

lock
bouw
eld

De Wonderbouw der Wereld

door

Dr. A. Pannekoek



Rights for this book: [Public domain in the USA](#).

This edition is published by Project Gutenberg.

Originally [issued by Project Gutenberg](#) on 2019-06-12. To support the work of Project Gutenberg, visit their [Donation Page](#).

This free ebook has been produced by [GITenberg](#), a program of the [Free Ebook Foundation](#). If you have corrections or improvements to make to this ebook, or you want to use the source files for this ebook, visit [the book's github repository](#). You can support the work of the Free Ebook Foundation at their [Contributors Page](#).

The Project Gutenberg EBook of DE WONDERBOUW DER WERELD, by A. Pannekoek

This eBook is for the use of anyone anywhere in the United States and most other parts of the world at no cost and with almost no restrictions whatsoever. You may copy it, give it away or re-use it under the terms of the Project Gutenberg License included with this eBook or online at www.gutenberg.org. If you are not located in the United States, you'll have to check the laws of the country where you are located before using this ebook.

Title: DE WONDERBOUW DER WERELD
DE GRONDSLAGEN VAN ONS STERREKUNDIG WERELDBEELD POPULAIR UITEENGEZET

Author: A. Pannekoek

Release Date: June 12, 2019 [EBook #59744]

Language: Dutch

*** START OF THIS PROJECT GUTENBERG EBOOK DE WONDERBOUW DER WERELD ***

Produced by R.G.P.M. van Giesen

[Illustratie:

**De Wonderbouw
der Wereld
door
Dr. A. Pannekoek**

(kaft)]

**DE WONDERBOUW DER
WERELD**

DE GRONDSLAGEN VAN ONS STERREKUNDIG WERELDBEELD POPULAIR UITEENGEZET

DOOR

D^R A. PANNEKOEK

TWEEDE DRUK

MET 5 PORTRETTEEN, 138 FIGUREN EN STERREKAARTEN
IN DEN TEKST, EN 2 UITSLAANDE KAARTEN VAN DEN
DIERENRIEM.

AMSTERDAM — S. L. VAN LOOY — 1920

AAN MIJN VROUW

INHOUD

	pag.
Inleiding	1
De Hemelverschijnselen.	
1. Hemel en aarde	9
2. Dag en nacht	11
3. De jaargetijden	15
4. De sterrenhemel	20

V.	De sterrebeelden	24
6.	De hemelbol	35
7.	De beweging van de zon	41
8.	De maan en haar beweging	49
9.	De verduisteringen	56
10.	Tijdrekening en kalender	62

De Aarde.

11.	De vorm van het aardoppervlak	68
12.	Het wereldbeeld der oudheid	74
13.	Hemelaspekten en klimaten	82
14.	De ontdekking der aarde	88
15.	Grootte en vorm der aarde	97
16.	De tijd	106
17.	De draaiing der aarde	110
18.	De strijd over de beweging der aarde	115
19.	Beweging en rust	123
20.	De dampkring	127
21.	Eerste bewijzen voor de draaiing der aarde	132
22.	Winden en zeestroomingen	138
23.	Val- en slingerproeven	147

De Planeten.

24.	De verschijnselen der planeten	151
25.	De perioden en de banen der planeten	156
26.	Het wereldstelsel van Ptolemaeus	164
27.	Het wereldstelsel van Copernicus	170
28.	De aarde als planeet	181
29.	De ontdekkingen met den verre kijker	189
30.	Parallaxe en aberratie	197
31.	De onregelmatigheden der zonsbeweging	201
32.	De onregelmatigheid van de planetenbeweging	207
33.	Het werk van Tycho en Kepler	214
34.	De wetten van Kepler	220

De aantrekkingskracht.

35.	De zwaartekracht en het vallen	232
36.	De cirkelbeweging	240
37.	De oorzaak van de planetenbeweging	247
38.	De algemeene aantrekkingskracht	252

39.	<u>De uitwerkingen der aantrekkingskracht</u>	261
40.	<u>De onregelmatigheden van de maanbeweging</u>	275
41.	<u>Verklaring van de maanbeweging</u>	281
42.	<u>De teruggang der nachteveningen</u>	291
43.	<u>Ebbe en vloed</u>	300
44.	<u>Het gewicht van de aarde</u>	308
45.	<u>Het wezen der aantrekkingskracht</u>	313

INLEIDING.

Van oudsher heeft de sterrenhemel oog en geest der menschen geboeid en op hun verbeelding gewerkt door de geheimzinnig statige en regelmatige wisseling van zijn verschijnselen en de boven al het aardsche verhevene onvergankelijkheid van zijn lichten. Voor de primitieve menschen, wier leven nog innig met de natuur vergroeid was, waren de hemelverschijnselen een onontbeerlijk hulpmiddel om den tijd van den dag en het jaar te vinden, en op hun reizen waren hun de sterren betrouwbare gidsen. Den hemel bevolkten zij met machtige goden en in hun levensleer speelden de hemellichten een belangrijke rol.

De moderne wetenschap der sterren, de astronomie, heeft deze primitieve wereldbeschouwing vernietigd. Maar daarbij is de tooverkracht, waarmee de wereld der sterren den mensch boeit, is de belangstelling, die zij in zijn geest wekt, zoomin verdwenen als haar praktische beteekenis voor het menschelijk leven; integendeel, beide zijn veel sterker en rijker geworden. Vroeger dan eenige andere wetenschap had de sterrekunde beteekenis als theoretische grondslag van het maatschappelijke leven; door haar werd het eerst mogelijk oceanen te bevaren en verre werelddeelen te ontdekken, en omgekeerd hebben de eischen, die het wereldverkeer stelde, de wetenschap der hemellichamen tot steeds hoogere volmaaktheid voortgestuwd. Zij was het, die zoo het eerst en het best heeft getoond, wat wetenschap is en zijn kan: een zichtbaar bewijs van de macht van den menschelijken geest over de wereld. Want zij was niet slechts in staat de toekomstige hemelverschijnselen jaren en eeuwen vooruit te voorspellen, zij wist zelfs het bestaan en de plaats van nooit geziene werelden met zekerheid vast te stellen. Wat zij over den bouw der wereld gevonden heeft, is zoo grootsch, dat de stoutste vlucht van de fantasie der grootste denkers uit vroegere eeuwen armelijk afsteekt bij wat zij als waarheid onthuld heeft. Zij voert ons ver buiten de aarde, de woonplaats der menschen; zij toont ons een eindeloozen stoet van andere werelden, donkere zoowel als lichtende, reusachtiger meest dan onze eigene. Zij leert eenvoudige wetten kennen, die den loop der wereld beheerschen en die in de rijkste veelvuldigheid van bewegingen in het heelal te voorschijn treden; zij spreekt van wereldschepping en wereldondergang in tijdperken, die met millioenen jaren gemeten worden. Zij eerst toont ons het werkelijke groote heelal, de eigenlijke wereld, waarvan dat, wat de menschen in hun dagelijksch leven de wereld noemen, een onbeteekenend nietig stukje is.

Reeds het gezicht alleen van den sterrenhemel moet op iedereen, wiens oog en zin voor schoonheid der natuur ontvankelijk zijn, den diepsten indruk maken. Wien het eenmaal gebeurd is, dat hij op een

eenzamen landweg, ver van al het verblindende licht der stad, zijn oogen van het pad voor zijn voeten ophief naar den hemel, waar tusschen de kleurig flonkerende sterren overal het fijnste sterrestof uitgestrooid is, terwijl het teere licht van den Melkweg als een wonderbaar-grillige lichtband van horizon tot horizon te volgen is, die heeft wel een van de sterkste indrukken van schoonheid ontvangen, die de natuur ons ooit kan geven. Wel heeft deze schoonheidsindruk bij de eerste belangstelling der oorspronkelijke menschen voor den sterrenhemel maar een geringe rol gespeeld en is dus voor het ontstaan der wetenschap niet van groot belang geweest. Bij den modernen mensch echter werkt het aesthetisch element zonder twijfel sterk mee, om liefde voor de sterrenwereld op te wekken, te meer, daar het genot, dat de onmiddellijke aanschouwing ons geeft, evenals overal in de natuur, door het weten nog bevestigd en verrijkt wordt.

Maar bovenal ligt de oorzaak van de bekoring, die van de sterrekunde uitgaat, wel hierin, dat geen andere wetenschap met zoo groote zekerheid een werkelijkheid onthult, die de meest stellige ervaring van iederen mensch tot niets dan een bedriegelijken schijn maakt. Daarin ligt ook de groote beteekenis der sterrekundige wetenschap voor de ontwikkeling der menschheid. Een lange zware strijd was noodig, om de nieuwe waarheid omtrent den bouw van het heelal te doen zegevieren over de primitieve opvattingen, die door hun innige verbinding met de godsdienstige leerstellingen het karakter van onaantastbare dogma's hadden gekregen. Daarom is de revolutie van de grondslagen der sterrekunde een der belangrijkste tijdperken in de geschiedenis der natuurwetenschap geweest, die zich eerst daardoor vrijmaakte uit de boeien der kerkelijke traditie. Zij heeft als geen andere wetenschappelijke leer, behalve misschien het Darwinisme in de 19^{de} eeuw, de wereldbeschouwing der menschen omgewenteld en verruimd. De strijd over de sterrekundige waarheid in de 16^e en 17^e eeuw was een der gewichtigste episoden in de ontwikkelingsgeschiedenis der beschaving.

Men zou kunnen meenen, dat deze strijd voor ons enkel nog maar historische beteekenis heeft. Maar zulk een meening is onjuist: deze bevrijding van den geest uit de boeien der traditie heeft ook nu nog praktische waarde. Ja, meer nog; men kan gerust zeggen, dat juist in dezen ommekeer onzer gronddenkbeelden over de wereld de groote beteekenis der sterrekunde voor de tegenwoordige menschen ligt, veel meer dan in de schoonheid van den sterrenhemel voor het oog of in de belangrijkheid der wetenschap voor ons maatschappelijk leven. Want, wat bemerkt men van sterren in de stad, waar de menschheid, waar de vooruitgang, waar het geestelijk leven zich concentreert? Ternauwernood valt ons daar nu en dan, naast de felle lichtmassa's der elektrische booglampen, de maan als een bleeke schijf tusschen de hoge huizenrijen op. De tegenwoordige menschen hebben den onmiddellijken samenhang met de natuur verloren, zooals die vroeger bestond, toen de boeren nog zelf het uur van den dag uit den stand van de zon aflazen. De arbeid tot voortbrenging der levensbehoeften, die den band tusschen mensch en natuur vormt, is een ingewikkeld maatschappelijk proces geworden, met ver doorgevoerde specialiseering en verdeeling van arbeid, waarin ook de sterrekunde haar plaats inneemt, maar als een bijzonder vak van bijzondere vakmannen. En tegenwoordig eischt deze arbeid van bijna iedereen, in welk vak ook, zoo groote inspanning, de druk van de dagtaak is voor de meesten zoo zwaar, dat zij zich maar bij hooge uitzondering met een ander vak dan het hunne kunnen bemoeien.

Daarentegen heeft iedereen er het grootste belang bij, zijn eigen algemeene wereldbeschouwing klaar en goed op te bouwen. En juist in den tegenwoordigen tijd zien wij steeds grootere volksmassa's uit het traditioneele geloof hunner vaders opstijgen tot een wetenschappelijke opvatting van de wereld. Voor deze massa's, die zich tot eigen denken, tot een zelfstandig geestelijk leven omhoog worstelen, heeft de strijd der wereldstelsels, die voor drie eeuwen het eerst door de natuuronderzoekers gevoerd werd, een praktische waarde. Willen zij zich in den tegenwoordigen strijd der wereldbeschouwingen goed

oriënteeren, dan moeten zij zich ook van den werkelijken bouw van het heelal een helder begrip vormen.

Nu schijnt niets gemakkelijker dan dat. Want in tallooze populaire boeken zijn de resultaten der sterrekundige wetenschap neergelegd; zij worden in vele scholen als vaststaande waarheden geleerd en als vanzelfsprekend aangenomen; wie het wagen zou hun juistheid in twijfel te trekken, moet er op rekenen, als een achterlijke weetniet beschouwd te worden, die nog in oude vooroordeelen bevangen is. Geloovig aannemen, wat de wetenschap leert, wordt nog maar al te vaak voor het ware kenmerk van kennis en beschaving gehouden. Wie zich echter met eigen inspanning en onder veel innerlijken strijd tot een nieuwe wereldbeschouwing opwerkt, kan niet eenvoudig het oude autoriteitsgeloof door het geloof in de nieuwe autoriteit der wetenschap vervangen. Hij moet zich de grondslagen en de redenen voor zijn nieuwe opvatting als door hemzelf doordachte en beproefde waarheden zelf veroveren. Dan eerst is zij een eigen gewonnen weten, een vaste overtuiging, een zeker bezit voor hem geworden.

Dit biedt nu juist bij de uitkomsten der sterrekundige wetenschap de minste moeilijkheden. Wel heeft het onderzoek der natuur vele uitkomsten opgeleverd, die, hoe belangrijk ook voor het algemeen, toch op zulke moeilijke proefnemingen met ingewikkelde toestellen en veel hoogere wiskunde berusten, dat alleen een vakman in staat is, ze te beoordeelen, en de leek zich er mee tevreden moet stellen, ze op gezag der geleerden aan te nemen. "De enkeling kan niet alles weten. Geloof is den mensch noodzakelijk; maar welverstaan, alleen geloof in wat anderen weten." (Dietzgen.) Dat geldt echter niet voor de grondslagen van de sterrekunde. Wie mocht meenen, dat vele ingewikkelde waarnemingen met bijzondere instrumenten en moeilijke theoretische beschouwingen noodig waren, om de onjuistheid van het wereldbeeld van de vlakke, vaste, stilstaande aarde aan te toonen, dat zich bij iedereen vanzelf uit zijn eigen onmiddellijke ervaring vormt, vergist zich zeer. Het is weerlegd met behulp van de eenvoudigste waarnemingen, waarvoor bijna geen instrumenten, alleen maar eenige vlijt en volharding noodig waren; opmerkzaamheid en nadenken waren de eenige hulpmiddelen, waarmee de grondslagen onzer sterrekundige wereldbeschouwing opgebouwd zijn. De groote ommekeer der wetenschap in de 16^e eeuw berust bijna uitsluitend op ervaringen, die geheel en al binnen het bereik van elken leek vallen. Men behoeft slechts met wat aandacht en geduld op de verschijnselen des hemels te letten en daarover na te denken, om zich een op eigen ervaring gegronde overtuiging van de waarheid der moderne astronomische wetenschap te verschaffen.

Zulk een doordringen in de wetenschap sluit vanzelf aan bij haar werkelijken historischen ontwikkelingsgang. Vele werken over sterrekunde volgen een andere methode; zij zetten den lezer de resultaten der wetenschap kant en klaar voor, met de zoogenaamde bewijzen voor hun waarheid. Daarbij mag zich den lezer de overtuiging opdringen, dat hij met een onaantastbaar systeem te doen heeft, waar alles volmaakt ineensluit, waar voor twijfel geen plaats is — maar het is toch niet zijn eigen weten; het berust op het gezag, dat een algemeen aangehangen en vastgesloten systeem op ieder moet uitoefenen. Geheel anders staat hij er voor, als hij den weg volgt, dien de menschheid in haar historische ontwikkeling doorloopen heeft. Zij begon met hetzelfde eenvoudige beeld van de wereld, dat bij iedereen door dagelijksche ervaring opgroeit. Een nauwkeuriger beschouwing der hemelsche en aardsche verschijnselen voerde dan tot moeilijkheden en tegenspraken, die de menschen dwongen hun eerste opvatting te verbeteren; en zoo stegen zij, trap voor trap, in een lang ontwikkelingsproces tot steeds juistere denkbelden omhoog, totdat zich daaruit eindelijk — altijd nog met behulp van eenvoudige overwegingen, alleen nu en dan op een rijker waarnemingsmateriaal steunend — de moderne wereldbeschouwing vormde. Wie de wetenschap als een levende, zelf verworven waarheid in zich wil opnemen, moet deze trappen van ontwikkeling zelf nog eens doorloopen. Dan ziet hij bij elken volgenden stap in, hoe noodzakelijk deze was, om de onvolkomenheden van den vorigen trap der kennis op te heffen;

hij kent de redenen, de bewijsgronden, die in den strijd voor en tegen een rol speelden. De zoo verkregen zekerheid is niet meer aan het wankelen te brengen, omdat zij niet dogmatisch, maar historisch gewonnen is en daarom tegelijk ruimte open laat voor verdere ontwikkeling.

Onder de vele populaire werken over sterrekunde is Kaiser's "Sterrenhemel" dat in het midden van de 19^e eeuw verschenen is, in ons land zeker wel het meest beroemd geworden. De terecht geprezen voortreffelijkheid van dit werk berust hierop, dat het met strenge en zuivere konsekventie een vast methodisch principe toepast. Dit principe: dat de lezer als leek alleen belang stelt in en te maken heeft met de resultaten der wetenschap, doch de manier, waarop zij verkregen zijn, aan de natuuronderzoekers moet overlaten, is echter juist het tegendeel van de beginselen, die wij hier ontwikkeld hebben; zoo is dan ook ons werk een volkomen tegenvoeter van Kaiser's werk. Hij schreef voor een publiek, dat in de heerschappij der wetenschap het principe van den nieuwen tijd zag en daarom volkomen bereid was om de mannen der wetenschap op hun gezag te gelooven. Wij schrijven in een tijd, die meer dan vroeger op de historische ontwikkeling nadruk legt, die in den tegenwoordigen scherpen strijd der richtingen een voortzetting van de vroegere ontwikkeling ziet en daarom iedereen drijft zich zelfstandig, door eigen denken zekerheid over zijn algemeene wereldopvattingen te verschaffen.

Onze methode brengt daarom ook een juistere waardeering van de vroegere ontwikkelingstrappen der wetenschap mede, die buitengesloten is bij de dogmatische uiteenzetting der uitkomsten, welke onze tegenwoordige en de vroegere denkbeelden scherp als waarheid en dwaling tegenover elkaar stelt. Dikwijls leest men bij moderne schrijvers uitingen van afkeuring over het onvruchtbare en beschamende, groote geesten onwaardige bijgeloof der astrologie; of wel zij verwonderen zich, hoe de oudheid, nadat zij het ware wereldsysteem al had leeren kennen, deze waarheid weer opgaf en tot een onjuiste opvatting terugkeerde; meer dan eene geniale curiositeit zien zij in het wereldbeeld van Aristoteles niet. Voor ons zijn zulke oude denkbeelden niet eenvoudig dwaling, maar ontwikkelingstrappen der groeiende waarheid, die ook wij in een zeker stadium onzer ontwikkeling als nieuwe en noodzakelijke waarheid inzien; maar die wij dan naderhand op grond van verdere ervaringen moeten opgeven, om hun blijvende kern in een nog hooger trap van kennis op te nemen.

Ons werk — dat zich alleen met de ontwikkeling der grondslagen van ons sterrekundig wereldbeeld bezighoudt en alle latere, daarop gebouwde meer of minder zekere uitkomsten omtrent de natuur der hemellichamen achterwege laat — wil daarom toch geen geschiedenis der wetenschap zijn. Ons doel is, uit de eenvoudige waarneming der verschijnselen om ons heen trapsgewijs en logisch ons wereldbeeld op te bouwen. Waar de werkelijke historische ontwikkeling zijwegen of omwegen insloeg, die niet in de lijn der verdere ontwikkeling lagen, behoeft zij ons niet bezig te houden. Maar in de belangrijkste hoofdtrekken loopt toch de logische opbouw van onze tegenwoordige kennis met de historische ontwikkeling parallel; zoo wordt tusschen hen een band gevlochten, die de geestelijke ontwikkeling van den enkelen mensch met het historische omhoog stijgen der geheele menschheid samenweeft. Wie zich op deze wijze in de wetenschap inwerkt, beleeft een belangrijk stuk beschavings- en geestesgeschiedenis der menschheid als een deel van zijn eigen levensgang.

Er zijn weinig dingen, die zooveel genot en bevrediging kunnen geven, als zulk een natuurstudie. Niet alleen door den rijkdom van verschijnselen, die zij ons toont, die aan de in gedachteloozen sleur voortlevende menschen onbekend blijven, en van welke wij nu de beteekenis leeren kennen; maar ook door het geestelijk verwerken dezer ervaring, waardoor het schijnbaar gekompliceerde en verwarde ten slotte in de schoonste harmonie en eenvoud wordt opgelost. Wij veronderstellen, dat de lezer de verschijnselen, voorzoover ze hem niet reeds bekend zijn, zelf ook gaat waarnemen. Al is dit tot goed

begrip ook niet absoluut noodig — want feiten kan men ook aan anderen ontleenen, en op de gevolgtrekkingen, die men er uit afleidt, komt het toch vooral aan — zoo maakt toch het eigen waarnemen de wetenschap tot iets levends, tot een wereld, die wij persoonlijk uit eigen aanschouwing kennen. En zeker zal ieder, die op deze manier geleerd heeft uit den loop der sterren de groote wetten van het heelal af te leiden en hun beteekenis voor onze, voor zijn eigen wereldbeschouwing leerde kennen, deze sterren voortaan met geheel andere oogen aanzien. Zij spreken woorden tot hem vol inhoud en zin. Als hij tot hen omhoog ziet, zooals zij daar aan den hemel hun banen doorloopen, spreken ze tot hem van de vroegere geslachten der menschen, die ook zoo tot hen omhoog zagen, spreken ze van hun arbeid en hun strijd, niet als stomme getuigen, die onverschillig voor wat op aarde gebeurde, hun eigen weg gingen, doch als werkelijke deelgenooten in de geestesworsteling der menschheid. Aan de sterren heeft de mensch zich als het ware opgericht; met hun hulp heeft hij zich den weg der vrije ontwikkeling gebaad. Wie zoo hun beteekenis voor de menschheid heeft leeren kennen, voor hem is de sterrenhemel een beeld van strijd en overwinning, van onbegrensde ontwikkeling in verleden en toekomst, een bron van schoonheid, van genot en van trots.

DE HEMELVERSCIJNSELEN.

1. HEMEL EN AARDE.

Wanneer wij de wereld om ons heen beschouwen, zien wij, dat zij uit twee geheel verschillende helften bestaat, den hemel en de aarde. Onder ons is de aarde, boven ons de hemel; in hemel en aarde is van oudsher de geheele wereld samengevat. Hemel en aarde staan tegenover elkaar als licht, ijl en luchtig tegenover donker, hard en zwaar; alles wat zwaar is, valt naar beneden, naar de aarde, terwijl de lichte rook naar den hemel opstijgt. Voor den mensch vormen hemel en aarde beide in gelijke mate den grondslag van zijn bestaan. De aarde is de vaste grond, die hem draagt, dien hij beploegt en bebouwt, opdat zij de noodzakelijke levensmiddelen voor hem voortbrengt; ons geheele leven wortelt in de aarde. De hemel geeft den levenwekkenden zonneshijn en den vruchtbaren regen, zonder welke de aarde geen vruchten kan voortbrengen. Zonder het licht en de warmte, die van den hemel komen, kunnen wij niet leven. Daar schitteren overdag de zon en 's nachts de maan en de sterren, terwijl binnen in de aarde alles donker en zwart is.

Op het eerste gezicht lijkt de aarde een min of meer plat vlak, waar de hemel zich overheen welft als een blauwe stolp, die rondom, aan den horizon, op de aarde rust. Wie echter zou willen trachten den horizon te bereiken, bemerkt al gauw, dat dit laatste maar schijn is. Hoe verder men gaat, des te meer wijkt ook de horizon achteruit; hij schijnt steeds even ver van ons verwijderd te blijven. Dat hemel en aarde daar aan elkander raken, moet dus of gezichtsbedrog zijn, of het vindt eerst plaats op onbereikbaar verren afstand. De hemel breidt zich dus eigenlijk niet zoozeer als een koepeldak over de aarde uit, maar meer als een hoogere verdieping of een soort zoldering. Deze indruk wordt vooral ook gewekt door den vorm van de wolken, die aan den horizon tot smalle strepen in elkaar geschoven zijn. De aarde zelf strekt zich voor den wandelaar onder het loopen steeds verder uit; over het algemeen blijft zij vlak, en als zij in

bergstreken stijgt, daalt zij toch weer aan den anderen kant van het gebergte. De waterspiegel ligt overal vlak, zooals de vloeibare aard van het water meebrengt; en aan de kusten verheft zich het vasteland weliswaar niet overal even hoog — hier als vlak strand, daar als steile rots — maar toch overal slechts weinig hoger dan het water.

Zoo doet zich de wereld aan den mensch op het eerste gezicht voor. Zoodra men echter over deze verschijnselen nadenkt, komen vanzelf verschillende vragen op. Hoe ver kan men op deze manier op de aarde doorloopen? Strekt zij zich eindeloos, altijd maar verder uit of heeft zij een grens? En als wij naar beneden altijd dieper in de aarde konden graven, zouden wij dan op een grens stuiten? Strekt zich de aarde naar beneden eindeloos uit of wat zou daar anders onder liggen? Als zij een begrensde lichaam is, waarom valt zij dan niet naar beneden, zooals alle zware dingen? Of rust zij op het een of andere fundament? Dergelijke vragen kwamen bij het eerste aanbreken van de geschiedenis ook al bij de primitieve menschen op en wij vinden ze in hun sagen en mythen, al naar den beperkten stand hunner ontwikkeling en kennis, meer of minder fantastisch beantwoord. Een onbegrensde aarde ging het voorstellingsvermogen van de primitieve volkeren te boven; elk volk hield haar voor een beetje grooter dan de landen en zeeën, die het zelf kende. De Grieken uit de klassieke oudheid, op wier kultuur de beschaving van West-Europa opgebouwd is, stelden zich de aarde als een langen rechthoek voor, waarvan de grenzen op matigen afstand rondom de Middellandsche Zee lagen, die zij zelf bevoeren; in het Zuiden was de woestijn de Sahara de grens, in het Noorden het onherbergzame woud- en steppengebied van Europa; in het Oosten begrensde het woestijnland achter Perzië en in het Westen de geheimzinnige, grenzenlooze Atlantische Oceaan de toenmaals bekende aarde. Over de vraag, hoe de aarde kon blijven rusten, is ons van een der vroegste Grieksche denkers, Thales uit de handelstad Milete, de opvatting overgeleverd, dat de aarde als een platte schijf in een oneindige zee dreef. In de heilige boeken van de Indiërs stond geschreven, dat de aarde op den rug van een olifant rustte, die zelf weer op den rug van een schildpad stond; wie echter de schildpad droeg, dat wist niemand. Men mag natuurlijk zulke primitieve opvattingen niet meten met den maatstaf der moderne logika. Zij zijn niet ontstaan, doordat voor een helder bewust vraagstuk een wetenschappelijke oplossing werd gezocht; zij zijn eenvoudig een bewijs, dat zulke vragen, zij het dan ook vaag en schemerig, reeds in den geest der menschen opkwamen. Er was nog geen aparte theoretische belangstelling, die de menschen aanzette tot opzettelijk stelselmatig waarnemen van den hemel, enkel met het doel om tot een helder weten te komen. Eerst, toen de praktische behoeften van het leven, — het vinden van den weg door de eindeloze zeeën en woestijnen, of de regeling van den kalender om den tijd van zaaien en oogsten te vinden — de menschen dwongen, eenigszins regelmatig op den loop der hemellichamen te letten, ontstonden daaruit mettertijd betere inzichten omtrent den bouw van de wereld.

Doordat wij nu achterna deze langzame, onbewuste ontwikkeling van de menschelijke kennis bewust nog eens doorloopen, zijn wij in staat met bepaald opzet die waarnemingen te verzamelen, die wij voor ons doel noodig hebben, en er onze gevolgtrekkingen uit te maken.

Onder alle verschijnselen is er geen zoo belangrijk voor ons, als de wisseling van dag en nacht. Zij beheerscht al het leven op aarde, zij regelt onze geheele levenswijze en zij is ons van jongs af aan bekend. Hoe ontstaat zij? Om deze vraag te beantwoorden behoeven wij slechts haar verschijnselen na te gaan, zooals die zich bij een onbewolkten hemel voordoen.

Als het nog donkere nacht is, ontstaat ergens aan den oostelijken horizon een bleek schemerlicht; het breidt zich uit, wordt langzamerhand sterker, de helderheid verbreidt zich over den geheelen hemel en neemt steeds toe; daardoor verdwijnt de duisternis op aarde en de slapende dierenwereld ontwaakt. In het Oosten is het licht het helderst; een rood schijnsel stijgt omhoog, dat in de wolken een prachtig kleurenspeel tooverst: het morgenrood. Eindelijk, als het reeds klaar dag is, duikt een eerste verblindende streep van de zon boven den horizon op; zij rijst snel en is spoedig als geheele schijf te zien. Zij stijgt niet loodrecht omhoog; aan de voorwerpen in de verte, die de rechte lijn van den horizon breken (boomen, gebouwen, bergen, enz.), kan men zien, dat zij zich bij het stijgen tegelijkertijd naar rechts beweegt; zij stijgt in schuine richting omhoog. Terwijl zij nu steeds hoger boven den horizon komt, steeds schuin naar rechts omhoog stijgend, trekt zij meer en meer op het Zuiden aan. Intusschen wordt het stijgen minder en houdt eindelijk geheel op, als de zon 's middags om 12 uur in het Zuiden staat. Zij heeft dan haar grootste hoogte bereikt, wat men het best aan de schaduwen kan zien, die dan het kortst zijn, en loopt alleen nog naar rechts. Dan begint zij gaandeweg te dalen, terwijl zij steeds verder naar het Westen komt; de schaduwen worden langer; in een schuin dalende baan nadert de zon den westelijken horizon en zinkt daarachter weg; zij gaat onder. Dezelfde schemeringsverschijnselen van den morgen herhalen zich in omgekeerde volgorde; de helderheid van den hemel verdwijnt, op de aarde wordt het donker, de natuurgeluiden verstommen. In het Westen vlamt het avondrood op, om spoedig weg te zinken en te verbleeken; wanneer het laatste flauwe lichtschijnsel verdwijnt, begint de nacht, waarin slechts de sterren en nu en dan de maan eenig licht brengen.

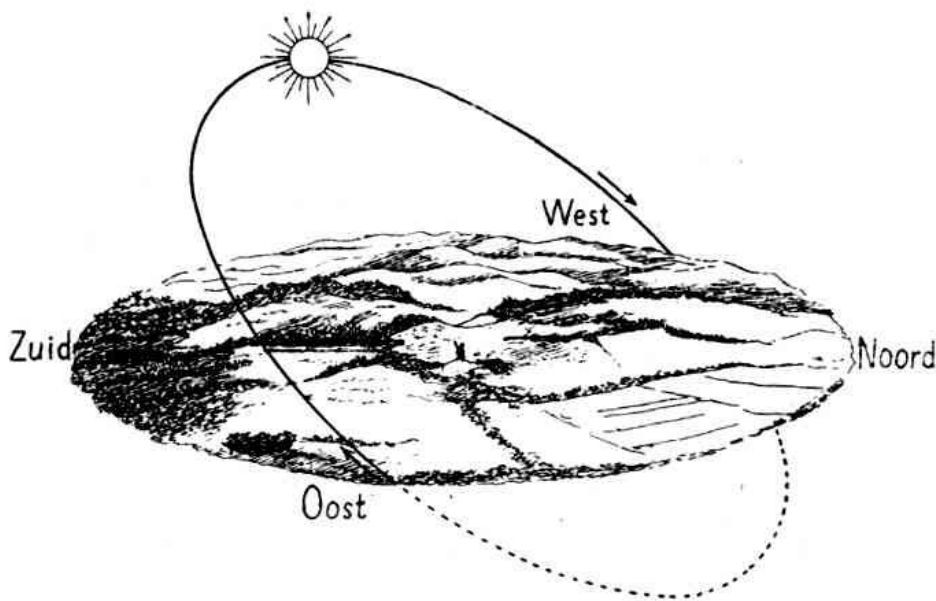
Waar is de zon gebleven?

Naar een Oudgrieksche sage reed Apollo iederen morgen met zijn gouden zonnewagen langs het hemelgewelf omhoog, om 's avonds naar den koelen westelijken Oceaan af te dalen; dan dreef hij 's nachts zijn rossen door het Noorden, waar hooge bergen hem aan het gezicht der menschen onttrokken, om de aarde heen, en zoo stond hij des morgens weer in het Oosten gereed om opnieuw zijn dagtaak te volbrengen. Volgens de Babylonische overleveringen, die ons in spijkerschrift bewaard zijn, trad de zon des avonds een hemelpoort in het Westen binnen, werd des nachts onzichtbaar door een lange gang gevoerd en trad den volgenden morgen uit de oostelijke hemelpoort weer te voorschijn. De Egyptenaren lieten haar des nachts in een boot naar de plaats van opgang terugroeien. Bij al deze primitief-dichterlijke opvattingen werd de zon in haar baan door een bewusten wil geleid; daarom lag er niets vreemds in de voorstelling, dat zij, eenmaal weer op den vlakken grond aangeland, langs den buitenkant der vlakke aarde op de een of andere manier naar het Oosten teruggebracht werd.

Voor ons latere menschen, die in de zon niet meer een bezielde wezen zien, komen zulke verklaringen echter niet in aanmerking. Wat wij in haar beweging zien, is geen doelbewust handelen van een zelfstandigen wil, maar regelmatigheid zonder bewustzijn. Volgen wij met ons oog den weg, dien zij in den loop van den dag aan den hemel beschrijft, dan zien wij inderdaad, dat deze geheel regelmatig, zonder bochten of hoeken, steeds rechthout loopt, totdat hij in het Oosten en Westen door den horizon eens afgesneden wordt. Hoe loopt hij nu verder? Wanneer wij den uitgestrekter arm op de zon richten, kunnen wij, door ons lichaam daarbij in het rond te draaien, haar baan als 't ware aan den hemel afteekenen, en dan kunnen wij deze beweging nog verder voortzetten, waar de zon zelf niet meer zichtbaar

is. Wij bemerken dan, dat deze baan in het Westen eerst nog verder schuin naar beneden gaat, dan steeds minder schuin wordt, naarmate zij verder naar het Noorden komt, in het Noorden het diepst onder den horizon komt en vandaar steeds sterker stijgend de plaats bereikt, waar de zon in het Oosten opkomt. Dat de zon zich inderdaad 's nachts zóó beweegt, daarvoor hebben wij nog een direkt bewijs in het verloop van de schemering. Wanneer de zon na haar ondergang niet verder omlaag zonk, dan moest ook de schemering altijd door even helder blijven. Aan het schemerlicht in het Westen, dat na zonsondergang steeds zwakker en kleiner wordt, en daarbij tegelijk nog iets naar rechts verschuift, zien wij duidelijk met onze oogen, dat de zon, na haar ondergang, schuin naar rechts steeds dieper onder den horizon wegzakt. En evenzoo toont ons het langzame opkomen van de morgenschemering, hoe de zon reeds voor haar opkomst schuin naar rechts uit de diepte naar den horizon opstijgt.

Wij komen dus tot deze eerste gevolgtrekking: de zon beweegt zich dagelijks in een schuinen kring om ons heen, dien zij regelmatig zonder onderbrekingen, vertragingen of afwijkingen doorloopt. Deze kring helt van het Zuiden naar het Noorden; in het Zuiden ligt hij het hoogst, in het Noorden het diepst; daarom klimt de zon aan den Oostkant naar boven en daalt zij aan den Westkant naar beneden. De horizon is geen hindernis voor de beweging van de zon zelf, hij is alleen maar een hindernis voor ons oog.



Dagelijksche zonnekring.

Voor de zon zelf heeft hij even weinig beteekenis als een muur, waar wij de zon achter weg zien komen.

In den schuinen stand van den zonnekring ligt de onmiddellijke oorzaak van de afwisseling van dag en nacht, en dus ook van de regelmatige wisseling van beweging en rust, van waken en slapen, van opzameling en afgifte van de levensenergie bij planten, dieren en menschen. De zon zelf heeft er geen schuld aan; de zon loopt onvermoeid en regelmatig altijd maar voort in haar baan. Maar uit het noordelijke deel van die baan kunnen ons haar stralen niet bereiken, omdat de donkere, ondoorschijnende aarde er voor zit. Het onderste deel van den zonnekring wordt door de aarde bedekt; de horizon snijdt den zonsweg in tweeën: in een noordelijk onzichtbaar nachtgedeelte en een zichtbaar zuidelijk daggedeelte.

Tegelijk blijkt hieruit, dat de horizon dus niet, zooals het ons eerst toescheen, een werkelijke grenslijn tusschen hemel en aarde kan zijn, waar de hemellichamen de aarde verlaten of weer op haar aanlanden. De baan van de zon gaat verder naar beneden door, en de horizon is alleen maar de plaats, waar zij achter

de aarde schuilgaat. Dan kan de aarde zich ook niet eindeloos naar alle zijden en naar beneden uitstrekken; zij moet ergens ophouden, anders zou de zon daarbuiten geen ruimte voor haar baan vinden. Deze eenvoudige overweging heeft reeds zeer vroeg de menschen tot de overtuiging gebracht, dat de aarde een begrens'd lichaam moet zijn.

3. DE JAARGETIJDEN.

De beweging van de zon en de wisseling van dag en nacht vinden niet altijd op dezelfde manier plaats; zij veranderen met het jaargetijde.

In den herfst gaat de zon juist in het Oosten op, ongeveer om 6 uur 's morgens, klimt tot ongeveer het midden van den hemel — halfweg tusschen den horizon en het toppunt, dat juist boven ons hoofd ligt — en gaat om 6 uur in het Westen onder. In den winter is het echter om 6 uur 's morgens nog pikdonker; eerst over 8 komt de zon op, niet in het Oosten, maar in het Zuidoosten. In de weinige uren, die zij tot aan den middag heeft, kan zij wel den korten weg van het Zuidoosten tot het Zuiden afleggen, maar geen groote hoogte bereiken; 's middags staat zij in het Zuiden slechts vrij laag boven den horizon. Spoedig heeft zij 's namiddags onder het dalen den horizon weer bereikt; vóór vieren gaat zij alweer onder, in het Zuidwesten, en een lange nacht van 16 uren begint.

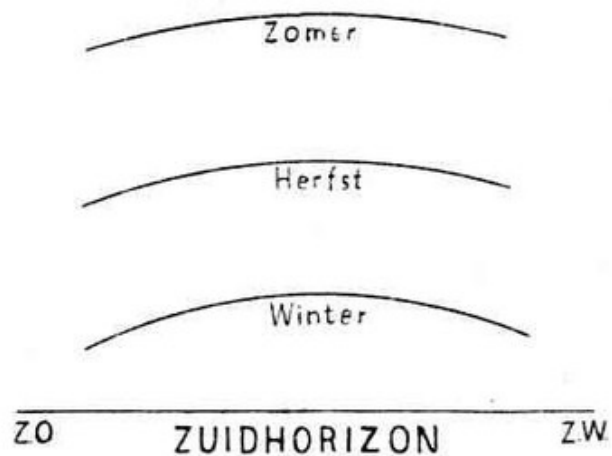
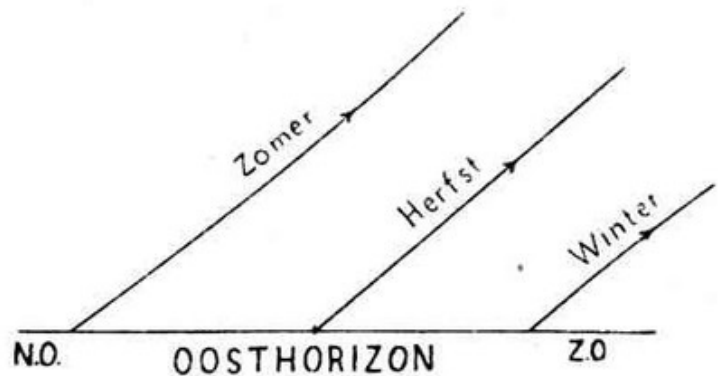
Het voorjaar vertoont hetzelfde beeld als de herfst. Nadert dan echter de zomer, dan ziet men geheel andere verschijnselen. Om de zon te zien opkomen, moet men vroeg opstaan; om 4 uur verschijnt ze, nu in het Noordoosten, boven den horizon; om 6 uur staat zij in het Oosten reeds vrij hoog en 's middags brandt zij in het Zuiden haast recht boven op ons hoofd. Snel wendt zij zich naar het westen, waar ze nog vrij hoog staat en wanneer ze schuin dalend in het Noordwesten eindelijk den horizon bereikt, is het 's avonds 8 uur geworden. Dan breekt een korte nacht van slechts 8 uren aan; maar donker wordt het in dezen zomernacht niet. Een helder schemerlicht beweegt zich van het Noordwesten door het Noorden naar het Noordoosten, de zon in haar onzichtbaren loop onder den horizon begeleidend; het toont ons, dat de zon zich ook te middernacht bij haar grootste diepte niet zeer diep onder den horizon bevindt. Een goed uur later wordt de schemering al sterker, op de aarde is het weldra helder licht en spoedig daarna komt de zon alweer op.

Deze met het jaargetij wisselende verschijnselen gaan geleidelijk in elkaar over. Wat wij den herfsttoestand noemen, waarbij de zon precies in het Oosten op- en precies in het Westen ondergaat, en waarbij dag en nacht even lang zijn, beide 12 uren, treffen wij slechts op één bepaalden dag aan, op 21 of 22 September, den dag der n a c h t e v e n i n g. Elken volgenden dag gaat de zon eenige minuten later op en eenige minuten vroeger onder; elken dag verschuiven de plaatsen, waar zij op- en ondergaat, iets meer naar het Zuiden toe, terwijl te gelijk de middaghoogte aldoor geringer wordt. In December worden de veranderingen steeds minder merkbaar, totdat ze op 21 December tot stilstand komen; dan is de middaghoogte van de zon het geringst; de plaatsen van op- en ondergang zijn het dichtst bij het Zuiden gekomen; we hebben dan den kortsten dag en den langsten nacht. Van af dien dag begint een verandering in omgekeerde richting, eerst langzaam en dan steeds sneller. Alle

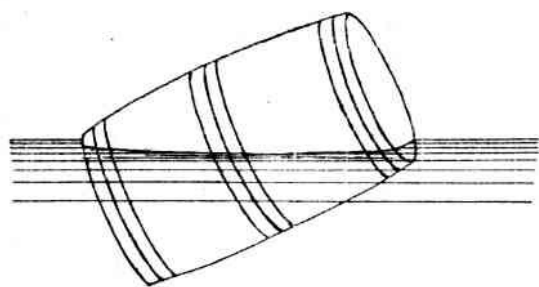
verschijnselen komen nu in omgekeerde volgorde weer terug. De zon komt steeds vroeger op en gaat steeds later onder; de plaats van opkomst verschuift gaandeweg van het Zuidoosten naar het Oosten en eindelijk naar het Noordoosten, de plaats van ondergang van het Zuidwesten naar het Westen en het Noordwesten; de middaghoogte van de zon wordt steeds groter. Op 21 of 22 Maart valt de v o o r j a a r s n a c h t e v e n i n g, waarbij alles juist zoo plaats vindt als op 21 September. Op 21 Juni komt deze beweging van de zon in het z o m e r k e e r p u n t opnieuw tot stilstand; dan staat de zon 's middags het allerhoogst, dan komt zij op zijn allervroegst op en gaat op zijn allerlaatst onder, beide zoo ver mogelijk naar het Noorden; dan is de dag het langst en de nacht het kortst. Daarna komen de verschijnselen van de vorige maanden weer in omgekeerde volgorde terug.

Waardoor ontstaat deze wisseling in de verschijnselen? Blijkbaar is de kring, dien de zon dagelijks om ons heen beschrijft, niet in elk jaargetijde dezelfde.

De zomerkring heeft zijn hoogste plaats zeer hoog in het Zuiden, niet zoo heel ver van het toppunt des hemels verwijderd, terwijl zijn laagste punt in het Noorden maar weinig onder den horizon ligt. De herfstkring en de lentekring hebben hun hoogste plaats in het Zuiden heel wat lager, en nog veel lager ligt de winterkring.

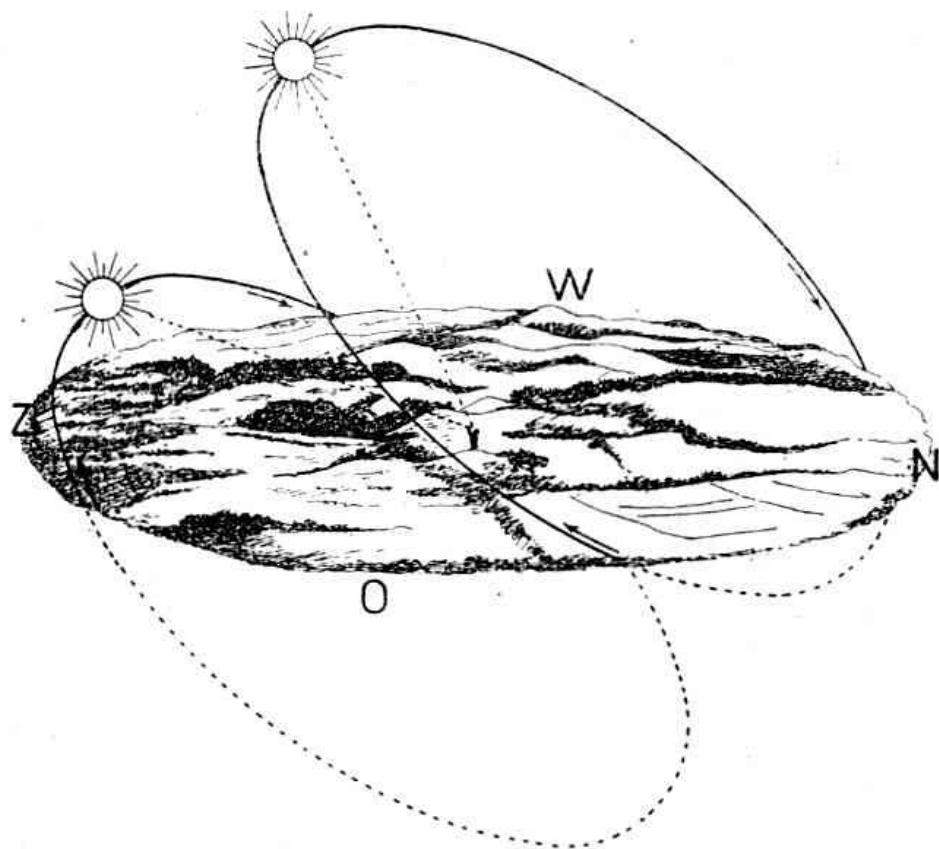


In het Oosten staan alle kringen even schuin rechts naar boven, zooals de bovenstaande figuur toont: de zomerkring meer naar het Noorden en hooger, de winterkring meer naar het Zuiden en lager. Wanneer men de ligging van den zomer- en den herfstkring opmerkzaam nagaat — b.v. door, evenals vroeger, met uitgestreken arm hun loop aan den hemel als het ware af te teekenen — dan ziet men dadelijk, dat zij even schuin en overal even ver van elkaar verwijderd zijn; en de winterkring ligt, zoover wij hem kunnen zien, weer overal even ver van den herfstkring af, dieper en zuidelijker.



Deze kringen liggen dus alle evenwijdig aan elkaar; ze liggen als de hoepels om een ton, die schuin in het water drijft: de hoogste zijn slechts weinig, de laagste bijna geheel onder water gedompeld. Op dezelfde manier als deze hoepels liggen de dagelijksche zonnekringen voor verschillende jaargetijden. De zomerkring ligt hoog en ver naar het Noorden toe; het onderste gedeelte, dat de horizon van hem afsnijdt en dat dus onzichtbaar blijft, is slechts klein, niet meer dan een derde part van het geheel en daarom blijft de zon 's zomers 16 uur lang schijnen. De herfstkring en de lentekring liggen minder hoog en meer naar het Zuiden toe; zij worden door den horizon in twee gelijke helften gesneden; daarom zijn dag en nacht dan even lang. De winterkring ligt nog lager en Zuidelijker; slechts een klein zichtbaar deel, niet meer dan een derde, steekt boven den horizon uit, terwijl de heele rest, waarvoor de zon 16 uren van den winternacht noodig heeft, onzichtbaar blijft.

De kring, dien de zon op den een of anderen dag van het jaar doorloopt, ligt nu ergens tusschen dezen zomer- en dezen winterkring en verplaatst zich een weinig van dag tot dag.



Zomer- en winterkring van de zon.

Hier hebben wij dus de wisselende verschijnselen van de zon tot een zeer eenvoudigen oorsprong teruggebracht: de dagelijksche zonnekring schuift in den loop van het jaar langzaam heen en weer, naar het Noorden omhoog, naar het Zuiden omlaag, terwijl hij daarbij steeds even schuin blijft; den 21^{sten} Juni komt hij in zijn hoogsten en noordelijksten, den 21^{sten} December in zijn laagsten, zuidelijksten stand, terwijl hij in Maart en September een middenstand inneemt.

Dit eenvoudige heen en weer schuiven van den zonnekring tusschen een hoogste en een laagste ligging is de oorzaak van alle verschillen, van den geheelen rijkdom aan afwisselende verschijnselen, die ons de jaargetijden toonen. De zon is de bron van alle warmte, van al het licht, van al het leven der levende wezens. De regelmatige wisseling van het ontspruiten in de lente, de bloeiende volheid van den zomer, het rijpen in den herfst en de kale, levenlooze dorheid in den winter is enkel en alleen een gevolg van de wisseling van warmte en kou. En deze wisseling wordt geheel en al door de beweging van den zonnekring bepaald.

Drie omstandigheden zijn het, die te zamen bewerken, dat het 's zomers heet en 's winters koud is: de meerdere of mindere schuinschheid der zonnestralen, hun verzwakking door de aardsche dampen en de lengte van den dag. In den winter staat de zon den geheelen dag zeer laag; haar stralen strijken vrij vlak over de aardoppervlakte, treffen haar dus zeer schuin en kunnen haar maar weinig verwarmen; bovendien worden ze nog sterk door de dampen van den horizon verzwakt. In den langen nacht verliest de aarde veel warmte, die zij naar buiten uitstraalt, vooral bij onbewolkten hemel; gedurende den korten dag kan de zon haar maar weinig warmte teruggeven en spoedig gaat dat beetje weer in den nacht verloren. Hoe geheel anders is het in den zomer! De zon stijgt snel boven de aardsche dampen uit en staat den ganschen dag hoog aan den hemel; daar hare stralen bijna loodrecht op de aarde vallen, wordt deze sterk verhit. Den geheelen langen dag straalt deze zonnegloed; de afkoeling door de nachtelijke uitstraling duurt slechts kort en spoedig begint de zon opnieuw aarde en

lucht te verhitten, Hetzelfde geldt voor de landen en zeeën om ons heen; dus zijn ook de winden, die vandaar naar ons toe waaien, in den zomer warmer en in den winter kouder.

Zoo laat zich de temperatuur wisseling in den loop van het jaar verklaren uit den gezamenlijken invloed van de hoogte van de zon — die op tweeërlei wijze werkt — en de lengte van den dag. Deze vinden echter allebei hun oorzaak in de verschuiving van den zonnekring. Omdat de zonnekring schuin op en neer schuift en daarbij steeds dezelfde helling behoudt, daarom moeten de wisselingen van zonshoogte en van lengte van den dag noodzakelijk hand aan hand gaan: hoe hoger de zon 's middags staat, des te langer is meteen de dag en des te grooter is de warmte.

Het is nu ook gemakkelijk te begrijpen, waarom in den zomer de grootste hitte en in den winter de grootste kou later vallen dan de tijden, waarop de zomerkring zijn hoogsten en zijn laagsten stand bereikte; evenzoo, waarom het overdag niet 's middags het warmst is, maar eerst om 2 uur 's namiddags. Wij hebben hier namelijk met twee verschillende werkingen te doen: de verwarming door de straling van de zon en de afkoeling door de uitstraling van de aarde. Door elkaar genomen moeten zij even groot zijn, want de aarde geeft alle warmte weer af, die de zon haar toezendt: anders moest ze immers steeds heeter worden. Zoolang tijdelijk de zonnestraling grooter is, moet de aarde warmer worden: wordt daarna het verlies grooter, dan daalt de temperatuur. 's Middags om 12 uur is de zonnestraling het grootst en omdat zij dan ook verder nog eenigen tijd het verlies overtreft, wordt de aarde voortdurend warmer. Eerst wanneer de uitstraling daardoor nog grooter wordt, terwijl tegelijk de kracht der zonnestraling afneemt, komt in den loop van den namiddag een oogenblik, dat zij juist even groot zijn. Dat is de tijd van de grootste hitte; eerst daarna begint het weer koeler te worden. Gedurende den ganschen nacht straalt de aarde warmte uit, zonder iets van de zon te krijgen; zij wordt dus steeds kouder en kort voor zonsopkomst is het 't koudste oogenblik van het etmaal.

Op dezelfde manier gaat het nu bij de wisseling der jaargetijden. Wanneer de zon den 21^{sten} Juni haar hoogsten stand bereikt heeft, gaat zij toch nog voort de aarde in den loop van elken dag meer te verhitten dan deze in den nacht kan afkoelen; gemiddeld wordt het dus nog warmer. Dat houdt eerst op, wanneer in Juli de nachten al wat langer beginnen te worden. Evenzoo wordt de winter na 21 December nog steeds kouder, zoolang de verwarming door de zon te gering blijft om het verlies in de lange nachten te dekken. Zoo komt het, dat wij door elkaar genomen de grootste koude in het midden van Januari, de grootste hitte in het midden van Juli hebben, en dat tusschen deze keerpunten de gemiddelde temperatuur in den loop van het jaar vrijwel regelmatig op en neer gaat.

4. DE STERRENHEMEL.

Wanneer de zon onder is, ziet men aan den nachtelijken hemel, wanneer het helder is, de sterren en somtijds de maan. Willen wij hun verschijnselen nagaan, dan kost dat wat meer moeite dan bij de zon, daar zij grootendeels plaats vinden, wanneer de menschen slapen. Toch kan men op de lange winteravonden, een enkele maal door waarnemingen in de latere uren van den nacht aangevuld, alle verschijnselen leeren kennen, die noodig zijn om ons een juist inzicht in de bewegingen aan den hemel te

verschaffen.

Wij beginnen met de *maan*. Letten wij op de plaats, waar zij zich op den een of anderen tijd bevindt, en kijken dan een paar uur later nog eens, dan bemerken wij, dat zij zich aan den hemel verplaatst heeft, en wel juist zoo, als de zon zich op dezelfde plaats ook beweegt. Zoo ziet men nu en dan bij het begin van een winteravond de volle maan in het Noordoosten opkomen; in schuine richting klimt zij aan den hemel omhoog, te middernacht staat zij hoog in het Zuiden boven ons hoofd, en kort voor het aanbreken van den dag ziet men haar laag in het Noordwesten neerdalen — alles precies zoo, als de zon het 's zomers doet. Staat zij op een herfstavond als een sikkel laag in het Zuiden, dan daalt zij na weinige uren in het Zuidwesten onder den horizon, evenals de winterzon het doet. Bij de maan is dat alles vrij gemakkelijk waar te nemen, omdat men haar ook overdag kan zien, als een bleek wit wolkje, dat door zijn scherpe begrenzing en zijn onbeweeglijkheid van de werkelijke wolken te onderscheiden is. Het is niet zoo heel moeilijk, zich ervan te overtuigen, dat hare banen aan den hemel nauwkeurig met die van de zon overeenstemmen: gaat zij juist in het Oosten op, dan staat zij 6 uur later in het Zuiden op een gemiddelde hoogte en gaat zij nog weer 6 uur later in het Westen onder; komt zij in het Zuidoosten op, dan gaat zij in het Zuidwesten onder, bereikt in het Zuiden slechts een geringe hoogte en blijft slechts 8 uren zichtbaar; enz. Op welke tijden van den dag en het jaar zij deze verschillende kringen doorloopt, daarom bekommeren wij ons nu nog niet; dat zullen wij later nauwkeuriger nagaan. Voor het oogenblik stellen wij ons met deze wetenschap tevreden: de maan loopt in juist zulke schuine kringen om ons heen als de zon.

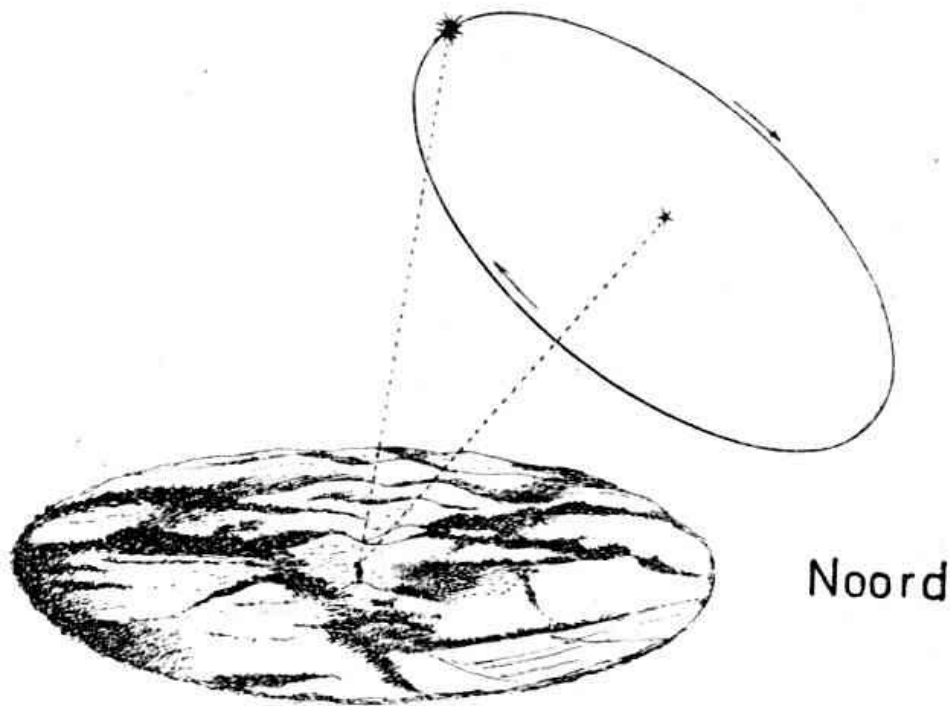
Hoe staat het nu met de *sterren*? Richten wij op een avond ons oog op een heldere ster en kijken wij een paar uur later weer, waar zij dan staat, dan zien wij, dat ook zij zich juist zoo beweegt als de zon, wanneer die zich op dezelfde plaats bevindt. Sterren in het Oosten klimmen schuin naar rechts omhoog, in het Zuiden bewegen zij zich alleen naar rechts en in het Westen dalen zij schuin rechts naar beneden.

Wanneer echter de morgen aanbreekt, verdwijnen de sterren. Zij vluchten van den hemel weg, zooals een dichter uit de oudheid het uitdrukte. Waar zijn zij gebleven? Zijn zij werkelijk verdwenen of weggevlucht? Wanneer men een heldere ster 's morgens meer en meer ziet verbleeken en steeds kleiner worden tegen den blauwen hemel, dan dringt zich vanzelf de gedachte op, dat zij er nog altijd is, al zien wij haar tegen den hel lichtenden hemelgrond niet meer. Wanneer des avonds een fijn lichtpuntje opduikt en bij toenemende donkerheid aldoor schitterender wordt, dan moet het er te voren ook al geweest zijn. Niet de ster zelf ontstaat en wordt sterker, maar alleen haar indruk op ons oog.

Het is ook gemakkelijk te begrijpen, dat de nachtelijke sterren overdag niet zichtbaar kunnen zijn. Bij helderen maneschijn zien wij 's nachts ook maar weinig sterren; de geheele hemel wordt door de maan flauw verlicht, waardoor de kleinste sterren onzichtbaar worden en slechts de heldere zeer verzwakt overblijven. Was de maan nog schitterender, dan zou zij ook nog helderder sterren onzichtbaar maken. De zon overtreft de maan duizenden malen in glans; zij verlicht den hemel zoo sterk, dat alle sterren onzichtbaar worden. Slechts een enkele, de allerhelderste, de avondster, is nu en dan, wanneer men haar plaats aan den hemel ongeveer kent, ook overdag als een flauw lichtpuntje tegen het felle blauw te zien. Al lijkt het dus op het eerste gezicht wat vreemd, toch moeten wij aannemen, dat ook overdag de hemel vol sterren zit, die alleen door de felle verlichting van den hemel door de zon voor ons onzichtbaar zijn. Wanneer iemand zich soms door de eenvoudige logika van deze gevolgtrekking niet laat overtuigen, dan kan men hem de feiten voorhouden, dat met een verrekijker de sterren ook bij zonneschijn te zien zijn en dat bij een zonsverduistering overdag overal aan den hemel sterren opduiken.

Hoe de sterren nu overdag bewegen, kunnen wij niet zien; maar er is toch wel geen twijfel mogelijk, dat ze zich dan evenzoo bewegen als des nachts of zooals zon en maan overdag. Zoo zien wij b.v. in een nacht een ster dicht bij de maan staan; des morgens wordt de ster onzichtbaar, maar de maan zien wij als een bleek wolkje haar kring verder doorloopen; moeten wij dan niet aannemen, dat de ster nog altijd in haar buurt blijft en met haar meeloopt? Wij zien van de banen der sterren slechts gedeelten; maar in deze deelen bewegen zij zich steeds juist zooals de zon en maan het ook op deze plaatsen zouden doen; en telkens vinden wij een ster den volgenden avond op dezelfde plaats van den hemel terug, waar zij den vorigen avond stond. Dan is geen andere gevolgtrekking mogelijk als deze: ook de sterren bewegen zich van het Oosten naar het Westen in juist zulke schuine kringen om ons heen, als de zon en de maan. Van al deze kringen ligt het hoogste punt in het Zuiden, het laagste in het Noorden; iedere ster bereikt dus in het Zuiden haar grootste hoogte. Hoe hoger de kring in het Zuiden ligt, des te kleiner is het deel, dat de horizon in het Noorden van hem afsnijdt en des te grooter deel van haar omloop blijft de ster zichtbaar; hoe geringer haar hoogte in het Zuiden is, des te korter blijft zij boven den horizon en des te verder liggen de plaatsen van opkomst en ondergang naar het Zuiden toe. Het onderscheid tusschen de zon en de sterren bestaat alleen hierin, dat een ster altijd precies denzelfden kring doorloopt, terwijl deze bij zon en maan verschuift en wisselt.

Bovendien toonen de sterren nog eenige nieuwe verschijnselen, omdat zij ook op plaatsen van den hemel staan, waar zon en maan nooit komen. Staat een ster in het Zuiden nog lager, dan de zon in den winter staat, dan is van haar kring een nog kleiner stuk zichtbaar en zij blijft slechts een nog korter tijdje boven den horizon. Omgekeerd bij sterren, die in het Zuiden hoger staan dan de zomerzon; hun kring ligt overal nog boven den zomer-zonnekring en de horizon snijdt er in het Noorden slechts een klein deel af. Gaat men nu nog hoger en neemt men een ster, die in haar hoogsten stand recht boven ons hoofd staat, dan ligt haar kring heelemaal boven den horizon. Zulk een ster gaat niet onder en komt niet op: van haar hoogste plaats in het toppunt des hemels daalt zij eerst wat naar het Westen, draait bij het dalen steeds meer naar rechts naar het Noordwesten toe, haar baan wordt steeds minder steil, steeds vlakker en zij bereikt in het Noorden haar laagsten stand iets boven den horizon; dan gaat zij naar het Noordoosten, steeds schuiner omhoog klimmend, en nadert eindelijk weer van uit het Oosten het toppunt. Zulk een ster beschrijft aan den noordelijken hemel een vollen kring, dien wij geheel kunnen zien. Het is, alsof ze zich in een cirkel om een middelpunt beweegt, dat zich aan den noordhemel iets boven het midden tusschen horizon en toppunt bevindt.



Baan van een ster in het Noorden.

Let men op de verschillende sterren in het Noorden, dan bemerkt men, dat dit voor alle geldt. Iedere ster aan den noordelijken hemel beschrijft dagelijks een kring om dit middelpunt, dat men de hemelpool noemt; de kringen zijn natuurlijk des te kleiner, hoe dichter de sterren bij de pool staan. En men bemerkt dan een vrij heldere ster, die oogenschijnlijk steeds onbeweeglijk op dezelfde plaats blijft staan; zij staat zeer dicht bij de pool en wordt Poolster of Noordster genoemd. Alle andere sterren schijnen om haar als middelpunt te draaien.

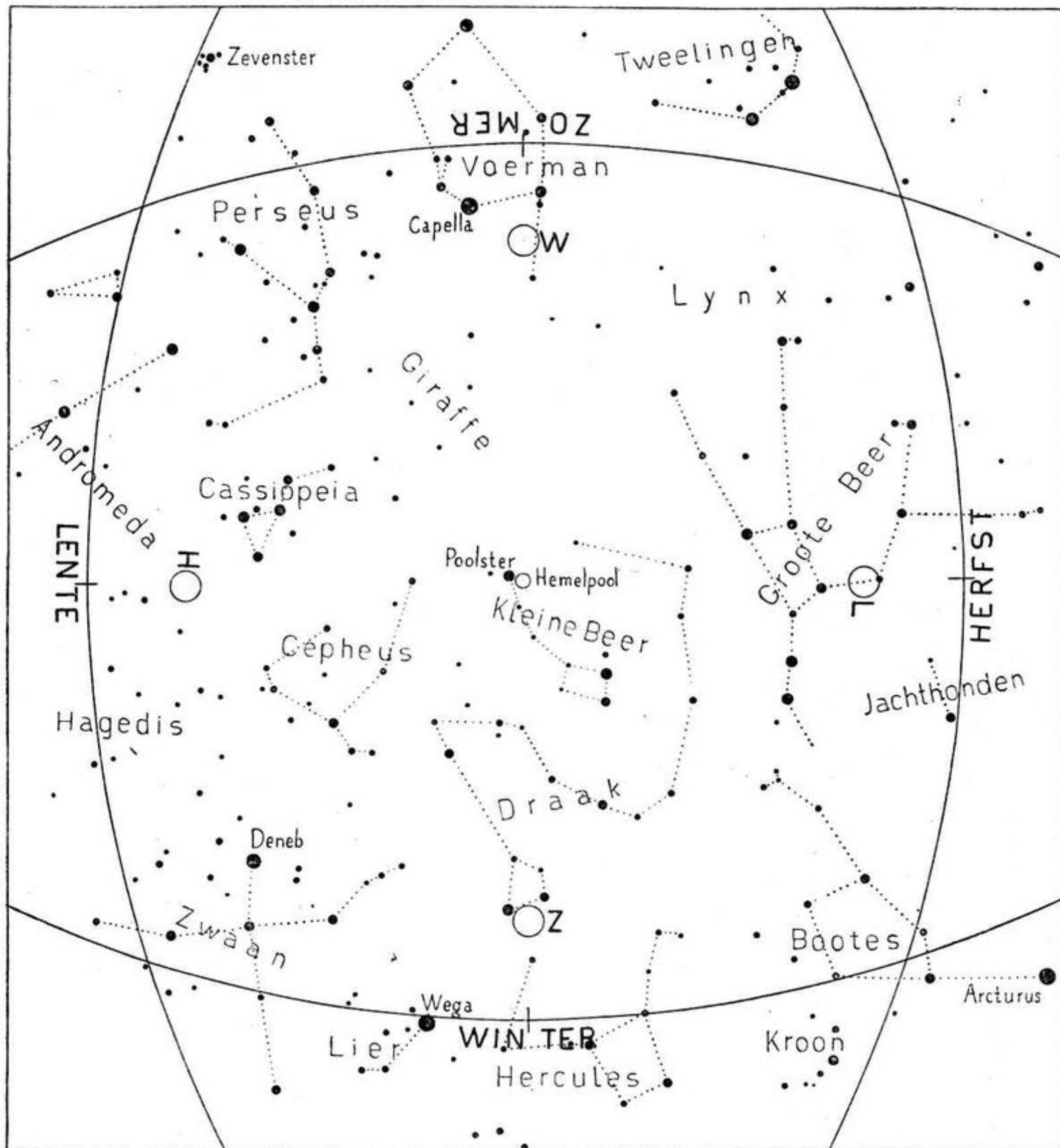
Wij hebben nu bij alle hemellichamen dezelfde soort beweging gevonden; alle bewegen zich in kringen, die schuin van het Zuiden naar het Noorden liggen. Dat wijst op een gemeenschappelijke oorzaak voor hun beweging. Om deze te vinden moeten wij eerst onze aandacht aan de afzonderlijke sterren wijden.

5. DE STERREBEELDEN.

Wanneer wij de sterren aan den nachtelijker hemel beschouwen, zien wij, dat zij groepen en figuren met elkaar vormen, die steeds onveranderlijk hun vorm behouden. De merkwaardigste onder deze zijn den menschen reeds in den vroegsten tijd opgevallen, toen zij voor 't eerst op den hemel gingen letten; zij kregen bijzondere namen evenals ook enkele aparte sterren. In de oude Grieksche heldenliederen van Homerus worden Orion, de Boötes en de Wagen vermeld en evenzoo de Hondster Sirius, die voor duizenden jaren in Egypte vereerd werd. Overal zijn de primitieve volken met eenige opvallende stergroepen bekend; hier te lande kennen de boeren onafhankelijk van alle schoolonderwijs de Zevenster en den Wagen. Waar de menschen zich dan meer en geregelder met den sterrenhemel bezighielden,

ontstond de behoefte om ook aan andere groepen namen te geven, die, al naar een uiterlijke gelijkenis of een mythologischen samenhang, aan de dierenwereld, de menschenwereld of de sagenwereld ontleend werden. Zoo zag men in een kruis van 5 sterren een vliegenden vogel, b.v. een zwaan; in een smallen, rechtopstaanden vierhoek een menschelijke gestalte. De Babyloniërs hebben reeds meer dan 10 eeuwen v. Chr. vele sterrebeelden en aparte sterren van namen voorzien; de Grieken uit de klassieke oudheid hebben deze gedeeltelijk van hen overgenomen en aangevuld. De moderne wetenschap heeft deze verdeeling van de sterrenwereld in sterrebeelden bewaard, omdat dit een uitstekend middel is om die anders zoo onoverzichtelijke, onregelmatige massa te ordenen, vlug den weg te vinden aan den hemel en ook de kleinere sterren door een letter of een nummer in zulk een sterrebeeld aan te duiden. Omdat het moderne West-Europa zijn wetenschap voortgebouwd heeft op de grondslagen, die aan de Grieksche oudheid ontleend waren, zijn de meeste nu gebruikelijke namen aan de Grieksche goden- en sagenwereld ontleend; andere volken, zooals de Chineezers, hebben geheel andere sterrebeelden en namen.

Wanneer wij nu met behulp van sterrekaarten de voornaamste sterrebeelden en sterren willen leeren kennen, moeten wij wel op een omstandigheid letten, die ons anders licht in de war zou kunnen brengen. Wij treffen aan den hemel nu en dan heldere sterren aan, die niet op de kaarten staan en waardoor een sterrebeeld er geheel anders uit ziet dan op de kaart. Deze sterren konden echter op de kaart niet opgenomen worden, omdat zij geen vaste plaatsen hebben, maar voortdurend tusschen de andere sterren ronddwalen. Het zijn de zoogenaamde *d w a l - s t e r r e n*, of, naar het Grieksch, *P l a n e t e n* (planeta beteekent "de rondzwervende"), en tot hen behooren de allermooiste en schitterendste sterren.



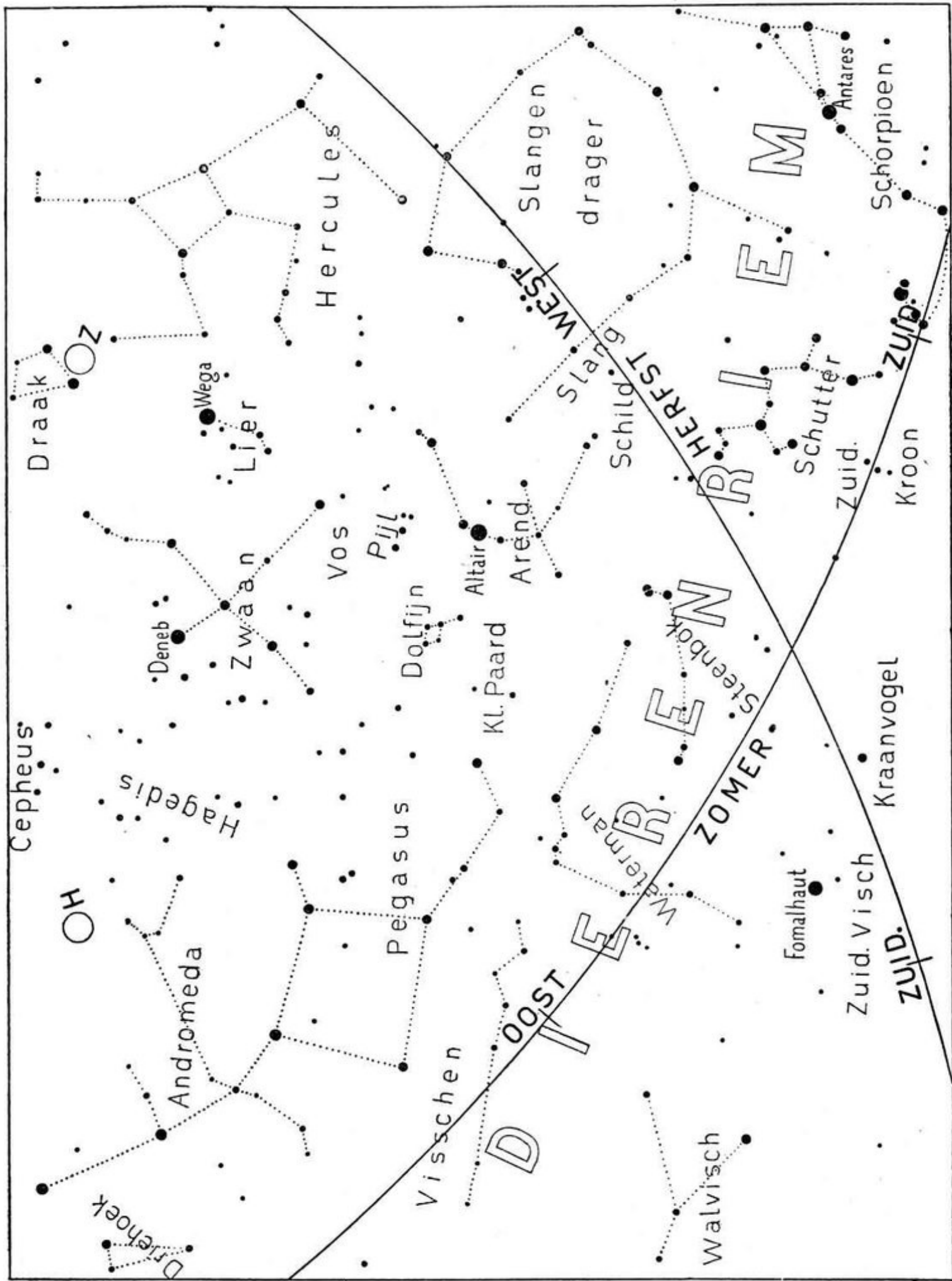
Kaart I. Noordelijke hemel.

Zij bevinden zich altijd in een smalle strook van den hemel, die op de kaarten als "dierenriem" aangeduid is; vinden wij dus ergens in deze strook een heldere ster, die op de kaart ontbreekt, dan is het stellig een planeet, en na eenige dagen of weken zullen wij haar op een andere plaats vinden.

Wij beginnen onze beschouwing met den **herfst**, laten wij zeggen in Oktober 's avonds om 10 uur, en

wij richten het oog eerst naar het Noorden. Wat wij daar zien, toont ons kaart I, wanneer men de kaart zóó houdt, dat het woord "herfst" onder komt; de boog, waar dit woord onder staat, stelt den horizon voor, terwijl het toppunt des hemels recht boven ons hoofd door een cirkeltje met de letter H wordt aangeduid. Juist in het Noorden op geringe hoogte staat de *W a g e n*, of, zooals de sterrekundigen hem noemen, de *Groote Beer*, een figuur van 7 heldere sterren, die wel het meest van alle sterrebeelden bekend is. Bij de boeren heet hij vaak de *P l o e g*, wat zijn vorm nog veel treffender weergeeft. De dissels of de staart is naar links gekeerd; de beide meest rechtsche sterren van den vierhoek wijzen naar boven bijna precies naar de *P o o l s t e r*. Van de Poolster gaat links naar beneden een boog van kleine sterretjes, die ook in een vierhoek eindigt; wegens de gelijkenis in vorm heeft men dit beeld de *Kleine Beer* gedoopt; de Poolster vormt de punt van zijn staart. Tusschen de beide Beren en dan links naast den Kleinen Beer slingert zich een sterrenrij, de *D r a a k*, die naar het Noordwesten toe in een kleinen scheeven vierhoek eindigt. Links daarnaast staat in het Noordwesten de heldere ster *W e g a* in de *L i e r*. De kleinere sterren links boven de Poolster vormen het sterrebeeld *C e p h e u s*; en recht boven ons hoofd staat als een driehoek met een staart of ook als een misvormde letter W het opvallende beeld *C a s s i o p e i a*.

Gaan wij nu tot de sterrebeelden aan den westelijken hemel over, dan gebruiken wij kaart II, die wij zóó houden, dat de lijn, die den zuidwestelijken horizon voor den herfst aanduidt, naar onderen ligt; de plaats H duidt het toppunt van den hemel boven ons hoofd aan. Juist in het Westen staat de *Z w a a n* als een kruis van sterren, de heldere ster aan den staart boven, de beide vleugels links en rechts, en den kop diep naar beneden. Een flauwe lichtband, grillig uit wonderbare wolkjes en banden samengesteld, de Melkweg, loopt door dit beeld heen, naar boven naar Cassiopeia, naar beneden naar den *A r e n d* met de heldere ster *A l t a i r*.

