eene worsteling tussehen de koude wateren en de nog hevige warmte der aardkorst. De nog dunne aardkorst brak op verschillende plaatsen, en daardoor ontstond een invallen of een opheffen dier korst of eensklaps of langzamerhand. De inwendige gloeiende en vloeibare massa stortte zich uit in die kokende wateren of in de moerassen door hen veroorzaakt.

Ziedaar met een paar woorden het schrikwekkend tooneel dat de wetenschap ons leert over de vorming onzer Aarde.

Dat dit eene hypothese is en wel eene hypothese blijven zal, waarover men vóór en tegen kan twisten, is duidelijk. Eene hypothese, die niet in strijd is met het verhaal des Bijbels, want de baiert, omgeven door duisternis en bedekt met water, drukt juist genoeg den toestand uit ons door de nieuwere geologen geschetst, en welken zij trachten te bewijzen door den toenemenden graad van warmte, welke er in de aardlagen bestaat, en waardoor men genoodzaakt wordt het binnenste onzer Aarde als nog gloeiend zijnde aan te nemen, terwijl de vulkanische uitbarstingen tot bewijs moeten strekken dier hypothese.

Ook de vorm van onzen Aardbol, afgeplat aan de polen en gezwollen in de aequatoriale streken, schijnt een oorspronkelijken vloeibaren toestand aan te duiden.

Maar is onze Aarde de eenige planeet in ons zonnestelsel, die zulk een oorsprong of liever vorming heeft gehad? De analogie brengt er

ons reeds toe, zulk eene vorming aan al de deelen van ons zonnestelsel toe te schrijven, en wanneer wij de verschillende elementen der planetenbanen nagaan, vinden wij eene merkwaardige overeenkomst, die op eene eenheid van oorsprong wijst.

Wij zien vooreerst, dat alle planeten en wachters van ons stelsel dezelfde richting van beweging hebben; allen loopen van het westen naar het oosten om de Zon, in diezelfde richting wentelen ook de wachters om hunne hoofdplaneten, en, zoover wij kunnen waarnemen, de planeten met de Zon en de Maan om hunne eigene as; dit kan geen gevolg van het toeval wezen.

Eene tweede overeenkomende eigenschap van ons planetenstelsel is de geringe uitmiddelpuntigheid van de planetenbanen, waardoor zij geheel van de kometen onderscheiden zijn, zoodat hunne banen bijna cirkelrond zijn.

De derde overeenkomst is de geringe helling, welke de planetenbanen maken met de ecliptica of liever met den evenaar der Zon, terwijl daarentegen de kometen hellingen hebben die van 0 tot 90 graden bedragen; alleen bij de planetoiden neemt men in dit opzicht eene uitzondering waar, (zie bladz. 197) daardoor wordt ons echter gewezen op een tijdperk van groote perturbatie; overigens is hunne massa zoo gering, dat men ze niet in rekening kan brengen.

Verder heeft men bij de meeste planeten, evenals bij onze Aarde, eene afplatting waargenomen. Al die gegevens duiden op eene gemeenschappelijke oorspronkelijke vorming.

Daarop steunende, heeft Laplace ¹ eene theorie gebouwd over de vorming van ons zonnestelsel, welke hoezeer er een aantal moeielijkheden tegen gemaakt kunnen worden, toch ook om hare eenvoudigheid zeer veel aantrekkelijks bezit. Het behoeft niet gezegd, dat het eene hypothese is en blijft, waarvoor men eenige waarschijnlijke gronden kan aanvoeren, maar geene bewijzen; overigens is die theorie volstrekt niet in strijd met datgene, wat het oudste geschiedboek ons leert over die wereldvorming

Met een paar trekken willen wij de theorie van Laplace vermelden.

Omdat God, zoo schreef de groote Kepler, eene levende eenheid

¹ Vóór Laplace had Kant de Koningsberger Wijsgeer in zijne *Geschiedenis des Hemels* eene gelijke theorie verkondigd, en daarom noemt men die theorie van Kant en Laplace.

is, moeten de wetten, welke hij aan de wereld schonk dat karakter van eenheid uitdrukken. Wij gelooven daarom, dat de groote Schepper der wereld door eene enkele en zelfde oorzaak de vorming en de verspreiding van al de hemellichamen heeft gewrocht, omdat het volgens ons begrip meer eenvoudig is en meer waardig voor de eeuwige Wijsheid, dat alles afhangt van ééne enkele ondergeschikte oorzaak dan van vele; zulks gelooven wij, omdat die eenheid van werking meer overeenkomstig is met hetgeen ons geopenbaard is in het boek der schepping.

God schiep in den beginne de stof en deelde aan die stof ééne wet mede, de beweging, als een beeld van zijn leven, en van die beweging hangen alle krachten der natuur af. God is dus de hoogste en eerste oorzaak, die door ondergeschikte oorzaken werkt en zijn doel bereikt.

Deze theorie is door de hypothese van Laplace nader verklaard en bevestigd.

Die geleerde vooronderstelt, dat ons gansche zonnestelsel in den beginne eene massa nevelstof was, die zich veel verder uitstreekte dan de grens is, waar wij thans de laatste der planeten zien; door den invloed der attractie had die nevel den vorm aangenomen van een onmeetbaar grooten bol.

Die bol kreeg van buiten, zegt Laplace, een stoot, waardoor hij in beweging kwam van het westen naar het oosten. Wij zeggen: God gaf aan dien nevelbol de beweging als tweede oorzaak, want door wien anders dan door God kon van buiten die stoot gegeven worden.

Uit die omwentelingsbeweging volgde, dat de polen van dien nevelbol werden afgeplat, en dat de evenaar gezwollen werd. Volgens eene mechanische wet, waarop de tweede Keplersche wet gegrond is, volgt, dat naarmate de straal van dien nevelbol door de voortgaande condensatie kleiner werd, de omwentelingssnelheid grooter moest worden. Door de middelpuntvliedende kracht hoopte zich de nevelstof op aan den evenaar, en toen de middelpuntvliedende kracht grooter werd dan de zwaartekracht, scheidden zich in de streek van den æquator zekere ringen af, zooals wij bij Saturnus waarnemen, welke ringen in de beweging der hoofdmasa bleven deelen. Omdat die ringen niet overal dezelfde dichtheid bezaten, werden zij bij de toenemende snelheid verbroken en de verschillende stukken, die ieder voor

op zich zelve aan de wet der attractie waren gebonden, namen ook den bolvorm aan, die opnieuw middelpunten van beweging werden. Op hunne beurt omringden zij zich met ringen, die of tot op onze dagen zijn blijven bestaan of na gebroken te zijn wachters hebben gevormd, die allen in de oorspronkelijke beweging van het westen naar het oosten deelen.

Die theorie, welke moeielijkheden er tegen ingebracht kunnen worden, en welke niet op te lossen vraagstukken er over gesteld kunnen worden, heeft, men moet het bekennen, om haren eenvoud hare waarschijnlijkheid.

Plateau, hoogleeraar aan de Universiteit te Luik, heeft deze hypothese van Laplace door een vernuftig en toch eenvoudig middel zoeken te bevestigen. Hij mengde water en alcohol in zulk eene verhouding onder elkander, dat het de dichtheid van olijfolie evenaarde, zoodat een weinig olie in het midden van dat mengsel gebracht in evenwicht hangen bleef. Het eerste wat men opmerkt is, dat de kleine oliemassa door de onderlinge aantrekking der deelen den vorm van een bol aanneemt. Wanneer men nu in dien bol eene spil brengt, voorzien met een kleine schijf, waaraan men eene draaiende beweging geeft, dan deelt zich die beweging langzamerhand aan al de oliedeelen mede, en men verkrijgt al de verschijnselen van een vloeibaren wentelenden bol; men ziet deze dan aan zijne polen eene afplating, en aan den aequator eene zwelling verkrijgen. Neemt de wentelende snelheid toe, dan wordt de vorm steeds platter aan de polen, en holt zich eindelijk rondom de bewegingsas uit; eindelijk verlaat een gedeelte der olie de schijf en toont een regelmatigen ring, zoodat men een stelsel krijgt gelijk aan dat van Saturnus. Soms ziet men dien ring zich in verschillende massa's verbreken, die elk op zich zelve den bolvorm aannemen. Op het oogenblik hunner vorming gehoorzamen zij nog aan eene rotatiebeweging om hunne as, die altijd gericht is volgens de richting van den ring.

Volgens die theorie bestond dus niet alleen de Aarde, maar al de planeten van ons stelsel bestonden reeds vóór de Zon in haren tegenwoordigen toestand. Het valt niet moeielijk zich de vorming van ons planetenstelsel voor den geest te brengen. De theorie van Laplace vooronderstelt, dat onze Aarde vroeger deel uitmaakte van eene groote nevelvlek, en dat een gedeelte zich daarvan losmaakte om onze Aarde te vormen; voortgaande zijn er nieuwe gedeelten los ge-

worden, welke dienden om andere planeten te vormen, totdat de zonneatmosfeer zoodanig verdikt was, dat zij in haren tegenwoordigen toestand geraakte. De Zon is dus het overblijfsel van die eerste gloeiende en gasvormige massa.

De sporen van die vorming vinden wij in ons stelsel bij de ringen van Saturnus en in de sterrenwereld bij de spiraal- en ringvormige nevelvlekken; die massa's bestaan ook uit gasachtige stoffen, en zijn wellicht wordende werelden.

't Is onmogelijk om eenigzins de omstandigheden aan te duiden, welke bij de vorming van iedere planeet hebben plaats gehad, maar de wet, die hunnen afstand bepaalt, schijnt op eene trapsgewijze vorming te doelen. Bladz. 78 schreven wij reeds, dat Hinriehs een nauw verband vond van de derde Keplersche wet met de voortgaande condensatie der nevelvlek, volgens de theorie van Laplace. De derde Keplersche wet echter is een noodzakelijk gevolg van de algemeene zwaartekracht, werkende volgens de massa en in omgekeerde reden van het kwadraat van den afstand, zoodat de vorming van ons zonnestelsel een eenvoudig gevolg zou wezen van de algemeene gravitatie.

Wij zullen hier volgens Secchi de voornaamste eigenaardigheden van die oorspronkelijke formatie optellen; het groote aantal planetoïden levert ons reeds het bewijs, dat er een tijdvak van groote perturbatie heeft bestaan. Wij zien, dat een zeker aantal feiten door de hypothese van eene voortgaande condensatie verklaard worden, zoodat deze tot bevestiging kunnen dienen.

1^o Al de planeten buiten den gordel der planetoïden hebben eene geringe dichtheid, doorgaans minder dan water, terwijl de anderen daarentegen een gewicht bezitten vijfmaal zwaarder dan water.

2^o De streek, waarbinnen zich de planetoïden bewegen, is breeder dan de afstand bedraagt van onze Aarde tot de Zon, en sommigen onder hen naderen zoo dicht de loopbaan van Mars, dat deze planeet eene opvolging aanduidt met de reeks van planetoïden, zoodat de vorming van die planeet zeker grooten invloed heeft ondergaan door de oorzaak, waardoor de planetoïden zijn ontstaan.

3^o Al de planeten buiten dien gordel bezitten een talrijken stoet van wachters. Onder de overigen heeft alleen onze Aarde één wachter.

4^o De massa's dier planeten zijn veel grooter, zoodat de kleinste onder hen alleen toch nog grooter is dan al de planeten binnen dien gordel te zamen genomen. Een feit, dat hoofdzakelijk zijne verklaring

vindt in de groote uitgestrektheid van de ringmassa, waaruit de planeten zijn ontstaan.

5^o De spectroscop heeft ons geleerd, dat al de planeten buiten den gordel der planetoiden zeer dichte en uitgestrekte dampkringen bezitten, terwijl de planeten binnen dien gordel daarentegen zeer dunne en doorschijnende dampkringen hebben; men gaat dus niet buiten het gebied der feiten, wanneer men aanneemt, dat die buitenplaneten zich zeer nabij een nevelachtigen toestand bevinden.

6^o De buitenplaneten hebben eene rotatiebeweging, middelbaar twee en een half maal zoo snel dan de binnen die streek gelegene planeten. Zulk een groot verschil zonder eenigen overgang kan niet het werk van het toeval wezen.

De hypothese van Laplace verklaart ons dus eene menigte omstandigheden, die innig te zamen zijn verbonden, en welke men op geene andere wijze kan verklaren.

Wij zouden het bestek van dit werk verre te buiten gaan, wanneer wij de moeielijkheden, door de bestrijders tegen die wereldvorming van Laplace ingebracht, opnamen en bespraken. 't Is voor ons doel voldoende die hypothese kortelijk te hebben uiteengezet, en hoewel het eene hypothese blijven zal, is zij geenszins in strijd met de Bijbelsche Geogonie. Zij mag dus worden aangenomen of bestreden.

Ten slotte nog een enkel woord over het zoogenaamde Stabii- teits-probleem, namelijk het onderzoek of de Groote Schepper van hemel en aarde, door de wetten, waardoor Hij die schepping be- stuurt, er ook tevens de kiem in gelegd heeft tot een in den loop der eeuwen noodzakelijk volgenden ondergang. Met andere woorden, wat leert ons de wetenschap over den duur van het wereldstelsel.

Vroeger meende men in het zonnestelsel voortgaande veranderingen en storingen te ontdekken. De seculaire storingen, waarover wij vroeger spraken, nam men tot bewijs, dat het heelal zich langzamerhand meer en meer zou ontbinden, en dat de ondergang der wereld een natuurlijk gevolg zou wezen van de in haar werkzaam zijnde wetten. Zelfs de beroemde Euler deelde in die vrees. Maar de nieuwere ontdekkingen der sterrenkundigen hebben aan het licht gebracht, dat al die storingen eene bepaalde maat en term hebben. Zij vermeederen en verminderen binnen vastgestelde grenzen.

Ons planetenstelsel, zegt de ontslapen Hoogleeraar Kaiser, zal blij- ven bestaan als een toonbeeld van de volmaaktheid des Scheppers,

totdat het zijne bestemming heeft bereikt. Zulk een uiterst samengesteld, kunstig uurwerk door krachten bestuurd, die nooit verflauwen, door honderde raderen bewogen, die met bewonderingswaardige volkomenheid in elkander grijpen, en voor geen slijten of verloopenvaarbaar zijn; zulk een werk is niet het gewrocht van het toeval, alleen een verstand, dat den laagsten trap van onkunde en verstomping heeft bereikt, kan zulks aannemen; neen die duurzaamheid van het wereldstelsel toont ons eene goddelijke hand, die met wijsheid over haar werk waakt, en het bewaren zal ten einde toe, zooals het was in den beginne. Zoolang de wereld duurt, sprak God tot Noë, zullen de zaaien de oogsttijden, de koude en de warmte, de zomer en de winter, de nacht en de dag elkander zonder onderbreking opvolgen.

TWEEDE BOEK.

BEREKENINGEN EN WERKTUIGEN DER STERRENKUNDE.

Wat de sterrenkunde tot wetenschap maakt is vooral de toepassing der mathematische wetten op de hemelverschijnselen, waardoor het mogelijk is geworden, den terugkeer er van te kunnen berekenen, of wat hetzelfde is, met nauwkeurigheid te kunnen aantoonen wat en wanneer zij hebben plaats gehad. Wat de bewegingen aangaat van de lichamen van ons planetenstelsel, zulks is slechts de oplossing van een meetkundig vraagstuk, dat, hoewel zeer ingewikkeld toch dien graad van zekerheid en nauwkeurigheid verkrijgt, welke de meetkunde geven kan. De zeer onvolmaakte schets, welke wij in het vorige boek gegeven hebben van de grondwetten der sterrenkunde, zal toch, hopen wij, voldoende zijn om een denkbeeld te geven van de sterrenkunde als wetenschap.

Om geheel en al den twijfel weg te nemen, welken sommigen van onze lezers nog koesteren over de waarde der sterrenkundige berekeningen, zullen wij van eenigen der voornaamste voorbeelden geven.

Oningewijden verwonderen zich, dat de sterrenkundigen met zooveel nauwkeurigheid en zoolang te voren de verschijnselen van zon- en maaneclips voorspellen, en toch wanneer zij goed begrepen hebben, wat de oorzaak dier verschijningen is, zal het hun zeer eenvoudig toeschijnen verschijnselen te bepalen, welke door de ouden reeds ten ruwste berekend werden; daarom zullen wij over de verduisteringen in eenige bijzonderheden treden, en na de verklaring der feiten

een hoofdstuk wijden aan de berekening der verduisteringen, ten believe van hen, die, zonder ingewijd te zijn in de hoogere meetkunde, dergelijke berekeningen tot hun nut en vermaak willen volbrengen.

De oplossing van een tweede vraagstuk, namelijk den afstand van Zon, Maan en Sterren, wordt dikwijls met een ongeloovig lachen begroet, en toch is het slechts eene eenvoudige werking van hemel-meetkunde, zeer moeielijk in de praktijk, maar zeer gemakkelijk om in theorie begrepen te worden. Ik hoop daarvan den lezer te zullen overtuigen.

Ten slotte zullen wij eenige verklaringen geven van de voornaamste werktuigen, waarvan de sterrenkundige zich bedient om tot zulke schoone uitkomsten te geraken.

I.

ECLIPSEN.

VERDUISTERINGEN VAN ZON EN MAAN.

§ 1. Algemeene theorie over de eclipsen. — Voorwaarden, waarop eene Zons- of Maansverduistering mogelijk is. — Waarom geeft iedere maanmaand geene verduisteringen? — Periode van Saros.

Wanneer de beweging van de Aarde en de Maan die beide lichamen in een stand brengt, dat de middelpunten van de Aarde en de Maan zich in eene rechte lijn bevinden met het middelpunt der Zon, dan heeft er eene verduistering of eclips plaats. Wanneer de Maan (zie plaat LVIII) tusschen de Aarde en de Zon staat, keert zij haar duister halfrond naar de Aarde en onderschept de lichtstralen der Zon, zoodat op Aarde een gedeelte in den schaduwkegel van de Maan is geplaatst; daardoor wordt dan voor die plaatsen de Zon verduisterd, en er is ZONSVERDUISTERING.

Maar als de Aarde tusschen Zon en Maan geplaatst is, vangt onze Aarde de zonnestrallen op, en de Maan staat in den schaduwkegel, welke de Aarde achter zich werpt; er is dan MAANSVERDUISTERING.

Deze verklaring geldt echter alleen met betrekking tot onze Aarde, want in die twee opgenoemde omstandigheden is er eene verduistering

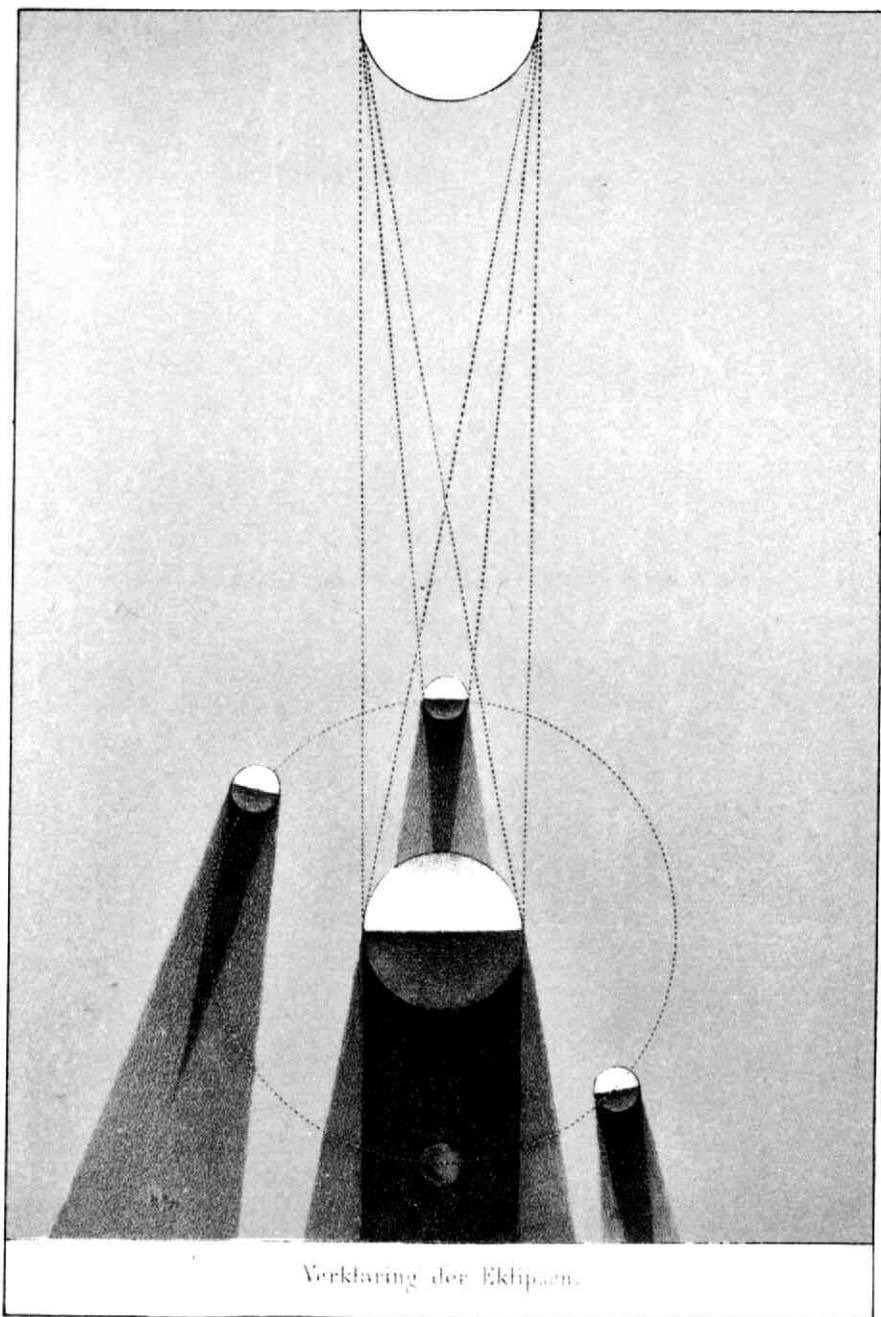
voor al de drie hemellichamen, hoewel op eene verschillende wijze.

In het eerste geval, wanneer de Maan tusschen Zon en Aarde staat, zou voor een waarnemer op de Zon de Maan een gedeelte van de oppervlakte der Aarde bedekken, maar omdat en de Aarde en de Maan door de Zon bestraald worden, zou men dus zich op de Zon bevindende, de beide lichtende schijven van Maan en Aarde elkander zien bedekken, zoodat er geene eigenlijke verduistering plaats heeft; voor iemand, die zich op het naar de aarde gekeerde halfmond der Maan zou bevinden zou er eene aardverduistering plaats hebben, en wel eene achtereenvolgende verduistering van al de streken, waar op Aarde zonsverduistering was. In het tweede geval, wanneer de Aarde zich tusschen Zon en Maan bevindt, zou er voor de Zon eene Maaneclips plaats hebben, en voor het naar ons toegekeerde halfmond der Maan eene Zoneclips. De beschouwing van Plaat LVIII maakt de bovenstaande verklaring overduidelijk.