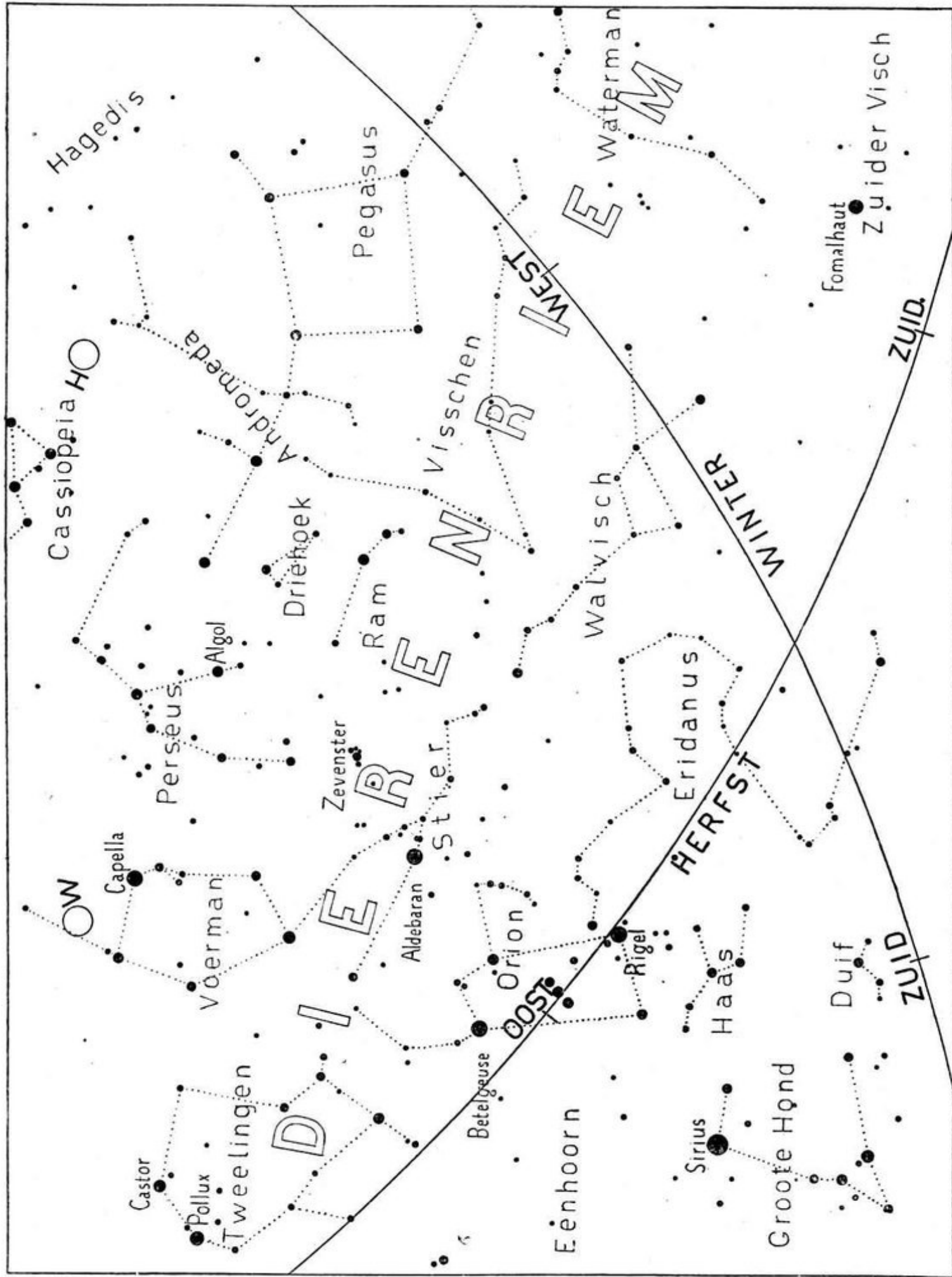


Kaart II. Zuidelijke hemel in zomer en herfst.

Meer naar het Zuiden toe liggen in den Dierenriem de uit kleine sterretjes bestaande beelden *S t e e n b o k* en *W a t e r m a n*, en daaronder, laag in het Zuiden, de heldere maar steeds door de dampen van den horizon verzwakte ster *F o m a l h a u t*. Hoog in het Zuiden ligt als een groot opvallend vierkant het dichterspaard *P e g a s u s* op zijn rug, met den kop naar rechts gekeerd.

Met behulp van kaart III, waar een getrokken lijn den Zuid-oosthorizon voor den herfst voorstelt en de letter H weer het toppunt, zien wij, dat aan den vierhoek van Pegasus zich naar het Oosten de sterrenrij van *A n d r o m e d a* aansluit; daar beneden staat de *R a m* en nog lager in het Zuidoosten de *W a l v i s c h*, alle met minder heldere sterren. Vlak in het Oosten klimt naast *A n d r o m e d a* *P e r s e u s* naar boven. Onder hem ligt een dicht opeen gedrongen hoopje sterren, de *Z e v e n s t e r* (of de *P l e i a d e n*) en de roodachtige *A l d e b a r a n*, waaraan een groepje kleine sterren in de gedaante van een liggende V vastzit; beide groepen behooren tot den *S t i e r*. Onder den Stier duikt in het Oosten *O r i o n* juist boven den horizon op, door zijn rijkdom aan heldere sterren het schoonste sterrebeeld; links staat de schitterende roode *B e t e l g e u s e*,¹⁾ rechts de even heldere blauwwitte *R i g e l*; in het midden staan de *D r i e K o n i n g e n*, de gordel van Orion, een rij van drie iets minder heldere sterren, die in een rechte lijn vlak boven elkaar staan. Links van Orion staan laag in het Noordoosten de *T w e e l i n g e n*; daarboven schittert in het Noordoosten in het sterrebeeld de *V o e r m a n* als helderste ster de geelachtige *C a p e l l a*, die van de Poolster gescheiden is door een groote leege ruimte zonder een enkele heldere ster.

¹⁾ De meeste sternamen zijn min of meer verminkte Arabische woorden. Betelgeuse komt van *bed-el dsjaoedza* == schouder van den reus; Rigel van *ridsjl-el-dsjaoedza* == voet van den reus; Wega komt van *el-waki* == de vallende (arend). Altair van *el-tair* == de vliegende (arend); Algol van *râs-el-goel* == kop van het monster, Deneb beteekent staart, *el-debaran* (*Aldebaran*) == de (op de Zevenster) volgende; *foem-el-hoet* (*Fomalhaut*) == bek van den visch, *achir-nahr* (*Achernar*) == einde van de rivier. Aan het Grieksch zijn ontleend: *Sirius* (*seirios* == de vurige, brandende), *Arkturus* (*arkt-oeros* == berenhoeder), *Antares* (beteekent aan *Ares* (*Mars*) gelijk), *Procyon* (aan den hond, nl. *Sirius*, voorafgaand). Latijnsche namen zijn: *Capella* (het geitje), *Spica* (de korenaar) en *Regulus* (de vorst).



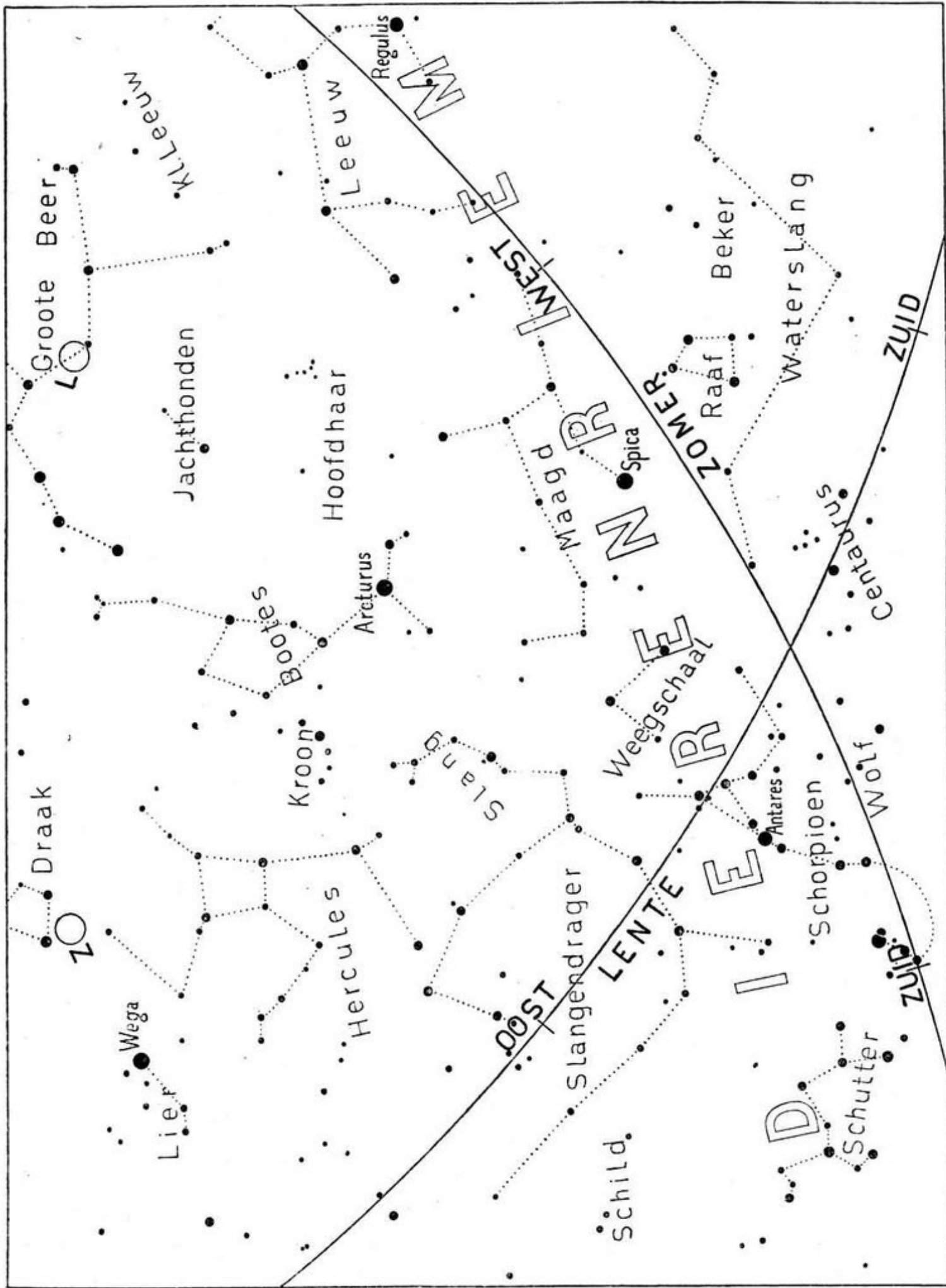
Kaart III. Zuidelijke hemel in herfst en winter.

Beschouwen wij nu den hemel in den **winter**, b.v. in Januari 's avonds om 10 uur. Wij vinden dan in het Noorden weer dezelfde sterrebeelden als in den herfst, alleen in een anderen stand, zooals kaart I ze toont, wanneer men het woord "winter" beneden houdt. **W e g a** is verdwenen, het vierhoekje van den **D r a a k** staat beneden, en links daarvan, op dezelfde hoogte, bevindt zich **D e n e b**, de helderste ster in den Zwaan. De **G r o o t e B e e r** klimt in het Noordoosten omhoog, **C a p e l l a** schittert recht boven ons hoofd en **C a s s i o p e i a** daalt in het Noordwesten naar beneden. In het Westen zien wij met behulp van kaart III, waar **W** het toppunt van den hemel aanduidt, de sterrebeelden **P e r s e u s**, **A n d r o m e d a**, **P e g a s u s**, **R a m**, **W a l v i s c h**, die wij van den herfsthemel kennen, naar beneden dalen. In het Zuiden staat nu een overvloed van de mooiste sterrebeelden met de helderste sterren; iedereen kent de fonkelende pracht van de vriezende winternachten. In het midden, recht in het Zuiden, staat de reus **O r i o n**, als een opstaande rechthoek, met de roode **B e t e l g e u s e** aan den linkerschouder boven, de witte **R i g e l** aan den rechtervoet beneden. Een krans van heldere sterregroepen ligt in een wijden kring om hem heen. Rechts boven staat de **S t i e r** met de roodachtige **A l d e b a r a n** en het **Z e v e n g e s t e r n t e**; juist boven staat de **V o e r m a n** met de geelachtige **C a p e l l a** hoog boven ons hoofd; schuin links boven ziet men de **T w e e l i n g e n** met de beide heldere sterren **C a s t o r** en **P o l l u x**; vlak links staat de eenzame **P r o c y o n** in den **K l e i n e n H o n d**, en schuin links beneden de helderste van alle vaste sterren, de blauwachtig-witte hondster **S i r i u s**, die met een aantal lager liggende sterren het sterrebeeld de **G r o o t e H o n d** vormt.

Onderzoeken wij met behulp van kaart IV den Oostelijken hemel verder, zoo zien wij daar als voornaamste sterrebeeld den **L e e u w** met een vrij heldere ster **R e g u l u s** omhoogstijgen. Rechts daarvan steekt de **W a t e r s l a n g** haar kop omhoog. Boven den Leeuw staan in het Noordoosten een aantal kleinere sterren, die tot den Grooten Beer behooren.

Het **voorjaar** toont ons om 10 uur 's avonds in April in het Westen (zie kaart IV, waar L het toppunt van den hemel aanduidt) de wegzinkende achterhoede van de heldere wintersterren. Orion is bezig onder te gaan; nadat de Drie Koningen als een liggend rijtje ongeveer tegelijk met Sirius verdwenen zijn, blijft alleen Betelgeuse nog eenigen tijd zichtbaar. Boven haar staan de Tweelingen, links daarnaast schuift Procyon achter hen aan, en rechts van allen staat de Voerman met Capella in het Noordwesten. Van het Zuidwesten door het Zuiden naar het Zuidoosten strekt zich als een lange reeks van kleinere sterren de Waterslang uit; daarboven staat hoog in het Zuiden de Leeuw, waarvan de mooiste ster Regulus lang niet de helderheid van de wintersterren bereikt. Laag in het Zuiden valt ons een kleine scheeve vierhoek op van matig heldere sterren: de Raaf: links daarboven (van hier af gebruiken wij voor den oostelijken hemel kaart V) bevindt zich het sterrebeeld de Maagd met een enkele heldere ster Spica (de Korenaar), en nog hoger aan den hemel staat een vreemd vertakt hoopje kleine sterretjes, het Hoofdhaar van Berenice. Prachtig schittert hoog in het Zuidoosten de roodachtiggele Arcturus, de helderste ster van den Boötes, en iets lager staat daarnaast een boog van kleine sterren, de Kroon, met Gemma (de Edelsteen) als helderste tusschen de andere. Als een bochtige sterrenreeks stijgt daaronder de Slang naar boven. Een groot aantal meest kleinere sterren in het Oosten vormen het sterrebeeld Hercules, en daarnaast vinden wij in het Noordoosten de Lier met de heldere, witte Wega. De Noordelijke hemel toont ons het beeld van kaart I met het woord "Lente" beneden. Hoog boven ons hoofd staat de Groote Beer, laag in het Noorden dicht bij den horizon Cassiopeia; in het Noordwesten daalt Capella naar beneden, in het Noordoosten stijgt Wega omhoog.

De **zomer**avonden in Juli en Augustus toonen ons, wanneer de schemering verdwenen is, een pracht van sterren, die niet minder is, maar van een andere, weekere natuur dan de strakke, tintelende felheid van den winterhemel. Nu is het vooral de teere lichtband van den Melkweg, die met zijn wonderbaar schilderachtigen en grilligen vormenrijkdom van heldere nevelwolken, lichtstreden, donkere holen en groeven het oog treft.



Kaart V. Zuidelijke hemel in lente en zomer.

In zijn loop van het noordoosten naar het Zuiden wordt hij door een reeks van mooie sterrenrijke beelden begeleid, al is ook het aantal der allerhelderste sterren niet zoo groot als aan den winterhemel. In het Noordoosten stijgt *Cassiopeia* omhoog; aan haar sluiten zich de kleine sterren van *Cepheus* aan, en daarnaast zweeft, hoog in het Oosten, als een groot sterrenkruis de *Zwaan*. Op zij naast den Melkweg schittert hoog boven ons hoofd *Wega* in de *Lier*. Meer naar het Zuiden toe (zie kaart II, waar *Z* het toppunt van den hemel beduidt) volgt de *Arend* met de heldere ster *Altaïr*. Beneden den *Arend* ligt een opvallende heldere melkwegvlak in den vorm van een schild, die aan een sterrebeeldje met enkel kleine sterretjes dezen naam heeft gegeven; en laag in het Zuiden toont ons de *Schutter* een door de dampen van den horizon sterk verzwakt beeld van een opgehoopt mengsel van sterren en vlokkige lichtnevels. Rechts daarnaast (zie kaart V) staat het sterrenrijke beeld van den *Schorpioen* met de roode *Antares*, waar, door de nabijheid van den horizon, van het melkweglicht nauwelijks meer iets te zien is. Boven den *Schorpioen* bevindt zich aan den Zuidwesthemel de *Slang* met den *Slangendrager* en daarboven *Hercules*, alle zonder opvallende sterren. Hoog in het Westen schittert als helderste ster van den zomerhemel de roodachtige *Arcturus* in den *Boötes*; diep onder hem gaat *Spica* juist onder. Hoog in het Noordwesten daalt de *Groote Beer* naar beneden; recht in het Noorden strijkt *Capella* vlak boven den horizon langs. In het Noordoosten stijgen eenige sterren van *Perseus*, in het Oosten *Andromeda* en daarbij aansluitend in het Zuidoosten de vierhoek van *Pegasus* boven den horizon omhoog.

6. DE HEMELBOL.

De beschouwing van de sterren en de sterrebeelden aan den hemel heeft ons, naast vele andere later te pas komende uitkomsten, dit eerste belangrijke feit leeren kennen: de figuren, die de sterren met elkaar vormen, behouden steeds onveranderlijk dezelfde gedaante — natuurlijk afgezien van de planeten. Dit geldt zelfs voor duizenden van jaren, want de Grieksche astronomen der oudheid zagen de sterrebeelden precies zoo, als wij ze nu zien. Wat beteekent deze onveranderlijkheid?

Wanneer wij in het donker in de verte eenige lichtjes zien, die zich bewegen, maar daarbij altijd ten opzichte van elkaar denzelfden stand behouden en te zamen op en neer of heen en weer gaan, dan besluiten wij, dat zij op een of andere manier aan elkaar vast moeten zitten, als deelen van een enkel bewegend voorwerp. Zien wij nu op dezelfde manier, dat b.v. de sterren van den *Groote Beer* of van *Orion* bij hun beweging steeds dezelfde plaats ten opzichte van elkaar behouden, dan ligt ook hier dezelfde gevolgtrekking voor de hand: de sterren gaan niet zelfstandig, onafhankelijk van elkaar, ieder haar eigen bepaalden weg, maar zij zitten aan elkaar vast en gaan gezamenlijk hun weg. Dat geldt natuurlijk niet alleen voor een enkel sterrebeeld, maar ook voor alle te zamen; als een vast met elkaar verbonden geheel cirkelen ze om ons heen. Zij zijn òf door onzichtbare stangen met elkaar verbonden, òf zij zitten alle aan een hemelbol vastgehecht.

Deze voorstelling, dat de sterren evenals "gouden spijkers aan een blauwen koepel" vastgehecht zijn aan een hemel, die zich langzaam beweegt en ze daarbij alle meeneemt, heeft zich reeds zeer vroeg aan de

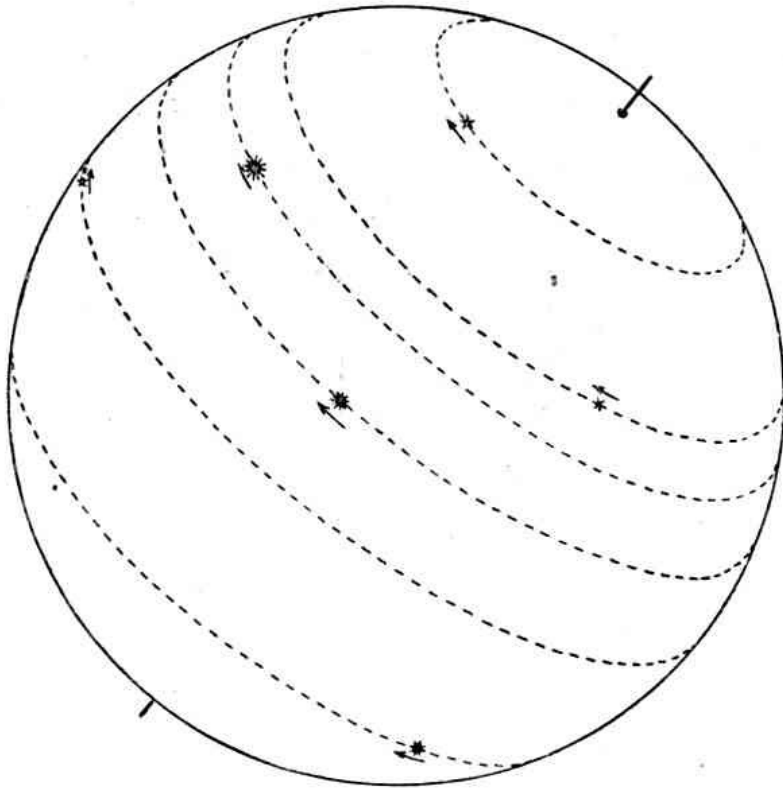
mensen opgedrongen. Zij sluit zich ook vanzelf aan bij den allereersten indruk, dat de hemel een blauwe halve bol is, die zich als een koepel boven ons hoofd welft. Maar wij kunnen nu niet meer aannemen, dat deze halve bol aan den horizon op de aarde rust. Want de sterren gaan op en onder; zij zetten na hun ondergang hun weg voort en duiken later ongedeed in dezelfde figuren weer boven den oostelijken horizon op. Daaruit blijkt, dat het hemelgewelf zich ook onder den horizon voortzet, zich onder de aarde door beweegt en ook dáár de sterren meevoert, nadat zij ondergegaan zijn. De hemel is dus geen koepel, geen halve bol, maar een geheele bol, die van binnen hol is, terwijl wij ons in het middelpunt bevinden. De hemel beweegt zich om ons als een vaste, holle, bolvormige schaal, die de daaraan vastzittende sterren door haar beweging met zich meevoert.

Wij hebben nu een heel ander beeld van den hemel gekregen dan in het begin. Toen was hij de verzamelnaam voor alles, wat zich boven ons bevindt; regenboog en wolken behoorden even goed tot den hemel als zon en sterren. Wolken en regenboog zijn echter een geheel ander soort dingen dan zon en sterren; zij zijn vergankelijk en onbestendig als regen en wind en behooren evenals deze tot de aarde. De zon en de sterren zijn boven die onbestendigheid verheven; zij zijn onvergankelijke hemellichamen, die in rustige majesteit hun kringen beschrijven. De wolken zweven in horizontale lagen als een hogere verdieping boven het aardoppervlak en schijnen daarom aan den horizon tot strepen samengedrongen en in elkaar geschoven. De sterrebeelden daarentegen hebben aan den horizon denzelfden vorm als hoog boven ons hoofd; voor den hemel zijn, zooals het bij een bol behoort, alle richtingen gelijkwaardig. Voor den hemel bestaat geen boven en geen onder, hij is niet slechts boven, maar ook onder de aarde; hij omgeeft de aarde aan alle kanten. Daaruit volgt weer nog overtuigender dan vroeger reeds, dat de aarde een aan alle zijden begrens d lichaam is.

Op wat voor wijze beweegt zich nu deze bolvormige hemelschaal? Wij kunnen de beweging van den noordelijken hemel gemakkelijk nabootsen door een opgestoken paraplu schuin naar het Noorden boven ons te houden en haar dan om den stok als as te laten ronddraaien. De plaats, waar de stok door de paraplu gaat, verplaatst zich daarbij niet en alle andere deelen van de paraplu draaien om deze plaats in cirkels rond, die des te grooter zijn, naarmate zij verder naar den rand toe liggen. Dus juist zooals de sterren in het Noorden om de hemelpool draaien. In het Noorden draait het hemelgewelf om een as, die het in de pool treft, juist zooals de paraplu om haar stok draait. Een ander voorbeeld, dat ons de verschijnselen bij zulk een draaiing voor oogen stellen kan, vinden wij in den draaimolen. Gaan wij in het midden staan, dan zien wij de zitbanken in een kring om ons heen draaien, terwijl hoger gelegen dingen, b.v. de lampen, boven ons een kring beschrijven. Konden wij nu de as van den draaimolen scheef zetten, naar het Noorden toe, dan kwamen alle kringen schuin te liggen; elk ding bereikte dan in het Zuiden zijn hoogste, in het Noorden zijn laagste plaats. Spanden wij dan over den draaimolen nog een ballon van tentdoek met de sterrebeelden er netjes op geschilderd, dan hadden wij een sprekend gelijkend beeld van den hemelbol. Draait de ballon met den draaimolen langzaam om de as, dan doorloopt iedere ster een schuinen kring, die naar het Zuiden toe het hoogst ligt.

Zoo vinden wij voor de dagelijksche beweging der sterren een uiterst eenvoudige verklaring: de hemelbol, waaraan de sterren vastzitten, draait regelmatig eens per dag om een as, die naar het Noorden schuin naar boven gericht is. Wat ons vroeger als een merkwaardig toeval voorkwam: het feit — dat de oorzaak van alle bijzonderheden in opkomst en ondergang der hemellichamen is — dat de dagelijksche kringen van alle sterren even schuin liggen, openbaart zich hier als het vanzelf sprekende gevolg van een enkele oorzaak: omdat alle sterren

meegevoerd worden door den hemelbol, die zich om een scheef opstaande as wentelt, daarom moeten hun banen alle even schuin zijn en evenwijdig met elkaar. De as zelf zien wij natuurlijk niet, omdat zij geen vaste stang maar een denkbeeldige lijn is; haar plaats kennen wij daaraan, dat zich daar de rustende hemelpool tusschen de sterren bevindt, die er om heen draaien. Natuurlijk moet zich aan den anderen kant van den hemelbol, daar, waar de schuin naar het Zuiden omlaag gerichte as hem treft, juist tegenover de zichtbare pool, ook een rustende pool bevinden, de voor ons onzichtbare Zuidpool des hemels. De sterren, die zich in haar buurt bevinden en in kringen om haar heen bewegen, bereiken den horizon nooit en blijven altijd onzichtbaar voor ons.



Draaiende hemelbol, van buiten gezien.

Wij kunnen dus aan den hemelbol met zijn sterren drie verschillende gebieden onderscheiden; een kap om de Noordpool heen omvat de sterren, die nooit ondergaan en altijd zichtbaar blijven; een kap om de Zuidpool heen omvat de sterren, die nooit opkomen en altijd onzichtbaar blijven; daartusschen ligt een breede gordel, die alle sterren bevat, die aan den oostelijken horizon opkomen en aan den westelijken ondergaan. In het midden van dezen gordel loopt de *aequator des hemels* om den hemelbol heen, als een kring, die overal even ver van beide polen verwijderd blijft. Hij verdeelt den hemel in een noordelijke en een zuidelijke helft, en doorsnijdt den horizon precies in het Oosten en in het Westen.

Bij onze beschouwing van de hemelverschijnselen zijn wij begonnen de beweging van de zon nauwkeurig na te gaan, en wij bemerkten vervolgens, dat de maan en de sterren juist zulke kringen als de zon beschrijven. Thans hebben wij de beweging van alle sterren tot een enkele, eenvoudige oorzaak teruggebracht, tot de draaiing van den hemelbol. Het ligt nu voor de hand, de vraag te stellen, of misschien ook de dagelijksche kringen van zon en maan denzelfden oorsprong hebben.

Voor de maan ligt het bevestigend antwoord dadelijk voor de hand. Wij zien haar aan den hemel tusschen de sterren staan en met de sterren langzaam voortwandelen. Wij zien met onze eigen oogen, dat

de maan op een bepaalde plaats aan den hemel zit en door den hemelbol in zijn draaiing meegenomen wordt.

Is het echter bij de zon wezenlijk anders gesteld? Ja, zoolang wij dachten, dat de zon eenzaam en alleen als dagvorstin aan den hemel troonde en haar baan beschreef, konden wij niet anders denken dan dat zij zelfstandig haar eigen weg ging. Maar wij weten nu, dat ook overdag de hemel vol sterren zit, die wij slechts door het schelle daglicht niet kunnen zien. Ook de zon staat midden tusschen de sterren en wandelt te zamen met hen voort, in het Oosten omhoog, in het Westen omlaag. Zij staat niet alleen, zij is slechts één hemellichaam, zij het ook het allerhelderste, tusschen de andere. Het is volstrekt niet noodig voor haar een eigen dagelijkschen kring aan te nemen. Wanneer zij, aan den hemel vastgehecht, door zijn draaiing meegesleept wordt, moet zij dag aan dag juist zulk een kring beschrijven, als wij bij haar gevonden hebben. Ook de dagelijksche kringen van zon en maan vinden hun oorzaak in de wenteling van den hemelbol om zijn as.

Zoo zijn wij dus hier tot een opvatting van den hemel gekomen, die de verschijnselen op een uiterst eenvoudige manier weergeeft. Als een reusachtige bolschaal, in wier middelpunt wij ons bevinden, wentelt de hemel zich dagelijks gelijkmatig om zijn scheefstaande as. Hij is met sterrebeelden bedekt, die alle hun vaste plaatsen hebben. Ergens tusschen deze bevinden zich ook de zon en de maan. En al deze hemellichamen worden door de wenteling in schuine kringen meegevoerd. Bevinden zich zon en maan aan de onderste onzichtbare helft van den hemelbol en wordt onze blik niet door wolken of nevels belemmerd, dan zien wij den donkeren hemel met sterren bezaaid. Klimt door de draaiing des hemels de plaats, waar de maan zich bevindt, boven den horizon, dan verbleeken de zwakke sterren. Nadert de plaats van de zon den horizon, dan worden de luchtlagen om ons heen zoo helder verlicht, dat wij op den blauwen hemelgrond geen ster meer kunnen zien; het is dag. De hemel draait verder; dat hij sterren meevoert, daarvan zien wij niets; wij zien alleen het helderste hemellicht, de zon, en aan haar beweging naar het Zuiden en dan naar het Westen bemerken wij de draaiing van den hemel. Sleekt hij eindelijk de zon met zich mee onder den horizon, dan houdt de verlichting van den dampkring om ons heen op; het wordt nacht, en de sterren verschijnen weer, rustig en gelijkmatig als altijd hun kringen beschrijvend, door den eindeloos regelmatig voortdraaienden hemelbol meegevoerd.

Daarmee zijn de eerste vragen beantwoord, die de beschouwing van den hemel ons stelde. Maar daardoor worden wij meteen voor nieuwe vragen gesteld. Voor de eigenlijke sterren is het vraagstuk van haar beweging opgelost; zij hebben vaste plaatsen aan den hemel — zij heeten daarom ook *v a s t e s t e r r e n* — en haar geheele beweging komt hierop neer, dat zij eenvoudig door de draaiing des hemels meegenomen worden. Anders staat het met de zon, de maan en de dwaalsterren, de planeten. Deze blijken nu alle met elkaar verwant te zijn, doordat zij geen vaste plaatsen aan den hemelbol hebben; zij veranderen van plaats en bewegen zich langs den hemel tusschen de sterren door. Wanneer wij nu hier en later over hun beweging spreken, is dit in geheel anderen zin dan vroeger. Met de dagelijksche kringen zijn wij nu klaar; alles, wat een gevolg van de regelmatige draaiing van den hemel is, laten wij dus verder rusten. Wat nu als beweging overblijft, en als hun eigen werkelijke beweging het onderwerp onzer verdere beschouwing zal zijn, is enkel hun *b e w e g i n g l a n g s d e n h e m e l b o l*, waarbij de vaste sterren de vaststaande mijlpalen zijn. Deze beweging zullen wij nu nauwkeuriger onderzoeken. Bij de planeten en de maan is dat niet moeilijk; wij kunnen hun plaats tusschen de sterren zoo vaak wij willen onmiddellijk waarnemen, in een sterrenkaart intekenen en zoo van avond tot avond, van maand tot maand hun loop volgen. Bij de zon gaat dat moeilijker, omdat zij de sterren in haar buurt onzichtbaar maakt; hier moeten wij dus een anderen weg inslaan.

7. DE BEWEGING VAN DE ZON.

Bij onze beschouwing van de jaargetijden vonden wij, dat de dagelijksche zonnekring in den loop van het jaar heen en weer schuift en in Juni zijn noordelijksten, in December zijn zuidelijksten stand inneemt. Wat wij toen voor een aparten zonnekring hielden, ontstaat echter, zooals wij nu weten, doordat de draaiende hemelbol de zon meeneemt. Deze draaiing is nu afgehandeld; wij vragen op het oogenblik alleen de plaats van de zon aan den hemelbol. En dan bewijst het heen en weer schuiven van onzen vroegeren zonnekring, dat de zon zelf haar plaats aan den hemel verandert; in Juni staat zij dicht bij de Noordpool, in December meer naar het Zuiden toe. Wat wij eerst voor heen en weer schuiven van een zonnekring hielden, komt eenvoudig hier op neer, dat de zon zelf zich in den loop van het jaar aan den hemelbol op en neer beweegt, zoodat zij in Juni het noordelijkst, in December het zuidelijkst komt. Op de dagen der beide nachteveningen passeert zij den aequator des hemels en gaat van het noordelijke halfrond naar het zuidelijke over of omgekeerd.

Maar dit op en neer schommelen, dat dus de oorzaak van de wisseling der jaargetijden is, is niet de eenige beweging van de zon aan den hemel. Er moet nog een andere beweging bijkomen; want wij hebben intusschen nog een verder onderscheid tusschen de jaargetijden leeren kennen. Bij de beschouwing van de sterrebeelden hebben wij opgemerkt, dat ook het beeld van den nachtelijken hemel in den loop van het jaar verandert.

Wanneer men op een zekeren tijd den hemel beschouwt, en men kijkt een maand later op hetzelfde uur nog eens, dan ziet men de sterren in een anderen stand; de oostelijke zijn hooger, de westelijke zijn lager gekomen; het is alsof het niet een maand, maar twee uren later dan de vorige waarneming is. Een tijdsverloop van drie maanden brengt, zooals al bij de beschrijving van de sterrebeelden in de verschillende jaargetijden bleek, dezelfde verandering in het uiterlijk van den hemel teweeg als een tijdsverloop van 6 uren; in beide gevallen draait de hemelbol een kwartslag om. Voor de verandering in den stand van den hemelbol beteekent het verloop van een maand precies hetzelfde als het verloop van 2 uren in denzelfden nacht. Om over een maand denzelfden stand van den hemel terug te vinden, moet men 2 uren vroeger kijken. De winterhemel, dien wij midden Januari om 10 uur 's avonds aantreffen, vinden wij precies zoo midden December te middernacht, midden November om 2 uur, midden Oktober om 4 uur 's nachts, en evenzoo midden Februari om 8 uur 's avonds, midden Maart om 6 uur — maar dan zien wij geen enkele ster, daar dan de zon juist ondergaat en het dus nog licht is. Maar wij mogen aannemen, dat de sterren in April om 4 uur, in Mei om 2 uur 's namiddags, in Juni 's middags om 12 uur, in Juli om 10 uur, in Augustus om 8 uur, in September om 6 uur 's morgens telkens denzelfden stand hebben als aan den winterhemel, al kunnen wij er niets van zien. Evenzoo vinden wij onzen herfsthemel in Augustus om 2 uur, in September om 12 uur 's nachts, in November om 8 uur, in December om 6 uur 's avonds terug. In December met zijn lange nachten kunnen wij dus om 6 uur 's avonds den herfsthemel, te middernacht den winterhemel en om 6 uur 's morgens den voorjaarshemel waarnemen.

Kennen wij eenmaal dezen regel, dan is het niet moeilijk de beweging van de zon te vinden, die er de

oorzaak van is. Denken wij ons den stand van den hemelbol op den een of anderen dag 's middags om 12 uur, wanneer de zon in het Zuiden staat. Een maand later, weer om 12 uur, is de hemel een twaalfde deel van zijn omtrek naar het Westen verder gedraaid; in het Zuiden, om de zon heen, staan nu de sterren, die in de vorige maand zooveel meer naar links, naar het Oosten stonden. De zon staat dus telkens een maand later op een plaats van den hemelbol, die zich een twaalfde van zijn omtrek verder naar links bevindt; zij loopt dus langs den hemelbol van rechts naar links.

Wij kunnen ons deze beweging van de zon nog op een andere manier aanschouwelijk voorstellen. Daartoe zoeken wij in de verschillende maanden steeds denzelfden stand van den hemelbol op. Wanneer wij alleen op die oogenblikken naar den hemel kijken, moet het ons voorkomen, alsof hij steeds onveranderlijk zijn stand behoudt. Nemen wij b.v. den stand, dien wij den zomerhemel noemden. Wij treffen hem in Juni 's nachts om 12 uur aan, in Juli om 10, in Augustus om 8 uur 's avonds, in September om 6, in Oktober om 4, in November om 2 uur 's namiddags, in December 's middags om 12 uur, in januari om 10, in Februari om 8, in Maart om 6, in April om 4 uur 's morgens. Waar bevindt de zon zich op al die tijdstippen? In juni in het Noorden, in Juli en Augustus in het Noordwesten onder den horizon, in September in het Westen juist bezig onder te gaan; in Oktober en November in het Zuidwesten boven den horizon, in December laag in het Zuiden, in Januari en Februari laag in het Zuidoosten, in Maart juist in het Oosten in opkomst, in April en Mei in het Noordoosten een weinig onder den horizon. De zon loopt in een jaar van rechts naar links, van West naar Oost om den geheelen hemelbol heen. Te middernacht, als de zon in het Noorden staat, bevindt zich steeds die streek van den hemelbol in het Zuiden, die recht tegenover de zon ligt; daarom moet deze jaarlijksche omloop van de zon noodzakelijk juist zulk een regelmatige verandering van het uiterlijk van den hemel bewerken, als wij waarnemen.

Dit regelmatige voortwandelen van de zon langs den hemelbol kan men ook heel mooi en duidelijk aan den westelijken avondhemel waarnemen. De sterren, die bij het aanbreken van den nacht eerst in het Zuiden stonden, trekken in de volgende maanden steeds meer naar het Westen toe en naderen den westelijken horizon steeds meer; weldra ziet men ze na zonsondergang nog slechts korten tijd in de schemering; en eindelijk zijn zij verdwenen: zij zijn ondergegaan, voor het nog geheel donker was. Wat is er gebeurd? De zon is steeds dichterbij hen gekomen. Doordat zij naar links voortschuift, bereikt zij de sterren, die te voren ver links van haar stonden, de een na de ander, en zinken steeds nieuwe sterren in de schemering weg. Tegelijk duiken 's morgens aan den oostelijken hemel, doordat zij elken volgenden dag iets vroeger opkomen, steeds nieuwe sterren uit de schemering op en verwijderen zich meer en meer van de zon. Zoo zien wij, hoe de zon van dag tot dag, van week tot week in oostelijke richting aan den hemel voortschuift, in haar verblindenden lichtkring de linksstaande avondsterren de een na de ander opslorpt en er de rechtsstaande morgensterren geleidelijk uit loslaat.

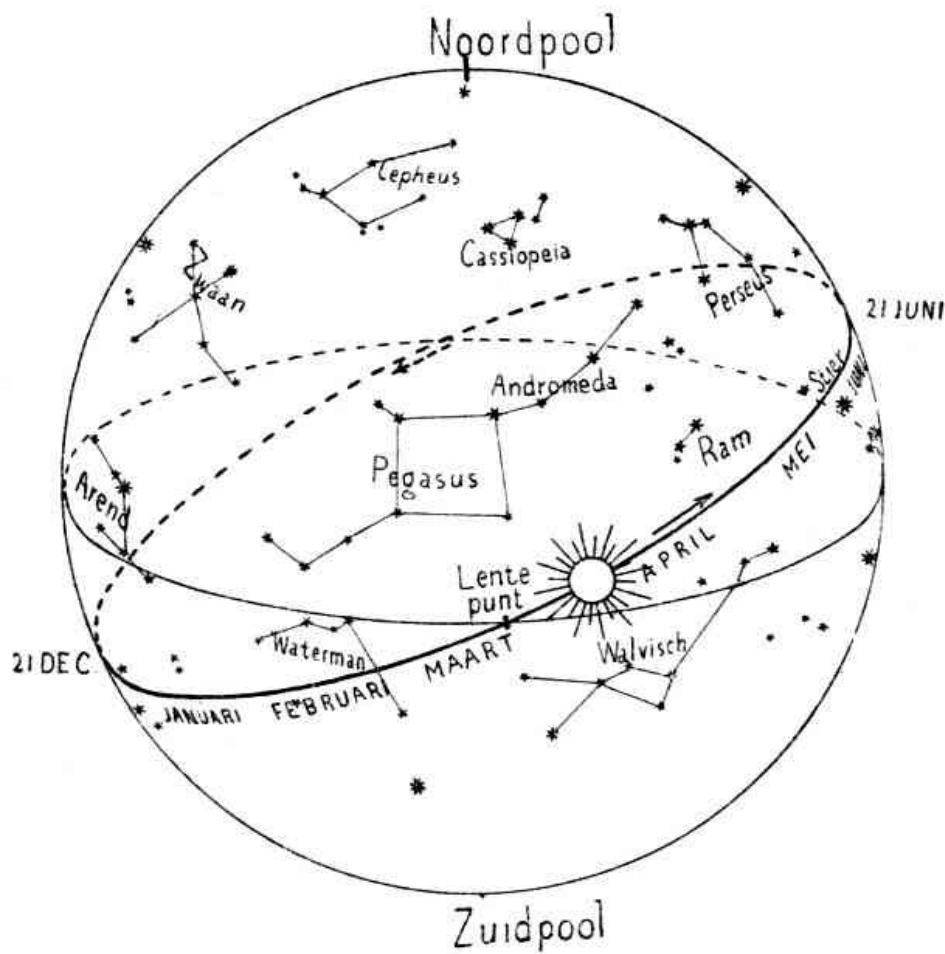
Wij moeten dus, om hetzelfde uiterlijk van den hemel aan te treffen, elke volgende maand 2 uren vroeger kijken. Dit beteekent, dat dezelfde stand van den hemelbol elken volgenden dag 4 minuten vroeger terugkomt. Het was dus niet heelemaal juist wat wij vroeger vonden, dat de hemelbol zich in één dag om zijn as wentelt. In werkelijkheid heeft hij daarvoor 4 minuten minder nodig, en zijn werkelijke omdraaiingstijd is 23 uren 56 minuten. Dit tijdsverloop, waarna de sterren precies in denzelfden stand ten opzichte van den horizon terugkomen, heet een *sterredag*. Een ster, die tegelijk met de zon in het Zuiden stond, staat na een sterredag weer precies in het Zuiden. De zon echter, die in dit tijdsverloop een klein eindje langs den hemelbol voortgewandeld is, tegen de draaiing van den hemel in, dus bij de sterren achtergebleven is, is dan nog niet weer in het Zuiden teruggekomen; de hemel moet nog iets verder draaien, nog 4 minuten, en dan eerst is de zon weer in het Zuiden teruggekomen en is er een *zonnedag*.

verloopen. Na een half jaar, wanneer de hemelbol 180 omwentelingen volbracht heeft, is de zon den halven hemelomtrek, dus 12 uren achter geraakt; eerst na nóg een halve omwenteling zijn 180 zonnedagen, maar $180\frac{1}{2}$ sterredagen verloopen. Na een jaar van 365 dagen is de zon op dezelfde plaats van den hemelbol teruggekeerd; zij is dan een geheelen dag bij de sterren achter geraakt, de hemelbol heeft 366 omwentelingen volbracht, terwijl er maar 365 zonnedagen verloopen zijn.

Twee verschillende bewegingen hebben wij dus nu bij de zon gevonden; in een jaar loopt zij van het Westen naar het Oosten om den geheelen hemel heen en tegelijk schommelt zij in dien tijd op en neer, beurtelings naar het Noorden en naar het Zuiden. Wat is nu haar werkelijke baan aan den hemelbol, waaruit die beide bewegingen ontstaan?

Terwijl zij van haar Decemberplaats, die het dichtst bij de Zuidpool ligt, naar links voortwandelt, klimt zij tegelijk naar het Noorden op. Zij loopt dus schuin langs den hemelbol naar boven, totdat zij een half jaar later aan den overkant van den hemelbol haar noordelijksten stand, haar zomerplaats bereikt, juist tegenover de winterplaats. In het volgende halfjaar loopt zij aan den anderen kant van den hemel schuin naar beneden, naar het Zuiden terug. De zon loopt dus in een schuinliggende baan rondom den hemel heen; daardoor komt het, dat zij gedurende haar omloop afwisselend naar het Noorden en naar het Zuiden heen en weer schommelt. Deze baan heet de zonneweg of e k l i p t i k a (de beteekenis van dit woord zal later blijken).

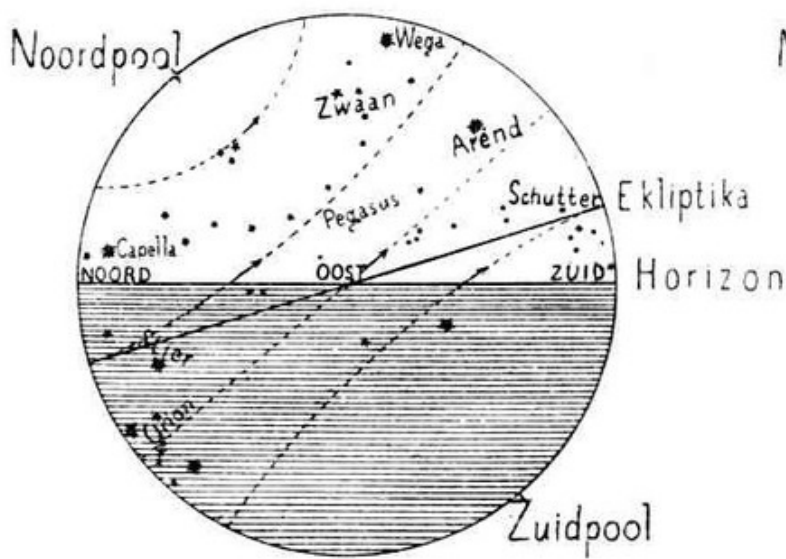
Wij behoeven er wel niet nog apart opmerkzaam op te maken, dat deze schuine zonnebaan niets te maken heeft met onze vroegere schuine dagelijksche zonnekringen. De ekliptika staat schuin ten opzichte van de vaste punten van den hemelbol, de polen; de door de draaiing van dezen hemelbol bewerkte dagelijksche zonnekring stond schuin ten opzichte van den horizon, omdat de door de polen gaande hemelas zelf scheef ten opzichte van den horizon stond.



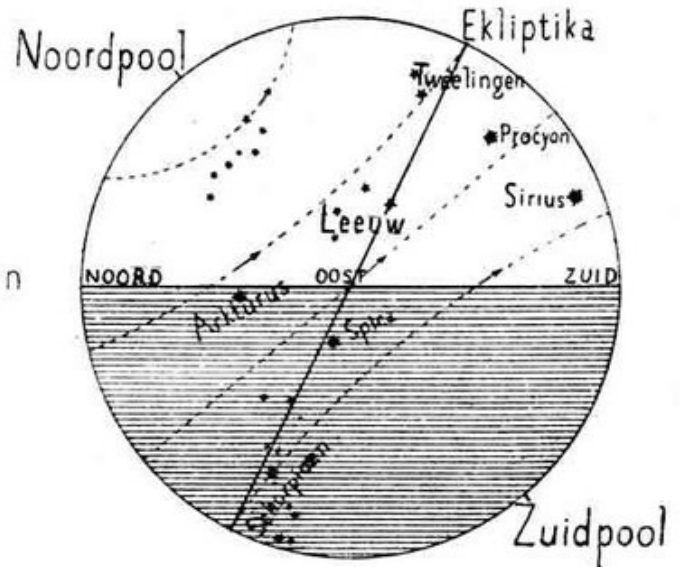
Hemelbol met zonneweg.

De draaiing van den hemelbol neemt natuurlijk ook de ekliptika mee; in de eerste figuur op de volgende bladzij, waar behalve de ekliptika ook de schuine dagkingen aangegeven zijn, is de stand van den hemel in een zomernacht weergegeven, wanneer het noordelijkste punt van de ekliptika onder de pool staat. Twaalf uur later, wanneer de hemel een halven slag gedraaid is en ieder punt van de ekliptika een halven dagkring doorloopen heeft, neemt de hemel den stand van den winternacht in, zooals in de tweede figuur, waarbij het noordelijkste punt van de ekliptika hoog boven ons hoofd staat.

Door welke sterrebeelden loopt nu deze zonnebaan? Ze zijn in onze afbeelding van den hemelbol reeds aangeduid; en wij kunnen ze ook gemakkelijk vinden, wanneer wij van den regel gebruik maken, die ons den sterrenhemel op ieder uur van den dag doet kennen, ook wanneer wij zelf geen ster zien. De sterren, waartusschen de zon zich 's middags om 12 uur in het Zuiden bevindt, staan precies zoo, maar dan zonder zon, dus zichtbaar, aan den middernachtelijken hemel een half jaar later.



Zomernacht



Winternacht

Oostelijke hemel met eklíptika.

Wij beschouwen bij voorbeeld den hemel op 21 Juni te middernacht en zoeken in het Zuiden de plaats, die juist even hoog ligt, als de zon op 21 December 's middags om 12 uur staat; wij vinden dan een plaats in het sterrebeeld de Schutter dicht bij de grens van den Schorpioen; dat is de plaats van de zon op 21 December. Op dezelfde manier vinden wij aan den middernachtelijken hemel van Augustus, dat een plaats in het sterrebeeld de Waterman evenhoog in het Zuiden staat als de zon 's middags in Februari; de Decemberhemel toont ons te middernacht even hoog in het Zuiden, als de Junizon 's middags staat, een plaats op de grens tusschen den Stier en de Tweelingen. Zoo vinden wij, dat vanaf het zuidelijkste punt van haar baan de zon de volgende, steeds noordelijker sterrebeelden doorloopt: den Schutter, den Steenbok, den Waterman, de Visschen, den Ram en den Stier; en dan weer naar het Zuiden afdalend de sterrebeelden: de Tweelingen, de Kreeft, den Leeuw, de Maagd, de Weegschaal en den Schorpioen. In de Visschen, waar de zon den aequator passeert, ligt het lentepunt, in het begin van de Maagd ligt het herfstpunt.

Deze 12 sterrebeelden, waarvan de zon er telkens één in ongeveer een maand doorloopt, heeten de sterrebeelden of de teekens van den dierenriem. Zij verdienen onze bijzondere belangstelling, omdat het dezelfde sterrebeelden zijn, waarin de planeten zich óók altijd bevinden. Daarom hebben zij reeds in den vroegsten tijd de aandacht getrokken en zij behooren tot de oudste sterrebeelden, die bijzondere namen gekregen hebben.

Wil men de plaats van de zon of van een planeet nog nauwkeuriger aangeven dan door den naam van het sterrebeeld, dan verdeelt men, naar een van de Babyloniërs afkomstig gebruik, de geheele eklíptika in 360 gelijke deelen, die graden genoemd worden en waarvan de zon — die een middellijn van ongeveer een halven graad heeft — er ongeveer één per dag doorloopt (voor nog nauwkeuriger opgaven wordt een graad in 60 minuten en een minuut in 60 seconden onderverdeeld). Het aantal graden, dat de zon van af het lentepunt, waar zij den aequator passeert, in haar baan heeft doorlopen, wordt haar lengte genoemd. Met dezelfde maat meet men ook, hoe ver een planeet of een ster ten noorden of ten zuiden van de eklíptika staat; deze afstand heet hun breedte. Op de beide kaarten van den dierenriem achter in dit werk stelt de rechte lijn in het midden de eklíptika voor, die door streepjes in graden (ieder == 2 m.M.) verdeeld is; de lengte wordt door de getallen aan den bovenrand aangegeven, terwijl de namen der sterrebeelden onder de kaarten staan. Van elke ster op die kaarten zijn dus lengte en breedte gemakkelijk

af te lezen, en hetzelfde geldt voor een planeet of voor de maan, als hun plaats tusschen de sterren op de kaart is ingeteekend.

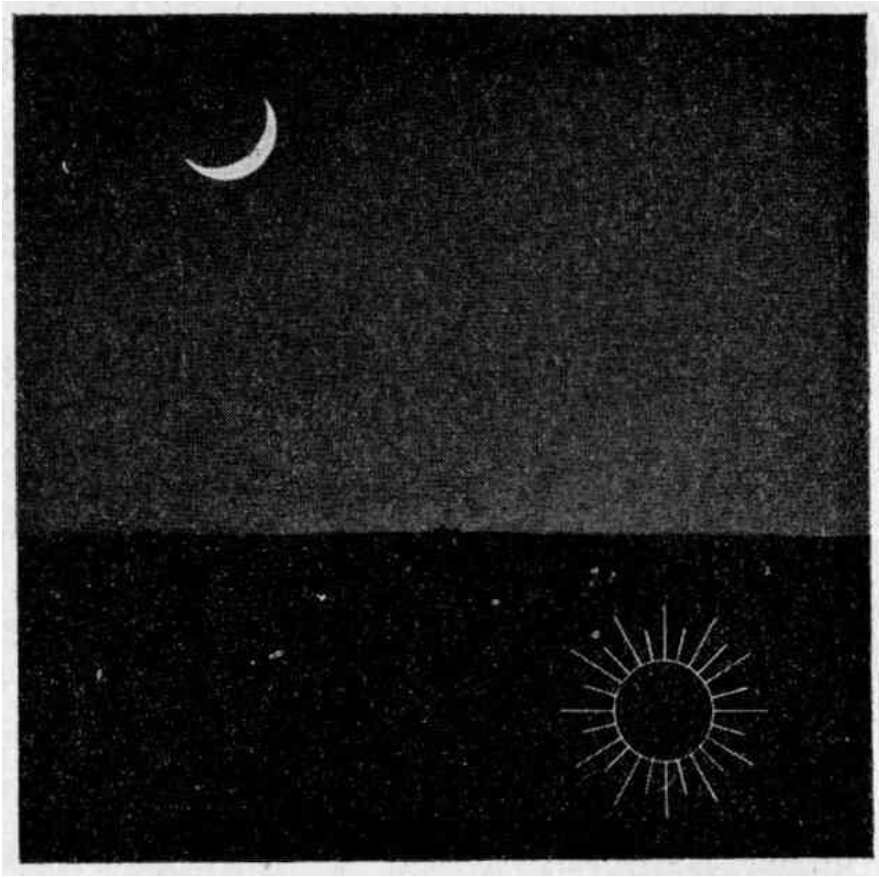
De verdeeling van de ekliptika in 360 graden, die ongetwijfeld met de 365 dagen van het jaar samenhangt, is naderhand op andere cirkels, die om den hemel loopen, en ten slotte op alle cirkels overgebracht. Iedere afstand aan den hemel wordt met deze maat gemeten; de afstand tusschen toppunt en horizon, evenals die tusschen hemelpool en aequator bedraagt $\frac{1}{4}$ van den omtrek des hemels, dus 90 graden. De hoogte van de noordpool boven den horizon, die aangeeft hoe schuin de hemelas staat, bedraagt ruim 50 graden. Het Noordelijkste punt der ekliptika ligt $66\frac{1}{2}$ graad van de noordpool af, dus $23\frac{1}{2}$ graad van den aequator; dit getal geeft dus de schuinschheid van de ekliptika aan.

Wij zijn nu met de verklaring van de verschijnselen, die met het jaargetij wisselen, een heel stuk verder gekomen. De zon wandelt jaarlijks aan den hemelbol rond in een baan, die scheef ten opzichte van zijn omwentelingsas staat en komt zoo beurtelings dicht bij de Noordpool en bij de Zuidpool. De draaiing van den hemelbol, die ook de zon meevoert, doet de wisseling van dag en nacht ontstaan. En de beweging van de zon in haar jaarlijksche baan bewerkt, dat deze wisseling van dag en nacht in de verschillende jaargetijden verschillend is, en dat tegelijkertijd het uiterlijk van den nachtelijken sterrenhemel met het jaargetij verandert.

8. DE MAAN EN HAAR BEWEGING.

Na de zon, die als vorstin van den dag, als bron van alle warmte ons leven beheerscht, is de maan het helderste en tegelijk het belangrijkste der hemellichten; zij heeft het eerst de aandacht der menschen op den nachtelijken hemel gericht. Haar snel wisselende en opvallende gestalten verschaften aan de primitieve nomadenvolken op hun reizen en zwerftochten een maatstaf voor den tijd; op deze belangrijkheid van de maan voor het praktische leven berustte haar vereering als maangod of als maangodin. De noodzakelijkheid om op hooger trap van beschaving deze tijdrekening nog verder te ontwikkelen, bracht de menschen er toe, de hemelverschijnselen regelmatig en opzettelijk waar te nemen; zoo ontstond het eerste begin van de sterrekunde.

In groote trekken is de wisseling van de zoogenaamde schijn-gestalten van de maan aan iedereen bekend; in den loop van een maand of 4 weken volgen eerste kwartier, volle maan, laatste kwartier en de onzichtbare nieuwe maan elkaar op. Gaan wij deze wisselingen nauwkeuriger na, dan bemerken wij, dat de schijngestalten van de maan ten nauwste met den tijd van den dag, dus met de zon samenhangen.



Wanneer de maan te voren onzichtbaar was, komt zij het eerst in de avondschemering voor den dag als een fijne boog, als een smal sikkeltje, dat de opening naar links, van de zon afgekeerd heeft. Dit pas verschijnende sikkeltje is de eigenlijke nieuwe maan, die nu haar levensloop van 4 weken begint; eerst in lateren tijd is de naam "nieuwe maan" op de onzichtbare donkere maan overgegaan. Den volgenden dag staat zij 's avonds al iets hooger boven het schemerlicht; iederen volgenden dag trekt zij wat verder van de zon weg en wordt de sikkel breeder.



Na een week is het eerste kwartier geworden; dan heeft de maan den vorm van een halven cirkel, staat 's avonds in het Zuiden, gaat midden in den nacht onder en midden op den dag op.



In de tweede week wordt zij steeds breeder en ronder, gaat steeds verder van de zon af, staat bij het aanbreken van den avond verder naar het Oosten en gaat later in den nacht onder.



Op het eind van de tweede week is zij cirkelrond geworden; als volle maan staat zij precies tegenover de zon, komt met zonsondergang op, schijnt den geheelen nacht en gaat 's ochtends met zonsopgang onder.



Dan wordt haar tijd van opkomst in de derde week steeds later in den avond, terwijl tegelijk aan den rechterkant een steeds breedere streep van de cirkelschijf afgaat. Aan het eind van die week, als het laatste kwartier is, is alleen nog maar de helft van den cirkel over, maar nu, in tegenstelling met het eerste kwartier, de linkerhelft; de maan komt dan omstreeks middernacht op en staat 's morgens in het Zuiden.



Van rechts komt zij dan steeds dichtër naar de zon toe, komt steeds korteren tijd voor de zon op en wordt een steeds smaller naar rechts geopend sikkeltje.



Ten slotte is zij nog even als een fijne boog in de morgenschemering te bespeuren, en den volgenden dag is zij verdwenen.

Waar is zij gebleven? Uit de geheele reeks van verschijnselen, die wij waarnamen, moeten wij besluiten, dat zij gedurende de paar dagen van onzichtbaarheid van rechts naar de zon toeloopt, haar voorbijgaat en zich dan aan den linkerkant weer van haar verwijderd; daarbij verdwijnt de naar rechts geopende sikkel, de maan wordt geheel donker en dan ontstaat de naar links geopende sikkel, die weldra aan den avondhemel zichtbaar wordt. Het oogenblik, waarop zij de zon passeert, — dat wij niet direkt door waarnemingen kunnen vaststellen, maar toch zonder moeite uit de voorafgaande en de volgende verschijnselen kunnen afleiden — heet tegenwoordig nieuwe maan.

De maan maakt dus elke maand een reis rondom den hemel. Door welke sterrebeelden zij dan heenloopt, is gemakkelijk te vinden; wij behoeven slechts naar den hemel te kijken,

waar de sterren tegelijk met de maan zichtbaar zijn. En dan bemerken wij, dat de maan zich steeds in de sterrebeelden van den dierenriem bevindt. Bij eenige der oudste volken, zooals bij de Indiërs, de Chineezen en de Arabieren, komt dan ook een verdeling van den dierenriem in 27 of 28 sterrebeelden voor, maanstations of maanhuizen, zoodat dus de maan elken volgenden dag in een volgend beeld staat.

De dierenriem is dus de groote heerweg des hemels, waar al deze beweeglijke hemellichamen, de zon, de maan en de planeten, hun banen hebben. Omdat de maan elke maand ongeveer denzelfden weg langs den hemelbol doorloopt als de zon elk jaar, kunnen wij haar plaats aan den hemel gemakkelijk aangeven; de avondsikkel staat op dezelfde plaats, waar de zon na een maand staat, het eerste kwartier staat daar, waar de zon zich na 3 maanden, de volle maan daar, waar de zon zich na een half jaar bevindt. Met dezen eenvoudigen regel kunnen wij de op het eerste gezicht zoo grillige wisselingen in den stand van de maan ten opzichte van den horizon zonder moeite begrijpen en voorspellen. Zoo volgt b.v. uit dezen regel dadelijk, dat de volle maan in de zwoele zomernachten als een groote bleeke, schijf laag in het Zuiden staat (namelijk juist als de winterzon), daarentegen in den winter in het Noordoosten opkomt en 's nachts in het Zuiden hoog boven ons hoofd straalt. En evenzoo verklaart ons deze regel, dat het eerste kwartier in het voorjaar hoog in het Noordwesten staat, in den herfst daarentegen laag in het Zuidwesten blijft.

Terwijl de maan eenmaal om den hemel heenloopt, doorloopt zij tegelijk de reeks van haar schijngestalten; maar precies vallen beide kringlopen niet samen. Telkens na ruim 27 dagen komt de maan op dezelfde plaats aan den hemel terug; uit de vergelijking van vroegere en latere waarnemingen is voor het bedrag van dezen omloopstijd gemiddeld 27 dagen 7 uren 43 minuten en 11 seconden gevonden. Dit is echter niet het tijdsverloop tusschen twee volle manen of twee nieuwe manen. Want wanneer de maan na 27 dagen op de plaats van den hemel terugkomt, waar zij den vorigen keer de zon ontmoette, vindt zij daar de zon niet meer, evenmin als de minuutwijzer van een klok om één den uurwijzer op de plaats aantreft, waar zij samen om 12 uur stonden. De zon is intusschen voortgewandeld en de maan heeft nog 2 dagen noodig, voor zij haar ingehaald heeft. De maanperiode, waarna dezelfde schijngestalten weer terugkomen, is dus langer dan de omloopstijd; zij bedraagt 29 dagen 12 uren 44 minuten en 3 seconden.

De verschijnselen van de maan komen dus hierop neer, dat zij in $27\frac{1}{3}$ dag regelmatig door den dierenriem om den hemel heenloopt; de wisselende schijngestalten, die zij daarbij vertoont, hangen van haar stand ten opzichte van de zon af, die 13 maal langzamer denzelfden weg gaat en die zij dus telkens na $29\frac{1}{2}$ dag inhaalt. Wij moeten nu nog zien te verklaren, hoe het komt, dat de maan, al naar haar stand ten opzichte van de zon, deze verschillende schijngestalten vertoont.

Is de nieuw aan den avondhemel verschijnende maan werkelijk een sikkelvormig ding, dat naderhand groter wordt en ten slotte tot een ronde schijf aangroeit, zooals men naar den eersten indruk zou kunnen gelooven? Wie daarover anders in het onzekere zou verkeeren, ziet zijn twijfel dadelijk opgeheven, wanneer hij eenmaal, zooals de Engelschen het noemen, "de oude maan in de armen van de jonge maan"



aanschouwd heeft. Wanneer het 's avonds geheel donker is geworden, is namelijk dikwijls naast de schitterende sikkels ook de rest van de ronde maanschijf in een flauw schemerlicht zichtbaar, het zoogenaamde aschgrauwe licht. Daaraan zien wij, dat de maan ook dan den vorm van een geheelen cirkel heeft, waarvan slechts een deel, een smalle sikkelvormige rand, in helderen glans schittert. De maan is steeds een ronde schijf, die alleen bij volle maan geheel lichtend is, op alle andere tijden slechts gedeeltelijk lichtend, terwijl de rest donker is. Is de maan misschien een op zich zelf donker lichaam, waarvan een grooter of kleiner gedeelte slechts daardoor lichtend is, omdat het verlicht wordt?

Wanneer men er niet verder over nadenkt, schijnt er een groote tegenstelling te bestaan tusschen de schitterende maan, die aan den hemel straalt en alles op aarde met een zacht licht overgiet, en de donkere, d.w.z. niet-lichtgevende aardsche voorwerpen om ons heen, die wij alleen zien, als er licht op valt: de zwarte aarde, de roode of witte muren, de grijze rotsen en de groene weiden en bosschen. Maar ook deze aardsche voorwerpen stralen licht uit, wanneer zij door de zon beschenen worden; soms kan men waarnemen, hoe een door de zon beschenen muur aan den overkant van de straat de voorwerpen in een kamer verlicht. Donkere voorwerpen, die verlicht worden, geven zelf weer licht. Ons valt het heldere licht van de door de zon beschenen velden niet op, omdat het daglicht aan den hemel nog veel scheller is; konden wij echter zulk een verlicht stuk van de aarde zien, terwijl overigens alles om ons heen pikdonker is, b.v. van uit een grot, dan zouden wij een even schitterend licht zien, als de maan ons 's nachts toont. Daarom kan er niets onwaarschijns lijken in de opvatting, dat de maan zelf donker is en dat haar licht slechts teruggeworpen zonnelicht is.

Dan wordt ook volkomen duidelijk, waarom de schijngestalten met den stand van de maan ten opzichte van de zon samenhangen. Wanneer de maan tegenover de zon staat, en wij haar dus van denzelfden kant zien, vanwaar ook het licht van de zon op haar valt, zien wij haar vol verlicht, als volle maan. Beschouwen wij haar in het eerste kwartier, dan staat de zon rechts van haar, het zonlicht valt van den rechterkant op haar en verlicht alleen haar rechterhelft, terwijl haar linkerhelft donker blijft. Omgekeerd in het laatste kwartier, wanneer de zon aan den linkerkant staat en de linkerhelft verlicht. De maan is dus een donker lichaam, dat alleen licht geeft, doordat het door de zon beschenen wordt. Daardoor wordt het meteen duidelijk, waarom haar licht zoo buitengewoon veel flauwer is dan het zonlicht, terwijl toch zon en maan als even groote schijven aan den hemel staan. En eveneens blijkt nu, waarom wij naast de sikkels de geheele overige maanschijf in aschgrauw schemerlicht zien. Wij maakten zoo even een vergelijking tusschen het lichtende maanoppervlak en de door de zon

beschenen aarde. Moet dan niet het door de maneschijn zacht verlichte aardoppervlak er uit de verte juist zoo flauw en schemerig uitzien als wij het aschgrauwe licht op de maanschijf zien? De in zonneschijn badende aardsche velden en akkers beschijsen de verre donkere maan evenzoo, als de schitterende volle maan 's nachts de donkere aarde verlicht; in dezen aardschijn wordt ons de geheele maanschijf zichtbaar, wanneer de zon er slechts een klein deel van verlicht.

Wij kunnen nu nog een paar belangrijke gevolgtrekkingen maken. Dat de nieuwe maan geheel donker is, bewijst, dat de maan zich dan tusschen ons en de zon bevindt; want alleen in dit geval wordt de van ons afgekeerde achterkant der maan verlicht, terwijl op den ons toegekeerden kant geen zonlicht kan vallen. Dit beteekent, dat de zon verder van ons verwijderd is dan de maan. Eenige dagen voor en na de nieuwe maan moet de maan dus schuin van achteren door de zon beschenen worden. Hoe komt het nu, dat zij zich dan als een sikkkel vertoont?

Op het oog schijnen zon en maan ons vlakke ronde schijven toe. Wanneer echter de maan werkelijk een schijf was, dan moest deze òf geheel donker, òf geheel verlicht zijn; zoodra een vlakke schijf, die eerst van achteren verlicht wordt en dus donker is, zoo ver gedraaid wordt, dat het licht juist den voorkant treft, wordt zij dadelijk over haar geheele oppervlak, zij het ook eerst uiterst zwak, verlicht. Een schijf kan de maan dus niet zijn.

Het eenige lichaam, dat een sikkelvorm vertoont, wanneer het schuin van achteren verlicht wordt, is de bol. Wij kunnen dezen vorm gemakkelijk aan de ballen met verschillend gekleurde strepen zien, waarmee de kinderen spelen.

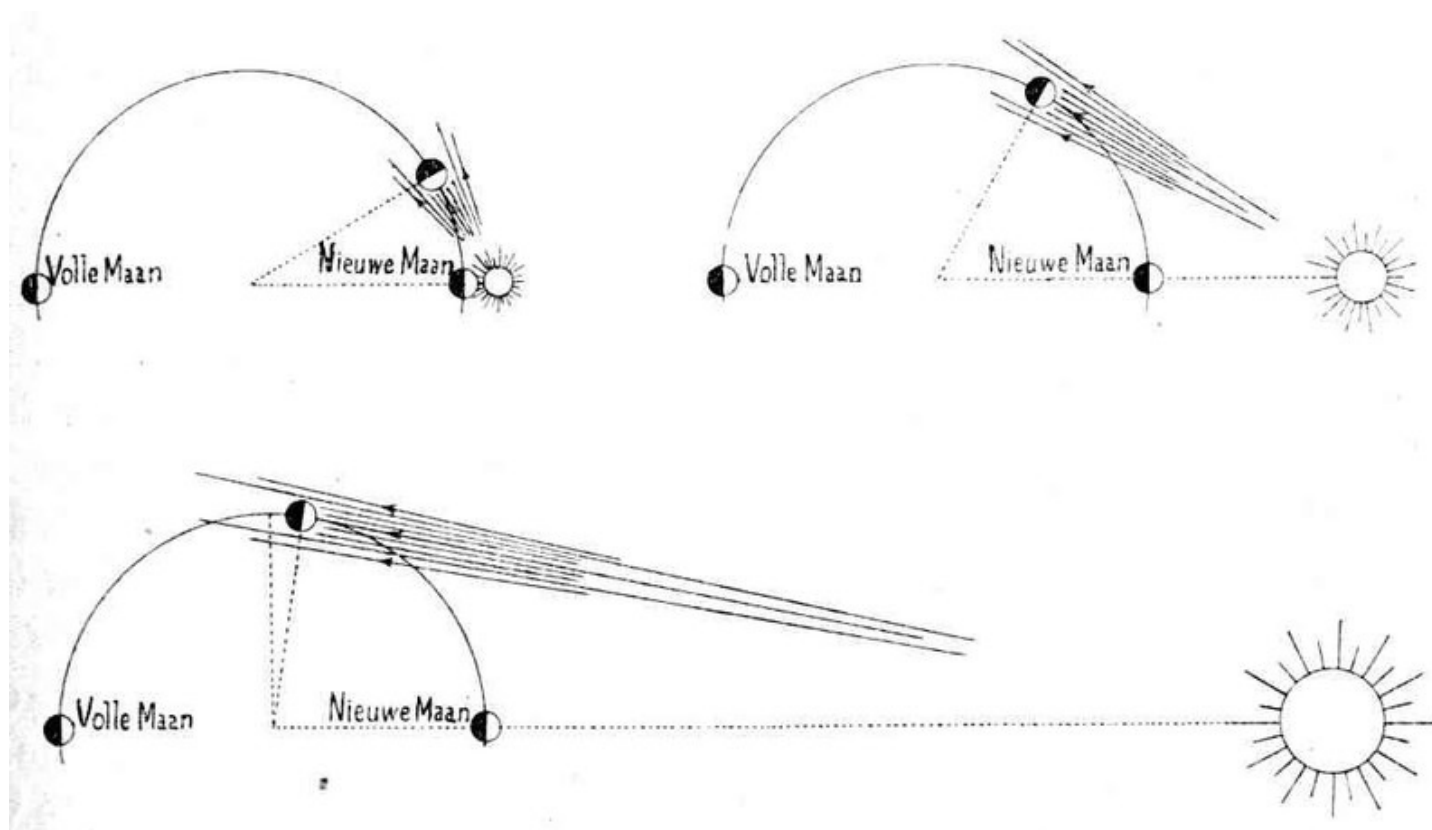


Nog beter kunnen wij dit waarnemen bij een proef, die ons in staat stelt, de geheele reeks van schijngestalten van de maan mooi na te bootsen. In een door een lamp verlichte kamer nemen wij een witten bal in de hand, houden hem met een uitgestreken arm voor ons uit en draaien ons dan langzaam, op dezelfde plaats blijvend, in het rond. Houden wij den bal naar de lamp toe, dan zien wij hem geheel donker (nieuwe maan). Houdt men hem een beetje op zij, dan vertoont zich de smalle verlichte strook aan den kant van de lamp in den vorm van een sikkkel. Draaien wij ons zoover, dat wij de lamp recht op zij hebben, dan zien wij den bal half verlicht met een rechte scheidingslijn tusschen het donkere en het heldere deel, zooals bij eerste kwartier. Draaien wij ons nog verder om, zoodat wij de lamp schuin achter ons hebben, dan is het verlichte deel grooter dan een halve cirkel; het is, alsof aan den vollen cirkel een donkere sikkkel ontbreekt. Draaien wij eindelijk de lamp geheel den rug toe, dan zien wij den bal geheel verlicht, evenals de volle maan. Bij deze volkomen overeenstemming is niet de minste twijfel mogelijk of de maan is een bolvormig lichaam. Doordat de donkere maanbol van verschillende zijden door de zon beschenen wordt, ontstaan die verschillende lichtgestalten, die als de mooiste en tegelijk bekendste onder de hemelverschijnselen steeds opnieuw ons oog boeien.

Wat wij hier door eenvoudige overwegingen uit verschijnselen, die iedereen kent, afgeleid hebben, moet reeds vroeg in de oudheid bekend geweest zijn; volgens latere geschriften — wat echter onwaarschijnlijk is — al aan den reeds genoemden Thales van Milete; zeker echter aan Parmenides en Anaxagoras, die tusschen 500 en 450 v. C. leefden. Daarmee begint eerst de beoefening der sterrekunde

bij de Grieken een wetenschappelijk karakter te dragen.

Wij kunnen echter nog meer afleiden. Uit de donkerheid van de nieuwe maan en den sikkelvorm bij haar eerste zichtbaarheid maakten wij op, dat de zon achter de maan staat en verder dan de maan van ons verwijderd is. Maar hoeveel verder? Wanneer zij slechts een klein eindje achter de maan stond, zou zij de maan reeds na een paar dagen precies van ter zijde beschijnen, en de maan moest zich dan half verlicht vertoonen; dit geval is in de eerste figuur hierboven voorgesteld, waar de cirkel de maanbaan is en wij ons in het middelpunt van dien cirkel bevinden.



Was de zon tweemaal zoo ver verwijderd als de maan, dan moest deze, zooals wij onmiddellijk uit de tweede figuur kunnen zien, zich als eerste kwartier vertoonen, wanneer zij 60 graden van de zon verwijderd is en pas een derde van haar weg tusschen nieuwe maan en volle maan afgelegd heeft. Hoe verder de zon nog meer verwijderd is, des te dichter komt het tijdstip, waarop wij de maan half zien, bij het midden tusschen nieuwe maan en volle maan te liggen, waar de maan 90 graden van de zon verwijderd is. Wij treffen deze overweging het eerst aan bij een lateren Grieksch sterrekundige, Aristarchus van Samos (270 v. C.), die daarin een middel zag om te berekenen, hoeveel malen de zon verder dan de maan van ons verwijderd is. Terwijl wij uit onze oppervlakkige ervaring vonden, dat het eerste kwartier 90 graden van de zon verwijderd is en juist midden tusschen nieuwe maan en volle maan ligt, vond hij het een klein weinigje, ongeveer 3 graden, dichter bij de zon en hij berekende daaruit, dat de zon 19 maal verder dan de maan van ons verwijderd is. Dit is toen de geheele oudheid door als vaststaande waarheid aangenomen. Nauwkeuriger waarnemingen uit den modernen tijd hebben echter geleerd, dat die afwijking in werkelijkheid nog veel kleiner is en dat dus de zon veel verder van ons verwijderd moet zijn.

9. DE VERDUISTERINGEN.

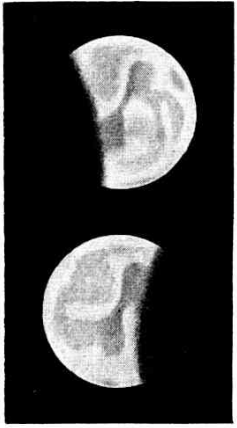
Nu en dan wordt de regelmatige wisseling der hemelverschijnselen onverwachts door ongewone gebeurtenissen onderbroken.



Terwijl de zon in volle glorie aan den hemel straalt, kruipt er van rechts iets donkers op haar; het is alsof er een steeds grooter stuk uit haar weggevreten wordt, of ook, alsof een zwarte schijf langzaam voor haar schuift. Soms bedekt deze schijf de zon maar gedeeltelijk, en dan bemerken de meeste menschen niet of nauwelijks, dat het daglicht iets vermindert. Soms echter schuift zij juist midden voor de zon en bedekt haar ten slotte geheel en al. Dan verdwijnt het daglicht, slechts een zwakke schemering blijft over; de sterren komen voor den dag, de vogels worden stil en de dieren kruipen weg, alsof het nacht wordt. De wilde volken zien vol schrik en angst, hoe het daggesternte verdwijnt: zij denken aan tooverij, aan toorn der goden, aan monsters die de zon verslinden, en zij trachten door gebeden, tooverspreuken, lawaai en andere doeltreffende middelen het onheil af te wenden. Weldra, na eenige minuten, breekt ook weer een zonnestraal door, de zwarte schijf schuift langzaam verder naar links en laat een steeds grooter deel van de zon vrij; na eenigen tijd is zij verdwenen en is alles weer als vroeger.

Waardoor ontstaat zulk een zonsverduistering? Zoodra bij een volk op iets hooger trap van

beschaving geregeld op de hemelverschijnselen gelet werd, moest men bemerken, dat zonsverduisteringen altijd bij nieuwe maan plaats vinden. Dan ligt de verklaring dadelijk voor de hand: de donkere schijf, die de zon bedekt, is de donkere maan, die dan juist tusschen ons en de zon doorgaat. Gaat zij juist over het midden van de zon heen, dan verduistert zij deze een oogenblik geheel; ligt haar weg iets hooger of lager, dan bedekt zij ook in het midden der verduistering slechts een gedeelte van de zon.



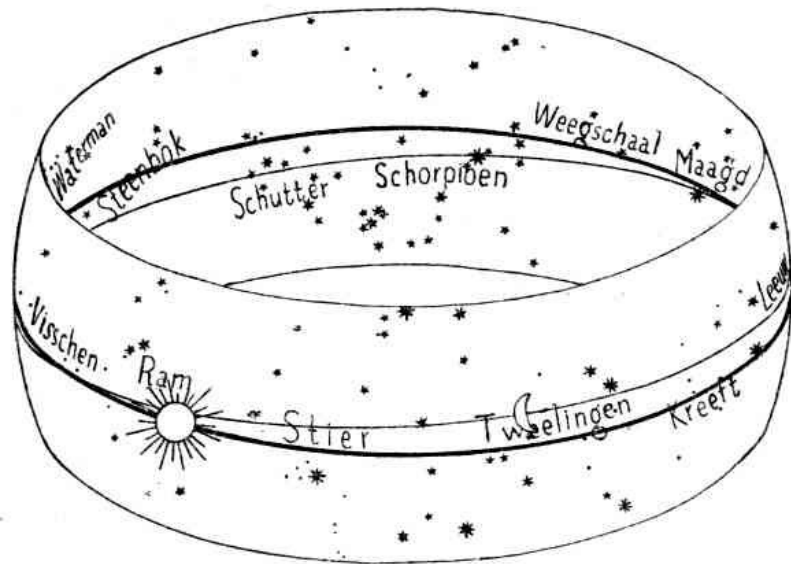
Ook de maan wordt nu en dan verduisterd, maar altijd alleen bij volle maan. Men ziet dan van links een vaag begrensde schaduw over de maan trekken; eenige uren lang blijft de maan donker, hoewel niet geheel donker, want meestal blijft zij in een roodachtig schemerlicht zichtbaar. Dan schuift de schaduw naar rechts weg, en weldra straalt de volle maan weer in haar ouden glans. Het is duidelijk te zien, dat de maan daarbij niet door een ander donker voorwerp bedekt wordt, maar door een schaduw: het zonlicht is haar onttrokken.

Waar komt deze schaduw vandaan? Bij volle maan staan zon en maan juist tegenover elkaar, aan tegenovergestelde kanten van de hemel. Wat is er dan, dat het zonlicht aan de maan onttrekken kan? Wat is er tusschen zon en maan? Klaarblijkelijk niets anders dan onze eigen aarde, waarop wij staan en die zich in het middelpunt van den hemelbol bevindt. Het moet dus de schaduw van de aarde zijn, die op de volle maan valt en zoo de maansverduistering veroorzaakt. De maan gaat, terwijl zij in haar baan van rechts naar links voortloopt, dwars door deze schaduw heen, en zoo komt het, dat wij een schaduw van links naar rechts over haar zien heenschuiven.

De verklaring van de verduisteringen of *e kl i p s e n*, zooals zij met een aan het Grieksch ontleend woord genoemd worden, is dus eenvoudig genoeg. Dat zon en maan nu en dan verduisterd worden, is zoo weinig verwonderlijk, dat wij nu omgekeerd met verwondering de vraag stellen, waarom de verduisteringen zoo zelden plaats vinden. Volgens onze verklaring zou men bij elke volle maan een maansverduistering en bij elke nieuwe maan een zonsverduistering verwachten. Dat deze verduisteringen uitblijven, bewijst ons, dat de beide hemellichamen niet bij iedere volle maan precies tegenover elkaar en dat zij niet bij elke nieuwe maan precies achter elkaar staan. Om te zien, hoe dat komt, moeten wij nauwkeuriger dan tot nog toe den weg onderzoeken, dien de maan aan den hemel tusschen de sterren doorloopt.

Wanneer iemand in het jaar 1913 of daaromtrent op de maan eenigszins nauwkeurig acht geslagen heeft, moest het hem opvallen, dat zij niet precies denzelfden weg aan den hemel volgde, als de zon. Wanneer zij (als volle maan in den zomer of als eerste kwartier in den herfst) op dezelfde plaats aan den hemel moest staan als de winterzon, stond zij in werkelijkheid aanmerkelijk lager, wel een derde dichter bij den

horizon. Omgekeerd stond zij in haar hoogsten stand, in de Tweelingen, wat hooger dan de zomerzon. Wie haar loop nog nauwkeuriger met behulp van een kaart van den dierenriem volgde — zooals de kaart achter in dit werk — door op die kaart de plaats van de maan tusschen de sterren herhaaldelijk in te teekenen, moest bemerken, dat aan den eenen kant van den hemel, in de sterrebeelden den Stier, de Tweelingen en den Kreeft, haar baan tot een bedrag van 5 graden noordelijk, aan den anderen kant, in den Schorpioen, den Schutter en den Steenbok, evenveel zuidelijk van den zonneweg lag; zoo toont het de figuur, die een gordel-vormige strook van den hemelbol voorstelt met den dierenriem in het midden.



Ekliptika en maanbaan in 1913.

Op twee tegenovergestelde plaatsen van den hemel, in de Visschen en in de Maagd, doorsnijdt de baan van de maan de ekliptika en gaat zij zelf van den Noord- naar den Zuidkant, of omgekeerd; deze plaatsen heeten de knopen van de maanbaan. De maanbaan staat dus eenigszins scheef ten opzichte van den zonneweg, en alleen in de knopen, waar de banen elkaar snijden, bevindt zich de maan in de ekliptika.

Nu is het duidelijk, waarom de verduisteringen zoo zeldzaam zijn. Begin November staat de zon, dus ook de nieuwe maan, in den Schorpioen, begin December en begin Januari in den Schutter en den Steenbok. In deze sterrebeelden staat de maan een heel eind ten zuiden van de ekliptika en gaat dus onder de zon langs zonder haar te bedekken. Evenzoo staat dan de volle maan in de tegenoverliggende sterrebeelden den Stier, de Tweelingen en den Kreeft, dus ver ten Noorden van de ekliptika; daar de schaduw van de aarde precies tegenover de zon ligt, dus alleen op een lichaam in de ekliptika kan vallen, gaat de volle maan dan boven langs de aardschaduw heen, zonder verduisterd te worden. Hetzelfde geldt omgekeerd voor de maanden Mei, Juni en Juli. Alleen wanneer de zon zich in de buurt van de knopen bevindt, kunnen eklipsen voorkomen. Want dan bevindt de maan zich juist in de buurt van de knopen, als zij nieuw of vol is; dan gaat de nieuwe maan voor de zon langs — zij het ook niet precies over het midden van de zonneschijf — en gaat de volle maan door de aardschaduw heen. Op deze tijden, in de maanden Maart en September en daaromtrent, moet dus bij volle maan een maaneklips en bij nieuwe maan een zoneklips plaats vinden. Dat beteekent niet, dat wij dan ook altijd een verduistering zien; want wanneer de zoneklips in den nacht of de maaneklips overdag valt, blijft zij onopgemerkt. Inderdaad kwamen in 1913 zonsverduisteringen op 6 April, op 31 Augustus en op 30 September, maansverduisteringen op 22 Maart en op 15 September voor, maar in ons land waren deze

alle onzichtbaar.

Verduisteringen komen dus slechts op twee tijden van het jaar voor, die een halfjaar uit elkaar liggen. Maken wij nu echter een lijst op van verduisteringen, die in deze streken in de laatste 25 jaren zichtbaar waren, dan vinden wij een nieuwe merkwaardige bijzonderheid.

(Zie de lijst op de volgende bladzij)

De beide tijden van het jaar, waarin de eklipsen plaats vinden, verschuiven en vallen steeds vroeger; zij doorloopen achtereenvolgens de verschillende maanden, totdat na 9 jaar, wanneer zij 6 maanden vroeger gekomen zijn, dezelfde tijden van het jaar terugkomen.

Lijst van zons- en maansverduisteringen.									
M	1889	Juli	12	10 a.	M	1907	Juli	25	5 m.
Z	1890	Juni	17	11 m.					
M	1891	Mei	23	7 a. T	M	1909	Juni	4	2 m. T
Z	1891	Juni	6	5 a.					
M	1891	Nov.	16	1 m. T					
M	1892	Mei	11-12	12					
M	1892	Nov.	4	5 a. T	M	1910	Nov.	17	1 m. T
					M	1912	Apr.	1	11 a.
					Z	1912	Apr.	17	1 a.
M	1894	Sept.	15	5 m.					
M	1895	Mrt.	11	5 m.					
M	1895	Sept.	4	7 m.					
M	1896	Febr.	28	9 a.	M	1914	Mrt.	12	5 m.
Z	1896	Aug.	9	6 m.	Z	1914	Aug.	21	2 a.
M	1898	Jan.	8	1 m.					
Z	1898	Jan.	22	8 m.	Z	1916	Febr.	3	4 a.
M	1898	juli	3	10 a.					
M	1898	Dec.	27-28	12 T	M	1917	Jan.	8	8 m. T
Z	1899	Juni	8	7 m. Z		1917	Juni	19	3 a.
M	1899	Dec.	17	2 m. T					
Z	1900	Mei	28	4 a.					
M	1901	Okt.	27	4 a.					
Z	1901	Nov.	11	8 m.					
M	1902	Apr.	22	8 a. T					
M	1902	Okt,	17	7 m. T					
Z	1902	Okt.	31	9 m. Z					
M	1903	Apr.	12	1 m.					
M	1903	Okt.	6	5 a. M					
M	1905	Febr.	19	8 a. M					
M	1905	Aug.	15	4 m.					
Z	1905	Aug.	30	2 a.					
M	1906	Febr.	9	9 m. T	M	1924	Febr.	20	5 a. T

De zonsverduisteringen zijn door Z, de maansverduisteringen door M in de eerste kolom aangeduid. Achter den tijd van den dag beteekent a. 's avonds en 's middags, m. 's avonds en 's voormiddags; T geeft aan, dat de maaneklips totaal is, dus de maan geheel verduisterd wordt.

Hoe is dat mogelijk? Het bewijst, dat de knopen van de maanbaan niet rustig op hun plaats blijven, maar langzaam van links naar rechts, tegen de beweging van de maan in, achteruit schuiven. Dat dit zoo is, blijkt ook, als men den weg van de maan tusschen de sterren waarneemt. In het jaar 1908 stond de maan in de sterrebeelden den Leeuw, de Maagd en de Weegschaal noordelijk, in de sterrebeelden den Waterman, de Visschen en den Ram zuidelijk van de ekliptika, terwijl de knopen zich in de Tweelingen en den Schutter bevonden. In het jaar 1904 lagen de knopen evenals in 1913 in de Visschen en de Maagd, maar daarbij stond de maan in de zuidelijke sterrebeelden boven, en in de noordelijke onder de ekliptika. Toen stond dus de maan — juist het omgekeerde van 1913 — in haar laagsten stand aanmerkelijk hoger dan de

winterzon; en hetzelfde zal in 1923 weer plaats vinden. De knopen van de maanbaan loopen in $18^2/3$ jaar om den hemel heen; daardoor loopen de tijden van het jaar, waarin eklipsen plaats hebben, achteruit door het geheele jaar heen en komen steeds na een periode van $18^2/3$ jaar op denzelfden tijd van het jaar terug.

De verduisteringen van zon en maan hebben in de vroegste ontwikkeling van de sterrekunde een belangrijke rol gespeeld. Want zij gaven met veel grooter nauwkeurigheid, dan door onmiddellijke waarneming mogelijk was, de juiste tijdstippen van volle en nieuwe maan aan, waaruit dan de maanperiode nauwkeurig te berekenen was. Daar de verduisterde maan zich altijd juist tegenover de zon bevindt, op de plaats, waar de zon een half jaar later komt, toont zij onmiddellijk aan ons oog den weg van de zon tusschen de sterren, die men anders eerst langs een omweg vaststellen kan. De naam *ekliptika* voor den zonsweg beteekent oorspronkelijk ook niets anders dan de plaats, waar de eklipsen plaats vinden.

De denkbeelden van een volk over de eklipsen zijn een maatstaf voor het peil van zijn beschaving. Terwijl zij den menschen in den toestand van wildheid en barbaarschheid schrik aanjagen, toont zich de hogere ontwikkeling der meer beschaafde volkeren vooral hierin, dat zij de eklipsen als natuurlijke verschijnselen weten te verklaren en te voorspellen. Het voorspellen van verduisteringen is nog altijd voor onontwikkelde menschen het treffendste bewijs van de macht der wetenschap. En wat is dit toch eenvoudig en al van oudsher bekend! Reeds de Babyloniërs in de vroege oudheid hadden uit hun regelmatige opteekeningen en waarnemingen gevonden, dat de verduisteringen na 18 jaren en 11 dagen (6585 dagen) in dezelfde volgorde terugkeeren. Dat dit juist is, kunnen wij gemakkelijk uit onze boven meegedeelde lijst van hier zichtbare verduisteringen zien, waarin wij daarom opzettelijk de eklipsen, die 18 jaar na elkaar komen, naast elkaar gezet hebben. De tijden, waarop zij vallen, liggen altijd 18 jaren (van 365 dagen) en nog 15 dagen en 7, 8 of 9 uren uit elkaar. Dat bij verscheidene eklipsen uit de lijst de bijbehorende, 18 jaar vroeger of later, ontbreekt, vindt zijn oorzaak in deze verlating van 8 uren; inderdaad zien wij in al die gevallen, dat dan de maansverduistering overdag of de zonsverduistering in den nacht valt en dus onzichtbaar moet blijven. Met behulp van deze periode kunnen wij dus met zekerheid de verduisteringen voor de komende jaren voorspellen, natuurlijk onder dit voorbehoud, dat er nog eenige bij kunnen komen, waarvan de voorgangsters niet in onze lijst staan. Deze periode, die *Saros* heet, hebben Grieksche reizigers in Babylon leeren kennen; het latere verhaal evenwel, dat Thales met behulp daarvan de zoneklips voorspeld had, die (585 v. Chr.) zooals Herodotus in zijn Geschiedboeken meedeelt, juist plaats vond gedurende een veldslag tusschen de Meden en de Lydiërs, is ongetwijfeld verzonnen. Deze Saros-periode berust op het feit, dat, wanneer de maan precies in een knoop vol is, 223 maanperioden ($6585\frac{1}{3}$ dagen) later de volle maan weer juist met denzelfden knoop samentreft, die dan bijna een rondgang om den hemel voltooid heeft.

10. TIJDREKENING EN KALENDER.

De eerste aanleiding voor de primitieve volkeren om op de hemelverschijnselen te letten, lag — naast

de noodzakelijkheid om zich op zee- of woestijnreizen naar de sterren te richten — in hun behoefte aan een tijdrekening. In hun verkeer met elkaar moesten zij de dagen kunnen tellen en aanduiden; en de afhankelijkheid van hun bedrijf, hun landbouw of hun reizen van bepaalde jaargetijden en perioden maakte het noodig, grootere tijdsruimten af te meten. Aan de eerste behoefte werd voldaan door een aantal dagen tot een week samen te vatten; oorspronkelijk treft men een week van 5 dagen aan, natuurlijk omdat alles aan de 5 vingers van de hand geteld werd. Later is, waarschijnlijk in het oude Babylon, in samenhang met mythologische voorstellingen een week van 7 dagen in gebruik gekomen, die zich van uit dit centrum van oude beschaving over de geheele antieke wereld verbreid heeft; zoo zijn ook wij aan onze week gekomen. Zij wordt onafhankelijk van alle andere tijdperken steeds verder geteld.

Voor het meten van langere tijdsruimten bood de wisseling van de schijngestalten der maan den natuurlijke maatstaf. De maan was overal de oorspronkelijke meter der tijden; in vele oude talen beteekent haar naam ook "degene, die meet." Zoo staat staat in de Oudindische Veda's van zon en maan: "Zij wandelen achter elkaar aan; als twee spelende kinderen loopen zij door het luchtruim; alle wezens overziet de een; om de tijden te ordenen wordt de ander steeds opnieuw geboren." En in den Joodschen Midrash heet het: "de maan is enkel en alleen voor het berekenen der tijden geschapen."

Primitieve volken, vooral in de warme landen, waar het klimaat niet als bij ons een duidelijke afwisseling van zomer en winter toont, drukken den tijd tusschen zaaien en oogsten in "manen" uit, d.w.z. in maanden, die juist gelijk aan een maanperiode zijn. De woestijnbewoners van Arabië gebruiken van oudsher op hun reizen ook dezelfde tijdmaat. De maanvereering is een uitdrukking van de belangrijke rol, die de maan zoo in het leven der menschen speelt.

Bij deze tijdrekening naar den zuiveren maankalender begint de maand telkens met de nieuwe, d.i. de nieuw verschijnende maan, dus met het eerste zichtbaar worden van de maansikkel aan den avondhemel. De maanden hebben afwisselend 29 en 30 dagen; daar de maanperiode niet precies $29\frac{1}{2}$ dag is, maar $\frac{1}{32}$ dag meer, moet drie keer in 8 maanden (van 12 maanperioden) een 29 daagsche maand op 30 dagen gebracht worden. De priesters, die bij zulke volken tegelijk de sterrekundigen zijn, hebben tot plicht zorgvuldig op het eerste verschijnen van de maansikkel te letten, om dan aan het volk het begin van de nieuwe maand te verkondigen. In het oude Babylon wisten zij zich, van de toevalligheden van het weer, dat zelfs in dat prachtige klimaat nu en dan het tijdig bemerken van de maansikkel verhinderde, vrij te maken door te berekenen, wanneer zij verschijnen moest. Door hun vele eeuwen terugreikende waarnemingen waren zij met alle bijzonderheden van de maanbeweging uitstekend bekend, en daardoor in staat den tijd van het eerste verschijnen van de avondsikkel met bewonderenswaardige nauwkeurigheid vooruit te berekenen. De Mohammedanen, die in hun kalender de dogmatisch versteende traditie van het Arabische woestijnleven bewaard hebben, kennen geen andere tijdrekening dan naar zulke maanmaanden. Wel vatten zij telkens 12 van deze maanden tot een maanjaar samen, zoodat dezelfde 12 namen van maanden telkens terugkeeren; maar dit maanjaar telt slechts $354\frac{3}{8}$ dagen, zoodat het met het werkelijke jaar niets te maken heeft en dezelfde maand nu eens in dit, dan weer in een ander jaargetij valt.

Deze eenvoudige maankalender past echter niet meer voor landbouwende volken, vooral niet, waar deze in noordelijker streken wonen. Want hun levenswijze en hun werk hangen van het jaargetij, van de zon af; de tijd van zaaien en oogsten wordt bepaald door de afwisseling van hitte en koude, van regen en droogte, die den loop van de zon volgt. Zij moeten dus naar zonnejaren rekenen, al houden zij tegelijk uit traditie, en omdat het een gemakkelijke tijdmaat is, ook nog aan de maanden vast.

Zij moeten dan natuurlijk trachten deze beide rekenwijzen, naar de zon en naar de maan, aan elkaar aan te passen; deze pogingen maakten een stelselmatig waarnemen van den hemel noodig, dat het eerste begin van de sterrekunde deed ontstaan.

Hoeveel zulke maanden zijn er in het jaar? Twaalf maanperioden van $29\frac{1}{2}$ dag zijn te zamen 354 dagen, dertien dezer perioden zijn $383\frac{1}{2}$ dag, terwijl het zonnejaar $365\frac{1}{4}$ dag bedraagt. Daarom moeten in dezen gemengden kalender sommige jaren twaalf, andere dertien maanden tellen. Wil men nu, dat de namen der maanden tegelijk het jaargetij aanduiden, dan kan men een paar jaar lang de 12 maanden telkens opnieuw op elkaar laten volgen, maar dan moet, omdat men anders te veel achter zou raken, een 13^{de} maand ingeschoven worden door een der maanden tweemaal achter elkaar te tellen. In de vroegste tijden werd in Babylon, zooals uit de oude inschriften uit den tijd van Koning Hammoerabi, 2000 v. Chr., blijkt, zulk een 13^{de} maand telkens ingeschakeld, als het praktisch noodig bleek. Toen de lengten der perioden beter bekend waren, liet men de groote en de kleine jaren, van 12 en van 13 maanden, in een bepaalde volgorde met elkaar afwisselen. Bij de Grieken was een naar Meton genoemde volgorde in gebruik, die telkens na 19 jaar op dezelfde manier terugkeert (19 jaar is op $\frac{1}{12}$ dag na precies gelijk aan 235 maanperioden en omvat dus 12 kleine en 7 groote jaren.) Dezelfde tijdrekening is tegenwoordig nog in den Israëlietischen kalender in gebruik.

Geheel anders is de tijdrekening bij de Europeesche volken. Bij ons is de maan als grondslag van de tijdrekening geheel weggefallen en berust deze enkel nog maar op de zon. Dat past ook bij de wisseling van onze jaargetijden, die het bedrijf en het geheele leven der menschen beheerscht, ten minste tot aan het tijdperk van de grootindustrie. Wel zijn de maanden blijven bestaan, maar alleen als formeele tijdindeeling; want wanneer er 12 maanden in het jaar gaan, moeten ze gemiddeld $30\frac{1}{2}$ dag lang zijn en kunnen dus met den loop van de maan niets meer te maken hebben. Alleen het woord "maand" herinnert er aan, dat deze tijdmaat oorspronkelijk van de maan afkomstig is.

Zulk een alleen op de zon berustenden kalender treffen wij reeds in de vroegste oudheid bij de Egyptenaren aan. Waar de geweldige Nijlstroom zich door de regenlooze Lybische woestijn naar het Noorden, naar de zee kronkelt, woonden zij op de smalle strook, die jaarlijks door de overstromingen van de rivier met een vruchtbare sliklaag bedekt wordt. Van deze vruchtbaarmakende overstromingen hing hun geheele leven af. In Juli en Augustus begon, ten gevolge van de regens in zijn bronnengebied en het smelten van de sneeuw in Abessinië, de Nijl te stijgen en bedekte het land in September en October; in November werd gezaaid, in April en Mei voor het laatst geoogst, en dan kwam de hitte en de dorheid van den zomer. Zoo was hun geheele leven streng aan de jaarlijksche periode gebonden. Geen wonder, dat hier reeds in voorhistorische tijden de maankalender opgegeven werd. In plaats daarvan kwamen 12 maanden van 30 dagen met aan het slot nog 5 overschietende dagen, die als feestdagen beschouwd werden. Het jaar werd dus op 365 dagen gerekend.

De Egyptische priesters wisten heel goed, dat het jaar in werkelijkheid $\frac{1}{4}$ dag langer is. Zij hielden echter aan de door de traditie geheiligde 365 dagen vast, en bemerkten daarbij natuurlijk, dat hun datums langzamerhand de natuurgebeurtenissen vooruitliepen, elke vier jaar een dag. Wanneer wij zoo rekenden, zouden wij ook zien, dat de laagste zonnestand, eenmaal op 21 December vastgesteld, mettertijd steeds later kwam: na 40 jaar op 31 December, na 124 jaar op 21 Januari, enz. De feesten, die met het landbouwbedrijf samenhangen — het doorsteken van de Nijldijken, het begin van zaaien en maaien — wandelden dus door alle maanden heen en kwamen na 1460 jaar weer op hun ouden datum terug.

Toen Julius Caesar als alleenheerscher van het Romeinsche rijk besloot aan de verwarring van den

kalender een einde te maken, schafte hij, op voorstel van den Alexandrijnschen sterrekundige Sosigenes, de rekening naar de maan heelemaal af en voerde het Egyptische jaar van $365\frac{1}{4}$ dag in. Van hem is dus de bij ons gebruikelijke tijdrekening naar een zuiveren zonskalender afkomstig, en ook de eenigszins zonderlinge vaststelling van de lengte der maanden op 30, 31 en 28 dagen. Hij nam echter niet de Egyptische methode van de verschuivende datums over. Om dezelfde verschijnselen van de zon zooveel mogelijk op denzelfden datum te houden, maakte hij elk vierde jaar tot een schrikkeljaar van 366 dagen. Als de lengte van een jaar precies 365 dagen en 6 uur was, moest deze tijdrekening altijd blijven uitkomen.

Dit is echter niet het geval. Reeds in de oudheid wisten de Grieksche sterrekundigen, dat het jaar iets korter duurt. Daardoor moest, hoewel in veel geringere mate en in tegengestelden zin, mettertijd hetzelfde gebeuren, wat in Egypte plaats vond. Langzamerhand moesten de nachteveningen en de zonnestilstanden op vroegere datums vallen. Toen in het laatst van de middeleeuwen de beoefening van de sterrekunde in Europa opleefde, bemerkte men spoedig, dat de voorjaarsnachtevening op 11 Maart in plaats van op 21 Maart viel. Omdat daardoor het tijdstip van Paschen — de eerste Zondag na de eerste op de nachtevening volgende volle maan — onzeker werd, moest de kerk aan een hervorming van het kalenderwezen denken; na vergeefsche pogingen van andere pausen werd zij in 1582 door Gregorius XII naar de voorstellen van den sterrekundige Clavius tot stand gebracht. Eerst werden 10 dagen overgeslagen om weer op den goeden datum te komen; en om te verhinderen, dat het later weer misliep, werd vastgesteld, dat in elke 400 jaar 3 schrikkeljaren zouden uitvallen; de jaren 1600 en 2000 bleven schrikkeljaren, maar 1700, 1800 en 1900 werden gewone jaren.

Daarmee is het nu nog niet volkomen in orde, want de lengte van een jaar bedraagt 365 dagen, 5 uren, 48 minuten en 46 seconden. Het Egyptische jaar is dus 11 minuten 14 seconden te lang; dit verschil hoopt zich in 128 jaren tot 1 dag, in 400 jaren dus tot $3\frac{1}{8}$ dag op. Naar de Gregoriaansche tijdrekening blijft dus na 400 jaren een fout van $\frac{1}{8}$ dag over, die na ruim 3000 jaar tot 1 dag aangegroeid is. Hoe daarmee te doen kunnen wij natuurlijk rustig aan de toekomst overlaten. De Gregoriaansche kalender werd in de Katholieke landen dadelijk, in de Protestantsche landen langzamerhand in den loop van de 17^{de} en de 18^{de} eeuw ingevoerd. Rusland heeft nog tot 1917 aan de oude Juliaansche tijdrekening vastgehouden, en daarom waren de Russische datums 13 dagen bij de West-Europeesche ten achter.

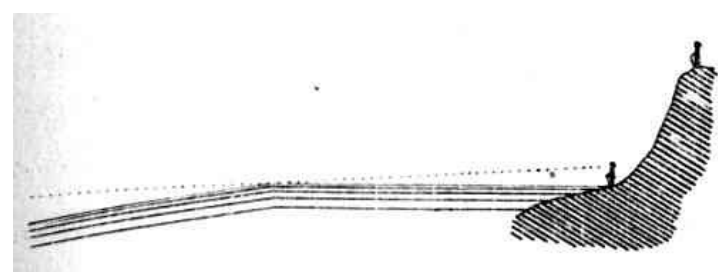
DE AARDE.

11. DE VORM VAN HET AARDOPPERVLAK.

De beschouwing van de hemelverschijnselen heeft ons geleerd, dat de aarde een naar alle zijden begrensd lichaam moet zijn. Met onzen eersten oppervlakkigen indruk, dat wij ons op een plat aardoppervlak bevinden, zou zich dit zeer goed laten vereenigen, wanneer dit vlak de bovenkant van een schijf of van een of ander lichaam met platte vlakken was. Zulke denkbeelden zijn in de oudste tijden (b.v. door sommige Grieksche filosofen) inderdaad geopperd. Maar eenvoudige waarnemingen op zee en

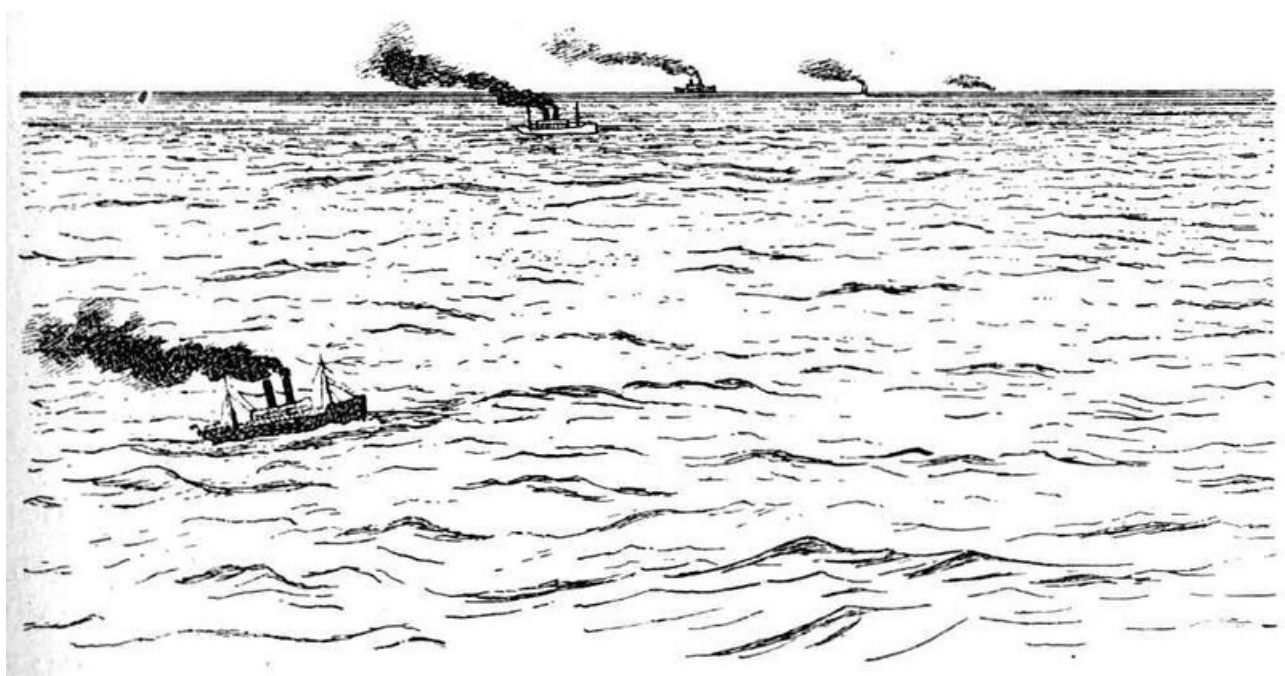
aan de kust hebben reeds vroeg tot juistere opvattingen geleid.

Iedereen weet, dat men van een open plaats of een heuveltop slechts een zeer klein gebied kan overzien, niet meer dan de naaste omgeving. Men denkt dan eerst, dat dit door de ver verwijderde bosschen en heuvels komt, die aan den horizon het verdere uitzicht belemmeren. Maar ook aan het zeestrand is het uitzicht op dezelfde manier beperkt. Tot aan den horizon ziet men steeds maar een klein gedeelte van de zee; van wat verder weg ligt, zien wij niets. Staan wij beneden, vlak aan het water, dan lijkt ons de horizon niet meer dan hoogstens een uur ver verwijderd; bij woelige zee kunnen wij zelfs bemerken, dat de lijn van den horizon eenigszins rimpelig is door de golfbeweging. Klimmen wij dan echter op een hoogte, op een rots of een duin, dan kunnen wij op eens veel verder kijken. De horizon is zeer ver weg en volmaakt recht; de plaats van de zee, waar wij de golfbeweging als flauwe rimpeling zien en die wij beneden als horizon zagen, ligt nu duidelijk onder den horizon en veel dichterbij ons dan wat nu horizon is. Hoe is dat mogelijk? Blijkbaar is het zeeoppervlak geen plat vlak, want dan hadden wij beneden even ver moeten kunnen kijken als boven.

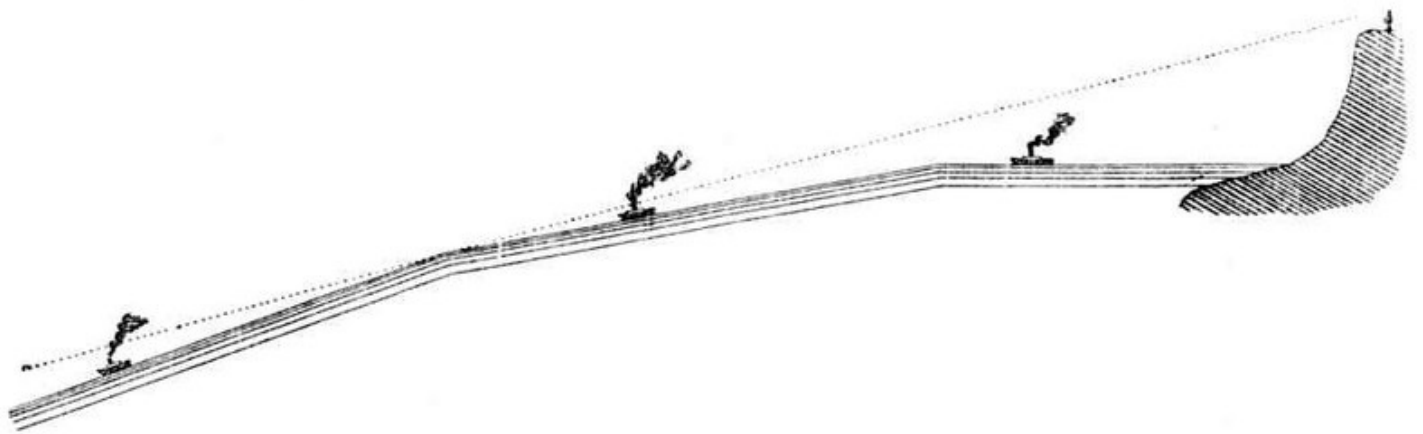


Het ziet er uit, alsof achter den dichtbijzijnden gerimpelden horizon, dien wij beneden zagen, net als achter een rand, het zeeoppervlak iets scheef naar beneden loopt; boven kijken wij dan over dien rand heen, die beneden ons uitzicht begrenste, en daarom kunnen wij boven zooveel verder zien.

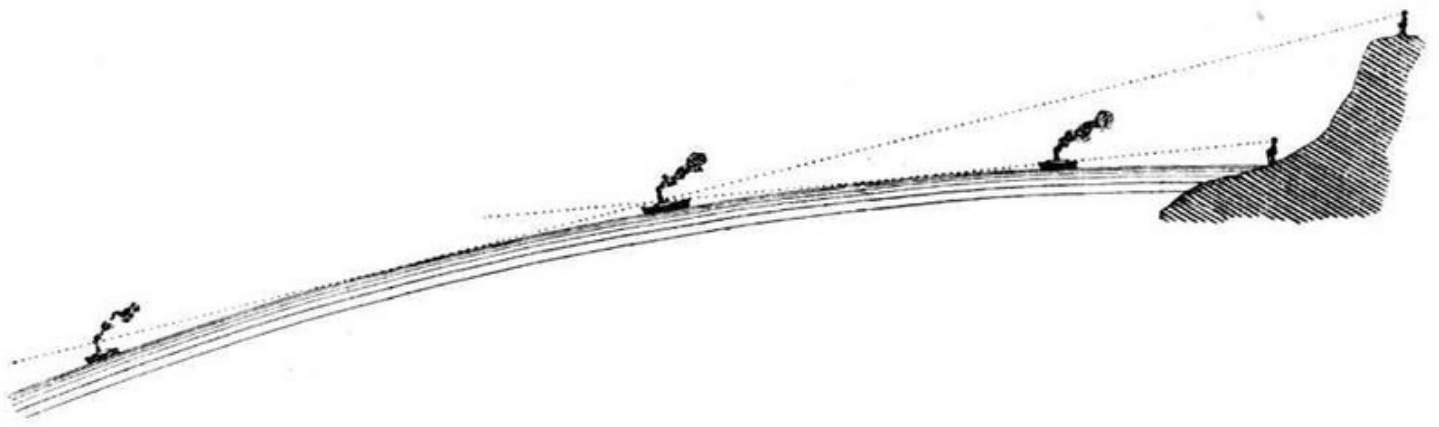
Deze indruk wordt bevestigd, wanneer men op een wegvarend schip let. Terwijl het zich van ons verwijdert, komt het steeds dichterbij de lijn van den horizon en eindelijk zien wij het boven op den horizon rusten; daarna schijnt het, terwijl het steeds kleiner wordt, achter den horizon weg te zinken; de romp wordt onzichtbaar, ook met een verrekijker, en alleen mast en zeilen of schoorsteen en rook steken boven den horizon uit. Klimmen wij nu echter op een hoogte, dan kunnen wij, zooal niet met het bloote oog, dan toch met een verrekijker het geheele schip weer beneden of op den horizon zien; maar ook voor deze hoogere standplaats verdwijnt het schip ten slotte achter den horizon. Achter den verren horizon moet dus een zeeoppervlak liggen, dat nog schuiner naar beneden loopt.



De menschen op het schip zien op dezelfde manier duinen en bergen achter den horizon wegzinken. Maar zij bemerkten er niets van, dat zij over een of ander soort rand of grenslijn heenvaren en dan op een schuin aflopend vlak komen. Voor hen blijft het zeeoppervlak altijd hetzelfde, vlak en horizontaal.



Van grensranden, waar vlakke stukken aan elkaar stooten, kan dus geen sprake zijn. Dan blijft alleen deze mogelijkheid over: de zeeoppervlakte is een naar alle zijden gelijkmatig flauw gebogen oppervlak. Van zulk een gebogen of gewelfd vlak kan men een des te grooter gedeelte overzien, hoe hoger men zich er boven bevindt; is men er zeer dicht bij, dan zijn de ver verwijderde deelen achter haar welving verborgen en deze welving vormt den rand, dien wij als horizon zien.

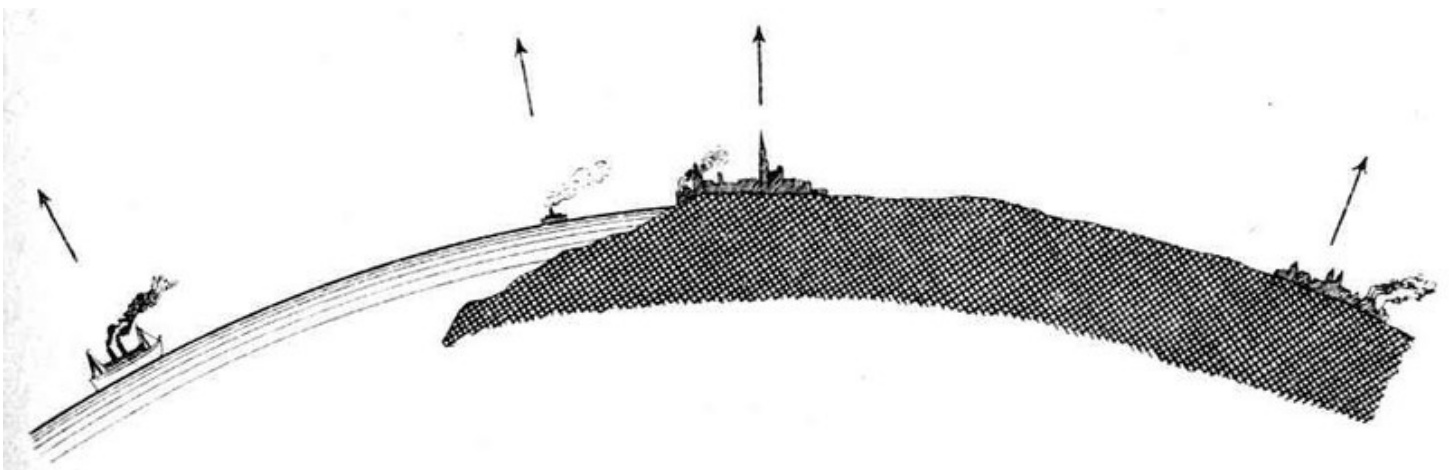


Heel in het klein kunnen wij iets dergelijks bij een gelijkmatig gewelfden heuvel waarnemen; gaat men liggen, zoodat de oogen dicht bij den grond zijn, dan overziet men slechts een zeer klein stukje in de naaste omgeving, terwijl men een veel grooter stuk kan zien, als men rechtop staat.

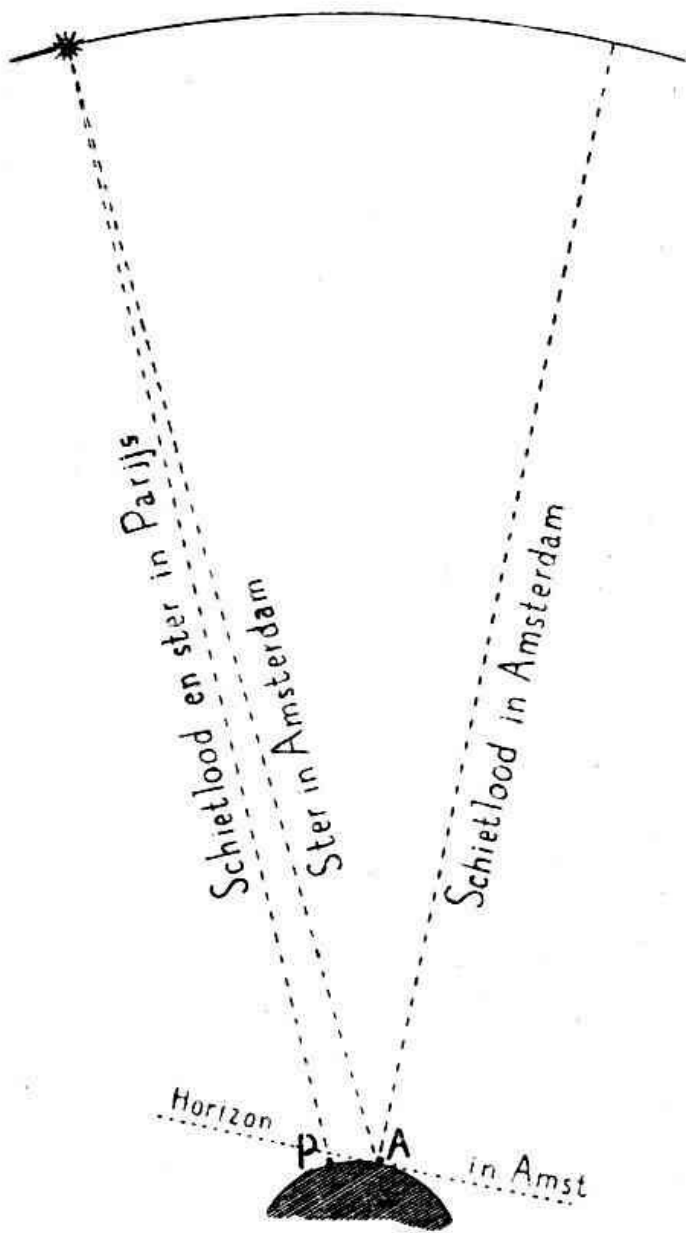
Op zee kunnen wij dus ver verwijderde dingen daarom niet zien, omdat het wateroppervlak gebogen is. Dat geldt echter evenzeer voor het land. Waarom kan men ook bij het helderste weer in Rotterdam niets van de torens van Amsterdam zien, terwijl tusschen deze steden geen heuvels of bergen zijn, die het uitzicht belemmeren? Aan den afstand alleen kan het niet liggen, want van hooge bergen, b.v. van den Brocken, kan men bij helder weer zeer goed zoover en nog verder het land overzien. Dat de torens van deze beide steden voor elkaar onzichtbaar zijn bewijst, dat er iets tusschen zit; dat kan niets anders zijn dan het gebogen aardoppervlak, dat als een rug tusschen hen ligt. Wat voor de zee geldt, geldt dus ook voor het laagland, mogen de heuvels hier de gedaante ook ietwat onregelmatiger maken: de vlakke aarde is evenzoo gebogen als de zeeoppervlakte.

Wij gebruikten zooeven de vergelijking met een zacht glooienden heuvel; maar het valt dadelijk in het oog, dat er toch een groot verschil tusschen beide gevallen bestaat. Bij den heuvel bemerken wij onmiddellijk, dat de hellingen scheef liggen; het water loopt daar langs naar beneden. Daarentegen bemerken de menschen op het wegvarende schip niets van dien aard; de mast van het schip blijft steeds rechtop staan, de zeespiegel ligt volkomen vlak en horizontaal en het water toont niet de minste neiging om weg te vloeien. En toch bevindt zich het schip, naar hetgeen wij van het strand uit zagen, op een hellend, een schuin naar beneden loopend vlak. Hoe is dat mogelijk?

Wat hier op het eerste gezicht zoo vreemd schijnt, bewijst eenvoudig, dat wat op het schip boven en beneden heet, een andere richting is, dan wat wij aan den wal zoo noemen.



De mast van het schip staat recht naar boven, loodrecht op den zeespiegel, maar hij staat scheef ten opzichte van den mast van een schip, dat aan het strand ligt. Laten wij op het schip op zee een zwaar ding vallen, dan valt het daar recht naar beneden, maar toch in een andere richting dan een steen op het strand valt. Voor de menschen op het schip ligt de oppervlakte van het water volkomen waterpas, en daarom heeft dit ook geen reden om weg te willen stroomen. Overal op zee is de oppervlakte horizontaal en de valrichting, loodrecht daarop, vertikaal; maar deze richtingen liggen scheef ten opzichte van waterpas en schietlood op een andere plaats. De torens van Amsterdam steken in een andere richting naar boven dan de torens van Rotterdam, hoewel deze richting in beide plaatsen met hetzelfde woord "naar boven" genoemd wordt. Boven en beneden, horizontaal en vertikaal beteekenen voor elke plaats andere richtingen; zij zijn geen absolute, maar relatieve begrippen.



Dat inderdaad de richting van het schietlood, de vertikale richting, bij een reis over land of over zee anders wordt, daarvan kan men zich ook nog op andere wijze overtuigen. Wanneer in Parijs het schietlood precies naar een bepaalde ster gericht is, dus de Parijzenaars die ster precies boven hun hoofd in het toppunt des hemels zien, kunnen de Amsterdammers diezelfde ster niet precies boven zich hebben. In Amsterdam moet deze ster iets meer naar het Zuiden staan, en het schietlood naar andere, meer

noordelijke sterren gericht zijn. Dit blijkt ook werkelijk het geval te zijn. Reizen wij naar het Noorden, dan zien wij, dat de sterren aan den noordelijken hemel hooger komen te staan, terwijl de sterren in het Zuiden lager komen; sterren, die te voren recht boven ons stonden, staan nu hoog in het Zuiden; sterren, die in het Zuiden dicht bij den horizon stonden, zinken weg en worden onzichtbaar; sterren, die bij hun laagsten stand in het Noorden even onder den horizon verdwenen, blijven er nu steeds boven. Het is alsof de hemelbol in het Noorden iets opgetild en in het Zuiden iets gezakt is, dus iets van het Noorden naar het Zuiden gedraaid is. In werkelijkheid heeft natuurlijk de horizon zijn stand veranderd, is de horizon naar het Noorden gedaald, naar het Zuiden gerezen. Reizen wij naar het Zuiden, dan zien wij juist het tegendeel plaats vinden; in zuidelijke landen ziet men sterren boven den zuidelijken horizon uitkomen, die er in noordelijker streken altijd onder blijven. Daarom waren de volken der oudheid met vele sterren en stergroepen bekend — zooals de schitterende sterrenrij, die den staart van den Schorpioen vormt — die in ons land onzichtbaar zijn. Deze verandering in den stand der sterren ten opzichte van schietlood en horizon bevestigt, dat de oppervlakte van de aarde gebogen is.

Deze verschijnselen waren aan de zeevarende volkeren der oudheid, die de Middenlandsche Zee bevoeren, reeds goed bekend en zij trokken er ook al de juiste gevolgtrekkingen uit. Wel is waar bewijzen zij niet meer dan dat de aardoppervlakte van het Noorden naar het Zuiden gebogen is; want slechts in het Noorden en het Zuiden hebben voor een bepaalde plaats de sterren ook een bepaalde hoogte aan den hemel. In het Oosten en Westen stijgen of dalen de sterren; voor twee plaatsen, die ten Oosten en ten Westen van elkaar liggen, kan men iets dergelijks alleen dan vaststellen, wanneer men in beide precies op hetzelfde oogenblik naar den hemel kijkt en de hoogte der sterren aan den oostelijken of westelijken hemel opneemt. Zulk een geval wordt in het groote astronomische standaardwerk van de oudheid, de *Almagest* van Ptolemaeus, als bewijs voor de gebogenheid van het aardoppervlak aangevoerd. Bij een maansverduistering werd waargenomen, dat de maan op het oogenblik der verduistering voor de westelijke landen zeer laag, voor de oostelijke landen veel hooger aan den oostelijken hemel stond; een reiziger, die met bliksemsnelheid van Syrië naar Spanje kon vliegen, zou dus de maan aan den oostelijken hemel naar beneden zien dalen — een bewijs, dat ook van het Oosten naar het Westen de aardoppervlakte gebogen is.

12. HET WERELDBEELD DER OUDHEID.

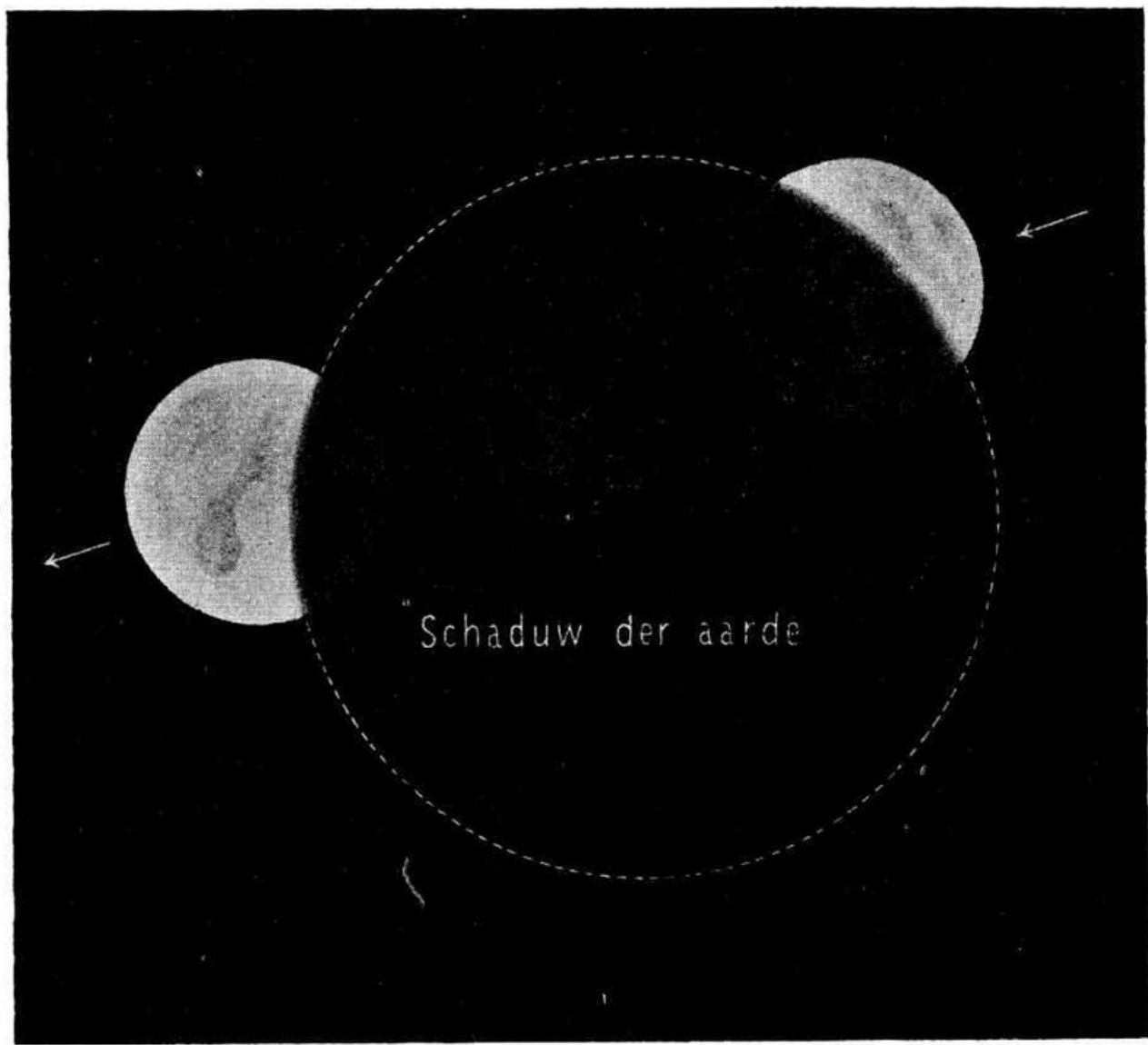
Welken vorm heeft nu de aarde zelf?

Wij vonden, dat haar oppervlakte, zoover wij die kennen — natuurlijk afgezien van de oneffenheden door bergen en dalen — naar alle kanten gelijkmatig flauw gebogen is. De onderstelling ligt nu voor de hand, dat dit overal geldt, dat het aardoppervlak overal dezelfde gelijkmatige welving vertoont en nergens hoeken of kanten heeft. Is dit het geval, dan moet de aarde de gedaante van een bol hebben.

Tot deze opvatting waren sommige wijsgeeren van het oude Griekenland reeds zeer vroeg gekomen.

Wel is waar kenden zij slechts een klein deel van het aardoppervlak, niet meer dan de naaste omgeving van de Middellandsche Zee; het was dus wel wat gewaagd, enkel hieruit tot den bolvorm van de aarde te besluiten. Gelukkig kwam hun echter een ander verschijnsel te hulp, waaraan men de rondheid der aarde als het ware met eigen oogen onmiddellijk kan zien. Bij de maansverduisteringen treedt de maan in de schaduw van de aarde; daarbij kunnen wij de gedaante van de aardschaduw leeren kennen, en uit de schaduw van een lichaam kan men de gedaante van het lichaam zelf opmaken. Nu zien wij weliswaar die schaduw niet in haar geheel, want zij is veel grooter dan de maan; wij zien alleen een stukje van haar rand, wanneer de maan in of uit de schaduw treedt. Deze rand vertoont zich altijd als een zwak gebogen lijn zonder hoeken; zij toont ons duidelijk, dat de schaduw, als men haar in de buurt van de maan op een groot doek kon opvangen, als een zwart cirkelvlak zou verschijnen, driemaal zoo groot als de schijf van de maan. Het eenige lichaam, waarvan de schaduw altijd en in elke richting de gedaante van een cirkel heeft, is de bol. Hier had men dus een zichtbaar bewijs, dat de aarde werkelijk een bol moet zijn.

Deze uitkomst is zoozeer in strijd met de gewone opvattingen, die de menschen zich uit hun dagelijksche oppervlakkige ondervinding gevormd hebben, dat iedereen, die haar voor het eerst verneemt, haar voor ongelooflijk en onmogelijk houdt. Wanneer aan den anderen kant van den aardbol ook menschen wonen, dan zouden die met de voeten naar boven, evenals vliegen tegen een zolder moeten loopen! Waarom vallen zij niet naar beneden? In deze vraag is de tegenstrijdigheid tusschen de oude begrippen over "boven" en "onder" en het nieuwe inzicht het scherpst belichaamd. Daar die oude denkbeelden meestal nauw met de godsdienstige leerstellingen verbonden waren, was het dikwijls gevaarlijk de nieuwe opvatting te verkondigen, daar zij als ketterij en verachting van den godsdienst vervolgd en bestraft werd.



Aardschaduw bij een maansverduistering.

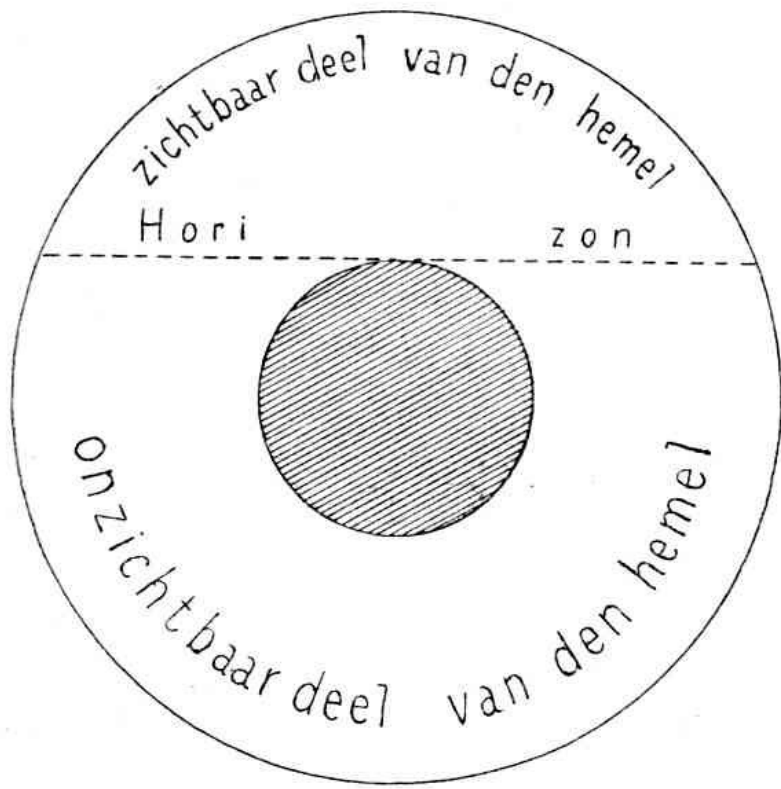
Daarom durfden de Grieksche denkers eerst gaandeweg voor zulke denkbeelden uitkomen; het eerst vinden wij ze bij de leden van de door Pythagoras in Zuid-Italië (in de 6^{de} eeuw vóór Chr.) gestichte filosofenschool. En nadat de nieuwe leer van de rondheid der aarde zich ten slotte baan gebroken had en tot grondslag van de wetenschap der oudheid geworden was, werd zij naderhand, in de eerste eeuwen van het Christendom, toen alle aardsche wijsheid veracht werd en de wetenschap weinig in tel was, door kerkvaders en andere schrijvers weer als onchristelijk verworpen.

Maar op de Grieken, wier geest voor schoonheid en harmonie zoo bijzonder ontvankelijk was, moest de nieuwe leer toch een groote bekoring uitoefenen. Zeker, zij was onvereinigbaar met de primitieve natuurkundige denkbeelden over boven en beneden; maar deze tegenstrijdigheid was op te heffen door de grondbegrippen der natuurkunde eenvoudig met de nieuwe sterrekunde in overeenstemming te brengen. Zoo ontstond een wereld-beeld van wonderbare harmonie en verrassenden eenvoud, dat wij beschreven vinden in de werken van den wijsgeer Aristoteles (350 v. Chr.), die alle gebieden van het toenmalige weten der menschheid omvatten. Dit wereldbeeld beheerschte de geheele wetenschap der oudheid, die het slechts in eenige belangrijke details nog verder opbouwde; nadat het in de eerste eeuwen van het Christendom voor primitievere opvattingen had moeten wijken, kwam het weer tot eere, toen Albertus Magnus en Thomas van Aquino in de 13^{de} eeuw de filosofie van Aristoteles

tot aanzien brachten en met de kerkleer vereenigden; sindsdien beheerschte het de geheele verdere wetenschap van de middeleeuwen tot aan de groote omwenteling der wetenschap, die met het begin der nieuwe geschiedenis samenvalt.

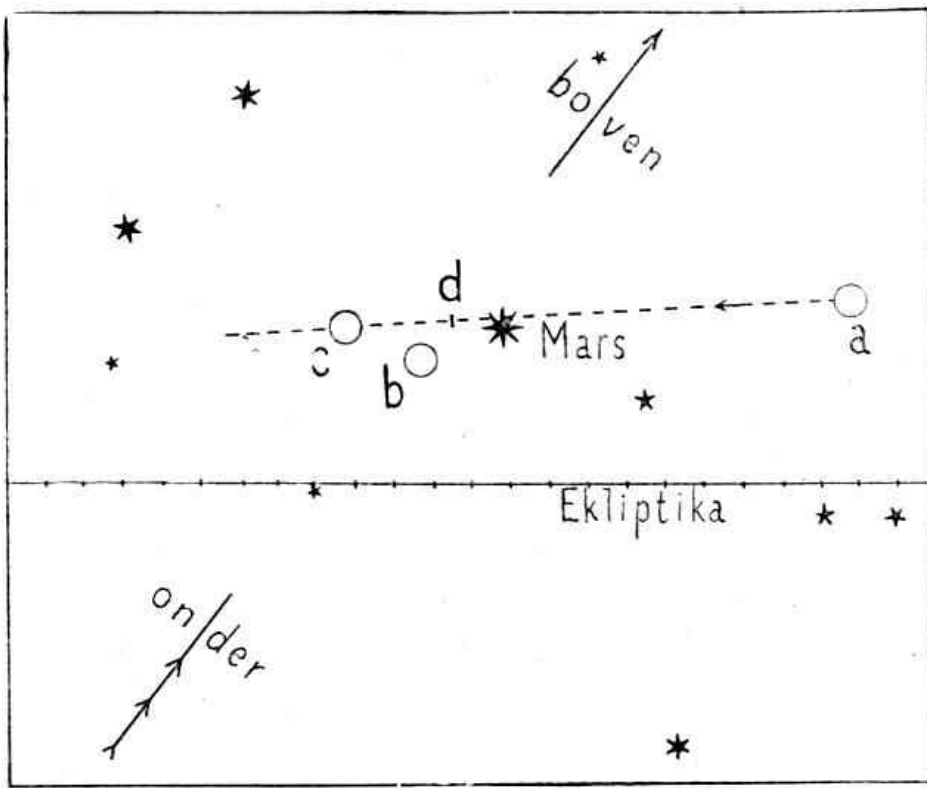
In het midden van de wereld bevindt zich de aardbol, rondom door een draaienden hemelbol omgeven, die de buitenste grens van de wereld vormt. Waarom zijn het juist bollen? Omdat de wereld volmaakt en goddelijk is, en omdat de bol de volmaaktste lichaamsvorm, de cirkel de volmaaktste figuur is, daarom moeten de wereldlichamen allen bollen zijn en hun loopbanen allen cirkels. Overal op aarde staat de richting van het schietlood loodrecht op het aardoppervlak; alle zware lichamen vallen in de richting naar het middelpunt der aarde, dat tegelijk het middelpunt der wereld is. "Onder" beteekent altijd: naar het middelpunt der wereld toe; "boven" is de richting van het middelpunt af, naar den hemel toe. Alle lichamen hebben hun "natuurlijke" plaats in de wereld en hun "natuurlijke" beweging, die hen naar die plaats brengt "zij worden door de natuur naar de plaats gedreven, waar zij behooren en daar blijven zij in rust". Al wat zwaar is, streeft naar het middelpunt der wereld, vindt daar zijn natuurlijke plaats en valt daarom, aan zich zelf overgelaten, naar beneden; al wat licht is, zoekt zich van het middelpunt te verwijderen en stijgt dus omhoog, naar den hemel toe. Omdat alle zware stof naar het middelpunt van de wereld dringt, heeft zij zich daar tot een klomp samengehoopt; dit is de zware, donkere aarde. Zoo is dus meteen en op de eenvoudigste wijze de vraag beantwoord, die vroeger steeds weer vol verbazing gesteld was en tot menige vernuftige fantasie aanleiding had gegeven: hoe de aarde zoo maar vrij in het midden der wereld kon zweven zonder naar beneden te vallen. Alle deeltjes trachten zoo dicht mogelijk bij het middelpunt der wereld te komen; daarom moeten zij zich in de gedaante van een bol op elkaar stapelen, want alleen bij een bol zijn de buitenste deeltjes overal even ver van het middelpunt verwijderd. De elementen leggen zich daarbij in de volgorde van hun zwaarte over elkaar heen: beneden, in het midden, de aarde; daarboven het water; daarboven de lucht, en nog hooger het vuur. Lucht en vuur stijgen dus niet werkelijk tot den hemel; zij bewegen zich in onze omgeving omhoog, omdat hun natuurlijke plaats boven ons, verder naar buiten ligt. Boven en buiten dit gebied van de aardsche elementen bevindt zich de *aether*, het vijfde, hemelsche element, het rijk der hemellichamen. Terwijl de natuurlijke beweging van de aardsche elementen naar boven of naar beneden gericht is, naar de plaats, waar zij in rust kunnen blijven, is de natuurlijke beweging der hemellichamen de eindeloze, onvergankelijke, steeds gelijkmatige cirkelbeweging om het middelpunt heen.

Dit is het beeld, dat de oudheid zich van de wereld vormde. Hier doet zich nu de vraag voor: hoe groot is de aardbol in verhouding tot den hemel, die de wereld omsluit? Uit de hemelverschijnselen hebben wij afgeleid, dat de sterren en de geheele hemelbol om ons draaien; het kwam ons voor, dat wij ons in het middelpunt van de wereld bevinden. Wij zien nu in, dat dit niet juist kan zijn; het middelpunt der wereld, waar alles om heen draait, is het middelpunt der aarde dat onder ons ligt, terwijl wij ons daarboven op de oppervlakte bevinden. Wij zien dus den hemel niet van uit zijn middelpunt, en wanneer wij er ver buiten zijn, dan moeten daardoor de hemelverschijnselen merkbaar anders worden. Zoo namen wij tot nog toe aan, dat de horizon juist de helft van den hemel voor ons bedekt; wij mochten dat doen, omdat wij zelf ten opzichte van den aardbol zoo klein zijn, dat de kim, die ons gezicht afsluit, op nagenoeg gelijke hoogte met ons zelf om ons heen loopt.



Bevinden wij ons echter — natuurlijk op de vlakke aarde, niet op een berg — aanmerkelijk boven het middelpunt der wereld, dan bedekt de donkere aarde voor ons meer dan de helft van den hemel; dan is het zichtbare deel van den hemel boven den horizon minder dan de helft, zooals de figuur dadelijk toont. Dan zou dus de zon, wanneer zij precies in den aequator staat, minder dan 12 uren boven den horizon moeten blijven. Daarvan is echter niets te bemerken; voorzoover uit de waarnemingen blijkt, verdeelt de horizon den hemel in twee gelijke helften. De hemelverschijnselen hebben juist zoo plaats, alsof wij ons precies in het middelpunt van de wereld bevinden. De hemelbol met de sterren moet dus in verhouding tot de aarde onmetelijk ver van ons verwijderd zijn en de aarde buitengewoon veel in grootte overtreffen.

Slechts één hemellichaam maakt hier een uitzondering: de maan, waarvan wij trouwens al weten, dat zij veel dichter bij ons is dan de zon. Bij de maan is het inderdaad, alsof zij aan een kleinen hemelbol zit, die door den horizon in twee ongelijke helften verdeeld wordt; als wij haar zien opkomen of ondergaan, bevindt zij zich in werkelijkheid in de bovenste helft van den hemel. Dat kan men zelfs met het bloote oog vaststellen, zonder hulp van instrumenten, wanneer men maar nauwkeurig op haar plaats aan den sterrenhemel let. Weliswaar is in den regel de plaats van de maan tusschen de sterren niet nauwkeurig genoeg in een kaart in te tekenen, omdat zij door haar sterken glans de kleinere sterren in haar buurt onzichtbaar maakt. Doch nu en dan komt zij in het noordelijkste deel van haar baan vlak bij een heldere ster of een planeet, en dan kunnen wij haar beweging zeer nauwkeurig volgen.



De maan in de Tweelingen op 10 en 11 Januari 1914.

Teekenen wij dan haar plaats op de kaart in, zoowel wanneer zij in het Oosten of Westen dicht bij den horizon staat, alsook wanneer zij hoog in het Zuiden boven ons hoofd staat, en vergelijken wij dan deze plaatsen met de plaats van den vorigen of den volgende dag, dan ziet haar beweging er hoogst onregelmatig uit. Zoo stond zij b.v. op 11 januari 1914 in de Tweelingen, dicht bij de planeet Mars, 's avonds om 6 uur in *b*, daarentegen om 11 uur hoog in het Zuiden in *c*, terwijl zij den vorigen dag om 11 uur in *a* gestaan had.



Heeft zij haar baan regelmatig doorloopen, dan heeft zij om 6 uur in werkelijkheid in *d* gestaan. Bedenkt men nu, dat het sterrebeeld om 6 uur in het Oosten zóó ten opzichte van den horizon stond als de pijl aanduidt, dan blijkt dadelijk, dat wij de maan daar nagenoeg een graad lager zagen staan, dan zij staan moest, en in werkelijkheid ook wel gestaan heeft.

De oorzaak van dit verschijnsel ligt nu onmiddellijk voor de hand. Van uit het middelpunt der wereld,

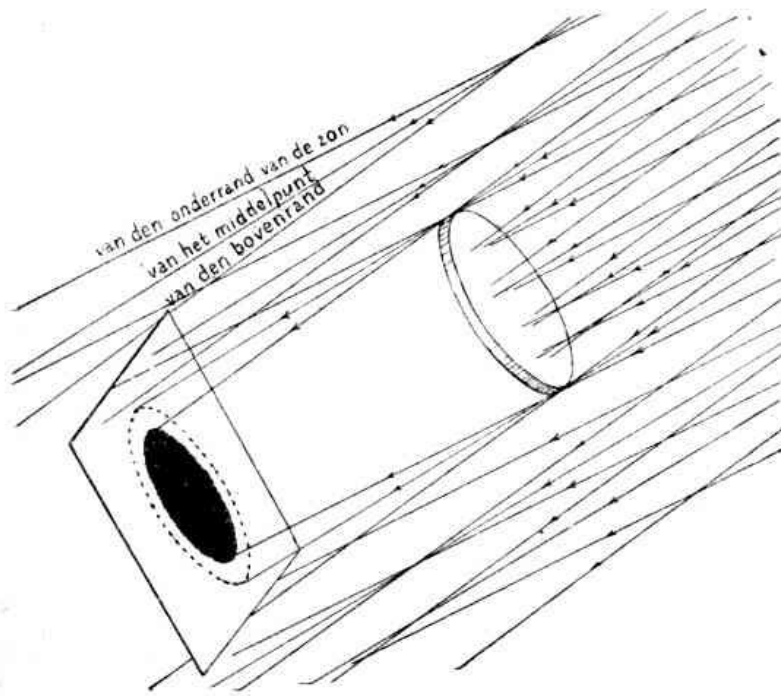
waar alles om heen draait, zou men haar op de goede plaats hebben gezien; maar wij staan hoger op de oppervlakte der aarde, en zien haar van uit dit hoogere standpunt, omdat zij vrij dicht bij ons is, lager staan. Had zij een paar uren vroeger in werkelijkheid precies voor Mars gestaan, dan hadden wij de ster nog altijd over de maan heen kunnen zien. Het verschil tusschen de plaats aan den hemel waar wij de maan zien, en haar werkelijke plaats waar zij van uit het middelpunt gezien wordt, heet haar *parallaxe*.

Deze *parallaxe* is des te grooter, naarmate de maan dichter bij ons is, en zij kan dus dienen om den afstand van de maan te leeren kennen. Wij zien de maan in den horizon nagenoeg een graad te laag staan. Omdat de richting, waarin wij van onze standplaats uit de maan zien, nagenoeg een graad anders is dan de richting, waarin zij van uit het middelpunt der aarde gezien wordt, moeten omgekeerd de richtingen, waarin van uit de maan onze standplaats en het middelpunt der aarde gezien worden, ook evenveel verschillen. Iemand, die op de maan staat, zou dus de halve middellijn der aarde in de grootte van nagenoeg een graad aan den hemel zien. Omdat de maan zich aan ons als een schijf met een middellijn van een halven graad vertoont, volgt hieruit onmiddellijk, dat de aarde na genoeg vier maal grooter is dan de maan. Wij maken nu gebruik van de meetkundige stelling, dat elk ding, dat ons in de grootte van een graad aan den hemel verschijnt, 57 maal kleiner is dan zijn afstand. ¹⁾ Van uit de maan gezien vertoont zich de halve middellijn van de aarde iets kleiner dan een graad. Daaruit volgt, dat de afstand van de maan ongeveer 60 maal grooter is dan de halve middellijn der aarde.

Deze uitkomst was ook reeds aan de geleerden der oudheid bekend. Van Hipparchus, die twee eeuwen na Aristoteles leefde (150 v. C.), is een vernuftige manier afkomstig om den afstand van de maan te vinden, die dit aardige heeft, dat er heelemaal geen moeilijke waarneming van *parallaxe* voor noodig was; deze afstand werd door redeneering afgeleid uit iets, dat ons al bekend is.

¹⁾ Ieder weet, dat de omtrek van een cirkel tot zijn middellijn staat als 22 tot 7. Verdeelt men den omtrek in 360 graden, dan staat dus de lengte van zulk een graad tot de halve middellijn als $\frac{22}{360}$ tot $3\frac{1}{2}$, dat is als 1 tot 57,3.

Wij weten, dat de schaduw van de aarde dáár, waar de maan door haar heen gaat, bijna driemaal zoo groot is als de maan zelf. Is deze schaduw niet even groot als de aarde zelf? Niet heelemaal, zooals uit de



volgende proef blijkt. Houdt men een muntstuk in het zonlicht en laat men zijn schaduw op een blad papier vallen, dan ziet men, dat het zwarte schaduwbeeld des te kleiner is, naarmate het papier verder van het geldstuk af gehouden wordt. Hoe komt dat? Vielen alle zonnestralen precies in dezelfde richting, dan zou de schaduw precies even groot zijn als het ding zelf; daar echter het zonnelicht niet door een lichtgevend punt, maar door een schijf aan den hemel uitgestraald wordt, dringen de stralen, die van den zonnerand komen, schuin in de ruimte achter het geldstuk en maken de schaduw kleiner. Zoo is het ook bij de aarde. Op de figuur, waar de stralen geteekend zijn, die van het middelpunt en die van de randen der zon komen, kan men zien — wanneer men in plaats van het muntstuk de aarde denkt —, dat de rand, die van de schaduw afgaat, van uit de aarde gezien juist zoo breed is als de halve middellijn van de zonneschijf. Men moet dus om de aardschaduw nog een ring van deze breedte leggen, om haar even groot als de aarde zelf te maken; dan wordt zij — daar zon en maan aan den hemel even groote schijven zijn — in plaats van bijna driemaal bijna viermaal zoo groot als de maan. De aarde zou zich dus, als zij zoover als de maan van ons af stond, bijna viermaal zoo groot als de maan vertoonen, dus als een schijf met een middellijn van bijna 2 graden. Daaruit volgt dan hetzelfde, wat wij boven afleidden.

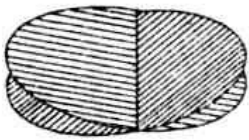
Zoo kon de wetenschap der oudheid op den door Aristoteles gelegden grondslag haar wereldbeeld opbouwen. Op een afstand van 30 aardmiddellijnen cirkelt de maan om de aarde; volgens Aristarchus nam men aan, dat de zon op 19 maal grooteren afstand haar kring beschrijft, en op nog veel grooteren afstand, waarbij de aarde dus onmerkbaar klein is, wentelt de hemelbol dagelijks om zijn as en sleept daarbij ook de lagere, dicht bij ons liggende hemelbollen mee.

13. HEMELASPEKTEN EN KLIMATEN.

De primitieve mensch, die zich nog geheel door de oppervlakkige indrukken van zijn omgeving laat

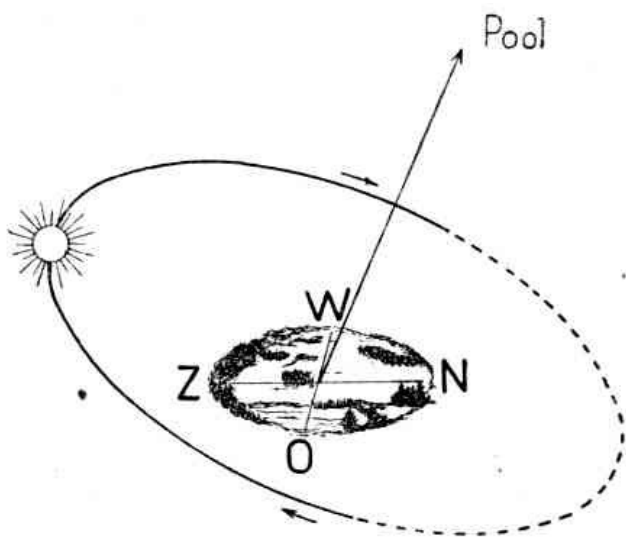
leiden, houdt de omstandigheden, waaronder hij leeft, voor de eenig mogelijke en natuurlijke, en het valt hem moeilijk zich die anders voor te stellen. Door de wetenschap, die naderhand uit opzettelijke waarnemingen en bewuste gevolgtrekkingen opgebouwd wordt, weet de mensch zich boven dit subjektieve standpunt te verheffen. Hij leert dan zijn eigen omstandigheden als iets toevalligs beschouwen, als iets, dat evengoed anders kon zijn, en hij weet zich met zijn geest te verplaatsen in de verhoudingen en de toestanden, waaronder andere menschen leven. Hij doorziet het wezen der wereld objectief, onafhankelijk van zijn eigen toevallige levensomstandigheden; daarin ligt de groote beteekenis van de wetenschappelijke wereldbeschouwing.