De eclipsen kunnen echter nog op eene andere wijze worden voorgesteld en verklaard.

De Aarde en de Maan zijn twee bolvormige lichamen, wier ééne helft immer door de Zon bestraald wordt, terwijl de andere van de Zon afgewend zich in het duister bevindt. Het lichtgevende lichaam, de Zon, is een bol van veel grootere afmetingen dan de Aarde en de Maan; uit die verlichting van het eene halfmond volgt, dat Aarde en Maan hunne schaduw, die zich kegelvormig uitstrekt, achter zich hebben, en wier lengte en breedte afhangt van den afstand van het verlichtende en van de grootte van het verlicht wordende lichaam.

De schaduwkegel omvat in de ruimte al die punten, waar geen enkele directe zonnestraal doordringt, omdat het duistere vaste lichaam van de Aarde of de Maan zulks verhindert. Men noemt die kernschaduw. In het verlengde van de as van dien kegel, ziet men een gedeelte der Zon en wel in den vorm van een ring, omdat het tusschenbeide geplaatste lichaam het midden der Zon bedekt. Rondom dien schaduwkegel bevindt zich, maar juist in tegenovergestelde richting, een andere, welke men de halfschaduw noemt, welke al die punten der ruimte bevat, welke slechts door een gedeelte der Zon bestraald worden, omdat het tusschen geplaatste lichaam een gedeelte der zonnestrallen opvangt; naarmate een punt dier halfschaduw zich dichterbij de kernschaduw bevindt, naar die mate is de schaduw meer duister. De Maan en de Aarde voeren dus hunne kernschaduw en halfschaduw



met zich mede op hune baan, en wanneer nu een van beide lichamen in den schaduwkegel van het andere komt, ontstaan de eclipsen.

Wanneer wij nu na deze algemeene verklaring Pl. LVIII nog eens beschouwen, zien wij aanstonds, dat eene zonsverduistering alleen kan plaats hebben ten tijde van nieuwe Maan, en eene maansverduistering alleen bij volle Maan; bij de andere standen van onzen wachter kan noch de schaduwkegel van de Maan onze Aarde, noch die van onze Aarde de Maan bereiken, zoodat er in die standen geene verduistering plaats kan hebben. Maar daaruit volgt niet, dat er telkens ten tijde van nieuwe en volle Maan eene zons- en maansverduistering plaats heeft, en de reden daarvan ligt voor de hand. Wanneer de loopbaan der Maan juist in het vlak lag van de loopbaan der Aarde, zou er in iedere maanmaand eene zons- en eene maansverduistering plaats hebben, want dan zouden ten tijde van de conjunctie en de oppositie der Maan de middelpunten van Zon, Aarde en Maan zich in eene rechte lijn bevinden; omdat echter het vlak der maanbaan, zooals wij weten, met het vlak der ecliptica, een hoek maakt van $5^{\circ} 8' 39'',96$, gebeurt het zeer dikwijls, dat de schaduwkegel der Maan ten tijde van nieuwe Maan boven of onder de Aarde komt, en dus niet in rechte lijn met de Aarde en de Zon; evenzoo is de Maan ten tijde van volle Maan boven of onder de loopbaan der Aarde en dus boven of onder den schaduwkegel, welke de Aarde achter zich werpt, en in beide gevallen is er geene eclips mogelijk.

Welke zijn dan de voorwaarden waarop eene zons- of eene maansverduistering mogelijk is?

Ten eerste, de Maan moet zijn in een van hare syzygiën (nieuwe of volle Maan), zooals wij hier boven gezien hebben, en ten tweede moet zij zich in een van hare knooppunten bevinden of er dicht bij zijn. Tweemaal doorsnijdt de Maan gedurende haren loop om de Aarde de ecliptica, want zij rijst er ongeveer 5 graden boven en daalt er even zooveel onder, die beide snijpunten noemt men de knoopen. Wanneer die knooppunten onveranderlijk op dezelfde plaats der maanbaan lagen zou een van beiden gebeuren, of er zouden elken maanmaand twee eclipsen plaats hebben, wanneer de knoopen ten tijde der syzygiën vielen, of er zouden nimmer verduisteringen plaats grijpen, wanneer de knoopen bijv. ten tijde der quadraturen vielen; maar omdat die knooppunten zich elk jaar verplaatsen, zoodat zij in 18 jaar de gansche baan zijn rond geweest, begrijpt men dat er

dan eene verduistering plaats vindt, wanneer de knoopen ten tijde van volle of nieuwe Maan vallen.

Die samenvalling behoeft echter niet nauwkeurig te wezen, want omdat de schaduwkegel der Aarde eene zekere breedte bezit, en op de plaats, waar de maanbaan dien kegel snijdt, ongeveer $1\frac{1}{2}$ maal de middellijn der Maan boven en onder het vlak der ecliptica zich uitstrekt, komt de Maan toch in den schaduwkegel, al valt het knooppunt er buiten. De halve middellijn van den schaduwkegel der Aarde op den afstand der Maan, meet uit het middelpunt der Aarde gezien $\frac{3}{4}$ graad, wanneer dus de volle Maan tot op $\frac{3}{4}$ graad het vlak der ecliptica genaderd is, treedt zij reeds in de schaduw. Uit den afstand dus der knooppunten ten tijde van volle of nieuwe Maan kan men besluiten of er eene verduistering zal plaats hebben.

Na verloop van 6585 dagen, dat is 18 jaar en 10 of 11 dagen, welke periode de Babyloniers Saros noemden, komen dus de verduisteringen in dezelfde opvolging weder voor, omdat de knoopen dan weder denzelfden stand hebben. Men telt in zulk eene periode 70 eclipsen, waarvan er 29 der Maan en 41 der zon zijn. De ouden gebruikten die periode om de eclipsen te berekenen; omdat die periode echter zoo nauwkeurig niet is, is het niet te verwonderen, dat de berekeningen der ouden gebrekkig waren, en niet te vergelijken zijn met de tegenwoordige hoogst nauwkeurige rekeningsmethode.

§ 2. Zoneclipsen. — Totale, ringvormige en gedeeltelijke eclipsen. — Lengte van den schaduwkegel. — Zichtbaarheid der eclipsen dezer eeuw. — Centraal-verduisteringen. — Uitkomsten van de totale zoneclips van 11 Dec. 1871. — Polarisation van den Kroon en omgekeerd spectrum.

De zoneclipsen onderscheidt men in drie soorten. **TOTALE**, wanneer de duistere maanschijf geheel de schijnbare oppervlakte der Zon bedekt. **GEDEELTELIJKE**, wanneer slechts een gedeelte der zonneschijf door de Maan bedekt wordt, zoodat de Zon zich sikkelvormig vertoont, en eindelijk **RINGVORMIGE**, wanneer de maanschijf kleiner is dan de Zon, zoodat de Maan zich vertoont omgeven door een lichtenden ring van de Zon, welken zij niet bedekken kan.

Omdat de Maan veel kleiner is dan de Zon, begrijpt men gemakkelijk, dat de kleinere afstand van de Maan de oorzaak is, dat deze zich voor ons oog schijnbaar even groot en soms grooter dan de Zon vertoont. Omdat de Maan in eene ellips om de Aarde

loopt, is de afstand der Maan soms meer en soms minder, en evenzoo hare schijnbare afmetingen.

Uit dat verschil in afstand volgt, dat de schaduwkegel der Maan soms de Aarde zal bereiken en soms ook niet. Wanneer de kernschaduw der Maan de oppervlakte der Aarde bereikt, is er totale zonsverduistering voor al die plaatsen op Aarde, welke in die kernschaduw komen, en gedeeltelijke verduistering voor al die, welke in de halfschaduw liggen. Maar staat de Maan op het oogenblik van nieuwe Maan zoover van de Aarde, dat zij met haren schaduwkegel de Aarde niet bereikt, dan is er ringvormige zonsverduistering voor al die plaatsen, die in het verlengde van den schaduwkegel liggen, en gedeeltelijke verduistering voor die, welke zich in de halfschaduw bevinden.

Om de lengte van den schaduwkegel te kennen is eene eenvoudige berekening voldoende: men vermenigvuldigt den afstand van het lichtende voorwerp, met de halve middellijn van het verlicht wordende lichaam, en deelt dan het produkt door de halve middellijn van het lichtende voorwerp, nadat men er den halven middellijn van het verlichtwordende lichaam heeft afgetrokken.

Voor de kernschaduw der Aarde verkrijgt men dan:

$$\frac{20.000.000 \times 860}{95655} = 180,000 \text{ geogr. mijlen.}$$

In het Apogeum staat de Maan 54,650 g. m. van het middelpunt der Aarde en dus 19,945,350 van de Zon, dan is hare schaduwkegel gelijk aan

$$\frac{19.945.350 \times 248}{96367} = 51,330 \text{ geogr. mijlen.}$$

De oppervlakte der Aarde is dan 53,790 g. m. van de Maan verwijderd, zoodat in dat geval de schaduwkegel der Maan de Aarde niet bereiken kan, en er dus eene ringvormige zonsverduistering plaats heeft. Maar valt de nieuwe Maan, wanneer zij in het Perigeum staat, dan is de schaduwkegel gelijk:

$$\frac{19.951.040 \times 248}{96367} = 51,344 \text{ geogr. mijlen.}$$

En den afstand van de oppervlakte der Aarde tot de Maan is dan ongeveer 49,000 geogr. mijlen, zoodat de schaduwkegel met eene lengte van 51,344 mijlen de Aarde kan bereiken, en op alle plaatsen waar die schaduwkegel de Aarde treft, is er totale zonsverduistering.

De voorwaarden voor eene geheele of totale zoneclips zijn dus, dat de Maan in conjunctie met de Zon moet wezen, met andere woorden het moet nieuwe Maan zijn. Vervolgens moet de Maan dicht bij een van hare knoopen zijn, en ten laatste de afstand der Aarde en de Maan moet minder zijn dan de lengte van den schaduwkegel der Maan, en wanneer deze laatste voorwaarde niet vervuld wordt, heeft er eene ringvormige zonsverduistering plaats.

Bij de vooruit berekende eclipsen vindt men soms de bijvoeging "voor ons onzichtbaar", want eene eclips kan plaats hebben zonder dat zij op alle plaatsen der Aarde gezien wordt.

Dat is duidelijk te begrijpen, ten eerste voor die plaatsen waar het nacht is op het oogenblik dat de zonsverduistering plaats heeft, maar het kan ook plaats hebben al staat de Zon reeds boven den horizon.

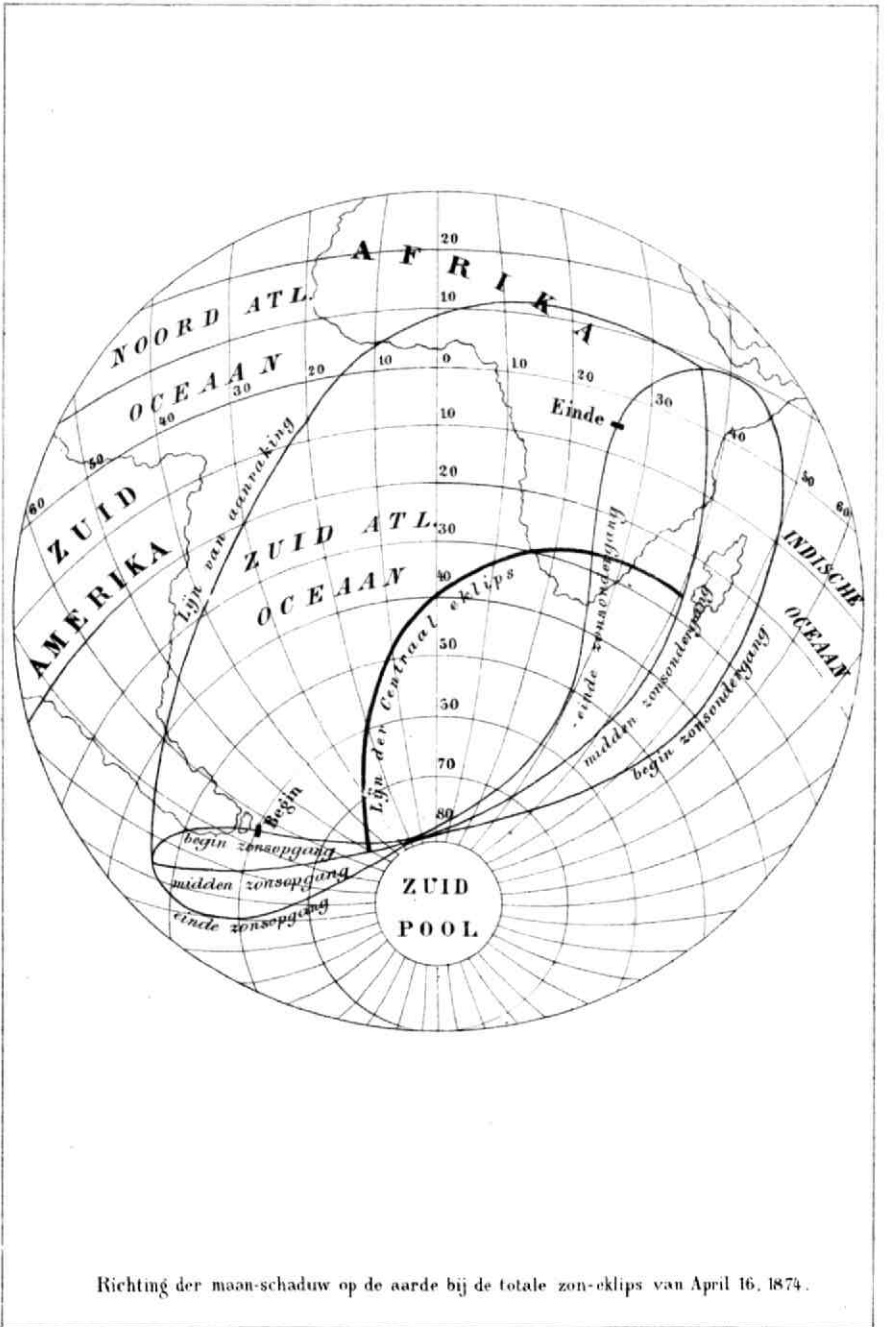
Men kan dit op verschillende wijzen duidelijk maken. De Maan heeft eene middellijn ongeveer viermaal kleiner dan die van onze Aarde, en daarom is de schaduwkegel van de Maan zelfs op zijne grootste breedte toch veel te smal om de gansche Aarde te omvatten, maar de punt van dien schaduwkegel, welke de Aarde treft, heeft op die hoogte eene breedte van ongeveer 25 mijlen; eene totale eclips der Zon kan dus gelijktijdig niet worden waargenomen dan binnen een kring, wiens middellijn 25 mijlen groot is ¹. Maar omdat gedurende de verduistering de Aarde wentelt en de Maan zich voortbeweegt, loopt de schaduw over eene groote streek der Aarde, en beschrijft er eene breede duistere schaduwstreep.

Dezelfde verklaring geldt ook voor de halfschaduw. Naarmate dus de plaatsen op Aarde gelegen zijn met betrekking tot Zon en Maan, kan de Zon of geheel verduisterd wezen voor die plaatsen of gedeeltelijk, of zelfs kan er slechts een enkele aanraking der beide schijven plaats hebben.

De sterrenkundige theoriën van de Maan en de aardbewegingen zijn tegenwoordig zoo volmaakt, dat de eclipsen jaren te voren met juiste opgave van tijd, duur, plaats en grootte worden opgegeven.

Tot voorbeeld geven wij in Plaat LIX eene kaart, waarop den loop der kernschaduw is aangegeven gedurende de totale zoneclips van den

¹ Wij nemen hier het middelbaar getal van 25 mijlen; de breedte echter van den schaduwkegel, welke de Aarde treft, kan grooter en ook kleiner wezen, dit hangt af van den afstand, waarop de Maan zich van de Aarde bevindt. In het Perigeum is die schaduwkegel dus het breedste.



Richting der maan-schaduw op de aarde bij de totale zon-eklips van April 16, 1874.

16^{den} April 1874. De in den vorm van eene 8 getrokken lijn geeft de plaatsen aan, waar de eclips begint of eindigt, hetzij bij zonsopgang of ondergang. De lijn in het midden toont de plaatsen aan, waar men slechts de helft der eclips kan waarnemen, omdat voor die plaatsen de eclips half is als de Zon op- of wel ondergaat.

De dikkere lijn toont die plaatsen, waar de eclips centraal is, dat willen zeggen, waar het midden van den op Aarde geworpen schaduwkegel de Aarde treft; naarmate men zich meer van die lijn verwijderd wordt de eclips kleiner, zoodat de plaatsen gelegen onder de lijn, welke de einden van de figuur verbindt, slechts eene enkele aanraking der beide schijven kunnen waarnemen.

De duur van eene totale zoneclips is zeer verschillend, op onze breedte is :

De grootste duur eener totale zonsverduistering 3^u 26^m 30^{sec}.

De grootste duur eener ringvormige zonsverduistering 9^m 54^{sec}.

De grootste duur van totale duisternis 6^m 8^{sec}.

De totale zoneclips van den 16^{den} April 1874 begint 's morgens om 11 ure, 48 min., 2 sec., en wel op 70° 10' westerlengte van Greenwich en 58° 32' zuiderbreedte, dus ten zuiden van Zuid-Amerika. Het einde er van is 's middags ten 4 ure, 13 min., 1 sec., op 25° 32' oosterlengte en 6° 11' zuiderbreedte, in de binnenlanden van Zuid-Afrika.

De zonsverduisteringen, in deze eeuw voor ons werelddeel zichtbaar, zijn de volgende:

1. 1873. Mei 26. In de Noordpoolstreken vooral zichtbaar, op onze breedte eene geringe verduistering, ongeveer $\frac{1}{3}$ der zonne-middellijn; het begin omstreeks 8 ure des morgens.

2. 1874. October 10. In het noord-oostelijk gedeelte van Rusland vertoont zich die verduistering het grootst en wel ringvormig, terwijl op onze breedte de eclips iets meer dan $\frac{1}{3}$ bedraagt; het begin 's morgens 9 ure.

3. 1880. Dec. 31. In de Noordpoolstreken zichtbaar, hoewel van geringe grootte, op onze breedte zeer geringe verduistering; het begin na den middag omstreeks 2 ure.

4. 1882. Mei 17. Eene totale zonsverduistering voor Afrika en Azië, want de kernschaduw loopt in eene breedte van 30 mijlen uit de binnenlanden van Opper-Guinea noord-oostelijk naar Suez en zoo tot Nanking. In Europa is de verduistering gering. In de zuidelijke streken van Europa bedraagt zij de helft, maar op onze breedte nauwelijks $\frac{1}{4}$ gedeelte van de middellijn der Zon.

5. 1887. Aug. 19. De eenige totale zonsverduistering in deze eeuw in Europa zichtbaar. In het noord-oostelijk gedeelte van Pruisen; de kernschaduw loopt in eene breedte van ongeveer 30 mijlen van Maagdenburg, waar het begin is over Berlijn, Moseou, Tobolsk en van daar zuidoostelijk over Zuid-Siberië en Chineesch Tartarije, op onze lengte zeer gering.

6. 1890. Juni 17. Eene ringvormige zonsverduistering in gansch Europa zichtbaar, maar slechts als eene gedeeltelijke eclips, want de kernschaduw loopt in het verlengde gedeelte uit de Atl. Oceaan, waar zij begint door Afrika bij Kaap Palmes, naar het noordoosten bij het eiland Candia, zoo door Azië, en eindigt ten zuidwesten van Canton in zee, op onze breedte is de Zon ongeveer de helft verduisterd; het begin des morgens ongeveer 9 ure.

7. 1891. Juni 6. In de meeste streken van Europa gering, maar toch voor bijna alle plaatsen zichtbaar, met uitname van een groot gedeelte van Spanje.

8. 1896. Aug. 9. Eene voor de noordelijke streken totale zonsverduistering, die op onze breedte hoewel niet totaal toch zeer aanzienlijk is, $\frac{3}{4}$ deel der Zon wordt verduisterd.

9. 1899. Juni 8. Aan de Noordpoolstreken bij Amerika is de eclips het grootst, op onze breedte zeer gering, nauwelijks $\frac{1}{10}$ gedeelte.

10. 1900. Mei 28. Eene ringvormige zonsverduistering. De kernschaduw loopt van de Westkust van Mexico over den Oceaan naar Spanje, over de Middell. Zee naar Algiers en eindigt in het Zuiden van Egypte bij de watervallen van den Nijl, dus alleen in een gedeelte van Spanje is de verduistering ringvorming, hoewel op onze breedte toch ook aanzienlijk, ongeveer de helft der zonneshijf wordt verduisterd; het begin na den middag omstreeks 3 ure.

In den loop van 18 jaren hebben er 41 zoneclipsen plaats, en van dat getal zijn er 28 centraal; dat wil zeggen, dat voor bepaalde plaatsen op onze Aarde de middelpunten dier drie hemellichamen zich in ééne lijn bevinden, zoodat dat 28tal of totale of ringvormige verduisteringen zijn, naardat de afstand der Maan van onze Aarde is.

Wij treden niet in eene natuurkundige beschouwing van de vele en eigenaardige verschijnselen, welke eene totale zoneclips oplevert; alleen willen wij hier de uitkomsten vermelden door de laatste totale zoneclips van 1871 verkregen, voor zoover zij betrekking hebben op hetgene wij in het begin van dit werk over de Zon schreven.

Op den 11^{den} Dec. 1871 was de stand van de middelpunten van Zon, Maan en Aarde zoodanig, dat de top van den schaduwkegel der Maan, onze Aarde trof in Britsch-Indië en voortliep over onze Oost-Indische bezittingen, het noordelijk gedeelte van Australië en eindigde in den stillen Oceaan op ongeveer 170 graden.

De verwachting der geleerden was hoog gespannen, vooral om over de zonneatmosfeer tot meerdere zekerheid te geraken.

Herinneren wij ons in het kort, wat wij vroeger over de Zon schreven; wij beschouwden haar als eene massa van zeer hooge temperatuur; door de verkoeling, waaraan de buitenste laag onderworpen is, verliest zij daar haar gasachtigen toestand en daardoor vormt zich eene laag gecondenseerde gloeiende dampen, welke wij de *photosfeer* (lichtgordel) der Zon noemen. Die *photosfeer* wordt omgeven door eene laag doorschijnende dampen, de *zonneatmosfeer*, terwijl men die gedeelten, welke zich het dichtst bij de *photosfeer* bevinden en dus eene hoogere temperatuur hebben dan de meer verwijderde deelen, met den naam van *chromosfeer* (van het griekse *chroma* oppervlakte) bestempelt; toen reeds namen wij aan, dat hoofdzakelijk waterstofgas, het bestanddeel van dien zonedampkring was.