Zoo zijn wij nu ook hier in staat om met behulp van de kennis, die wij tot dusver verkregen hebben, de hemelverschijnselen en de daarmee samenhangende wisselingen van dag en nacht en jaargetij voor alle plaatsen van de wereld af te leiden, zonder dat wij er zelf ooit geweest zijn.

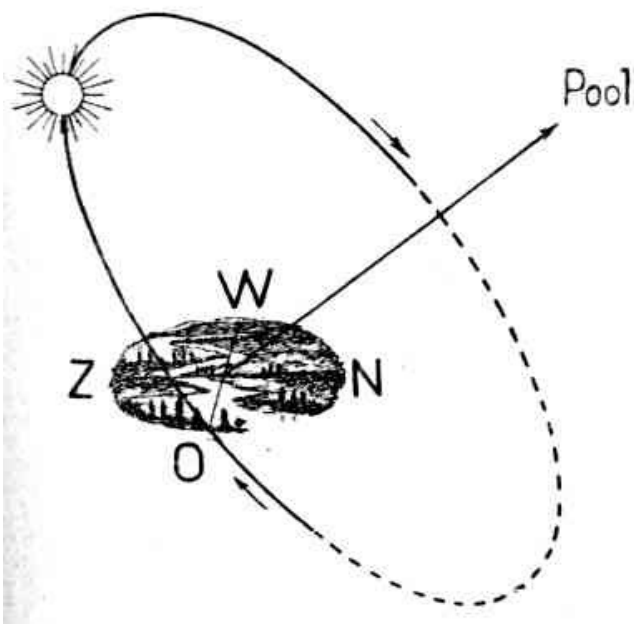


Toen de menschen nog slechts een klein gedeelte van de aardoppervlakte kenden, was het een triomf der wetenschap, dat men met zoo groote stelligheid kon zeggen, welke verschijnselen in onbekende werelddeelen moesten plaatsvinden. En toen vele eeuwen later de geheele aarde ontdekt en bezocht werd, verwonderde men zich in het geheel niet over de verschijnselen, die men daar waarnam; men kende ze van te voren en had ze niet anders verwacht.

Reizen wij van de plaats, waar wij wonen, naar het Noorden toe, dan krijgt de horizon, het kringetje, dat het kleine, zichtbare gebied om ons heen omsluit, een anderen stand. Aan de noordzijde daalt hij, aan den zuidkant komt hij hoger, evenalsof hij iets gedraaid is om een as, die horizontaal Oost-West ligt; te gelijk buigt ook de richting van het schietlood iets naar het Noorden toe. Omdat voor ons natuurlijk de horizon altijd horizontaal en het schietlood altijd vertikaal blijft, komt het ons voor, dat de geheele sterrenhemel zich om dezelfde oost-westelijke as iets in omgekeerde richting gedraaid heeft; in het Noorden is hij hoger gekomen, in het Zuiden gedaald, zooals wij in een vorig hoofdstuk ook reeds gezien hebben.



De hemelpool staat hooger aan den noordelijken hemel, en de hoogte van de sterren in het Zuiden is kleiner geworden. De as, waar de hemelbol dagelijks om draait, staat steiler en de banen, die de sterren van het Oosten naar het Westen beschrijven, liggen minder schuin. Hadden wij ons omgekeerd in zuidelijke richting begeven, dan hadden wij juist het tegenovergestelde gezien; hoe zuidelijker men komt, des te lager komt de hemelpool, des te minder steil staat de hemelas, en des te steiler stijgen de hemellichten in hun dagelijkschen loop in het Oosten naar boven en dalen zij in het Westen naar beneden.



Wij vonden in het eerste gedeelte van ons werk als samenvatting van alle dagelijksche bewegingen der gesternten, dat de hemelbol met de daaraan vastgehechte hemellichten dagelijks om een as wentelt, die in een bepaalde richting schuin naar het Noorden omhoog gericht is. Hier blijkt nu, dat deze bepaalde schuine richting van de hemelas geen bijzonderheid van den hemel is, maar enkel een bijzonderheid van onze woonplaats, en door de toevallige ligging van onze woonplaats op aarde bepaald wordt. Voor iedere andere plaats is die richting anders. Van een bepaalde richting van de hemelas en van den hemel kan men dus eigenlijk in het geheel niet spreken. Toen wij daarover spraken, bedoelden wij den stand van den hemel ten opzichte van horizon en schietlood, dien wij nu omgekeerd beter aanduiden als den met de woonplaats wisselenden stand van horizon en schietlood ten opzichte van den hemelbol. De stand van den hemel wordt aangegeven door den in graden gemeten afstand tusschen hemelpool en horizon: de poolshoogte, die voor noordelijke

streken grooter, voor zuidelijke streken kleiner is. Deze poolhoogte geeft aan, hoever een plaats noordelijker of zuidelijker ligt, en wordt als bepaling van de standplaats op aarde de breedte van deze plaats genoemd. Voor ons land bedraagt zij ruim 50 graden, voor Zuid-Europa 40, voor Zweden 60 graden.

Wat voor de sterren geldt, geldt ook voor de zon. Naarmate men verder naar het Noorden gaat, staat zij 's middags in het Zuiden minder hoog, blijft zij 's winters dicht bij den horizon en kan zij de aarde minder verwarmen. Omgekeerd in zuidelijke streken, waar zij 's middags hoger aan den hemel klimt en de aarde sterker bestraalt. Daarom wordt het klimaat naar het Zuiden steeds warmer, naar het Noorden steeds kouder. Evenals de winterzon in de noordelijke streken 's middags minder hoog stijgt, zinkt daar de zomerzon 's nachts minder diep onder den horizon weg. De schemering in de zomernachten is er dus veel sterker, en in Petersburg en Stockholm heeft men dan de "witte nachten," waarin het bijna zoo licht is, als hier op een regenachtigen dag. De langste dag duurt langer dan hier, daar de dagkring van de zon minder scheef ligt, maar daarvoor duurt de kortste dag in den winter ook korter.

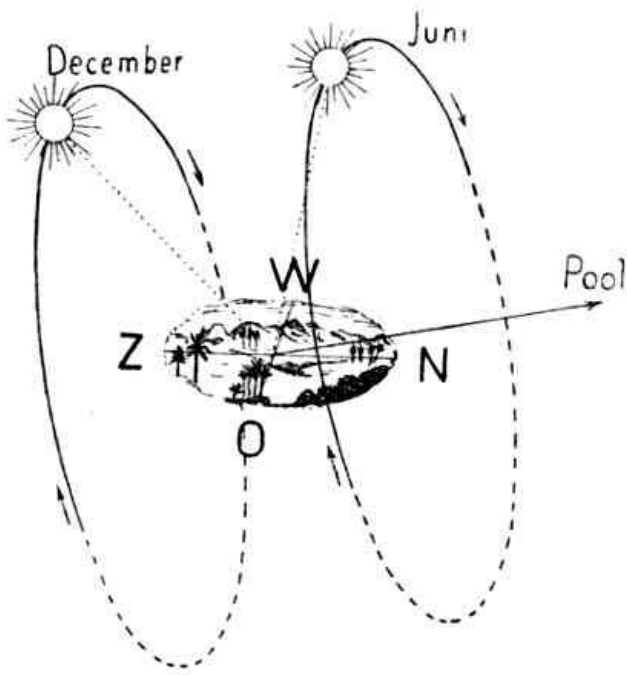
Gaat men steeds verder naar het Noorden, dan staat de zomerzon te middernacht steeds minder diep onder den noordelijken horizon, en eindelijk komt men in een streek, waar de zon op den langsten dag in Juni niet meer ondergaat. Hier begint het gebied van de middernachtszon. De hemelpool staat hoog boven ons hoofd, de hemelas staat zeer steil, bijna loodrecht; de banen der sterren liggen vrij vlak, in het Zuiden slechts weinig hooger dan in het Noorden. Ook de zomerzon beweegt zich in een zwak hellende baan om ons heen; in het Zuiden komt zij wat hooger, in het Noorden wat lager, maar steeds blijft zij zichtbaar. Eerst wanneer de zon zich eenige weken of maanden later verder van de hemelpool verwijderd heeft, gaat zij weer in het Noordwesten onder. Tegenover dezen weken- of maandenlangen dag in den zomer, staat een even lange nacht in den winter, waarin de zon in het Zuiden niet tot aan den horizon opstijgt en dus onzichtbaar blijft. Zoo zagen de Hollandsche matrozen, die in 1596 voor het eerst op Nova-Zembla moesten overwinteren, de zon in November verdwijnen en eerst in Februari weer terugkomen. Door de geringe straling van de zon is de aarde in deze streken bijna het geheele jaar door met sneeuw en ijs bedekt; geen boom wil hier groeien, slechts eenige kruiden en bloemen schieten in de zomermaanden op, en een ondoordringbare ijsmassa verhindert aan de schepen den doortocht.

Gaan wij al maar verder naar het Noorden, dan moeten wij ten slotte op een plaats komen, waar wij de hemelpool precies boven ons hoofd hebben en de breedte dus 90 graden is: de Noordpool der aarde. De hemelas staat hier loodrecht, de sterren loopen horizontaal om ons heen, blijven steeds even hoog en geen enkele gaat op of onder. De eene helft van den hemel blijft altijd zichtbaar, de andere altijd onzichtbaar. Er is geen onderscheid meer tusschen Noord en Zuid, Oost en West; alle richtingen zijn hier gelijk. Op den dag der voorjaarsnachtevening, wanneer de zon op de noordelijke helft des hemels komt, wordt zij aan den horizon zichtbaar. Onmerkbaar langzaam stijgt zij omhoog, aldoor in 24 uren in steeds hoogere cirkels den geheelen horizon rondlopend, tot zij drie maanden later op zijn hoogst gekomen is; dan daalt zij, op dezelfde wijze steeds rondcirkelend, langzaam naar beneden en verdwijnt op den dag der herfstnacht-evening. Terwijl zij in de volgende weken langzaam verder daalt, verdwijnt meer en meer het schemerlicht, dat met haar om den horizon rondloopt; een lange nacht begint, tot eindelijk in Februari de schemering en in Maart de zon weer verschijnt. Alleen de maan, die op dezelfde wijze afwisselend 2 weken zichtbaar en 2 weken onzichtbaar is, verlicht telkens voor 15 dagen dezen langen nacht.

In een boek uit de 2^{de} eeuw n. C. over het leven van beroemde wijsgeeren wordt van Bion, een tijdgenoot van Socrates, vermeld, dat hij de eerste is geweest, die beweerde dat er streken waren, waar

dag en nacht ieder 6 maanden duren. Meer weten wij niet van hem, daar geen eigen geschriften van hem bewaard zijn gebleven. Uit dezen zin kunnen wij echter besluiten, dat reeds in dien tijd, een eeuw vóór Aristoteles, volkomen juiste gevolg trekkingen uit de leer van de rondheid der aarde afgeleid werden want van een werkelijke bekendheid met de Poolstreken was toen bij de Grieken nog geen sprake.

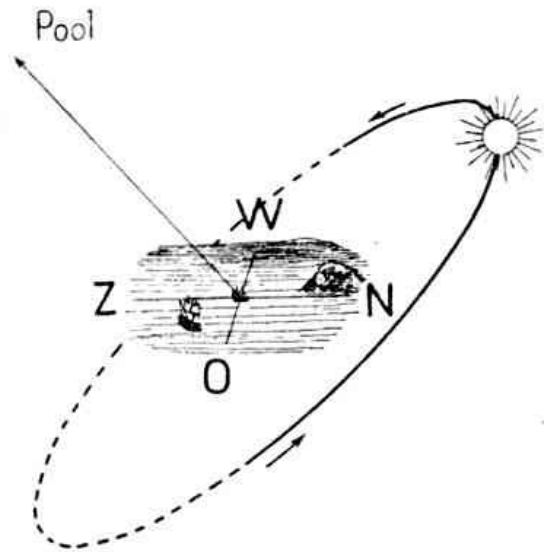
Gaan wij nu van uit onze woonplaats, in plaats van naar het Noorden, steeds verder naar het Zuiden. Wij weten al, dat dan de hemelas steeds minder steil wordt en de hemelpool steeds lager komt, dat de dagkringen van de sterren en de zon steiler worden en hun hoogte in het Zuiden toeneemt, terwijl het klimaat steeds warmer wordt. Ten slotte komen wij dan — op een breedte van $23\frac{1}{2}$ graad — zoover, dat de zomerzon in haar hoogsten stand recht boven ons hoofd staat. Gaan wij nog verder, dan staat de zomerzon 's middags in het Noorden, iets ten Noorden van het toppunt en de winterzon hoog in het Zuiden. Wij bevinden ons dan in de heete of tropische zone der aarde.



In deze streken komen wij dan op onze reis naar het Zuiden zoover, dat de hemelas geheel plat, horizontaal ligt; de Noordpool des hemels is tot aan den noordelijken horizon gedaald, dus is de breedte hier nul; tegelijk is echter de tot nu toe onzichtbare Zuidpool des hemels tot aan den zuidelijken horizon gestegen.

Wij bevinden ons dan op den evenaar of linie, den aequator der aarde. De sterren klimmen in het Oosten recht naar boven en dalen in het Westen recht naar beneden. Er zijn in het Noorden geen sterren meer, die nooit ondergaan, maar tegelijk zijn er in het Zuiden ook geen sterren, die steeds onzichtbaar blijven. Alle dagkringen worden door den horizon in twee gelijke helften verdeeld: de zon gaat altijd om 6 uur op en om 6 uur onder, terwijl de schemering slechts kort duurt, omdat de zon loodrecht stijgt en daalt. Op 21 Maart en 22 September komt de zon precies in het Oosten op, gaat recht over ons hoofd heen en gaat precies in het Westen onder. In Juni blijft zij steeds aan den Noordkant, in December aan den Zuidkant des hemels. Hier ontbreekt de tegenstelling tusschen een koud en een heet jaargetij, omdat de zon in December en in juni even hoog staat; het is altijd heet, en een verschil tusschen de jaargetijden bestaat slechts in een regelmatige afwisseling van droogte en regentijd, die gedeeltelijk met den vorm van landen en zeeën samenhangt.

Gaan wij nu over den evenaar heen nog verder naar het Zuiden, dan komen wij op het zuidelijke halfrond der aarde; in het Zuiden verheft zich de Zuidpool des hemels boven den horizon, terwijl de Noordpool met de omliggende sterren onzichtbaar wordt. Alle verschijnselen, die wij tot nog toe aantreffen, keeren nu in omgekeerde volgorde terug, alleen met dit verschil, dat Noord en Zuid verwisseld zijn. De Zuidpool des hemels komt bij onze reis naar het Zuiden steeds hoger aan den zuidelijken hemel, en geeft door haar hoogte de toenemende zuidelijke breedte aan; de hemelas wordt steeds steiler, de banen der sterren worden steeds vlakker en het klimaat wordt steeds kouder.



Maar nu klimmen de sterren in het Oosten steeds naar links, naar het Noorden omhoog, bereiken in het Noorden hun hoogsten stand en dalen vandaar naar het Westen. Zij gaan dus niet naar rechts, maar naar links om. De Grieksche geschiedschrijver Herodotus verhaalt in het 4^{de} Boek van zijn Historiën, dat Phoenicische schippers in opdracht van den Pharao Necho een tocht om Afrika deden; uit de Roode Zee voeren zij uit, en door de Zuilen van Hercules (de Straat van Gibraltar) kwamen zij na 3 jaren weer thuis. "Zij vertelden vele dingen, die mij niet geloofwaardig voorkomen, mogen ook anderen ze gelooven: onder andere, dat zij om Lybië (Afrika) heenvarend de zon aan hun rechterhand kregen. Op die manier werd voor het eerst vastgesteld, dat Lybië aan alle kanten door de zee omringd is." Uit deze mededeeling, die den geschiedschrijver verzonnen en onmogelijk toescheen, kunnen wij omgekeerd besluiten, dat de Phoenicische schippers inderdaad op het zuidelijk halfrond geweest zijn.

Deze verwisseling van rechts en links treedt ook hierin voor den dag, dat de gedaanten van de pas verschijnende en de weldra verdwijnende maansikkel verwisseld zijn; op het zuidelijk halfrond ziet het eerste kwartier er juist zoo uit als bij ons het laatste kwartier. Verder is daar de middaghoogte van de zon het grootst, wanneer zij het zuidelijkst komt, dus in December, en het kleinst, wanneer zij zich in het noordelijkst deel van haar baan bevindt, dus in Juni. De jaargetijden zijn hier dus juist omgekeerd als bij ons; in December is het warme zomer, in Juni koude winter. Gaat men nu aldoor verder naar het Zuiden, dan komt men ook hier in koude, met sneeuw en ijs bedekte poolstreken, die de Zuidpool des hemels boven zich en de middernachtszon in het Zuiden hebben.

Zoodra men in de oudheid ingezien had, dat de aarde rond is, kon men al deze verschijnselen voor de verschillende deelen der aarde afleiden. Men geloofde echter, dat de menschen in de tropische zone en het zuidelijk halfrond nooit konden komen, daar deze streken van de bewoonde wereld om de Middellandsche Zee gescheiden waren door ondoordringbare woestijnen en door zeeën, die door dichte wiermassa's onbevaarbaar waren. Eerst 15 eeuwen later werd dit geloof vernietigd en de geheele aarde ontdekt.

14. DE ONTDEKKING DER AARDE.

Hoe groot is de aarde? Konden wij een reis om haar heen maken en daarbij onzen weg met een meetketting meten, dan wisten wij het in eens. Maar dit is praktisch onuitvoerbaar, en was het in nog veel hooger mate, toen de menschen nog slechts een klein deel van haar oppervlakte kenden. De vraag is, of men de grootte van de aarde niet kan vinden, terwijl men binnen een beperkt gebied blijft.

Dat is niet zoo moeilijk, als het op het eerste gezicht schijnt. Wanneer wij een kleinen afstand op de aarde meten, kunnen wij daaruit haar omtrek vinden, wanneer wij slechts weten, welk deel van den geheelen omtrek deze afstand is. Dit laatste kunnen wij uit de verandering van de richting van het schietlood vinden, die ons door de sterren wordt aangegeven. Wanneer de aarde een bol is en haar oppervlakte dus overal even sterk gebogen, dan moet telkens, wanneer wij een zelfden afstand doorloopen, ook de richting van het schietlood evenveel veranderen. Gaan wij zoo ver naar het Noorden, tot de sterren aan den Noordhemel precies een graad hooger gekomen zijn, dan is de richting van het schietlood een graad, dus een 360^{ste} deel van den hemelomtrek anders geworden; wij hebben dan ook een 360^{ste} deel van den aardomtrek afgelegd en de geheele omtrek der aarde is 360 keer zoo groot, als de door ons afgelegde weg.

Deze gedachtengang kwam reeds in de oudheid bij een geleerd geograaf, Eratosthenes in Alexandrië, op (ongeveer 230 v. Chr.); waarschijnlijk echter is dit denkbeeld ook al vroeger toegepast. Alexandrië aan den mond van den Nijl was toen de belangrijkste handelsstad van het groote gebied, dat door de veroveringen van Alexander onder Griekschen invloed gebracht was. In dit middelpunt van den toenmaligen wereldhandel ontmoetten het Oosten en het Westen elkaar; het stond niet slechts met de landen aan de Middellandsche Zee in verbinding, maar onderhield ook een levendig verkeer met de kusten van den Indischen Oceaan; en zelfs van nog verder afgelegen eilanden kwam, met de kostbare waren, ook met wonderverhalen gemengde aardrijkskundige kennis naar Alexandrië. Hier stroomden alle schatten der wereld te zamen, en met behulp van deze rijkdommen hebben de Ptolemaeën, de Grieksche vorsten van Egypte, hier een bibliotheek en een akademie als brandpunt van wetenschap gesticht. Tot de vele beroemde mannen, die aan de Alexandrijnsche bibliotheek verbonden zijn geweest, behoort ook Eratosthenes.

Het was hem uit berichten bekend, dat in Syene, een stad aan den Nijl in Zuid-Egypte, de zon op den langsten dag den bodem van een diepe loodrechte put bescheen, dus in het toppunt van den hemel stond. Daarentegen bleef zij volgens zijn meting op dien dag in Alexandrië $\frac{1}{50}$ van den hemelomtrek van het toppunt verwijderd. Zooveel was dus de richting van het schietlood in beide plaatsen verschillend en hun afstand moest dus ook $\frac{1}{50}$ van den omtrek der aarde zijn. Daar, naar de opgaven van 's konings boden, deze afstand 5000 stadiën bedroeg, moest de omtrek der aarde 250.000 stadiën zijn. Nu werden in de oudheid verschillende soorten van stadiën gebruikt. In onze maat uitgedrukt komt een stadie van Eratosthenes met $157\frac{1}{2}$ meter overeen; zijn uitkomst voor den omtrek van de aarde wordt dan $39\frac{1}{2}$ millioen meter. Dat dit zoo precies met de werkelijkheid overeenstemt, is natuurlijk toeval; want naar de manier, waarop het gevonden werd, kon het slechts een ruwe schatting zijn. Het bijzondere en mooie lag in het principe, dat

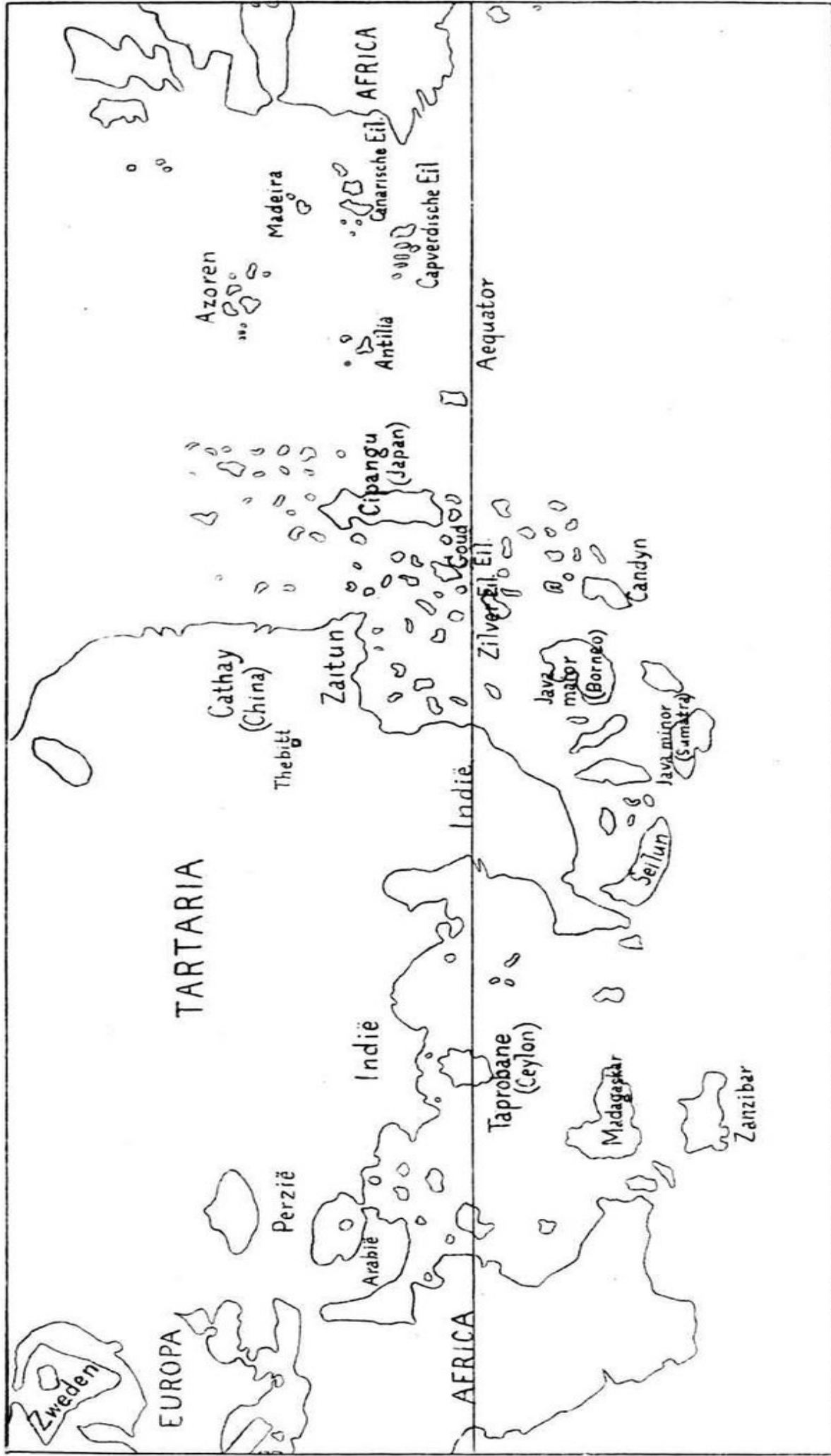
veroorloofde uit de kennis van een klein gebied de aarde als het ware in haar volle grootte te overzien. Andere geleerden der oudheid hebben later, volgens hetzelfde beginsel, andere uitkomsten voor de grootte der aarde opgegeven; de sterrekundige Ptolemaeus en de aardrijkskundige Strabo, die beiden ten tijde van de Romeinsche keizers leefden, gaven voor haar omtrek 180.000 stadiën (vermoedelijk van 210 meter) op.

Hoe groot was daarmee vergeleken nu de bekende wereld? De afstanden waren slechts zeer ruw, naar dagmarschen of naar dagreizen van zeilende schepen te schatten; en daar de schepen geen kompas bezaten en zich dus dicht bij de kust moesten houden, moesten deze schattingen vaak zeer onjuist zijn. Zoo kwam het dat de lengte der bekende wereld van het Westen naar het Oosten vrij wat te groot werd aangenomen. Eratosthenes gaf voor den afstand van de Atlantische oceaankust bij Spanje tot aan het eiland Taprobane (Ceylon bij Indië) 70.000 stadiën op; dit is een derde part van den omtrek van den cirkel, dien men door de Middellandsche Zee evenwijdig aan den evenaar om den aardbol leggen kan, en die natuurlijk wat kleiner dan de evenaar zelf is. Bij Ptolemaeus liggen de verste kusten van Indië den halven aardomtrek van Spanje verwijderd. Deze fout, die door andere en latere schrijvers nog erger gemaakt werd, is van groote beteekenis voor de wereldgeschiedenis geworden.

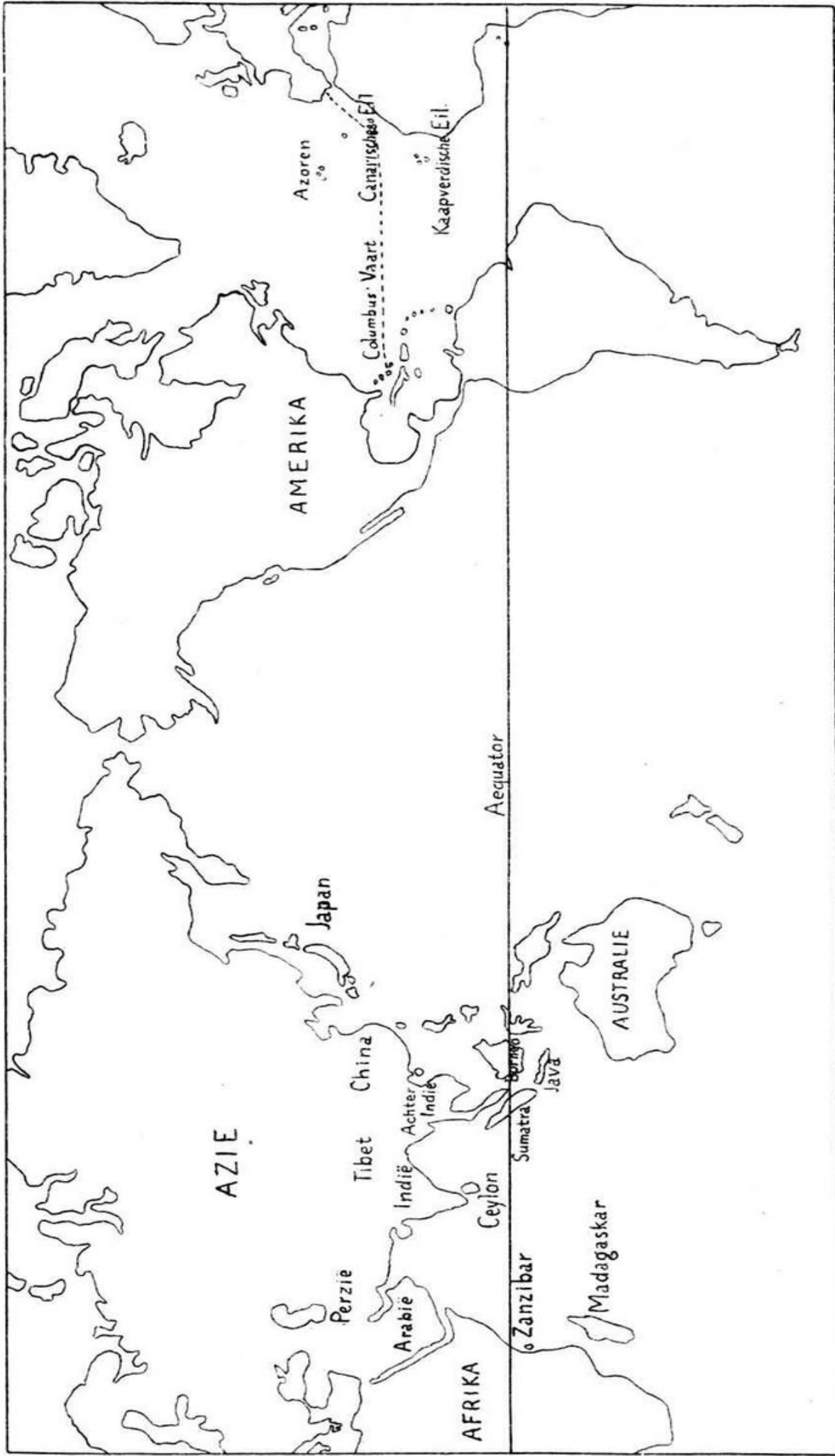
"Wanneer de groote uitgestrektheid van den Atlantischen Oceaan dit niet verhinderde," haalt Strabo uit een verloren gegaan werk van Eratosthenes aan, "zouden wij, altijd denzelfden parallelcirkel volgend, van Spanje naar Indië kunnen varen, want het overige deel bedraagt wat meer dan een derde deel van den geheelen cirkel." De geleerden der oudheid zagen dus zeer goed de mogelijkheid om Indië te bereiken, wanneer men over den Atlantischen Oceaan steeds verder naar het Westen zeilde. Maar geen ondernemend zeeman kwam op de gedachte, dezen weg praktisch te probeeren. Waarom zou men ook? Alexandrië lag midden tusschen Europa en Indië, stond met beide in handelsverkeer, en de schatten van Indië konden er langs den kortsten weg komen. Waartoe zou men dan een anderen, langeren en moeilijkeren weg opzoeken, die bovendien nog door de onbekendheid met het kompas veel gevaarlijker was?

Toen, na den ondergang van het Romeinsche wereldrijk, Voor-Azië onder de heerschappij der Chaliefen tot een bloeiend centrum van handel, van nijverheid en van beschaving werd, dat aan de eene zijde met Indië en Oost-Azië en aan de andere zijde met het nog achterlijke, maar langzaam opkomende Europa in verbinding stond, was zulk een behoefte evenmin voorhanden. Dat werd eerst anders, toen door het opbloeien van handwerk, handel en geldverkeer in Europa en door den achteruitgang van het maatschappelijk leven in Voor-Azië, dat door ruwe, oorlogszuchtige Nomaden veroverd werd, het zwaartepunt der wereld zich naar Zuid- en West-Europa verplaatste. Naarmate de handelsverbindingen met Indië en met China, dat door de reizen van Marco Polo bekend geworden was, door de Turksche veroveringen in Voor-Azië en het uiteenvallen van het groote rijk der Mongolen verbroken werden, werd de drang steeds sterker om een anderen weg naar Indië over zee te vinden. Op het voetspoor van de Catalonische schippers, die reeds in de 14^{de} eeuw een deel van de westkust van Europa en Afrika bezocht hadden, en met behulp van het aan de Arabieren ontleende kompas waagden zich de Portugeesche zeevaarders steeds verder naar het Zuiden, langs de westkust van Afrika, en bereikten in 1486 de Kaap de Goede Hoop. Bij hun verdere tochten kwamen zij, de oostkust van Afrika volgend, in het gebied waar de Arabieren een regelmatig handelsverkeer met Indië onderhielden, en bereikten in 1498 Indië zelf. Spoedig drongen de gewapende kooplieden steeds verder naar het Oosten, naar de Specerij-eilanden (de Molukken), naar China en Japan, en brachten de kusten en eilanden van Indië onder hun heerschappij. Geweldig breidde zich, door den drang naar avonturen en handelswinst omhoog gestuwd, de kennis van het aardoppervlak uit.

Maar nog voordat Indië op deze wijze bereikt werd, was het denkbeeld van Eratosthenes en de andere aardrijkskundigen der oudheid weer opgevat. Door zijn studie van de geschriften, die toen ter tijde de uitkomsten der antieke wetenschap, vaak over den omweg van Arabische vertalingen, samenvatten en aan de Westerlingen toegankelijk maakten, was de Genueesche zeevaarder C o l u m b u s tot de overtuiging gekomen, dat de aarde bolvormig was en dat Indië dus ook door een vaart naar het Westen te bereiken moest zijn. Daar hij aannam, dat de oude stadiën van Ptolemaeus het tiende gedeelte van zijn Italiaansche mijlen (van $1\frac{1}{2}$ KM.) waren, hield hij de aarde voor veel kleiner dan ze werkelijk was; "de aarde is klein, ik verzeker u, dat ze niet zoo groot is, als men gewoonlijk meent," schreef hij later in een brief aan de koningin van Spanje.



Wereldkaart naar de globe van Martin Behaim (1492).



Wereldkaart van tegenwoordig.

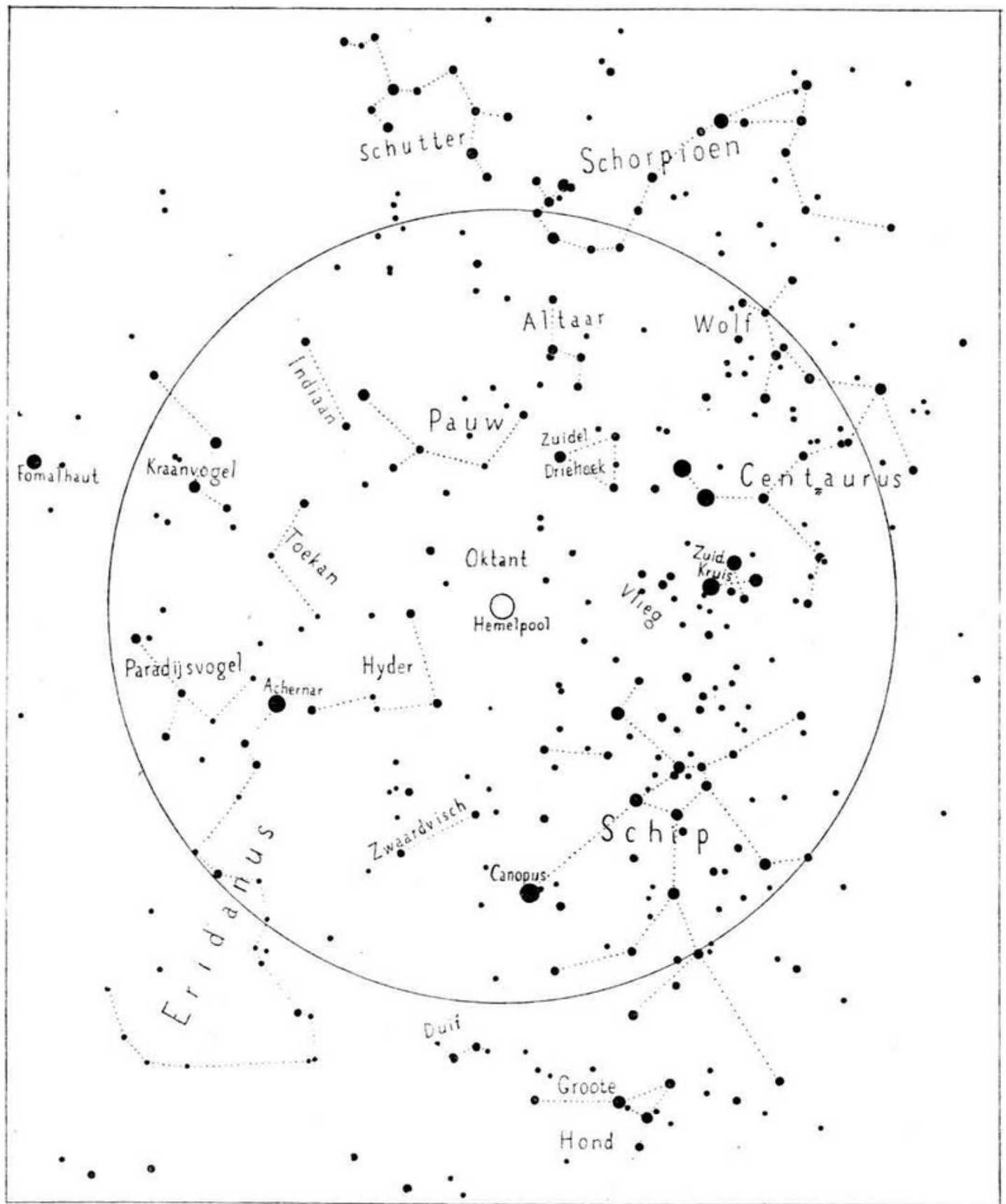
Hij werd in die meening versterkt door den Italiaanschen geleerde *Toscanelli*, die met veel zorgvuldigheid kaarten maakte, waarop de oostkust van Azië op niet al te grooten afstand van de westkust van Europa geteekend was; "ik heb tegenover de kusten van Ierland en Afrika, recht naar het Westen toe, het begin van Indië met de eilanden en de plaatsen aangegeven, waar men zal kunnen landen," schreef *Toscanelli* aan den Portugeeschen kanunnik *Martinez*, toen hij hem zijn kaart toezond, die *Columbus* waarschijnlijk ook gebruikt heeft, Dat deze opvatting onder de geleerden van dien tijd algemeen verbreid was, wordt bewezen door de beroemde aardglobe van den Neurenberger astronoom en zeevaarder *Martin Behaim*, waarnaar onze kaart [blz. 92](#) geteekend is, met een tegenwoordige wereldkaart ter vergelijking er onder; blijkbaar heeft hij het gebied van Spanje tot Ceylon naar de oude opgaven van *Ptolemaeus* geteekend, en daaraan naar het reisverhaal van *Marco Polo* de landen van Oost-Azië op veel te groote schaal aangehecht. Aan *Columbus* komt echter de verdienste toe de praktische konsekwenties uit deze opvatting getrokken te hebben. Zijn geheele leven lang heeft hij onvermoeid aan dit denkbeeld vastgehouden; eerst overal afgewezen, omdat men hem bij den lagen stand der algemeene ontwikkeling voor een fantast hield, gelukte het hem ten slotte in 1492 van de koningin van Spanje drie kleine schepen voor zijn doel te krijgen. Na een voorspoedige vaart van drie weken — de verhalen van de vele tegenspoeden onderweg, muerij der matrozen e.d. zijn later verzonnen —, waarbij hij steeds vast op zijn kaarten vertrouwde, bereikte hij op den 10^{den} Oktober land: hij had Amerika ontdekt.

Zijn dwaling, die hij met de geleerden van zijn tijd deelde, is de oorzaak van zijn durf en zijn slagen geweest. Had hij de werkelijke grootte van de aarde en de werkelijke afstanden gekend: had hij dus geweten, dat de afstand van Spanje naar Indië naar het Westen bijna tweemaal zoo groot is als naar het Oosten, dan had hij zijn tocht zeker niet ondernomen; want dat er nog een geheel nieuw werelddeel tusschen zou liggen, kon hij natuurlijk niet vermoeden. Dan was Amerika eerst naderhand ontdekt bij een nog hoogere ontwikkeling van de zeevaart. *Columbus* zelf is na vier reizen, waarop hij de Westindische eilanden en de noordkust van Zuid-Amerika bezocht, in de overtuiging gestorven, dat hij Indië en de Oostkust van Azië had bereikt. Toen echter de Spaansche ontdekkers en veroveraars, door goud dorst en zucht naar avonturen gedreven, steeds verder drongen, ontdekten zij de oostkust van Amerika en den daarachter gelegen Stillen Oceaan. In 1519 deed *Magelhaens* wat *Columbus* gewild had, en bereikte Indië door een reis naar het Westen. Hij zeilde om de zuidpunt van Amerika heen, doorkliefde den Stillen Oceaan, ontmoette in Indië de Portugeezen, die van den anderen kant gekomen waren, en zijn schepen kwamen langs den gewonen Portugeeschen weg in Europa terug. Zij hadden dus de eerste reis om de wereld gedaan, en daarmee ook aan het hardnekkigste vooroordeel een praktisch bewijs voor de rondheid der aarde geleverd.

Met de groote ontdekkingsreizen in de 15^{de} en de 16^{de} eeuw was de ontdekking der aarde in hoofdzaak voltooid. Alleen de details bleven nog te onderzoeken; in de 17^{de} eeuw werd Australië door *Abel Tasman* ontdekt, en in de volgende eeuw werden overal door het toenemende wereldverkeer de kleine verspreide eilanden in de oceanen opgespoord. In het begin van de 19^{de} eeuw waren de omtrekken van alle groote eilanden en werelddeelen vastgelegd; het onderzoek van hun binnenlanden is het groote aardrijkskundige werk van de 19^{de} eeuw geweest. In het begin van de 20^{ste} eeuw zijn eindelijk nog de eeuwenlange pogingen, om door het ijs heen tot de beide polen der aarde door te dringen, met succes bekroond. Daarmee is de ontdekking der aarde voltooid.

De groote ontdekkingstochten en zeevaarten van de 15^{de} en de 16^{de} eeuw, die plotseling het grootste deel

der aardoppervlakte binnen den gezichtskring van de Europeesche volken brachten, hebben op de wetenschap der sterrekunde een geweldigen invloed uitgeoefend. Eenerzijds bevestigden zij door een praktijk, waarvoor elk vooroordeel wijken moest, de vroeger door geleerde wijsgeeren opgestelde theorie van den bolvorm der aarde, die van nu af aan een praktische beteekenis krijgt. Anderzijds ging van hen een sterke prikkel tot astronomisch onderzoek uit. Bij de tochten door de zuidelijke zeeën zag men voor het eerst de sterrebeelden van den zuidelijken hemel, die voor een deel wel aan de ver naar het Zuiden wonende Arabieren bekend geweest waren, maar in Europa steeds onzichtbaar blijven; met verbazing aanschouwden de zeevaarders *C a n o p u s* in het Schip, naast *Sirius* de helderste ster van den hemel, de merkwaardige groepen van den *C e n t a u r u s* en het *Z u i d e l i j k e K r u i s*, en vele andere sterrebeelden.



De zuidelijke sterrenhemel.

(De cirkel omsluit alle sterren, die minder dan 50 graden van de Zuidpool verwijderd en daarom hier steeds onzichtbaar zijn.)

Daar kwam nog een praktisch belang bij. Midden in den oceaan, ver van alle kusten, waren de hemellichamen de eenige betrouwbare gidsen van den zeeman; slechts met behulp van sterren, zon en

maan kon hij zijn weg vinden en nauwkeurig de plaats op aarde bepalen, waar hij zich bevond. Maar daartoe was het noodig, dat hij de plaats van deze gesternten aan den hemel nauwkeurig in zijn almanak vooruit aangegeven vond; en dat was slechts mogelijk, wanneer de sterrekundigen ze vooruit wisten te berekenen. Zoo hebben de eischen en behoeften van de scheepvaart op den oceaan in hooge mate meegewerkt om de wetenschap van den hemel in de volgende eeuwen krachtig voort te stuwen.

15. GROOTTE EN VORM DER AARDE.

Eratosthenes had zijn methode ter bepaling van de grootte der aarde slechts voor een ruwe schatting gebruikt. Wil men de grootte van de aarde zoo nauwkeurig mogelijk kennen, dan kan men zich voor den afstand van de twee plaatsen niet met de ruwe opgaven van reizigers tevreden stellen; dan moet men dien afstand nauwkeurig meten.

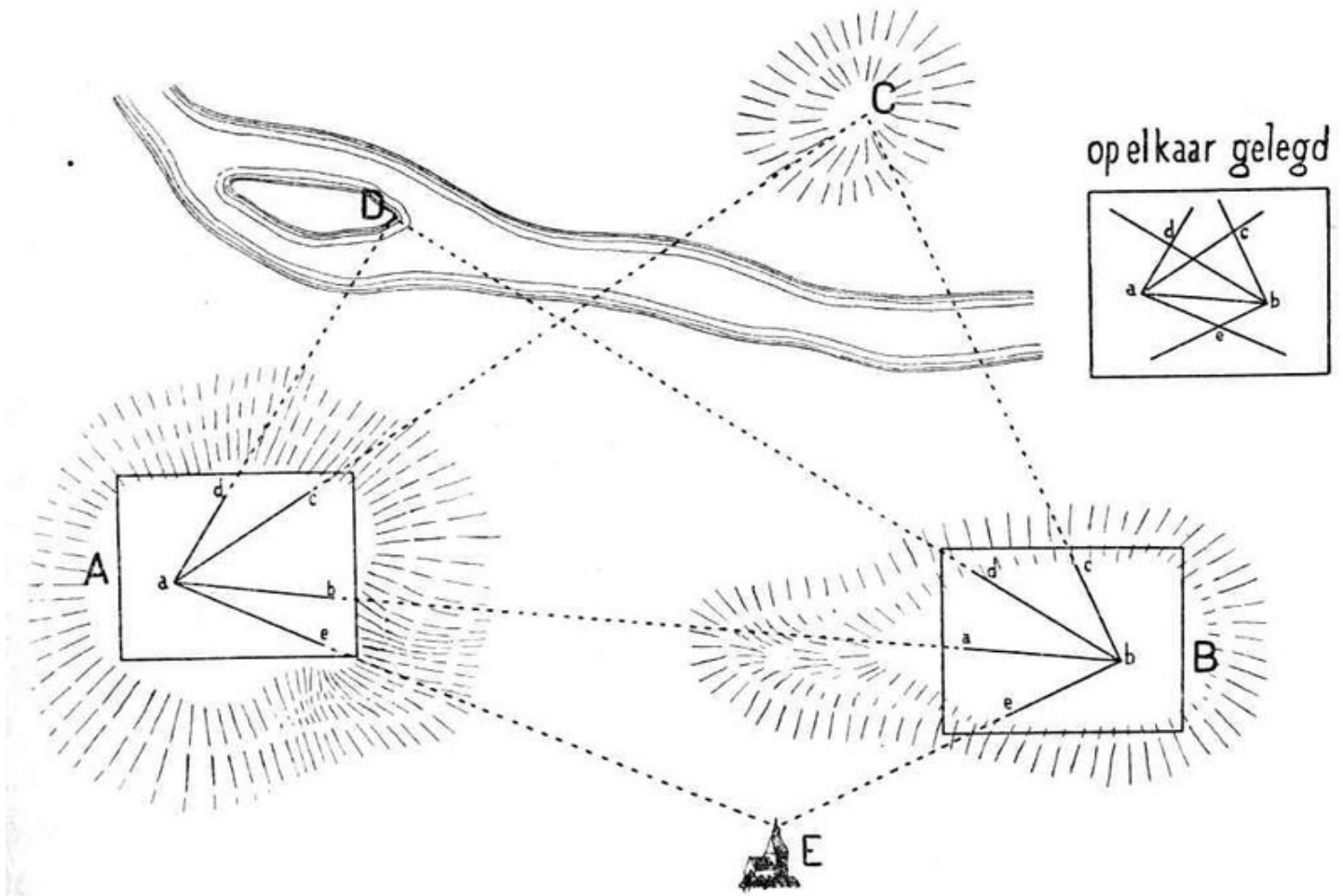
Om een kleinen afstand op aarde te meten, bedient men zich eenvoudig van een meetlat of een meetketting, zooals de landmeters ze gebruiken. Zelfs grootere afstanden kunnen bij behoorlijke voorzorgen op die manier zeer nauwkeurig gemeten worden. Zoo heeft b.v. de sterrekundige Bessel in 1820 in Oost Pruisen een afstand van 2 KM. gemeten, door stevige ijzeren stangen waarvan de lengte nauwkeurig bekend was, op houten schragen in een rij te leggen en de kleine tusschenruimten tusschen de stangen te meten door er zuiver bewerkte spitse wiggen tusschen te steken, die er des te dieper ingingen, naarmate de stangen verder uit elkaar lagen. Omdat metalen door de warmte uitzetten, moest natuurlijk ook hun temperatuur gemeten en in aanmerking genomen worden. Zoo gelukte het hem den gezochten afstand zoo nauwkeurig te meten, dat de mogelijk overblijvende fout niet grooter dan 4 millimeter, dus $\frac{1}{500000}$ van het geheel was. Met de moderne hulpmiddelen is de nauwkeurigheid nog tweemaal zoo groot, zoodat op een kilometer geen grooter fout dan een millimeter kan overblijven.

Zulke metingen zijn echter alleen op bijzonder gunstige, vlakke terreinen uit te voeren, waar geen heuvels of rivieren in den weg komen. Voor grootere afstanden, die men voor de bepaling van de grootte der aarde noodig heeft, is deze methode niet bruikbaar. Moet men zich hier dus toch maar met ruwe schattingen tevreden stellen, of bestaat er een middel de nauwkeurigheid van deze metingen op groote afstanden over te dragen? Zulk een middel bezitten wij in de d r i e h o e k s m e t i n g .

De driehoeksmeting of trigonometrie is een methode, om door het meten van hoeken de ligging van verschillende plaatsen op aarde ten opzichte van elkaar in kaart te brengen en in getallen te berekenen. Op een plaats A (b.v. den top van een heuvel) leggen wij een blad papier op een tafel, en trekken daarop van uit een middelpunt de lijnen, die nauwkeurig naar verwijderde toppen of andere voorwerpen B, C, D, E, gericht zijn. Wij doen dan hetzelfde op den heuveltop B, waar wij op een papier van uit punt b lijnen in de richting van A, C, D, E, trekken. Leggen wij nu naderhand de beide bladen papier op elkaar, zoo, dat de lijn a-b op beide samenvalt en a en b op willekeurigen afstand van elkaar op deze lijn liggen, dan geeft het gekombineerde beeld op kleinere schaal nauwkeurig de ligging van de plaatsen A, B, C, D, E, ten opzichte van elkaar weer. Is nu de afstand A-B bekend, is hij b.v. 2 KM., en maken wij b.v. op onze teekening den afstand a-b gelijk aan 20 cM., dus $\frac{1}{10000}$ van den werkelijken afstand, dan is op onze kaart

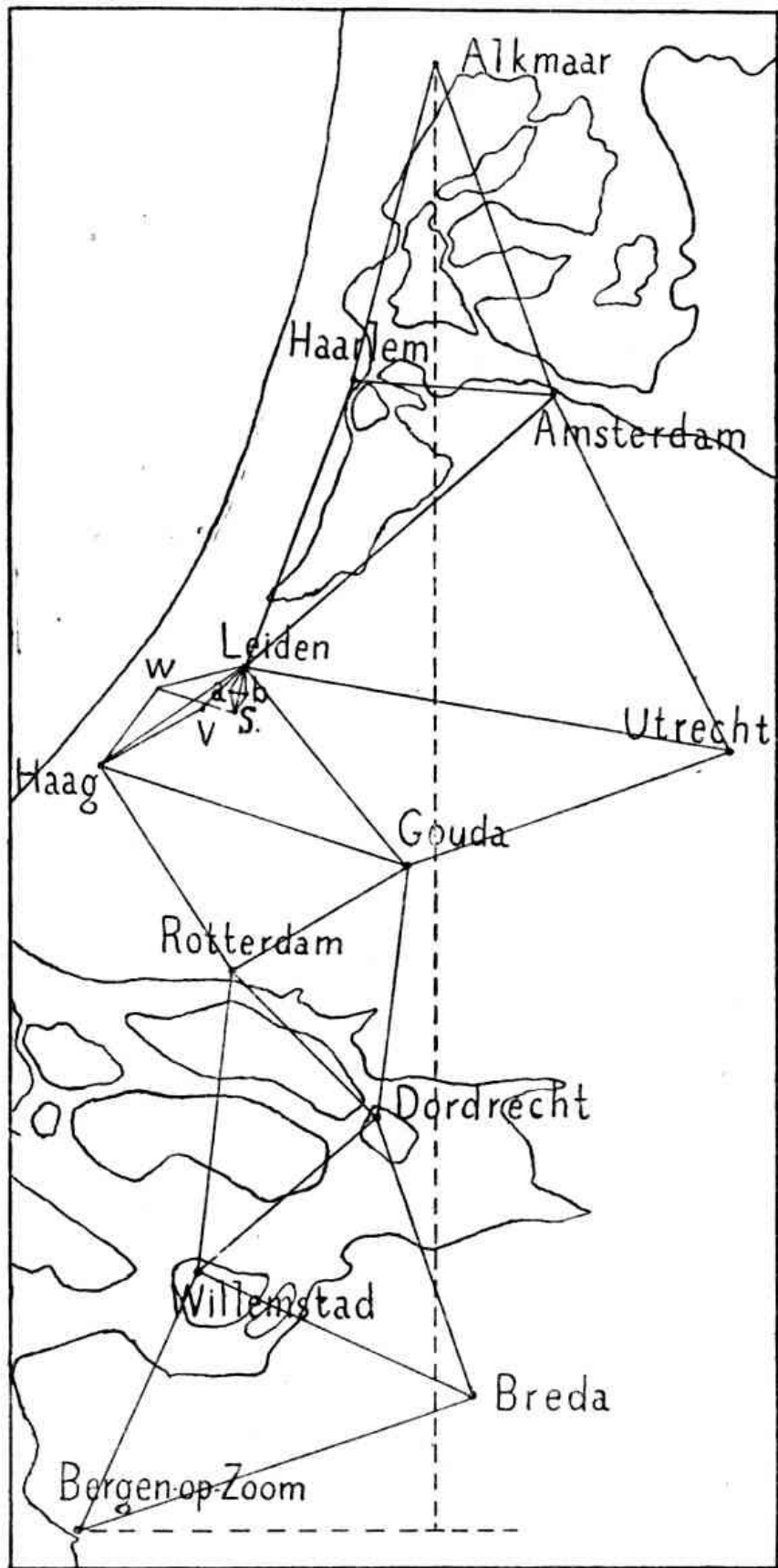
alles op $\frac{1}{10000}$ verkleind. Wij behoeven dan slechts den een of anderen afstand b-c of a-d op de kaart te meten; en zooveel centimeters wij daarvoor vinden, zooveel keer honderd meter moeten de werkelijke afstanden B-C en A-D bedragen, die wij door de tusschenliggende rivier niet eens direkt kunnen meten.

De uitvoering in de praktijk verschilt in tweëerlei opzicht van deze eenvoudigste toepassing van het principe. Terwijl de uitvoerigste terreinkaarten ook werkelijk door het teekenen van richtingslijnen op het papier gemaakt worden, worden de richtingen voor de eigenlijke driehoeksmeting met een instrument, een theodoliet, nauwkeurig gemeten. Een verrekijker, waaraan een nauwkeurig in graden en onderdeelen verdeelde cirkel vastzit, wordt achtereenvolgens op elk der verwijderde voorwerpen gericht en de hoek, dien kijker en cirkel telkens daarbij draaien, wordt met behulp van vaste merken of mikroskopen afgelezen.



Bovendien worden de afstanden niet gevonden door ze op een kaart in kleineren maatstaf uit te meten, maar door ze te berekenen; alles, wat meetkundig te konstrueeren en dan te meten is, is ook in getallen met elke gewenschte nauwkeurigheid te berekenen; de daartoe dienende rekenmethoden (goniometrie en trigonometrie) zijn reeds vroeg ontwikkeld, gedeeltelijk in de oudheid, maar vooral in de 15^{de} en 16^{de} eeuw.

Deze driehoeksmeting werd het eerst in het begin van de 17^{de} eeuw door Snellius te Leiden op de meting der aarde toegepast.



De graadmeting van Snellius.

Een aantal stads- en dorpstorens in Holland vormden hoekpunten van een zich van het Noorden naar het Zuiden uitstrekkende reeks van aan elkaar sluitende driehoeken. Op iederen toren mat hij de hoeken tusschen de richtingen naar de omliggende plaatsen. Zoo kon hij het geheele net van driehoeken

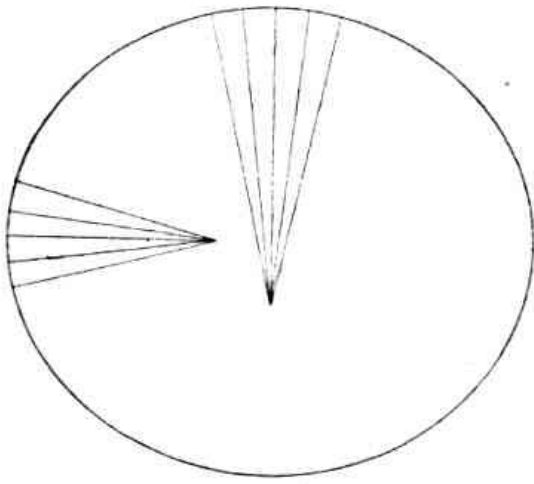
nauwkeurig nakonstrueeren, en hij behoefde slechts één van de driehoeks zijden, dus den afstand van twee naburige driehoekspunten zorgvuldig te meten, om alle andere afstanden in het net, dus ook den afstand tusschen het noordelijkste en het zuidelijkste punt te kunnen berekenen.

Hij mat direkt een afstand a-b van 326 voet op een weide tusschen Leiden en Soeterwoude, berekende daaruit de afstanden van Leiden naar de torens van Soeterwoude, Voorschoten, Wassenaar, daaruit de driehoeks zijde Leiden—Haag, en zoo kon hij steeds verder gaan en met behulp van de gemeten hoeken alle andere driehoeks zijden berekenen. Zoo was hij in staat den afstand van twee steden, die 100 KM. van elkaar lagen en door breede zeearmen van elkaar gescheiden waren (Alkmaar en Bergen op Zoom,) zonder direkte meting met groote nauwkeurigheid te vinden. Hij behoefde nu nog slechts door waarnemingen der sterren te bepalen, hoeveel de richting van het schietlood in beide plaatsen verschilde, om daaruit den omtrek der aarde af te leiden.

Deze methode is sinds dien tijd overal op de landmeting toegepast, Om nauwkeurige kaarten te maken, wordt eerst uit torens en uit speciaal daarvoor op heuvels gebouwde stellages een driehoeksnet gevormd, dat zich over het geheele land uitstrekt; op ieder punt worden de richtingen naar de omliggende punten gemeten, zoodat men in staat is de relatieve ligging van deze punten nauwkeurig te berekenen en in kaart te brengen. Daarmee is dan als het ware een vast geraamte gevormd, waarin naderhand allerlei plaatsen, toppen, rivieren en andere voorwerpen door verdere metingen vanuit de driehoekspunten op de juiste plaats in te voegen zijn.

Naar de methoden van Snellius zijn alle latere bepalingen van de grootte der aarde uitgevoerd. In de 17^{de} eeuw steeg het natuuronderzoek meer en meer van een private liefhebberij van enkele personen tot den rang van een door den staat erkende aangelegenheid van openbaar nut. Toen werden in verschillende landen officieele vereenigingen van geleerden gesticht, z.g. akademies, die door staatshulp in staat waren gesteld, grootere wetenschappelijke ondernemingen te volbrengen, die boven de krachten van enkele personen gingen. Onder de ondernemingen, die op deze wijze door de Fransche Akademie bevorderd werden, behoorde een nauwkeurige bepaling van den omtrek der aarde door meting van een afstand in Noord-Frankrijk, die onder leiding van den astronoom Picard ondernomen en in 1671 voltooid werd. Toen dit onderzoek in de volgende jaren nog verder uitgebreid werd door het meten van een zuidelijk stuk, dat er bij aansloot, kwam daarbij de verrassende uitkomst voor den dag, dat het eerste noordelijke stuk een kleineren omtrek van de aarde opleverde dan het zuidelijke stuk, anders uitgedrukt: de kromming van de aardoppervlakte scheen ten Noorden van Parijs kleiner te zijn dan ten Zuiden van Parijs.

Wij hebben tot nog toe aangenomen, dat het aardoppervlak overal even sterk gekromd en de vorm van de aarde dus precies een bol is; alleen door dat te veronderstellen, was het mogelijk uit de kromming van een deel de grootte van het geheel te berekenen, Maar het was toch niet meer dan een veronderstelling, die voor de eenvoudigheid gemaakt werd, en men moest dus steeds met de mogelijkheid rekenen, dat de aarde niet precies een bol is, en dat verschillende deelen van haar oppervlak een verschillende kromming kunnen bezitten. Dat hier in Frankrijk nu zulk een verschil gevonden werd, kon dus op zich zelf niet zoozeer verrassen. Het zonderlinge van deze uitkomst lag in iets anders: uit theoretische beschouwingen hadden Newton en Huygens juist het tegengestelde afgeleid van wat de Fransche onderzoekers gevonden hadden.



Volgens deze beschouwingen, waarop wij later nog terugkomen, kan de aarde niet precies den vorm van een bol hebben, maar moet zij in de richting van de as, dus aan de polen iets samengedrukt zijn, dus iets meer van een sinaasappel hebben. De middellijn van pool tot pool is in dit geval iets korter dan de middellijn van den evenaar; aan de polen is, zooals aan een sinaasappel en aan bovenstaande figuur dadelijk te zien is, de oppervlakte minder gekromd dan aan den evenaar, en hoe verder men b.v. in Europa van het Noorden naar het Zuiden gaat, des te sterker moet de kromming worden. Dat was dus in tegenspraak met de uitkomsten der Fransche metingen.

Over de vraag, wie hier gelijk had, is lang getwist, tot men eindelijk inzag, dat deze Fransche metingen geen beslissende uitspraak veroorloofden. Het verschil in kromming tusschen Noord- en Zuid-Frankrijk was slechts gering, en onvermijdelijke kleine fouten der meting konden bewerken, dat dit verschil geheel verdween of zelfs omgekeerd werd. Om de kwestie uit te maken zond de Parijsche Akademie in 1736 twee expedities uit; de een zou zoo ver mogelijk in het Noorden, in Lapland, de ander aan den evenaar, in Peru, de kromming van het aardoppervlak bepalen. En toen bleek dadelijk onmiskenbaar, dat de theorie gelijk had. Terwijl de lengte van een graad, d.w.z. de afstand op aarde, waarop de richting van het schietlood precies een graad verandert, in Frankrijk 57012 toisen (de toenmalige Fransche lengtemaat van nagenoeg twee meter) bedroeg, werd daarvoor in Lapland 57438 en in Peru 56734 toisen gevonden. De kromming van het aardoppervlak is aan den evenaar het sterkst en wordt des te kleiner, naarmate men dichterbij de polen komt. Daaruit volgt: de aarde is niet precies een bol, maar in de richting van de polen iets samengedrukt. Uit de uitkomsten van deze metingen werd berekend, dat de middellijn van pool tot pool $\frac{1}{300}$ (de zoogenaamde afplating der aarde) kleiner is dan de middellijn van den evenaar.

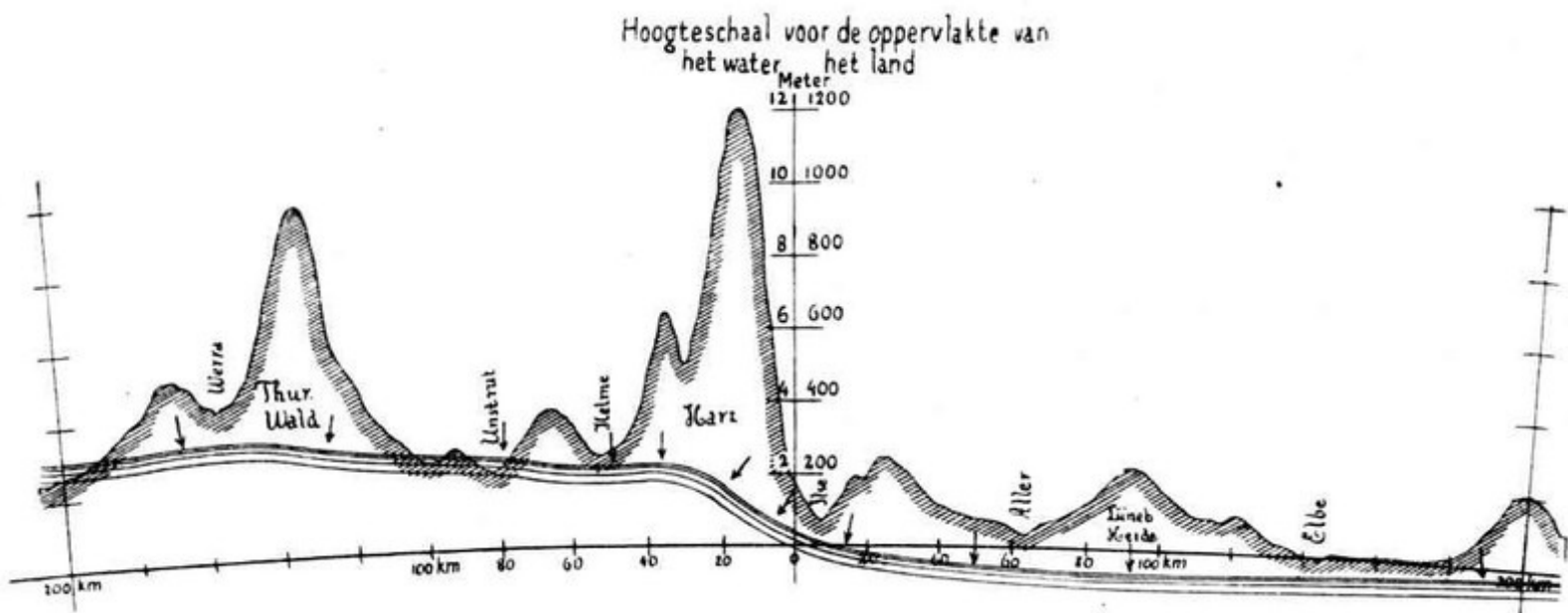
Onder de latere aardmetingen of graadmetingen, zooals ze meestal genoemd worden, is vooral diegene beroemd geworden, die in opdracht van de Nationale Konventie in 1793 ondernomen werd, om aan de natuur een nieuwe lengte-eenheid te ontleenen.

Het veertigmillioenste deel van een door de polen gaanden omtrek der aarde is onder den naam van *m e t e r* in bijna alle landen (Engeland houdt nog aan zijn oude maten vast) in stede van de vroegere van plaats tot plaats verschillende ellen en voeten als internationale lengtemaat ingevoerd. Op den meter berusten ook de eenheden van vlaktemaat (een hektare is 10000 vierkante meter), van inhoudsmaat (een liter is $\frac{1}{1000}$ kubieke meter), en van gewicht (een kilogram is het gewicht van een liter water). Ten gevolge van eenige meet- en rekenfouten is echter de aangenomen meter niet precies het veertigmillioenste deel

van den aardomtrek: volgens de nauwkeurigste metingen bedraagt deze omtrek ongeveer 8300 meter meer dan 40 miljoen, zoodat de meter eigenlijk $\frac{1}{5}$ millimeter te kort is. Men denkt er echter niet over om die eenheid nog weer te veranderen; men heeft het idee van een aan de natuur direkt ontleende lengte-eenheid opgegeven, daar die ten gevolge van de onvermijdelijke foutjes toch altijd weer opnieuw zou moeten veranderd worden. De lengte van een meter is nu eenvoudig door den standaardmeter van platina gegeven, die in Parijs bewaard wordt.

In de 19^{de} eeuw zijn met steeds betere instrumenten nog vele graadmetingen gedaan in allerlei deelen der wereld, hoewel natuurlijk het meest in Europa. Zij bevestigen alle, dat de kromming van het aardoppervlak naar den evenaar toe grooter wordt, en dat dus de aarde een afgeplatte bol is met een afplatting van ongeveer $\frac{1}{300}$, (Bessel vond $\frac{1}{299}$, Clarke $\frac{1}{293}$, Helmert $\frac{1}{296}$.)

Maar precies komt dat toch niet uit. Overal waar men het aardoppervlak nauwkeurig onderzocht heeft, vertoont het bovendien nog weliswaar geringe, maar toch duidelijk merkbare onregelmatigheden in de kromming, die vooral in bergachtige streken van beteekenis zijn. Natuurlijk moet men daarbij niet aan de vaste oppervlakte van het land met al zijn heuvels, bergen en dalen denken, — bij de aardmetingen heeft men daarmee niets te maken — maar aan de oppervlakte van stilstaand water. Men stelt zich voor, dat het zeeoppervlak over het landgebied voortgezet wordt, b.v. zoo, dat het zeewater zich door een menigte diepe kanalen overal binnen de vastelanden kan uitbreiden. Het door al deze wateren gevormde oppervlak is het grondvlak, van waaruit de hoogte der bergen en andere vaste punten boven den zeespiegel gerekend wordt. Op dit oppervlak staat het schietlood natuurlijk overal loodrecht, omdat het water anders zou gaan stroomen en een anderen stand aannemen. Over dit oppervlak denkt men zich de meetketting gelegd, wanneer men den afstand van twee plaatsen door driehoeksmeting afleidt; dit oppervlak is het dus, waarvan de kromming bij de graadmeting bepaald wordt.



En nu is gebleken, dat dit oppervlak wel ongeveer, maar niet precies samenvalt met een regelmatig afgeplatte bolfiguur. Op sommige plaatsen verheft het zich een weinig er boven, op andere zinkt het er iets onder, en daardoor kan de kromming van dit oppervlak niet geheel regelmatig van het Noorden naar het Zuiden toenemen, en niet van het Oosten naar het Westen nauwkeurig gelijk blijven. De nevenstaande teekening toont hiervan een voorbeeld in een doorsnee door Noord-Duitschland van het Noorden naar het Zuiden, tusschen Kiel en Koburg, juist door de Broeken heen. Vergeleken met den maatstaf der afstanden zijn hier de hoogten van het land alle 100 maal te groot, de hoogten van den rustenden waterspiegel boven

of onder de afgeplatte bolfiguur alle 10000 maal te groot genomen. De hellingen der bergen zijn dus 100 maal, de schuinschheid der pijlen, die de richtingen van het schietlood loodrecht op den waterspiegel aangeven, 10000 maal overdreven voorgesteld. Het nauwkeurig onderzoek van dit soort onregelmatigheden van het aardoppervlak is het doel van de tegenwoordige astronomisch-geodetische metingen, die door een internationale kommissie geleid, sinds een halve eeuw eerst alleen in Europa en nu in alle werelddeelen een geheel leger van landmeters en sterrekundigen bezighoudt.

Hoe staat het nu echter met de werkelijke vaste oppervlakte, met haar hemelhooge bergen en diepe zeebassins? Kan haar gedaante ook nog ongeveer door een afgeplatten bol voorgesteld worden? De hoogste bergtoppen in de Alpen verheffen zich bijna 5000 meter, de hoogste toppen van de geheele aarde bijna 9000 meter boven den zeespiegel, en ongeveer even diep ligt de diepste zeebodem onder het wateroppervlak. Dit bedrag is minder dan $\frac{1}{1000}$ van de middellijn der aarde, die bijna 13 miljoen meter bedraagt. Stelt men de aarde voor door een bol van een meter middellijn, dan moet de middellijn van pool tot pool 3 millimeter korter zijn; de hoogste bergtoppen kwamen dan $\frac{2}{3}$, millimeter boven, de grootste zeediepten evenveel beneden deze oppervlakte. Om groote hooglanden als die van Midden-Azië en Amerika voor te stellen, zou op die plaats het oppervlak een paar tiende deelen van een millimeter verhoogd, en een even dun laagje zou voor de groote oceanen weggeschaafd moeten worden. O n d a n k s alle hoogten en diepten, heeft dus ook de vaste aardoppervlakte op zeer weinig na de gedaante van een afgeplatten bol.

16. DE TIJD.

Door den hemelbol in zijn dagelijksche wenteling meegevoerd, wandelt de zon regelmatig in een dag (dien wij naar een uit het oude Babylon overgeleverd gebruik in 24 uren verdeelen, in minuten en sekonden onderverdeeld) om de aarde heen. Zij verlicht daarbij achtereenvolgens alle kanten van den aardbol. Waar zij schijnt, is het dag, terwijl de tegenovergestelde kant nacht heeft.

De tijd is dus voor de verschillende streken der aarde verschillend. Wanneer een plaats op aarde, b.v. Batavia, de zon juist boven zich in het toppunt heeft, dan staat de zon voor alle plaatsen, die precies ten Noorden of ten Zuiden van Batavia liggen, op dit oogenblik in het hoogste punt van haar dagkring, in het Zuiden of in het Noorden. Al deze plaatsen, die op een zelfde, door de Noordpool en de Zuidpool gaande lijn (een meridiaan) liggen, hebben dus op hetzelfde oogenblik middag en hun klokken wijzen denzelfden tijd aan. In de plaatsen ten Westen van deze lijn (b.v. in Voor-Indië, Afrika) is het schietlood meer naar het Westen gericht, en staat de zon dus meer oostelijk aan den hemel; hier is het nog voormiddag en bereikt de zon eerst later haar hoogsten stand; het omgekeerde geldt voor de meer oostelijk gelegen plaatsen (b.v. in Australië, Japan), die dan reeds namiddag hebben.

De plek op aarde, die de zon precies boven zich heeft, wandelt als het ware met de zon mee, in den loop van den dag regelmatig om de geheele aarde heen. Wanneer het in Berlijn 's middags 12 uur is, bevindt zich de zon in Juli juist boven het midden van de Sahara; 2 uren later staat zij boven de kust van Senegambië, na 4 uren boven den Atlantischen Oceaan, na 6 uren boven het eiland Haïti, na 8 uren boven

de stad Mexico, na 12 uren boven het eiland Hawaï in den Stillen Oceaan, na 18 uren boven Achter-Indië, na 20 uren boven de stad Bombay, na 22 uren boven Mekka en na 24 uren weer boven de eerste plaats. Wanneer het in Berlijn middag is, is het in Mekka reeds 2 uur 's middags, in Bombay 4 uur, in Achter-Indië 6 uur 's middags, op Hawaï 12 uur middernacht, in Mexico 4 uur 's morgens, op Haïti 6 uur 's morgens en in Senegambië 10 uur voormiddags. De tijd is dus telkens een uur later, wanneer men op een plaats komt, die $\frac{1}{24}$ van den omtrek der aarde verder naar het Oosten ligt.

Dat geldt natuurlijk niet alleen voor de plaatsen, die de zon precies boven zich hebben, maar ook voor alle plaatsen, die ten Noorden of ten Zuiden daarvan op denzelfden meridiaan liggen. Op hetzelfde oogenblik, dat het in Berlijn, in Zweden, op Spitsbergen en aan den mond van den Kongo te gelijk 12 uur is, is het niet slechts in Achter-Indië, maar ook in Irkoetsk en op Sumatra 6 uur 's avonds, niet slechts op Hawaï, maar ook in Alaska middernacht, niet slechts op Haïti, maar ook in New-York en in Peru 6 uur 's morgens.

Met deze verschuiving van den tijd hangt een ander eigenaardig verschijnsel samen. Toen de reisgenooten van Magelhaens, aan het eind van hun eerste reis om de wereld, op den 9^{den} Juli 1522 bij de Kaap-Verdische eilanden dicht bij Europa aankwamen, vernamen zij, dat de menschen daar dien dag Donderdag noemden, terwijl het volgens hun dagboek eerst Woensdag 8 Juli kon zijn. De zeelieden waren zeer onthutst, dat zij zich zoo vergist hadden en dus op Goeden Vrijdag niet gevestigd en het Paaschfeest eerst op Maandag gevierd hadden. Een van de deelnemers, Pigafetta, die naderhand een beschrijving van de reis uitgaf, zeide daarin: "Mijn verbazing was des te grooter, omdat ik onderweg nooit ziek was geweest en zonder eenige onderbreking alle dagen opgeteekend had. Wij bemerkten later, dat er toch geen vergissing geweest was en dat wij, door steeds naar het Westen te varen en den loop der zon te volgen, bij onze terugkomst op de plaats van uitvaart 24 uren gewonnen moesten hebben." Zooals uit deze woorden blijkt, waren de menschen op dit verschijnsel van te voren niet voorbereid, maar zij hebben toch spoedig de oorzaak begrepen. Wanneer iemand naar het Westen in 24 uren om de aarde zou kunnen reizen, zou hij de zon nooit uit het oog verliezen en het moest hem voorkomen, dat de tijd stilstond. Wie langzamer naar het Westen om de aarde reist, wordt wel telkens door de zon ingehaald en telt dan een dag verder, maar toch eenmaal minder dan wanneer hij thuis gebleven was; zijn dagen zijn langer dan de werkelijke dagen, maar hun aantal is één minder. Omgekeerd, wanneer hij naar het Oosten tegen de zon in reist; hij ontmoet dan de zon een keer vaker dan hij thuis zou doen en hij telt een dag te veel, omdat zijn dagen in werkelijkheid te kort zijn. De zeelieden, die om de wereld varen, moeten daarom ergens onderweg een datum laten uitvallen, wanneer zij naar het Westen, en een datum twee keer schrijven, wanneer zij naar het Oosten varen.

Hoe rekenen daarbij nu de bewoners van de streken, waar zij onderweg aanlanden en met wie zij in datum moeten overeenstemmen? Hun datum wordt onzeker en twijfelachtig. Wanneer het in Berlijn middernacht van Donderdag op Vrijdag is, is het in Bombay Vrijdagmorgen 4 uur, in Yokohama Vrijdagmorgen 8 uur, op de Fidsji-eilanden Vrijdag voormiddag 11 uur, dus op Hawaï Vrijdagmiddag 12 uur; en tegelijk is het in Londen Donderdagavond 11 uur, in Washington Donderdagnamiddag 6 uur, in San Francisco Donderdagnamiddag 3 uur, op Tahiti kwart voor een, dus op Hawaï Donderdagnamiddag 12 uur. Dus, al naar men naar het Westen of naar het Oosten telt, vindt men voor deze Australische eilanden een verschillenden datum, Donderdag of Vrijdag. Men kan natuurlijk aannemen, wat men wil; dichter bij Amerika zal men Donderdag, dichter bij Azië zal men Vrijdag schrijven, en op een grenslijn ergens er tusschen in moet de datum een dag verspringen. De eilanden Hawaï en Tahiti, die ten Oosten, en de Fidsji-eilanden en Nieuw-Zeeland, die ten Westen van deze grens liggen,

hebben nagenoeg denzelfden tijd op de klok, maar hun datum verschilt één dag.

Zoolang de menschen maar zelden buiten hun woonplaats kwamen, en de reizen naar verre landen zeer lang duurden, konden zij weinig of niets van een verschil in tijd bemerken. Iedere plaats regelde zich naar zijn eigen zonnetijd. Toen later door spoorwegen en telegraaf een snelverkeer ontstond, kwam ook de behoefte aan een algemeen geldigen eenheidstijd op. Meestal werd daartoe de tijd van de hoofdstad (Amsterdamsche of Parijsche tijd), of die van een hoofdsterrewacht (zooals in Engeland en op de Engelsche schepen de tijd van de marine-sterrewacht in Greenwich, in Rusland van de ten Zuiden van Petersburg gelegen sterrewacht in Poelkowo) voor het geheele land of in elk geval voor het spoor- en telegraafverkeer ingevoerd.

Toen echter het wereldverkeer zich meer en meer ontwikkelde, ondervond men deze verschillende nationale tijden steeds meer als een hindernis. Op een internationale konferentie, die in 1884 te Washington gehouden werd, werd daarom de Greenwichtijd, die bij de zeevaarders van alle volken reeds lang in gebruik was, als grondslag voor een overal bruikbaren zonetijd aangenomen. De aarde werd door 24 meridianen in 24 van pool tot pool loopende strooken of zonen verdeeld; binnen elke strook zou de tijd van het midden der strook gelden, die steeds een vol aantal uren met den Greenwichtijd verschilt. Wanneer dit systeem eenmaal algemeen aangenomen is, zullen alle klokken der wereld slechts 24 verschillende tijden aanwijzen, die telkens een uur met elkaar verschillen, maar in de minuten precies overeenstemmen. De Vereenigde Staten van Noord-Amerika hadden dit systeem reeds vroeger ingevoerd; in dat land kwamen slechts 5 tijden voor, die, van het Westen naar het Oosten gaande, de Atlantische, de Oostelijke, de Centrale, de gebergte- en de Zuidzee-tijd genoemd werden, en respectievelijk 4, 5, 6, 7 en 8 uren met Greenwich verschilden. In Duitschland, Oostenrijk en Italië is de "Middeneuropeesche tijd," die een uur met Greenwich verschilt, algemeen ingevoerd. De Balkan-Staten, Egypte en Zuid-Afrika hebben een Oosteuropeschen tijd, die 2 uren met Greenwich verschilt. In vele landen verhinderen nationale en andere vooroordeelen de invoering van den wereldsomertijd, ofschoon onlangs ook in Frankrijk, dat lang tegengesparteld had, de Greenwichtijd als algemeen geldige normaaltijd ingevoerd is. In vele minder ontwikkelde landen, die nog niet sterk aan het wereldverkeer deelnemen, is de behoefte aan een wereldtijd natuurlijk nog niet voorhanden.

De voordeelen, ja de noodzakelijkheid van zulk een tijdregeling ligt bij de steeds voortschrijdende ontwikkeling van het wereldverkeer voor de hand. Daarentegen ontstaat het nadeel, dat aan de randen der zonen de tijd op de klok een half uur van den werkelijken tijd afwijkt. De werkzaamheden in school, fabriek of kantoor, die naar de klok geregeld worden, vallen daardoor 's winters òf in den morgen òf in den avond te veel in den tijd, dat het duister is. Dat is b.v. in Duitschland sterk merkbaar; in Oost-Pruisen gaat de zon op 21 December om 3.37 werkelijken tijd, maar reeds om 3.15 kloktijd onder, terwijl in Keulen de zon op dien dag in werkelijkheid om 8.2, naar de klok echter eerst om 8.35 opkomt.

17. DE DRAAIING DER AARDE.

Wij hebben ons nu het volgende beeld van de wereld gevormd. In het midden van het heelal bevindt

zich de nagenoeg bolvormige zware aarde, op welker oppervlakte wij wonen. Op grooten afstand is zij door den hemelbol omgeven, die zich met al wat er aan vastzit, dagelijks regelmatig om de hemelas wentelt. Wij zien deze wenteling duidelijk voor onze oogen, wanneer de hemellichten opgaan, hun baan aan het uitspansel beschrijven en ondergaan.

Laten zich echter deze verschijnselen ook niet nog anders verklaren?

Wanneer men aan een station in een trein zit, waar een andere trein naast staat, gebeurt het dikwijls, dat men, wanneer een der beide treinen begint te bewegen, eerst niet weet, welke van beide beweegt en welke stilstaat. Men meent zelf al zachtjes in gang te zijn: en op eens, wanneer de andere trein ten einde is of men toevallig naar den vasten grond kijkt, bemerkt men met verbazing, dat onze trein nog rustig stilstaat. Ook omgekeerd kan het zinsbedrog volkomen zijn, zoolang onze eigen trein nog niet door het stooten zijn beweging verraadt. Worden wij onderweg door een sneller rijdenden trein ingehaald, dan kan men zich een poosje volkomen aan de illusie overgeven, dat wij den anderen kant uitrijden, om dan op eens, wanneer de andere trein voorbij is en wij aan de boomen en huizen onze werkelijke richting zien, als het ware door een schok tot de werkelijkheid teruggeroepen te worden.

Door zulke ondervindingen wordt het ons duidelijk, dat wij uit de betrekkelijke beweging van twee voorwerpen ten opzichte van elkaar, wanneer er geen andere bij zijn, in het geheel niet kunnen vinden, hoe elk afzonderlijk zich beweegt. Gesteld dat de vaste aarde met rails, huizen en boomen er niet was, dat ze weggetooverd of geheel onzichtbaar was — zooals bij een nachtelijke treinreis over een eenzame vlakte — dan was het ons ook met den besten wil van de wereld niet mogelijk, bij een ontmoeting met een anderen trein te zeggen, hoe onze trein en hoe de andere in werkelijkheid beweegt. Wij kunnen alleen maar zeggen: met betrekking tot ons beweegt de andere 5 Meter per sekonde naar rechts. Wij zouden evengoed kunnen zeggen, dat wij, met betrekking tot hem, 5 meter per sekonde naar links rijden. Het zou ook kunnen zijn, dat de andere trein met een snelheid van 20 Meter en de onze met een van 15 Meter naar rechts rijdt, zoodat hij ons inhaalt, of ook, dat de onze 30 Meter en de andere 25 Meter per sekonde naar links rijdt en wij hem dus inhalen. Of ook was het mogelijk, dat de andere 3 Meter per sekonde naar rechts en de onze 2 Meter naar links rijdt, zoodat dus de treinen elkaar kruisen. Dat alles is mogelijk en de eene uitdrukking is precies zooveel waard als de andere. Zoolang wij niets anders kunnen zien dan alleen dien anderen trein, hebben wij geen enkel aanknooppingspunt om uit te maken, hoe de beweging van elk der treinen ten opzichte van den vasten grond is; wij kunnen alleen hun betrekkelijke, hun relatieve beweging vaststellen. Uit de beweging, die wij bij een voorwerp waarnemen, kunnen wij alleen maar zijn relatieve beweging ten opzichte van ons leeren kennen, zonder over zijn of onze absolute beweging iets te kunnen zeggen. Wat wij bij den trein absolute beweging noemen, is ten slotte ook niets anders dan de beweging ten opzichte van de vaste aarde, die wij in ons dagelijksch leven als den vasten, rustenden grondslag voor alle beweging aannemen.

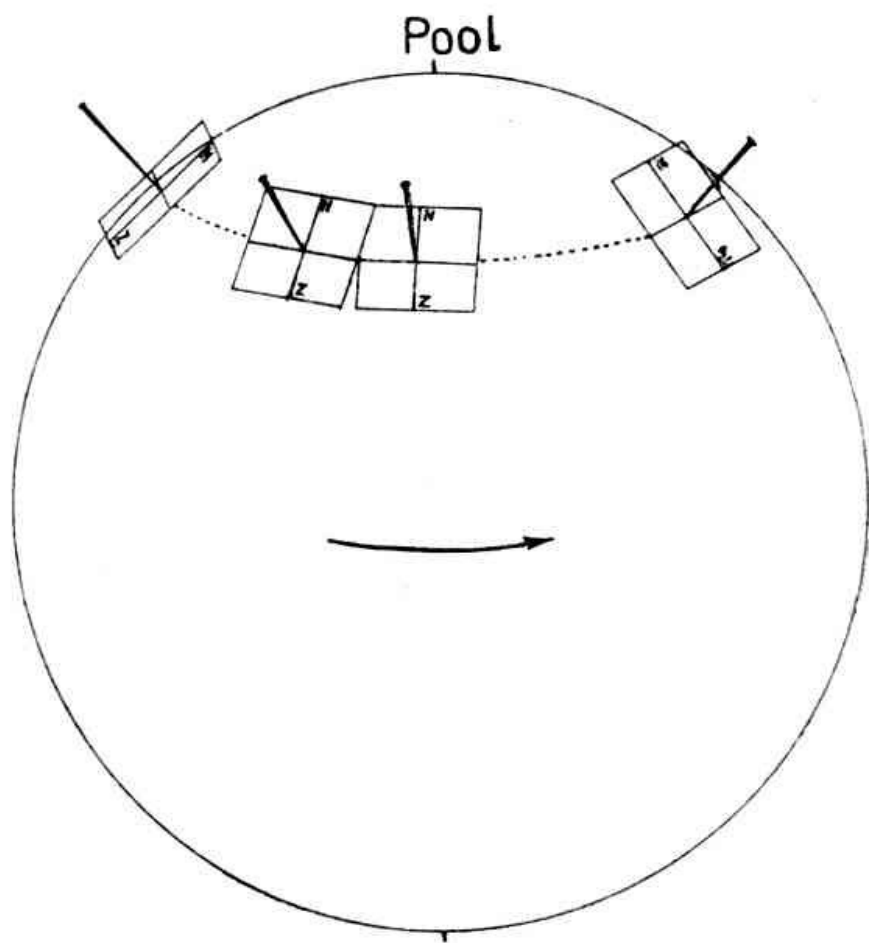
Van deze omstandigheid wordt somtijds op kermissen gebruik gemaakt voor een of andere op zinsbedrog berustende grappenmakerij. Men gaat in een schommel zitten, die aan het schommelen gebracht wordt. Dan wordt echter, terwijl de schommel steeds langzamer beweegt, de omgeving — een kamer met vloer, waarop vastgespijkerde stoelen en tafels, met muur en zoldering — in tegengestelde schommelingen gebracht. De menschen in den schommel zijn dan vast overtuigd, dat zij steeds sneller heen en weer vliegen, hoewel de schommel reeds lang stilhangt. En wanneer dan ten slotte de heele kamer eenmaal over hun hoofd gedraaid wordt, meenen zij, dat zij zelf met den schommel rondgeslingerd worden, en klemmen zich angstig gillende vast, om niet naar beneden te vallen. Natuurlijk; hun oogen

hadden geen ander rustpunt dan den vloer, de muren en de zoldering van de kamer; zij konden dus niet uitmaken, wat zich bewoog, de schommel of de kamer; en omdat zij het als vanzelfsprekend beschouwden, dat de kamer vaststond, kregen zij zelfs door de macht van de suggestie dezelfde lichamelijke gewaarwordingen alsof zij woest heen en weer schommelden.

Iets dergelijks zou men hebben, wanneer men om een draaimolen een om dezelfde as draaibare, ballonvormige tent zoo spande, dat de grond en alles wat vast is, bedekt werd. Wordt dan, terwijl de draaimolen langzamer gaat draaien en eindelijk stilstaat, de tent om haar heen in tegengestelde draaiing gebracht, dan moet hetzelfde zinsbedrog ontstaan. Aan de menschen in den draaimolen is het eenvoudig onmogelijk om uit dat, wat zij zien, op te maken, of de draaimolen met henzelf naar den eenen kant, of de tent naar den anderen kant draait. Hun geheele zichtbare wereld bestaat uit deze beide dingen: draaimolen en tent, die zich ten opzichte van elkaar bewegen. Zij zien de tent om zich heen draaien, maar zij kunnen niet meer konstateeren dan dit enkele feit van de relatieve beweging. Of dit verschijnsel van beweging door een draaiing van den draaimolen of van de tent of van allebei ontstaat, is niet uit te maken.

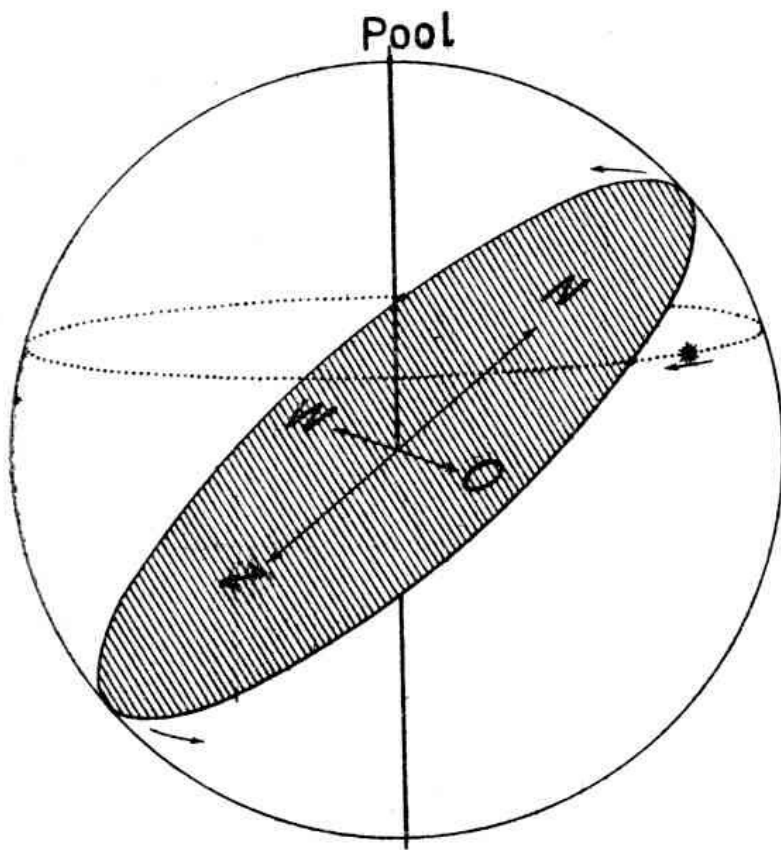
Dit voorbeeld gelijkt al sprekend op het geval van hemel en aarde. De aarde is de draaimolen, de hemel de ballonvormige tent, die wij om ons heen zien draaien: zoo blijkt hier meteen de mogelijkheid van een nieuwe verklaring voor de dagelijksche draaiing van den hemel. Wat wij als draaiing van den hemel van het Oosten naar het Westen waarnemen, kan evengoed hierdoor teweeggebracht worden, dat de hemel in rust is en de aarde zich in tegengestelde richting, van het Westen naar het Oosten, draait. Het verschil met ons draaimolenvoorbeeld ligt hierin, dat hemel en aarde te zamen werkelijk de geheele wereld zijn; buiten hen is er niets anders meer, dat als vast punt dienen kan, om uit te maken, wie zich beweegt en wie in rust is. En uit hun betrekkelijke beweging ten opzichte van elkaar, die wij tot nu toe als draaiing van den hemel betitelden, laat zich over de werkelijke beweging niets beslissen.

Dat deze beide verklaringen: een draaiing van den hemel of een draaiing van de aarde om de as, die door de beide hemelpolen, dus ook door de beide aardpolen gaat, volkomen gelijkwaardig zijn en precies dezelfde verschijnselen moeten bewerken, daarvan kan men zich gemakkelijk overtuigen. Wanneer iemand zich aan de Noordpool bevindt, ziet hij den halven hemelbol als een hangende koepel om een rechtopstaande as langzaam rechtsom draaien. Precies hetzelfde moet plaats vinden, wanneer deze hemelkoepel stil hangt en het aardoppervlak onder zijn voeten met alles, wat daarop staat, als een reusachtige draaischijf om een recht naar beneden gaande as, langzaam naar links draait. Ook in dit geval wandelen alle voorwerpen, die rondom aan den horizon te zien zijn, achter elkaar aan onder de zon door, of wel wandelt de zon boven hen allen langs, al naar men het noemen wil.



Aardbol met horizon.

Voor andere plaatsen van de aarde is de zaak iets ingewikkelder, omdat daar onze standplaats zelf door de draaiing van de aarde beweegt. Wil men zich de verschijnselen, die hier optreden, goed duidelijk maken, dan doet men het best, wanneer men een kleinen houten bal neemt (b.v. een maasbal), die de aarde voorstelt, en daar een spijker als omwentelingsas doorheen slaat. De voorwerpen in de kamer, de muur, de zoldering, kunnen daarbij de verwijderde hemellichamen voorstellen. Legt men een stijf blad papier tegen den bal aan en steekt het met een speld vast, dan stelt de speld de richting van het schietlood, en het papier den horizon van de plaats op aarde voor, waar de speld vastzit. Het blad papier is de voortzetting van het kleine cirkeltje op aarde, dat in deze plaats den werkelijken horizon vormt; alles wat zich boven het blad papier bevindt is voor iemand op die plaats zichtbaar, alles wat er onder ligt onzichtbaar. Is nu de aarde in rust, dan stijgen aan den eenen kant, in het Oosten, door de draaiing van den hemel de hemellichamen boven dit vlak omhoog, en dalen zij aan den anderen kant in het Westen er onder. Nu nemen wij echter omgekeerd aan, dat de hemellichamen in de omgeving stilstaan en dat de aarde naar links draait. Het blad papier verandert door die draaiing zijn stand ten opzichte van de omgevende dingen; en deze krijgen dus ook een anderen stand ten opzichte van het vlak van het papier, den horizon. Aan den kant, waar de beweging heen gaat, daalt dit vlak van den horizon; voorwerpen, die er te voren onder lagen, rijzen schijnbaar omhoog en worden zichtbaar. Aan den anderen, westelijken kant, die na komt, gaat het vlak omhoog en bedekt de sterren, die zich te voren er boven bevonden. Tegelijk merken wij op, dat het vlak daarbij zelf ook linksom draait; de lijn Noord-Zuid, die wij op ons blad geteekend hebben, en die naar bepaalde voorwerpen van onzen zichtbaren horizon gericht is, beweegt zich onder de sterren in het Zuiden en het Noorden door. Daardoor schijnen deze sterren zelf naar rechts te loopen en gaan de hemellichamen in het Oosten schuin op en in het Westen schuin onder — dus volkomen de verschijnselen, die wij in werkelijkheid ook waarnemen.



Hemelbol met horizon.

Denken wij ons nu dit horizonvlak tot aan den hemelbol doorgetrokken, zooals in de nevenstaande figuur, waar de bol nu den hemel voorstelt, dan wordt het tot een wand, die de wereldruimte in twee helften scheidt — want de aarde, waaraan hij vastzit, is onmerkbaar klein — en ook den hemelbol door zijn cirkelvormigen omtrek in een zichtbare en een onzichtbare helft verdeelt. Naar onze eerste opvatting draait de hemelbol om de wereldas rond, waardoor de sterren boven dezen rustenden wand in schuine richting omhoog stijgen, in het Zuiden het hoogst staan en in het Westen achter hem verdwijnen. Volgens de nieuwe verklaring staat de hemelbol stil, en draait de scheidingswand met de wereldas, waar hij scheef aan vastzit, naar links en in het rond, op dezelfde manier als een potlood, dat men scheef door een rond blad papier steekt en dan tusschen de vingers rolt, dit papier mee in het rond draait. De omtrek van den wand (de horizon) strijkt daarbij tweemaal over een ster heen, eenmaal bij het opkomen, eenmaal bij het ondergaan. Op deze manier blijkt nog duidelijker, dat beide verklaringen precies op hetzelfde neerkomen, en dat het voor de beschrijving en de verklaring van de hemelverschijnselen egaal is, of men het een of het ander aanneemt.

Uit de hemelverschijnselen kunnen wij niet beslissen, welke van de beide verklaringen de juiste is, want voor hun beschrijving komen zij volkomen op hetzelfde neer. Om tusschen hen te kiezen en te beslissen, welke de ware is, moeten wij andere waarnemingen en overwegingen te hulp roepen.

18. DE STRIJD OVER DE BEWEGING DER AARDE.

De nieuwe verklaring heeft op de oude dit voor, dat zij ons wereldbeeld veel eenvoudiger maakt. Daar de hemel, vergeleken met de aarde, onmetelijk groot is, zou hij met een buitengewone, nauwelijks denkbare snelheid in het rond moeten vliegen, terwijl voor de aarde een veel kleinere snelheid voldoende zou zijn. Daar komt nog bij, dat verschillende hemellichamen een dubbele beweging hebben; terwijl zij zich met betrekking tot den hemel in eigen loopbanen bewegen, dus niet vastzitten, nemen zij toch deel aan zijn dagelijksche draaiing om de hemelas. Wij weten, dat de maan zich veel dichterbij de aarde bevindt dan de andere hemellichamen, en toch wordt zij door den zooveel verder verwijderden hemelbol in zijn wenteling meegevoerd. Daarin behoeft nu weliswaar geen onmogelijkheid voor de oude verklaring te liggen. Men stelde zich de zaak zoo voor, dat het gebied van den hemel, het rijk van den aether, zich van de grens van den dampkring tot aan den hemelbol uitstrekt, en dat de geheele inhoud van dit gebied door de buitenste schaal in haar snelle wenteling meegesleept wordt. Maar de nieuwe verklaring is toch aanmerkelijk veel eenvoudiger. Nemen wij haar aan, dan is de dagelijksche beweging slechts schijn: de hemel en de sterren staan stil, en de zon en de maan hebben slechts één enkele beweging, waardoor, de een in een jaar, de ander in een maand, hun eigen banen om de aarde beschrijven. De groote nabijheid van de maan kan nu niet de geringste moeilijkheid meer opleveren.

Daartegenover spreekt ten gunste van de oude verklaring en als bezwaar tegen de nieuwe, dat wij van een beweging van de aarde onder onze voeten in het geheel niets bemerken. Wanneer het waar is, dat de aarde om haar as draait, dan moet een plaats aan den evenaar in 24 uren den geheelen omtrek der aarde, 40 miljoen meter, doorloopen, dus (daar 24 uren == 86400 sekonden is) een snelheid van 463 meter per sekonde bezitten, 10 tot 20 maal grooter dan die der snelste spoortreinen. Zouden wij met onze geheele omgeving in zulk een onbegrijpelijk razende vaart kunnen voortvliegen, zonder er iets van te merken?

Dat dit bezwaar echter niet afdoende is, moesten reeds de oude Grieken bemerken. Op hun tochten over zee konden zij er zich van overtuigen, dat een nog zoo snelle beweging van het schip, mits zij maar gelijkmatig en rustig plaats vindt, in het geheel niet te voelen is. In de kajuit, waar alles, wat men ziet, mee beweegt, kan men niet uitmaken, of het schip vaart, tenzij aan de onregelmatigheden van de beweging; alleen het langzamer of sneller varen, het stooten, stampen of slingeren is waar te nemen. Evenzoo worden wij van de vliegende vaart van een sneltrein, waarin wij zitten, alleen door het voortdurende stooten en schudden en nu en dan bij scherpe bochten iets gewaar; lezen wij een poosje in een boek zonder naar buiten te kijken, dan weten wij dikwijls volstrekt niet, of wij vooruit of achteruit rijden. Daaruit blijkt, dat wij de beweging zelf niet kunnen voelen, maar alleen hare veranderingen en onregelmatigheden. Daar de draaiing der aarde natuurlijk volkomen rustig, zonder de geringste onregelmatigheid, plaats vindt, moeten wij er ondanks de reusachtige snelheid niets van kunnen voelen.

Het is daarom licht begrijpelijk, dat deze nieuwe gedachte, dat niet de hemel, maar de aarde dagelijks rondwentelt, reeds bij eenige Grieksche denkers der oudheid opkwam. Dat de filosoof Plato in zijn latere werken deze opvatting gehuldigd heeft, zooals dikwijls aangenomen wordt, schijnt op een onjuiste uitlegging der betreffende zinswendingen te berusten. Met groote stelligheid schrijven echter latere auteurs aan zijn leerling *Heraclides* van Pontus, een beroemd tijdgenoot van Aristoteles, deze leer van de draaiing der aarde toe. Daarentegen verdedigt Aristoteles de tegengestelde opvatting, die beter bij het geheel van zijn natuurleer paste. Hij wist, dat zware lichamen veel moeilijker in beweging te

brenge, dus veel trager zijn dan lichte; daarom past de rust voor de zware, de beweging voor de lichte elementen, en de aarde bestaat juist uit de opeenhooping van alle zware materie in het middelpunt der wereld. "De natuurlijke beweging van de deelen der aarde en dus ook van de geheele aarde is naar het centrum der wereld gericht; daarom is het duidelijk, dat de aarde noodzakelijk onbeweeglijk in het centrum in rust moet zijn."

Later hebben zich nog wel eenigen onder de wijsgeeren der oudheid voor de draaiing der aarde uitgesproken, maar hun geschriften en hun argumenten zijn ons niet bewaard gebleven. Den meesten lateren geleerden, met name dien van de Alexandrijnsche school, was het minder om vernuftige verklaringen en theorieën te doen, dan wel om een nauwkeurige vaststelling van de verschijnselen. Van een der geleerden uit dien tijd, Posidonius, vermeldt een later schrijver de uitspraak: "De natuurkunde bewijst de oorzaken en de werkende krachten; de sterrekunde is niet in staat het wezen der dingen te doorgronden en stelt zich daarom tevreden de uiterlijke verschijnselen aan te wijzen... Aan den natuurkundige blijft het vraagstuk overgelaten onder de theorieën, die in staat zijn de bewegingen te verklaren, diegene uit te kiezen, die met de natuurkundige beginselen der wereld in overeenstemming is. Aan den astronoom is het onverschillig te weten, wat vast is en wat zich beweegt; voor hem is iedere theorie aannemelijk, die de verschijnselen goed weergeeft." Hier wordt de reden duidelijk, waarom de leer van de rustende aarde de meeste instemming vond; de natuurkunde van Aristoteles, die uit de verschijnselen op aarde afgeleid was, gaf den doorslag.

Dit geldt ook voor het groote werk, waarin Claudius Ptolemaeus aan het einde der oudheid (150 n. Chr.) de uitkomsten der Grieksche wetenschap samenvatte, een werk, dat meest in een mengelmoes van Arabisch en Grieksch met *Almagest* betiteld wordt, en dat de geheele sterrekunde in de Middeleeuwen tot aan de 17^{de} eeuw heeft beheerscht. Ptolemaeus weet, dat eenige denkers de draaiing van de aarde leerden, maar hij kan zich daarmee niet vereenigen en bestrijdt hun meening. Welke gronden voert hij aan?

"Sommigen zijn van meening, dat niets hen belet te veronderstellen, dat de hemel stilstaat en dat de aarde in ongeveer een dag van het Westen naar het Oosten wentelt. Wat de verschijnselen der sterren aangaat, is het waar, dat er waarschijnlijk niets tegen zou zijn voor de eenvoudigheid dit aan te nemen. Maar zij bemerken niet, hoe buitengewoon belachelijk zoo iets zou zijn, wanneer men op de verschijnselen om ons heen en in de lucht let. Naar hun meening zou, wat tegen de natuur is, het ijlste en lichtste element (nl. de aether) òf in het geheel niet bewegen, òf evenzoo als de andere aardsche dingen, terwijl de minder ijle dampkring blijkbaar een snellere vaart zou hebben dan de aarde. Ook zouden de grofste en zwaarste dingen een eigen sterke en blijvende beweging hebben, terwijl toch omgekeerd het zware aardsche, zooals ieder weet, moeilijk in beweging te brengen is. Wanneer wij hun dat ook zouden willen toegeven, dan zouden zij ons toch moeten toestemmen, dat de draaiing van het aardoppervlak veel heviger zou zijn dan alle mogelijke bewegingen, die op haar plaats vinden, en dat zij in korten tijd zulk een groote plaatsverandering zou ondergaan, dat alles, wat niet op haar steunt, steeds maar een enkele beweging zou schijnen te bezitten, tegengesteld aan die der aarde. En men zou nooit een wolk naar het Oosten kunnen zien gaan, noch iets anders, wat vliegt of geworpen wordt, want de aarde zou hun steeds vóór zijn en in de beweging naar het Oosten de leiding nemen, zoodat al het andere zou achterblijven en naar het Westen schijnen terug te wijken."

"Wanneer zij echter zeggen, dat met de aarde ook de lucht met dezelfde snelheid rondgevoerd wordt, dan zou men toch evenzeer de vaste lichamen in de lucht bij beide moeten zien achterblijven. Of wel, wanneer zij meegesleept worden, als waren zij vast met de lucht verbonden, dan zou men geen van hen

ooit vóóruit of achteruit zien gaan, maar zij zouden steeds op dezelfde plaats blijven, en al wat vliegt of geworpen wordt zou niet van zijn plaats kunnen komen. En toch zien wij deze bewegingen duidelijk plaats vinden, juist zoo, alsof er geen beweging der aarde is, die ze tegenhoudt of versnelt."

Dit zijn de tegenwerpingen, die Ptolemaeus tegen de draaiing der aarde maakt. Een bouw van het heelal, waarbij het buitenste fijnste element, de hemelsche aether in rust is, de daarop volgende lucht het snelst en de vaste zware aarde binnenin langzamer ronddraait, komt hem ongeloofelijk voor, wanneer hij daarmee de eenvoudige wet van de beweging der elementen volgens Aristoteles vergelijkt. Bovendien is een snelle beweging van de aarde niet te vereenigen met het feit, dat zware dingen zoo moeilijk beweegbaar zijn. Nu wil hij deze filosofische bezwaren niet al te zwaar laten wegen; maar beslissend is voor hem, dat de snel voortvliegende aardoppervlakte alles achter zich zou laten, wat niet vast aan haar zit tenzij het door de lucht met geweld, als het ware tusschen planken geklemd, meegesleurd werd.

Deze tegenwerpingen werden vele eeuwen lang als afdoende beschouwd. Dat kon ook niet anders, zoolang de eenvoudige, primitieve ervaringen, waarop zij berusten, niet voor betere en grondigere waarnemingen plaats gemaakt hadden. Daartoe was echter vooreerst de tijd niet gunstig. Toen Ptolemaeus zijn werk schreef, naderde de oude wereld reeds haar ondergang, en vele eeuwen van oorlog en volksverhuizing, van ontwikkeling van arbeid en bedrijf en stil opbouwen van nieuwe toestanden moesten voorbijgaan vóór een nieuwe beschaving kon opkomen. Het eerst kwam het Oosten, waar het peil van ontwikkeling het hoogst gebleven was, weer tot bloei. Daar ontwaakte na de veroveringen der Arabieren, in het centrum van het nieuwe wereldrijk, aan het hof der Chaliefen van Bagdad, met handel, handwerk en verfijnde beschaving ook de zin voor kunst en wetenschap, die zich later, na het uiteenvallen van het Chaliefenrijk, naar verwijderde middelpunten, zooals Cordova in Spanje, Merghab in Perzië en Samarkand in Toerkestan, overplante. De Arabische geleerden vertaalden de wetenschappelijke werken der Oudheid, deden nieuwe waarnemingen en ontdekten nieuwe verschijnselen, maar boven de algemeene opvattingen der ouden verhieven zij zich niet. Zij waren niet zoozeer zelfstandige denkers en wijsgeeren, als wel degelijke onderzoekers; met eerbied bestudeerden zij de oude wetenschap en kwamen er niet toe, deze door nieuwe eigen theorieën omver te werpen.

Anders ging het, toen vele eeuwen later in de Europeesche wereld handel en bedrijf, burgerij en steden opgekomen waren, en daarmee ook een steeds sterkere behoefte aan klassieke beschaving, aan wetenschap en kennis ontstond. Uit de geschriften der oudheid, die eerst uit het Arabisch, later uit het Grieksch vertaald werden, putten de geleerden der 15^{de} eeuw hun eerste wis- en sterrekundige wetenschap. Onder hen was de beroemdste Johan uit Koningsberg (een dorp in Franken), naar het gebruik dier tijden *Regiomontanus* (d. i. de Koningsberger) genoemd, die zich afwisselend in Italië en in Neurenberg ophield, en overal zocht naar goede handschriften van den *Almagest* van Ptolemaeus, om van dit werk, evenals van andere belangrijke geschriften, door de pas uitgevonden boekdrukkunst een uitgave gereed te maken. Zoo werd de grondslag voor de mathematische studiën in Europa gelegd. Maar naarmate de geleerden hier dieper en beter in de oude theorieën doordrongen en nieuwe waarnemingen deden, voelden zij er zich steeds minder door bevredigd; nieuwe denkbeelden traden hier en daar reeds op, in plaats van het overgeleverde wereldbeeld. De beslissende stap werd in de 16^{de} eeuw door *Nicolaus Copernicus* gedaan, een geleerd geestelijke in de Poolsche stad Frauenburg, in het tegenwoordige Oost-Pruisen. In zijn werk "*Over de baanbewegingen*" (*De revolutionibus*), dat in 1543, zijn eigen sterfjaar, verscheen, brak hij geheel en al met de oude opvatting en bouwde hij de beweging der hemellichamen op geheel nieuwe principes op. Een van deze principes bestond hierin, dat hij de schijnbare draaiing des hemels door de aswenteling der aarde verklaarde en den hemel liet stilstaan.

Nadat hij eerst bewijst, dat de hemel onmetelijk groot en de aarde daarbij vergeleken niet meer dan een punt is, gaat hij voort: "het zou ons toch zeer moeten bevreemden, wanneer deze zoo onmetelijk uitgestrekte wereld zich lichter in 24 uren in de ruimte zou bewegen, dan de aarde, die slechts een zeer klein deel van haar is." Dan voert hij de gronden aan, waarop Aristoteles en Ptolemaeus zich beriepen voor hun meening, dat de aarde in het midden van de wereld in rust is, en hij weerlegt ze op de volgende wijze:

"Wanneer iemand van meening is, dat de aarde draait, dan zal hij ook zeggen, dat deze beweging een natuurlijke en niet een gewelddadige is. Wat echter volgens de natuur gebeurt, heeft een uitwerking tegengesteld aan dat, wat door geweld plaats vindt. Dingen, waarop geweld of een uiterlijke kracht uitgeoefend wordt, moeten noodzakelijk stuk gaan en kunnen niet lang in stand blijven; wat echter van nature geschiedt, gaat goed en blijft in den besten samenhang. Ten onrechte vreest daarom Ptolemaeus, dat de aarde en al het aardsche uit elkaar zal vliegen bij de uit de natuur voortkomende omwenteling, daar toch de werking van de natuur geheel anders is dan die van de kunst en dan wat door het menschelijk vernuft tot stand gebracht wordt. Waarom echter vreest hij dit niet nog veel meer van de wereld, wier beweging evenzoo veel sneller zou moeten zijn, als de hemel grooter is dan de aarde?... Zeker is het, dat de aarde tusschen haar polen ingesloten door een bolvormig oppervlak begrensd wordt. Waarom zullen wij dan aarzelen, haar die beweging toe te kennen, die van nature bij haar vorm behoort, in plaats van aan te nemen, dat de geheele wereld beweegt, wier grens wij niet kennen en niet kunnen kennen? En waarom zullen wij niet erkennen, dat van de dagelijksche omwenteling de schijn aan den hemel toekomt, en de werkelijkheid aan de aarde? En dat het hiermee dus evenzoo is, als Aeneas bij Virgilius zegt: 'Wij varen uit de haven en de landen en de steden wijken terug' — omdat, wanneer een schip rustig vaart, alles wat daarbuiten is aan de schippers toeschijnt naar het beeld van de beweging van het schip te bewegen, terwijl deze, daartegenover, zichzelf met alles wat bij hen is in rust achten. Zoo zou het zonder twijfel ook met de beweging van de aarde kunnen zijn, terwijl men meent, dat de geheele wereld ronddraait.

"Wat zullen wij nu echter van de wolken zeggen en van de andere dingen, die op de een of andere manier in de lucht zweven, of vallen of naar boven stijgen? Alleen dit, dat niet slechts de aarde en het met haar verbondene waterige element zoo beweegt, maar ook een niet gering deel van de lucht en wat verder nog op dezelfde manier met de aarde verwant is — hetzij dat de benedenste luchtlagen, met aardachtige of waterachtige materie vermengd, zich op dezelfde wijze als de aarde gedragen, hetzij dat de lucht deze beweging gekregen heeft en door de aanraking met de aarde en door haar weerstand aan de voortdurende omwenteling deelneemt. Daartegenover wordt er nu met verbazing op gewezen, dat de hoogste streken der lucht de beweging des hemels volgen, zooals die plotseling verschijnende sterren bewijzen, die door de Grieken kometen of baardsterren genoemd werden, voor wier ontstaan die streken aangenomen worden, en die evenals de andere sterren opkomen en ondergaan. Wij kunnen zeggen, dat dit gedeelte van de lucht, omdat het zoo ver van de aarde verwijderd is, van de aardsche beweging vrij gebleven is. Daarom schijnt de lucht, die het dichtst bij de aarde is, in rust, evenals ook wat daarin zweeft, wanneer het niet door den wind of door een andere kracht al naar het toeval her- of derwaarts bewogen wordt. Want wat is de wind in de lucht anders dan de vloed in de zee?... Er komt nog bij, dat de toestand van onbeweeglijkheid voor edeler en goddelijker gehouden wordt, dan die der verandering en der onbestendigheid, welke laatste daarom meer voor de aarde dan voor de wereld past. Ik voeg er nog bij, dat het nogal onzinnig schijnt aan het omvattende geheel een beweging toe te schrijven en niet liever aan het daarin bevatte deel, de aarde... Men ziet dus, dat naar dit alles de beweeglijkheid van de aarde waarschijnlijker is dan haar rust, vooral wat betreft haar dagelijksche omwenteling, die de aarde het meest eigen is."

Dit zijn de gronden, die Copernicus voor de draaiing der aarde en tegen de meening van Ptolemaeus

aanvoert. Er is geen enkele bij, die op nieuwe, in de oudheid onbekende feiten berust; hetzij hij betoogt, dat de beweging van de aarde een natuurlijke en geen kunstmatige of gedwongene beweging is, of dat aan de aarde als bol van nature een draaiing toekomt, of dat zij minder volkomen is dan de hemel — altijd blijven zijn argumenten geheel in den gedachtengang van de klassieke natuurfilosofie. Het tijdperk der Renaissance, waarin Copernicus leefde, het begin der 16^{de} eeuw, was nog geheel met den geest der antieke wereld doortrokken. De Renaissance beteekende ook niets anders dan een weer opleven van de wetenschap, van de kunst en van de geheele blijde levensopvatting en kultuur der oude Grieken en Romeinen; aan een revolutie van de grondslagen van leven en denken dacht nog niemand. Copernicus kon zich voor zijn nieuwe opvatting alleen op de hemelverschijnselen beroepen, door er op te wijzen hoeveel eenvoudiger, natuurlijker en begrijpelijker de bouw van het heelal daardoor werd. Hij kon de oude tegenwerpingen niet afdoende weerleggen, want daartoe moesten eerst voor de wetenschap der natuurkunde nieuwe grondslagen gelegd worden; zoolang had hij dus de autoriteit der geldende wetenschap tegen zich. Daarom waren de meeningen onder de geleerden der 16^{de} eeuw dan ook zeer verdeeld. Daar de sterrekunde vooral door de praktische behoeften der zeevaart tot het verzamelen van steeds meer ervaringen en tot waarneming der natuur zelf voortgedreven werd, was hier de geest voor nieuwe denkbeelden ontvankelijk. Daarentegen beheerschte de oude natuurfilosofie van Aristoteles, door de autoriteit der kerk gesteund, nog gedurende de geheele 16^{de} eeuw de hoogeschoolen en stond de nieuwe leer vijandig in den weg. Eerst in de tweede helft van deze eeuw begon hier en daar in Italië en Holland praktische proefneming en kritiek der oude leer op te komen. En eindelijk bracht het begin van de 17^{de} eeuw een volslagen ommekeer der wereldbeschouwing, die vooral met den naam van den Italiaanschen geleerde Galileo Galilei verbonden is. Uit de ervaring, uit proefnemingen en beschouwingen, waartoe voor een deel de strijd over de beweging der aarde zelf aanleiding gaf, ontwikkelden zich voor het eerst juiste en heldere opvattingen over beweging en rust, die het oude wereldbeeld van Aristoteles omverwierpen en de moderne natuurwetenschap inleidden. Zij toonden voorgoed de ongegrondheid der vroegere tegenwerpingen tegen de beweging der aarde aan.

19. BEWEGING EN RUST.

Wanneer een bal over den grond rolt, zien wij dat zijn beweging steeds langzamer wordt en dat hij eindelijk stil blijft liggen. Brengen wij een tol aan het draaien, dan zien wij, dat hij steeds langzamer gaat draaien en ten slotte omvalt. Het allereerst ligt het nu voor de hand, daaruit te besluiten, dat rust de natuurlijke toestand der dingen is, waarnaar zij alle streven, en dat elke beweging, wanneer zij niet telkens door een voortstuwende kracht onderhouden wordt, vanzelf geleidelijk uitdooft. Beschouwt men de zaak echter nader, dan bemerkt men, dat de bal des te eerder blijft liggen, naarmate de grond ruwer is. Is de grond zeer hobbelig en ongelijk, dan houdt de beweging spoedig op; neemt men daarentegen een zeer gladden bal en een gladden vloer, zoodat de beweging zoo weinig mogelijk door oneffenheden gehinderd wordt, dan is van een vermindering der beweging nauwelijks iets te bespeuren. Een aan zich zelf overgelaten spoorwagen kan op de rails soms mijlen ver voortrollen zonder te verlangzamen; op een gewonen straatweg zou hij echter niet veel verder dan een paar meter komen. Ook een tol draait des te langer naarmate de grond en de punt gladder zijn. Worden de assen van een wiel zoo ingericht, dat de wrijving zoo goed als geheel verdwijnt, dan kan het rad uren lang draaien, zonder merkbaar te vertragen.

Uit zulke ervaringen wordt het ons duidelijk, dat het spoedig ophouden der beweging over een ongelijken grond eenvoudig uit den tegenstand ontstaat, dien de oneffenheden van den grond aan de beweging bieden. Maar geldt dat nu ook niet, wanneer de bal op een gladden vloer, de spoorwagen op de rails of het wiel met zijn kogelassen slechts uiterst langzaam de beweging verliest? Want ook hier zijn de weerstanden niet geheel en al afwezig; het ligt dus voor de hand om in de kleine, overgebleven wrijvingen de oorzaak voor het langzame uitdooven der beweging te zoeken. Konden wij de wrijving nog meer verminderen, dan zou de beweging zonder twijfel nog veel minder verlangzamen. Geheel en al opheffen kunnen wij nu bij onze proeven die weerstanden niet, want alles, wat wij op aarde in beweging brengen, blijft op een of andere manier met iets anders in aanraking. Maar wij hebben toch het recht naar al deze feiten de overblijvende zwakke vertraging van alle beweging aan de overgebleven wrijving toe te schrijven, die wij niet kunnen opheffen. En wij mogen daaruit besluiten, dat, als er geen weerstand is, de beweging steeds dezelfde blijft, zonder te vertragen en ten slotte op te houden. Dat geldt voor zware lichamen evenzeer als voor lichte, voor den spoorwagen zoo goed als voor den bal, voor de zware aarde zoo goed als voor een tol. Hebben zij eenmaal hun beweging, al is zij nog zoo snel, dan behouden zij die onverminderd, zoolang geen weerstand optreedt, die hen remt. Een voortdurende drijvende kracht om de beweging in stand te houden is alleen noodig om, zooals bij onze machines, de wrijvingsweerstanden te overwinnen.

Wanneer dus in de oudheid gezegd werd, dat zware lichamen moeilijker en langzamer bewegen dan lichte, even alsof hun het bewegen meer moeite kost, zoo is dat onjuist. In beweging blijven kost geen moeite. Wat moeite kost, is in beweging komen, en dat is het ook, wat men bedoelde zonder het scherp van elkaar te onderscheiden. Om een zwaar voorwerp in beweging te brengen, is een veel grootere krachtsinspanning noodig dan bij een licht voorwerp. Een stoot, die een klein wagentje in groote vaart doet wegvliegen, kan een spoorwagen nauwelijks van zijn plaats brengen; met dezelfde inspanning, waarmee men een kleinen steen ver wegslingert, kan men een zwaren steen nauwelijks een paar meter voortwerpen. Maar evenzoo kost het een groote inspanning een zwaar voorwerp, dat zich beweegt, in rust te brengen; een bal, die aan komt vliegen, vangt men met de hand gemakkelijk op, maar een langzaam rollenden spoorwagen kan één man met zijn geheele lichaamskracht niet tegenhouden; hij wordt eenvoudig door de zware massa teruggeduwd en, als hij niet oppast, verpletterd. Uit deze feiten is te zien, dat elke verandering van eenmaal voorhanden beweging of rust moeite kost; aan zichzelf overgelaten behoudt ieder ding, licht of zwaar, de beweging die het heeft, moge die beweging nu snel, langzaam of niemendal zijn. En deze moeite zal des te grooter zijn, naarmate het lichaam zwaarder is; dezelfde krachtsinspanning heeft des te grooter uitwerking, hoe lichter het voorwerp is. Om bij verschillende voorwerpen dezelfde verandering van de voorhanden beweging (of rust) te bewerken, is een des te grootere kracht noodig, naarmate het voorwerp zwaarder is.

De fout van de oude opvatting ligt dus in de meening, dat alle dingen een zekere traagheid bezitten, die zich tegen de beweging verzet en hen in rust tracht te brengen, omdat dit hun natuurlijke toestand is. Zoo wordt het begrijpelijk, waarom Ptolemaeus, en na hem vele anderen telkens opnieuw in andere bewoordingen tegen de beweging van de aarde aanvoeren, dat de vogels en de wolken zouden moeten achterblijven, terwijl het aardoppervlak met de boomen en de nesten in vliegende vaart onder hen wegijlt. Wij weten nu, dat men van een traagheid van alle voorwerpen slechts in dien zin spreken kan, dat zij zich tegen elke verandering van hun beweging verzetten, en dat zij zonder inwerking van buiten, aan zichzelf overgelaten, hun beweging behouden. Een vogel, die op een tak zit, rent evenals een mensch, die op den grond staat, met de aardoppervlakte in een razend snel tempo voort. Vliegt de vogel op of doet de mensch een sprong in de hoogte, dan behouden zij die groote snelheid, die ze met de aarde, den boom en

den tak deelden, en zij blijven dus v a n z e l f boven of vlak bij de plaats op aarde, waar zij te voren waren. Zij verkeerden in hetzelfde geval, als een ruiter in het cirkus, die omhoog springt, terwijl zijn paard voortrent; hij komt niet achter het paard op den grond neer, maar, omdat hij gedurende zijn sprong dezelfde beweging behoudt, blijft hij boven den rug van het paard en komt ook weer daarop neer.

Wanneer dus een samenstel van vele voorwerpen een regelmatige, gemeenschappelijke beweging bezit, al is deze nog zoo snel, dan vinden de aparte bewegingen van de voorwerpen ten opzichte van elkaar precies zóó plaats, alsof het geheel zich in rust bevindt. Dat dit zoo is, daarvan kan ieder zich gemakkelijk op een stoomboot — of ook in een trein — overtuigen. Gaat men in de kajuit — want boven op het dek neemt de lucht geen deel aan de beweging van de boot — dan ziet men daar alles net zoo gebeuren, alsof de boot stil ligt. Een vlieg zweeft om ons hoofd en wij zelf wandelen heen en weer, zonder van de snelle vaart iets te bemerken; gooien wij een bal in de hoogte, dan valt hij juist in onze handen terug; laten wij hem vallen, dan valt hij recht naar beneden — d.w.z. met betrekking tot de kajuit, want ten opzichte van den oever valt hij schuin naar beneden, daar hij met het schip met dezelfde snelheid voortbeweegt. Konden wij buiten de aarde een vast, onbeweeglijk merkteken zetten, dan zou een vallende steen ten opzichte daarvan schuin naar het Oosten naar beneden bewegen. Ten opzichte van de aarde echter valt hij recht naar beneden. Omdat alle dingen om ons heen, aardoppervlak, huizen, boomen, vogels, lucht en wolken door de draaiing der aarde een gemeenschappelijke beweging hebben, gedragen zij zich in hunne bewegingen ten opzichte van elkaar juist zóó, alsof het geheel zich in rust bevindt.

Wij hebben vroeger reeds gevonden, dat wij uit de waarneming van de relatieve beweging van twee voorwerpen niets kunnen afleiden omtrent hun rust of beweging. Wij zien nu, dat er tusschen rust en gelijkmatige beweging in het geheel geen onderscheid bestaat. Vloog de aarde met nog veel grootere snelheid rechtuit door de ruimte, dan zouden wij evengoed kunnen aannemen, dat zij stil stond, want het zou precies op hetzelfde neerkomen. Rust is geen absolute toestand — daarin bestaat vooral de onhoudbaarheid van de natuurleer der oudheid — rust is niets dan een relatief begrip.

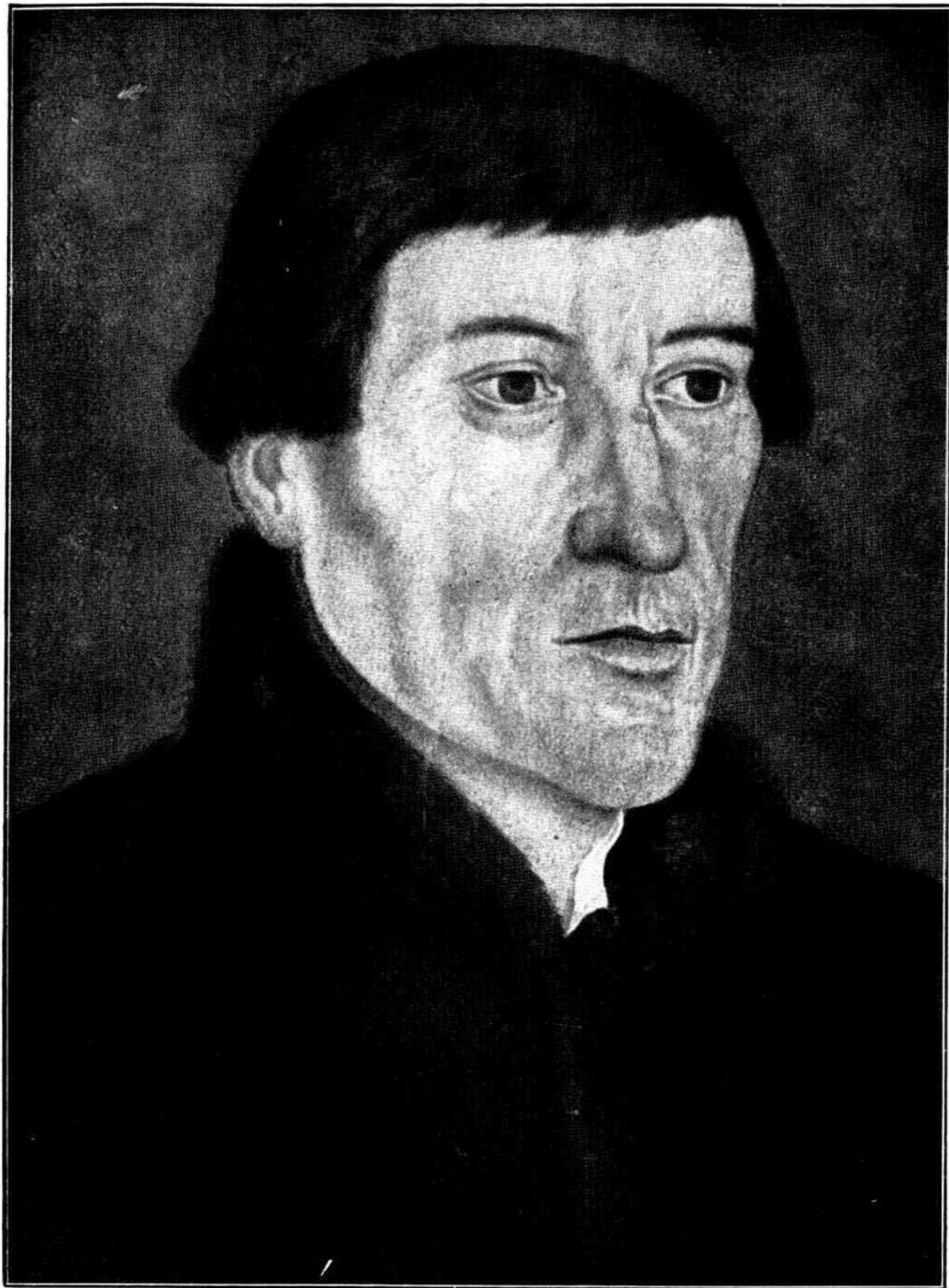
20. DE DAMPKRING.

Toen de leer van de draaiing der aarde opkwam, lag er voor de menschen een bijzondere moeilijkheid in de voorstelling, dat de atmosfeer meedraaide. Volgens Aristoteles werd de lucht, die de aarde van alle kanten omgeeft, op groote hoogten steeds ijler en ging daar over in het vuur en het hemelsche element, die de hoogere gebieden vulden. Wanneer nu de lucht vlak aan de oppervlakte meedraaide, tot hoever namen dan de hoogere, boven elkaar liggende lagen deel aan deze beweging? Al het "ondermaansche" gold in dien tijd als vergankelijk en aardsch, en zoover, dus tot in de buurt van de maan, dacht men, dat ook de dampkring der aarde zich moest uitstrekken. "Terwijl de kleinste afstand van de maan," schreef Copernicus, "meer dan 49 maal de halve middellijn der aarde bedraagt, is het ons toch niet bekend, dat in deze zoo groote ruimte iets anders voorhanden is dan lucht, en, zoo men wil, dat, wat men het vurige

element noemt." Wij hebben ook reeds gezien, hoe hij deze zwaarigheid trachtte op te lossen, door aan te nemen, dat van die kolossale luchtmassa, die een ruimte inneemt, vele duizenden malen grooter dan de aarde, alleen de binnenste lagen door de aswenteling der aarde meegesleept worden. In de 17^{de} eeuw werd dit vraagstuk eerst volkomen opgehelderd.

Iedereen weet, hoe een pomp werkt; wordt de zuiger omhoog getrokken, dan stijgt het water mee, anders zou onder den zuiger een leegte ontstaan. Men verklaarde zich dat zóó, dat de natuur geen leegte toelaat, en waar er anders een zou ontstaan, de stof van alle zijden aandringt om de leegte te vullen. In de 17^{de} eeuw viel echter de aandacht op het feit, dat men in een pomp het water niet hoger dan 10 meter kon opzuigen; trekt men den zuiger verder in de hoogte, dan ontstaat een leegte, die niet meer door verder opstijgend water aangevuld wordt. De Italiaansche natuurkundige Torricelli, een leerling van Galilei, maakte daaruit op, dat de oorzaak van het stijgen van het water in de pompbuis niet hierin te zoeken is, dat de natuur een afkeer van leegte heeft, maar eenvoudig in de drukking van den dampkring. De lucht, die ook alle holten in de aarde doordringt, drukt op het water der onderaardsche wellen en perst het in de pompbuis omhoog, wanneer daarin anders een leegte zou ontstaan. Daar echter deze druk niet onbegrensd is, maar een bepaalde sterkte heeft, kan hij het water niet verder dan tot een bepaalde hoogte omhoogpersen; een waterzuil van 10 meter hoogte in de buis drukt even sterk als de dampkring buiten en is met hem in evenwicht. Wanneer deze verklaring juist is, moet kwikzilver, dat 13 maal zoo zwaar is als water, door den dampkring slechts tot een hoogte van $\frac{1}{13}$ van 10 meter opgeperst kunnen worden. Toen Torricelli de proef deed, bleek dat ook inderdaad uit te komen; aan een kwikzilverbarometer kan iedereen zien, dat het kwikzilver in de van boven gesloten buis ongeveer 76 cM. hoger staat dan in de open buis, en de luchtledige ruimte boven zich niet vult. Ook nog op een andere wijze werd deze verklaring bevestigd. De druk, dien de lucht door haar zwaarte uitoefent, moet des te geringer zijn, naarmate men hoger in den dampkring komt. Toen de Fransche natuurkundige P a s c a l in 1647 de kwikzilverproef van Torricelli op den top van den 1000 M. hoogen Puy de Dôme liet herhalen, bleek het, dat daar de kwikzilverzuil slechts 66 cM. hoog was, dus 10 cM. lager dan beneden in de vlakte.

Deze ontdekking, dat de dampkring, die zich boven ons uitstrekt, door zijn zwaarte op de aarde drukt en een bepaald gewicht heeft, maakte het mogelijk de hoogte van den dampkring te vinden, mits men maar het gewicht van een liter lucht kende.



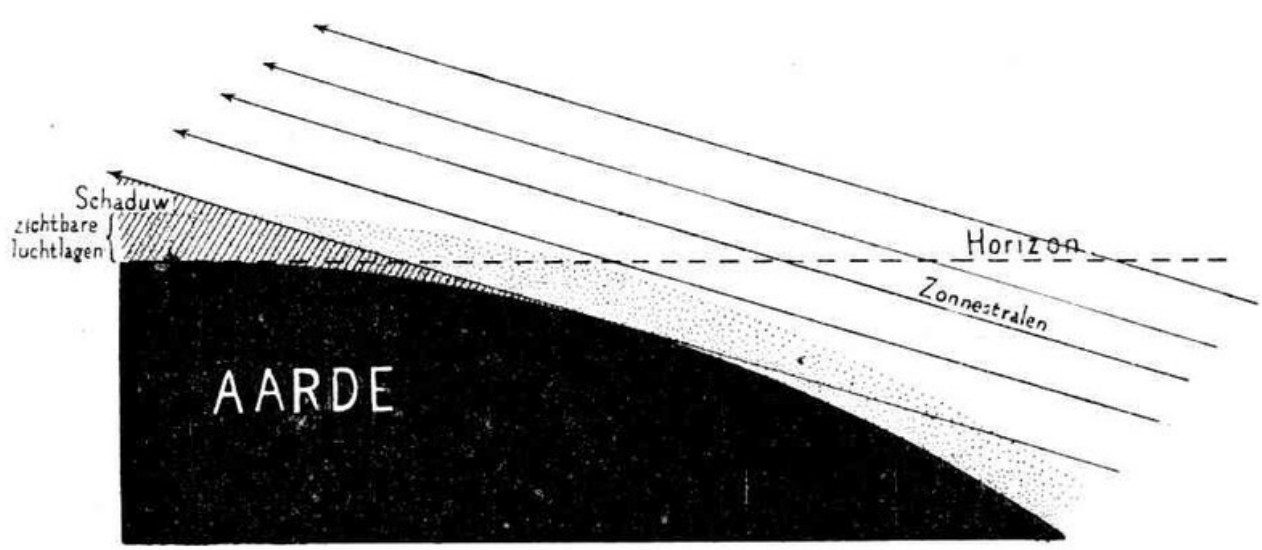
NICOLAUS COPERNICUS
(1473—1543)

Dit gewicht was te bepalen, nadat door den burgemeester van Magdeburg, Otto von Guericke, in 1654 de luchtpomp was uitgevonden, waarmee men een afgesloten ruimte luchtledig kon maken. Weegt men een gesloten flesch eerst met lucht gevuld, en dan nadat de lucht er uitgepompt is, dan is het verschil het gewicht van de lucht in de flesch. Op die manier werd gevonden, dat de lucht in onze omgeving, aan het oppervlak der aarde, 780 maal lichter dan water is. Een kolom van deze lucht van 7800 meter hoogte kan een waterzuil van 10 meter hoogte in evenwicht houden en oefent dus dezelfde drukking uit als de dampkring. Daaruit volgt, dat de dampkring boven ons evenveel lucht bevat als een 7,8 KM. hooge laag, waarin de lucht van boven tot beneden overal dezelfde dichtheid heeft als aan de oppervlakte der aarde. De luchtmasse, die de aarde omgeeft, bedraagt niet meer, dan een 8 KM. dikke, overal uit oppervlaktelucht bestaande laag bevat.

Nu is in werkelijkheid de dampkring veel hoger. Want lucht vormt niet, zooals water, een laag, die van beneden tot boven overal dezelfde dichtheid heeft en dan met een scherp grensvlak eindigt. Lucht is veerkrachtig. Zij wordt des te sterker samengeperst, naarmate een grooter druk op haar uitgeoefend wordt, terwijl zij zich bij vermindering van den druk steeds meer uitzet en ijler wordt. Hoe hoger men in den dampkring komt, des te geringer wordt de druk, omdat een kleinere luchtmasse er van boven op drukt, en des te ijler en lichter wordt dus de lucht. Op een hoogte van 6 KM. is de druk tot de helft, op een hoogte van 18 KM. tot op $\frac{1}{10}$ afgenomen, en voor elke verdere stijging van 18 KM. worden druk en dichtheid weer 10 maal kleiner. De dampkring heeft dus geen vaste grens; hij gaat onmerkbaar in de leeg wereldruimte over.

Kan men dus voor de hoogte van den dampkring geen bepaald getal opgeven, zoo kan men toch enkele getallen voor de hoogte vinden, waarop men van den dampkring nog iets bemerkt. De fijne veerwolken (cirruswolken), die uit ijsnaaldjes bestaan, zweven op een hoogte van 10 tot 20 KM. De nog fijnere wolkstrepen, die soms in den middernachtelijken schemeringsboog des zomers zichtbaar zijn en "lichtende nachtwolken" genoemd worden, zweven 70 tot 80 KM hoog, waar de lucht 10.000 maal dunner is dan aan de oppervlakte der aarde. Hier kan de lucht dus nog de fijnste stofdeeltjes zwevend houden.

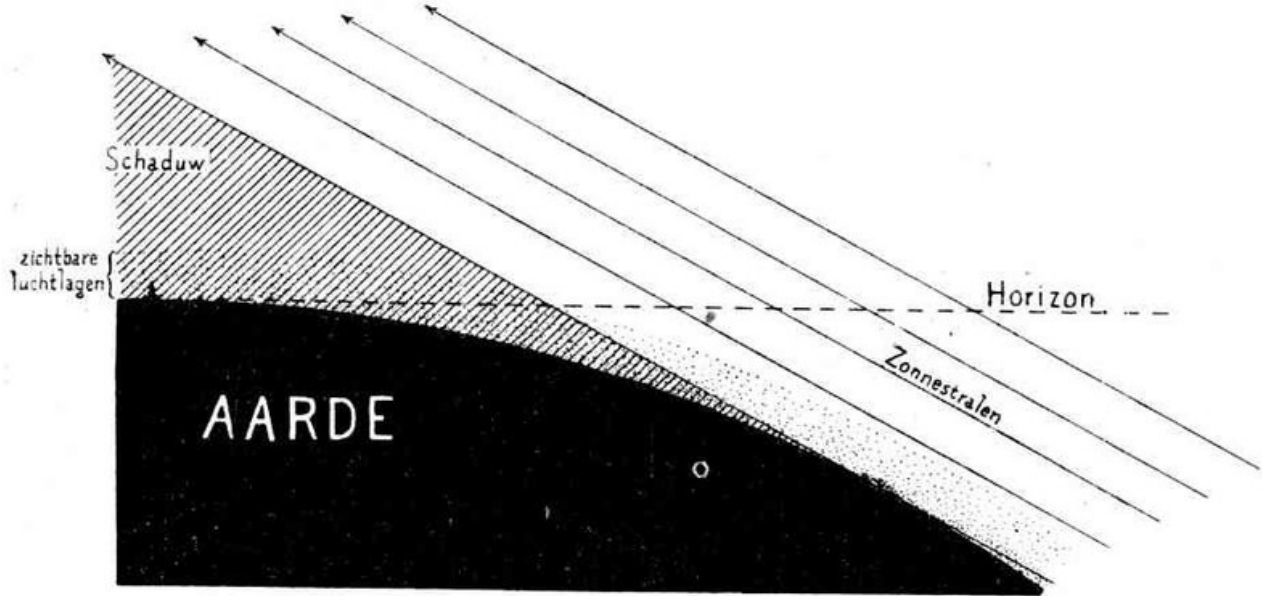
Een andere maatstaf wordt ons door de hoogte gegeven, waarop de verlichting van de lucht door het zonlicht nog merkbaar is. Overdag zien wij den hemel schitterend blauw, en deze stralende helderheid ontstaat door de verlichting van de lucht om en boven ons door de zon. Is de zon ondergegaan, dan wordt het licht zwakker en trekt zich steeds meer als schemerlicht naar het Westen terug.



De schemering.

Daaruit blijkt, dat de onderste en dichtste lagen van den dampkring niet meer door de zon beschenen worden, en van de naast hoogere lagen alleen een naar het Westen gelegen gedeelte — zooals de bovenstaande figuur toont, waar de zichtbare dampkring door een gestippelde laag is voorgesteld. Wanneer eindelijk het laatste schemerlicht verdwenen is, zijn alle lagen, die dicht genoeg zijn om ons in het zonlicht zichtbaar te worden, in de schaduw gekomen, en van de lucht boven onzen horizon worden alleen maar de nog hoogere, dunnere lagen door de zon verlicht. Uit den tijd, waarop het laatste schemerlicht in het Westen verdwijnt, laat zich, zooals de figuur op de volgende bladzijde toont, afleiden, tot op welke hoogte de lucht nog in het zonlicht zichtbaar is. Op deze wijze heeft reeds in de middeleeuwen de Arabische geleerde Alhazen daarvoor een bedrag van ongeveer 80 KM. gevonden.

Dat daarboven nog veel dunnere lucht zich tot nog veel grootere hoogte uitstrekt, wordt bewezen door het opvlammen van vallende sterren, wier hoogte naar de vroeger uiteengezette methode der driehoeksmeting te berekenen is, wanneer zij op twee verschillende plaatsen gelijktijdig waargenomen zijn; daarbij heeft men hoogten van een paar honderd KM. gevonden. Maar — en daarop komt het voor ons hier aan — wat beteekent deze hoogte in vergelijking met de middellijn van de aarde, die bijna 13000 KM. bedraagt?



Einde van de schemering.

De in het zonlicht zichtbare lucht verheft zich slechts tot $\frac{1}{160}$ van de aardmiddellijn, de uiterst dunne, allerhoogste sporen reiken nog tot $\frac{1}{50}$ van de aardmiddellijn, terwijl de helft van alle lucht zich in een laag bevindt, die niet dikker dan $\frac{1}{2000}$ van de aardmiddellijn is. Het lijkt er dus niets op, dat de dampkring de geheele ruimte tot aan de maan zou vullen; deze wereldruimte is tot vlak bij de aardoppervlakte leeg. Slechts een uiterst dunne, aan haar oppervlak klevende luchtschil omgeeft de aarde. De onderstelling, dat deze luchtschil met de aarde om haar as meedraait, alsof zij een enkel lichaam met haar vormt, biedt dus niet de geringste moeilijkheid meer.

21. EERSTE BEWIJZEN VOOR DE DRAAIING DER AARDE.

Toen in het begin van de 17^{de} eeuw de bezwaren, die vroeger aan de leer van de aswenteling der aarde in den weg stonden, gaandeweg opgeheven werden, moest de oude opvatting van de draaiing des hemels aan de menschen steeds onmogelijker voorkomen. Men had gevonden, dat de beweeglijke hemellichamen — zon, maan en planeten — groote wereldlichamen waren, voor een deel nog grooter dan de aarde, en in banen rondliepen, die de aarde honderden en duizenden malen in grootte overtroffen, terwijl de sterrenhemel nog veel verder verwijderd moest zijn. Naar de oude opvatting moesten deze, naast hun eigen bijzondere beweging, nog allen te zamen elken dag om de aarde zwaaien met een snelheid, honderd en duizend maal grooter dan de snelheid, die het aardoppervlak bij een aswenteling der aarde moest bezitten. Galilei zei daarover in zijn in 1632 verschenen werk: "Gesprekken over de voornaamste wereldstelsels," waarmee hij zich een vervolging door de Inquisitie op den hals haalde:

"Wanneer wij dus ten eerste alleen maar op de kolossale grootte van de sterrensfere letten, vergeleken

met de kleinheid van den aardbol, die daarin vele millioenen malen begrepen is, en dan aan de snelheid denken, waardoor in een dag en een nacht een geheele omwenteling volbracht wordt, dan wil het er bij mij niet in, dat iemand het voor begrijpelijker en geloofwaardiger kan houden, dat de hemelbol draait en de aarde daarentegen in rust blijft." En wat verder: "Wanneer het ter bereiking van precies dezelfde uitwerking op hetzelfde neerkomt of de aarde zich alleen beweegt, terwijl het geheele overige heelal in rust is, of dat de aarde rust en de geheele wereld een gemeenschappelijke beweging heeft: wie zou dan kunnen gelooven, dat de natuur — die toch naar de algemeene opvatting niet vele middelen aanwendt, waar zij met weinige kan toekomen — er de voorkeur aan gegeven heeft een onmetelijk aantal der geweldigste lichamen met ongelooflijke snelheid te laten bewegen, om datgene te bewerken, dat door een matige beweging van een enkel lichaam om zijn eigen middelpunt evengoed te bereiken is?"

Dit betoog was zoo overtuigend, dat weldra de aswenteling der aarde door geen enkel ernstig geleerde meer betwijfeld werd. Natuurlijk kon iemand, die met alle geweld aan de oude leer wilde vasthouden — de nieuwe was bovendien door de kerk verboden — zich altijd nog hierop beroepen, dat een werkelijk afdoend bewijs voor de draaiing der aarde ontbrak, en dat zij alleen wegens de grootere eenvoudigheid als het waarschijnlijkst aangenomen werd. Zulke bewijzen zijn later eerst gevonden, toen zij eigenlijk niet meer noodig waren. Zij traden toen dan ook niet op als eindelijk gevonden bewijzen, die de tot dusver twijfelachtige draaiing der aarde nu voor iedereen tot een onbetwistbare waarheid maakten, maar als merkwaardige nieuwe verschijnselen, die hun verklaring vonden in de reeds als vaststaand beschouwde aswenteling der aarde.

In een vorig hoofdstuk bleek ons, dat een gemeenschappelijke beweging van een aantal bij elkaar behorende dingen, al is zij nog zoo snel, zich in de beweging van deze aparte dingen ten opzichte van elkaar in het geheel niet bemerkbaar kan maken. Daardoor komt het — zoo verklaarden wij onze dagelijksche ervaring — dat wij van de snelle beweging der aardoppervlakte niets bemerken. Maar deze laatste gevolgtrekking is toch niet heelemaal juist. Zij zou volkomen juist zijn, wanneer de aarde met alles, wat daarop woont en leeft, rechtuit door de ruimte vloog, en elk ding op aarde dus p r e c i e s dezelfde beweging had als alle andere en deze ook steeds behield. Dat is echter bij de draaiing der aarde niet het geval. Wel beweegt zich alles in onze onmiddellijke omgeving nagenoeg gelijk; maar streken van de aarde, die verder van ons verwijderd zijn, hebben een geheel andere beweging dan wij. Aan den evenaar bijvoorbeeld beweegt het aardoppervlak veel sneller dan hier, omdat het daar in dezelfde 24 uren een veel grooteren omtrek doorloopen moet; hoe verder men zich van den evenaar verwijderd, des te langzamer is de beweging, en de polen blijven geheel in rust. Bovendien behoudt ieder deel van het aardoppervlak niet de beweging, die het eenmaal heeft, want het vliegt niet rechtuit, maar draait in een kring rond.

Dat een beweging in een kring zich in bepaalde verschijnselen bemerkbaar moet maken, was van oudsher reeds zoo goed bekend, dat het uitblijven van deze verschijnselen zelfs als tegenwerping tegen de draaiing der aarde werd aangevoerd. Wanneer men een steen aan een touw bindt en in het rond slingert, zoodat hij een kring beschrijft, dan voelt men, dat hij het touw uit de hand tracht los te rukken; en laat men los, dan vliegt hij ook weg. Men voelt, dat een kracht hem van het middelpunt der beweging tracht te verwijderen; deze kracht, die het touw gespannen houdt, heet m i d d e l p u n t v l i e d e n d e of c e n t r i f u g a a l k r a c h t. Zij is des te grooter naarmate de beweging sneller is, en zij is zelfs in staat het vliegwiel van een machine uiteen te doen springen als het te hard gaat, zoodat de stukken door den muur en het dak vliegen. Nu draait de aarde met een onvergelijkelijk veel grootere snelheid; kan men ook niet beweren, dat daardoor stukken uit den vasten aardbol losgerukt moeten worden, zoo zou men toch kunnen vreezen, dat alles, wat maar los op haar staat of ligt, door de middelpuntvliedende kracht

weggeslingerd moest worden. Dit bezwaar tegen de draaiing der aarde was misschien met nog veel meer nadruk opgeworpen, als het niet bij een rustende aarde voor den nog veel sneller draaienden hemel in veel hoogere mate zou gelden.

Daarbij wordt echter uit het oog verloren, dat men onderscheid moet maken tusschen de snelheid van ronddraaiing en de snelheid, waarmee de omtrek zich voortbeweegt. Wanneer men een klein rad zoo snel draait, dat zijn omtrek dezelfde snelheid krijgt als het aardoppervlak, 500 M. per seconde, dan zou het zeker door de middelpuntvliedende kracht uit elkaar gerukt worden. Laat men het echter in 24 uren eenmaal rondwentelen, dan zou zijn beweging ternauwernood merkbaar zijn. Welk van deze beide gevallen komt nu met het geval van de draaiende aarde overeen? Geen van beide.

Wanneer men het touw, waaraan de steen vastzit, 4 maal langer neemt, en den steen toch in denzelfden tijd rondslingert, zoodat hij 4 maal zoo snel beweegt, dan is de middelpuntvliedende kracht, die men aan het touw voelt trekken, grooter geworden. Slingert men echter den steen met dezelfde snelheid, dus in een 4 maal langeren tijd in het rond, dan is deze kracht omgekeerd kleiner geworden. Ervaring en berekening (waarop wij later nog terugkomen) hebben getoond, dat men dezelfde middelpuntvliedende kracht bij een 4 maal langer touw krijgt, wanneer men den steen in den dubbelen tijd, dus ook met de dubbele snelheid rondslingert. Wanneer twee bollen ronddraaien, waarvan de een honderdmaal grooter is dan de ander, dan moet, zal de middelpuntvliedende kracht bij beide dezelfde zijn, de omwentelingstijd van den grooten bol tienmaal grooter zijn dan die van den kleinen, waarbij zijn oppervlakte ook tienmaal sneller beweegt. Bij een bal van 13 cM. middellijn (een honderdmillioenste van de aardmiddellijn), die in $8\frac{1}{2}$ sekonde (een tienduizendste van 24 uren) om zijn as draait, waarbij zijn oppervlak aan den evenaar 5 cM. per sekonde voortbeweegt (een tienduizendste van de snelheid van den evenaar), moet volgens dezen regel de middelpuntvliedende kracht evengroot zijn als bij de aarde.

Er kan dus geen sprake van zijn, dat er iets door de middelpuntvliedende kracht van de aswenteling der aarde weggeslingerd zou kunnen worden. Door de zwaarte wordt elk ding naar de aarde toe getrokken en vastgehouden, en vergeleken met deze zwaartekracht is de middelpuntvliedende kracht, die ze van de aarde tracht te verwijderen, dus omhoog te heffen, slechts onbeduidend. Eenigszins wordt de zwaartekracht er natuurlijk wel door verminderd, Aan den evenaar is de draaiing het snelst en de middelpuntvliedende kracht het grootst; aan de polen ontbreken zij. Door de middelpuntvliedende kracht ten gevolge van de draaiing der aarde moet dus de zwaartekracht aan de polen grooter, aan den evenaar kleiner zijn en van den evenaar naar de polen geleidelijk toenemen.

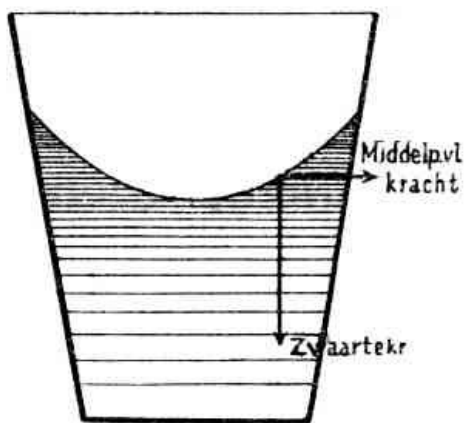
Wanneer wij dus met een nauwkeurige veerbalans naar Afrika gingen, dan zouden wij bemerken, dat een pond suiker of een pond ijzer daar niet meer een pond weegt, maar een paar gram lichter geworden is — wanneer ten minste niet onderweg door stooten of door de warmte de kracht van de veer veranderd is. Beter dan met deze toch maar onbetrouwbare toestellen is zulk een verandering van de zwaartekracht aan een slinger waar te nemen; en op deze wijze is zij ook het eerst ontdekt.