Daarop nu was de aandacht der geleerden gevestigd, want als de Maan de zonneshijf bedekt, vertoont zich die dampkring in den vorm van eene lichtkroon, de duistere schijf der Maan omgevende; men noemt die ook *Kroon*, *Corona*, en kan die het beste vergelijken met de glorie, waarmede men de heiligen beelden omgeeft (Zie Pl. X.) Bij sommige eclipsen nam men echter afwijkingen in dien vorm waar, daar de kroon niet overal dezelfde breedte had, en ook de stralen niet altijd loodrecht op den rand der Maan vielen. Men kan ook die uitschietende stralen niet volgen tot aan de Maan, maar zij verliezen zich in een glanzenden lichtring, welke in eene breedte van ongeveer 3 minuten of $\frac{1}{10}$ van de middellijn der Maan, den duisteren maanrand omgeeft.

Over het licht van die kroon had men nog geene geheel overeenstemmende uitkomsten verkregen; Arago bijv. had met behulp van den Polariscoop (zie bladz. 264) gevonden, dat zij gepolariseerd licht bezat, maar andere waarnemers kwamen tot eene geheel tegenovergestelde uitkomst.

Over die lichtkroon had men drie verschillende hypothesen gesteld; men nam aan, dat die lichtglans zijn oorsprong had in den dampkring,

welke de Zon omgaf, een tweede hypothese wilde de oorzaak van dien lichtglans zoeken in de buiging der lichtstralen om den rand der Maan, en de derde gissing wilde de kroon uitleggen door de refractie in onzen dampkring.

De beide laatste hypothesen worden algemeen verworpen en de eerste aangenomen, maar bij vroegere eclipsen en ook nu bij de verduistering van 1871 hebben de verschillende waarnemers bevonden, dat het licht van de kroon gepolariseerd was; daaruit kan men echter het besluit niet trekken, dat de kroon geen eigen licht bezit, want Tyndall heeft aangetoond, dat als het licht door eene opeenhooping van uiterst fijne deelen rechthoekig teruggekaatst wordt, het dan in een bepaald vlak sterke polarisatie vertoont.

Daardoor is men langzamerhand de meening toegedaan geworden, dat het licht van de kroon van gemengden oorsprong is, en veroorzaakt wordt door de terugkaatsing der zonnestrallen en door de gloeiing van het gas, dat zich in de chromosphere bevindt; daarmede nu stemmen de waarnemingen op den 11^{en} Dec. overeen, want men kwam tot de overtuiging dat, naarmate men deelen waarnam, verder van de zonneshijf verwijderd men sterkere polarisatie opmerkte.

Eene tweede waarneming gold het zoogenaamde omgekeerd spectrum; vroeger hebben wij de oorzaak aangegeven van de zwarte absorbtie-strepen, welke wij in het zonnespectrum waarnemen; (bladz. 53 en 398) wanneer de aangegevene oorzaak waar is, dat er zich tusschen de photosphere en ons oog eene laag absorbeerende dampen bevindt, waardoor de schitterende strepen van het spectrum donker worden, of met andere woorden, dat het sterkere licht der photosphere de heldere strepen van het spectrum der chromosphere omkeert of donker maakt, dan zou bij eene totale zonsverduistering, wanneer de photosphere door de maanshijf bedekt is, het spectrum der chromosphere schitterende strepen moeten vertoonen, en de waarnemers moesten onder hunne oogen die omkeering zien plaats grijpen.

Welnu ook dit heeft zich bevestigd. Maclear en Lockijer getuigen, dat het spectrum van de kroon schitterende strepen vertoonde, die schitterender werden, naarmate het oogenblik der totale verduistering naderde; in de oogenblikken der totale eclips had de kroon te zwak licht, om er een spectrum van te kunnen waarnemen; ook geeft Pringle getuigenis van schitterende strepen, welke hij in het spectrum van de kroon waarnam. Respighi alleen komt daarmede niet overeen,

wij nemen letterlijk zijne woorden over: “om de omkeering der strepen van het spectrum waar te nemen, vestigde ik den blik op dat gedeelte van de kroon, waar het tweede aanrakingspunt zou plaats hebben, dat is het punt waar de laatste zonnestraal bedekt zou worden; dertig seconden voor de totale verduistering was het licht reeds zoodanig afgenomen, dat men het spectrum met het bloote oog kon waarnemen; op dat oogenblik vertoonden de zwarte strepen van het zomespectrum, die evenwijdig met den rand der zonneshijf gebogen waren zich zeer duidelijk, maar weinige seconden voor de totale verduistering verdwenen zij, en het spectrum werd onafgebroken, zonder eenige omkeering in de strepen te toonen, hoewel ik het verschijnsel met groote oplettendheid waarnam. Ik ontken echter, zoo laat hij er op volgen, de omkeering der strepen niet, want het is niet onmogelijk, dat eene dunne nevelaag of het in den dampkring verspreide licht de oorzaak is geweest, dat ik de schitterende strepen niet heb kunnen waarnemen.”

§ 3. Maaneclipsen. — Verschil met zoneclipsen. — Totale en gedeeltelijke verduisteringen. — Zichtbaarheid der verduisterde maanshijf. — Geregelde terugkeer. — Sterrenbedekkingen.

De maaneclipsen kunnen evenals de verduisteringen der Zon gedeeltelijk of totaal zijn, maar nimmer ringvormig, omdat, zelfs bij den grootsten afstand van onzen wachter, de schaduwkegel der Aarde toch veel langer is, en dus de Maan moet raken. De schaduwkegel, welke onze Aarde achter zich werpt, is 187.000 geogr. mijlen lang, en de grootste afstand der Maan in haar apogeum is slechts 54.650 mijlen.

Een tweede hoofdverschil tusschen eene zon- en eene maaneclips is het volgende. Eene zoneclips is slechts voor eenige plaatsen op de Aarde, maar eene maaneclips is op alle plaatsen zichtbaar, waar de Maan boven den horizon rijst; eene zonsverduistering heeft achtereenvolgens voor die streken plaats, langs welke de schaduwkegel der Maan heen loopt, maar bij eene maansverduistering wordt die overal op hetzelfde oogenblik waargenomen, hoewel niet op hetzelfde uur, omdat dit, zooals wij weten, volgens de meridiaanlengte verschilt.

De oorzaak van dit verschil is gemakkelijk te begrijpen; bij eene

zoneclips wordt de zonneschijf niet verduisterd, maar alleen verborgen achter de schijf der Maan, zoodat het tusschenschuiven der Maan verschilt volgens den stand van den waarnemer; maar eene maansverduistering is eene ware verduistering, een verlies van licht, door de schaduw der Aarde, en daarom is zulk eene verduistering overal zichtbaar, waar men de Maan zien kan.

Wanneer de Maan midden door den schaduwkegel der Aarde gaat, is de verduistering totaal; daartoe is het echter niet noodig, dat de verduistering centraal is, wanneer de Maan slechts in genoegzame breedte door de schaduw der Aarde heentrekt; maar is de knoop der Maan, waar zij onder of boven de ecliptica rijst, te ver van den schaduwkegel der Aarde verwijderd, dan zal zij zich slechts gedeeltelijk in die schaduw dompelen, en is de eclips eene gedeeltelijke.

De berekening leert ons het volgende :

Eene totale maansverduistering moet plaats hebben, wanneer de volle Maan $3^{\circ} 30'$ van een harer knoopen valt, en kan nog plaats hebben, wanneer de afstand der knoopen zelfs $7^{\circ} 19'$ bedraagt. Eene gedeeltelijke maansverduistering moet plaats hebben, wanneer de knoopenafstand tot $7^{\circ} 47'$ bedraagt, en kan nog gebeuren, wanneer die afstand $13^{\circ} 21'$ bedraagt.

Vóór het oogenblik der maansverduistering, ziet men duidelijk aan het verzwakkende maanlicht, dat de Maan in de halfschaduw der Aarde treedt.

Wanneer de gansche Maan verduisterd is, gebeurt het echter zelden, dat zij geheel onzichtbaar wordt, want de zonnestralen, die op onzen dampkring schieten en breken, geven haar eene roodachtige tint.

Bij de eclipsen van 1666, 1668 en 1750 vindt men eene omstandigheid vermeld, die woonderspreukig klinkt, en met de vroegere verklaring der eclipsen in strijd schijnt te zijn. Toen vertoonden Zon en Maan zich tegelijk boven den horizon. Daaruit zou volgen, dat Zon Maan en Aarde zich toen niet in eene rechte lijn bevonden, wat toch een noodzakelijk vereischte voor eene eclips is. Die verschijning werd echter veroorzaakt door de refractie van onzen dampkring; de Zon en de Maan waren beiden in werkelijkheid reeds onder den horizon, maar door de straalbreking vertoonden zij er zich schijnbaar nog boven.

De schijnbare grootte eener verduistering bepaalt men volgens eene aangenomen maat. Men verdeelt de middellijn der zon- of maanschijf

in 12 gelijke deelen, welke men duimen noemt, en daarnaar bepaalt men hoeveel duimen de verduistering groot is. Iedere duim verdeelt men in 60 minuten.

Nog een enkel woord over hunne periodieke verschijning, de oorzaak daarvan is de volgende. De middelbare tusschentijd van de eene nieuwe Maan tot de andere, of met andere woorden de synodische maand bedraagt 29 dag. 12 u. 45 min. 2 sec., zoodat een zonnejaar 12 synodische maanden + 11 dagen bevat. Wanneer de stand van de maanbaan dezelfde bleef, zou in het volgende jaar eene bepaalde zonsverduistering juist 11 dagen vroeger plaats hebben, maar de knopen der maanbaan veranderen en wel in de richting der Zon, zoodat deze geen vol jaar noodig heeft om bij denzelfden knoop der maanbaan te komen, maar daarvoor slechts $346\frac{3}{5}$ dag gebruikt. Wanneer er dus opnieuw eene maansverduistering plaats kan hebben in dezelfde omstandigheden, is het noodig dat de Zon denzelfden stand hebbe met betrekking tot de knopen der Maan. Na eene tusschenruimte van $346\frac{3}{5}$ dag, komt de Zon weder bij denzelfden knoop, opdat echter de stand van Zon en Maan dezelfde zij als vroeger, is het noodig dat er eene periode verloopt, die gelijk staat met een meervoud van $346\frac{3}{5}$ dag. De ouden kenden die periode reeds onder den naam van Saros, want 223 synodische maanden zijn gelijk aan $6585\frac{2}{5}$ dagen en 19 maal $346\frac{3}{5}$ is ook gelijk aan $6585\frac{2}{5}$ dagen; omdat nu $6585\frac{2}{5}$ dag. juist 18 jaar en 11 dagen zijn, herhalen de eclipsen zich na verloop van die periode in dezelfde volgorde.

Die berekening is echter maar eene benadering, want de sterrenkundigen gebruiken, zooals wij in het volgende hoofdstuk zullen aantonen, eene veel nauwkeuriger bepaling en berekening.

Gemakkelijk begrijpt men, dat de Maan door haren loop langs den sterrenhemel nog eene andere soort van verduisteringen veroorzaakt, namelijk die der sterren en planeten, waaraan men den naam geeft van occultatiën of bedekkingen. Wij spraken er reeds over op bladz. 171, toen wij daaruit een bewijs zochten, dat de Maan geen dampkring bezit.

Zulke bedekkingen worden met dezelfde nauwkeurigheid als de eclipsen berekend, en daar zij menigvuldig voorkomen zijn de tafels dier sterrenbedekkingen van groot nut voor de zeevaart. Omdat de

Maan in vergelijking met de sterren zeer dicht bij onze Aarde is, volgt daaruit, dat die bedekkingen voor de verschillende streken der Aarde ook in tijd verschillen. De sterrenhemel is dus voor den zeevarende eene wijzerplaat, en de Maan is de wijzer, die voor alle punten der Aarde met juistheid het uur aangeeft.

§ Berekening der Maansverduistering van 4 Nov. 1873. — Elementen-richting der Maanbaan. — Midden, begin en einde der verduistering-streken der Aarde. — Waar zichtbaar. — Tafel ter beproeving van historische verduisteringen.

De berekening eener maansverduistering is betrekkelijk eenvoudig, wanneer men de daartoe noodige elementen aan de vooruitberekende maantafels ontleent; de beginselen der gewone driehoeksmeting en de hulp eener sinustafel zijn daarvoor voldoende. Voor hen, die genoeg hebben in dergelijke berekening, kiezen wij tot voorbeeld de totale maansverduistering, welke den 4^{den} Nov. 1873 zal plaats hebben, en die hoewel voor ons niet in haar geheele beloop zichtbaar, toch gedeeltelijk is waar te nemen. Wij nemen de berekening volgens onze breedte.

ELEMENTEN DER MAANSVERDUISTERING:

Volle Maan.	4 Nov.	4 ^u	6 ^m	8,2 ^{sec} .
Lengte der Maan.		42°	29'	14",3
Urbeweging der Maan in lengte.			36'	12"
Urbeweging der Zon in lengte.			2'	30",4
Breedte der Maan.		—	13'	32",5
Urbeweging der Maan in breedte.			3'	20",8
Parallaxe der Maan.			57'	20"
Parallaxe der Zon				8",8
Halve middell. der Maan.			15'	38",9
Halve middellijn der Zon			15'	48",9

Om de grootte van den schaduwkegel te vinden op het punt waar de Maan dien kegel snijdt, telt men de parallaxe van Zon en Maan bij elkander en trekt er de halve middellijn der Zon af, dus $57' 20'' + 8",8 - 15' 48",9 = 41' 39",9$, dit is de halve middellijn van den schaduwkegel der Aarde op het punt, waar de Maan dien kegel snijdt¹.

¹ Omdat de dampkring der Aarde den schaduwkegel iets vergroot, nemen som-

CA is dus $= 41' 39'',9$, ARBG is de omtrek van dien kegel en BA is de ecliptica.

Wanneer men nu op de door C loodrecht getrokken lijn de breedte van de Maan teekent ten tijde van volle Maan, dan toont N ons het punt, waar zij zich bevindt op het oogenblik van volle Maan, en dan is CN gelijk aan $13' 32'',5$. Omdat de breedte der Maan ten tijde van volle Maan nog ten zuiden van de ecliptica is, neemt men N onder de lijn BA; was de breedte der Maan noordelijk dan zou

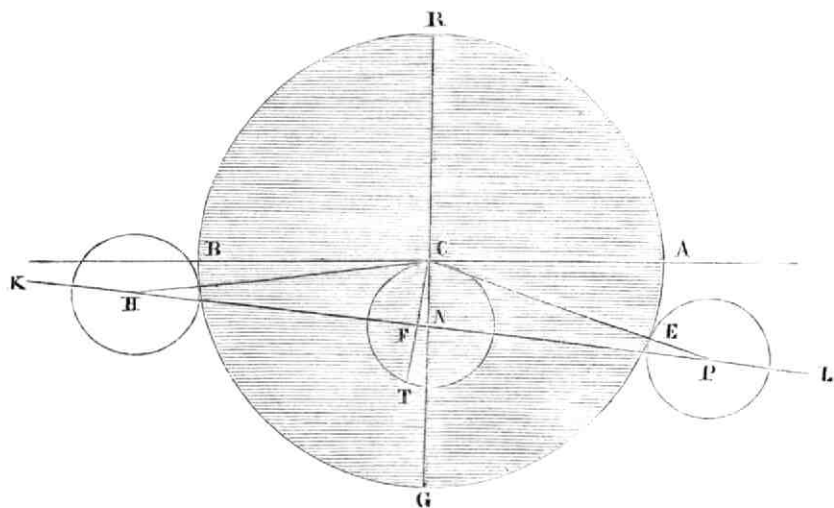


Fig. 29. Loop der Maan in den schaduwkegel der Aarde.

men het punt N op de lijn RC moeten stellen. Om dat punt te plaatsen verdeelt men de straal in 41 deelen en plaatst N op het 13^{de} deel.

Om nu den loop van de Maan KL te teekenen gaat men op de volgende wijze te werk. Men trekke de uurbeweging der Zon in lengte ($2' 30'',4$) van de zelfde uurbeweging der Maan ($36' 12''$) en deele dan door dit overschot ($33' 41'',5$) de uurbeweging der Maan in breedte, ($3' 20'',8$) dan verkrijgt men $0,09933$, dit nu is de tangens van een hoek groot $5^{\circ} 40'$, en dit is de betrekkelijke hoek ¹, welke

mige sterrenkundigen er evenveel seconden bij als de halve middellijn minuten telt. Lalande wil, dat men er steeds $1' 40''$ bijvoege, zoodat in ons voorbeeld de halve middellijn zijn zoude $43' 19''$.

¹ De hier opgegeven hoek is grooter dan de eigenlijke hoek, welke de maanbaan met de ecliptica maakt, de reden daarvan is, dat de hoek in plaats van zich uit te strekken op de geheele beweging der Maan, alleen betrekking heeft op het verschil van de bewegingen van Zon en Maan.

de maanbaan met de ecliptica maakt; omdat de beweging der Maan naar het noorden is, wordt nu onder een hoek van $5^{\circ} 40'$ de baan KL gelegd, die aan de linkerhand de ecliptica moet snijden.

Wanneer men nu uit C eene loodlijn op de baan der Maan KL trekt, dan is het punt F het dichtst bij het centrum van den schaduwkegel, en als de Maan op dat punt is, heeft zij het midden der verduistering bereikt.

Om nu de lengte te meten van FN ga men dus te werk, gemakkelijk vindt men dat de hoek NCF gelijk is aan den hellingshoek der maanbaan $5^{\circ} 40'$, en dan leert eene eenvoudige berekening ons de waarde kennen van NF en CF.

$$NF = NC \times \sin 5^{\circ} 40' = 13' 32'',5 \times 0,09874 = 80'',2.$$

$$CF = NC \times \cos 5^{\circ} 40' = 13' 32'',5 \times 0,99569 = 808'',9.$$

Om nu de uurbeweging der Maan met betrekking tot het middelpunt van den schaduwkegel te berekenen, deele men de uurbeweging der Maan nadat men er als boven de uurbeweging der Zon heeft afgetrokken $36' 12'' - 2' 30'',4 = 33' 41'',5$ door den cosinus van de helling der maanbaan dus met 0,99569 en dan verkrijgt men $33' 50'',2$, dit nu legt de Maan in een uur af, en dus in ééne seconde $0,56''$.

Wanneer nu de lengte van NF, zooals wij hierboven zagen, gelijk is aan $80'',2$, dan heeft de Maan noodig om van N naar F te loopen 2 min. 23 seconden. Wij kennen het oogenblik, waarop de Maan in N staat, dus $2^m 23_{sec}$. later om $4^m 8^m 31^s,2$ heeft de verduistering het midden bereikt.

Hoe laat valt nu het begin der verduistering?

Wanneer het middelpunt der Maan in P staat, raakt haren omtrek den schaduwkegel in E, en op dat oogenblik begint de verduistering. Om dus te weten hoe laat de Maan in P staat, moet berekend worden hoe lang PF is om daaruit den tijd te kennen, welken zij noodig heeft om dat gedeelte te doorloopen. CF is bekend = $808'',9$, evenzoo is CP bekend gelijk aan de halve middellijn van den schaduwkegel en de halve middellijn der Maan, dus $41' 39'',9 + 15' 38'',9 = 57' 18'',8$. Hieruit nu berekent met den hoek FCP, want als men CF door CP deelt, vindt men den cos. van dien hoek namelijk 0,23523, dit nu is de cos. van een hoek van $76^{\circ} 36'$. Wanneer men nu met den sinus van dien hoek de lengte van CP vermenigvuldigt vindt men de gezochte lengte van PF = $3345''$. Daar nu de Maan, zooals wij hier boven zagen, iedere seconde $0,56''$

doorloopt heeft zij noodig om van P tot F. te loopen 1 uur 39 min. 33 sec.

In P dus staat de Maan zooveel vroeger dan in F, en dus om 2 uur 28 min. 58 sec.; op dat tijdstip begint alzoo de verduistering. Denzelfden tijd, welken de Maan gebruikt om van P naar F te loopen, heeft zij ook noodig om zich van F naar H te bewegen, waar het einde der verduistering plaats vindt, en dus om 5 ure 48 min. 4 seconden.

Omdat de Maan den 4^{den} Nov. om 4ⁿ 45^m eerst boven onzen horizon rijst en dus opgaat, kunnen wij noch het begin, noch het midden waarnemen, zij rijst echter nog geheel verduisterd boven de kim.

Om de gedeelten der Aarde te bepalen, waar de verduistering zichtbaar is, gebruikt men eene aardglobe en gaat praktisch aldus te werk.

Wij hebben in ons voorbeeld van 4 Nov. 1873 het begin der verduistering voor onze breedte berekend op 2 u. 28 m. 58 sec. het midden 4 u. 8 m. 31 sec. en het einde 5 u. 48 m. 4sec. Omdat de Maan ten tijde van het midden harer verduistering op 15° 25' noordel. declinatie staat, stelt men de pool der globe 15° 25' boven den rand, welke den horizon verbeeldt, en nu brengt men Leiden in den ondersten meridiaan, dan stelt de bovenhelft der globe de nachtzijde en de onderhelft de dagzijde der Aarde voor.

Nu zet men den wijzer op 28 u. 2 m., het begin der verduistering, en draait de globe links, dat is volgens de wenteling der Aarde naar het oosten, en wel zoo ver totdat de wijzer op 12 ure staat, dan zal men bevinden, dat Leiden zich nog onder den rand van den horizon bevindt, en dat dus de maansverduistering bij haar begin daar niet zichtbaar is, want de Maan staat in het zenith van graad 157 ¹⁾ het begin is dus zichtbaar van af graad 67 tot graad 247 en dus niet in Europa maar in Azië. De westkant van Azië ziet de Maan opgaan, terwijl de oostkant haar ziet ondergaan; op het oogenblik, dat de verduistering begint staat de Maan in den Oostindischen Archipel in het zenith.

Om te weten waar het midden der verduistering zichtbaar is, gaat men op dezelfde wijze te werk, en stelt den wijzer, wanneer Leiden zich in den ondersten meridiaan bevindt, op 4 u. 8 m. 31 sec. en wentelt opnieuw de globe totdat de wijzer het uur van 12 heeft bereikt, en dan bevindt men dat Leiden zich nog onder den horizon bevindt,

¹ Wij vooronderstellen, dat men eene globe gebruikt ingedeeld volgens den meridiaan van Greenwich.

en dat dus het midden der verduistering voor ons nog niet zichtbaar is, maar in oostelijk Pruisen, Rusland en in bijna geheel Azië.

Het einde is echter voor ons waar te nemen, want als men de globe stelt als boven en den wijzer op 5 u. 48 min. plaatst, zien wij dat het laatste aanrakingspunt H. (zie vorige fig.), nog in Ierland en op de grenzen van Portugal is waar te nemen.

De zons- en maansverduisteringen speelden in de hooge oudheid eene gewichtige rol, daar men groote gebeurtenissen met die verschijningen in de natuur in betrekking bracht, zoodat wij daardoor het middel hebben om de chronologische rekening vast te stellen, van die gebeurtenissen, welke met zon- of maan-eclipsen te zamen vielen, want de tegenwoordige tafels der zon- en maanbeweging zijn zoo naauwkeurig, dat zij ons veroorloven met groote zekerheid eene teruggaande berekening te maken, en daardoor den onbepaald aangegeven datum eener gebeurtenis door den tijd van de eclips te kunnen vaststellen.

Hieronder geven wij eene tafel, waardoor het volgens Nürnberger mogelijk is de historische opgaven eener maans- of zonsverduistering te toetsen.

TAFEL DER VERDUISTERINGEN.

Jaar na Chr.	N.	Jaar na Chr.	N.	Jaar na Chr.	N.	Jaar na Chr.	N.	Dagen.	N.	Maanden.	N.
1800	187	1813	884	1826	582	1839	281	1	0	Januari	0
1801	239	1814	938	1827	635	1840	333	2	3	Febr.	90
1802	293	1815	990	1828	689	1841	389	3	6	Maart	173
1803	346	1816	43	1829	745	1842	442	4	9	April	262
1804	399	1817	100	1830	797	1843	496	5	12	Mei	349
1805	454	1818	153	1831	850	1844	549	6	15	Juni	439
1806	508	1819	205	1832	904	1845	604	7	17	Juli	526
1807	561	1820	259	1833	960	1846	658	8	20	Aug.	614
1808	613	1821	315	1834	12	1847	711	9	23	Sept.	704
1809	669	1822	368	1835	66	1848	764	10	26	Oct.	790
1810	723	1823	420	1836	119	1849	819	11	29	Nov.	880
1811	775	1824	474	1837	174	1850	873	12	32	Dec.	966
1812	828	1825	530	1838	227	1851	926	13	35		

TAFEL DER VERDUISTERINGEN.

Jaar na Chr.	N.	Jaar na Chr.	N.	Jaar na Chr.	N.	Dagen.	N.	Eeuwen.	N.
1852	978	1872	54	1892	128	14	38	100	628
1853	34	1873	110	1893	185	15	40	200	257
1854	88	1874	162	1894	238	16	43	300	909
1855	141	1875	216	1895	291	17	46	400	534
1856	194	1876	269	1896	344	18	49	500	159
1857	250	1877	325	1897	400	19	52	600	785
1858	303	1878	379	1898	453	20	55	700	410
1859	356	1879	431	1899	505	21	58	800	35
1860	409	1880	484	1900	559	22	61	900	660
1861	465	1881	539			23	63	1000	285
1862	518	1882	593			24	66	1100	911
1863	571	1883	645			25	69	1200	535
1864	624	1884	698			26	72	1300	160
1865	680	1885	754			27	75	1400	785
1866	732	1886	808			28	78	1500	410
1867	786	1887	861			29	81	1600	36
1868	839	1888	914			30	83	1700	661
1869	895	1889	969			31	86	1800	287
1870	947	1890	23					1900	912
1871	1	1891	75					2000	538

De samenstelling en het gebruik van deze tafel is zeer eenvoudig. N beteekent den afstand van de Zon tot een van de knoopen der Maan, uitgedrukt in duizendste gedeelten van de gansche ecliptica. Wanneer men 360° in 1000 gelijke deelen deelt, staat bijv. de Zon op den 1^{en} Jan. 1873 110 zulke deelen van den naasten knoop verwijderd. In de kolommen voor de dagen, maanden en eeuwen beteekent N de veranderingen, welke in dat tijdsverloop in den afstand der knooppunten hebben plaats gehad.

Wanneer men nu voor een bepaald tijdstip de opgaven onder N van de dagen, maanden en eeuwen bij elkander telt, en de duizendtallen wegneemt, dan trekt men het overschot van 500 af, of zoo dit grooter is, neemt men 500 daarvan af, en zoo er dan een getal overblijft

a. voor zonsverduisteringen

tusschen 0 en 38 dan is de verduistering zeker.

tusschen 39 en 53 dan is de verduistering twijfelachtig.
 „ 54 „ 500 „ „ „ „ onmogelijk.

b. voor maansverduisteringen

tusschen 0 en 25 dan is de verduistering zeker.
 „ 26 „ 35 „ „ „ „ twijfelachtig.
 „ 36 „ 500 „ „ „ „ onmogelijk.

Een paar voorbeelden zal het gebruik dezer tafel duidelijk maken.

De kerkelijke geschiedenis verhaalt ons, dat in het jaar 304 op den 31^{en} Aug. de H. Sulpicius te Rome om zijn geloof gemarteld werd, en dat op dat oogenblik de Maan verduisterde; nu leert ons de bovenstaande tafel het volgende:

De knoopafstand voor 1804.	399
veranderingen in 1500.	410
Augustus	614
31 dagen	86
som der N. na vermindering met 1000	509
daarvan afgetrokken	500
	9

zoodat de verduistering op dien dag zeker plaats had.

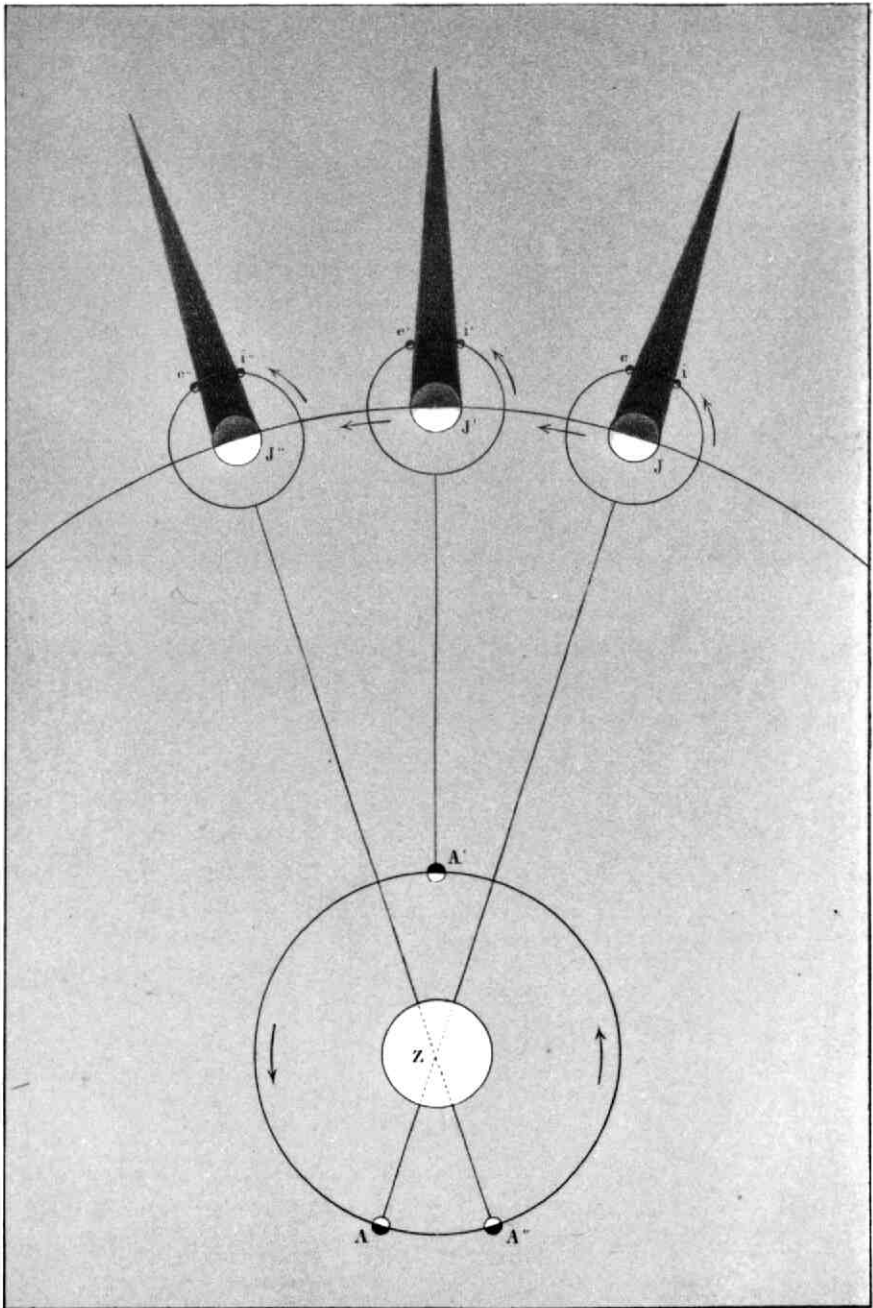
Men heeft vooruit berekend, dat (zie § 2) in 1890 den 17^{en} Juni eene ringvormige zonsverduistering zal plaats hebben, wat leert ons hiervan de tafel.

De knoopafstand voor 1890.	23
„ „ „ Juni.	439
„ „ „ 17 dagen	46
	508
hiervan afgetrokken	500
	blijft 8

Zoodat de verduistering zeker is.

§ 5. Verduisteringen der wachters van Jupiter. — Immersie en emersie. — Verberging achter de Jupiterschijf. — Snelheid van het licht. — Berekening van de hoogte der Maanbergen. —

Jupiter, de grootste planeet van ons stelsel, wordt op zijne baan rondom de Zon vergezeld door een viertal manen of wachters, die in bepaalde perioden hun loop om die planeet volbrengen, zooals onze Maan om



Snelheid des lichts berekend uit de eclipsen der Jupiter-wachters

de Aarde; bladz. 210 en volg. hebben wij dat stelsel van wachters in zijne bijzonderheden beschouwd.

Omdat het vlak, waarop die wachters hunnen omloop volbrengen, zooals wij vroeger zagen, bijna evenwijdig ligt met de loopbaan van Jupiter, volgt daaruit, dat zij bijna telkens door den schaduwkegel van Jupiter heengaan, wanneer zij zich in oppositie met de Zon bevinden. Zoolang de wachter in die schaduw blijft, ontvangt hij geen licht van de Zon en ondergaat dus eene verduistering.

Die verduisteringen vooral van de drie wachters, welke zich het dichtst bij de planeet bevinden, zijn zeer menigvuldig, en met een goeden kijker is het gemakkelijk van de Aarde het intreden of uittreden van den schaduwkegel door zulk een wachter waar te nemen. Het oogenblik, waarop zulk een wachter den schaduwkegel ingaat, zoodat zijn licht verdwijnt, noemt men het oogenblik der immersie of indompeling, terwijl men het oogenblik, waarop hij de schaduw verlaat en opnieuw door de zonnestralen getroffen wordt, emersie of uitdompeling noemt.

De intrede en uittrede van de twee wachters, die zich het dichtst bij de planeet bevinden, bij dezelfde verduistering, zijn op Aarde niet waar te nemen, omdat zij op het oogenblik der immersie of der emersie door het lichaam van de planeet verborgen zijn.

Evenmin kan men er iets van waarnemen op het tijdstip, dat de planeet met de Zon in conjunctie of in oppositie is, omdat de schaduwkegel van de planeet zich met betrekking tot onze Aarde juist achter deze planeet en dus voor ons oog verborgen is. Een blik op Pl. LX. zal ons dit gemakkelijk doen begrijpen; daardoor zal men zien, waarom van de conjunctie tot aan de daaropvolgende oppositie enkel de immersie en niet de emersie zichtbaar is, terwijl van dit tijdstip tot aan de conjunctie alleen de emersie en niet de immersie is waar te nemen. Wanneer de Aarde in A is en Jupiter zich in J bevindt, dan is de planeet in conjunctie met de Zon; nu gaan beiden in dezelfde richting voort op hunne baan. Jupiter beschrijft echter een boog van mindere grootte dan de Aarde, deze bevindt zich dan aan de rechterzijde van den schaduwkegel van Jupiter, en ziet dus de immersieën der wachters in I. Dezelfde verschijnselen hebben plaats, wanneer de Aarde in A' is en de planeet in J', dan is Jupiter in oppositie, door de beweging der Aarde op hare baan, komt zij aan de linkerzijde van den schaduwkegel en ziet dus de emersieën in E, ter-

wijl het oogenblik van immersie niet is waar te nemen, omdat dat punt I achter de schijf van Jupiter verborgen is.

Wat de twee meer verwijderde wachters betreft, om de hoezeer geringe toch meerdere helling op de ecliptica der planeet en om hun grooteren afstand van deze, kunnen wij op Aarde de intrede en uitrede beiden van denzelfden wachter waarnemen.

Omdat de verduistering dier wachters eene werkelijke lichtberoving is, moeten zij zich overal op Aarde, waar zij zichtbaar zijn, op dezelfde wijze en op hetzelfde oogenblik aldus vertoonen, en daarom zijn de vooruitberekende eclipsen dier wachters van groot nut voor de scheepvaart om daaruit de plaats te bepalen, waar men zich bevindt, zooals wij vroeger op bladz. 214 door een voorbeeld reeds hebben aangetoond.

De waarneming van de verduisteringen der Jupitermanen heeft nog een tweede groot nut aangebracht, namelijk de bepaling van de snelheid des lichts. Aan Olof Römer, een Deensch sterrenkundige in 1675, komt de eer van die ontdekking toe.

Met zeer groote juistheid had men den omloop der Jupiterwachters berekend, en dus ook hunne in- en uitrede van den schaduwkegel. Maar nu merkte men op, dat de waarneming van dat oogenblik later viel, wanneer de Aarde en Jupiter door hunne baanbeweging zich van elkander verwijderden, en daarentegen viel dat oogenblik van waarneming vroeger, naarmate Aarde en Jupiter elkander naderden.

Wanneer de Aarde (zie Pl. LX) in A staat, wordt de in- of uitrede van een wachter $16^m. 26^{sec}$. later waargenomen dan wanneer zij in A' staat; geene andere oorzaak is daarvoor te vinden dan dat de lichtstraal, die van den wachter uitgaat, $16^m. 26^{sec}$ noodig heeft om van A' tot A te geraken. Welnu wij weten, dat de middel-lijn van de baan, welke de Aarde om de Zon maakt, 41 millioen mijlen lang is; het licht doorloopt dus dien afstand in 960 min., dat is iedere seconde bijna 42,000 geogr. mijlen.

De eerste bevestiging van die ontdekking geschiedde door de ontdekking der aberratie of afdwaling des lichts door Bradley, want de snelheid van het licht, gecombineerd met de snelheid der Aarde op hare baan, brengt bij de vaste sterren eene schijnbare plaatsverandering te weeg, waarover wij op het einde van dit boek meer in bijzonderheden zullen treden.

Het vernuftige middel door Arago uitgedacht en door Fizeau ge-

bezigd om op korte afstanden op Aarde de snelheid van het licht te meten, bevestigde de ontdekking van Römer, zoodat men thans de snelheid van het licht heeft bepaald op 40,320 mijlen in eene seconde.

De lichtstraal is, hoe wonderlijk zulks ook moge schijnen, het middel geworden om de hoogte te kunnen berekenen van de bergen, welke wij op de Maan zien. Eene korte uiteenzetting zal dit duidelijk maken.

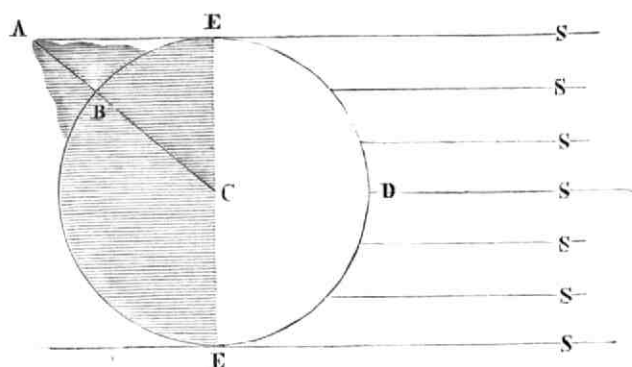


Fig. 30. Hoogte-berekening der Maanbergen.

BEDE verbeeldt de Maan ten halve door het zonlicht bestraald, dat langs de lijnen SSS op de Maan valt. In A ziet men den top van een berg, die reeds door het zonlicht SEEA bestraald wordt, terwijl zijn voet en overige deelen zich nog in de schaduw bevinden en in nacht gehuld zijn; daarom vertoont het punt A zich voor ons geheel afgescheiden van de Maan.

Nu kan men zeer nauwkeurig den afstand meten van A tot de lichtgrens E en tevens de middellijn der Maan ECE. Men heeft dan slechts door de gewone meetkunde de lengte van AC te berekenen, omdat EC bekend is, en als men dan van de lengte AC de straal der Maan BC aftrekt, vindt men de hoogte van den berg, bijv. EA vindt men $= \frac{1}{13}$ van EC, dus in ronde getallen gelijk aan 23 mijlen, en nu leert ons de gewone meetkunde, dat zoo men den wortel trekt uit de som van de quadraten der beide rechthoekszijden, men dan de lengte van de lijn AC vindt, hypothenuse genaamd. In dit getal is $AE = 23$ mijlen en in kwadraat $= 529$. $EC = 298$ mijlen en in kwadraat 88804 . Als men den wortel trekt uit $88804 + 529$ vindt men 299, hiervan nu afgetrokken den straal

der Maan, 298 mijlen, verkrijgt men voor de hoogte van den bedoelden maanberg 1 mijl.

Beer, Mädler en anderen gebruiken eene andere methode om de hoogte der maanbergen te berekenen. Zij meten de lengte der schaduw, welke een berg achter zich werpt, en berekenen dan uit de hoogte der Zon boven het punt van de maanoppervlakte de verhouding der schaduwlengte met de ware hoogte van den berg.

II.

BEREKENING DER HEMELAFSTANDEN.

§ 1. Algemeen begrip om den afstand te berekenen van een onbereikbaar voorwerp op Aarde. — Toepassing op den afstand der Maan. — Wijze om de zonneparallaxe te vinden. — De overgangen van Venus. — Methode van Dubois.

Het is zeker belangwekkend te weten hoe groot de ruimte is, die ons van Zon, Maan en Sterren afscheidt; belangwekkender is het echter te begrijpen, hoe men er toe gekomen is dien afstand te meten, want die verbazende getallen, waarmede de sterrenkundige dien afstand bepaalt, verwekken gewoonlijk bij menschen, die geen begrip hebben van de meetkunde, een glimlach van ongeloof of twijfel.

Wij zullen in dit hoofdstuk trachten de zoodanigen te overtuigen, dat het alleszins mogelijk is den afstand te meten van een voorwerp, dat men niet bereiken kan.

Wij gaan daarin van het bekende tot het onbekende, van het meer eenvoudige tot het meer samengestelde, en toonen daarom eerst, hoe men op de oppervlakte der Aarde te werk gaat om den afstand van een ver verwijderd voorwerp, dat men niet bereiken kan, te meten. In beginsel volgt men bij de afstandmeting van een voorwerp buiten onze Aarde dezelfde wijze, hoewel de toepassing moeilijker is.

Verbeelden wij ons te bevinden op eene vlakte; aan den horizon zien wij een toren A; waarvan wij bijv. door eene rivier gescheiden zijn; om nu dien afstand te meten handele men aldus: men plaatse in C een stok of paal en op eenigen afstand in B een tweede stok, tot gemak van de hoekmeting echter niet te dicht bij elkander. CB is dus eene rechte lijn, welke men nauwkeurig meten kan; vooronderstel-

len wij de lengte op 428,60 meters. Nu plaatst men beurtelings op C en op B een hoekmeter, waarmede wij van C op B en op A zien, dan

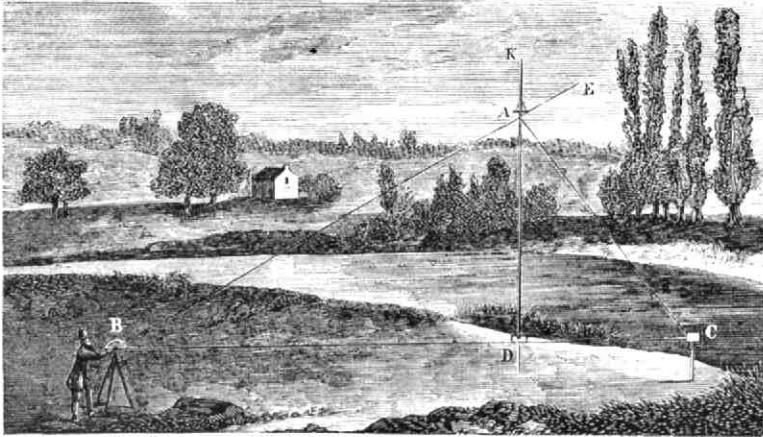


Fig. 31. Afstandsmeting van een onbereikbaar punt op Aarde.

wijst dat werktuig nauwkeurig den hoek aan, welken de lijnen BC en AC met elkander maken, hetzelfde geschiedt op B om den hoek te kennen, welken de lijn AB met BC maakt.

Meer hebben wij niet noodig, wij kennen nu de basis BC van den driehoek ABC en de grootte der twee hoeken B en C, en de meetkunde leert ons, dat zulks voldoende is om den ganschen driehoek te kennen; want in de vooronderstelling dat hoek C = 80 graden en hoek B = 60 graden is, is hoek A 40 graden, omdat de drie hoeken van een driehoek gelijk zijn aan 2 rechte hoeken = 180 graden.

Wanneer men nu dien driehoek gelijkvormig in kleine verhouding op papier overbrengt met BC als basis, en volgens de gevondene hoeken de lijnen AC en BA, dan meet men maar met passer en maatstok hoeveelmaal de lengte van CB, die 428,60 meters is, op de lengte AB is vervat, en dan vinden wij den afstand van den toren.

Deze bewerking geeft ons een begrip van de wijze van meting; gemakkelijk begrijpen wij echter, dat zulk eene wijze op geene groote nauwkeurigheid aanspraak kan maken; daarom volgen de meetkundigen volgens hetzelfde beginsel eene andere wijze, en in plaats van de lengte AB te meten, berekenen zij dezelve. Zij plaatsen in C of D den stok tot begin hunner basis, en plaatsen den tweeden in B maar zoodanig, dat de lijnen AD en DB een rechten hoek vormen, en wanneer zij dan de lengte DB en hoek B gemeten hebben, is hun

werk volbracht, want zij weten, dat in een rechthoekigen driehoek BAD , AB gelijk is aan den sinus van hoek A , gedeeld in de lengte van BD . Wanneer wij nu weten, dat de lengte van BD bijv. 400 meters bedraagt, en de hoek A 15 graden, dan slaat men eenvoudig de sinustafel op, en vindt dan voor hoek 15° de sinus $= 0,25882$, dit getal nu deele men in de 400 meters van BD en de uitkomst geeft den afstand van A B . Wil men den afstand kennen van A D , dan neemt men de tangens van hoek A uit de tafel, en wanneer men daardoor de lengte BD deelt, geeft de uitkomst de lengte van A D .