In 1672 ging de sterrekundige Richer in opdracht van de Fransche Akademie naar Cayenne in Zuid-Amerika om daar waarnemingen te doen. Hij had een slingeruurwerk meegenomen, dat vooraf goed in orde was gebracht; daarom verbaasde het hem zeer, dat het, toen hij het opgehangen en in gang gebracht had, veel te langzaam ging; elken dag liep het bijna 2 minuten achter. Van de uitzetting van den slinger door de warmte kon het niet komen; daarvoor was de verandering veel te groot. Hij dacht, dat er onderweg misschien iets mee gebeurd was en maakte daarom den slinger $2\frac{1}{2}$ mM. korter om het kwaad te

verhelpen; want een slinger slingert des te sneller, naarmate hij korter is. Maar toen Richer naderhand in Frankrijk terugkwam, bleek de klok alweer niet in orde te zijn; zij liep nu 2 minuten per dag vóór en de slinger moest $2\frac{1}{2}$ mM. verlengd worden. Sommigen meenden dat door de groote hitte of door de zware ongezonde lucht in Cayenne de slinger daar zooveel langzamer geweest was; maar reeds vóór de expeditie uitvoer, was er in de Akademie over gesproken, dat de middelpuntvliedende kracht de zwaartekracht in de heete gewesten moet verzwakken. Dit bleek nu juist te zijn: de slinger had in het heete land langzamer geslingerd, omdat de zwaartekracht daar kleiner is dan in Parijs. En toen kort daarna hetzelfde op andere plaatsen in de tropen werd waargenomen, was er geen twijfel meer mogelijk. Zoo was het door Richer opgemerkte verschijnsel het eerste direkte bewijs voor de aswenteling van de aarde.

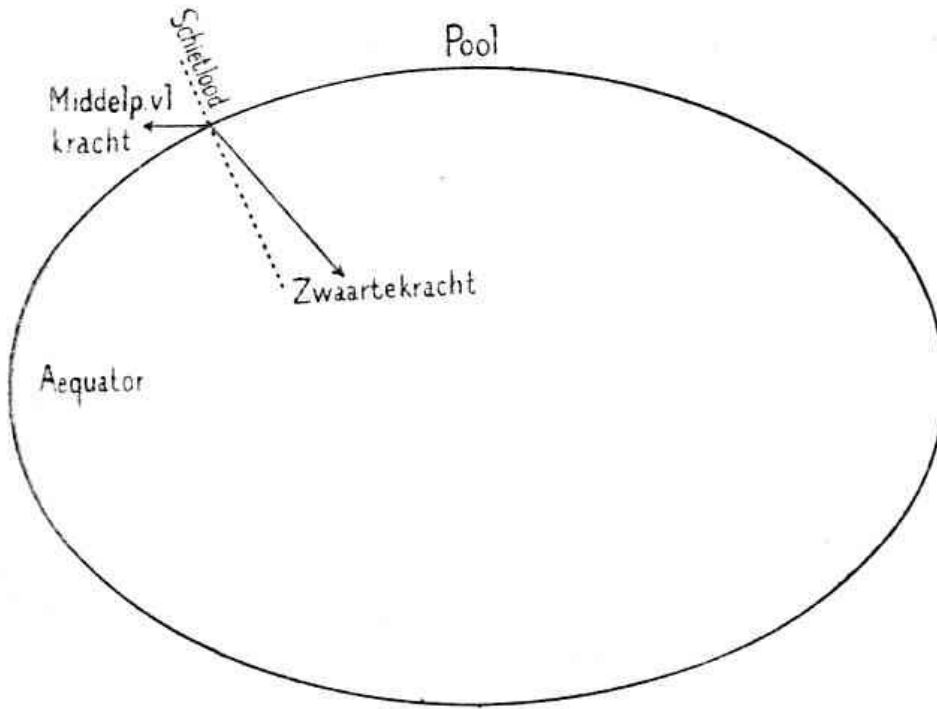
Toch was er iets aan de zaak nog niet in den haak: de getallen klopten niet. De slinger toonde een grootere verandering dan uit de middelpuntvliedende kracht berekend werd. De middelpuntvliedende kracht vermindert de zwaarte met een bedrag van $\frac{1}{600}$, wanneer men van Midden-Europa naar den evenaar gaat, en maakt haar evenveel grooter bij een reis van Midden-Europa naar de Noordpool; uit den slinger vond men echter, dat de zwaarte $\frac{1}{400}$ verminderd was. Dit verschil werd door den Engelschen wiskundige Newton als een gevolg van de afgeplatte gedaante der aarde verklaard. Bij zulk een vorm van de aarde is de zwaarte aan de polen, waar men dichterbij het middelpunt is, grooter dan aan den evenaar en dit verschil voegt zich bij het verschil, dat uit de aswenteling ontstaat.

Deze afplatting der aarde levert nu zelf nog een nieuw bewijs voor haar aswenteling. Wanneer alle deeltjes der aarde alleen maar aan hun zwaarte gehoorzamen, dan moeten zij zich, zooals reeds Aristoteles heel goed inzag, tot een bolvormig lichaam samenballen. Ten minste moet het beweeglijke water precies de gedaante van een bol aannemen; want wanneer het zeeoppervlak op een of andere plaats verder van het middelpunt der aarde verwijderd was, moest het water vandaar wegstroomen als van een heuvel, en het zou eerst dan tot rust komen, wanneer het oppervlak overal even ver van het middelpunt verwijderd was. Komt er nu echter een middelpuntvliedende kracht bij, dan wordt de gedaante anders.



Brengen wij het water in een emmer in snelle draaiing door er met een stok in te roeren, dan zien wij, dat het oppervlak ook niet vlak en horizontaal blijft. Door de middelpuntvliedende kracht wordt het water naar buiten, naar den rand toe gedreven en het oppervlak wordt uitgehold tot de gedaante van een kom. Bij deze gedaante is er evenwicht; de zwaartekracht trekt het water met evengroote kracht naar de holte in het midden, als de middelpuntvliedende kracht het van het midden wegdrijft. De oppervlakte van het water staat dan loodrecht op de totale kracht, die deze beide krachten met elkaar vormen.

Iets dergelijks geldt ook voor de met water bedekte, draaiende aarde. De gedaante van het wateroppervlak kan nu geen bol meer zijn, want de middelpuntvliedende kracht tracht het water zoover mogelijk van de as weg te drijven, zoodat het dan van de polen naar den evenaar stroomt.



Het moet aan den evenaar hoger stijgen en aan de polen lager komen, d.w.z. het oppervlak komt aan den evenaar verder van het middelpunt af en aan de polen er dichterbij. Bij deze gedaante is er weer evenwicht; de werking van de zwaarte, die het water naar de polen terug tracht te voeren, wordt door de werking der middelpuntvliedende kracht opgeheven, die het van de polen tracht weg te drijven. De richting van het schietlood, waar het watervlak loodrecht op moet staan, wordt door de vereenigde werking van de beide krachten, zwaarte en middelpuntvliedende kracht, bepaald. Dus moet de oppervlakte der aarde, d.w.z. het zeeoppervlak door de draaiing der aarde om haar as de gedaante van een afgeplattten bol aannemen.

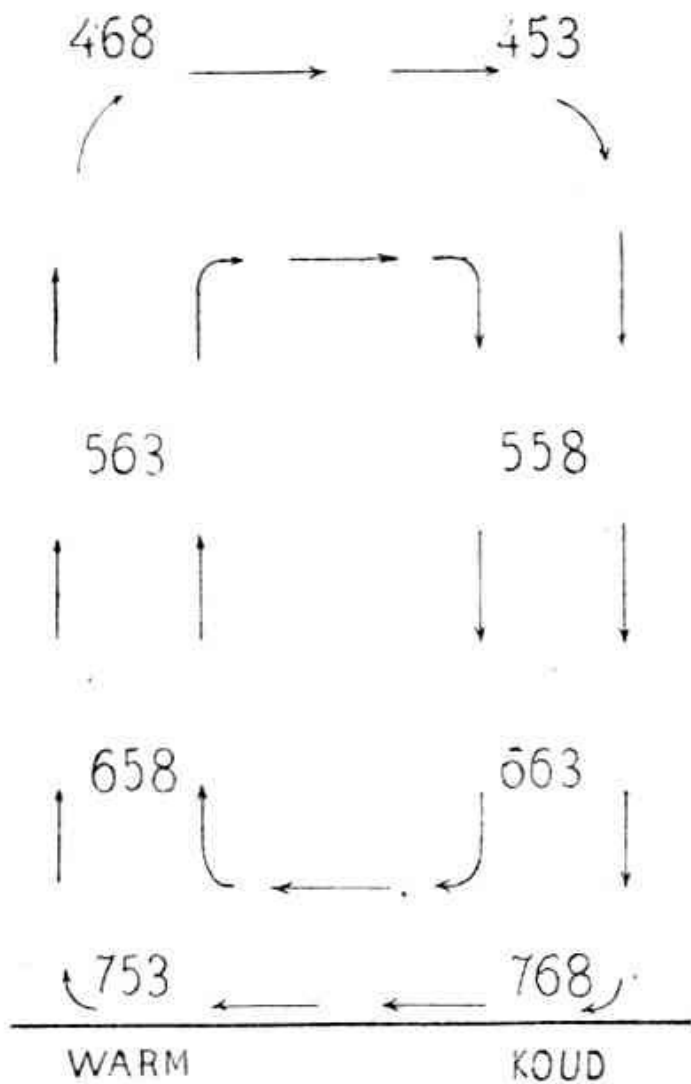
Uit deze theoretische overweging hebben Newton en Huygens, zooals boven ([blz. 102](#)) vermeld werd, de afplatting der aarde al voorspeld, toen de praktische metingen precies het tegendeel schenen te leeren. De latere bevestiging van hun voorspelling, de praktische vaststelling van de afplatting der aarde door de graadmetingen in de 18^de eeuw vormde dus een nieuw bewijs voor de aswenteling der aarde.

Nu hebben wij gevonden, dat niet slechts het zeeoppervlak, maar ook het vaste aardlichaam deze afgeplatte gedaante bezit. Om dit te verklaren neemt men aan, dat de thans zoo harde en vaste aarde in vroeger tijd veel weeker, misschien wel geheel vloeibaar en gesmolten was, en toen den afgeplattten vorm gekregen heeft, dien zij na het vastworden behouden heeft.

22. WINDEN EN ZEESTROOMINGEN.

Toen Columbus voor het eerst naar Amerika zeilde, maakten zijn reisgenooten zich ongerust over den steeds aanhoudenden Noordoostewind, die hun, zooals zij vreesden, de terugreis onmogelijk zou maken. Naderhand maakten de Spanjaarden voor hun reizen naar Amerika altijd gebruik van dezen wind, die ten Zuiden van de Kanarische eilanden tusschen Afrika en Amerika het geheele jaar door steeds in dezelfde richting waait, namelijk dicht bij Europa uit het Noordoosten, verder zuidelijk en westelijk steeds meer uit het Oosten. Ten Zuiden van den evenaar treft men op dezelfde wijze een voortdurenden Zuidoostewind aan, die over een gebied waait, dat zich tot aan de grens van den heeten aardgordel uitstrekt. Deze bestendige winden, die *passaten* genoemd worden, heerschen ook in het heete gedeelte van den Stillen Oceaan, ten Noorden van den evenaar als Noordoostpassaat, ten Zuiden van den evenaar als Zuidoostpassaat, en den Zuidoostpassaat treft men ook in den Indischen Oceaan aan. In het noordelijke deel van dezen Oceaan, evenals in het Zuiden van Azië, treft men in plaats daarvan de moessons aan, die om het halve jaar hun richting omkeeren en in den zomer als Zuidwestewind, in den winter als Noordoostewind waaien.

Een verklaring van deze passaatwinden, die zich door hun regelmatigheid zoo opvallend van de onregelmatige wisseling van weer en wind in de gematigde streken onderscheiden, werd voor het eerst in 1735 door een Engelsch sterrekundige *Georg Hadley* gegeven. In de buurt van den evenaar, waar de zonnestraling het felst is, wordt de lucht sterk verhit, en omdat warme lucht bij denzelfden druk ijler en lichter is dan koude lucht, stijgt zij omhoog. Van beide kanten, van het Noorden en van het Zuiden, stroomt dan de lucht daarheen om de plaats van de opstijgende lucht in te nemen.



Daar het gewicht van een kolom ijle, warme lucht geringer is dan het gewicht van een even hooge kolom koude lucht, neemt de druk in de warme luchtkolom naar boven langzamer af dan in de koude. Zij kunnen zich dus niet in rustig evenwicht naast elkander bevinden; wanneer beneden de druk in de warme kolom kleiner is dan in de koude, dan is omgekeerd op groote hoogte de druk in het warme gebied het grootst. Boven stroomt daarom de lucht van het warme gebied naar het koude, terwijl beneden het omgekeerde plaats vindt. In plaats van evenwicht in rust moet een regelmatige kringloop ontstaan, een onafgebroken luchtcirkulatie: beneden stroomt de lucht naar het warme gebied, boven van het warme naar het koude; in de warme luchtkolom stijgt zij omhoog, in het koude gebied daalt zij naar beneden, zooals ook in de figuur te zien is, waar de druk op verschillende hoogten evenals bij den barometer door millimeters kwikhoogte aangegeven is. Zulk een kringloop vindt 's winters ook in een verwarmde kamer plaats; bij de kachel stijgt de warme lucht op, bij het raam daalt de koude lucht neer; langs den zolder stroomt de lucht van de kachel naar het raam, en over den vloer van het raam naar de kachel. Zoo waait ook aan de kusten in de tropische gewesten overdag een zeewind naar het sterk verhitte land, en des nachts een landwind naar de lauwe zee.

Zulk een kringloop op reusachtige schaal of, juister nog, een dubbele kringloop vindt boven de tropische oceanen plaats. Van beide kanten, van het Noorden en van het Zuiden, stroomt de lucht naar den evenaar; in het midden, den gordel der windstilten, stijgt de heete lucht op en voert groote massa's waterdamp mee, die zich boven tot wolken verdichten en in zware onweersbuien in zee terugstroomen. Boven vloeit de lucht naar beide zijden weg, daalt aan de grenzen van den tropischen gordel op de aarde neer, en stroomt dan langs het aardoppervlak weer naar den evenaar terug. Volgens

deze verklaring moet dus ten Noorden van den evenaar altijd een Noordewind, ten Zuiden altijd een Zuidewind waaien. Hoe komt het nu, dat men in plaats daarvan een Noordoostpassaat en een Zuidoostpassaat aantreft? Door de aswenteling der aarde.

Wij hebben er reeds op gewezen, dat het draaiende aardoppervlak niet overal dezelfde snelheid heeft. De plaatsen aan den evenaar, die den grootsten cirkel van 40 miljoen meter in 24 uren doorloopen, hebben de grootste snelheid, 464 meter per seconde. Naarmate men zich verder van den evenaar verwijderd, wordt de doorloopen cirkel kleiner, en dus ook de snelheid. Aan de grens van de tropische zone is zij 426 meter, op de breedte van de Kanarische eilanden 400 meter, in Midden-Europa 327 meter. Daar de lucht aan de beweging van de plaats, waar zij zich bevindt, deelneemt, heeft zij ook een des te kleinere west-oostelijke snelheid, naarmate men zich verder van den evenaar verwijderd. Stroomt deze lucht nu langs het aardoppervlak naar den evenaar, dan behoudt zij haar oorspronkelijke langzame west-oostelijke snelheid, terwijl zij over plaatsen strijkt, die sneller bewegen; zij blijft dus steeds meer achter bij het aardoppervlak, d.w.z. zij beweegt zich ten opzichte van dit oppervlak in westelijke richting. De lucht, die van het Noorden naar den evenaar stroomt, beweegt zich in zuidwestelijke richting, is dus een Noordoostewind, die steeds meer oostelijk wordt; evenzoo moet de van het Zuiden komende lucht ten Zuiden van den evenaar een Zuidoostewind worden. Omgekeerd moet de lucht, die boven in den dampkring van den evenaar wegstroomt, de snelle beweging van den evenaar behouden, dus de streken, waar zij komt, vooruitloopen; dat werkelijk hoog in de lucht ten Noorden van den evenaar een bestendige Zuidwestewind, ten Zuiden van den evenaar een bestendige Noordwestewind waait (de z.g. anti-passaat), blijkt uit de beweging van hoogzwevende schapewolkjes, en ook hieruit, dat de asch van onder den evenaar gelegen vuurspuwende bergen ver ten Noordoosten van den vulkaan zelf neerkomt.

De richting van de passaatwinden levert dus een nieuw bewijs op voor de aswenteling der aarde. Hetzelfde geldt voor de moessons, die deel uitmaken van een kringloop van lucht tusschen het vasteland van Azië en den Indischen Oceaan. Des zomers, wanneer het vasteland verhit wordt, stroomt daarheen een Zuidewind van uit den Oceaan; 's winters stroomt omgekeerd de lucht van uit de kille hoogvlakten van Azië naar de warme, zuidelijke zee. Door de draaiing der aarde wordt de richting van deze luchtstroomen op dezelfde manier veranderd als bij de passaten; 's zomers heerscht daarom de Zuidwestmoesson, 's winters de Noordoostmoesson. Door den invloed van de onregelmatige verdeeling van land, zee en eilanden treden echter in de moessons nog vele plaatselijke verschillen op.

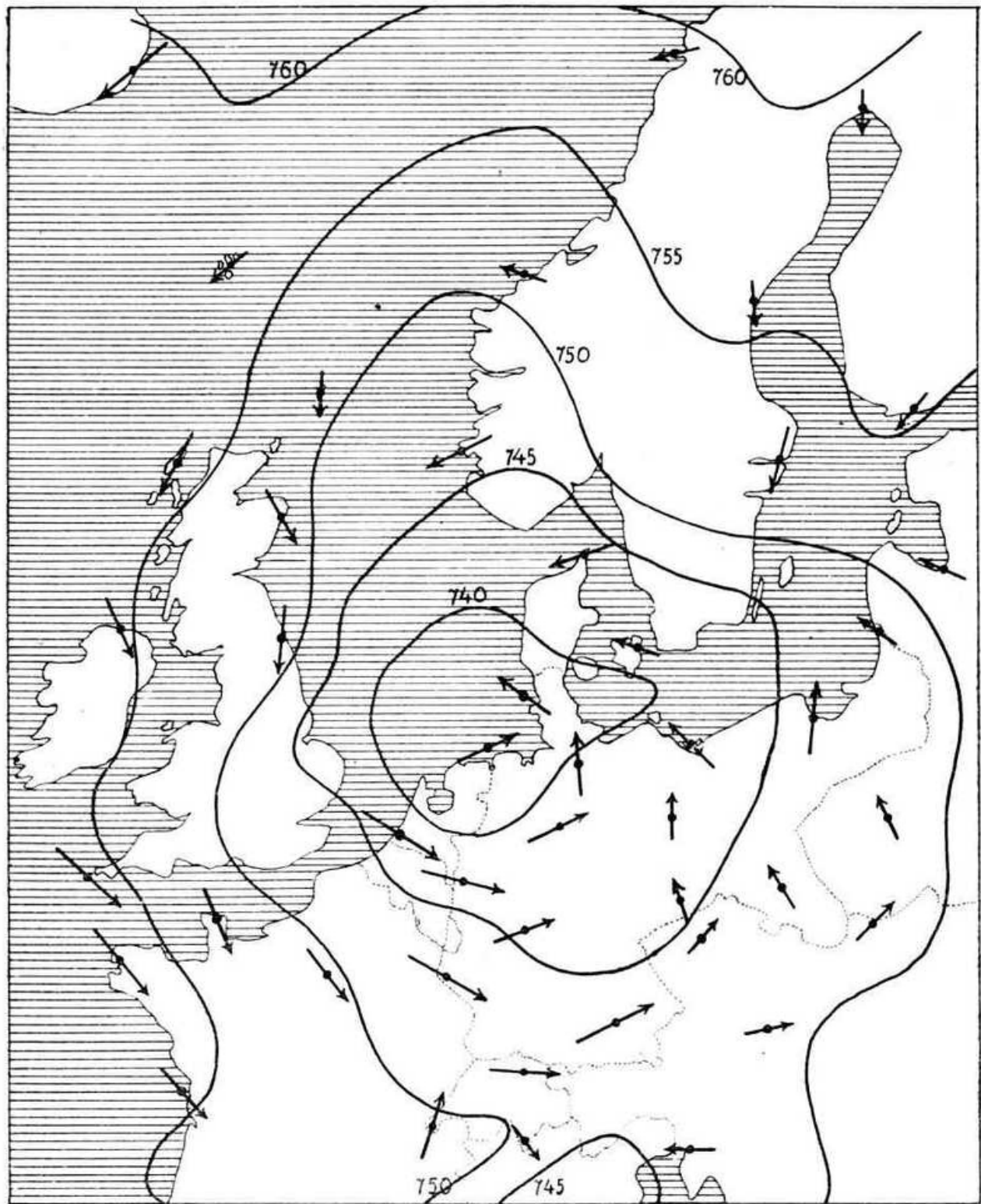
Om aan den wind de draaiing van de aarde te zien, behoeft men echter niet eerst naar de tropen te gaan; ook in ons klimaat hebben wij haar op bijna elk weerkaartje duidelijk voor ons. In de gematigde luchtstreken zijn weer en wind zoo veranderlijk en onregelmatig, dat men langen tijd geloofde, dat er in het geheel geen wet en regel in te vinden was. Eerst in de laatste eeuw is het gelukt, uit de gelijktijdige regelmatige opteekeningen van barometerstand en windrichting in vele plaatsen van Europa ook in deze wisselingen bepaalde wetten te ontdekken, en zoo de grondslagen voor een begin van wetenschappelijke weervoorspelling te leggen.

Het eerst vond de Berlijnsche natuurkundige Dove, dat de geweldige stormen, die nu en dan over West-Europa trekken, reusachtige luchtwervels zijn, evenals de draaikolken in stroomend water en de kleine wervelwinden, die bij heftige windstooten soms over de straat loopen. In het midden van zulk een werveling is de luchtdruk zeer laag; naar buiten neemt hij toe. Om dit midden draaien de luchtmassa's met geweldige snelheid naar links, d.w.z. in een richting, tegengesteld aan de beweging van de wijzers van een klok. Deze geheele luchtdraaikolk schuift meestal van het Westen of Zuidwesten naar

het Oosten of Noordoosten. Zij komt uit den Oceaan en lost zich boven Europa langzamerhand op, doordat van alle kanten luchtmassa's op haar storten om de lage drukking op te heffen, en daarbij haar beweging remmen.

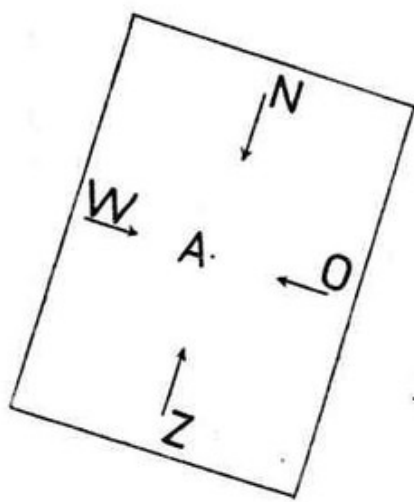
Dit geldt echter ook, al treedt het verschijnsel hier ook zwakker en onregelmatiger op, voor de gewone winden, zooals Buys Ballot in Utrecht het eerst bewezen heeft. Volgens de door hem gevonden wet der winden waait de wind steeds om de gebieden van lagen luchtdruk heen in een richting tegen de wijzers van een uurwerk in; of, zooals hij het uitdrukte, heeft een waarnemer, die met den rug tegen den wind gaat staan, den lagen barometerstand aan de linker-, den hoogen aan de rechterhand. Van de juistheid van dezen regel kan iedereen zich gemakkelijk door beschouwing van de weerkaartjes overtuigen, die dagelijks in de groote kranten afgedrukt worden en waarvan wij op [pag. 143](#) er ook een weergeven. Men ziet hier duidelijk, hoe, ondanks kleinere lokale afwijkingen, de winden, waarvan de richting door de pijlen aangegeven wordt, langs de lijnen van gelijken luchtdruk of iets meer naar den kant van den lagen druk gericht zijn, en daarbij het gebied van lagen druk aan den linkerkant hebben. Zij wervelen dus naar links om het gebied van lagen druk heen.

De oorzaak van deze draaiing en van deze bepaalde draaiingsrichting ligt weer in de aswenteling der aarde. Was deze er niet, dan zou de lucht van de omliggende plaatsen van hoogen druk in een rechte lijn naar een in het midden gelegen gebied van lagen druk stroomen. Maar door de draaiing der aarde raken deze luchtstroomen van den rechten weg af. Wij hebben vroeger reeds gevonden op welke wijze de horizon van een plaats ten gevolge van de aswenteling zijn stand verandert. Terwijl hij aan de oostzijde daalt en aan de westzijde rijst, draait hij tegelijk in zijn eigen vlak langzaam naar links om.

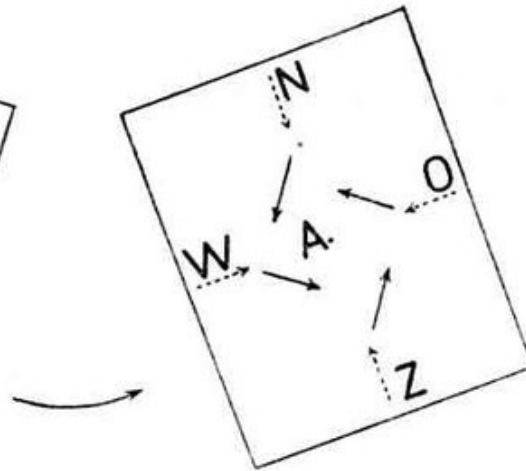


Weerkaartje voor 26 Maart 1909.

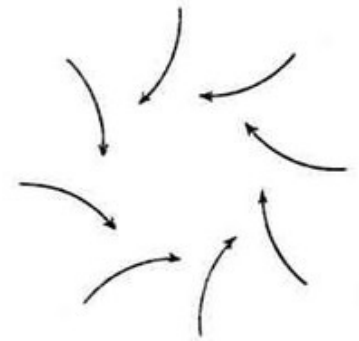
Het eerste kan in aardsche verschijnselen niet voor den dag komen, omdat alles door de zwaarte tegen de aarde gedrukt wordt; het tweede moet echter te voorschijn treden, wanneer de lucht als wind over de aardoppervlakte der aarde strijkt. Het aardoppervlak draait onder deze luchtstroom langzaam naar links; daarom moet de wind ten opzichte van de aarde zijn richting veranderen en naar rechts afbuigen, zoodat het oorspronkelijke richtpunt der beweging aan zijn linkerkant komt te liggen.



Begin der beweging.



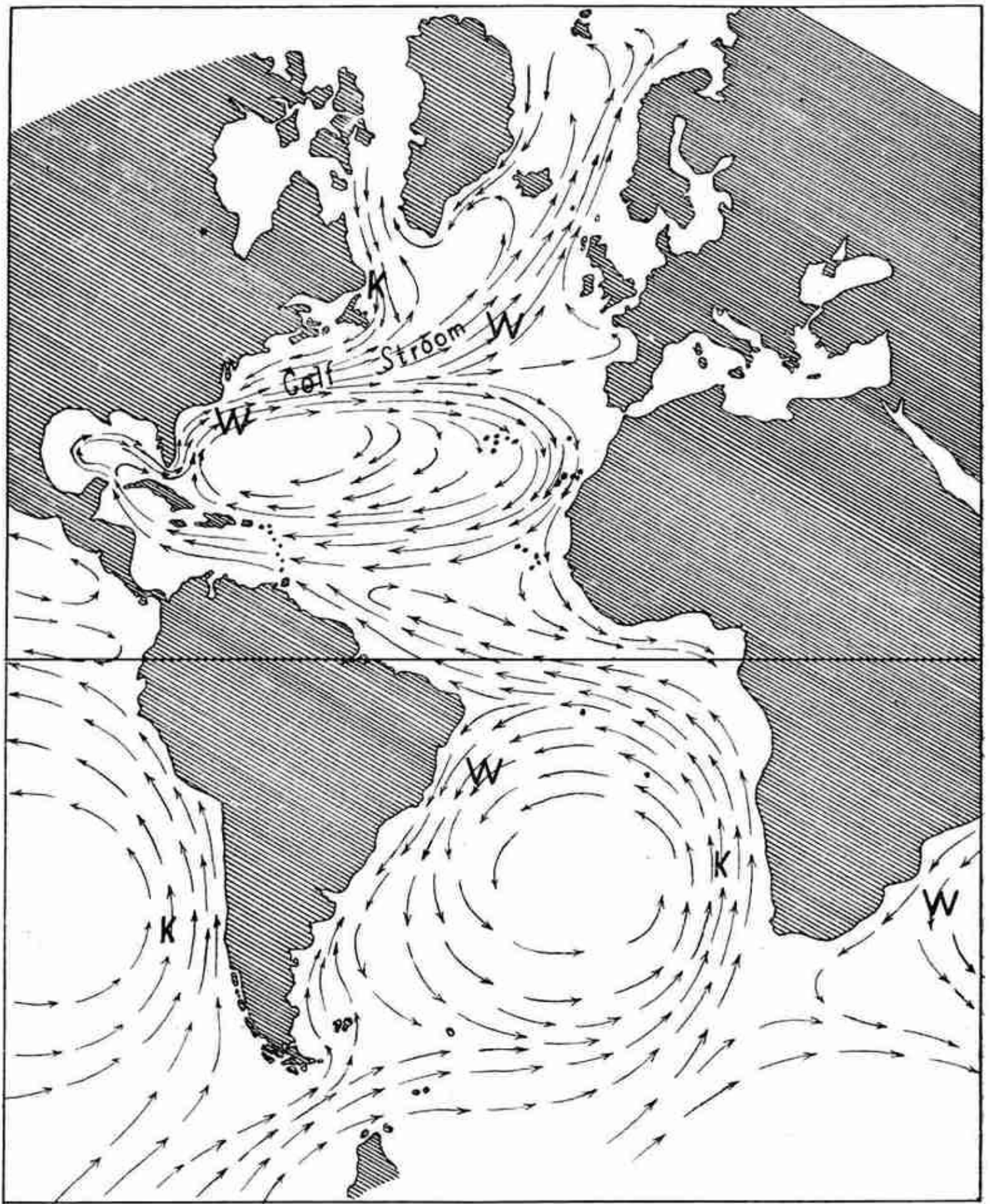
Voortzetting der beweging.



Afbuiging van den luchtstroom.

Worden de van alle kanten naar een zelfde middelpunt strevende luchtstroomen alle onderweg naar rechts afgeleid, dan ontstaat daaruit een beweging naar links om dit centrum heen. Zoo vormt zich een werveling, waarin de van buiten aanstroomende en dan in draaiing geraakte luchtmassa's voortdurend omhoog gezogen worden. Wij vinden dus, dat ten gevolge van de aswenteling der aarde de lucht hier om een gebied van lagen druk in een draaiing moet geraten in een richting, tegengesteld aan de beweging van de wijzers van een uurwerk. Hier, d.w.z. op het noordelijk halfrond. Want uit deze verklaring vloeit tegelijk voort, dat op het zuidelijk halfrond de draaiing in tegengestelde richting plaats vindt, wat door de ervaring ook bevestigd wordt, en wat voor de cyclonen in den Indischen Oceaan reeds lang bekend was. Zoo levert de draaiingswet der stormen en de wet van Buys Ballot voor de gewone winden in de gematigde luchtstreken een nieuw bewijs voor de draaiing der aarde.

Zulk een bewijs konden de winden leveren, omdat de lucht zich vrij over de aarde beweegt en zoo de verschillen in de beweging van verschillende deelen der aarde aan het licht brengt.



Zeestroomingen in den Atlantischen Oceaan.

Dat geldt echter ook voor het andere beweeglijke element, voor het stroomende water. Zoo heeft men

opgemerkt, dat op het noordelijk halfrond de rivieren hun rechteroever meer afknagen dan hun linker; daaruit blijkt, dat het stroomende water een neiging heeft naar rechts af te buigen.

Nog duidelijker treedt de invloed van de aswenteling der aarde in de groote zeestroomingen te voorschijn, zij het ook niet zoo regelmatig als in de luchtstroomingen, omdat de kusten der vastelanden de beweging van het water beperken en in bepaalde banen leiden. In de heete aardstreken, waar de passaten onafgebroken waaien, stroomt het zeewater voortdurend naar het Westen, buigt dan langs de kusten, waar het tegen stuit, naar beide zijden om en keert buiten het gebied der passaten als oostelijke stroomingen terug. In alle oceanen vindt men dezen kringloop, die ten Noorden van den evenaar naar rechts, in het Zuiden naar links gericht is. De richting van deze geweldige kringlopen past bij de draaiing der aarde, want op het noordelijk halfrond moet het stroomende water ten opzichte van de vaste aarde steeds naar rechts afbuigen, op het zuidelijk halfrond naar links. Op het zuidelijk halfrond wordt de oostelijke strooming met het koude water vermengd, dat uit de zuidelijke poolstreken vrij kan toestroomen, en koelt daardoor de Westkust van Zuid-Afrika en van Zuid-Amerika sterk af. Op het Noordelijk halfrond, waar de vastelanden zich veel verder naar de pool toe uitstrekken, treden andere verschijnselen op. In den Atlantischen Oceaan keert de warme, uit West-Indië komende oostelijke strooming, die den naam *Golfstroom* draagt, slechts voor een gedeelte langs de Westkust van Afrika naar het Zuiden terug; een ander deel stroomt op de pool aan en wordt door de draaiing der aarde naar den oostelijken oever van den Oceaan gedreven, waar hij Europa verwarmt. Door dezelfde oorzaak wordt de koude poolstroom, die van het Noorden komt, naar den westelijken oever van den Oceaan gedreven, dus tegen de Oostkust van Amerika aan; daar ligt op dezelfde breedte als Engeland het onherbergzame, koude Labrador, en de stad New-York, die op dezelfde breedte als Napels ligt, heeft een klimaat als Nederland. Evenzoo wordt in het Noorden van den Stillen Oceaan de temperatuur aan de Oostkust van Azië verlaagd door een kouden stroom uit de Beringstraat, terwijl de warme, uit de buurt van Indië komende "Zwarte Stroom" de Westkust van Noord-Amerika verwarmt. Daardoor hebben Britsch-Columbia en Californië (zij het ook maar op een smal kustgebied) een heerlijk klimaat, terwijl aan den overkant Kamtsjatka en Sachalin veel kouder zijn. Het verschil in klimaat tusschen de Oost- en de Westzijde der vastelanden, dat Europa in zijn ontwikkeling zoo bijzonder begunstigd heeft, is dus voornamelijk een gevolg van de aswenteling der aarde.

23. VAL- EN SLINGERPROEVEN.

De bewijzen voor de draaiing der aarde, die wij tot nog toe leerden kennen, zijn alle groote algemeene verschijnselen, die òf door de verschillende snelheid van verschillende streken der aarde, òf door de middelpuntvliedende kracht ontstaan, en die dus alleen door een algemeene bekendheid met de geheele aarde aan het licht konden komen. Zijn er echter ook niet verschijnselen, waaruit wij de draaiing der aarde kunnen opmaken, zonder dat wij ons van onze woonplaats behoeven te verwijderen? Natuurlijk moet men er op rekenen, dat deze verschijnselen slechts zeer moeilijk en alleen door bijzonder zorgvuldige en nauwkeurige proeven ontdekt en vastgesteld kunnen worden — anders waren zij natuurlijk aan de menschen vanzelf al vroeger opgevallen. Want de snelheidsverschillen, die binnen het bereik van een in zijn woonplaats blijvenden waarnemer vallen, zijn natuurlijk uiterst klein. Toch moeten zij

voorhanden zijn en wel in tweeërlei vorm. Ten eerste beweegt verder naar het Noorden het aardoppervlak zich langzamer, verder naar het Zuiden sneller oostwaarts, wat op een langzame draaiing naar links van den grond onder onze voeten neerkomt, die wij vroeger al als een draaiing van den horizon in zijn eigen vlak hebben leeren kennen. Ten tweede hebben hooggelegen voorwerpen, zooals de spits van een toren, een grootere snelheid dan het aardoppervlak zelf, omdat zij verder van de aardas verwijderd zijn en dus een grooteren kring beschrijven.

Dit tweede snelheidsverschil moet aan het licht treden, wanneer wij een steen boven van een toren naar beneden laten vallen. Boven heeft hij een grootere oostelijke snelheid dan de grond beneden, en deze snelheid behoudt hij onder het vallen; hij loopt het aardoppervlak vooruit en moet dus niet precies onder de plaats aankomen, waar hij losgelaten werd, maar iets meer oostelijk. Weliswaar is het niet veel; aan den evenaar beschrijft de spits van een 100 meter hoogen toren in 24 uren een kring, die 628 meter langer is; zijn snelheid is dus $7\frac{1}{2}$ mM. per sekonde groter dan die van den voet van den toren. In onze streken, waar de toren scheef ten opzichte van de aardas staat, is het verschil nog kleiner, slechts 4 mM. per seconde. Daar de steen $4\frac{1}{2}$ sekonde voor het vallen gebruikt, zou hij slechts 2 cM. ten Oosten van de plaats neerkomen, waar hij neer moest komen, als de aarde stilstond; en doordat de richting van de zwaartekracht onder het vallen verandert, wordt dit bedrag nog wat minder.

De eerste proeven van dezen aard werden in 1804 door *B e n z e n b e r g* van af den Michaelistoren in Hamburg gedaan. Daarbij bleek al dadelijk, hoe moeilijk het was stellige uitkomsten te krijgen. Door den wind raakten de vallende kogeltjes uit hun koers, en de minste ongelijkheid bij het loslaten bewerkte, dat zij naar den eenen of den anderen kant afweken. Nadat door het neerlaten van een schietlood de plaats bepaald was, waar de kogels zonder de draaiing der aarde moesten neerkomen, bleek het, dat de werkelijke plaatsen, waar zij neerkwamen, daar aan alle kanten om heen lagen; eerst bij een zeer groot aantal proeven kwam het uit, dat zij toch gemiddeld het meest naar het Oosten afweken. Later zijn dergelijke proeven onder veel voorzorgsmaatregelen in een mijnput herhaald, waar de wind geen stoornis kon brengen. Daarbij bleek inderdaad, dat de valplaatsen weliswaar nog eenigszins verspreid lagen, maar toch in hun grootste ophooping duidelijk de oostelijke afwijking toonden, die bij een draaiing der aarde te verwachten was.

Kunnen wij nu ook het andere der beide vermelde verschijnselen, de draaiing van den grond onder onze voeten, door direkte proeven zichtbaar maken? Dat hangt daar van af, of wij een beweging kennen, die onafhankelijk van deze draaiing haar eigen richting behoudt, en lang genoeg blijft bestaan om aan haar een merkbare draaiing van het aardoppervlak te kunnen bemerken. In 1851 kwam de Fransche natuurkundige *F o u c a u l t* op de gedachte, dat de heen en weer gaande beweging van een slinger aan deze eischen voldoet. Hangen wij een gewicht aan een draad op en laten wij het dan heen en weer slingeren, dan behoudt deze beweging haar richting, hoe zich de omgeving ook mag draaien. Daar de aardbodem zich onder den slinger naar links draait, moet het slingervlak van den slinger ten opzichte van den vasten grond naar rechts schijnen te draaien. Brengen wij dus b.v. den slinger precies in de richting Oost-West aan het slingeren, dan moet deze richting na eenige uren Westnoordwest-Oostzuidoost geworden zijn, en eindelijk, wanneer de slinger het ten minste zoolang uithoudt, Noordwest-Zuidoost worden.

Bij deze proef ter demonstratie van de draaiing der aarde heeft men het voordeel, dat men haar aan een groot publiek tegelijk kan vertoonen; zoo kan men iedereen op eenvoudige en overtuigende wijze, als het ware voor het eerst van zijn leven, met eigen oogen laten zien, dat de grond onder zijn voeten draait. Daarom droeg de eerste openbare vertooning van deze slingerproef in 1852 in Parijs het karakter van een

grootte plechtigheid. Van den koepel van het Pantheon hing aan een 67 meter langen staaldraad een zware kogel, die, nadat hij eerst een tijd rustig gehangen had, voorzichtig uit den evenwichtstoestand gebracht werd en losgelaten. Na elke slingering, die een halve minuut duurde, was duidelijk te zien, dat de kogel niet op de vorige plaats terugkwam en dat de richting van slingering juist zooveel draaide als volgens de aswenteling der aarde moest zijn. Deze proef van Foucault wordt tegenwoordig nog dikwijls op Burgerscholen en bij voordrachten herhaald; daarbij zijn echter vele voorzorgsmaatregelen noodig, daar de geringste wringing in den draad of het geringste zijdelingsche duwtje bij het loslaten in staat zijn geheel andere en vaak grootere veranderingen in de richting van beweging te doen ontstaan.

Deze verschillende proeven bewijzen, dat de menschen ook in het geval, dat zij door een eeuwige dichte wolkenlaag nooit iets van zon, maan of sterren bemerkten hadden, toch tot het inzicht hadden kunnen komen, dat de aarde, waarop zij leven, om haar as wentelt. Men moet er echter bijvoegen, dat dit inzicht dan nog lang een twijfelachtige en onzekere theorie zou gebleven zijn. Onze overtuiging van de draaiing der aarde berust in de eerste plaats op de hemelverschijnselen, die alleen goed te verklaren zijn door een volledig wereldstelsel, waarvan de draaiing der aarde een wezenlijk element vormt. Slechts in de tweede plaats komen de aardsche verschijnselen als bevestigingen van deze leer in aanmerking; en de val- en slingerproeven van de 19^{de} eeuw hebben zeker niemand onder de menschen van een twijfelaar tot een overtuigd aanhanger van deze leer gemaakt.

DE PLANETEN.

24. DE VERSCHIJNSELEN DER PLANETEN.

Toen wij de sterrebeelden aan den hemelbol voor het eerst leerden kennen, is onze aandacht reeds op die merkwaardige schitterende sterren gevallen, de dwaalsterren of planeten, die voortdurend hun plaats veranderen en tusschen de vaste sterren langs den hemel wandelen. Deze dwaalsterren, die reeds in de oudheid de grootste belangstelling bij de menschen wekten, willen wij nu nader beschouwen. Zij zijn vijf in getal, en doordat ons het begin van de wetenschap door de volkeren der oudheid overgeleverd is, zijn zij onder de namen der Romeinsche goden en godinnen: Mercurius, Venus, Mars, Jupiter en Saturnus bekend gebleven.

Iedereen kent wel de helderste van alle sterren, de schitterende avondster. Spoedig na zonsondergang ziet men haar als een klein lichtpuntje aan den blauwen avondhemel opduiken; ja, dikwijls kan men haar zelfs vóór zonsondergang vinden, want zij is de eenige onder de sterren, die ook overdag duidelijk zichtbaar is. Wanneer dan de hemel donkerder wordt en het schemerlicht meer en meer verdwijnt, wordt zij steeds helderder, tot zij eindelijk met een glans straalt, die de heldere vaste sterren soms 100 malen overtreft en in maanlooze nachten zelfs schaduw geeft. Eenige uren na zonsondergang blijft zij zichtbaar, soms langer, soms korter, maar altijd gaat zij vóór middernacht onder. Zij is ook niet altijd zichtbaar; wanneer zij langer dan een half jaar aan den avondhemel geschitterd heeft, verdwijnt zij voor langen tijd, om later opnieuw voor den dag te komen. In dien tusschentijd straalt aan den morgenhemel even helder de morgenster, die lang voor de eerste schemering het naderend einde van den nacht aankondigt. Er was geen

buitengewone scherpzinnigheid noodig om tot het inzicht te komen, dat de morgenster en de avondster slechts één enkele ster zijn, die afwisselend 's morgens en 's avonds zichtbaar is. Als schoonste onder de sterren was zij bij de volken der oudheid, bij de Babyloniërs zoowel als bij de Grieken, aan de godin der schoonheid en der liefde gewijd en zoo is zij onder den naam *Venus* in de wetenschap bekend.

Wie naar het Westen een vrij uitzicht tot aan den horizon heeft, ziet soms in het voorjaar kort na zonsondergang midden in het sterke schemerlicht een schitterend klein sterretje opduiken, dat in het gunstigste geval anderhalf uur na de zon ondergaat. Blijft het weer voortdurend helder, dan kan men het een paar weken lang avond aan avond waarnemen, maar dan verdwijnt het. Ook dit stralende sterretje is een planeet, die evenals *Venus* beurtelings avondster en morgenster is. Zoo gemakkelijk *Venus* echter in het oog valt, zoo moeilijk is dit sterretje te ontdekken. Omdat het zoo plotseling opduikt en weer verdwijnt, is het naar *Mercurius* genoemd, den snelvoetigen bode der goden.

De drie andere planeten gedragen zich geheel anders. Evenals de vaste sterren zijn zij nu eens den geheelen nacht zichtbaar, dan weer alleen aan den avondhemel of den morgenhemel. Staat de zon dicht bij de plaats, waar een dezer planeten zich bevindt, dan is deze evenals de vaste sterren in haar buurt onzichtbaar. Loopt de zon dan in de volgende weken voort in haar jaarlijksche baan, dan wordt de planeet rechts van haar aan den morgenhemel zichtbaar, waar zij iets vroeger dan de zon opkomt. In de volgende maanden komt zij steeds vroeger in den nacht op, daar de zon zich steeds verder van haar verwijderd; ten slotte komt zij reeds des avonds op, gaat 's ochtends onder en is dan den geheelen nacht zichtbaar. Weer eenige maanden later gaat zij vroeger in den nacht en eindelijk zelfs des avonds onder, terwijl de zon dan van den westkant steeds meer de plaats aan den hemelbol nadert, waar de planeet zich bevindt. Eenigen tijd is zij aan den avondhemel nog in de schemering te zien; dan wordt zij door de nabijheid der zon onzichtbaar. Dat blijft zoo eenige maanden, totdat de zon haar voorbijgestevend is.

Deze planeten maken dus dezelfde reeks van verschijnselen door als de vaste sterren; maar zij onderscheiden zich van deze hierdoor, dat zij tegelijkertijd voortdurend hun plaats aan den hemel veranderen en dus elken volgenden keer aan den morgenhemel op een andere plaats van den hemelbol zichtbaar worden. Door zijn bestendige groote helderheid blinkt de geelachtige *Jupiter* ver boven de helderste vaste sterren uit. Nog opvallender is door zijn rooden gloed de ster van den oorlogsgod *Mars*, die nu en dan *Jupiter* in licht evenaart. Al kunnen deze beiden op verre na niet bij *Venus* halen, zoo behooren zij toch tot de schitterendste hemellichten en trekken de aandacht van menigeen, die anders niet op den sterrenhemel let. Daarentegen is *Saturnus* slechts door zijn rustig licht tusschen de even groote heldere sterren te onderkennen.

Deze dwaalsterren dwalen nu niet willekeurig overal aan den hemel rond; zij blijven altijd op den grooten verkeersweg des hemels, in de sterrebeelden van den dierenriem, en wel meest in de onmiddellijke nabijheid van de ekliptika. Terwijl echter zon en maan op dezen hemelweg steeds regelmatig van het Westen naar het Oosten voortschrijden, tegen de dagelijksche draaiing van den hemel in, is de beweging van de planeten veel onregelmatiger. Wel wandelen zij ook meestal in dezelfde richting van het Westen naar het Oosten voort, maar dan blijven zij somtijds stilstaan, loopen een tijdje terug, tot zij opnieuw hun beweging omkeeren. Tegelijk wijken zij nu eens naar het Noorden, dan weer naar het Zuiden van de ekliptika af en bewegen zich daardoor vaak in de zonderlingste bochten en lussen tusschen de sterren door.

Deze merkwaardige onregelmatige banen der planeten hebben reeds van oudsher op de

verbeeldingskracht der menschen een sterken indruk gemaakt. Vooral was dit het geval bij de Babyloniërs, die door een wonderbaarlijk helderen en doorzichtigen hemel begunstigd en door de behoeften van de tijdrekening — de reeds vroeger vermelde aanpassing van den maankalender aan het zonnejaar — tot het waarnemen van den hemel direkt gedwongen werden. In de groote en rijke handelsstad Babylon, die gedurende een paar duizend jaren vóór het optreden der Grieken in de geschiedenis de beschaving der oudheid beheerschte, leefde een hoog ontwikkelde priesterkaste, de dragers van het toenmalige geestelijke leven, tot wier ambt ook het waarnemen van de hemellichamen behoorde; hun astronomische opteekeningen reiken tot in de grijze oudheid terug. Hun moesten deze schitterende lichten, die tusschen de sterrebeelden als door een landschap rondwandelen, die nu eens vooruit, dan weer terug gaan, soms naar het Noorden of het Zuiden afbuigen, nu eens stilstaan, dan weer zich haasten, als zelfstandige, goddelijke wezens voorkomen, met eigen wil en leven begaafd. Welke beteekenis hadden dan de bewegingen van die hemellichten, wat was hun zin, wat hun doel?

De zin van zons- en maanbeweging was duidelijk: de zon beheerschte de wisseling der jaargetijden, de wisseling van koude en hitte, van regen en droogte, en de maan beheerschte de tijdrekening; beide doorliepen dus hun banen ten behoeve van de menschen. Daar nu alle hemelgoden te zamen al het gebeuren op aarde en bepaaldelijk het leven der menschen beheerschen, lag het voor de hand een samenhang te zoeken tusschen de grillige wisselingen van het gebeuren op aarde en de grillige bewegingen van de planetengoden. Zoo kregen de zonderlinge bewegingen van de planeten een groote en belangrijke beteekenis: zij regeerden het lot der menschen. Niet slechts zomer en winter, hitte en dorheid, maar ook leven en dood, geluk en ongeluk, oorlog en vrede worden door een eeuwig noodlot bepaald, waarvan de draden door de zeven lichtgoden aan den hemel gesponnen worden; hun banen zijn het oerbeeld van de menschelijke geschiedenis op aarde. Nooit komen de planeten voor de tweede maal in precies denzelfden stand ten opzichte van elkaar terug; oneindig verschillend en steeds nieuw zijn hun konstellaties, en evenzoo oneindig verschillend en veelvuldig zijn ook de gebeurtenissen en wisselingen in het menschenleven.

Zoo traden in de Babylonische wereldbeschouwing de planeten als levende, werkende wezens uit de massa der overige sterren naar voren. Zij hadden voor de menschen een werkelijke, groote, praktische beteekenis en met hen werden gaandeweg de oude natuur- en stamgoden vereenzelvigd. Hun zevental — zon en maan werden er bij gerekend — was een heilig getal; aan hen waren de uren van den dag en ook de reeks der dagen zelf gewijd; zoo verdrong de zevendaagsche week meer en meer de oorspronkelijke vijfdaagsche, en deze zevendaagsche week heeft zich vanuit Babylon over de geheele wereld verspreid.

Maar ook de algemeene opvatting zelf, waaruit deze zevendaagsche week voortgekomen was, bleef niet tot Babylon beperkt; de *a s t r o l o g i e* of sterrewichelarij, die het lot van de menschen uit den stand der planeten bij hun geboorte tracht te voorspellen, was niets dan de praktische toepassing van de Babylonische leer van den samenhang tusschen de hemelverschijnselen en de aardsche gebeurtenissen. Deze leer, die er niet minder belangrijk en grootsch om is, al heeft de latere ontwikkeling der wetenschap haar onhoudbaarheid aangetoond, heeft gedurende duizenden van jaren in de oudheid en in de middeleeuwen het denken der ontwikkeldste menschen overal beheerscht, waar men in de sterrenwereld belang stelde. Ten onrechte zien moderne geleerden verachtelijk op de astrologie neer als een betreurenswaardige afdwaling van den menschelijken geest. Want zij is het geweest, die de menschen aanzette om de sterren veel vlijtiger en aanhoudender waar te nemen, dan alleen voor de behoeften der tijdrekening noodig was geweest. Waar was er ook voor menschelijke inspanning een belangrijker en verhevener doel te vinden, dan een wetenschap op te bouwen, die veroorloofde de regellooze toevalligheden van het menschenlot vooruit te voorspellen door ze als het ware in zeven eenvoudige

elementen te ontleden: de werkingen der zeven toch reeds heel wat geregelder loopende planeten? Er zijn dan ook inderdaad nooit zoo vele en zoo regelmatige planetenwaarnemingen gedaan als in de tijden, toen het geloof in de werking der sterren het krachtigst in de menschen leefde. Eerst in het oude Babylon, waar de priesters ten slotte uit vele eeuwen lange opteekeningen de perioden der planeten zeer nauwkeurig kenden; en later nog eens in Europa in de 16^{de} eeuw. Alleen met behulp van deze waarnemingen is het dan naderhand mogelijk geworden de werkelijke wetenschap der hemellichamen op te bouwen. Op de waarnemingen der Babyloniërs berustte voor een groot deel de sterrekundige wetenschap der oude Grieken; en de waarnemingen van de 16^{de} eeuw hebben het materiaal voor den opbouw van de grondslagen der moderne astronomie geleverd.

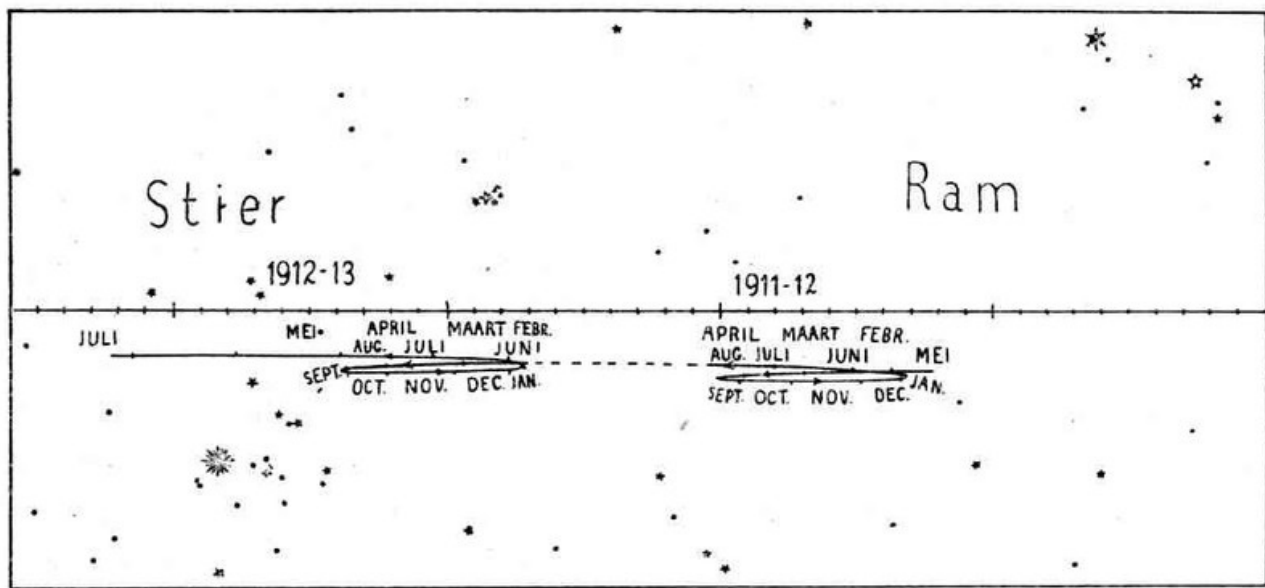
25. DE PERIODEN EN DE BANEN DER PLANETEN.

Slechts op het eerste gezicht schijnt de beweging der planeten geheel regelloos en onregelmatig. Zoodra men ze opmerkzaam en aanhoudend begint waar te nemen, treedt toch in hun beweging gaandeweg een bepaalde orde en regelmaat voor den dag, die ons den weg naar de verrassendste inzichten in den wonderbouw van het heelal opent. Daarom ligt er zulk een bijzondere bekoring in om van dag tot dag, van week tot week, den stand der planeten tusschen de sterren te volgen, op dezelfde wijze als voor duizenden jaren de eerste waarnemers in Babylon en Griekenland dat deden. Daarvoor moet juist de kaart van den dierenriem achter in dit boek dienen, waarop de sterren, die voor het bloote oog duidelijk zichtbaar zijn, alle ingeteekend zijn. Tusschen deze sterren kan men eenvoudig op het oog de plaats der planeten, zoo dikwijls men wil, intekenen en dan naderhand desgewenscht met behulp van de deelstrepn hun lengte en breedte in graden aflezen. Of wij ons daarbij met het uiterlijke beeld der planetenbanen tevredenstellen, of deze in de getallenmaat van lengte en breedte uitdrukken — in ieder geval verschaffen ons deze waarnemingen een eigenhandig ervaringsmateriaal, dat ons in staat stelt ons een volkomener inzicht in den bouw van het heelal te verschaffen. Tegelijk wordt daarbij de sterrenhemel voor ons een schouwtooneel vol afwisseling en leven, waar de heldere, verschillend gekleurde dwaalsterren heen en weer trekken, terwijl ze nu eens helderder, dan weer kleiner worden, elkaar ontmoeten, verrassende konstellaties en groepen vormen, die van dag tot dag er anders uitzien en dan uit elkaar gaan, altijd anders en altijd nieuw, nooit zich precies herhalend — en toch blijkt weldra deze rijke en ordelooze veelvuldigheid uit de schoonste orde en regelmaat voort te komen.

De eerste regel, dien wij hierbij als grondslag van alle orde der hemelsche bewegingen vinden, is deze: de verschijnselen der planeten herhalen zich in bepaalde perioden steeds weer op nagenoeg dezelfde wijze. Het grondprincipe van hun beweging is regelmaat; al beweegt de planeet zich binnen een periode ook onregelmatig heen en weer, zoo herhaalt zich toch ditzelfde spel in elke nieuwe periode. Daardoor wordt het onderzoek der planetenbeweging op eens veel eenvoudiger; men behoeft nu slechts de periode te kennen en de beweging gedurende een enkele periode.

Laten wij beginnen met bij de planeet Saturnus den kringloop van verschijnselen na te gaan, die begint, wanneer de planeet aan den morgenhemel zichtbaar wordt en die ongeveer een jaar later met zijn

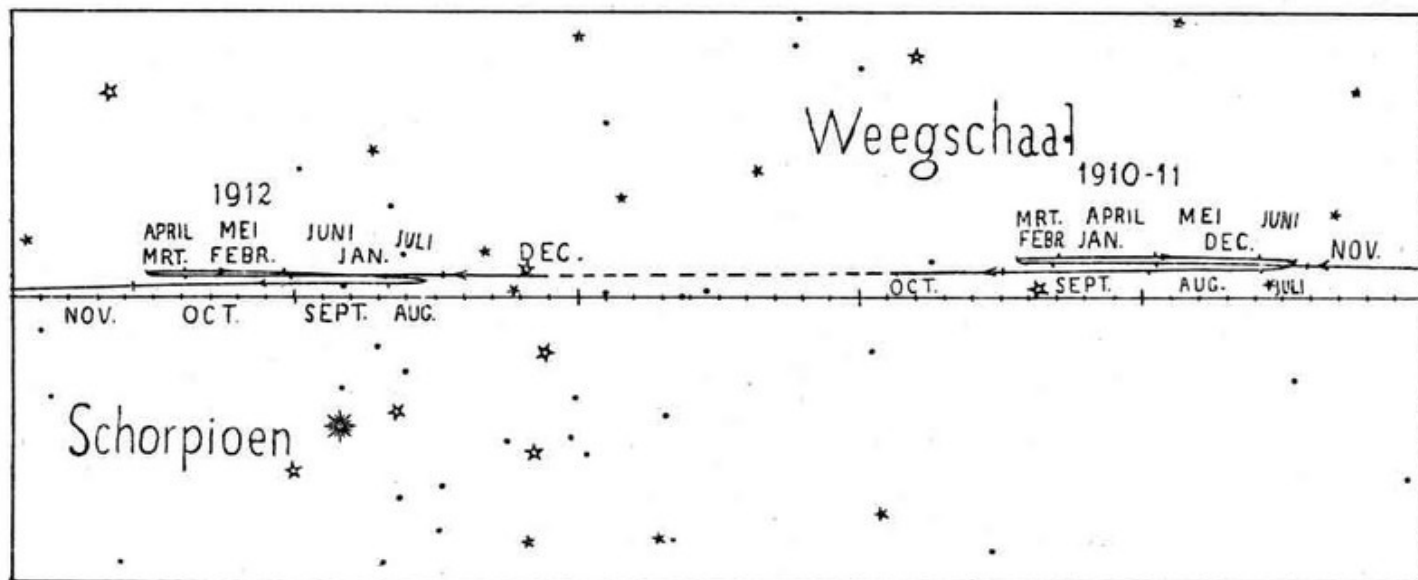
verdwijnen in de westelijke avondschemering afsluit.



De baan van Saturnus 1911 tot 1913.

In het midden van dezen kringloop ligt het tijdstip, waarop Saturnus aan den hemel juist tegenover de zon staat of, zooals de vakterm luidt, in oppositie met de zon is; hij komt dan des avonds op, staat den geheelen nacht aan den hemel en gaat 's morgens onder. In den loop van deze periode zien wij de planeet eerst — dus wanneer hij in den nanacht boven den horizon is — een eind tusschen de sterren vooruitbewegen, dus in oostelijke richting gaan; gaandeweg wordt zijn beweging langzamer, dan staat hij stil en begint langzaam terug te loopen, 10 weken voor de oppositie. Deze teruglopende beweging behoudt hij tot 10 weken na de oppositie, dus juist in de 4 à 5 maanden, dat hij nagenoeg den ganschen nacht zichtbaar is; gedurende dezen tijd loopt hij in 't geheel 7 graden aan den hemel terug; zooveel wordt dus zijn lengte in de ekliptika kleiner. Dan komt opnieuw een stilstand, de beweging gaat weer voorwaarts en deze "rechtlopende" beweging behoudt Saturnus, totdat hij in de avondschemering verdwijnt. Dat hij ook gedurende de volgende maanden van onzichtbaarheid, wanneer de zon hem passeert — deze ontmoeting heet de konjunctie met de zon — de rechtlopende beweging behoudt, blijkt wanneer hij des morgens weer zichtbaar wordt: hij is dan weer een heel eindje verder oostelijk gekomen. Ook staat hij dan verder oostelijk, dan toen hij een jaar geleden bij het begin van den vorigen kringloop voor 't eerst zichtbaar werd; de totale beweging vooruit overtreft de teruglopende beweging, en na elke periode is hij $12\frac{2}{3}$ graad, ongeveer $\frac{1}{28}$ van den omtrek des hemels gevorderd. Daarom haalt de zon hem elk jaar ook iets later in en duurt zijn periode ongeveer 13 dagen langer dan een jaar. Zoo wandelt Saturnus langzaam door den dierenriem voort; elk jaar schuift hij, door een teruggang onderbroken, $\frac{1}{28}$ van den hemelomtrek verder, en na 28 zulke perioden, die te zamen 29 jaren duren, is hij de geheele ekliptika rond geweest en komt hij nagenoeg op de oude plaats terug. Als langzaamste onder de planeten, die de grootste tijdsruimte afmeet, was hij voor de volken der oudheid een beeld van den langzaam en gestadig voortschrijdenden tijd; daarom was hij aan den god der eeuwigheid en des doods gewijd en werd hij tot de booze, "zwarte" ster, die den menschen ongeluk voorspelde.

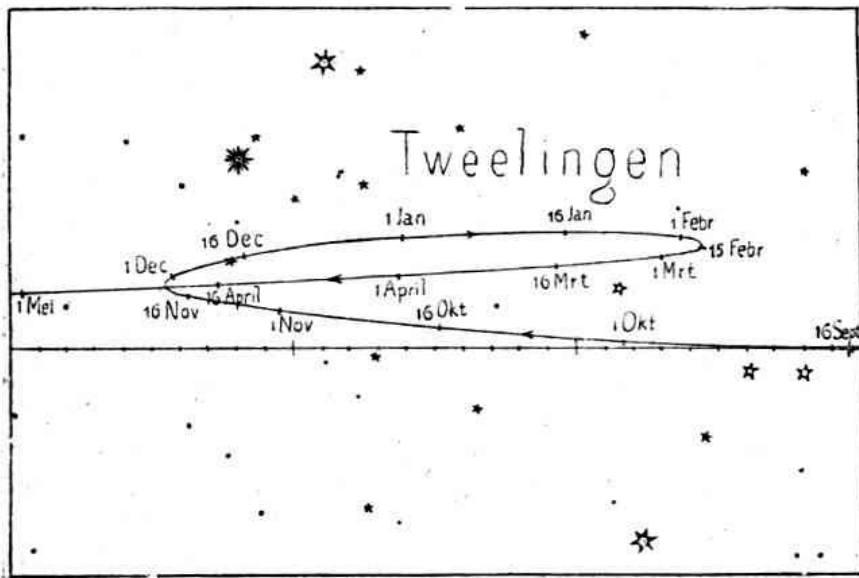
Bij Jupiter vinden wij dezelfde verschijnselen, alleen met eenigszins andere getallenwaarden.



De baan van Jupiter 1910 tot 1912.

Ook hier wisselt in iedere periode een kortere teruggang met een langere rechtlopende beweging af, en de oppositie ligt ook midden in den tijd van teruggang. De teruggang duurt bij hem juist 4 maanden (121 dagen), waarin de lengte van de planeet 10 graden vermindert. In elke periode komt hij in 't geheel 33 graden vooruit; hij staat dus bij elke volgende oppositie in het volgende beeld van den dierenriem; en de periode, waarin de verschijnselen terugkeeren, duurt hier 33 dagen langer dan een jaar. Daar 33 graden iets meer dan $\frac{1}{11}$ van den omtrek des hemels is, doorloopt hij in nagenoeg 11 van deze perioden, dus 12 jaren den geheelen dierenriem. Door zijn helderen steeds gelijkblijvenden glans, die, in tegenstelling tot de opvallende wisselingen in het licht van Venus en Mars, denzelfden indruk van rust en majesteit maakt als zijn statig voortschrijdende beweging, is deze planeet van oudsher met den koning der goden in verbinding gebracht.

De beweging van Mars draagt wel in het algemeen hetzelfde karakter, maar door zijn snellere beweging zijn de verschijnselen eenigszins anders. Terwijl de beide vorige planeten in den loop van een periode in dezelfde streek van den hemel blijven, is dat bij Mars niet het geval. Wanneer hij in de morgenschemering als een kleine, roode ster zichtbaar geworden is, loopt hij in de volgende maanden door de sterrebeelden achter de zon aan; daar hij slechts half zoo snel als de zon loopt, blijft hij steeds meer bij haar achter, en komt dus steeds vroeger op, maar in mindere mate dan de sterren elken dag vroeger komen.



De baan van Mars gedurende de oppositie
1913—1914.

Op die manier duurt het een vol jaar, voordat de tijd van oppositie nadert; eerst wanneer de zon den geheelen hemel rondgelopen heeft en Mars den halven hemelomtrek, komen zij tegenover elkaar te staan. Dan houdt zijn snelle beweging op en gaat hij gedurende $2\frac{1}{2}$ maand — gemiddeld, want het is niet altijd precies hetzelfde — terugloopen. Ondertusschen is hij van het kleine sterretje aan den morgenhemel tot een schitterende vuurster geworden, die soms zelfs Jupiter overtreft. Na de oppositie houdt de teruglopende beweging weer op, nadat de lengte van de planeet ongeveer 16 graden verminderd is. Aan den avondhemel tracht hij nu door zijn snelle oostelijke beweging de van het Westen naderende zon te ontloopen; terwijl de sterrebeelden achtereenvolgens in de westelijke schemering verdwijnen, rept hij zich, nu weer een kleine roode ster, door den dierenriem, en eerst een jaar na de oppositie wordt hij eindelijk dicht bij de plaats, waar hij twee jaren vroeger zichtbaar werd, door de zon ingehaald. De geheele periode van deze verschijnselen bedraagt gemiddeld 2 jaar 49 dagen; de planeet loopt in dien tijd eenmaal den hemel rond en bovendien nog 49 graden, $\frac{1}{7}$ van den hemelomtrek, terwijl de zon, behalve dit laatste stuk, twee maal rondgelopen is. Bij iedere volgende oppositie is de planeet dus $\frac{1}{7}$ van den hemelomtrek verder in den dierenriem gevorderd; na 7 zulke perioden, die te zamen 15 jaren duren en waarin de planeet 8 maal rondloopt, komen de verschijnselen weer in dezelfde streek van den hemel terug.

Bij al deze planeten zien wij dus duidelijk hetzelfde karakter in de beweging optreden; wij kunnen het in de volgende regels samen vatten:

Ten eerste: iedere periode bestaat uit een kortere teruglopende en een langere rechtlopende beweging.

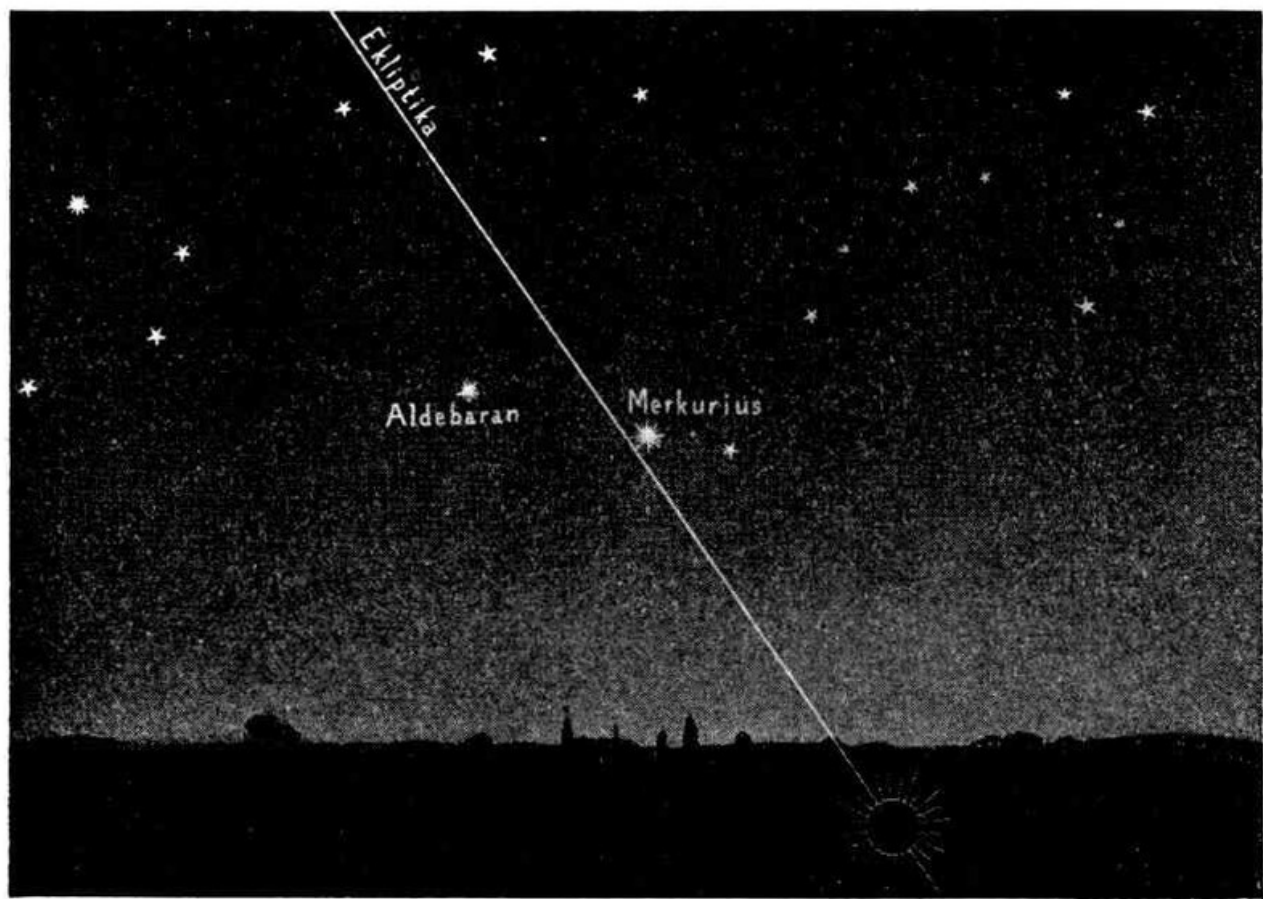
Ten tweede: het tijdstip van oppositie met de zon ligt midden in de teruglopende beweging; de onzichtbaarheid door de konjunktie met de zon ligt midden in de rechtlopende beweging.

Bij Venus duurt de kringloop der verschijnselen 19 maanden (583 dagen); de eene helft van deze periode is zij avondster, de andere helft morgenster. Wanneer zij voor het eerst in de schemering na

zonsondergang zichtbaar geworden is, verwijderd zij zich langzaam steeds verder van de zon — voordat zij zichtbaar werd, moet zij dus de zon gepasseerd hebben, — gaat steeds later na de zon onder en wordt steeds helderder. Ongeveer een half jaar, nadat zij zichtbaar werd, bereikt zij haar grootsten afstand of, zooals men meest zegt, haar grootste digressie of elongatie (uitwijking) van de zon, waarbij zij de zon 46 graden in lengte vooruit is. Dan keert zij, terwijl haar glans eerst nog toeneemt, eerst langzaam en dan steeds sneller tot de zon terug en verdwijnt na 2 maanden. Spoedig duikt zij dan — nadat zij blijkbaar de zon snel voorbijgerend is — aan den morgenhemel op, vlamt snel op tot haar grootste helderheid en bereikt in 2 maanden haar grootste elongatie, nu rechts, westelijk van de zon. Langzaam keert zij dan in een half jaar naar de zon terug, verdwijnt in haar stralen en wordt weer avondster. Venus slingert dus regelmatig links en rechts van de zon heen en weer; naar rechts is de beweging snel en duurt slechts 143 dagen, terwijl de langzame beweging naar links 440 dagen duurt.

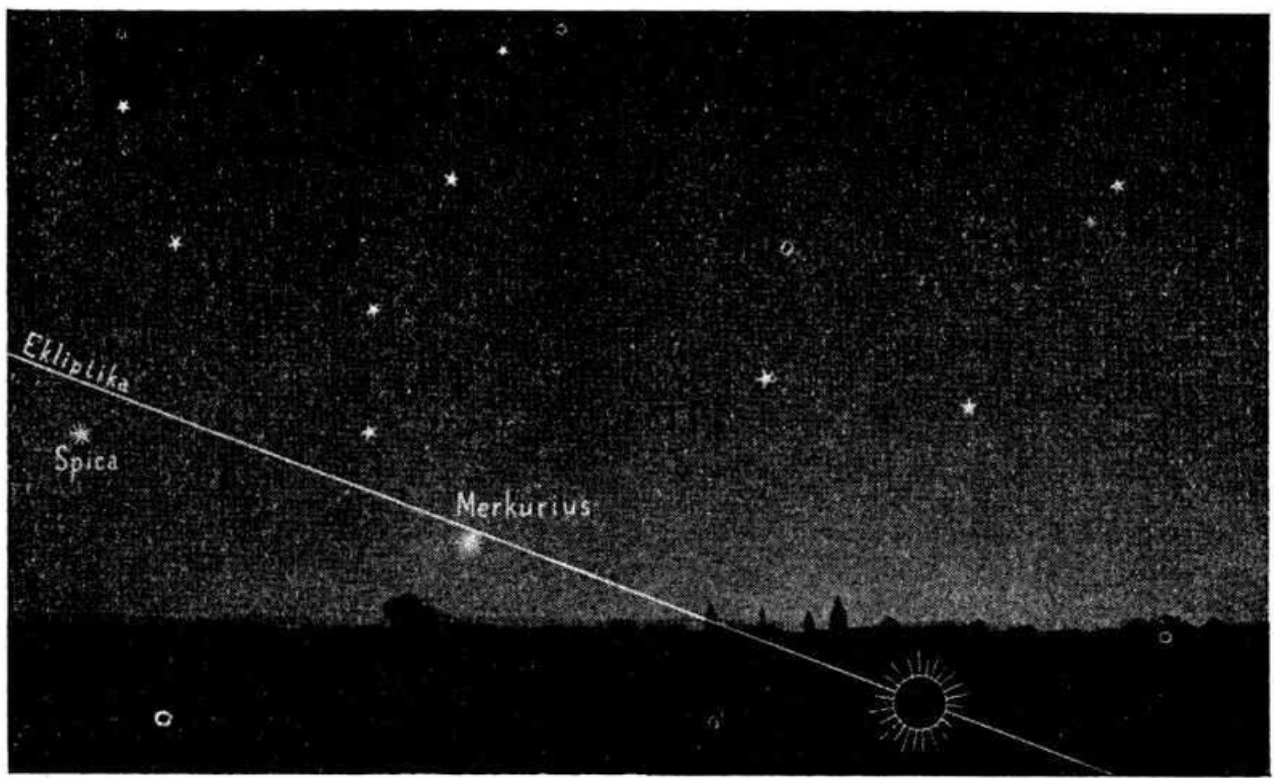
Dit is dus haar beweging ten opzichte van de zon; maar hoe beweegt zij zich ten opzichte van de sterren? De zon wandelt gelijkmatig van het Westen naar het Oosten tusschen de sterren voort, en zij wordt daarbij door Venus begeleid, die nu eens voor haar uitloopt, dan weer bij haar achterblijft, maar gemiddeld in denzelfden tijd, dus in een jaar den geheelen hemel rondloopt. In de 440 dagen, die zij eerst als morgenster en dan als avondster gebruikt om naar links, naar het Oosten te slingeren, loopt zij sneller dan de zon tusschen de sterren door naar het Oosten, haalt haar in en loopt haar aan den avondhemel steeds meer vooruit. Ook in de grootste elongatie en nog eenigen tijd daarna, terwijl zij alweer bezig is naar de zon terug te keeren, blijft zij zich ten opzichte van de sterren nog steeds oostelijk bewegen, zij het ook aldoor langzamer. Dan echter keert haar beweging ook ten opzichte van de sterren om. Zij wordt teruglopend, en zon en planeet passeeren elkaar dan met groote snelheid, doordat zij zich aan den hemel in tegengestelde richting bewegen. Als morgenster houdt zij dan weldra met de teruglopende beweging op en loopt zij, eerst langzaam, dan steeds sneller weer achter de zon aan. De beweging van Venus tusschen de sterren heeft hetzelfde karakter als die der andere planeten: in iedere periode wisselt een korte teruglopende met een lange rechtlopende beweging af. Zij verschilt echter hierin van de andere planeten, dat zoowel in het midden van de teruglopende als van de rechtlopende beweging een konjunktie ligt, een ontmoeting met de zon, waarbij de planeet onzichtbaar is.