Wanneer de meetkundige uit B naar A ziet, zal hij in dezelfde richting achter den toren een of ander voorwerp opmerken, dat met de lijn BA in ééne richting valt, bijv. in E ; wanneer hij nu uit D naar A ziet, dan zal hij evenzoo eenig voorwerp achter den toren waarnemen, bijv. in K . Nu is de hoek, welken die beide voorwerpen met A maken, even groot als de hoek BAD , en in de sterrenkunde noemt men dien hoek de parallaxe, omdat, zooals wij vroeger bladz. 19 reeds aantoonde, een hemellichaam van twee verschillende punten waargenomen, zijn stand aan den hemel schijnbaar verandert; het verschil van stand bij dat voorwerp bepaalt dus de parallaxe, die gelijk staat met den hoek BAD , welke men noodig heeft om de lengte van de zijden van dien driehoek te berekenen.

Het komt er dus vooral op aan de parallaxe van de hemellichamen te kennen, want uit de parallaxe en de standlijn BD , berekent men het overige; daaruit nu begrijpt men reeds, dat men de standlijn zoo groot mogelijk moet nemen, omdat anders de parallaxe te klein wordt om gemeten te kunnen worden. Voor de Maan en de dichtstbijzijnde planeten gebruikt men de halve middellijn der Aarde als standlijn of basis, maar voor de Zon en de vaste sterren is die standlijn te kort, zoodat de parallaxe niet gemeten kan worden. Wij zullen hierna het middel zien, dat men gebruikt om eene grootere standlijn te bezigen.

Omdat de verschillende punten op de oppervlakte der Aarde ook een verschillenden afstand hebben van de hemellichamen en vooral van de naastbij gelegenen, berekent men gewoonlijk den afstand van middelpunt tot middelpunt.

Gaan wij nu na, hoe men die wijze van meting op Maan, Zon en sterren toepast.

A stelt ons de Aarde voor, en m de Maan, C is het middelpunt

der Aarde, en CK hare halve middellijn. Nu komen twee waarnemers overeen, om op hetzelfde oogenblik de Maan op twee verschillende

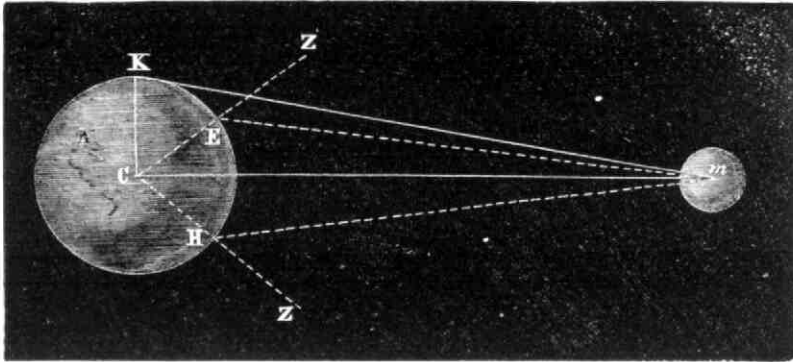


Fig. 32. Afstandsmeting van de Maan tot de Aarde.

plaatsen der Aarde waar te nemen; tot gemak geschiedt zulks op twee plaatsen in denzelfden meridiaan gelegen, bijv. Dantzig en Zuid-Afrika; dan ziet de waarnemer in K de Maan aan den horizon, en hij meet de hoek CKm . De waarnemer in D ziet de Maan in het zenith, en dus ook iemand, die haar uit het middelpunt der Aarde zou beschouwen, dan verkrijgen wij voor de afstandsberekening de rechte driehoek CKm , waarvan de basis KC , en de twee hoeken C en K bekend zijn; hoek KmC is dus de parallaxe der Maan, $CK = 859,5$ mijlen; de hoek, welke de Maan met de middellijn in K maakt, is $89^\circ 2'$ groot, zoodat de parallaxe der Maan of de hoek $KmC = 58'$ is. Zooals wij boven gezien hebben, moet men nu om de lengte van Km te kennen, den sinus zoeken van $58'$, en daardoor de halve middellijn der Aarde deelen; de sinus nu van $58' = 0,01677$ gedeeld in de halve middellijn, geeft voor den afstand der Maan 51252 mijlen.

De berekening van de plaats waar en wanneer de Maan in het zenith van D staat is niet moeielijk; omdat echter de Maan door de straalbreking reeds boven den horizon schijnt, terwijl zij in waarheid zich nog onder den horizon bevindt, is de meting van den hoek aan den horizon en dus de bepaling van de parallaxe niet nauwkeurig, men neemt daarom een ander middel te baat om de parallaxe der Maan te zoeken.

Twee waarnemers plaatsen zich in E en H onder denzelfden meridiaan evenver van den aequator, en nemen het oogenblik waar, dat de Maan door den meridiaan gaat of culmineert, en omdat zij

zich in denzelfden meridiaan bevinden, geschiedt dit voor beiden op hetzelfde oogenblik; op dat oogenblik meten beiden den zenith-afstand der Maan, dus de hoeken ZEm en mHZ , daardoor kent men de grootte van de beide binnenhoeken CEm en mHC , omdat zij met den zenith-afstand gelijk zijn aan 2 rechte hoeken. De hoek ECH is ook bekend, omdat men den afstand kent, waarop de beide waarnemers van den aequator zijn verwijderd; de som dier breedtegraden geeft de grootte van hoek ECH aan. Wanneer wij nu aannemen, dat E en H ieder $44^\circ 2'$ van den aequator zijn verwijderd, dan is de boog EDH en dus ook de hoek $ECH = 88^\circ 2'$.

Wanneer wij nu eens vooronderstellen, dat de zenith-afstand der Maan en dus de hoek ZEm 45° bedraagt, dan bedraagt de binnenhoek CEm 135° , zoodat wij daardoor al de elementen hebben om de parallaxe der Maan of de hoek EmH te berekenen, want wij weten, dat de som der 4 hoeken eener vierhoek gelijk is aan 4 rechte hoeken of 360 graden, en dan hebben wij hoek $ECH = 88^\circ 4'$, hoek $CEm = 135$, hoek $CHM = 135$, dus te zamen $358^\circ 4'$, de overschietende hoek $EmH = 360^\circ - 358^\circ 4' = 1^\circ 56'$, dit nu is de dubbele horizontaal parallaxe, zoodat de parallaxe der Maan = $58'$.

Er zijn nog andere middelen om de parallaxe der Maan te vinden, welke wij hier slechts noemen, namelijk de bedekking eener ster door de maans- en de zonsverduisteringen, het is voor ons doel genoegzaam, wanneer men begrijpt dat de bepaling van den afstand der Maan eene zuivere berekening is.

Op dezelfde wijze als men de parallaxe der Maan zoekt, zou men ook de parallaxe der Zon kunnen vinden en daaruit haren afstand berekenen, maar de te meten hoek is te klein, omdat de halve middellijn der Aarde bijna als een punt te samenkrimpt met betrekking tot den zonneafstand, dan dat die met zekerheid nauwkeurig kan gemeten worden, en eene fout van slechts ééne seconde in de meting maakt een verschil in afstand van twee millioen geogr. mijlen. Men is daarom genoodzaakt geworden een anderen weg in te slaan en eene grootere basis te zoeken.

Aristarchus stelde reeds voor den afstand der Maan van de Aarde tot basis te gebruiken, en de parallaxe der Zon te zoeken op het oogenblik, dat de Maan in eene van hare quadraturen stond, dan verkreeg men een rechthoekigen driehoek, waarvan de basis en ééne

hoek bekend was en de tweede kon gemeten worden; vooronderstel dat (zie Fig. 32) de Zon in m staat, de Aarde in K en de Maan in C , dan had men slechts hoek CKm te meten, want KC was bekend, de afstand der Maan van de Aarde; en hoek KCm was een rechte hoek, immers de Maan was in hare quadratuur (bladz. 150), wanneer men dus hoek CKm van 90 graden aftrok, vond men de parallaxe der Zon. Maar ook die wijze had vele zwaarigheden in; vooreerst verschilt de afstand van de Maan elken dag en eene kleine onnauwkeurigheid in de berekening van dien afstand levert een groot verschil op in den afstand der Zon; dan was het moeielijk het juiste oogenblik waar te nemen, waarop de Maan in quadratuur staat, een gering verschil levert een groot verschil op bij de berekening van de zonneafstand.

De afstand, berekend uit de parallaxe van Mars en Venus, paste men volgens de derde Keplersche wet wel toe op de Zon, maar ook die wijze leverde geene genoegzame zekerheid en nauwkeurigheid.

Eene andere wijze is de overgang van Venus over de zonneshijf, waarover wij bladz. 104 reeds gesproken hebben; omdat zulke overgangen zeldzaam zijn en van groot gewicht voor de wetenschap, zullen wij over dat verschijnsel, dat den 9^{den} Dec. 1874 moet plaats hebben, in eenige bijzonderheden en nadere verklaringen treden.

Twee waarnemers plaatsen zich op twee zoo ver mogelijk van elkander verwijderde punten op Aarde om het verschijnsel waar te nemen. Wij vooronderstellen in A en in B Fig. 33, gescheiden dus door de lengte van de middellijn der Aarde, en wel daar waar die middellijn een rechten hoek maakt met de loopbaan der Aarde, dus $23\frac{1}{2}$ graad van de polen, dan zal de waarnemer in A Venus de zonneshijf zien voorbijgaan in v' , en de waarnemer in B zal haar zien in v'' . Dan is de afstand tusschen v' en v'' de parallaxe van Venus, want $v'v'' = AvB$. Wij zullen vooronderstellen, dat die hoek in een rond getal $40''$ groot is.

Omdat AB evenwijdig ligt met $v'v''$, weten wij dat $v'v$ staat tot vA in dezelfde verhouding als $v'v''$ tot AB , met andere woorden, de afstand van de Zon tot Venus staat tot den afstand van Venus tot de Aarde als $40''$ tot de middellijn der Aarde. Omdat men nu weet, dat ten tijde van den overgang der planeet de afstand van Venus tot de Zon en van Venus tot de Aarde tot elkander staan

als 68 tot 27, staat dus $v'v''$ ook tot AB als 68 tot 27 of als 5 tot 2; de boog, waarmede men dus $v'v''$ op de Zon zou meten, is

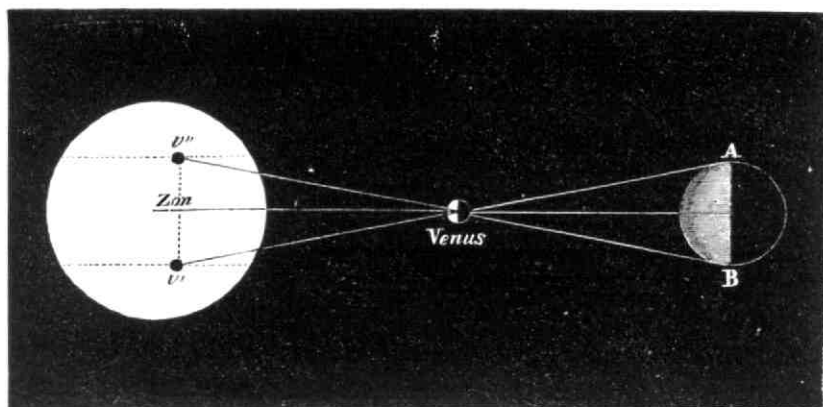


Fig. 33. Afstandsmeting der Aarde van de Zon door den overgang der planeet Venus.

daarom $\frac{2}{5}$ maal zoo groot als de boog, waarmede men uit de Zon de middellijn der Aarde zou meten.

De zonneparallaxe is dus $40'' \times \frac{2}{5} = 16''$, dit echter is de dubbele parallaxe, zoodat de gewone zonneparallaxe is $8''$.

Omdat de afstand van V' tot V'' op de Zonneschijf met een micro-meter niet gemakkelijk nauwkeurig te meten is, meet men gewoonlijk de in- en uitrede van de planeet, en bezigt daartoe de photographie, en daaruit kan men gemakkelijk de afstand van V' V'' berekenen.

Wanneer nu de zonneparallaxe $8''$ is, deelt men door den sinus van zulk een hoek, de halve middellijn der Aarde $\frac{859,5}{0,00004}$ mijlen = 21,487500 Geogr. mijlen, en dit is dan de afstand van de Zon tot de Aarde.

In verschillende landen maken de sterrenkundigen zich reeds gereed om op de best gelegene punten der Aarde het verschijnsel waar te nemen, en over de geschiktste daarbij te gebruiken methoden met elkander overeen te komen.

Het verschijnsel is op onze lengte onzichtbaar, en alleen in zijn ganschen duur waar te nemen in Oost-Azië, Australië, het grootste deel der Indische en de zuidelijke helft der Stille Oceaan.

Een paar jaar geleden maakte Dubois aan de academie des sciences te Parijs eene methode bekend, waardoor men zonder een overgang van Venus af te wachten ten allen tijde door de waarneming van

Venus de zonneparallaxe zou kunnen berekenen. Die methode komt hier op neer. Het eigenlijke punt van onderzoek, waaruit de parallaxe berekend wordt, is het verschil van tijd, dat de planeet gebruikt om van twee verschillende plaatsen waargenomen over de zonneshijf heen te gaan. Nu wil Dubois in het brandpunt van een parallaktisch ingerichten kijker eene schijf plaatsen met eene opening juist zoo groot als de schijnbare zonneshijf, en voorzien van twee loodrecht op elkander staande kruisdraden; nu richt men den kijker met het middelpunt der kruisdraden op eene ster, waarlangs Venus op korten afstand moet voorbijgaan en wacht hare verschijning af, want dan stelt de opening ons de zonneshijf voor, en men kan den overgang meten en bepalen. Wanneer nu een tweede waarnemer op eene andere plaats met een op dezelfde wijze ingerichten kijker ook den overgang der planeet over de opening der schijf waarmeemt, wanneer hij namelijk den kijker met het middelpunt der kruisdraden op dezelfde ster heeft gericht als de eerste waarnemer, dan verkrijgt men daardoor den afstand volgens Fig. 33.

Die waarneming moet geschieden, wanneer Venus in hare grootste afwijking is, dat is het verste van de Zon staat voor ons oog, en omdat zij zich dan in eene schijugestalte vertoont, is het noodig om nauwkeurig te wezen, dat men het eerste oogenblik van inwendige aanraking waarneemt, dat is het oogenblik waarbij de verlichte Venusrand, de binnenzijde der opening aanraakt en het tweede punt de uitwendige aanraking van dien Venusrand.

Die methode zou ook toegepast kunnen worden om de parallaxe van Mars en van de Maan te bepalen.

§ 2. Afstandsmeting der vaste sterren. — Jaarlijksche parallaxe-afstand der vaste sterren. — Waarneming der dubbel-sterren. — Waarneming van de lichtkracht. —

Thans blijft ons nog over om te verklaren, welke middelen men gebezigd heeft om den afstand zoowel der van ons ververwijderde planeten als ook van de vaste sterren buiten ons zonnestelsel gelegen te bepalen, ten minste van eenigen der meest nabijzijnden.

De grondslag van die berekening is altijd eene soort van driehoeksmeting, zooals wij hierboven reeds verklaard hebben, alleen de basis

of standlijn kan niet meer de straal der Aarde of hare middellijn wezen, want door den verbazenden afstand krimpt de gansche middellijn der Aarde tot één punt te zamen, zoodat men dezelfde ster waarnemende van de beide uiteinden der aardse middellijn volstrekt geene schijnbare verplaatsing aan den hemel zou waarnemen, met andere woorden de beide lijnen van het oog dier beide waarnemers tot de ster zouden evenwijdig met elkander loopen. De Aarde is dus te klein om tot basis te dienen om daaruit den afstand der vaste sterren te berekenen, het was daarom noodig, naar eene grootere basis te zoeken en reeds vóór dat de ware afstand van de Aarde en de Zon bepaald was, nam men dien afstand tot basis, tot sterrenkundigen meter, zoodat het vraagstuk nu werd: hoeveelmaal is de afstand van eene vaste ster grooter dan de afstand van de Aarde tot de Zon? Verklaren wij thans op welke wijze men die basis van 20 millioen mijlen gebruikt.



Fig. 34. Schijnbaar hoogteverschil van een voorwerp, naarmate men zich verwijderd of er toe nadert.

Verbeelden wij ons op eene uitgestrekte vlakte te zijn, terwijl wij aan den horizon een toren zien, wiens top zich tot eene bepaalde hoogte boven de oppervlakte verheft; die schijnbare hoogte van den top zal vermeerderen of verminderen, naarmate wij ons meer in de richting van dien toren bewegen of er ons van verwijderen; wij laten de daling of rijzing veroorzaakt door den bolvorm der Aarde buiten rekening.

Wanneer iemand uit B naar den top des torens in S ziet, zal de lijn, die van zijn oog uitgaat, den top des torens in *b* zien, maar

nadert hij den toren tot in A, dan zal die hooger schijnen, en zich in a vertoonen en wel zooveel hooger als de hoek zou bedragen, waaronder een oog in S geplaatst, de lijn BA zou zien, met andere woorden: de hoek asb , of wat hetzelfde is, de hoek BSA is de parallaxe, waaronder wij den top des torens zien.

Passen wij thans dit voorbeeld toe op het zoeken naar de parallaxe der vaste sterren. De vlakke, waarop wij ons bevinden, vertegenwoordigt het vlak der aardsche loopbaan om de Zon; de top van den toren is dan eene ster, wier hoogte boven dat vlak met nauwkeurigheid kan gemeten worden, en welke hoogte men de breedte der ster noemt. Wanneer deze nu gemeten wordt, een half jaar nadat zij de eerste maal werd gemeten, dan staat op dit oogenblik de Aarde in eene rechte lijn 41 millioen mijlen van het standpunt verwijderd, waar de eerste meting plaats vond. In Fig. 34 vertegenwoordigt de afstand AB ons dan de middellijn der aardsche loopbaan om de Zon.

Wie zou nu niet denken, dat na zulk eene verplaatsing van 41 millioen mijlen, er toch eene schijnbare verplaatsing van de ster aan den hemel zou zijn op te merken, en dan was de parallaxe der ster gevonden, welke men dan noemt jaarlijksche parallaxe. De uitkomst bewees echter het tegendeel, want na talrijke en nauwkeurige waarnemingen van verschillende sterren, was het onmogelijk om zelfs eene enkele seconde verschil te ontdekken, zoodat, wanneer men uit die ster op de loopbaan der Aarde kon zien, deze tot één enkel punt in een zou krimpen, zoodat de middellijn niet te meten zou zijn. Om ons een denkbeeld van zulk een afstand te vormen, denken wij dan, dat wij om de lengte van een meter te zien inkrimpen, totdat zij ons toeschijnt onder een hoek van ééne seconde, wij ons 100,000 maal de lengte van een meter er van moeten verwijderen, daarnit volgt, omdat de afstand van 41 millioen mijlen zich nog niet onder een hoek van ééne seconde vertoont, dat die afstand verder moet zijn dan 100,000 maal 41 millioen mijlen.

De jaarlijksche parallaxe van Neptunus, wanneer hij 606 millioen mijlen van onze Aarde is verwijderd, bedraagt $1^{\circ} 54'$. Wanneer nu eene der vaste sterren maar eene parallaxe gaf van slechts $1''$, welke met de tegenwoordige zoo volmaakte werktuigen nauwkeurig gemeten kan worden, dan zou hare afstand reeds meer dan 4 biljoen mijlen bedragen; omdat echter geene der vaste sterren eene parallaxe van $1''$ toont, moet de naaste zeker meer dan 4 biljoen mijlen afstand hebben.

Men meende dus, dat het onmogelijk was rechtstreeks den afstand der vaste sterren te vinden, en sloeg daarom andere wegen in, en verkreeg nu bevredigender uitkomst. De beide middelen, welke men bezigde, waren de waarneming van dubbelsterren, en het meten der lichtsterkte in vergelijking met andere sterren; over beide middelen eene korte niteenzetting.

Slaan wij nog eens het oog op Fig. 34. De verplaatsing van den waarnemer van B naar A (de middellijn der aardse loopbaan) heeft geen invloed gehad op eene merkbare verplaatsing van het punt S, omdat die verplaatsing te gering was. Maar al is die schijnbare verplaatsing van het punt S voor ons onwaarneembaar, hoe gering ook zij moet plaats hebben, daarom zoekt men naar middelen om haar te kunnen waarnemen. In plaats van, zooals men vroeger deed, enkel den top van den toren waar te nemen, mat men nu den afstand van een schijnbaar dichtbij gelegen voorwerp, en verplaatste zich naar A. Nu moet noodzakelijk een van beiden gebeuren; wanneer het tweede voorwerp evenver van den waarnemer is als de toren, zal men geen verschil in hoogte waarnemen, maar is dat tweede voorwerp veel verder dan de toren gelegen, dan moet diens top met betrekking tot dat voorwerp noodzakelijk rijzen, wanneer men zich in A verplaatst. Wanneer men zulk eene uitkomst bij de vaste sterren kon verkrijgen, dan was daardoor de parallaxe en dus de afstand gevonden. Nu vestigde men de aandacht op de dubbelsterren, en wel op de optische, (zie bladz. 341) die wel in schijn nabij elkander staan, maar waarschijnlijk op grooten afstand achter elkander zijn gelegen, en nu liet het zich verwachten, dat twee zulke sterren wier schijnbare afstand ééne of weinige seconden bedroeg, hunnen onderlingen schijnbaren afstand zouden veranderen, wanneer men ze waarnam op de twee uiteinden der aardse loopbaan. In den laatsten tijd en wel het eerst door Von Olbers is men tot goede uitkomsten geraakt, zoodat men van verscheidene dubbelsterren vrij nauwkeurig de parallaxe, en dus ook den afstand kent. De meerdere volmaaktheid der meetwerktuigen heeft het later mogelijk gemaakt, door rechtstreeksche waarnemingen van den zenithafstand bij eene en dezelfde ster op verschillende tijden des jaars de parallaxe te bepalen, zoodat wat aan Copernicus en de andere sterrenkundigen onmogelijk toescheen, thans bevredigender uitkomsten heeft geleverd. Op bladz. 329 hebben wij van eenigen de parallaxe en den afstand opgegeven.

De tweede wijze om den afstand der vaste sterren te berekenen, is de onderlinge vergelijking van hunne lichtkracht; daarbij steunt men echter op eene geheel onbewezen hypothese, namelijk dat de sterren niet in grootte met onze Zon verschillen, en een even krachtig eigen licht bezitten.

Tot verduidelijking zullen wij een voorbeeld geven. Olbers heeft berekend, dat de ster Aldebaran uit den Stier dezelfde kleur en lichtkracht heeft als de planeet Mars, wanneer deze op een bepaalden afstand der Aarde is. Mars echter straalt in een lichtglans, die slechts het honderdduizend millioenste gedeelte is van de kracht van het zonnelicht, en dus evenzoo Aldebaran. Wanneer de Zon zich nu zoover van ons verwijderen zou, dat haar licht gelijk stond met den glans van Mars en Aldebaran, zou hare middellijn slechts 0,008 bedragen, en zij zou 326,000 maal verder staan dan thans, dus meer dan zeven biljoen mijlen.

Die berekening heeft echter geene groote waarde, omdat zij op eene hypothese steunt, die niet alleen niet waarschijnlijk maar zeer onwaarschijnlijk is, immers zou daaruit volgen, dat als alle sterren even groot zijn en even krachtig licht hebben dat dan de heldersten den korsten afstand moesten hebben, maar de uitkomst bewees juist het tegendeel; immers de ster 61 uit den Zwaan, welke men onder de dichtstbijzijnden rangschikt, is van de zesde grootte en moeielijk met het bloote oog waar te nemen.

Hiermede hopen wij duidelijk gemaakt te hebben op welke wijze de sterrenkundigen uitkomsten verkrijgen, waarover oningewijden in verwondering en vaak in twijfel geraken; echter al is de eenvoudige theoretische verklaring dier methoden, zoo ik hoop hier bevattelijk en duidelijk voorgesteld, het in oefening brengen daarvan is moeielijk, want al de hulpmiddelen der meetkunde, al de astronomische gegevens, eeuwen lang nauwkeurig opgeboekt, en al de tegenwoordige volmaaktheid der gebruikt wordende werktuigen, dat alles is noodig om nauwkeurige bepalingen en oplossingen te geven; daarom ten slotte nog een enkel woord om een begrip te geven van de moeielijkheid om nauwkeurig de jaarlijksche parallaxe eener vaste ster te bepalen.

§ 3. Moeilijkheid om de parallaxe eener vaste Ster te meten. — Schijnbare en ware beweging. — Praecessie en nutatie. — Straalbreking. — Verplaatsing van het zonnestelsel. — Eigene beweging der Sterren. — Aberratie van het licht. — Voorbeelden uit het dagelijksche leven.

Met slechts weinige regelen willen wij een begrip geven van het samengestelde en ingewikkelde vraagstuk, waarvan wij hierboven spraken, om met nauwkeurigheid de jaarlijksche parallaxe eener vaste ster te meten.

Omdat de Aarde zich op hare baan om de Zon verplaatst, verkrijgt daardoor de waargenomene ster ook eene schijnbare beweging; zij moet dus in den loop van het jaar eene ellips schijnen te beschrijven, wier afmeting afhangt van den afstand; die schijnbeweging door den loop der Aarde veroorzaakt noemt men parallaktische ellips. Om nu te bepalen, welken invloed de verschillende bewegingen onzer Aarde op de ster hebben en welke beweging aan de ster eigen is, zijn herhaalde metingen met de nauwkeurigste werktuigen noodig, zoodat een tal van correctiën noodig is om tot eene gewenschte oplossing te geraken.

Op den stand der ster hebben in de eerste plaats invloed de praecessie der evennachten en de nutatie, welke de as der Aarde ondergaat, om dus den zuiveren stand der ster te verkrijgen, moet er eene correctie plaats hebben van dien invloed.

De straalbreking van onzen dampkring maakt, zooals wij weten, dat de ware stand der ster niet is waar wij haar zien, maar steeds lager; omdat de straalbreking de voorwerpen des hemels meer naar het zenith brengt, en naarmate de lichtstraal dikkere en bredere dampkrings-lagen moet doorgaan, naar die mate is de opheffing grooter en wordt dus de schijnbare afstand tot het zenith kleiner, ook deze correctie moet plaats hebben om den juisten stand te bepalen.

Eene tweede oorzaak, waarom de schijnbare stand eener ster verandering ondergaat, is gelegen in eene eigenschap des lichts, waarover wij aanstonds in eenige bijzonderheden zullen treden. Wanneer de snelheid der lichtgolven oogenblikkelijk of liever oneindig was, zouden wij, afgezien namelijk van de straalbreking, de ster zien waar zij zich in eene rechte lijn aan ons oog vertoont, zoo is het echter niet; hoe verbazend snel het licht zich ook voortplant, die snelheid is met betrekking tot de snelheid, waarmede onze Aarde zich op hare

baan verplaatst, niet oneindig, en gedurende den tijd, welken de lichtstraal gebruikt om onzen dampkring door te gaan en ons oog te treffen, verplaatsen wij ons met de Aarde, daardoor ontstaat eene schijnbare verplaatsing der ster, welke men noemt aberratie of afdwaling van het licht.

De verplaatsing van ons gansche zonnestelsel heeft ook invloed op den stand van de ster, zoodat ook hierin eene correctie noodig is.

Evenzoo verplaatst zich iedere ster in de ruimte met eene meerdere of mindere schijnbare snelheid naargelang van hare ware snelheid, afstand en richting harer beweging.

Sommige van de hier genoemde correctiën kan men met zeer groote nauwkeurigheid berekenen, anderen daarentegen zijn vrij onzeker. Nadat dus de sterrenkundige den stand der ster van de verschillende daarop inwerkende invloeden ontdaan heeft, kan hij het overschot beschouwen als de waarde der jaarlijksehe parallaxe.

Men behoeft dus niet verwonderd te wezen, dat van zoo weinige sterren de parallaxe berekend is, en dat over de waarde er van steeds twijfel overblijft.

Wij besluiten dit hoofdstuk met eene korte verklaring te geven over het verschijnsel, dat wij reeds genoemd hebben, en bekend is onder den naam van ABERRATIE of afdwaling van het licht.

Aan Bradley, die de nutatie ontdekte, zijn wij ook de ontdekking der aberratie verschuldigd.

Hij had zich ten taak gesteld de jaarlijksehe parallaxe der vaste sterren te vinden, en was bezig met den zenith-afstand van de helderste ster uit den Draak te meten en waar te nemen, toen hij opmerkte, dat die ster zekere bewegingen had, welke hij eerst aan fouten in de waarneming toeschreef; maar het bestendige en regelmatige in die bewegingen lieten geen twijfel bestaan of zij was niet aan de waarneming toe te schrijven. Wat echter bij die schijnbeweging de meeste verwondering baarde was, dat zij plaats had in eene geheel andere richting dan die, welke door de verplaatsing der Aarde op hare baan op de ster invloed moest hebben. Na herhaalde nieuwe waarnemingen kwam hij tot het besluit, dat die bewegingen aan geene andere oorzaak toe te schrijven zijn dan aan de samenwerking van de snelheid des lichts met de beweging der Aarde op hare baan.

Iedere ster schijnt in den loop van een jaar eene kleine ellips te

beschrijven, wier groote as immer evenwijdig met het vlak der aard-sche loopbaan onveranderlijk eene waarde heeft van $40^{\circ},5$. Hoe dichter de ster bij de pool der ecliptica stond des te meer naderde de ellips den cirkelvorm, en hoe dichter bij het vlak van de ecliptica des te langwerpiger werd de ellips, zoodat in het vlak der ecliptica de kleine as geheel verdween, en de beweging der ster rechtlijnig werd, immer volgens eene waarde van $40^{\circ},5$.

Volgens de nieuwste onderzoekingen van Auwers bedraagt de halve groote as der aberratie-ellips $20'',3851$. Al de korte assen waren immer gericht op de pool der ecliptica, en de stand van de ster op hare schijnbare loopbaan was immer 90 graden ten achter met den stand, welke de Aarde op hare loopbaan innam.

Die vereenigde omstandigheden toonden Bradley duidelijk, dat zulks niet kon veroorzaakt worden door de parallaxe of den afstand, want dan kon de lengte der groote assen onmogelijk altijd gelijk zijn bij alle sterren, maar moest naar hunnen afstand verschillen; daarom is er geene andere oorzaak denkbaar dan de verbinding van de snelheid des lichts met de snelheid der Aarde op hare loopbaan.

Zie hier de verklaring van dit verschijnsel.

Het licht doorloopt, zooals wij hierboven zagen, iedere seconde $40,000$ mijlen, en in datzelfde tijdsverloop doorloopt de Aarde ongeveer 4 mijlen; het licht doorkliegt dus den afstand $10,000$ maal sneller dan de Aarde op hare baan; hoe gering die onderlinge verhouding ook is, toch is zij groot genoeg om eene verandering van richting te weeg te brengen in de lichtstraal, die ons oog treft.

Wanneer bijv. een oog in T de ster E waarnam en T onbewogen bleef, zou men de ster zien in de richting TE de ware weg, waarlangs de lichtstraal zich voortplant, maar ons oog verplaatst zich met de Aarde op hare baan, 't is dus dezelfde werking wanneer ons oog onbeweeglijk was met de Aarde, en de lichtstraal zich zou bewegen, maar dan in tegenovergestelde richting met de beweging der Aarde van T naar A' ; om nu volgens de regelen der werktuigkunde de richting te vinden, waarlangs ons oog de ster moet zien, beschrijft men een parallelogram $TA'BC$, waarvan $A'T = I$ de beweging der Aarde voorstelt en $Te = 10,000$ de beweging van het licht, en dan wijst de diagonaal BTE' de richting aan, waar de ster zich vertoonen moet tengevolge der aberratie en dan in $E'TE'$ den aberratiehoek.

Wanneer men op de verschillende punten, waar de Aarde zich gedurende den loop van het jaar op hare baan bevindt, door dergelijke constructie de plaats der ster bepaalt, dan zal men zien, dat de ster in den loop van een jaar eene ellips schijnt te beschrijven, wier halve middellijn of halve groote as steeds onveranderd $20^{\circ},3851$ bedraagt, terwijl de kleine as grooter of kleiner is, naarmate de afstand van de ecliptica grooter of kleiner is.

In het dagelijksch leven kan men vele voorbeelden vinden om ons de aberratie van het licht te verduidelijken. Wanneer men in een wagen zit, die aan den voorkant is geopend, dan zal

men, wanneer de regen loodrecht nedervalt, droog zitten zoolang de wagen stil staat, maar wanneer hij zich vooruit beweegt, zullen de loodrecht vallende regendruppelen in den wagen dringen, zoodat het schijnt dat zij in eene schuinse richting vallen.

Wanneer wij uit een spoorwegrijtuig de vallende regendruppelen waarnemen, zien wij de waterstralen in hunne ware richting vallen bijv. loodrecht, zoolang de trein stil staat, maar als de trein voortsnel, schijnt het naarmate de beweging sneller is dat de waterstralen schuiner vallen en uit die richting komen, werwaarts de trein zich beweegt.

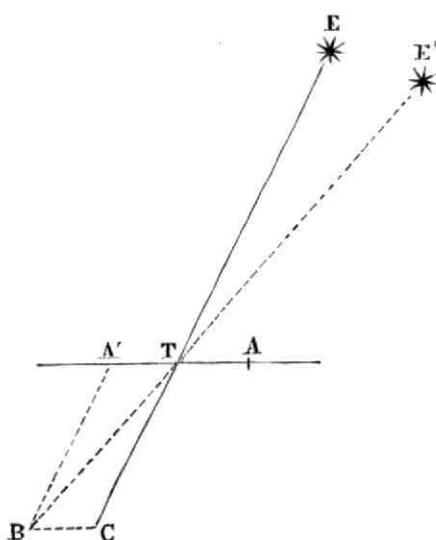


Fig. 35. Aberratie van het licht.

III.

§ 1. STERRENKUNDIGE WERKTUIGEN.

De natuurlijke verwondering, opgewekt door de beschrijving der wonderen, welke de sterrenkundigen in de diepte van het hemelruim ontdekken, gaat gewoonlijk gepaard met de begeerte zich met eigen oogen van die verschijnselen te overtuigen; vandaar eene goed te

verklaren nieuwsgierigheid om de werktuigen te kennen, waarmede men tot die verwonderlijke uitkomsten geraakte.

De uitgebreidheid echter, welke dit werk reeds verkregen heeft, belet ons over de werktuigen in al te groote bijzonderheden te treden.

De voornaamsten willen wij echter behandelen en ze door eene korte beschrijving aan onze lezers doen kennen.

De verschillende werktuigen tot astronomisch gebruik kunnen in drie verschillende soorten verdeeld worden. Zij worden gebruikt om het gezicht te versterken en den afstand te verkorten, telescopen en kijkers.

Of wel zij dienen om hoeken te meten, waardoor den stand der ster bepaald wordt, micrometers en verdeelde cirkels.

Of wel zij worden gebruikt om met juistheid den tijd aan te geven chronometers.

Wij zullen tot gemak onzer lezers volgens alphabetische orde van ieder eene kleine beschrijving geven.

AEQUATORIAAL noemt men zulk een astronomisch werktuig, waardoor men tegelijk de rechte opklimming en de declinatie van een hemellichaam meten kan. Het bezit dus twee verdeelde cirkels, waarvan een evenwijdig ligt met den aequator des hemels, daarop zijn de uren, minuten, enz. van de rechte opklimming aangegeven. De tweede cirkel staat loodrecht op den eersten en wijst den afstand aan van den aequator. De groote aequatorialen worden met uurwerken voorzien, geregeld volgens de wenteling der Aarde, zoodat eene ster, die in het veld des kijkers staat, daarin blijft gedurende haar ganschen schijnbaren omloop langs den hemel. Behalve tot differentiaal plaatsbepalingen aan den hemel dient het aequatoriaal om ten allen tijde kometen, planeten, dubbelsterren, nevelvlekken, enz. te vinden. Men noemt zulk een werktuig ook wel een kijker met parallaktischen voet.

CHRONOMETER of tijdmetr worden die nauwkeurige astronomische uurwerken genoemd, welke men gebruikt om de geographische lengte te bepalen, namelijk den afstand van den meridiaan, vanwaar men de telling begint; zoo bijv. nemen de Engelschen, den meridiaan van Greenwich, de Franschen dien van Parijs en de Duitschers dien van Ferro.

In 1714 loofde het Engelsch parlement reeds eene prijs uit van 20,000 p. s. voor hem, die door middel van chronometers de geogr. lengte tot op een halven graad zoude kunnen bepalen, en op het einde

der 16^e eeuw had Philippus III van Spanje, evenzoo reeds zulk een prijs beloofd.

De moeielijkheid om zulke nauwkeurige uurwerken te vervaardigen waren groot; tegenwoordig heeft men echter daarin een graad van volmaaktheid bereikt, dat men zou gelooven daarbij aan de grenzen te staan, welke de menschelijke arbeid kan bereiken.

DIPSECTOR noemt men een in 1817 door Wollaston voor het eerst beschreven werktuig om de helling van den horizon op zee te meten. Het ontving zijn naam van het Engelsche dip of the horizon, kimduiking, en sector, een hoekmeter, welke slechts weinige graden omvat.

GNOMON is een eenvoudig, tegenwoordig lang buiten gebruik geraakt, werktuig om de hoogte der Zon te meten, en daarnaar den tijd te bepalen. In zijn eenvoudigsten vorm bestond het bij de ouden uit eene op een vlak loodrecht opgerichte zuil. Wanneer die zuil door de Zon beschienen werd, wierp zij eene schaduw achter zich, en daaruit berekende men den waren tijd. Gnomotiek is daarom de kunst om zonnewijzers te vervaardigen.

HELIOMETER. Zie de noot van bladz. 301.

KIJKER is een werktuig, waardoor ver verwijderde voorwerpen vergroot en daardoor dichterbij schijnen. Men onderscheidt twee soorten: dioptrische en katoptrische verrekijkers. De eerste soort zijn dezulken, bij welke de lichtstralen door glazenlenzen gebroken worden; men noemt ze daarom ook REFRACTOREN. De tweede soort noemt men meer Telescopen of REFLECTOREN, omdat de lichtstralen niet gebroken maar door spiegels worden teruggekaatst.

In zijn eenvoudigsten vorm bestaat een astronomische kijker uit twee lenzen, aan weerszijden van een koker geplaatst. De grootste, welke gericht is naar het waar te nemen voorwerp, noemt men daarom voorwerpglas of objectief. Alle de stralen, welke van het voorwerp uitgaan, vereenigen zich achter de lens in een punt, dat men het brandpunt noemt, en het beeld, dat in het brandpunt gevormd wordt, beschouwt men nu door eene sterk vergrootende lens, welke men het oogglas of oculair noemt.

Om het gezichtsveld te vergrooten, gebruikt men gewoonlijk een oculair, dat uit twee lenzen bestaat. Zulk een kijker toont ons alle voorwerpen in eene omgekeerde richting, hetgeen echter voor de waarneming der hemellichamen volstrekt niets hindert; maar voor de waarneming van aardsehe voorwerpen brengt men tusschen het objectief

en het oculair nog eene derde lens, waardoor het beeld, dat het objectief vormt en omgekeerd is, opnieuw wordt omgekeerd, en men het dus in zijne ware gedaante en richting ziet.

De vergrooting van een kijker is gelijk aan den afstand van het brandpunt van het objectief, gedeeld door den afstand van het brandpunt van het oculair. Daar het echter in de meeste gevallen zeer moeielijk is die brandpunten te bepalen, kan men nuttig het volgende middel gebruiken om de vergrooting van een kijker te bepalen. Men stelt eerst den kijker op een ver verwijderd voorwerp, bijv. op de Zon, zoodat men de zonnescijf zoo scherp mogelijk waarneemt. Daarna richt men dien op een helder punt van den hemel, en houdt dicht achter het oculair een klein blad geolied of doorzichtig papier. Nu zoekt men het punt, waar de kleine heldere schijf, welke men op het papier waarneemt, zoo scherp mogelijk begrensd is, en meet dan de middellijn er van; zooveelmaal nu de middellijn dier kleine schijf in de ware middellijn van het objectief gedeeld kan worden, zooveelmaal vergroot de kijker.

Behalve de vergrooting, komt het bij een kijker vooral op de duidelijkheid aan, waarmede men het beeld waarneemt; de oudere kijkers hadden allen het gebrek, dat zij de voorwerpen vertoonden met gekleurde randen, omdat de verschillende kleuren, waaruit de lichtstraal bestaat, verschillend brekingsvermogen hebben, en zich dus niet weder in hetzelfde punt vereenigen. Thans is het gelukt dit gebrek te overwinnen, en door de samenvoeging van twee objectieven uit verschillende glassoorten, crownglas en flintglas, kijkers te vervaardigen, waarin die kleurenschifting ontbreekt; deze worden dialytische of achromatische kijkers genoemd. Plössl in Weenen, Merz de opvolger van Fraunhofer in Munchen, en Molteni in Parijs zijn door de vervaardiging van zulke werktuigen beroemd.

Omdat grootere kijkers een klein gezichtsveld bezitten, is het zeer moeielijk een bepaald voorwerp aan den hemel te vinden. Om dit nu te vergemakkelijken, worden die kijkers met een kleinen kijker voorzien, Zoeker genaamd, die evenwijdig staat met de as van den grooten, en een groot gezichtsveld bezit, en voorzien is met een kruis van fijne metaaldraden, waardoor het gemakkelijk wordt het voorwerp in het brandpunt van den grooten kijker te brengen. Dat onbeweeglijkheid van voetstuk een noodzakelijk vereischte is, laat zich gemakkelijk begrijpen.

Over de uitvinding der kijkers kunnen wij hier niet verder uitweiden, alleen willen wij aanmerken, dat men geruimen tijd ten onrechte Zacharias Jansen als den uitvinder der verrekijkers heeft genoemd, terwijl latere onderzoekingen aan het licht hebben gebracht, dat die eer toekomt aan Johannes Lippershey, brillenslijper te Middelburg, die den 2 Oct. 1608 aan de Staten-Generaal zijne uitvinding bekend maakte.

De Reflectoren of spiegeltelescopen missen het objectief en hebben onder in den koker een hollen of brandspiegel, die de eigenschap heeft om op zekeren afstand de daarop vallende lichtstralen in één brandpunt te vereenigen, en daar een beeld te vormen van het waar te nemen voorwerp; dit beeld nu neemt men waar met een sterk vergrootend oculair, dat men, evenals Newton deed, aan de zijde van den koker kan aanbrengen, of als Gregory, die de brandspiegel doorboorde en in zijn brandpunt een anderen spiegel plaatste, welke het beeld terugkaatste, zoodat het met een oculair, achter den brandspiegel geplaatst, kon worden waargenomen; noodzakelijk moeten daardoor vele lichtstralen gedoofd worden en de helderheid van het beeld verliezen, daarom bracht W. Herschel zijn oculair aan de onderste zijde van de naar het voorwerp gerichte opening.

De grootste thans in werking zijnde telescoop is die van lord Rosse te Parsonstown in Ierland opgericht. De opening van dat reuzenwerktuig heeft ongeveer twee meters middellijn en een brandpuntsafstand van 17 meters, terwijl alleen de spiegel van dien telescoop 7000 pond weegt. De onkosten van dat werktuig worden begroot op 12,000 pond sterling ¹.

MERIDIAANCIRKEL. Aldus noemt men het hoofdwerktuig der nieuwere astronomische waarnemers, waarmede de hoogte en daardoor de declinatie van de hemellichamen met een hoogen graad van nauwkeurigheid worden bepaald. Het bestaat uit een kijker, die zich juist in het vlak van den meridiaan beweegt, en uit een cirkel lood-

¹ Voor minnaars der sterrenkunde maken wij hier melding van een kijker van Molteni, die met verwonderlijke scherpte ons de meeste verschijnselen toont in dit werk beschreven, en die met een bruikbaren voet, sterrenkundige oogbuis en zonneglas, voor de geringe som van ongeveer 30 gulden te ontbieden is bij den Heer P. J. Kipp en Zonen te Delft. Die over grootere som te beschikken heeft, raden wij aan een kijker uit Munchen te doen ontbieden met een parallaktischen voet uit Engeland.

recht op de as van het werktuig geplaatst, en zoo nauwkeurig mogelijk in graden, minuten, seconden, enz. ingedeeld. Om het juiste oogenblik van den doorgang van eenig hemellichaam te bepalen is er in het brandpunt des kijkers een netwerk van fijne draden geplaatst, dat door eene bepaalde inrichting 's nachts door eene lamp verlicht kan worden.

MICROMETER noemt men het werktuig, dat gebruikt wordt tot het meten van zeer kleine hoeken; het wordt geplaatst in het brandpunt des kijkers en bestaat uit een horizontalen en vertikalen draad; door een schroef kan men van buiten een derde ook horizontalen draad grooter of kleiner afstand geven van de vaststaande horizontale, en daardoor is het mogelijk de kleinste afstanden met nauwkeurigheid te bepalen; naarmate de vorm is draagt het verschillende namen, zooals cirkel-micrometer, schroefmicrometer, draadmeter of ruitmicrometer. In plaats van draden gebruikt men in den lateren tijd dunne glasplaatjes, waarop op bepaalde afstanden fijne strepen zijn gegraveerd. De heliometer hierboven genoemd is een micrometer van de hoogste nauwkeurigheid.