Bij Mercurius kan men van verschijnselen eigenlijk nauwelijks spreken, omdat men al blij moet zijn, wanneer men hem maar even te zien krijgt. Dat gebeurt alleen, wanneer hij zich zoo ver mogelijk van de zon heeft verwijderd, en ook dan nog niet altijd.



Mercurius in de voorjaarsavondschemering.

In het voorjaar staat 's avonds de ekliptika vrij steil op den westelijken horizon, omdat dan juist de noordelijkst gelegen sterrebeelden, waar de zon 's zomers doorheen loopt, in het Zuiden staan. De planeten, die zich in den dierenriem, ten Oosten van de zon bevinden, staan dan tamelijk recht boven de zon, en wanneer zij, zooals Mercurius, niet ver van de zon verwijderd zijn, staan zij in de schemering toch nog vrij hoog boven den horizon. Daarentegen ligt in den herfst de ekliptika 's avonds zeer vlak; in het Zuiden staan de sterren van den dierenriem laag aan den hemel en ook een planeet, die vrij ver van de zon verwijderd is, verheft zich in de schemering slechts weinig boven den horizon. In de beide afbeeldingen is dit verschil duidelijk te zien; bij deze afbeeldingen is te bedenken, dat in de werkelijkheid het schemerlicht veel helderder en dus de planeet veel minder goed zichtbaar is dan het hier schijnt. In den herfst vertoont de morgenhemel hetzelfde beeld als in het voorjaar de avondhemel, en omgekeerd. Daarom is een planeet als Mercurius, die altijd dicht in de buurt van de zon blijft, alleen in het voorjaar als avondster en alleen in den herfst als morgenster zichtbaar.



Mercurius in de herfstavondschemering.

Natuurlijk kan er dan geen sprake van zijn, dat wij zijn plaats tusschen de sterren in een kaart teekenen, want de omgevende sterren zijn door het heldere schemerlicht alle onzichtbaar. In zuidelijker landen, waar alle kringloopen en ook de ekliptika steiler op den oostelijken en westelijken horizon staan, zijn de omstandigheden gunstiger; daarom konden de Babyloniërs en de Grieken veel beter tot zekere uitkomsten komen. Zij vonden, dat de verschijnselen, die in een periode van 4 maanden (116 dagen) terugkeeren, in hoofdzaak met die van Venus overeenkomen. Ook Mercurius slingert beurtelings naar het Westen en naar het Oosten om de zon heen en weer, waarbij hij zich 23 graden van haar verwijderd; en zijn beweging tusschen de sterren is ook beurtelings rechtlopend en teruglopend. Maar bij Mercurius vertoont de beweging toch aanmerkelijke onregelmatigheden; de periode is nu eens wat langer, dan weer wat korter; de grootste elongatie is den eenen keer grooter dan den anderen, en ook verwijderd Mercurius zich verder dan andere planeten van de ekliptika.

De perioden van de planeten zijn natuurlijk des te nauwkeuriger te vinden, naarmate de waarnemingen zich over langeren tijd uitstrekken. Door hun eeuwenlange waarnemingen van den hemel waren de Babyloniërs in staat ze zeer nauwkeurig te bepalen; uit spijkerinschriften op tegeltjes uit de derde eeuw v. C., die door Kugler ontcijferd zijn, weten wij, dat zij toen den loop der planeten zeer nauwkeurig vooruit wisten te berekenen. Van de Babyloniërs zijn waarschijnlijk de getallen afkomstig, die Ptolemaeus in zijn groote werk voor de perioden der planeten opgeeft, en die hij aan zijn voorganger Hipparchus ontleend had. Deze getallen zijn:

57 perioden van Saturnus zijn 59 jaren ($+ 1\frac{3}{4}$ dag), dus 2 omloopen;

65 perioden van Jupiter zijn 71 jaren ($- 5\frac{1}{6}$ dag), dus 6 omloopen;

37 perioden van Mars zijn 79 jaren ($+ 3\frac{1}{5}$ dag), dus 42 omloopen;

5 perioden van Venus zijn 8 jaren ($- 2\frac{1}{2}$ dag), dus 8 omloopen

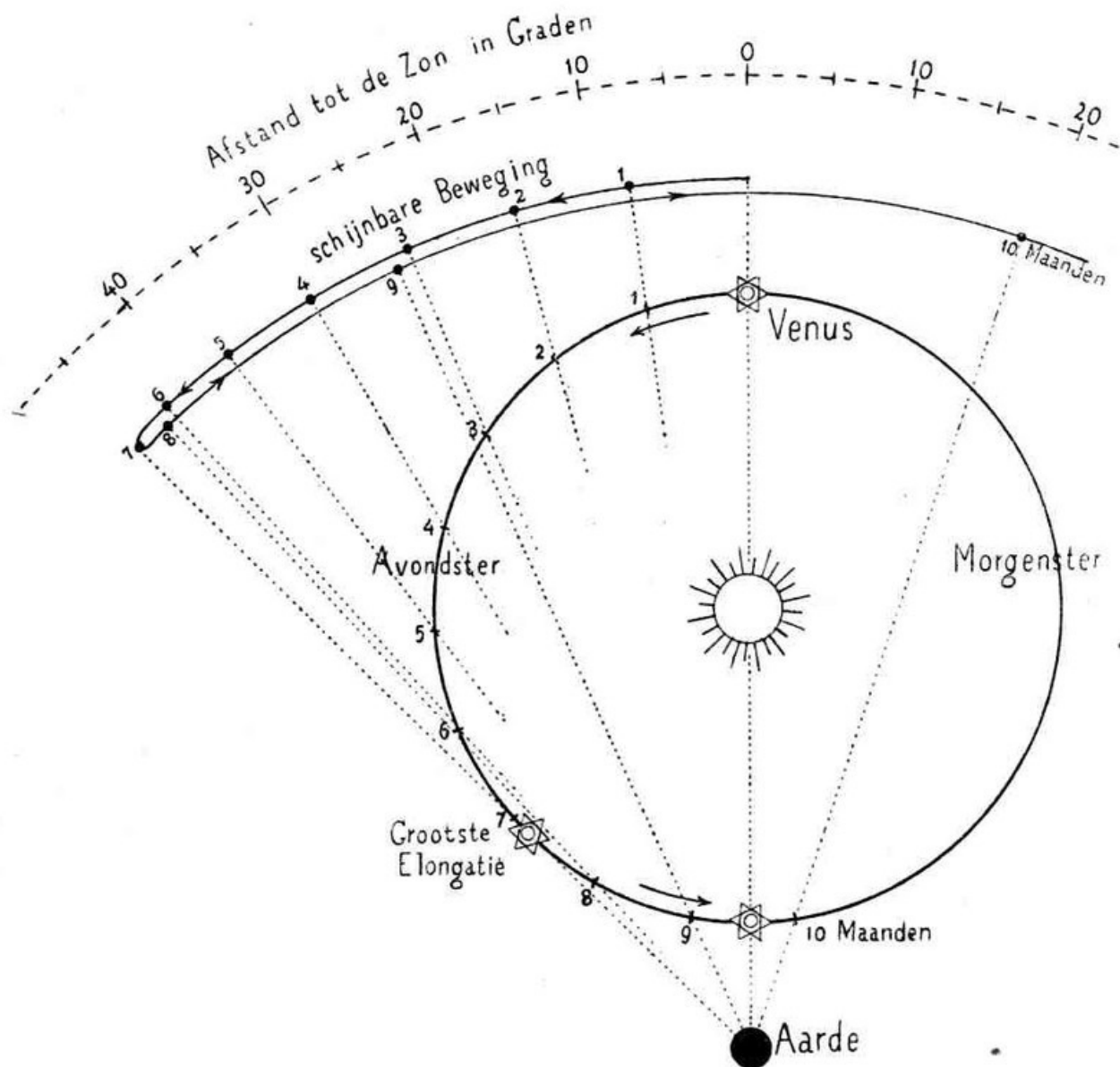
145 perioden van Mercurius zijn 46 jaren (+ 1 dag), dus 46 omloopen.

Door de nauwkeurige kennis van deze perioden is de vaste grondslag gelegd voor alle verdere onderzoekingen omtrent de beweging der planeten.

26. HET WERELDSTELSEL VAN PTOLEMAEUS.

In het Grieksche wereldbeeld van Aristoteles stond de bolvormige aarde in het midden van het heelal, terwijl aan den buitenkant de met sterren bezaaide hemelbol ronddraaide, Welke plaats moesten hier de planeten innemen?

De planeten behoorden, evenals zon en maan, tot het hemelgebied; maar zij zaten niet aan den hemelbol vast. Zij hadden hun eigen banen, die bij de planeten alleen maar veel ingewikkelder waren dan bij zon en maan. Aristoteles nam aan, dat al deze hemellichamen aan doorschijnende kristallen sferen of bolschalen vastzaten, die door den buitensten hemelbol in zijn dagelijksche draaiing meegesleept werden en daarenboven nog hun bijzondere bewegingen hadden. De wiskundige Eudoxus had een vernuftige theorie opgesteld, hoe door een samenstel van meerdere bolschalen, die alle regelmatig in elkaar draaien, de afwisseling van rechtlopende en teruglopende beweging bij de planeten kon ontstaan; en deze verklaring werd door Aristoteles overgenomen. Bevredigend was zij echter niet. Volgens deze leer van de kristalsferen moest een planeet altijd evenver van het middelpunt der wereld afblijven.



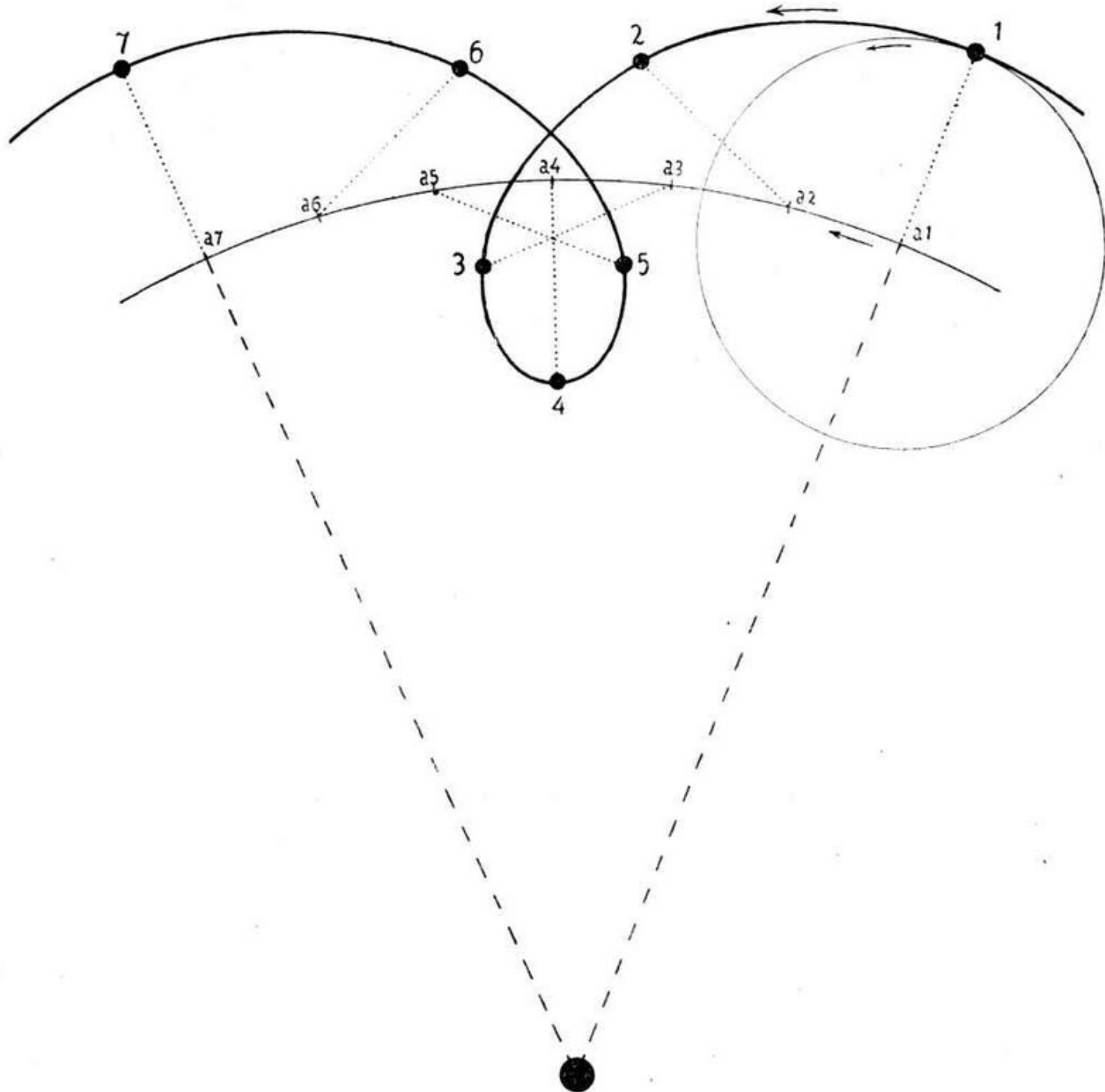
Cirkel van Venus om de zon.

Maar aan de sterke wisselingen in helderheid van Mars en Venus zien wij, dat deze planeten niet altijd evenver van ons verwijderd kunnen zijn. Tallooze malen hebben wij waargenomen, dat een licht des te kleiner en zwakker wordt, naarmate het verder van ons verwijderd is. Daar Mars in de oppositie veel schitterender is dan in andere deelen van zijn baan, moet hij dan veel dichterbij de aarde zijn.

De eigenaardige natuur van de beweging van Mercurius en Venus leidde vanzelf tot een betere verklaring. Deze beide planeten schommelen altijd aan beide kanten van de zon heen en weer, en staan dus ongetwijfeld in nauwe betrekking tot de zon. Daarom lag hier de gedachte voor de hand, dat niet de aarde, maar de zon het middelpunt van hun beweging is. Nemen wij nu aan, dat Venus een cirkel om de zon beschrijft, dan worden op eens alle eigenaardigheden van haar beweging op eenvoudige wijze verklaard. De grootte van dezen cirkel moet zoo zijn, dat in de grootste elongatie Venus aan den hemel 46 graden van de zon verwijderd is; dat komt uit, wanneer de straal van den cirkel tusschen $\frac{1}{3}$ en $\frac{1}{4}$ kleiner is dan de afstand van de zon tot de aarde. Het tijdstip van de grootste elongatie ligt dan, zooals men in de figuur dadelijk ziet, niet midden tusschen de beide tijdstippen, waarop de planeet achter en voor de zon staat, maar veel dichterbij het laatste. Doorloopt Venus haar cirkel met gelijkmatige snelheid, dan moet zij drie maal zooveel tijd besteden om uit het verste, achter de zon gelegen punt van haar baan in de grootste elongatie te komen, dan zij noodig heeft om vandaar uit vóór de

zon te verdwijnen — juist zooals het werkelijk gebeurt. Wanneer Venus avondster wordt, komt zij dus van achter de zon weg; omdat zij dan geleidelijk dichterbij ons komt, wordt zij steeds schitterender; na haar grootste elongatie aan den avondhemel rent zij in 2 maanden naar de zon terug en met dezelfde vaart aan den morgenhemel weer van haar weg, omdat zij dan tusschen de aarde en de zon doorloopt.

Dit inzicht, dat Venus en Mercurius zich in cirkels om de zon bewegen, wordt door latere schrijvers aan denzelfden Herakleides toegeschreven, dien wij reeds als verkondiger van de aswenteling der aarde leerden kennen; en ook bij de sterrekundigen in Alexandrië schijnt deze leer aanhang gevonden te hebben. Uit haar moest zich dan vanzelf een gelijksoortige verklaring voor de andere planeten ontwikkelen. Want de baan van Venus tusschen de sterren vertoont precies hetzelfde karakter als de banen der andere planeten, dezelfde wisseling van een langere rechtlopende en een kortere teruglopende beweging. Deze baan ontstaat, doordat de zon in haar jaarlijksche beweging om de aarde den loopkring van Venus met de planeet zelf meeneemt. En zoo verklaart ook de *epicykel-theorie*, die door Apollonius (200 v. C.), en Hipparchus 150 v. C. (2 eeuwen na Aristoteles) opgesteld en door Ptolemaeus (weer 3 eeuwen later) in details uitgewerkt werd, de onregelmatigheid der planetenbeweging eenvoudig uit de combinatie van twee cirkelbewegingen.



De epicykelbeweging der planeten.

Wanneer wij aan den omtrek van een rad een pen inslaan en dan op die pen als as een kleiner rad zetten, dan kan een balletje ergens aan den omtrek van het kleine rad een planeet voorstellen, waarvan wij de beweging met dit model gemakkelijk kunnen nabootsen. Wij laten beide raderen draaien, en wel het kleine sneller dan het groote, Welken weg het balletje daarbij doorloopt, is uit de figuur duidelijk te zien. Terwijl het kleine rad eenmaal ronddraait, beweegt de pen, zijn middelpunt, zich regelmatig van a1 tot a7; de tusschenliggende punten in de figuur, a2, a3 enz. stellen de plaats van de pen telkens na $\frac{1}{6}$ omloop van het kleine rad voor, en de punten 1, 2 enz. tot 7 de gelijktijdige plaatsen van het balletje. De baan van het balletje blijkt hier uit een reeks van langgestrekte bogen en lussen te bestaan. Zit nu een klein wezentje in het middelpunt van het groote rad, dan moet het van daaruit het balletje beurtelings snel voorwaarts en dan langzaam een eindje terug zien gaan, juist zooals wij bij de planeten aan den hemel zien. De lussen zelf zou het niet kunnen zien; het zou alleen bemerken, dat de planeet vóór het terugloopen naar hem toekomt en na het terugloopen weer van hem weggaat — evenals wij bij Mars zien, die vóór het

terugloopen sterk in glans toeneemt en naderhand weer veel kleiner wordt.

Aan dit model is duidelijk te zien, hoe de onregelmatige beweging van een planeet uit twee eenvoudige regelmatige cirkelbewegingen ontstaat en daarin dus ook weer te ontbinden is. Stond het groote rad stil, dan zou de waarnemer in het middelpunt de planeet eenvoudig om de pen heen en weer zien schommelen. Door de draaiing van het groote rad beweegt zich echter de pen tegelijk naar links voort, en daarom gaat de planeet beurtelings lang en snel naar links, en kort en langzaam naar rechts. Wanneer de pen van ons model, het middelpunt van den kleinen cirkel, aan den hemel door een zichtbaar merkteken aangegeven was, zouden wij de planeet beurtelings links en rechts van dit merk heen en weer zien schommelen, nu eens vooruitlopend en dan weer er bij achterblijvend. Bij de bewegingen van Venus en Mercurius is de zon dit merk, en daarom was hier de natuur van hun beweging zooveel gemakkelijker te onderkennen.

In de werkelijkheid, in de wereldruimte, is natuurlijk van zulke raderen niets te vinden. De zon en de maan bewegen zich ook in cirkels om het middelpunt der wereld zonder aan raderen vast te zitten; volgens de oude wereldleer is de cirkelbeweging om een middelpunt de natuurlijke beweging voor een hemellichaam. Terwijl echter zon en maan ieder aan één cirkel genoeg hebben, heeft iedere planeet twee cirkels noodig: zij beweegt zich in een cirkel, die zelf weer op een anderen, een leidcirkel, vastzit (vandaar de naam epicykel, letterlijk opcirkel). Het middelpunt van haar loopkring ligt niet in het wereldmiddelpunt, maar loopt in een kring om dit centrum heen, zonder dat daarbij aan een mechanische verbinding gedacht moet worden. Den astronomen uit den tijd van Hipparchus en Ptolemaeus was het er niet om te doen over de oorzaak van de hemelsche bewegingen en over het mechanisme, waardoor zij voortgebracht werden, te filosofeeren; zij wilden ze alleen maar in wiskundigen vorm weergeven door een theorie, die veroorloofde deze bewegingen vooruit te berekenen. Daarom zeggen Hipparchus en Ptolemaeus ook niet, dat Venus en Mercurius cirkels om de zon beschrijven; zij maken geen onderscheid tusschen de verschillende planeten, en voor Venus en Mercurius voegen zij er alleen bij, dat het middelpunt van hun epicykels samen met de zon de ekliptika doorloopt en dezelfde lengte heeft, dus zich in dezelfde richting bevindt als de zon.

Omdat het middelpunt van den epicykel niet door een zichtbaar merk aan den hemel aangegeven wordt, kunnen wij ook niet onmiddellijk aan den hemel zien, hoever de planeet zich er links of rechts van verwijdt. Maar wij weten, dat in het midden van de teruglopende beweging, in de oppositie, het middelpunt van den epicykel juist achter de planeet staat; en daar wij ook weten, dat het regelmatig langs den hemel voortwandelt, kunnen wij afleiden waar het op elken anderen tijd staat; wij zien het als het ware met ons geestesoog langs de ekliptika schuiven. Vergelijken wij daarmee de plaats, waar wij de planeet zelf zien staan, dan vinden wij gemakkelijk, hoever de planeet zich naar beide zijden op zijn hoogst van dit middelpunt verwijdt. Bij Saturnus vinden wij daarvoor 6 graden, bij Jupiter 11, bij Mars 41 graden, en daaruit kunnen wij, evenals bij Venus uit de grootste elongatie, de verhouding tusschen den epicykel en den leidcirkel berekenen. Wij vinden dan voor den epicykel bij Saturnus $\frac{1}{9}$, bij Jupiter $\frac{1}{5}$ en bij Mars $\frac{2}{3}$ van den leidcirkel (Ptolemaeus geeft daarvoor de nauwkeuriger getallen 0,109, 0,192 en 0,658), terwijl deze verhouding bij Venus 0,720 en bij Mercurius 0,375 bedraagt.

Wij hebben tot nog toe bij onze beschouwing van de planetenbewegingen niet nader gelet op de kleine afwijkingen noordelijk en zuidelijk van de ekliptika. Door die afwijkingen in breedte bestaat de beweging van een planeet aan den hemel niet in een eenvoudig heen en weer schuiven, maar buigt zij zich in slingeringen nu eens wat naar boven, dan naar beneden; en soms vertoont haar baan een lus, zooals in onze figuur van de Mars-oppositie 1913—'14 te zien is. Deze schommelingen op en neer laten zich

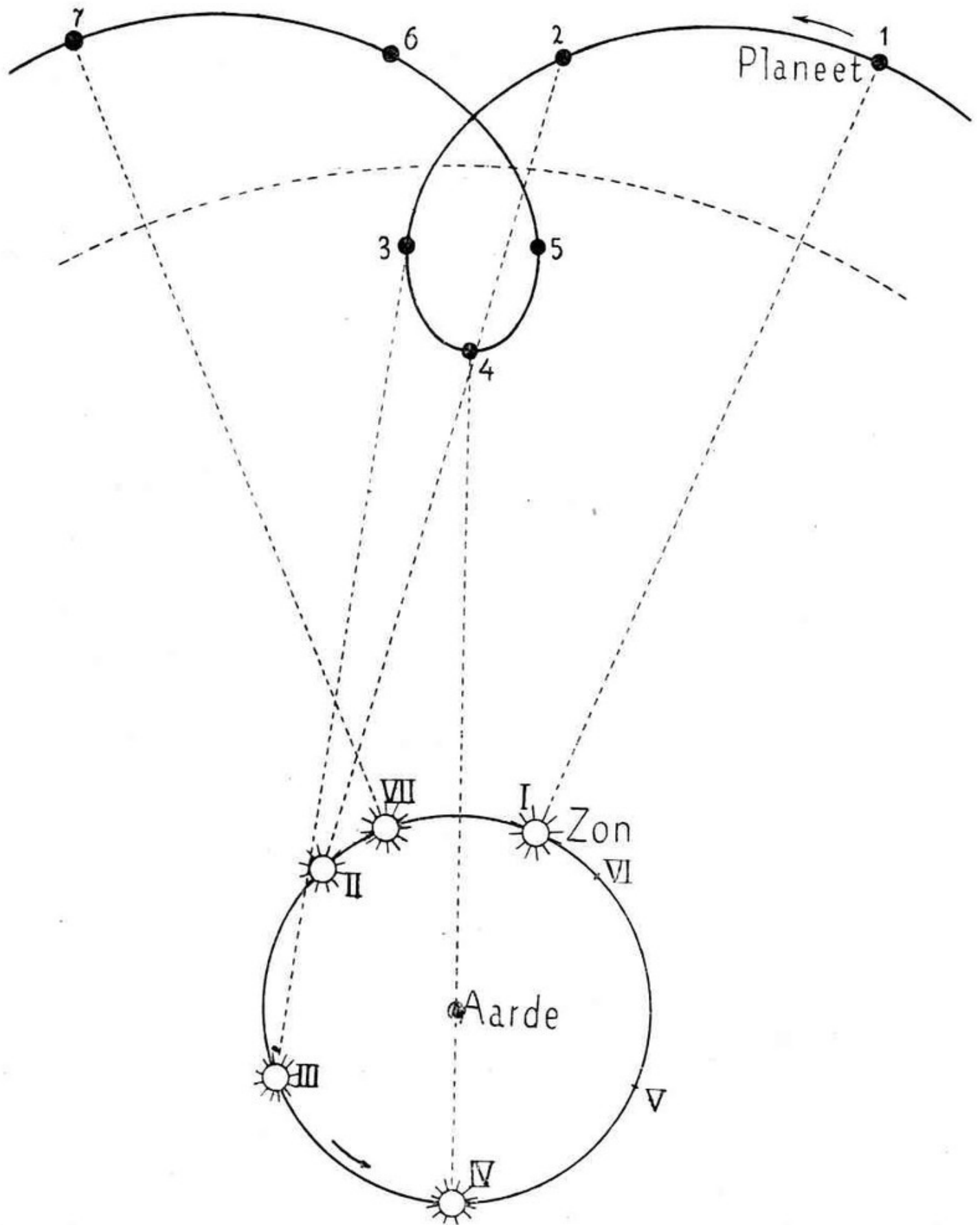
moeilijk beschrijven: de epicykeltheorie kon ze echter gemakkelijk verklaren door de beide cirkels scheef ten opzichte van elkander en van de ekliptika aan te nemen. Zetten wij in ons modelletje het kleine rad iets scheef op het groote, dan ziet de waarnemer in het middelpunt de lus schuin van onderen, en zij wordt hem dus, zij het ook in sterk samengedrukten vorm, als lus zichtbaar.

27. HET WERELDSTELSEL VAN COPERNICUS.

Met de epicykeltheorie was het eerste doel van de studie der planeten bereikt; zij geeft ons een theorie, die ons veroorlooft de ingewikkelde bewegingen der planeten aan den hemel vooruit te berekenen. Maar daarbij kon men toch niet blijven staan; zij leidde vanzelf tot verdere stappen op den weg der verklaring van de hemelverschijnselen.

Wij hebben opgemerkt, dat bij Venus en Mercurius het middelpunt van den epicykel met de zon meeloopt, of, zoo men wil, de zon zelf is, terwijl bij de andere planeten slechts een denkbeeldig punt als zoodanig dienst doet. Hier schijnt dus een fundamenteel onderscheid tusschen deze beide planeten en de andere drie te bestaan. Maar deze laatsten staan toch ook met de zon in verband.

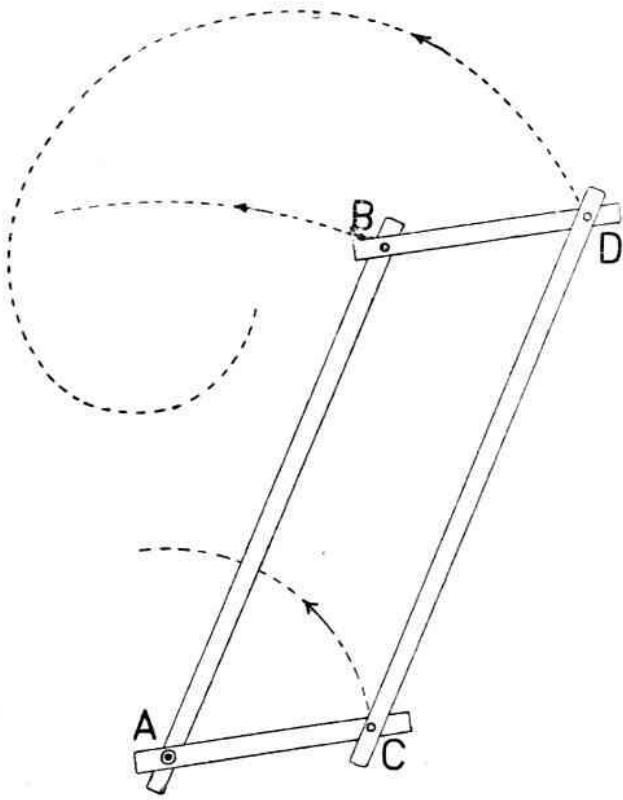
Als vaste regel voor de drie planeten Mars, Jupiter en Saturnus vonden wij, dat zij midden in hun teruglopende beweging in oppositie tot de zon, tegenover de zon staan, en midden in hun rechtlopende beweging in conjunctie, in samenstand met de zon. Wat beteekent dat? In onze tekening, waar behalve de lussenbaan van een planeet ook de cirkel van de zon geteekend is, en wel even groot als de epicykel van de planeet, moet, als de planeet in 1 staat, de zon zich in I bevinden, in dezelfde richting; is de planeet in 4 gekomen, midden in den teruggang, dan moet de zon tegenover haar in IV staan; en is de planeet in 7 weer midden in haar rechtlopende beweging, dan bevindt zich de zon in VII.



Wat zien wij nu? De planeet blijft altijd even ver van de zon verwijderd. Dat beteekent dus, dat zij een cirkel om de zon beschrijft. Dit komt natuurlijk alleen uit, als de zonnecirkel en de planeten-epicykel even groot zijn, zooals wij in onze figuur geteekend hebben. Hebben wij daartoe het recht? Het is met geen enkel feit in strijd; hoe de cirkels der verschillende hemellichamen tot elkaar staan, daarover weten wij nog niets en hebben wij ook nog geen onderstelling

gemaakt. Wij weten alleen, hoe groot bij ieder der planeten de epicykel in verhouding tot den leidcirkel is. Er is niets, dat ons verhindert om aan te nemen, dat bij Mars de leidcirkel $1\frac{1}{2}$ maal, bij Jupiter 5 maal, bij Saturnus 9 maal zoo groot is als de zonnecirkel; en dan is bij alle de epicykel juist even groot als de cirkelbaan van de zon.

Kan echter een planeet om twee middelpunten tegelijk een cirkelbeweging uitvoeren?



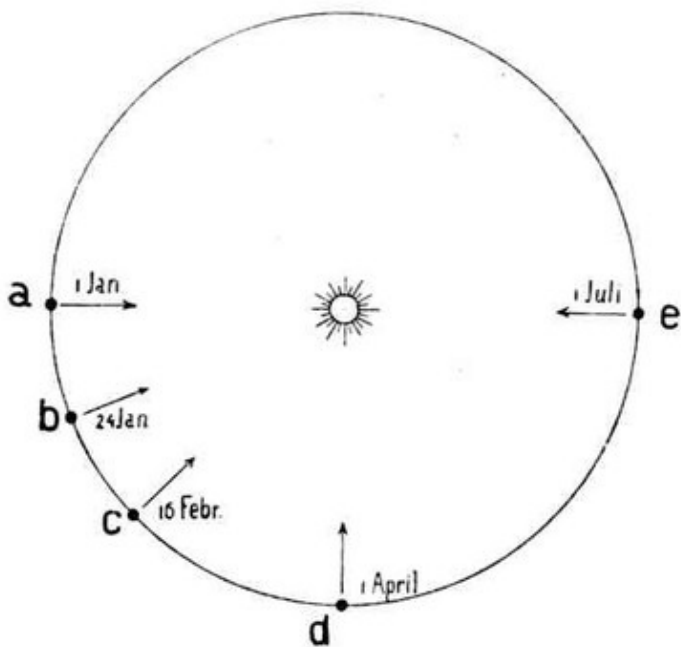
Het is gemakkelijk in te zien, dat dit inderdaad zeer goed kan. Wij maken daartoe uit latten een parallelogram, door ze twee aan twee evenwijdig draaibaar aan elkaar te bevestigen. Het hoekpunt A wordt met een pen vastgezet; het tegenoverliggende hoekpunt D kan dan de baan van een planeet nabootsen. Daartoe wordt de lange lat A B langzaam om A en tegelijk de korte lat B D snel in een kring om B rondgedraaid; de korte lat B D beschrijft dan den epicykel en de lange lat A B den leidcirkel. Daarbij moet natuurlijk de andere korte lat A C dezelfde beweging uitvoeren als B D, ook snel ronddraaien, en de andere lange lat C D vertoont dezelfde langzame beweging als A B. Hier zien wij, dat de planetenbeweging van D op twee verschillende manieren tot stand kan komen: niet alleen door de latten A B en B D, zooals wij tot nog toe aannamen, maar ook door de latten A C en C D; de planeet D draait langzaam in een grooten cirkel om C, en dit middelpunt C draait snel in een kleinen cirkel om het vaste punt A. Wij kunnen dus dezelfde planeten beweging ook zóó doen ontstaan, dat wij epicykel en leidcirkel met elkaar verwisselen, dus den kleinen snel doorloopen cirkel als leidcirkel en den grooten langzamen cirkel als epicykel nemen.

Voor de verschijnselen aan den hemel past de eerste voorstelling beter; wij zien de planeten daar om het middelpunt B, dat zelf langzaam voortwandelt, heen en weer schommelen, maar niet om het middelpunt C, dat soms zelfs recht tegenover de planeet staat. Wanneer wij echter op de beweging in de ruimte letten, dan verdient de tweede manier van voorstelling de voorkeur; want, terwijl B slechts een denkbeeldig punt is, waar zich niets bevindt, is C de plaats van de zon. Kiezen wij dus dezen vorm voor de beschrijving van de planetenbeweging, dan vinden wij: niet alleen Venus en

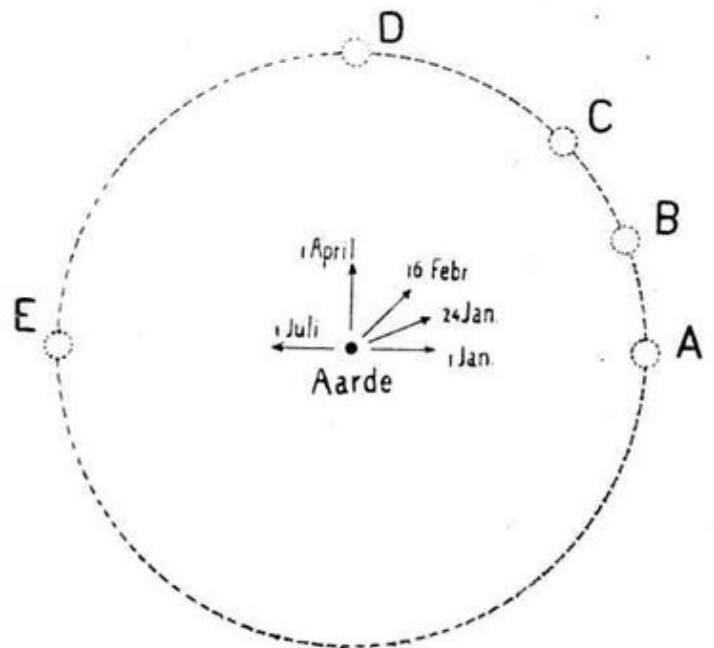
Mercurius, maar ook de andere planeten loopen in cirkels om de zon als middelpunt; de jaarlijksche baan van de zon is hun gemeenschappelijke leidcirkel. Hun verschil bestaat alleen hierin, dat bij Venus en Mercurius de epicykel kleiner, bij de andere planeten grooter dan de leidcirkel is, terwijl hij bij Venus en Mercurius sneller, bij de andere planeten langzamer dan de leidcirkel doorloopen wordt. Hierbij is in het oog te houden, dat wij nog altijd op den bodem van het stelsel van Ptolemaeus staan. Wij hebben er alleen iets aan toegevoegd: terwijl bij Ptolemaeus de grootte der verschillende cirkels onbepaald bleef, nemen wij er bepaalde waarden voor aan, en wel zulke waarden, dat de kleine cirkels bij Mars, Jupiter en Saturnus even groot als de zonnebaan worden. Nemen wij dat aan, dan bewegen zich alle planeten, terwijl ze hun kleine epicykels om B beschrijven, tegelijk werkelijk in cirkels om de zon; dan is de zon in C inderdaad het gemeenschappelijk middelpunt van hun bewegingen, dat zelf om de aarde A, het middelpunt der wereld rondloopt.

Er blijft nu nog slechts één verdere stap te doen, een stap, dien Copernicus in zijn reeds genoemd werk "Over de omloopsbewegingen" gedaan heeft. Wanneer de zon het middelpunt van alle planetenbanen is, is het dan niet natuurlijker, dat de zon in het middelpunt van de wereld staat? Dan beweegt de zon zich ook niet meer jaarlijks om de aarde, maar de aarde beweegt zich jaarlijks in een cirkel om de zon in het wereldcentrum.

Dat dit voor de verschijnselen, die de zon ons toont, op hetzelfde neerkomt, is gemakkelijk in te zien. Wij weten, dat wij bij alle bewegingen, die wij waarnemen, alleen maar van relatieve bewegingen, van bewegingen ten opzichte van onszelf kunnen spreken, en niet kunnen uitmaken, in hoeverre onze eigen beweging er de oorzaak van is.



Baan van de aarde om de zon.

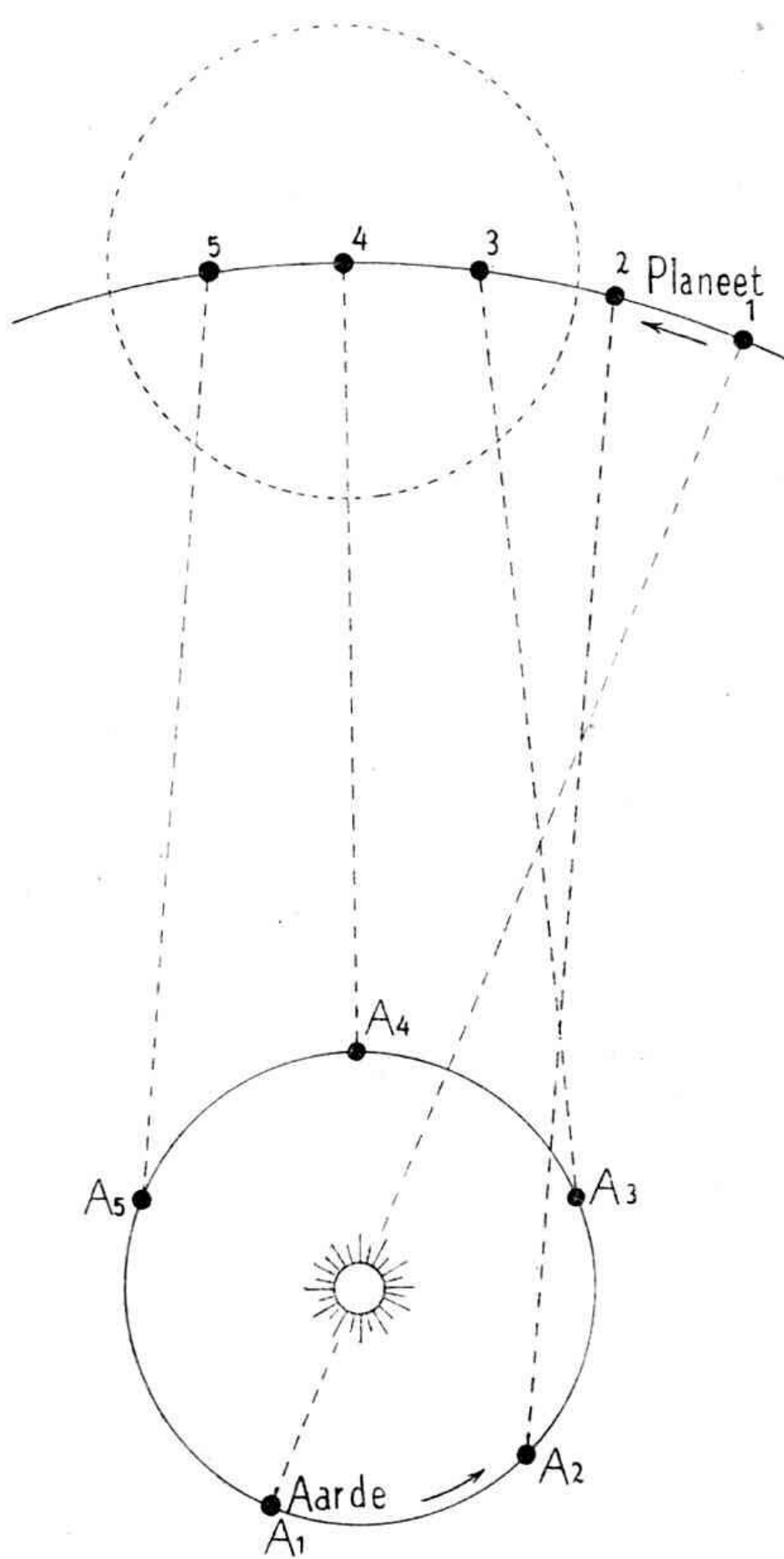


Baan van de zon om de aarde.

Bevindt zich de aarde bij haar jaarlijkschen kringloop om de zon achtereenvolgens in de plaatsen a, b, c, d, e, dan ziet men van daaruit de zon in de richting der pijlen; het moet ons dan schijnen alsof de zon, om ons heen loopend, zich achtereenvolgens op de plaatsen A, B, C, D, E bevindt.

Maar ook voor de planetenbewegingen komt het op hetzelfde neer. Bevindt zich een planeet in het punt

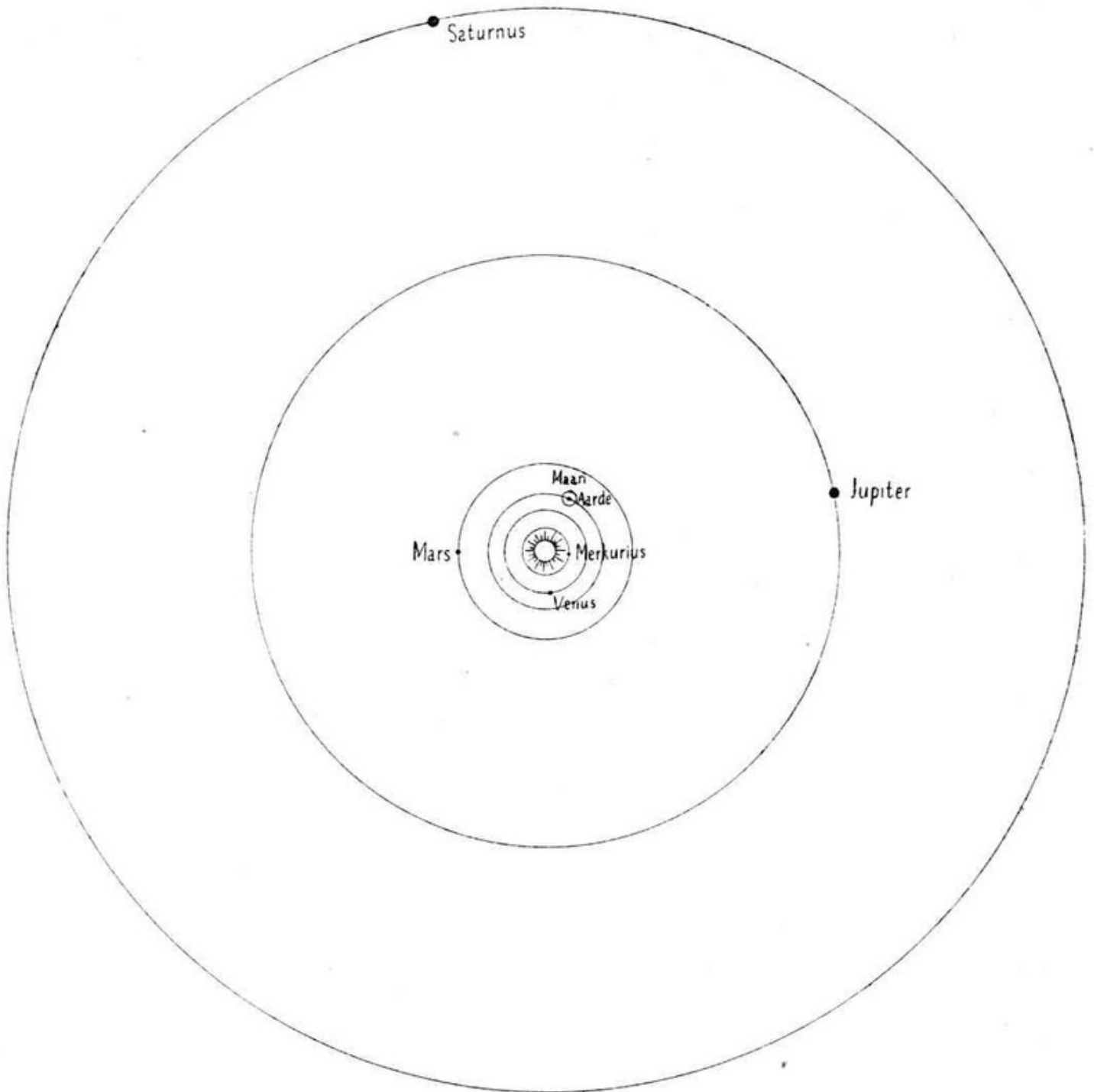
4, dan zal de aarde, die zich in een kring om de zon beweegt, nu eens dicht bij haar komen, dan weer verder af zijn, haar nu eens meer van links, dan weer meer van rechts beschouwen. Hun plaats ten opzichte van elkaar is volkomen dezelfde, als wanneer de planeet een cirkel om het punt 4 beschreef en de aarde in rust was. Daar wij van de beweging der aarde, die ons in een kring, nu eens naar de planeet toe, dan weer van de planeet af, rondvoert, niets bemerken, schijnt het ons toe, dat de planeet zich in een cirkel beweegt; en deze cirkel is niets anders dan een spiegelbeeld van den loopkring der aarde. Zooveel de aarde naar rechts loopt, zooveel schijnt de planeet naar links te loopen; is de aarde in het hoogste punt, dicht bij de planeet, dan schijnt de planeet in het laagste punt van haar baan, dicht bij de aarde te zijn.



Dit alles geldt nu nog juist zoo, wanneer de planeet niet rustig in het punt 4 blijft stilstaan, maar regelmatig voortloopt; ook dan schijnt zij voortdurend in een cirkel om haar werkelijke plaats heen te loopen. De epicykel is eenvoudig het spiegelbeeld van de aardbaan. Vergelijken wij de afbeelding op deze bladzijde met die op [blz. 171](#), dan is de beweging van planeet en

aarde ten opzichte van elkaar op beide precies dezelfde. Doorloopt de planeet de plaatsen 1, 2, 3, 4, 5 en de aarde tegelijk A1, A2, A3, A4, A5, dan veranderen afstand en richting van de planeet voor ons op dezelfde manier, als wanneer, naar het vroegere beeld, de aarde stilstaat en de planeet in haar lussenbaan de plaatsen 1, 2, 3, 4, 5 doorloopt. In de oppositie is dus de planeet zoo dicht bij ons, omdat de aarde tusschen haar en de zon doorloopt; en omdat de aarde daar sneller dan de planeet voortloopt, schijnt de planeet ons dan aan den hemel terug te loopen.

De bewegingen, die wij bij de planeten opmerken, worden dus met behulp van den jaarlijkschen kringloop der aarde om de zon evengoed verklaard als vroeger door de epicykeltheorie. Maar wat is de nieuwe verklaring oneindig veel eenvoudiger! Alle epicykels zijn verdwenen, en in hun plaats is een enkele beweging, die van de aarde om de zon gekomen, waarvan zij het spiegelbeeld zijn.



Het zonnestelsel volgens Copernicus.

En in plaats van de moeilijke voorstelling van een zon, die om de aarde zou loopen en daarbij alle planetenbanen mee in het rond zou slepen, treedt een wereldstelsel van ongedachten eenvoud. De aarde heeft een plaats midden tusschen de om de zon cirkelende planeten gevonden: de aarde is zelf een planeet. Daar de banen van Mercurius en Venus kleiner dan de vroegere zonsbaan zijn, die nu aardbaan geworden is, en de banen der andere planeten groter, moet de aarde haar plaats tusschen deze beide planetengroepen vinden. Het dichtst bij de zon heeft Mercurius zijn cirkel, dan volgt Venus; de grootte van hun banen is 0,37 en 0,72 maal die der aardbaan. Dan komt de aarde; van den geheelen stoet van hemellichamen, die vroeger om haar liepen, is alleen het naaste, de maan overgebleven, die haar in haar jaarlijkschen kringloop begeleidt, terwijl zij maandelijks haar kleine cirkeltje om de aarde beschrijft. Op de aarde volgt Mars op $1\frac{1}{2}$ maal groter afstand; dan Jupiter met 5 maal en Saturnus met 9 maal groter loopbaan. De rangorde, die de aarde als derde in de reeks der planeten inneemt, verklaart waarom de verschijnselen bij de "binnenplaneten" Venus en Mercurius zoo geheel anders zijn dan bij de drie anderen, de "buitenplaneten". En alle verschijnselen der planeten, die eerst zoo ingewikkeld leken, vinden nu een eenvoudige verklaring uit de verbinding van de beweging van die planeten zelf en de beweging van onze eigen aarde.

Zoo is het planetenstelsel opgebouwd, met de zon als licht- en warmtebron in het centrum; daarom mag het met evenveel recht ook zonnestelsel heeten. "In het midden echter van allen staat de zon. Want wie zou in dezen schoonsten tempel aan deze lamp een andere of betere plaats willen toewijzen, dan de plaats, van waaruit zij het geheel verlichten kan? Want niet te onpas hebben sommigen haar het licht der wereld, anderen de ziel, nog anderen de beheerscher genoemd... Zoo bestuurt inderdaad de zon, op haar koninklijken troon gezeten, de haar omcirkelende familie van gesternten."

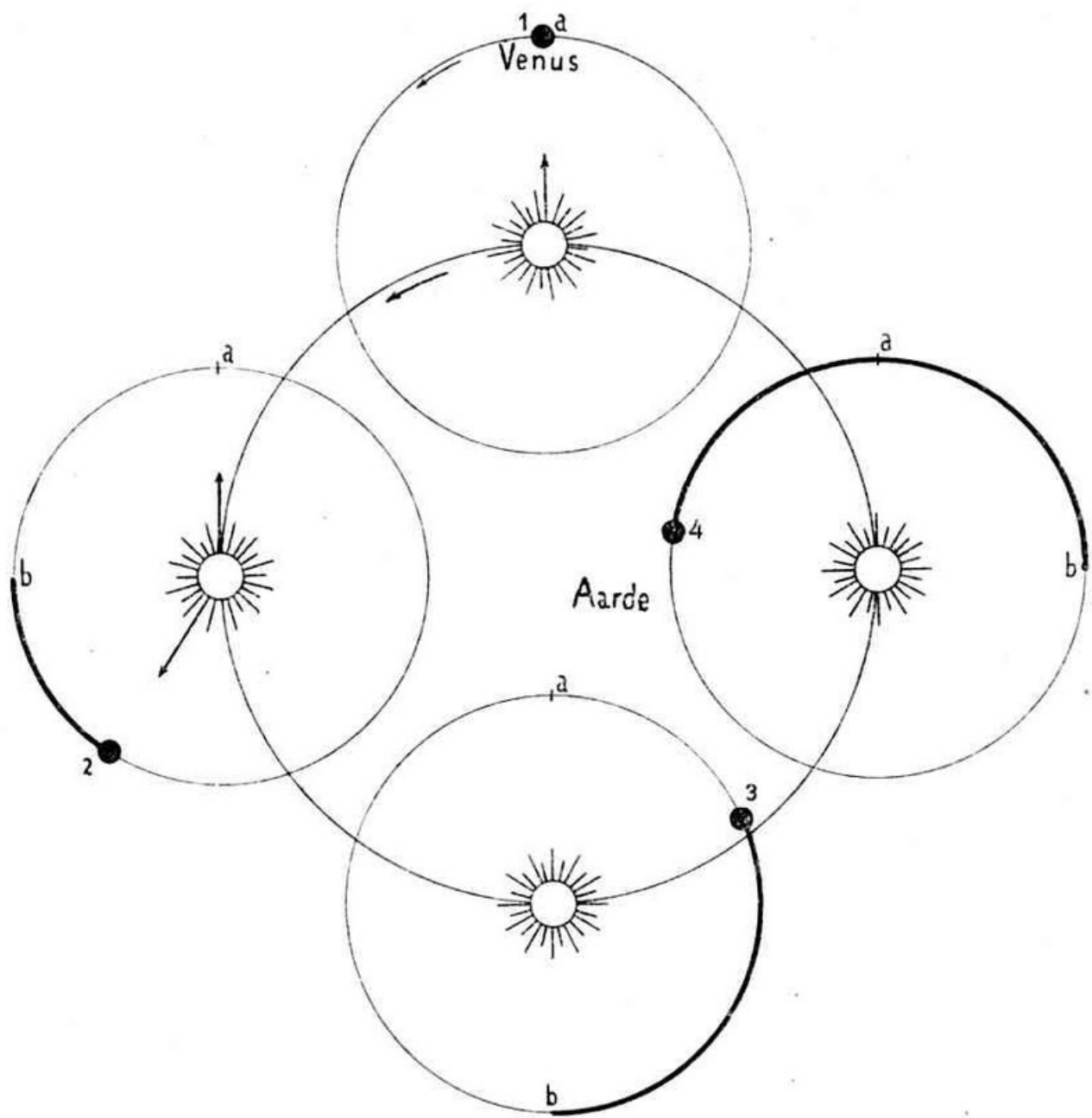
Zoo schreef Copernicus in zijn boek, waarin hij, na eerst de wenteling van de aarde om haar as te hebben betoogd, haar ook uit het middelpunt der wereld verwijderd. Op dezen grondslag bouwt hij een geheel nieuwe behandeling van de bewegingen der planeten op, en hij leidt dit met de volgende beschouwingen in:

"Daar dus aan de beweeglijkheid van de aarde niets in den weg staat, moet, naar ik meen, nu onderzocht worden, of haar ook meerdere bewegingen toekomen, zoodat zij voor een planeet kon worden gehouden. Want dat zij niet het middelpunt van alle kringloopen kan zijn, bewijzen de schijnbaar onregelmatige bewegingen der dwaalsterren en hun veranderlijke afstanden tot de aarde, die uit cirkels om de aarde als middelpunt niet verklaard kunnen worden. Daar dus toch meerdere middelpunten moeten bestaan, kan iemand omtrent het middelpunt der wereld niet lang in twijfel zijn, of het het centrum der aardsche zwaarte is of een ander." Leidde Aristoteles dan niet uit de zwaarte, die wij bij alle aardsche voorwerpen bemerken, terecht af, dat de aarde in het centrum der wereld moet staan? Neen, zegt Copernicus: "Ik ben van meening, dat de zwaarte niets anders is dan een zekere, door de goddelijke voorzienigheid van den bouwmeester der wereld in alle deeltjes ingeplante neiging, zich tot een eenheid en een geheel te vereenigen, door zich in den vorm van een bol samen te voegen. Het is aannemelijk, dat deze neiging ook in de zon, de maan en de overige dwalende hemellichamen voorhanden is, en dat zij daardoor de ronde gedaante behouden, waarin zij ons verschijnen, terwijl zij toch tegelijkertijd hun veelsoortige kringloopen beschrijven. Wanneer dus ook de aarde nog andere bewegingen heeft dan om haar eigen middelpunt, moeten die noodzakelijk zóó zijn, dat zij naar buiten in vele soortgelijke verschijnselen te voorschijn treden; en onder deze vinden wij den jaarlijkschen omloop. Want indien men dezen omloop van de zon op de aarde overdraagt en de onbeweeglijkheid der zon aanneemt, zullen wij het verschijnen en verdwijnen der sterrebeelden en vaste sterren, waardoor ze morgen- en avondsterren worden, op dezelfde manier waarnemen; en men zal zien, dat ook het stilstaan, het terugloopen en het vooruitloopen der planeten geen

bewegingen van hen zelf, maar van de aarde zijn, die deze aan hun verschijnselen leent. Ten slotte zal men van meening zijn, dat de zon zelf het midden der wereld inneemt; en dit alles leert ons de redelijkheid van de orde, waarin zij allen op elkaar volgen, en de harmonie der geheele wereld, wanneer men slechts de zaak, zooals men zegt, met beide oogen wil aanzien."

Nu was er echter nog een ernstige moeilijkheid, die deze nieuwe opvatting in den weg stond. Wanneer wij door de beweging der aarde de verste planeten Jupiter en Saturnus sterk heen en weer zien schommelen, dan moeten wij iets dergelijks ook bij de nog verder verwijderde sterren waarnemen. Iedere ster moet een schijnbare jaarlijksche beweging vertoonen, die het spiegelbeeld van de werkelijke jaarlijksche beweging der aarde is, en die natuurlijk des te kleiner is, naarmate de ster verder van ons verwijderd is. Van zooiets is echter niets te bespeuren; de sterren blijven altijd precies op dezelfde plaatsen van den hemel staan. Bewijst dat nu niet, dat in werkelijkheid de beweging van de aarde om de zon niet bestaat? De tegenstanders van de leer van Copernicus hebben zich inderdaad daarop beroepen, om de onjuistheid van zijn wereldstelsel te betoogen. Copernicus zelf heeft daarop reeds van te voren dit antwoord gegeven, dat de sterrenhemel zoo onmetelijk ver van ons verwijderd is, dat de geheele aardbaan, daarmee vergeleken, slechts als een punt is. Daarom zijn de schijnbare jaarlijksche kringen der sterren voor ons onmerkbaar klein. De latere uitkomsten der wetenschap hebben bewezen, dat hij daarin gelijk had.

De perioden, die wij tot nog toe voor de verschijnselen der planeten gevonden hebben, kunnen nu ook niet meer als hun werkelijke perioden gelden. Want zij hangen van de beweging der planeet en van die der aarde te zamen af. De werkelijke periode, die aan een planeet eigen is, is haar omlooptijd om de zon. Voor de ver verwijderde buitenplaneten kennen wij deze al: het is de tijd, dien de planeet gebruikt, om eenmaal den geheelen dierenriem om te wandelen. Voor Venus en Mercurius is deze omlooptijd uit de volgende beschouwing te vinden. In $\frac{1}{4}$ jaar doorloopt Venus, naar de oude theorie, $\frac{1}{6}$ van haar epicykel; was zij dus eerst in het buitenste punt a van den epicykel, in 1, dan is ze na $\frac{1}{4}$ jaar $\frac{1}{6}$ epicykelomtrek verder dan dit buitenste punt, in 2 gekomen. Maar dit uiterste punt, van waaruit de epicykelbeweging gerekend wordt, is nu niet meer a, maar b; het heeft met de zon mee $\frac{1}{4}$ van den omtrek doorloopen, en van de zon uit gezien, heeft Venus, vanaf a, $\frac{1}{6}$ en nog bovendien $\frac{1}{4}$ van haar omloop volbracht. Evenzoo heeft zij na 9 maanden, als ze in 4 aangekomen is, de helft van haar epicykel b-4, maar vanuit de zon gezien en met de zon samen nog bovendien $\frac{3}{4}$ van haar baan doorloopen. Had zij geen epicykelbeweging en bleef zij steeds in het buitenste punt van den epicykel, dan zou zij van de zon uit gezien, in een jaar om de zon rondloopen; nu komt de epicykel beweging daar nog bij. Vinden wij dus, zooals op [blz. 164](#) vermeld is, dat 5 perioden van Venus in 8 jaren volbracht worden, dan heeft Venus in dien tijd in werkelijkheid $5 + 8 = 13$ omloopen om de zon volbracht.



Volgens de nieuwe theorie zeggen wij: Venus loopt 13 maal om de zon in denzelfden tijd als de aarde 8 keer omloopt; Venus haalt dus in dien tijd de aarde 5 keer in, en wij zien 5 keer achter elkaar dezelfde reeks van verschijnselen zich herhalen. Evenzoo vinden wij voor Mercurius, dat hij in een jaar 3 perioden voltooit, dus 4 maal om de zon loopt.

Uit de vroeger opgegeven getallen voor de waargenomen perioden der planeten vinden we dus nu:

bij Saturnus: 2 omloopen zijn 59 jaren, dus de omloopstijd is $29\frac{1}{2}$ jaar; bij Jupiter: 6 omloopen zijn 71 jaren, dus de omloopstijd is 11 jaar 10 maanden; bij Mars: 42 omloopen zijn 79 jaren, dus de omloopstijd is 1 jaar 322 dagen; bij de aarde: omloopstijd $365\frac{1}{4}$ dagen; bij Venus: 13 omloopen zijn 8 jaren, dus de omloopstijd is 225 dagen; bij Mercurius: 191 omloopen zijn 46 jaren, dus de omloopstijd is 88 dagen.

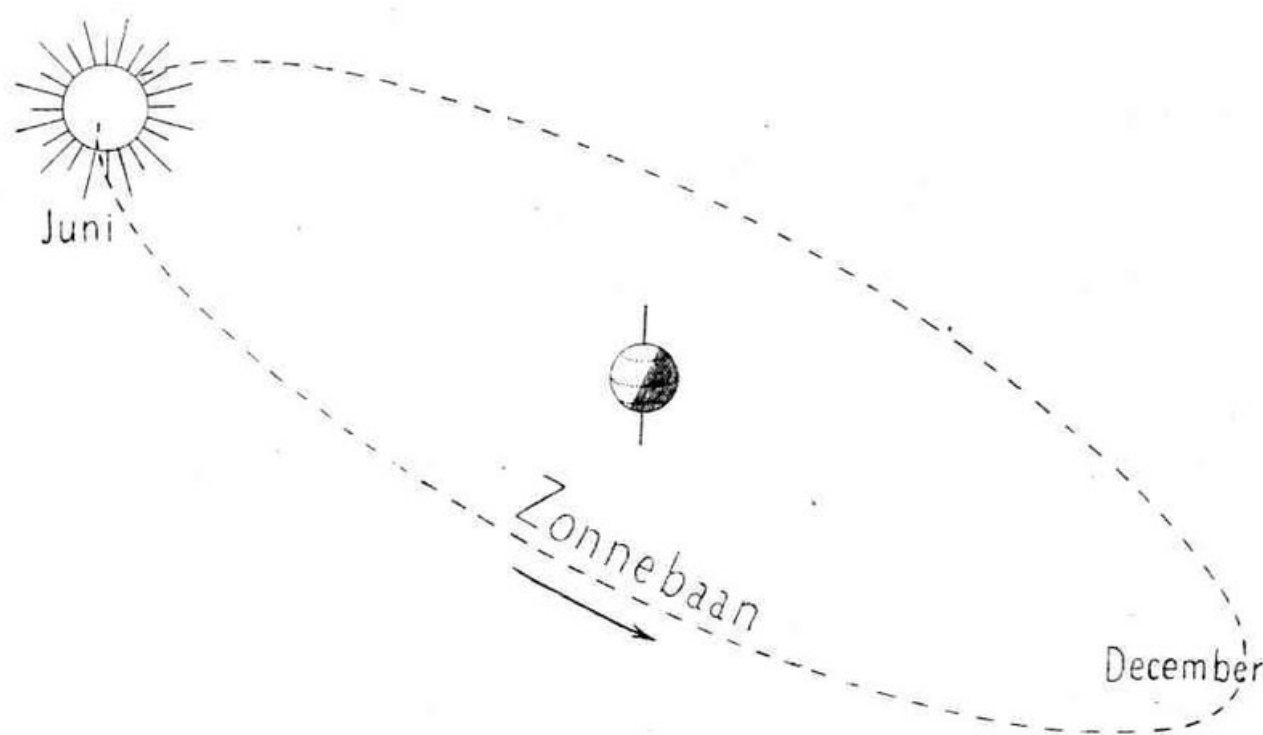
Wij zien, dat de omloopstijden regelmatig met den grooteren afstand tot de zon toenemen, en wel in nog sterker mate dan de afstanden zelf; de planeten bewegen zich dus des te langzamer in hun banen, naarmate zij verder van de zon verwijderd zijn.

28. DE AARDE ALS PLANEET.

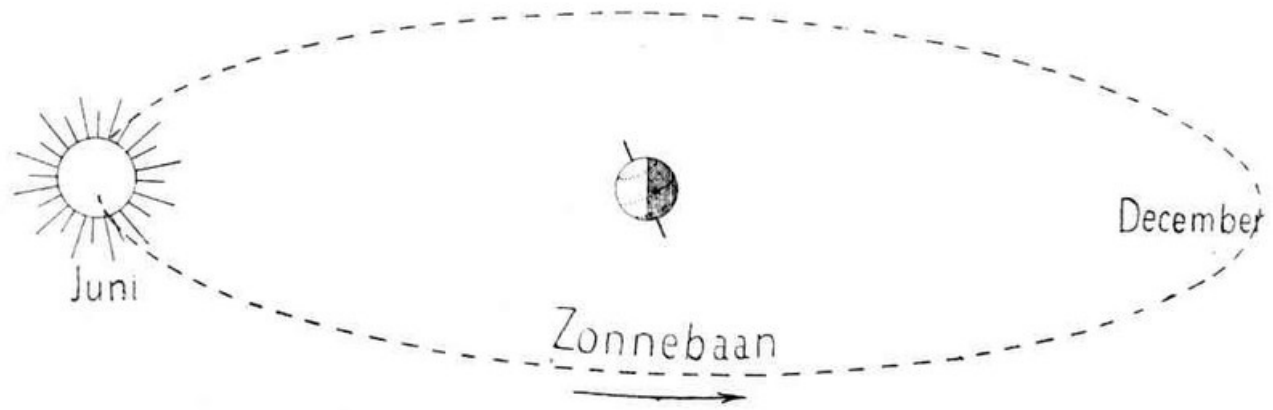
Langs een langen weg zijn wij van ons eerste wereldbeeld, over meerdere tussenstations, nu tot deze nieuwe opvatting der wereld gekomen, die zoo geheel en al van het uiterlijk aspect der hemelverschijnselen afwijkt. Laten wij op dezen weg nog een oogenblik terugzien.

De onmiddellijke ervaring toonde ons, dat de zon, evenals ook de maan en de sterren, in scheefliggende cirkels om ons loopt, opstijgt en ondergaat en zoo de wisseling van dag en nacht bewerkt. Van deze ervaring kwamen wij tot de voorstelling van een reusachtigen hemelbol, die dagelijks om de hemelas wentelt en de zon en de sterren meeneemt. Wij leerden onze eigen aarde als een bol in het midden van dezen hemel kennen; wij bemerkten, dat de scheeve stand van de hemelas slechts een toevallige eigenschap van onze woonplaats op deze aarde is, en konden zoo onze gedachten van deze bijzonderheid vrij maken. Boven en onder, scheef en recht zijn woorden, die voor den hemel geen bepaalden zin meer hebben; het eenige wat aan hem bepaald is, is de richting van de as. Doordat wij ten slotte tot het inzicht kwamen, dat de draaiing van den hemel slechts schijn is, en wij deze draaiing op de aarde overbrachten, werd de hemelbol met zijn sterren stilgezet. Daarmee is de hemelbol zelf overbodig geworden; wanneer elke ster toch stil op haar plaats in de wereld blijft staan, hebben ze geen verbinding met elkaar meer noodig. Midden in deze wereld draait de aarde in 24 uren om haar as, en iedere plaats op aarde heeft daardoor beurtelings dag en nacht.

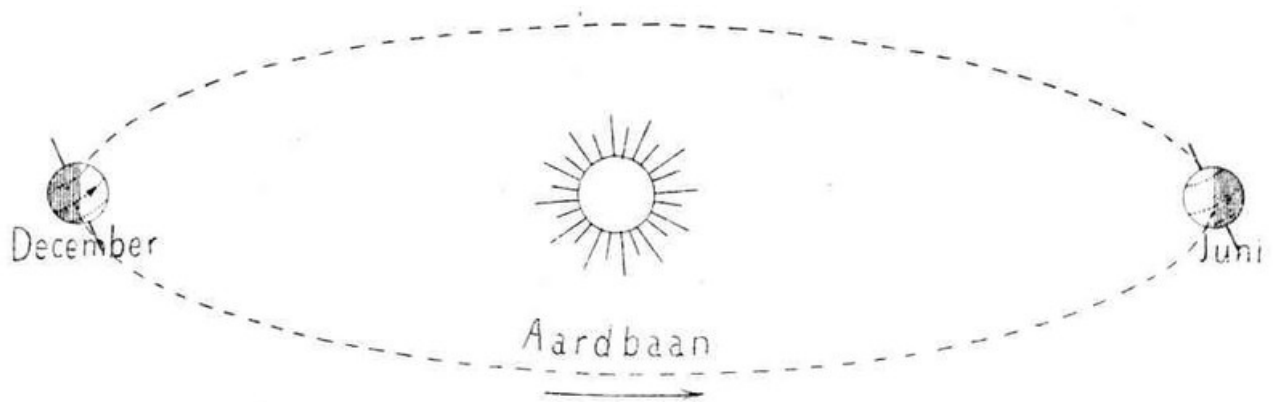
De ervaring had ons ook geleerd, dat de zon, de maan en de planeten geen vaste plaatsen aan den hemelbol innemen, maar zich langs den hemel in banen bewegen. Nu de hemel stilgezet en de hemelbol verdwenen is, blijven deze banen als eenige beweging der hemellichamen over. In een jaar loopt de zon in een cirkel om de aarde heen; deze cirkel, de ekliptika, ligt scheef ten opzichte van de aardas.



Teekenen wij de aardas in onze figuur rechtop, dan staat de zon in Juni aan den eenen kant boven en verlicht zoo de Noordpool der aarde, terwijl de Zuidpool in duister blijft; door de aswenteling komen alle plaatsen op het Noordelijk halfrond het grootste deel van den dag in de lichthelft, het kleinste deel in de schaduwhelft van de aarde, terwijl het voor het Zuidelijk halfrond juist omgekeerd is. Staat de zon een half jaar later aan den anderen kant beneden, dan wordt omgekeerd de Zuidpool verlicht en ligt de Noordpool in de schaduw. Zoo worden de jaargetijden verklaard als gevolg van den scheeven stand der ekliptika ten opzichte van de aardas. Wij kunnen dit echter evengoed een scheeven stand van de aardas ten opzichte van de ekliptika noemen; daar de banen van alle planeten in de buurt van de ekliptika liggen, is het veel gepaster, deze ekliptika als grondvlak te nemen. Wij draaien dus liever de eerste figuur een weinig om en teekenen haar zóó als deze tweede figuur, met de aardas scheef ten opzichte van ons grondvlak.



Nu zijn wij ten slotte door ons onderzoek van de planetenbeweging tot het inzicht gekomen, dat de zon in het midden staat, en dat de aarde in een jaarlijkschen kring om haar heenloopt. Teekenen we de figuur nu daarmee overeenkomstig, dan zien wij, dat ook in deze nieuwe voorstelling de jaargetijden ontstaan door den scheeven stand van de aardas ten opzichte van de ekliptika.



Maar wat bij de rustende aarde vanzelfsprekend was, moet nu, als iets bijzonders, extra genoemd en onderstreept worden: bij de jaarlijksche wandeling om de zon behoudt de aardas altijd dezelfde schuine richting en blijft steeds naar hetzelfde punt van den hemel gericht.

Daarin ligt nu ook niets wonderbaarlijks. Wij weten, dat een snel ronddraaiend voorwerp tracht zooveel mogelijk zijn as in dezelfde richting te houden, en zelfs weerstand biedt aan een kracht, die zijn stand tracht te veranderen; iedereen heeft wel eens gezien, hoe een tol door zijn snelle ronddraaiing verhinderd wordt te vallen. Daarom moet ook de aarde, terwijl zij door de ruimte zweeft, door haar snelle aswenteling steeds denzelfden stand der as behouden. Men kan zich niets eenvoudigers en natuurlijkers voorstellen: een wereldbol, die snel om zijn scheefstaande as draait en zoo bij zijn cirkelbeweging om het centrum der wereld steeds zijn as in dezelfde richting houdt. En daardoor worden niet alleen alle dagelijksche en jaarlijksche wisselingen in de hemelverschijnselen evengoed verklaard als bij onze vroegere opvattingen, maar bovendien worden de ingewikkelde planetenbewegingen op de eenvoudigst denkbare manier begrijpelijk gemaakt. Maar welk een tegenstelling tusschen deze werkelijkheid en onzen eersten zinsindruk! Terwijl de menschen op grond van hun dagelijksche, maar oppervlakkige ervaring den grond onder hun voeten voor den onwankelbaarsten en meest vaststaanden grondslag der dingen houden — in ons dagelijksch leven bevredigt ons die voorstelling ook volkomen — heeft de studie der hemelverschijnselen ons genoodzaakt, aan dezen aardbodem een dubbele beweging toe te kennen, de wenteling om de aardas en den jaarlijkschen kringloop om de zon.

Copernicus was niet de eerste, die op de gedachte kwam om de hemelverschijnselen door een beweging van de aarde te verklaren. Wij hebben er reeds op gewezen, dat het in het geheel niet in den geest van zijn tijd lag, het gezag van de oude wereld te willen aantasten. Juist omgekeerd bestaat de groote geestelijke beweging van dien tijd in een "renaissance", een wederopleven van de antieke kunst en wetenschap; en voor elke nieuwe leer zocht men naar klassieke voorgangers, op wier eerwaardige namen men zich zou kunnen beroepen. Daarom wees ook Copernicus er op, dat niet alle denkers der oudheid het wereldstelsel van Ptolemaeus hadden aangehangen. In zijn opdracht aan den paus voor in zijn werk vermeldt hij, dat Philolaus, de Pythagoreër, en andere filosofen der oudheid een beweging der aarde geleerd hadden. Daarom werd in de diskussies in de 16^{de} eeuw het stelsel van Copernicus, om op een erkende oude autoriteit te steunen, steeds als het "Pythagoreïsche" wereldstelsel tegenover het Ptolemaeïsche gesteld. In werkelijkheid was de bedoelde leer van den Pythagoreër Philolaus, een tijdgenoot van Sokrates, heel iets anders; hij nam, om de dagelijksche draaiing van den hemel te verklaren, aan, dat de aarde eens per dag om een centraalvuur rondliep, dat zich, voor ons onzichtbaar, aan de andere zijde der aarde bevond.

Daarentegen heeft een ander, de reeds vermelde Aristarchus van Samos, die een eeuw na Aristoteles leefde, wel de beweging van de aarde om de zon aangenomen. Wij weten dit niet uit eigen geschriften van hem, maar alleen uit toevallige mededeelingen van latere schrijvers. Zoo zegt de beroemde wiskundige Archimedes in zijn "Zandrekening" — een werkje, waarin hij uitrekent hoeveel zandkorrels het heelal zouden kunnen vullen: "Aristarchus van Samos heeft nu een boek met zekere hypothesen uitgegeven, waarin zijn onderstellingen tot de uitkomst leiden, dat het heelal vele malen grooter is dan wat ik zooeven gezegd heb. Hij neemt aan, dat de vaste sterren en de zon onbeweeglijk zijn; dat de aarde zich in een cirkel om de zon beweegt, die in het middelpunt van haar baan staat; en dat de sfeer der vaste sterren om hetzelfde middelpunt zoo groot is dat de cirkel, dien hij de aarde laat doorloopen, zich tot den afstand der vaste sterren zoo verhoudt als het middelpunt van een bol tot zijn oppervlak." ¹⁾ En evenzoo vermeldt later Plutarchus van hem, dat hij "om de verschijnselen te verklaren, aannam, dat de hemel stilstond en de aarde zich in een schuinen cirkel bewoog, terwijl zij tegelijk om haar as draaide." Wij weten dus ook niet, welke gronden hem tot zijn opvatting gebracht hebben. Waarschijnlijk hangen ze samen met zijn reeds vroeger vermelde vernuftige bepaling van den afstand der zon. Hij vond, dat de zon 19 maal verder dan de maan van ons verwijderd is, dus ook 19 maal grooter in middellijn moet zijn; daar de maanmiddellijn 4 maal kleiner dan die van de aarde is, moet de zon de aarde in middellijn ongeveer 5 maal, dus in inhoud wel 100 maal te boven gaan. Daarom is het hem waarschijnlijker voorgekomen, dat de groote zon en niet de kleine aarde het middelpunt der wereld innam. Nadat te voren reeds Herakleides en de sterrekundigen van Alexandrië de planeten Venus en Mercurius om de zon lieten loopen, was het niet zoo heel vreemd, dat een later, nog verder ziend denker de zon tot middelpunt van alle bewegingen maakte.