MULTIPLICATIECIRKEL ook wel repetitiecirkel genoemd, heeft veel overeenkomst met den meridiaancirkel en bestaat uit een kijker met een ingedeelden cirkel, maar verschilt er van doordat de laatste uitsluitend tot waarnemingen in en de eerste tot waarnemingen buiten den meridiaan wordt gebezigd. Hij is zoo ingericht, dat men op verschillende wijzen den limbus (ingedeelden rand) gebruiken kan om den aangegeven stand te verifiëren en daardoor de fouten te vermijden in de zuivere aanwijzing der graden, enz., collimatiefouten genaamd.

MURKWADRANT, een vroeger op de sterrenwachten gebruikt wordend werktuig aan een muur verbonden in het vlak van den meridiaan om de culminatie der sterren waar te nemen; het bestond uit een vierde deel van een cirkel (kwadrant), terwijl een kijker, die zich om het middelpunt liet bewegen, op den limbus de hoogte aanwees.

NONIUS, ook wel Vernier genoemd, is de wijzer, die zich langs den limbus der ingedeelde cirkels beweegt, en die zoodanig is ingedeeld, dat men daardoor zeer nauwkeurig onderdeelen van een geheel meten kan. Den wijzer zelve noemt men Allhidade. Petrus Vernier was in 1631 er de uitvinder van. Nunez, vanwaar Nonius, had een ander maar niet practisch genoeg middel aangewend,

PASSAGE INSTRUMENT, een werktuig ook middagkijker genaamd, waarmede men den doorgang der sterren door den meridiaan en tevens de rechte opklimming waarneemt, hetgeen bij den meridiaan-cirkel niet geschiedt.

PHOTOMETER is een werktuig, waardoor de lichtkracht van een hemellichaam wordt gemeten. In de sterrenkunde zijn er twee als zeer bruikbaar aangewezen, de prisma-photometer van Steinheil en de astro-photometer van Zöllner.

De eerste bestaat uit een kijker, wiens objectief in twee gelijke helften is verdeeld, zoodanig ingericht, dat ieder dier beide helften nader bij het oculair kan gebracht worden; door bijzondere glasprismen ontvangt iedere helft het licht van een der beide te onderzoeken en te vergelijken lichamen. Nu worden de beide helften zoodanig verschoven en geplaatst, dat het oog beide voorwerpen in dezelfde lichtkracht ziet, en uit het verschil van stand van de beide helften van het objectief wordt de ware lichtkracht bepaald.

De Astrometer van Zöllner is echter anders ingericht, en men gebruikt daarbij eene kunstster van gelijke lichtkracht, waaraan men door polarisatie verschillende graden van helderheid kan mededeelen, die zeer nauwkeurig te meten zijn.

SPIEGELSEXTANT, een door Newton uitgevonden werktuig, om op zee hoekafstanden te meten; het bestaat uit een zesde deel van een cirkel, vandaar de naam sextant en uit twee spiegels, van welke de eene vaststaat en de andere aan den wijzer verbonden is.

De vaststaande spiegel is slechts ten halve bekleed, zoodat men door het onbekteede gedeelte een der te meten voorwerpen waarneemt; nu wordt de wijzer met den daarop staanden spiegel zoodanig bewogen, dat het beeld van het tweede voorwerp in het bekleede gedeelte des vaststaanden spiegels kaatst, wanneer nu beide voorwerpen, het eene in beeld en het andere rechtstreeks waargenomen, zich vertikaal boven elkander vertoonen, dan toont de wijzer den afstand dier beide voorwerpen op den limbus van het werktuig.

THEODOLIET is een veel gebruikwordend werktuig, waarmede men horizontale en vertikale hoek-afstanden meten kan en bestaat uit een kijker met een horizontalen en een vertikalen ingedeelden cirkel, en komt wat inrichting en gebruik betreft met den multiplicatiecirkel overeen.

UNIVERSAALINSTRUMENT noemt men een astronomisch werktuig,

dat men gelijkelijk als meridiaancirkel, multiplicatiecirkel en Theodoliet kan gebruiken.

ZENITHSECTOR wordt reeds door den naam aangeduid; het is een astronomisch werktuig, waarmede men den hoekafstand van het zenith bepaalt; de limbus bevat slechts een klein gedeelte van den cirkelomtrek, vandaar is het slechts geschikt om hoeken te meten van weinige graden.

§ 2. VERKLARING EN GEBRUIK VAN DE BIJ DIT WERK GEVOEGDE STERRENKAART.

De stereographisch geteekende sterrenkaart is eene perspectieve afbeelding van dat gedeelte van den sterrenhemel, dat op onze breedte kan worden waargenomen.

De groote cirkel, welke ongeveer het midden der kaart inneemt en de pool tot middelpunt heeft, is de hemelaequator, verdeeld in uren en gedeelten van 10 minuten, om daardoor gemakkelijk de rechte opklimming van elk aangeduid hemellichaam te kunnen bepalen. Tot gemak is aan den buitensten rand der sterrenkaart de oudere en nog vaak gebruikte telling met graden aangegeven.

Op de ecliptica zijn nauwkeurig de 12 teekens van den dierenriem met hunne eigenaardige symbolen aangegeven, tevens is de plaats aangeduid, welke de Zon inneemt, op den eersten, tienden en twintigsten dag van iedere maand.

De beide lijnen, die elkander in de pool loodrecht snijden, stellen de declinatiecirkels voor, waarvan de colurus door de evennachtspunten loopend in graden is verdeeld, die steeds grooter worden naarmate zij zich verder van de pool bevinden; de aard van een stereographisch ontwerp brengt zulks mede.

Beide verdeelingen dus de aequator met de uurverdeeling en de declinatiecirkels met de graadindeeling zijn voldoende om den stand van eenig hemellichaam op de sterrenkaart te bepalen en aan te teekenen.

Om de sterrenkaart niet met teekens en sterren te overladen en daardoor ruimte en duidelijkheid te winnen, zijn slechts de voornaamste sterren van ieder sterrenbeeld aangeteekend en tevens die dubbel- en veranderlijke sterren alsmede zulke nevelvlekken, die gemakkelijk zijn

waar te nemen; het hoofddoel immers van zulk eene kaart is de sterrenbeelden met de voornaamste hemellichamen, waaruit zij bestaan, op eene gemakkelijke wijze te leeren kennen.

Om de sterrenkaart tot haar gebruik dienstig te maken, wordt zij in het midden van den breeden zwarten cirkel, welke haar omgeeft, uitgesneden en op een bordpapier geplakt, terwijl men evenzoo den cirkel met de verdeeling der maanden en dagen juist in denzelfden stand met betrekking tot de sterrenkaart als waarop hij gedrukt is op eenen evenzoo uitgesneden cirkel van bordpapier plakt, in diervoege namelijk, dat de cirkel, waarop de maanden staan aangeteekend iets hooger staat dan het vlak van de sterrenkaart.

Nu wordt ook de tweede kaart, waarop de uren van dag en nacht staan, bij haren uitersten cirkel uitgesneden, en op eene even groote bordpapieren schijf geplakt, welke dan juist op de sterrenkaart binnen den hooger liggenden maandrand past. De cirkel, in welks omtrek de windstreken staan aangegeven, moet evenzoo bij den binnensten rand worden uitgesneden, dan stelt dien uitgesneden cirkel ons den horizon voor. Wanneer men het Noorden en Zuiden door een draad verbindt, of beter nog een koperdraad, waarop de graden staan aangeteekend, dan vertegenwoordigt zulk een draad ons den meridiaan van de plaats, waar wij ons bevinden.

Langs den rand van dien horizon staan de voornaamste streken aangeteekend, die evenzoo om den aard van het stereographisch ontwerp niet evenver van elkander voorkomen.

Nu is de sterrenkaart tot haar doel gereed, één voorbeeld zal het gebruik er van duidelijk maken. Om bijv. den stand der sterren te weten op den 31^{sten} Augustus des avonds ten 11 ure en 40 minuten. Men zoek op den verhoogden rand der sterrenkaart den 31^{sten} Augustus, en plaatse dan het begeerde uur, dat men op de tweede schijf of kaart zoekt, zoodanig binnen den verhoogden rand, dat het uur samenvalt met den begeerden dag, dan zal het deel van de sterrenkaart, dat zich binnen den uitgesneden cirkel van den horizon vertoont, geheel overeenkomen met den stand van den hemel op dat oogenblik; dan zal de Slang in het westen ondergaan, de Stier in het O.N.O. opkomen, terwijl de Zwaan zich ongeveer in het zenith zal vertoonen.

Door middel van zulk eene sterrenkaart, welker gebruik volstrekt geene moeielijkheden oplevert, worden vele vraagstukken opgelost,

welke anders groote mathematische kennis en lange berekeningen vorderen.

Daardoor vindt men gemakkelijk de plaats aan den horizon, waar eene ster of planeet opkomt, en den tijd hoelang zij zichtbaar blijft.

Daardoor vindt men tijd en plaats van op- en ondergang der Zon, en de lengte van den dag.

Daardoor vindt men voor een bepaald uur den stand van den voor ons zichtbaren sterrenhemel.

Evenzoo vindt men den dag, waarop eene vaste ster of eene planeet tegelijk met de Zon op- of ondergaat, of waarop eene ster opkomt, wanneer de Zon ondergaat of omgekeerd.

Evenzoo vindt men den tijd, waarop eene ster vroeger op- of ondergaat dan eene andere ster, enz. enz.

Zeker verkrijgt men door middel der sterrenkaart niet zulke nauwkeurige en juiste uitkomsten als door berekening. Zulks is echter in de meeste gevallen ook niet noodzakelijk, en de daardoor verkregene oplossing van zeer vele vraagstukken is voldoende voor het doel van de minnaars der sterrenkunde.

INHOUD DER PLATEN.

PLAAT		bladz.
I.	Fig. 1. Elliptische vorm der zonneshijf aan den horizon. „ 2. Zonderlinge vormen der zonneshijf aan den horizon der zee	15
„ II.	„ 1. Schijnbare afmeting der zonneshijf in hare verschillende afstanden van de Aarde. „ 2. Schijnbare afmeting der zonneshijf uit de verschillende planeten gezien.	17
„ III.	Zonnevlekken volgens de waarneming en teekening van J. Herschel.	35
„ IV.	„ 1. Zonnevlek met hare fakkels, waargenomen den 14 Februari 1865, door Chacornac. „ 2. Zonnevlek met hare fakkels, waargenomen door Secchi	36
„ V.	„ 1. Zonnevlek, door Secchi waargenomen 25 Sept. 1865. „ 2. Zonnevlek, door Secchi waargenomen Februari 1866.	37
„ VI.	„ 1. Verandering eener zonnevlek, waargenomen door Dawes den 27, 29 en 31 October en den 2 November 1859. „ 2. Verandering eener zonnevlek, waargenomen door den schrijver September 1870	38
„ VII.	Zonnevlekken. — Photospheer. — Halfschaduw. — Kern	39
„ VIII.	Stand der zonnevlekken. Volgens de breedte in de jaren 1853—1861 volgens Carrington	40
„ IX.	1 Soort. Spectrum van eene vaste gloeiende stof. 2 „ Spectrum van eene gasachtige gloeiende stof. 3 „ Zonnenspectrum	52
„ X.	Gasachtige zonneuitwassen. Waargenomen den 18 Juli 1860 bij totale zonneclips	57
„ XI.	Fig. 1. Gasachtige zonneuitwassen, waargenomen door Zöllner 29 Augustus 1869 ten 10 uur 22 min. „ 2. Dezelfde ten 11 uur 20 min.	58

PLAAT XII.	Fig. 1.	Uitlegging der zonnevlekken, volgens de hypothese van Wilson; aa de photosfeer; bbb inwendige dampkring; A zonnevlek met kern en halfschaduw; B kern zonder halfschaduw; C halfschaduw zonder kern.	
	„ 2.	Schijnbare verandering in den vorm eener vlek naar den rand.	60
„ XIII.		Zonnestelsel.	
	„ 1.	Loopbaan der planeten.	
	„ 2.	Helling der planetenbaan op het vlak der Ecliptica.	70
„ XIV.		Verklaring der conjunctie en schijngestalten van Mercurius	86
„ XV.	„ 1.	Schijnbare afmeting van Mercurius op verschillenden afstand.	
	„ 2.	Afmetingen van de Aarde en Mercurius.	
	„ 3.	Loopbaan van Mercurius. — Helling der as. Aequatoriale band. — Stand op het tijdstip der equinoxen en solstitiën	90
„ XVI.		Overgangen van Mercurius in deze eeuw	92
„ XVII.	„ 1.	Venus; haar solstitium, helling der omwentelingsas.	
	„ 2.	Schijngestalten van Venus; vlekken op de beide half-einden naar Bianchini	106
„ XVIII.	„ 1.	Bolvorm van het vasteland. — Horizon volgens verschillende hoogten.	
	„ 2.	Bolvorm der zee. — Verklaring van het verschil in het waarnemen van een naderend schip.	
	„ 3.	Onderlinge hoogte der bergen en van den dampkring. — Diepte der zee en vooronderstelde dikte der aardkorst	113
„ XIX.	„ 1.	De Aarde uit de hemelruimte gezien.	
	„ 2.	Verklaring van het verschil tusschen een sterrendag en een zonedag.	126
„ XX.		Loopbaan der Aarde. Het jaar en de jaargetijden. — Onveranderde richting der as.	137
„ XXI.	„ 1.	Stand der Aarde op het tijdstip der aequinoxen. — Gelijkheid van dag en nacht over de gansche Aarde.	
	„ 2.	Stand der Aarde op het tijdstip der solstitiën. — Ongelijkheid van dag en nacht.	139
„ XXII.		Schijngestalten der Maan	148
„ XXIII.	„ 1.	Loopbaan der Maan. Verklaring der schijngestalten.	
	„ 2.	Verklaring van het verschil tusschen synodische en siderische omwenteling.	149

PLAAT	XXIV.	Fig. 1.	Vershil van afstand der Maan aan den horizon en in het zenith.	
		„	2. Afmetingen van de Aarde en de Maan.	
		„	3. Ware omwenteling der Maan in eene maanmaand.	158
„	XXV.		Volle Maan	161
„	XXVI.		De Maan in het eerste kwartier, volgens eene photographie door Warren de la Rue	162
„	XXVII.	„	1. Het inwendige van een cirkelgebergte met centraalbergen en kraters.	
		„	2. Maankrater bij zons-opgang.	
		„	3. Maankrater bij zons-ondergang	168
„	XXVIII.	„	1. Ringgebergte Copernic, volgens Smyth.	
		„	2. De Piek van Teneriffe en omliggende deelen, volgens Smyth	170
„	XXIX.		Maanlandschap op het tijdstip van volle Aarde.	173
„	XXX.		Stenographische kaart van Mars, naar teekeningen van Dawes	181
„	XXXI.	„	1. Helling der as van Mars — solstitie.	
		„	2. Schijnbare afmeting van Mars op verschillenden afstand.	188
„	XXXII.	„	1. Sterrenkaart uit de atlas van Chacornac.	
		„	2. Ontdekking eener kl. planeet met behulp der sterrenkaarten	201
„	XXXIII.	„	1. Jupiter, naar Warren de la Rue; duistere en heldere banden; overgang en schaduw van een wachter.	
		„	2. Jupiter en zijne vier wachters	206
„	XXXIV.	„	1. Helling der as op het vlak van Jupiters loopbaan.	
		„	2. Loopbanen der wachters van Jupiter.	
		„	3. Afmetingen der wachters van Jupiter vergeleken met de Maan en de Aarde.	211
„	XXXV.	„	1. Saturnus en de Aarde.	
		„	2. Verklaring der verschillende gestalten van den saturnusring	224
„	XXXVI.	„	1. Saturnus uit den ring gezien.	
		„	2. De ring uit Saturnus gezien op het tijdstip tusschen de aequinoxen en de solstitiën	228
„	XXXVII.		Onderlinge afmetingen der Zon en der voornaamste planeten	242
„	XXXVIII.		De komeet van Donati, volgens waarneming van G. P. Bond den 4 October 1858	247

PLAAT XXXIX.	Fig. 1.	Hoofd en kern der komeet van 1858, waargenomen door Bond.	
	„ 2.	Hoofd en kern der komeet van 1861, waargenomen door Secchi den 1 Juli.	248
„ XL.		Meteoor met staart	271
„ XLI.	„ 1.	Banen van 83 vallende sterren, waargenomen door A. S. Herschel te Glasgow in den nacht van den 13 November 1866. Uitgangspunt in het sterrenbeeld den Leeuw.	
	„ 2.	Verklaring van den Augustus- en November-sterrenval in de hypothese van eenen ring met meteoren.	280
„ XLII.		Zodiakaal-licht.	291
„ XLIII.		De Sterrenhemel (Noorden). Middernacht 1 Januari. <i>Titelplaat.</i>	
„ XLIV.		De Sterrenhemel (Zuiden). Middernacht 20 Decemb.	317
„ XLV.		De Sterrenhemel (Zuiden). Middernacht 22 Maart.	319
„ XLVI.		De Sterrenhemel (Zuiden). Middernacht 20 Juni.	320
„ XLVII.		De Sterrenhemel (Zuiden). Middernacht 22 Septemb.	321
„ XLVIII.		De Sterrenhemel (Zuiderhalfrond). Middernacht 20 December, gezien op de kusten van Patagonië . .	323
„ XLIX.		Kleur der Sterren	359
„ L.		Sterrenhoopen, volgens teekeningen van J. Herschel.	376
„ LI.	„ 1.	Ringvormige nevelvlekken.	
	„ 2.	Groepen van nevelvlekken	379
„ LII.	„ 1.	Spiraalvormige nevelvlek uit de Maagd, volgens Lord Rosse.	
	„ 2.	Spiraalvormige nevelvlek uit Cepheus, volgens Lord Rosse	384
„ LIII.		Nevelvlek uit de Jachthonden	385
„ LIV.	„ 1.	Nevelvlek uit den Vos, genaamd Dumb-bell, volgens Lord Rosse.	
	„ 2.	Nevelvlek uit den Stier (crab nebula), volgens Lord Rosse	386
„ LV.		Nevelvlek uit Orion, volgens teekening van G. Bond.	387
„ LVI.		Verklaring van de praecessie der Evennachten . .	429
„ LVII.		Verklaring van de Eb en den Vloed	444
„ LVIII.		Verklaring der Eclipsen.	462
„ LIX.		Richting der maan-schaduw op de Aarde bij de totale zon-eclips van 16 April 1874.	467
„ LX.		Berekening van de snelheid des lichts door de verduistering der Jupiterwachters	481

INHOUD.

	Bladz.
VOORREDE.....	—
INLEIDING.....	1

EERSTE DEEL.

HET ZONNESTELSEL.

Optelling der sterren, die het zonnestelsel uitmaken. De zon. De planeten en hunne wachters. De kometen, de vallende sterren en het zodiaklicht. Omwentelings- en vooruitgangsbeweging der hemellichamen van ons stelsel. Gewicht van de voorafgaande studie van het zonnestelsel..... 9

EERSTE BOEK.

DE ZON.

1ste AFDEELING. — VORM, AFSTAND EN AFMETING DER ZON.

§ 1. De zon met het bloote oog beschouwd. Hare schijnbare bewegingen hebben hunnen grond in de omwenteling en den omloop der Aarde. Vorm der schijf aan den horizon. Werking en invloed der atmosferische refractie. De ware vorm is een volkomen cirkel. De zon, aan den horizon grooter schijnende dan in het toppunt, is slechts gezichtsbedrog. 14

§ 2. Schijnbare afmeting der zonnenschijf. Verschil in den loop van een jaar. Hoevele zonnenschijven noodig zijn om rondom den horizon te bezetten. De Zon uit de verschillende planeten gezien. Verschillende graden van licht en warmte door ieder van hen ontvangen..... 17

§ 3. Afstand van de Zon tot de Aarde. Wat men door de parallaxe der Zon verstaat. Meeningen der ouden over den afstand. Aangenomen parallaxe en afstand. Afstand, door voorbeelden opgehelderd..... 19

§ 4. Ware afmetingen der Zon. Middellijn, omtrek, oppervlakte en inhoud der Zon. De omvang der Zon, vergeleken met de Aarde. Vergelijkingen..... 22

II^{de} AFDEELING. — OMWENTELING DER ZON.

§ 1. Omwenteling der zon, door J. Bruno en Kepler voorondersteld, door Fabricius en Gallileï ontdekt. De zonnevlekken, hunne schijnbare beweging. De Zon wentelt van het westen naar het oosten.....	25
§ 2. Verschil tusschen de schijnbare en ware omwenteling der zonnevlekken. Polen en evenaar der Zon. Vorm der loopbanen van de vlekken, volgens den tijd van het jaar. Verschil van den duur der omwenteling, waargenomen volgens de breedtegraden der vlekken.....	29

III^{de} AFDEELING. — DE ZONNEVLEKKEN.

§ 1. Zonnevlekken; kern en halfschaduw. Lichtende vlekken of fakkels; hun verband met de duistere vlekken. Verschillende vorm en afmeting der zonnevlekken. Ontstaan, verandering en beweging dier vlekken.....	34
§ 2. Oppervlakte der zon. Beschouwing van het lichtomhulsel of photosfeer. Poriën of korrelingen, strepen der halfschaduw. Wilgen bladen of rijstkorrels....	38
§ 3. Streek der vlekken. Verdeeling der groepen volgens den breedtegraad. Getal der vlekken; hun duur en bepaalde verschijning. Verband tusschen de vlekken en de temperatuur op Aarde en de storingen der magneetnaald.....	39

IV^{de} AFDEELING. — PHYSISCHE EN CHEMISCHE AARD DER ZON.

§ 1. Massa en dichtheid der Zon. Zwaarte der Zon.....	42
§ 2. De Zon bron van licht, warmte en scheikundige werking. Voeding der zonne-uitstraling.....	44
§ 3. Spectraal-analyse. Ontleding der zonnestralen. Chemische kracht der Zon. Heeft de Zon een dampkring? Uitwassen (protuberancien) der Zon. Waterstoflaag rondom het lichtomhulsel der Zon.....	50
§ 4. Wat is de Zon? Is de kern onder de photosfeer vast, vloeibaar of gasachtig? Wat zijn de zonnevlekken? Opgave der verschillende theoriën.....	58

TWEEDE BOEK.

DE PLANETEN.

Inleiding. Omwenteling en omloop. Richting dier beweging. Ellips en hare eigenschappen. Wetten van Kepler en hunne verklaring. Verdeeling der planeten	67
--	----

I^{ste} AFDEELING. — MERCURIUS.

§ 1. Mercurius met het bloote oog gezien. Zijne periodieke omwenteling en schijnbare beweging ten oosten en westen van de Zon. Apollo. Mercurius bij de ouden. Uitlegging dier schijnbare beweging. Coniunctie. Stilstand en achteruitgang van Mercurius. Synodische omwenteling. Siderische omwenteling. Duur, vorm en afmetingen der loopbaan. Afstand van de Zon. Snelheid. Afstand van de Aarde.....	85
§ 2. Mercurius met den telescoop gezien. Schijngestalten. Overgang over de Zon. Schijnbare middellijn. Ware afmetingen, vergeleken met de Aarde Oppervlakte, inhoud, afplatting.....	89
§ 3. Physische aard van Mercurius. Warmte en licht. De Zon uit Mercurius gezien. Omwenteling van Mercurius. Zijne dagen en nachten; jaargetijden, jaar en klimaat. Heeft Mercurius een dampkring? Banden langs den evenaar. Tandvorm der schijf. Bergen. Lichtend punt op de schijf. Massa en dichtheid. Zwaartekracht op zijne oppervlakte.....	92

II^{de} AFDEELING. — VENUS.

§ 1. Venus, avond- en morgenster. Oostelijke en westelijke afwijking. Venus met het bloote oog gezien: glans, tinteling, kleur. Synodische en siderische
--

Bladz.

omloop. Duur van het jaar. Afstand van de Zon, van de Aarde. Snelheid van beweging.....	99
§ 2. Venus met den telescoop waargenomen. Schijngestalten en verandering van schijnbare middellijn. Zichtbaarheid bij vollen dag. Probleem van Halley. Ware afmetingen, oppervlakte en inhoud. Overgang van Venus over de Zon....	102
§ 3. Omwenteling van Venus. Sterrendag en zonnedag. Dag en nacht op Venus. Haar jaar, klimaat en jaargetijden. Verschil in licht en warmte, aschgrauw licht. Dampkring van Venus. Blijvende vlekken. Zee en vastland. Bergen. Spectraalanalyse. Massa, dichtheid en zwaarte.....	105

III^{de} AFDEELING. — DE AARDE.

§ 1. Beschouwd in de ruimte. Bewijzen dat zij rond is. Afplatting aan de polen, bewezen door de meridiaan-meting en den slinger. Elliptische vorm van den evenaar. De Aarde is een bol met drie ongelijke assen. Afmetingen. Massa, middelbare dichtheid. Straalbreking van den dampkring.....	111
§ 2. Aswenteling der Aarde. Hare gelijkvormigheid en duur. Verschil tusschen sterren- en zonnedagen. Snelheid der omwenteling op verschillende breedtegraden. Wat er gebeuren zou, wanneer die omwenteling eensklaps ophield. Bewijzen voor die omwenteling.....	125
§ 3. Wenteling der Aarde om de Zon. Elementen dier loopbaan. Snelheid der verplaatsing. Schijnbare jaarlijksche beweging der Zon langs het hemelgewelf, uitlegging. De middelbare dag en middelbare sterrentijd. Tropisch jaar. Jaargetijden, verschil in lengte. Verschil in duur van dag en nacht, volgens de breedte en de verschillende tijdperken des jaars. Verschillende streken en klimaten. Bestendigheid der elementen van de aardsche loopbaan. Bewijzen voor de loopbaan der Aarde om de Zon.....	131

IV^{de} AFDEELING. — DE MAAN.

§ 1. Schijngestalten der Maan. Schijnbare beweging. Synodische en siderische omloop. Elementen van den omloop. Ware vorm van den maanloop in de ruimte. Evecitie en libratie. Schijnbare en ware afmetingen. Oppervlakte en grootte der Maan. Omwenteling der Maan. Gelijke duur der beide bewegingen der Maan. Zwaarte en dichtheid.....	146
§ 2. Maanvlekken. Zeeën of vlakten en bergen. Vulkanisch karakter der maanbergen. Walgebergten. Kraters. Rillen. Hoogte der maanbergen. Groeven of lichtstrepren.....	160
§ 3. Klimaat op de Maan. Heeft de Maan een dampkring? Bewijzen voor het bijna zekere, dat de Maan geen lucht en geen water heeft. Maanlandschap. Heeft het van de Aarde afgewende halfrond dezelfde samenstelling.....	171
§ 4. Sterrenkunde voor een maanbewoner. Zijn er bewoners op de Maan? Duur der dagen en nachten. De Aarde uit de Maan gezien. De sterren. De nevelvlekken. Zoneclipsen op de Maan. Invloed der Maan op de Aarde.....	174

V^{de} AFDEELING. — MARS.

§ 1. Schijnbare bewegingen van Mars. Oppositie, conjunctie en quadratuur. Duur der synodische en syderische omwenteling. Elementen van zijne loopbaan. Afstand van de Zon en van de Aarde.....	181
§ 2. Mars met het bloote oog beschouwd. Kleur en schittering. Mars met den telescoop beschouwd. Zijne schijngestalten. Verschil in schijnbare middellijn: ware afmetingen, oppervlakte en inhoud. Massa en dichtheid van Mars. Zwaarte op de planeet.....	184
§ 3. Mars met den telescoop beschouwd. Blijvende vlekken op de schijf. Omwenteling der planeet. Dag en nacht, jaargetijden op Mars. Vaste vlekken, kleur, vastland en zeeën. Veranderlijke vlekken, dampkring, sneeuw en ijs der polen. Waterdamp bewezen door de spectraal-analyse. Klimaat en meteorologie van Mars.....	187

VI^{de} AFDEELING — PLANETOÏDEN. - KLEINE PLANETEN.

§ 1. Groot aantal der hemellichamen tusschen Mars en Jupiter. Ineenschake-	
--	--

ling hunner loopbanen. Breedte der planetenstreek. Elementen der loopbanen. Kleine afstand der naburige kleine planeten. Hunne physische conjunctie.....	193
§ 2 Bijzonderheden over eenige kleine planeten: Vesta, Juno, Ceres en Pallas. Hunne afmetingen. Wijze van ontdekking.....	197

VII^{de} AFDEELING. — JUPITER.

§ 1. Jupiter met het bloote oog beschouwd. Elementen van zijne loopbaan. Afstand van de Zon en de Aarde. Schijnbare middellijn en ware afmetingen, omwenteling, dag en nacht. Jaargetijden. Klimaat en meteorologie op de planeet. Massa, dichtheid en zwaartekracht.....	202
§ 2. Physische toestand van Jupiter, heldere en donkere strepen. Veranderlijke en blijvende vlekken. Verschillende hypothesen. Passaatwinden en aequatoriale stroomen. Dampkring, overeenkomende met die onzer Aarde.....	206
§ 3. Het Jupiterstelsel, zijne wachters of manen. Loopbaan en afstanden. Afmetingen, massa, kleur en glansverandering der wachters. Omwenteling. Nut voor de scheepvaart.....	210

VIII^{ste} AFDEELING. — SATURNUS.

§ 1. Saturnus, met het ongewapend oog gezien. Zijne schijnbare beweging en duur van zijn synodischen omloop. Beweging om de Zon, duur van den siderischen omloop. Elementen van zijne baan en verschil in afstand tot de Zon en de Aarde. Schijnbare en ware afmetingen. Poolafplatting. Oppervlakte, inhoud, massa en dichtheid. Zwaartekracht op zijne oppervlakte.....	216
§ 2. Omwenteling van Saturnus. Dagen en jaargetijden. Warmte, licht op Saturnus. De ringen der planeet. Wachters. Dampkring.....	220

IX^{de} AFDEELING. — URANUS.

§ 1. Ontdekking van Uranus. Vorm en afmeting zijner loopbaan. Schijnbare en ware afmetingen. Wachters der planeet, heiling hunner loopbanen, en richting hunner beweging. Massa, dichtheid en zwaarte op de oppervlakte.....	230
--	-----

X^{de} AFDEELING. — NEPTUNUS.

§ 1. Geschiedenis en verklaring der ontdekking. Afstand. Schijnbare en ware afmetingen. Massa en dichtheid. Wachter van Neptunus.....	235
---	-----

DERDE BOEK.

DE KOMETEN.

DE VALLENDE STERREN. — HET ZODIAKAALLICHT.....	245
--	-----

I^{ste} AFDEELING. — DE KOMETEN.

§ 1. Voorkomen der kometen. Hoofd, kern en staart. Verschil met de planeten. Loopbaan en beweging.....	247
§ 2. Terugkeerende kometen in ons zonnestelsel. Hunne beschrijving en elementen hunner loopbaan.....	253

II^{de} AFDEELING. — DE VALLENDE STERREN.

§ 1. De vallende sterren met het bloote oog waargenomen. Haar glans. Vormen van haren staart. Kleur van haar licht. De boliden of vuurbollen. Getal der vallende sterren, zichtbaar voor het ongewapend oog. Zwern van vallende sterren. Gissing naar het geheel getal der meteoren, over de gansche Aarde zichtbaar. Meteorregen van Augustus en November. Voornaamste tijdpunten dier meteorozwermen in den loop van het jaar.....	271
--	-----

§ 2. Kosmische oorsprong der vallende sterren. Middelbare hoogte harer ontbranding en harer uitdooving. Snelheid harer beweging. Straalpunten van de voornaamste stroomen. Overeenkomst der meteorsteenen en der kometen. Theorie van Schiaparelli.	276
§ 3. Physieke natuur der vallende sterren. Overeenkomst met de boliden of vuurbollen. Uiteenbarsting der boliden. Luchtsteenen of aerolithen. Kosmische oorsprong der luchtsteenen en boliden. Mineralogische en chemische ontleding der meteoren. Vergelijking met de rotsdeelen der Aarde. Klassificatie van Daubree.	285

III^{de} AFDEELING. — HET ZODIAKAALLICHT.

§ 1. Het zodiakaallicht in de verschillende streken onzer Aarde gezien. Waarschijnlijk bestaan van een lichtenden ring tusschen de Zou en de Aarde.	291
---	-----

T W E E D E D E E L.

E E R S T E B O E K.

D E V A S T E S T E R R E N.

I^{ste} AFDEELING. — DE VASTE STERREN.

§ 1. Tinteling der sterren, theorie van Arago en Respighi. Verschil met de planeten. Verdeeling der vaste sterren. Getal, zichtbaar met het bloote oog en met den telescoop. Eigen licht der vaste sterren. Fundamentealsterren.	299
--	-----

II^{de} AFDEELING. — DE STERRENBEELDEN.

§ 1. Algemeen overzicht. Benamingen en gewaande oudheid van den Dierenriem. Hypothese van Laplace, Dierenriem van Denderah. Circumpolair sterren. Beweging der sterrenbeelden en stand op verschillende tijden. Beschrijving der sterrenbeelden rondom de Poolster.	306
§ 2. Sterrenbeelden van den zuiderhorizon zichtbaar. Orion met Beteiguze en Rigel. Groote Hond met Sirius en Procyon. Stier met de Hyaden, Aldebaran en de Pleiaden. De Tweelingen, Castor en Pollux. Ram, Walvisch, Eridaanvloed en de Kreeft. De Leeuw met Regulus. De Maagd met Spica. Boötes en het haar van Berenice. De Kroon met Gemma. De Slang en de Slangendrager. Weegschaal, Raaf, Beker. Schorpioen met Antares. Lier met Vega. Arend met Athair. Hercules en de Zwaan. Andromeda en Pegasus. De Visschen.	316
§ 3. Sterrenbeelden aan den Zuiderhemel, voor onze breedte onzichtbaar. Omgekeerde vorm. Zuiderkruis. Centaurus. Wolf. Altaar. Driehoek. Argo met Canopus en Eta. Vliegende visch. Draadnet. Eridaan met Achernar. Phoenix. Toecan. Kraanvogel. Indiaan. Pauw. Waterslang met Beta. Wolken van Magellaan. Tijdsbepaling door de sterren.	322

III^{de} AFDEELING. — AFSTAND EN BEWEGING DER VASTE STERREN.

§ 1. Afstand van eenige vaste sterren van onze Aarde. Tijd, welken het licht noodig heeft om tot ons te komen. Gissingen naar de grootte der sterren. Eerste blik op de afmetingen van het zichtbare Heelal.	327
§ 2. De sterren zijn niet onbeweeglijk. Meting en waarneming van die beweging; snelheid. Beweging van ons zonnestelsel. Richting van die beweging in de ruimte. Centraalzon.	333

IV^{de} AFDEELING. — DUBBEL- EN VEELVOUDIGE STERREN.

§ 1. Onderscheid tusschen optische en physische dubbelsterren. Wenteling der dubbelsterren. Optelling der voornaamste berekende dubbelsterren. Eenheid der natuurwetten. Wachter van Sirius. Stelsel van veelvuldige zonnen.	340
--	-----

§ 2. Sterrengroepen. Verzameling van zonnen, zichtbaar voor het gewapend oog. Pleiaden. Hyaden. Praesepe. Hoofdhaar van Berenice. Groep uit Perseus. . . 350

V^{de} AFDEELING. — VERANDERLIJKE EN NIEUWE STERREN.

§ 1. Veranderlijke sterren. Mira uit den Walvisch en Algol uit Perseus. π uit het schip en β uit de Lier. Voornaamste veranderlijke sterren met bekende perioden. 352
 § 2. Nieuwe sterren: van Tycho-Brahé in 1572. Van Kepler in 1600. Nieuwe ster van 1866 in de Kroon 355
 § 3. Verschil in kleur van het sterrenlicht. Enkelvoudige gekleurde sterren. Kleur der dubbel- en meervoudige sterren. Kleurverandering der sterren. Hypothesen over die verandering. 357

VI^{de} AFDEELING. — PHYSISCH EN CHEMISCH WEZEN DER VASTE STERREN.

§ 1. Spectraal-analyse van het sterrenlicht. Verdeeling der sterren in vier voorname typen. Chemische samenstelling van eenige merkwaardige sterren. Overeenkomst en verschil der verschillende typen met de Zon. Verklaring van de kleur der sterren; blauwe tint van de wachters der dubbelsterren. 361
 § 2. Verschillende hypothesen over de veranderlijke sterren. Rotatie-hypothese. Gissing van Maupertuis. Sterverduisteringen. Spectraal-analyse en bewijs van waterstofgas-verbranding. 367

TWEEDE BOEK.

DE NEVELVLEKKEN.

I^{ste} AFDEELING. STERRENHOOPEN EN NEVELVLEKKEN.

§ 1. Regelmatige sterrenhoopen van bol- of sferischen vorm. Groot aantal sterren, welke zij bevatten. Sterrenhoopen uit Hercules, Pijl, Grooten Beer, Waterman, Perseus, Eenhoorn, Giraffe en Tweelingen. 375
 § 2. Onopgeloste nevelvlekken. Voorkomen in de kijkers. Regelmatige vormen: rond, elliptisch, ringvormig. Nevelvlekken uit de Lier. Planeetachtige nevelvlekken, gissingen naar hunne natuur. Nevelsterren en hypothesen daarover. Spiraalvormige vlekken uit de Jachthonden, de Maagd en Cepheus. 378
 § 3. Groote onregelmatige nevelvlekken. Verschil in voorkomen, naargelang der kijkers. Beschrijving der vlekken uit Andromeda, Dumb-bell uit den Vos, de Crab, Nebula uit den Stier, en den Orionnevel. 384

II^{de} AFDEELING. — GROEPEN VAN NEVELVLEKKEN.

§ 1. Dubbele en meervoudige nevelvlekken. — Waarschijnlijkheid van onderling verband. 388
 § 2. Beschrijving der beide Magellaansche Wolken aan den zuiderhemel. Beschrijving der beide zoogenaamde Kolenzakken. 390
 § 3. De Melkweg. Schijnbare vorm. Loop door de noorder- en zuidersterrenbeelden. De Melkweg met den telescoop bezien. 392

III^{de} AFDEELING. — PHYSISCHE EN CHEMISCHE NATUUR DER NEVELVLEKKEN.

§ 1. Hypothese over de nevelstof. Kleur en veranderlijkheid der nevelvlekken. Oorzaken dier kleur. Veranderlijke nevelvlekken. Verdwijning eener nevelvlek. . 395
 § 2. Spectraal-analyse der nevelvlekken. Spectrum met drie heldere strepen. Bewijs voor de gasnevelen. Spectrum van nevelvlekken uit den Draak, uit de Lier, Dumb-bell; nevelvlek van Orion. Doorloopend spectrum van sterrenhoopen. 397

IV^{de} AFDEELING. — BOUW VAN HET ZICHTBARE HEELAL.

§ 1. Ware vorm van den Melkweg. Plaatsing van ons zonnestelsel in die sterrenlaag. Algemeen begrip over de afmetingen van den Melkweg 401

§ 2. Waarschijnlijke afstand der nevelvlekken, in de machtigste telescopen zichtbaar. Andere Melkwegstelsels. Algemeen begrip over den bouw van het Heelal..... 403

DERDE DEEL.

WETTEN DER STERRENKUNDE.

EERSTE BOEK.

I^{ste} AFDEELING. — ALGEMEENE ZWAARTEKRACHT.

§ 1. Algemeene eigenschappen der lichamen. Volume. Massa. Dichtheid. Aantrekking. Zwaarte. Val der lichamen en der planeten. Centraalbeweging. Toepassing der zwaartekrachtswet op de Maan..... 410

§ 2. Toepassingen der zwaartekracht om het gewicht van een hemellichaam te vinden. Specifiek gewicht van onze Aarde, afgeleid uit de aantrekkingskracht. Totaal gewicht van onze Aarde. Grootte der hemellichamen, der Maan en der Zon. Specifiek gewicht en zwaarte der Zon. Massa der planeten en der vaste sterren..... 420

II^{de} AFDEELING.

VOORUITGANG DER EVENNACHTEN. - NUTATIE. - STORINGEN DER PLANETENBANEN.

§ 1. Verschil van een tropisch- en een sterrenjaar. Verklaring van den vooruitgang der evennachten of teruggang der evennachtspunten. Platonisch jaar. Toenemende lengte der sterren. Veranderde poolrichting. Nutatie. Oorzaken der precessie en nutatie. Verandering in de helling der aardas op de ecliptica..... 427

§ 2. Begrip van storingen. Periodieke en seculaire storingen. Storingen der Maan: evectie, variatie, jaarlijksche vereffening. Seculaire versnelling der Maan. Vermindering der omwentelingssnelheid onzer Aarde. Periodieke planetenstoring van Jupiter en Saturnus. Venus en de Aarde. Seculaire planetenstoringen. Storingen der wachters. Storingen der kometen..... 434

III^{de} AFDEELING. — DE GETIEN.

§ 1. Verschijnsel van ebbe en vloed. Springvloed en doode tijen. Overeenkomst met den stand der Maan en der Zon. Theorie volgens de wet der zwaartekracht. Haventijd. Ontwikkelde kracht der aantrekking van de Maan..... 441

IV^{de} AFDEELING.

§ 1. Oorsprong der Zonnewereld. Drie hoofdstelsels. Hypothese van Laplace. Proeve van Plateau. Waarschijnlijkheidsgronden voor die hypothese. Stabiliteits-probleem..... 448

TWEEDE BOEK.

BEREKENINGEN EN WERKTUIGEN DER STERRENKUNDE.

I^{ste} AFDEELING. — ECLIPSEN: VERDUISTERINGEN VAN ZON EN MAAN.

§ 1. Algemeene theorie over de eclipsen. Voorwaarden, waarop eene zons- of maansverduistering mogelijk is. Waarom geeft iedere maanmaand geene verduisteringen. Periode van Saros..... 459

§ 2. Zoneclipsen. Totale, ringvormige en gedeeltelijke eclipsen. Lengte van den schaduwkegel. Zichtbaarheid der eclipsen dezer eeuw. Centraal verduisteringen. Uitkomsten van de totale zoneclips van 11 Dec. 1871. Polarisatie van de kroon en omgekeerd spectrum.....	464
§ 3. Maaneclipsen. Verschil met Zoneclipsen. Totale en gedeeltelijke verduisteringen. Zichtbaarheid der verduisterde maanschijf. Geregelde terugkeer. Sterrenbedekkingen.....	471
§ 4. Berekening der maansverduistering van 4 Nov. 1873. Elementen. Richting der maanbaan. Midden, begin en einde der verduistering. Streken der Aarde, waar zichtbaar. Tafel ter beproeving van historische verduisteringen.....	474
§ 5. Verduisteringen der wachters van Jupiter. Immersie en Emersie. Verberging achter de Jupiter-schijf. Snelheid van het licht. Berekening van de hoogte der maanbergen.....	480

IIde AFDEELING. — BEREKENINGEN DER HEMELAFSTANDEN.

§ 1. Algemeen begrip om den afstand te berekenen van een onbereikbaar voorwerp op Aarde. Toepassing op den afstand der Maan. Wijze om de zonne-parallaxe te vinden. De overgangen van Venus. Methode van Dubois.....	484
§ 2. Afstandsmeting der vaste sterren. Jaarlijksehe parallaxe. Afstand der vaste sterren. Waarneming der dubbelsterren. Waarneming van de lichtkracht..	491
§ 3. Moeilijkheid om de parallaxe eener vaste ster te meten. Schijnbare en ware beweging. Praecessie en nutatie. Straalbreking. Verplaatsing van het zonnestelsel. Eigene beweging der sterren. Aberratie van het licht. Voorbeelden uit het dagelijksch leven.....	496

IIIde AFDEELING.

§ 1. Sterrenkundige Werktuigen.....	499
§ 2. Verklaring en gebruik van de bij dit werk gevoegde Sterrenkaart.....	506

ZINSTORENDE DRUKFEILEN.

Bladz. 40	regel 10	van onderen	<i>staat</i> : vijf	<i>lees</i> : elf
" 48	" 7	" "	" vertraagd	" versneld
" 81	" 7	" "	" Sirius	" Regulus
" 87	" 12	van boven	" Plaat X	" Fig. 10
" 96	" 11	" onderen	" breedte van 20'	" 20 ^o zuiderbreedte.
" 97	" 12	" "	" 900	" 9000
" 101	" 1	van boven	" het dubbel	" de helft.
" 107	" 6	" "	" solstitium	" equinoxium
" 109	" 2	" onderen	" $\frac{3.6}{1100}$	" $\frac{3.6}{100}$
" 110	" 4	" boven	" 4.51"	" 4.51 meters
" 113	" 10	" onderen	" 24 uren	" naderhand
" 114	" 7	" "	" lichaam	" massa
" 148	" 16	" "	" onderste	" bovenste
" 191	" 18	" "	" tegenovergesteld	<i>lees</i> : hetzelfde
" 207	" 16	" "	" want	<i>lees</i> : dat
" 230	" 1	" boven	" Ψ	" $\left[\frac{1}{2} \right]$