Men heeft er zich dikwijls over verwonderd en het bejammerd, dat de oudheid, nadat zij zoo het ware wereldstelsel gevonden had, toch weer in de dwaling terugviel en zich op den valschen weg der epicykeltheorie begaf. Wie zoo spreekt, heeft echter ongelijk. De tijd was toen voor de theorie van de zon als centrum nog niet rijp; deze theorie was nog niet een noodzakelijkheid en beteekende niet meer dan een vernuftige fantasie. Om de verschijnselen der planeten voor te stellen, was zij niet beter en niet slechter dan de epicykeltheorie, terwijl in andere opzichten de epicykeltheorie boven haar de voorkeur verdiende. Ten eerste stond de epicykeltheorie dichter bij de onmiddellijke aanschouwing; zij ontbond het heen en weer schuiven der planeten aan den hemel onmiddellijk in twee eenvoudige cirkelbewegingen. Toen dus in de oude wereld — vooral sinds de stichting van de bibliotheek in Alexandrië — een regelmatige beoefening der sterrekunde in den vorm van opzettelijke waarnemingen opkwam, en het er om te doen

was, in plaats van over vernuftige wereldtheorieën te fantaseeren, de verschijnselen goed weer te geven, toen moest een theorie, die de waargenomen bewegingen op de eenvoudigste manier wiskundig weergaf, stellig de voorkeur verdienen. Daarom was ook, zooals boven reeds uitgelegd werd, de epicykeltheorie de werkelijke konsekwentie der Alexandrijnsche verklaring van de beweging van Venus en Mercurius. Daarom was het werk van Hipparchus en Ptolemaeus geen achteruitgang, maar lag het op den weg der natuurlijke ontwikkeling; eerst op den grondslag eener volkomen opgebouwde epicykeltheorie kon de leer van de beweging der aarde als een nog betere theorie opgroeien.

In de tweede plaats was de leer van de beweging der aarde, die als uitdrukking der verschijnselen niet meer opleverde dan de epicykeltheorie, in tegenspraak met de algemeen geldende natuurkunde van Aristoteles. Dat gold ook nog voor den tijd van Copernicus zelf; daarom kon ook toen de nieuwe leer nog niet veel meer dan een eenvoudige wiskundige voorstelling der planetenbewegingen zijn. En waarschijnlijk zou het Copernicus niet veel beter gegaan zijn dan Aristarchus, wanneer niet zijn werk in een tijdperk van geweldige maatschappelijke ontwikkeling verschenen was, in het begin van een reusachtig snellen, door ontdekkingsreizen, technische uitvindingen en economische veranderingen voortgestuwden opbloei van het natuuronderzoek. Daardoor werd de leer van Copernicus tot iets meer dan een wiskundige theorie, die alleen de sterrekundigen interesseerde, en speelde zij spoedig een belangrijke rol in den geestesstrijd en de geweldige geestelijke beweging van dien tijd.

Want zij voert tot een geheel nieuwe wereldbeschouwing. De oude tegenstelling tusschen de vaste stoffelijke donkere aarde, waar alles wisselt en vergankelijk is, en den aetherischen hemel met zijn vurige onvergankelijke gesternten bestaat nu niet meer. De aarde is een planeet geworden, van dezelfde natuur als de schitterende dwaalsterren, die wij aan den hemel zien bewegen. De dwaalsterren zijn gelijkwaardig, dus zeker ook wel gelijksoortig met de aarde: de planeten zijn ook aardbollen, donker en stoffelijk als de aarde zelf. De aarde is niet meer het centrum en het hoofdlichaam van het heelal; kunnen de menschen, die op deze aarde wonen, nu nog langer gelooven, dat zij het doel van de geheele schepping zijn en dat deze er alleen voor hen is? De aarde is een ondergeschikt lichaam in het zonnestelsel geworden; andere gelijkwaardige wereldlichamen bevinden zich naast haar, die misschien wel evenzeer door levende en denkende wezens bewoond zijn. Ook de vaste bolschaal van den hemel is verdwenen, die als een pantser de wereld omsloot; vrij en zelfstandig staan de sterren in de eindeloze wereldruimte. En deze duizenden ver verwijderde, zelf lichtgevende sterren, zijn zij niet misschien óók zonnen, die alleen door den reusachtigen afstand zoo klein lijken? Worden zij misschien ook niet door donkere planeten omcirkeld, die ook aan levende wezens tot woonplaats strekken?

Toen deze gevolgtrekkingen langzamerhand duidelijk werden, was het onvermijdelijk, dat de heerschende geestelijke macht, de kerk, tegen de nieuwe leer optrad. In het begin was er van zulk een vijandschap geen sprake geweest, noch bij de katholieken, noch bij de nieuwe protestantsche kerk; de leer van Copernicus werd eenvoudig als een nieuwe en belangrijke wiskundige theorie beschouwd, die alleen de geleerden aanging. Mochten ook Luther en Melancthon als bijbelvaste theologen niets van haar willen weten, zoo was het juist een jong geleerde uit Wittenberg, Rheticus, die als eerste geestdriftige aanhanger en verkondiger van het nieuwe wereldsysteem optrad, terwijl een ander Wittenberger Erasmus Reinhold, het werk van Copernicus tot grondslag van zijn nieuwe planetentafels maakte. Ook is bekend, hoe Copernicus door de hoogste prelaten van de katholieke kerk aangemoedigd werd, in het belang der wetenschap zijn werk uit te geven, dat hij aan den paus opdroeg. De kerk was gedurende de middeleeuwen de draagster van alle geestelijke cultuur geweest, en in het tijdvak der renaissance beschermden en bevorderden de hooge geestelijken de ontwakende kunst en wetenschap, die aan de pas

ontsloten kultuur der antieke wereld aanknoopte, met groote toewijding. Maar deze houding der kerk moest veranderen, toen de scheuring der kerk, de hervorming der 16^{de} eeuw, haar dwong zich steviger te organiseeren om strijdend haar macht te verdedigen. Meer dan vroeger was nu een scherpe geestelijke discipline noodig, en onverbiddelijk moest zij voortaan op alles letten, wat aan de vastgestelde geloofsleer afbreuk zou kunnen doen. Daarom moest zij ook in strijd met het Copernicaansche wereldstelsel komen, zoodra het duidelijk werd, welke met haar leer strijdige konsekwenties daaruit afgeleid werden. Dat ondervond Giordano Bruno, die als geestdriftig apostel der nieuwe leer door Europa trok, met groote durf en fantasie de vèrststreckende gevolgtrekkingen uit haar afleidde en de oneindigheid der wereld leerde, waarin overal bewoonbare planeten om ver verwijderde zonnen rondloopen; hij werd in Italië gegrepen en om zijn filosofische leerstellingen in 1600 te Rome als ketter verbrand. Maar reeds een paar jaar later werd de strijd ten gunste van de nieuwe leer beslist.

In de 16^{de} eeuw waren er nog maar weinige geleerden, die het met het wereldstelsel van Copernicus hielden; de meesten wilden er niet van weten. Twee moeilijkheden stonden haar algemeene aanneming in den weg en gaven tegenover haar onbetwistbare wiskundige eenvoudigheid den doorslag. Ten eerste was de beweging der aarde in tegenspraak met de primitieve ervaringen, die in de overgeleverde en vastgewortelde natuurkunde van Aristoteles hun theoretische uitdrukking vonden. Ten tweede streed de gelijkstelling van de planeten met de aarde tegen de grondslagen der godsdienstleer, volgens welke de mensch en zijn eeuwig heil doel en bestemming van het geheele bestaan der wereld was. Hoe de eerste moeilijkheid door de proeven en onderzoekingen van Galilei uit den weg geruimd werd, is al vroeger bij de behandeling van de aswenteling der aarde uiteengezet. Het andere vooroordeel werd eveneens door Galilei overwonnen door zijn ontdekkingen met den verrekijker.

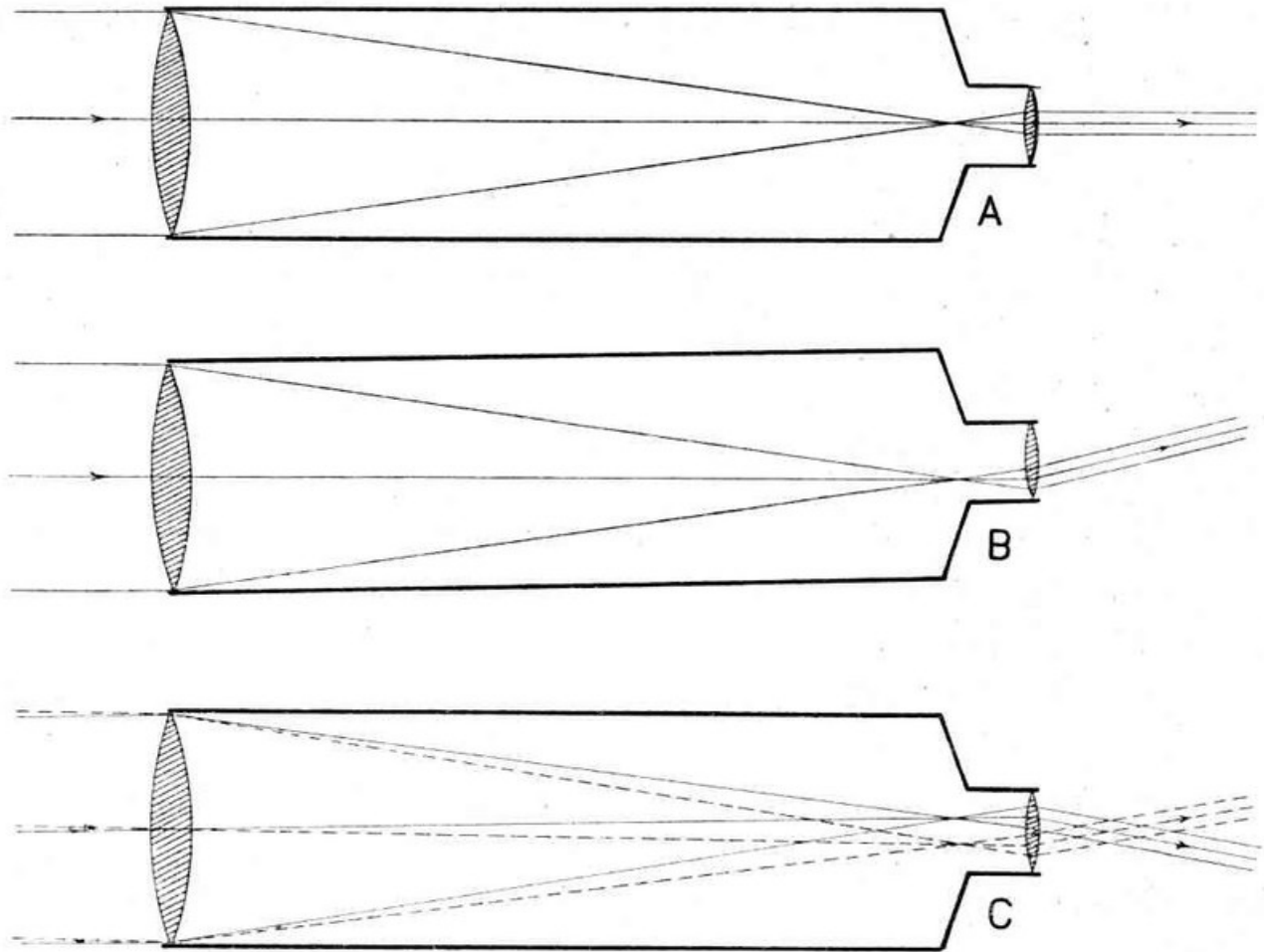
¹⁾ Dat beteekent natuurlijk, dat de baan van de aarde onmerkbaar klein is in verhouding tot den hemelbol.

29. DE ONTDEKKINGEN MET DEN VERREKIJKER.

In zijn eenvoudigsten vorm bestaat een verrekijker uit twee lenzen, die door een buis samengehouden worden; door de groote lens, het voorwerpglas, vallen de lichtstralen in de buis, en door het kleine oogglas of okulair treden ze er uit en vallen in het oog van den waarnemer, die door den verrekijker kijkt. Wat verandert bij dezen doorgang door het instrument aan de lichtstralen? Richten wij het op de zon, of 's avonds op de maan, en houden wij, in plaats van er zelf door te kijken, een blad papier vlak achter het oogglas. Wij zien dan een kleine verblindend heldere ronde lichtvlek op het papier. Bedekt men een deel van het voorwerpglas, dan wordt een overeenkomstig deel van deze lichtvlek weggenomen; de lichtvlek is dus een klein beeld van het voorwerpglas. Blijkbaar is al het licht, dat vóór in het voorwerpglas valt, door de werking van de beide lenzen tot een smallen bundel samengetrokken en natuurlijk in dezelfde mate helderder geworden. Op deze *k o n c e n t r a t i e* van licht berust een van de eigenschappen van een verrekijker; kijkt men er door, d.w.z. laat men dezen dunnen lichtbundel door de pupil in het oog treden, dan wordt al het licht, dat b.v. van een ster op het groote voorwerpglas valt, tot een smallen bundel samengetrokken in het oog geleid. Daarom *versterkt de verrekijker de helderheid der sterren*; is de middellijn van de groote lens 10 maal groter dan die van de pupil, en haar oppervlak dus 100 maal groter, dan zien wij de ster (wanneer wij er van afzien, dat het licht bij elken doorgang door glazen iets verzwakt wordt) honderdmaal helderder dan met het bloote oog. Zwakke

sterretjes, die wij anders maar even kunnen zien, vertoonen zich in een kijker zoo helder als de helderste sterren des hemels, en talloze nog zwakkere sterren worden zichtbaar, die voor het bloote oog altijd onzichtbaar blijven.

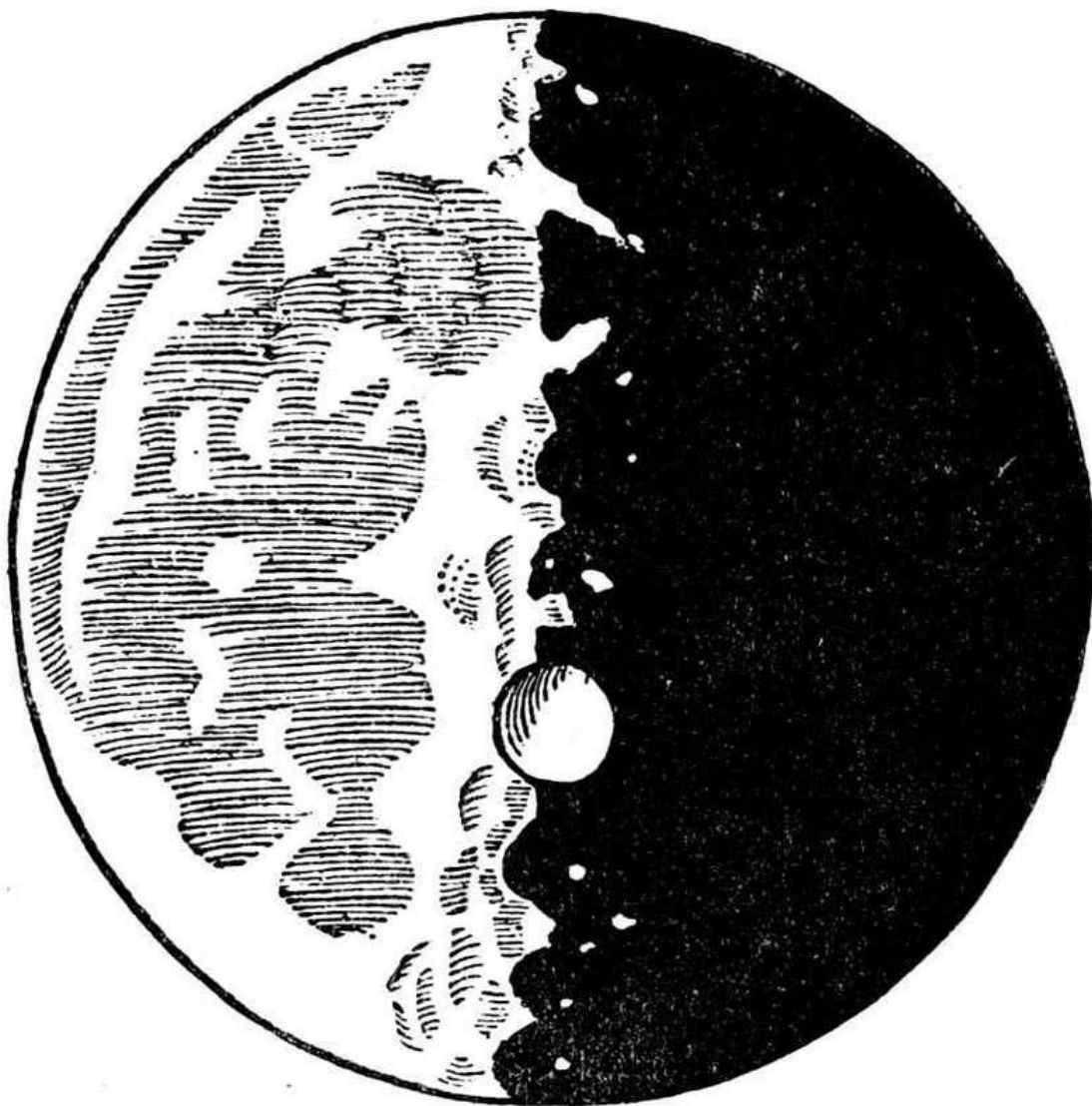
Maar de verrekijker heeft ook nog een andere eigenschap. Blijven wij bij onze proef, waar de kijker op de zon gericht was en de dunne lichtbundel zich op een papier achter het oogglas afteekende. Bewegen wij nu den kijker een klein weinig, zoodat de lichtstralen iets scheef op het voorwerpglas vallen (zooals in B in de figuur), dan verplaatst zich het lichtvlekje op het papier en wij zien, dat de uittredende lichtbundel *z e e r s c h e e f* uit het oogglas komt.



Een kleine verandering in de richting der invallende lichtstralen bewerkt een groote verandering in de richting van den uittredenden lichtbundel, en wel juist in dezelfde mate grootter, als de uittredende bundel dunner is dan die in het voorwerpglas intreedt. Valt nu van twee dicht bij elkaar gelegen sterren licht op het voorwerpglas, zoodat de invallende bundels slechts weinig in richting verschillen (zooals in C in de figuur), dan loopen de beide uittredende bundels sterk uit elkaar; vallen deze beide in het oog, dan ziet de waarnemer deze beide sterren veel verder uit elkaar staan, dan in de werkelijkheid met het bloote oog. Dit geldt evenzoo, wanneer wij in plaats van twee sterren den bovenrand en den onderrand van de maan nemen; ook de maan zien wij in den kijker vergroot. Dat is dus een tweede werking van den kijker: *a l l e* afstanden en *a l l e* voorwerpen aan den hemel worden vergroot, en wel in dezelfde mate, als de lichtbundel bij den doorgang door den kijker samengetrokken wordt. Kijkt men met zulk een verrekijker naar de maan, dan valt een geweldige hoeveelheid licht in het oog, die uitstraalt van een reusachtige lichtschijf, veel grooter dan wij met het bloote oog zien, en waarop talloze details, die anders door hun kleinheid onbemerkt blijven, nu door de vergrooting zichtbaar worden.

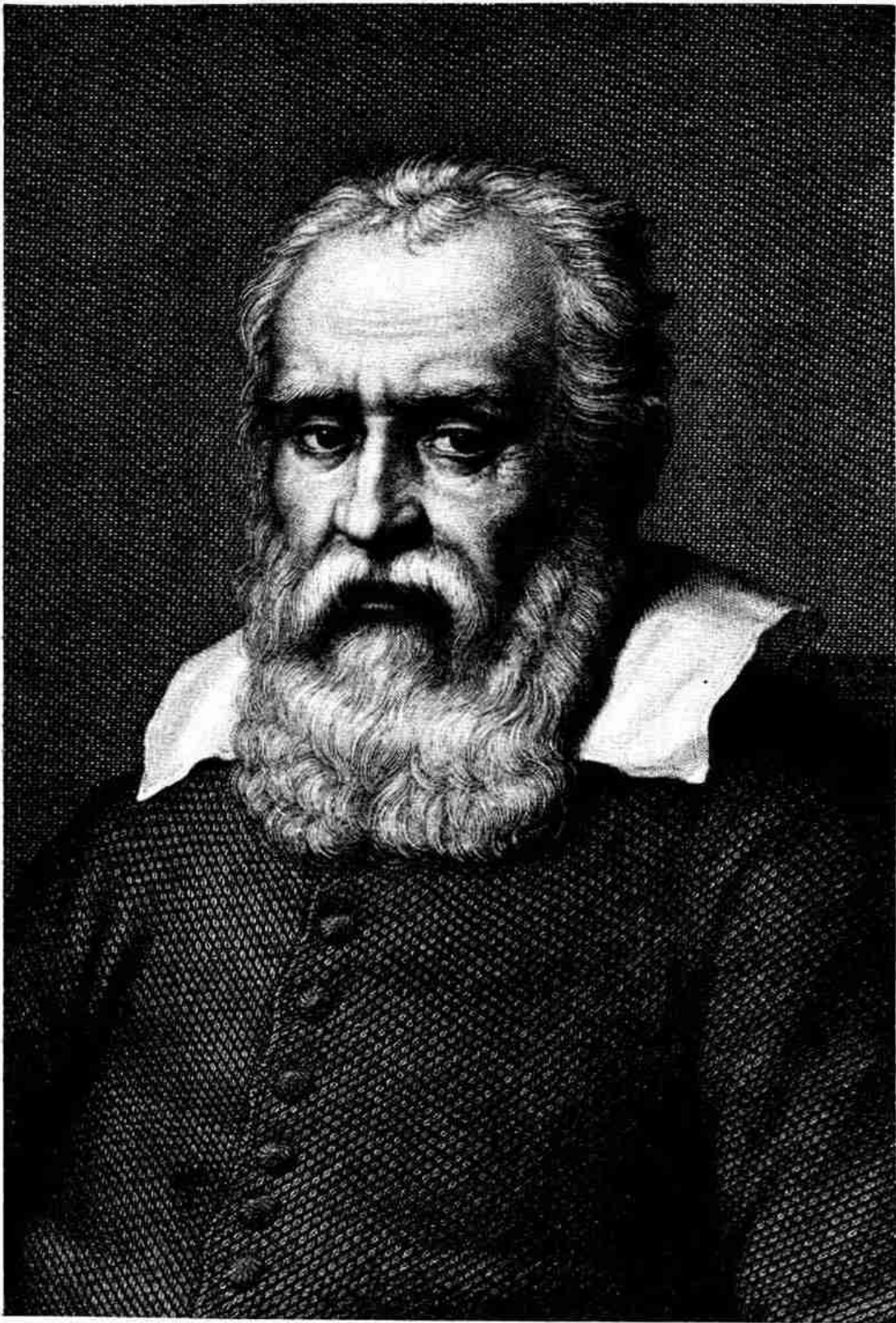
Daarin ligt de groote beteekenis van dit instrument: ten eerste maakt het ons bekend met een wereld van nieuwe hemellichamen, die ons anders door de zwakheid van hun licht onzichtbaar zouden blijven; en ten tweede laat het ons door zijn vergrootende kracht aan de bekende hemellichten allerlei bijzonderheden zien, die ons inlichten over hun ware gesteldheid. Door deze beide eigenschappen is de verreijker het belangrijkste hulpmiddel der sterrekunde geworden; door zijn gebruik alleen is de buitengewone ontwikkeling der sterrekunde in de laatste eeuwen mogelijk geworden. En reeds dadelijk na de uitvinding van dit instrument heeft het aan het Copernicaansche wereldstelsel de zege verschaft.

Naar een bekend verhaal ontdekte in 1607 de brillenmaker H a n s L i p p e r s h e y in Middelburg, dat twee verschillende lenzen, samen op den juisten afstand van elkaar in een buis gestoken, ver verwijderde voorwerpen als het ware dichterbij trokken en veel grooter toonden. Ook andere namen, b.v. Zacharias Janssen, eveneens te Middelburg, worden als uitvinders opgegeven; waarschijnlijk was dit samenvoegen van lenzen ook reeds vóór hen bekend en als het ware vanzelf uit het werken met lenzen voortgekomen. Van Lippershey is bekend, dat hij zijn instrumenten aan de Staten-Generaal en Prins Maurits voor het gebruik in den oorlog aanbood en een oktrooi voor de fabrikage in het groot aanvraagde. Toen Galilei in Italië van deze uitvinding vernam, zette hij zich, naar hij zelf meedeelt, aan het probeeren en slaagde er weldra in, kijkers te maken en telkens te verbeteren. Hij richtte ze in 1609 op den hemel, en toen kwamen kort achter elkaar die wonderbare ontdekkingen, die het meest er toe bijgedragen hebben, de filosofie van Aristoteles te gronde te richten en de juistheid van de leer van Copernicus te bewijzen. Eerst werd natuurlijk de kijker op de maan gericht. "Uit deze telkens herhaalde waarnemingen zijn wij tot de overtuiging gekomen, dat wij duidelijk zien, dat de oppervlakte der maan niet glad, gelijkmatig en volkomen bolvormig is, zooals de meeste filosofen van haar en de overige hemellichamen aannemen, maar integendeel ongelijkmatig, ruw, met holten en heuvels bedekt, evenals het oppervlak der aarde zelf, dat door de ruggen der bergen en de diepten der dalen ongelijk is."



Hoe Galilei de maan zag.
Naar een afbeelding in de „Sidereus Nuncius.”

Hij zag, dat de grenslijn tusschen het verlichte en het donkere deel van de maan niet ovaal regelmatig is, maar vol onregelmatige bochten en spitsen; op het donkere gedeelte vertoonden zich dicht bij de lichtgrens kleine lichtvlekjes, die Galilei dadelijk voor bergtoppen verklaarde, welke door de eerste zonnestralen reeds verlicht werden, terwijl de omliggende vlakten nog in de nachtelijke schaduw lagen.



GALILEO GALILEI
(1564—1642)

Hij kon zoo ook de hoogte van die bergen berekenen; hij vond daardoor 4 mijlen, en daar de bergen der aarde nauwelijks hooger dan een mijl zijn, "blijkt daaruit duidelijk, dat de bergen op de maan veel hooger zijn dan op de aarde."

Toen Galilei vervolgens zijn kijker op de sterren richtte, bemerkte hij dadelijk een duidelijk verschil tusschen vaste sterren en planeten, die er voor het bloote oog beide op dezelfde wijze als sterren uitzien.

"De planeten vertoonen zich als volkomen ronde, cirkelvormige balletjes, als het ware kleine maantjes, die geheel met licht gedrenkt zijn. De vaste sterren daarentegen vertoonen zich nooit cirkelvormig begrensd, maar door trillende, schitterende stralen omgeven; zij zien er in den kijker evenzoo uit als met het bloote oog, alleen veel schitterender, zóó, dat de kleinste zichtbare sterren zoo helder als de Hondster schijnen." ') Tegelijk zag hij met den verrekijker een tallooze menigte nog veel kleinere sterren, die voor het bloote oog onzichtbaar zijn; en het zachte schemerlicht van den Melkweg werd in een ontelbare massa dicht opeengehoopte kleine sterretjes opgelost.

Toen Galilei op den 7^{den} Januari 1610 zijn kijker op Jupiter richtte, zag hij drie kleine sterretjes links en rechts naast de planeet staan, in de richting van de ekliptika. Toen hij acht dagen later weer keek, stonden zij nog vlak bij Jupiter, maar op andere plaatsen. Op den 20^{sten} Januari ontdekte hij een vierde, en deze vier wisselden van dag tot dag hun plaatsen ten opzichte van Jupiter, dien zij overigens bij zijn bewegingen langs den hemel trouw begeleidden.

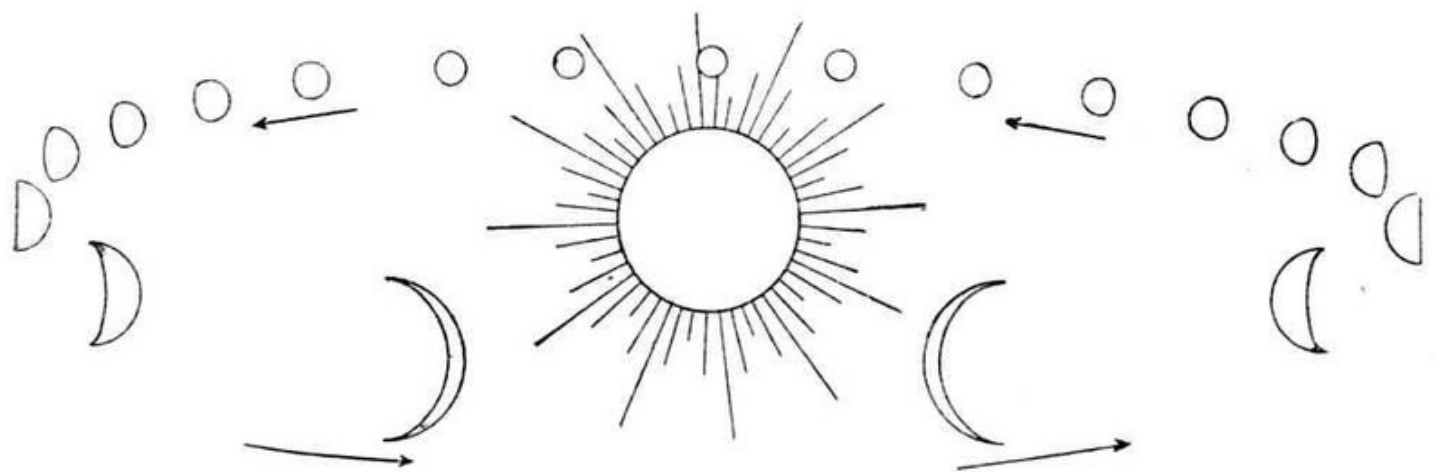


Jupiter in een verrekijker.

Deze nieuwe hemellichamen schommelden afwisselend ter rechter- en ter linkerzijde van de planeet heen en weer, evenals Venus en Mercurius ten opzichte van de zon heen en weer schommelen. Hier was nu duidelijk voor iedereen te zien, dat de aarde onmogelijk het middelpunt van alle cirkelbewegingen kan zijn, en dat er naast haar nog andere middelpunten bestaan. Want blijkbaar is Jupiter het middelpunt van de beweging van die nieuwe lichamen; deze bewegen zich in cirkels om hem heen, evenals de planeten om de zon bewegen en de maan om de aarde draait; zij zijn satellieten of manen van Jupiter. En Galilei trok dadelijk de noodige konklusies uit zijn ontdekking: "Hier hebben wij nu een verder voortreffelijk en duidelijk argument, om den twijfel van hen te weerleggen, die aan de beweging van de planeten om de zon in het stelsel van Copernicus geen aanstoot nemen, maar door de eenige maan, die zich om de aarde draait, terwijl beide te zamen een jaarlijksche baan om de zon beschrijven, zoo gehinderd worden, dat zij zulk een bouw van de wereld voor geheel onmogelijk en onaannemelijk houden. Want wij hebben nu niet meer een enkele planeet, die om een andere draait, terwijl beide een grooten cirkel om de zon beschrijven, maar onze oogen toonen ons nu vier sterren, die, evenals de maan om de aarde, om Jupiter rondloopen, terwijl zij alle te zamen met Jupiter in 12 jaren een grooten kring om de zon beschrijven."

Zoo schreef Galilei in zijn boekje "Sidereus Nuncius" (Sterrenbode), dat in Maart 1610 zijn wonderbare ontdekkingen bekend maakte, en dat groote geestdrift bij de aanhangers van de Copernicaansche wereldleer wekte. Maar in hetzelfde jaar kwamen er nog nieuwe ontdekkingen bij. In een brief, dien Galilei op 1 Januari 1611 aan Kepler schreef, die zijn ontdekkingen met geestdriftige belangstelling volgde, deelde hij hem zijn waarnemingen van Venus mede: "Gij moet dan weten, dat ik ongeveer 3 maanden, nadat Venus zichtbaar was geworden, begon, haar met den kijker ijverig te bekijken, om met de oogen zelf te zien, waarover ik met mijn geest niet in twijfel verkeerde. Eerst vertoonde zich

dan ook Venus precies en scherpbegrensd cirkelrond, maar zeer klein; deze gedaante behield zij, totdat zij dicht bij haar grootste digressie kwam, terwijl tegelijkertijd de schijnbare grootte van haar beeld steeds toenam. Toen begon aan de oostelijke, van de zon afgekeerde zijde iets aan de rondheid te ontbreken, en na eenige dagen was het geheele beeld tot een volkomen halven cirkel samengetrokken; deze gedaante behield zij zonder of met geringe verandering, totdat zij weer naar de zon begon toe te loopen. Nu, op dit oogenblik, ontbreekt al een verder stuk aan den halven cirkel; zij vertoont zich met horens, en zij zal nog verder voortgaan met smaller worden, totdat zij, na tot een dunnen, fijnen boog verminderd te zijn, verdwijnt... Uit deze wonderbare waarneming volgt met de grootste zekerheid en voor de zintuigen direkt waarneembaar een beslissing in twee vraagpunten, waarover tot nu toe de grootste geesten het met elkaar oneens zijn. Ten eerste, dat alle planeten van nature donkere lichamen zijn (want wij begrijpen, dat voor Mercurius hetzelfde geldt als voor Venus); en ten tweede, dat ontwijfelbaar Venus (en ook Mercurius) om de zon rondloopt, evenals ook alle andere planeten: een feit, dat reeds door de Pythagoreërs, door Copernicus, Kepler, en mijzelf aangenomen werd, maar nooit zichtbaar bewezen, zooals nu bij Venus en Mercurius."



Schijngestalten van de planeet Venus.

Inderdaad, wanneer Venus een donkere bol is, moet zij bij haar rondloopen om de zon dezelfde schijngestalten vertoonen als de maan, alleen met dit verschil, dat de schijnbare grootte van haar schijf sterk wisselt, daar zij nu eens dichter bij ons komt, dan weer verder van ons af staat. Onze figuur geeft deze gestalten van maand tot maand, natuurlijk alle veel te groot in verhouding tot de zon en de Venusbaan. Staat Venus achter de zon, dan is zij vol verlicht, maar klein; komt zij dan als avondster op ons toe, dan wordt haar schijf groter, terwijl tegelijkertijd, evenals na volle maan, een steeds breeder wordende strook donker wordt. Galilei bemerkte met zijn primitieven kijker deze verandering van vorm eerst, toen ze zeer sterk was geworden en de schijf maar weinig meer dan half was. Wanneer Venus aan den hemel het verst van de zon af staat, zien wij haar precies van terzijde en vertoont zij zich als een halve maan; keert zij dan naar de zon terug, dan zien wij haar schuin van achteren en wordt zij, terwijl haar middellijn sterk toeneemt, sikkelvormig. Dat Galilei deze gestalten juist zoo bij Venus aantrof, levert het bewijs, dat Venus een door de zon verlichte donkere bol is, evenals de aarde en de maan.

Door deze ontdekkingen, die alle binnen een jaar op elkaar volgden en door waarnemingen van anderen weldra bevestigd werden, was de zegepraal van het stelsel van Copernicus op de oude leer van Aristoteles en Ptolemaeus beslist. De maan was een lichaam als de aarde, met bergen bedekt; de planeten waren geen sterren meer, want hun uiterlijk als kleine begrensde schijven, gedeeltelijk donker, op kleine manen gelijkend, bewees dat zij donkere bollen zijn evenals de aarde; en ook door haar maan nam de

aarde niet meer een bijzondere plaats in, want Jupiter had er vier. De vaste sterren daarentegen bleven felstralende, zelf lichtgevende punten, als waren zij ver verwijderde zonnen. Het belangrijkste bezwaar tegen de leer van Copernicus, de door den godsdienst geheiligde opvatting, dat de aarde het hoofdlichaam van het heelal was en dat dit heelal alleen voor de bewoners der aarde, voor de menschen geschapen was, was nu absoluut onhoudbaar geworden. Maar daardoor werd de tegenstand niet gebroken; integendeel verhief deze zich nu met veel grooter hardnekkigheid. Zoolang de nieuwe leer niet meer scheen te zijn dan een belangwekkende speling van wiskundig vernuft, had de kerk haar welwillend behandeld; zoodra ze echter zelfbewust optrad en als werkelijke waarheid wilde gelden, voelde de kerk, dat daarin een gevaar voor haar autoriteit lag, waar zij onmiddellijk tegen op moest treden. Ondanks alle moeite, die Galilei bij de met hem bevriende kardinalen deed, kon hij niet verhinderen, dat de kongregatie van den index in 1616 de leer van Copernicus en alle boeken, waarin zij als waarheid geleerd werd, verbood; zij mocht alleen maar als een eenvoudige hulponderstelling voor wiskundige doeleinden gebruikt worden. Galilei zelf werd in een proces voor de inkwisitie gewikkeld, toen hij in 1632 in het Italiaansch zijn prachtig geschreven "Dialogo over de beide belangrijkste wereldsystemen" uitgaf. Maar het doordringen der nieuwe waarheid kon daardoor niet verhinderd worden. Door de ontdekkingen en onderzoekingen van Galilei is het autoriteitsgeloof in het oude wereldsysteem voor goed te gronde gegaan; de nieuwe geest van natuuronderzoek, dat van ervaring en waarneming als grondslag van alle kennis uitgaat, komt steeds meer tot aanzien en bouwt in de volgende eeuwen op het nieuwe fundament het machtige gebouw der sterrekundige wetenschap op. Ten slotte heeft ook de kerk aan deze ontwikkeling geen weerstand kunnen bieden, en in 1821 heeft zij het oude, machteloze verbod buiten werking gesteld.

¹⁾ Dit door Galilei ontdekte verschil verklaart ons ook, waarom de planeten niet flikkeren en aan het bloote oog in veel rustiger licht verschijnen dan de andere sterren.

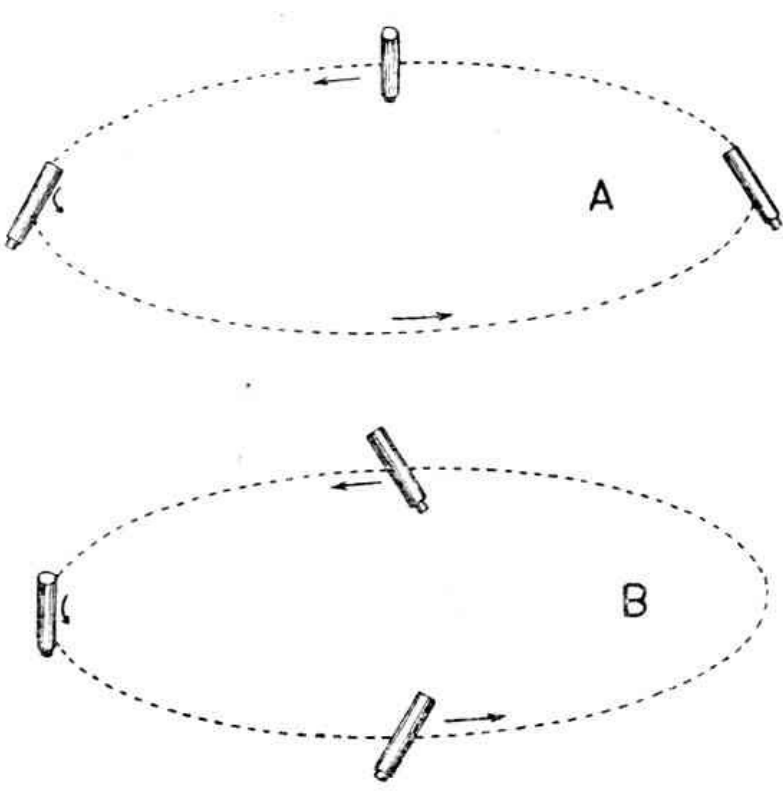
30. PARALLAXE EN ABERRATIE.

Zoo overtuigend de ontdekkingen van Galilei ten gunste van het stelsel van Copernicus spraken, een direkt en afdoend bewijs voor de beweging van de aarde om de zon leverden ze toch niet. Wie nu eenmaal van de nieuwe leer niets wilde weten, kon er zich nog altijd op beroepen — en dat gebeurde ook inderdaad — dat zulke werkelijke bewijzen ontbraken. Hoe was zulk een bewijs te vinden? Het eenvoudigste en afdoendste zou de ontdekking van een schijnbare jaarlijksche beweging bij de vaste sterren zijn. Evenals in de soms teruglopende beweging der planeten — een heen en weer schommelen om de werkelijke plaats — de loopbaan van de aarde om de zon zich als het ware spiegelt, evenzoo moet deze zich ook in een schijnbare beweging der vaste sterren spiegelen; het moet zijn, alsof iedere ster jaarlijks een baan, een epicykeltje, om haar werkelijke plaats beschrijft, en van hier gezien afwisselend naar verschillende zijden van deze plaats afwijkt. Deze afwijking, die jaarlijksche parallaxe heet, is des te kleiner, naarmate de ster verder van ons verwijderd is. Jupiter schommelt 22, Saturnus 12 graden heen en weer; waren de vaste sterren 12 maal verder dan Saturnus van ons verwijderd, dan zouden zij in den loop van een jaar één graad heen en weer moeten schommelen. Daarvan was nu niets te bespeuren. De sterren bleven onbeweeglijk op hun plaats staan. Dit kon tweërlei oorzaak hebben; òf de aarde bevond zich in rust en Copernicus had ongelijk, òf de sterren waren, zooals Copernicus zelf al gezegd had, zoo ver weg en hun parallaxe was zoo klein, dat wij er niets van konden bemerken.

Natuurlijk was deze toestand voor de sterrekundigen niet aangenaam, en ze deden in de 17^{de} eeuw ook al hun best, door nauwkeurige waarnemingen een parallaxe bij de vaste sterren te ontdekken. Maar altijd tevergeefs. De waarnemingen waren tot op een paar minuten nauwkeurig (een minuut is, naar wij ons herinneren, het 60^{ste} deel van een graad en wordt zelf weer in 60 sekunden verdeeld), dus kon de parallaxe niet grooter dan een minuut zijn, anders had men ze moeten bemerken. Dit beteekent, dat hun afstand minstens 3400 maal grooter moet zijn dan de afstand van de zon tot de aarde. Veel verder dan dit zou men ook niet gekomen zijn, als niet het nieuwe hulpmiddel der verrekijkers hier nieuwe wegen ontsloten had.

Een verrekijker vergroot alle afstanden en maten aan den hemel. De plaats van een ster kan dus in een kijker in dezelfde mate nauwkeuriger opgemerkt en vastgesteld worden, als hij vergroot. Men behoeft nu den kijker alleen nog maar met hulpmiddelen te voorzien, om zijn plaats uiterst fijn en nauwkeurig te stellen en af te lezen — dat geschiedde door den vooruitgang in de fijne instrumentmakerskunst — om een werktuig te krijgen, waarmee alle metingen aan den hemel een vroeger ondenkbare en steeds toenemende nauwkeurigheid kregen. In de 18^{de} eeuw daalde de onzekerheid der metingen tot op weinige sekunden, in de 19^{de} eeuw zelfs tot onderdeelen van sekunden. Dit gebruik van den kijker als meetinstrument heeft, nog veel meer dan zijn gebruik als kijkinstrument, de geweldige ontwikkeling der sterrekundige wetenschap in de laatste eeuwen bewerkt. En het heeft ook den wensch naar direkte bewijzen voor de beweging der aarde bevredigd.

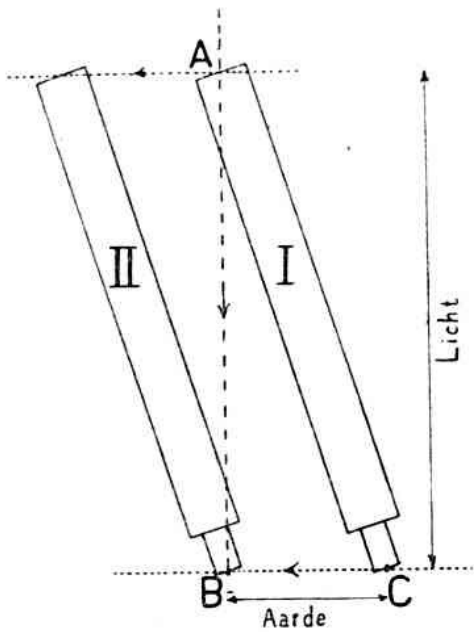
In de eerste helft van de 18^{de} eeuw trachtte een Engelsch sterrekundige, J a m e s B r a d l e y, met een langen, loodrecht hangenden kijker een ster, die dagelijks door het toppunt des hemels ging, zoo nauwkeurig waar te nemen, dat hij ook een zeer geringe verandering van haar plaats in den loop van een jaar moest ontdekken. En inderdaad vond hij in 1728 zulk een verandering; in den loop van een jaar beschreef de ster een kringetje van 40 sekunden middellijn — wat dus met een afstand 10.000 maal grooter dan die van de zon zou overeenkomen. Maar ongelukkigerwijze doorliep de ster dat kringetje in geheel niet op de goede manier; zij stond steeds op de plaats, waar ze drie maanden vroeger had moeten staan. Deze beweging kon dus geen echte parallaxe zijn; het moest een ander verschijnsel van onbekenden oorsprong zijn. Om de oorzaak te vinden moeten wij ons eerst duidelijk maken, wat de ster eigenlijk deed.



Stellen wij ons voor, dat wij met een wagen om een plein heenrijden, terwijl hoog boven het midden van het plein een ballon zweeft. Houden wij dan een kijker op den ballon gericht, dan moet deze kijker niet rechtop en niet steeds in dezelfde richting gehouden worden. Hij moet iets naar het midden van het plein toe hellen, zoodat hij achtereenvolgens naar alle richtingen helt: naar het Oosten, als wij ons aan den westkant, naar het Noorden, als wij ons aan den zuidkant bevinden, enz. Deze wagen verbeeldt de aarde, de ballon een ster, de verandering in de richting van den kijker is de parallaxe. In de figuur geeft A deze veranderingen weer. Bradley moest echter zijn kijker anders stellen; wel hellend, maar naar den kant, waar het midden van het plein een vierde van den omloop vroeger lag, zooals in B. Dat wil dus zeggen: naar den kant, waar de wagen zich juist heen beweegt. Om zijn kijker op de ster gericht te houden, moest Bradley hem niet in de richting houden, waar de ster zich van uit het middelpunt der aardbaan vertoont, maar wat voorover, naar den kant, waar de aarde zich heen beweegt.

Is daar nu een reden voor te vinden, waarom de kijker naar de richting van onze beweging moet overhellen? Wij kunnen ons een dergelijk geval voorstellen, als wij in den regen rijden en wij willen de regendruppels recht door een lange pijp laten vallen. Bij een rechtopstaande pijp zouden ze achter tegen den wand spatten. Alleen als wij de pijp schuin voorover houden, zullen de druppels, die door de bovenste opening vallen, onder uit de pijp uitkomen; hoe sneller wij rijden, des te schuiner moet de pijp gehouden worden.

Hier hebben we een geval, dat dadelijk op de waarneming van Bradley past; in plaats van regendruppels, die door een open buis, zijn het de lichtstralen, die door den kijker vallen. Mogen we dus aannemen, dat het licht niet oogenblikkelijk overal is, maar een zekeren tijd noodig heeft om een bepaalden weg af te leggen, dan is het door Bradley waargenomen verschijnsel dadelijk verklaard.



Terwijl de lichtstralen den kijker van A naar B doorloopen, beweegt de kijker met de aarde van C naar B voort; zij moeten dus, zullen zij den kijker precies in 't midden doorloopen, het oogglas in B vinden, dat toen zij boven in A intraden, nog een eindje terug, in C was. Terwijl de ster werkelijk in de richting van B naar A staat, moet de kijker voorover hellen en in de richting van C naar A staan. Naar Bradley's waarnemingen was dit voorover hellen $\frac{1}{10000}$ van de lengte van den kijker, want de ster week 20 seconden van haar juiste plaats af. Dit beduidt dus, dat in den tijd, dat het licht den kijker doorloopt, de kijker zelf zich over een 10000 maal kleineren afstand verplaatst: dat dus de snelheid van de aarde 10000 maal kleiner is dan de snelheid van het licht.

Nu was de snelheid van het licht kort te voren opgemerkt en gemeten. De manen van Jupiter treden bij hun omloop telkens met regelmatige tusschentijden in en uit de schaduw van Jupiter; deze verduisteringen bleken echter, wanneer Jupiter dicht bij zijn oppositie was — dus op zijn dichtst bij de aarde — te vroeg te komen, en omgekeerd te laat, wanneer Jupiter zich aan den anderen kant van de zon, ver van de aarde bevond. De Deensche sterrekundige Olaus Römer gaf voor dit verschil in 1675 de verklaring, dat het licht langer tijd noodig heeft om grootere afstanden te doorloopen; zoo vond hij, dat $8\frac{1}{3}$ minuut noodig zijn, om den afstand van de zon tot de aarde af te leggen. Hoeveel tijd zou de aarde aan zulk een afstand besteden? In $365\frac{1}{4}$ dag doorloopt zij den omtrek van haar baan, die in de verhouding van 44 tot 7 tot den straal, den afstand van de zon tot de aarde staat; deze laatste zou dus in 58 dagen of 84000 minuten doorloopen worden. De aarde beweegt zich dus 10000 maal langzamer dan het licht; daarmee bevond zich Bradley's uitkomst inderdaad in de allerschoonste overeenstemming.

Door deze overeenstemming in getallenwaarde was aan deze verklaring van het door Bradley ontdekte verschijnsel, dat de aberratie van het licht heet, niet meer te twifelen. Het werd dan ook weldra bij alle sterren, overal tot hetzelfde bedrag, opgemerkt. Maar daarmee was dan ook gevonden, wat men zoo lang gezocht had, zij het ook op andere wijze; de aberratie is een direkt en ontwijfelbaar bewijs voor de beweging van de aarde om de zon — overigens was zulk een bewijs toen al niet meer noodig, daar intusschen de verdere ontwikkeling der sterrekunde deze beweging boven elken twijfel had verheven.

Het was daarom ook niet meer noodig, voor dit doel naar parallaxen der sterren te zoeken. Wel werd er verder naar gezocht, maar nu met een ander doel: om den werkelijken afstand van de sterren te weten te

komen. Eerst in de 19^{de} eeuw werd dit doel bereikt; de allernaaste vaste ster bleek een parallaxe van $\frac{3}{4}$ sekunde te bezitten, dus ongeveer 300000 maal verder dan de zon van ons verwijderd te zijn; en de anderen staan alle nog veel verder. Copernicus had dus volkomen gelijk gehad, toen hij de reusachtige afstanden der vaste sterren als oorzaak noemde, waardoor wij bij hen geen schijnbare jaarlijksche beweging der aarde bemerken.

31. DE ONREGELMATIGHEID DER ZONSBEWEGING.

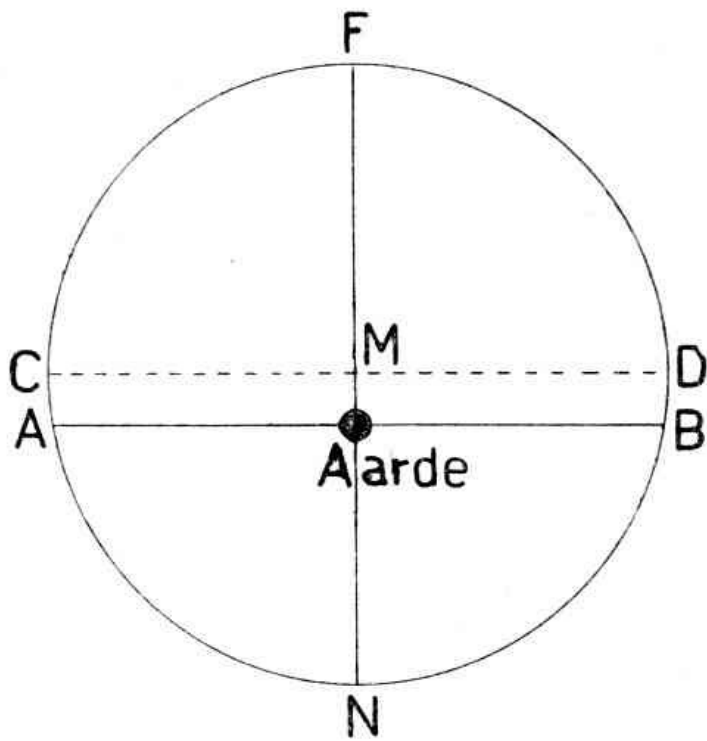
Tot nog toe hebben wij aangenomen, dat de zon en de planeten (afgezien van de epicykelbeweging) volkomen gelijkmatig de ekliptika doorloopen; en het was onze eerste taak, daarvoor de oorzaak in een cirkelbeweging van de planeten om de zon te vinden. Wij moeten nu naar ons punt van uitgang terugkeeren en de bewegingen aan den hemel wat nauwkeuriger in al haar details onderzoeken. Op grond van onzen eersten oppervlakkigen indruk namen wij aan, dat de zon voor elk der vier vierdeparten, waarin haar baan door de beide nachteveningspunten en het zomer- en winterkeerpunt verdeeld wordt, een even lang driemaandelijksch tijdperk nodig heeft. Maar nauwkeuriger waarnemingen leeren ons, dat dit niet precies uitkomt.

Reeds de Babyloniërs en de Grieken, die ten dienste van hun tijdrekening de tijdstippen van nachtevening en zonnestilstand met hun primitieve werktuigen bepaalden, kenden die verschillen. Ptolemaeus deelt in zijn *Almagest* mede, dat Hipparchus 145 v. C. deze tijdstippen nauwkeurig bepaalde en daarvoor vond: 23 Maart 6 uur 's namiddags, 26 Juni 6 uur 's morgens, 26 September op den middag, en 23 December 3 uur 's namiddags. De duur der vier jaargetijden was dus; $94\frac{1}{2}$ dag voor de lente, $92\frac{1}{2}$ dag voor den zomer, $88\frac{1}{8}$ dag voor den herfst en $90\frac{1}{8}$ dag voor den winter, te zamen $365\frac{1}{4}$ dag. Bepaalt men deze tijdstippen tegenwoordig, dan vindt men ze aanmerkelijk anders; in 1908 b.v. vielen ze op 21 Maart 1 uur 's morgens, 21 Juni 9 uur 's avonds, 23 September 12 uur 's middags, en 22 December 7 uur 's morgens, dus met tusschentijden van 92 dagen 20 uren (lente), 93 dagen 15 uren (zomer), 89 dagen 19 uren (herfst) en 89 dagen 0 uren (winter).

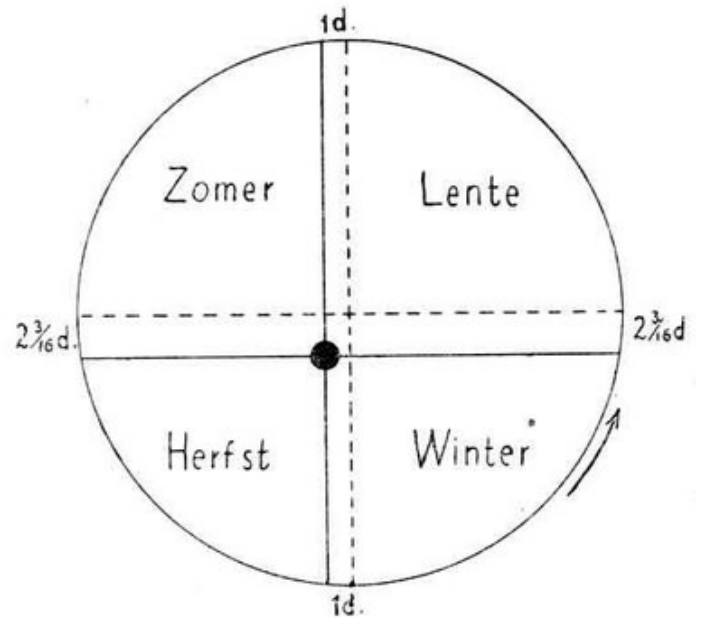
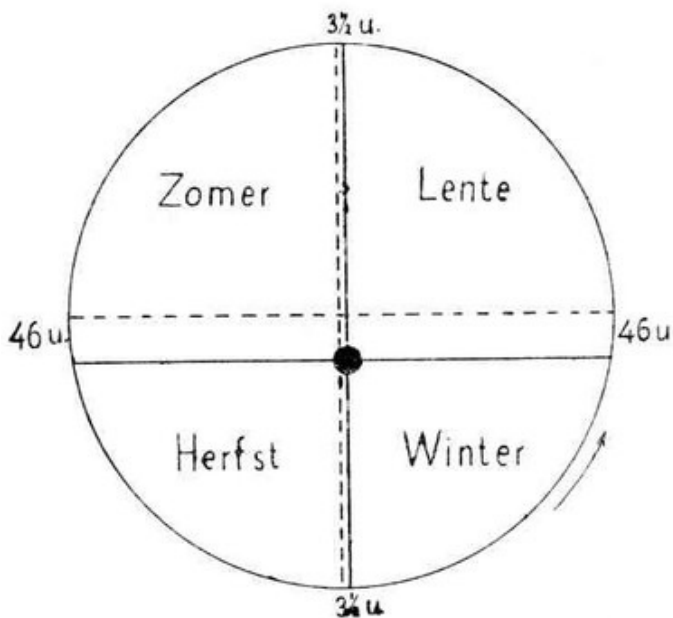
Uit deze getallen blijkt, dat de zon in haar baan niet altijd even snel loopt; de winterhelft beneden den aequator wordt tegenwoordig in $178\frac{3}{4}$ dag, de zomerhelft boven den aequator in $186\frac{1}{2}$ dag doorloopen, de laatste dus heel wat langzamer. Bewijst dit nu niet, dat de grondstelling, waarop de Grieken hun wereldstelsel bouwden — dat de hemellichamen zich volkomen gelijkmatig in cirkels bewegen — onjuist en onhoudbaar is?

Hipparchus vond een zeer eenvoudige verklaring, waardoor de gelijkmatige zonsbeweging, die wij waarnemen, toch op zijn mooist harmonieert met de gelijkmatige cirkelbeweging. Wanneer de aarde zich buiten het middelpunt van den zonnekring bevindt, moet ons een volkomen gelijkmatige beweging van de zon ongelijkmatig toeschijnen. Zulk een cirkel wordt *excentrisch*, d. i. uitmiddelpuntig genoemd. Waar de zon in haar excentrische baan het dichtst bij de aarde is, schijnt zij het snelst te bewegen, en in het tegenoverliggende deel langzamer; de schijnbare snelheid aan den hemel wordt afwisselend grooter en

kleiner in regelmatige stijging en daling, terwijl de werkelijke snelheid in haar baan steeds dezelfde blijft.



Heeft zij aan den kant, waar de aarde staat, den halven omtrek des hemels doorloopen — dus den boog A B — dan ontbreekt in werkelijkheid aan de helft van haar baan C D aan beide zijden een stukje A C of B D, dat even groot is als de afstand van de aarde tot het middelpunt der baan. Was boog A B juist de winterhelft van de baan — stond dus de zon op 21 December het dichtst bij de aarde, in N — dan zouden de stukjes A C en B D beide een vierde deel van het verschil tusschen zomer- en winterhelft der baan zijn; ze worden dus in $\frac{1}{4}$ van $7\frac{3}{4}$ dag, d. i. in $1\frac{15}{16}$ dag doorloopen, en daar $1\frac{15}{16}$ dag het 189ste deel van een jaar is, zijn A C en B D ook $\frac{1}{189}$ van den omtrek, dus $\frac{1}{30}$ van den straal der baan; en hetzelfde geldt voor den afstand van de aarde tot het middelpunt.



Nu is in werkelijkheid de winter nog iets korter dan de herfst, en de lente iets korter dan de zomer; deze werkelijke toestand is in de eerste der bovenstaande figuren te zien. Winter en herfst zijn te zamen 7

dagen 16 uren == 4×46 uren korter dan lente en zomer samen, en winter en lente zijn te samen 14 uren == $4 \times 3\frac{1}{2}$ uur korter dan zomer en herfst te zamen. De aarde staat dus in dit werkelijke geval wel $\frac{1}{30}$ van den straal der zonsbaan buiten het middelpunt, maar in eenigszins andere richting; eerst na den kortsten dag, in het begin van Januari, komt de zon in dat punt van haar baan, dat het dichtst bij de aarde is. Berekent men hetzelfde voor den duur der jaargetijden, die Hipparchus opgeeft, dan vindt men het beeld van de tweede figuur, waar de aarde zich aan dien kant van het middelpunt bevindt, waar de zon in November staat. Dat de richting, waarin de aarde ten opzichte van het middelpunt der zonsbaan staat, zich langzaam wijzigt, werd reeds door de Arabieren opgemerkt, toen ze hun eigen waarnemingen met de opgaven uit den Almagest vergeleken.

Natuurlijk blijft dit alles precies zoo gelden — alleen met verandering van de manier van uitdrukking — wanneer wij het wereldstelsel van Copernicus aannemen. Want de schijnbare zonsbeweging is een nauwkeurig spiegelbeeld van de werkelijke beweging der aarde. Naar onze opvatting zeggen wij dus: de aarde loopt in een excentrischen cirkel om de zon; zij bevindt zich begin Januari het dichtst bij de zon, en deze staat $\frac{1}{30}$ van den straal buiten het middelpunt van de aardbaan. De zonnescijf moet dus in den winter iets grooter zijn dan 's zomers; met de primitieve hulpmiddelen der oudheid was dit verschil echter niet te zien.

Deze ongelijkmatigheid der zonsbeweging heeft ook voor ons praktische leven beteekenis, omdat daardoor de dagen, d.w.z. de etmalen, ongelijk in lengte worden. De aarde draait steeds in denzelfden tijd van ongeveer 23 uren 56 minuten om haar as, en telkens na dien tijd komt de sterrenhemel weer in denzelfden stand. De zon blijft bij den sterrenhemel elken dag een eindje, ongeveer een graad, achter, en daarom duurt een zonnedag, van middag tot middag, 4 minuten langer dan de omwentelingstijd van de aarde. Bleef de zon nu elken dag precies evenveel bij den sterrenhemel achter, dan zouden ook alle zonnedagen even lang zijn. Maar dit is niet zoo. Omdat de zon elken dag niet evenveel bij den sterrenhemel achterblijft, moeten de zonnedagen ongelijk worden. In Januari legt de zon per dag aan den hemel $\frac{1}{30}$ meer, in Juli $\frac{1}{30}$ minder dan gemiddeld af; daarom is een zonnedag in Januari $\frac{1}{30}$ van 4 minuten, dus 8 sekonden langer, in Juli 8 sekonden korter dan gemiddeld.

Maar hier komt ook nog iets anders bij. Ook al zou de zon met steeds gelijke snelheid den hemel rondloopen, dan zouden toch de dagen ongelijk worden. Want de zon doorloopt de ekliptika, die scheef ten opzichte van de hemelas staat. In Maart en September loopt de zon schuin naar boven of naar beneden; daardoor blijft ze minder bij den draaienden hemelbol achter dan wanneer zij evenver zuiver zijwaarts, langs den hemelaequator, geloopt was; in plaats van 4 minuten is de zonnedag dan slechts 3 minuten 40 sekonden grooter dan de omdraaiingstijd van den hemel. In Juni en December beweegt zich de zon juist zijdelings; maar daar zij dan dicht bij de hemelpool is, wordt zij door den hemel langzamer meegevoerd en blijft, wanneer zij zich een graad verplaatst, meer dan 4 minuten bij den hemel achter, en wel juist weer 20 sekonden meer. Door de schuinschheid van de ekliptika komt het dus, dat de zonnedagen in Juni en December langer, in Maart en September korter zijn; voegen we hier nu de werking van haar ongelijke snelheid bij, waardoor in Januari de dagen langer, in Juli korter worden, dan vinden wij als totale werking dezer beide oorzaken, dat in den winter, als beide elkaar versterken, de zonnedagen aanmerkelijk langer zijn dan gemiddeld, terwijl in de andere jaargetijden, waar de oorzaken elkaar gedeeltelijk opheffen, de afwijkingen veel minder duidelijk zijn.

In vroegeren tijd konden de menschen van deze verschillen weinig bemerken. Zij regelden hun tijd naar

den stand van de zon, meestal met zonnewijzers; stond de zon in het Zuiden, dan was het 12 uur 's middags. Zoolang deze ware zonnetijd in gebruik was, bleven de kleine onregelmatigheden in de lengte van een etmaal onopgemerkt. Dit veranderde toen er behoefte aan nauwkeuriger tijdmeting kwam, en door de invoering van een sekondeslinger door Christiaan Huygens de uurwerken tot nauwkeurige tijdmeetinstrumenten werden. Nu werd het langzamerhand onpraktisch, nauwkeurig loopende klokken naar een ongelijkmatig verloopenden tijd te regelen. Reeds Copernicus had er op gewezen, dat het praktischer was, een gelijkmatig loopenden tijd te gebruiken. Maar eerst tegen het einde der 18^{de} eeuw werd deze middelbare tijd algemeen in het openbare leven ingevoerd. Deze rekent natuurlijk met dagen, die alle precies even lang zijn; daarom is de zon bij dezen gelijkmatig vloeienden tijd soms voor, soms achter. Door de ongelijke snelheid van de zon zijn de werkelijke dagen in de winterhelft te lang, in de zomerhelft te kort; dit hoopt zich zoo op, dat begin April de zon 9 minuten later, begin Oktober 9 minuten vroeger komt dan de klok. De ongelijkheid door den schuinen stand van de ekliptika bewerkt een snellere wisseling; daar zij in en om Maart en September een te korten, in en om Juni en December een te langen zonnedag bewerkt, is het gevolg dat in het begin van Augustus en Februari de zon 10 minuten te laat, in het begin van Mei en November 10 minuten te vroeg komt, vergeleken met de naar middelbaren tijd loopende klok. Het samenwerken van deze wisselende ongelijkheden, die elkaar in November en Februari versterken, heeft ten gevolge, dat in November en begin December de zon al kwart vóór twaalf kloktijd in het Zuiden staat, en in Februari en Januari eerst kwart over twaalf.

In deze maanden zijn de afwijkingen zoo sterk, dat ze ook aan een leek opvallen; het gebeurt dan dikwijls, dat men denkt, dat de klok, zelfs de torenklok niet goed wijst. Want wanneer op het eind van November het midden van den dag kwart vóór 12 valt, is het 's namiddags om 4 uur niet even donker als 's ochtends om 8 uur, maar als 's ochtends om half acht; het wordt 's avonds te vroeg donker en 's ochtends te vroeg dag. Dat zijn de "donkere dagen vóór Kerstmis." Omgekeerd blijft het einde Januari 's morgens te lang donker, terwijl 's avonds het lengen der dagen al duidelijk te zien is.

Dat geldt natuurlijk alleen, als de klok den middelbaren plaatselijken tijd aanwijst. Tegenwoordig heeft, door de invoering van den zonetijd, de klok haar samenhang met de zon zoozeer verloren, dat deze verschillen in vele landen wegschuilen achter het veel grootere blijvende verschil tusschen zonetijd en plaatselijken tijd. Zoo zou het hier zijn als de klokken Greenwichtijd aanwezen; zoo is het nu in Duitschland. Daar komt echter de ongelijkheid der zonsbeweging altijd nog zoo voor den dag, dat de vroegste zonsondergang niet op den kortsten dag, maar wat vroeger, ongeveer op 14 December plaats vindt, zoodat begin en einde December de duisternis 's avonds gelijk invalt. Daarentegen vindt de meest late zonsopkomst eerst na den kortsten dag, in de laatste dagen van December plaats.

32. DE ONREGELMATIGHEID VAN DE PLANETENBEWEGING.

De groote onregelmatigheid in de beweging der planeten, die zich in hun beurtelings vooruit- en terugloopen aan den hemel vertoont, hebben wij reeds als schijn leeren kennen. Omdat de zon het middelpunt van hun banen is en wij ze van uit de aarde waarnemen, zien wij in hun schijnbare beweging

de beweging van de aarde weerspiegeld. Wij hebben nu echter te doen met de vraag, of hun eigen werkelijke beweging om de zon wel volkomen regelmatig is. Om dit te onderzoeken, moeten wij de planeten waarnemen, wanneer zij in oppositie staan. Want alleen dan, wanneer de aarde precies tusschen de planeet en de zon in staat, zien wij de planeet op haar juiste plaats, op dezelfde plaats als zij van uit de zon zou gezien worden. Op alle andere tijden zien wij haar als het ware meer of minder op zij.

Nemen wij b.v. de planeet Mars en volgen wij hem in de achtereenvolgende opposities, die ruim 2 jaar na elkaar komen. Wij zien dan dadelijk zonder moeite, dat deze opposities niet gelijk zijn. Vallen ze in den zomer of den herfst, dan schittert de planeet in een der zuidelijke sterrebeelden Schutter, Steenbok of Waterman, als een reusachtige vurige ster, die zelfs Jupiter overtreft. Komt daarentegen de oppositie in den winter of het voorjaar, aan den overkant van de ekliptika, in de Tweelingen, den Kreeft of den Leeuw, dan is Mars nog wel een mooie, heldere ster, maar toch niet zóó kolossaal — een bewijs dus, dat hij dan verder van ons verwijderd blijft.

Ook volgen de opposities niet met gelijke tusschentijden op elkaar en liggen de plaatsen van de ekliptika, waar de planeet dan staat, niet telkens evenveel verder. Dit is het best te zien, als wij alle opposities uit de laatste jaren onder elkaar in een lijstje vereenigen, eerst den datum en dan het sterrebeeld en de lengte in de ekliptika voor elke oppositie:

Datum der oppositie.	Sterrebeeld.	Lengte.	Tusschentijd.
1890 27 Mei	Schorpioen	247 graden	2 jaar 70 dagen
1892 4 Augustus	Steenbok	312 "	" 77 "
1894 20 Oktober	Ram	28 "	" 53 "
1896 11 December	Stier	80 "	" 38 "
1899 18 Januari	Kreeft	119 "	" 35 "
1901 22 Februari	Leeuw	153 "	" 35 "
1903 29 Maart	Maagd	187 "	" 41 "
1905 8 Mei	Weegschaal	227 "	" 59 "
1907 6 Juli	Schutter	283 "	" 81 "
1909 24 September	Visschen	1 "	" 61 "
1911 24 November	Stier	62 "	" 41 "
1914 3 Januari	Tweelingen	103 "	" 37 "
1916 9 Februari	Kreeft	140 "	

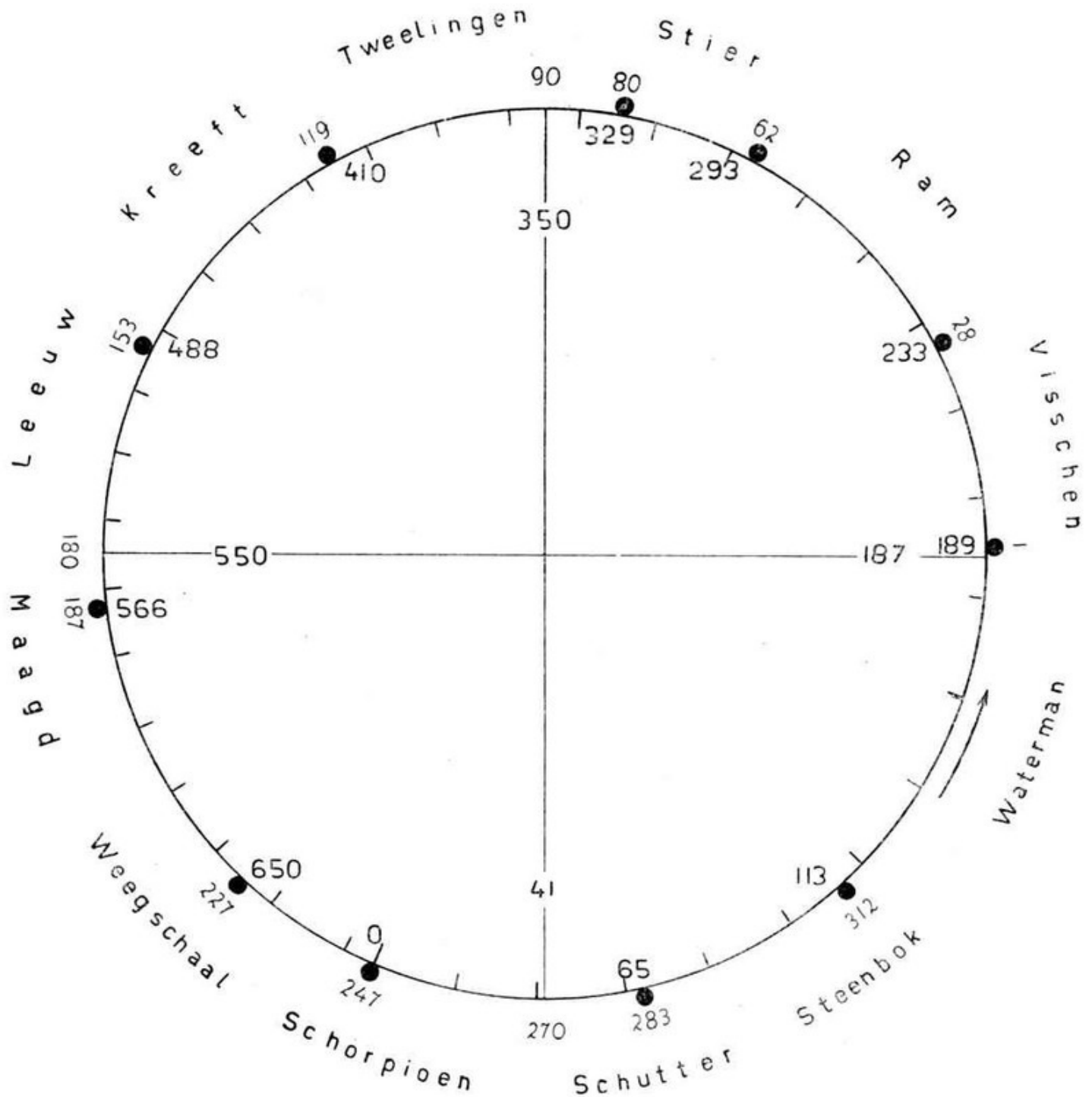
De tusschentijd tusschen de eerste en de tweede oppositie, 2 jaar en 70 dagen, is 113 dagen langer dan de omloopstijd van Mars, die 687 dagen bedraagt. Precies 687 dagen na 27 Mei 1890 was Mars, al zagen wij dat niet, natuurlijk weer op dezelfde plaats van de ekliptika aangekomen op een lengte van 247 graden; de overige 113 dagen heeft hij besteed om aan den hemel van 247 tot 312 graden lengte voort te loopen, dus 65 graden af te leggen; gemiddeld heeft hij daar dus $\frac{65}{113} == 0,58$ graad per dag afgelegd. Zoo kunnen wij ook voor het interval tusschen de beide volgende opposities vinden, dat hij een afstand van 76 graden in 120 dagen doorloopt, dus 0,63 graad per dag. Voor elk deel van de ekliptika vinden wij zoo zijn snelheid. Wij kunnen ook het tweede stuk en het eerste aan elkaar aansluiten; 113 dagen na de eerste oppositie bereikt hij de lengte van 312 graden, $113 + 120 == 233$ dagen na de eerste oppositie de lengte van 28 graden. Door overal van het geheele werkelijke tijdsinterval een omloop van Mars af te trekken, schakelen wij de aan elkaar grenzende bogen van de ekliptika aaneen, alsof zij in een enkelen Marsomloop achtereenvolgens doorloopen zijn. Zoo krijgen wij een beeld van de beweging van Mars gedurende zijn omloop om de zon. In de volgende lijst is van interval tot interval aangegeven met welke gemiddelde snelheid Mars elk stuk doorloopt, terwijl de laatste kolom aangeeft, hoeveel dagen na 27 Mei 1890 (of een omloop, 687 dagen later) Mars de verschillende lengten bereikt.



TYCHO BRAHE
waarnemende met het muurkwadrant

Lengte.	Doorloopen weg.	Tusschentijd.	Gemiddelde snelheid p. dag.	Tijdstip.
247 graden				0 dagen
	65 graden	113 dagen	0.58 graden	
312 "				113 "
	76 "	120 "	0.63 "	
28 "				233 "
	52 "	96 "	0.54 "	
80 "				329 "
	39 "	81 "	0.48 "	
119 "				410 "
	34 "	78 "	0.44 "	
153 "				488 "
	34 "	78 "	0.44 "	
187 "				566 "
	40 "	84 "	0.48 "	
227 "				650 "
	56 "	102 "	0.55 "	
283 "				65 "
	78 "	124 "	0.63 "	
1 "				189 "
	61 "	104 "	0.59 "	
62 "				293 "
	41 "	84 "	0.49 "	
103 "				377 "
	37 "	80 "	0.46 "	
140 "				457 "

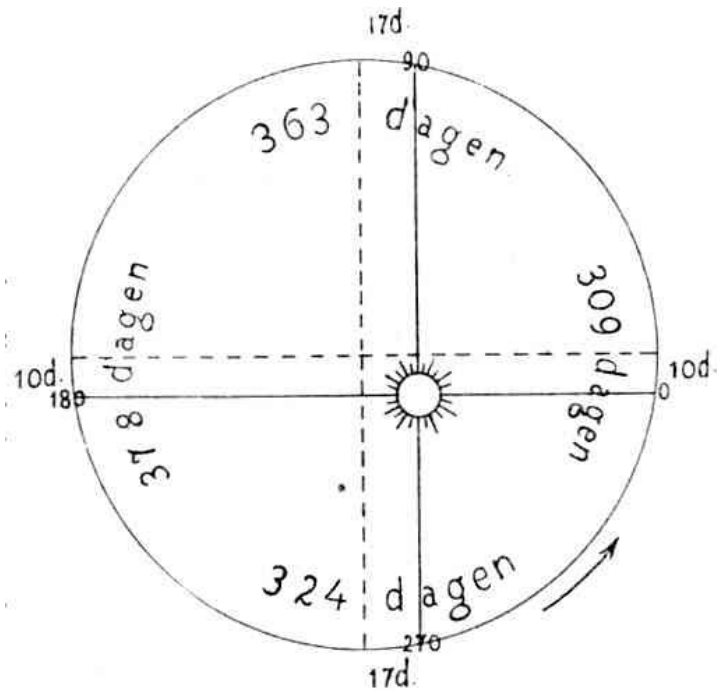
Uit deze getallen blijkt onmiddellijk, dat de snelheid van Mars aan den hemel afwisselend grooter en kleiner wordt. Zij is het kleinst, 0,44 graden per dag, wanneer de planeet een lengte van ongeveer 150 graden heeft (in den Leeuw); zij is het grootst, iets meer dan 0,63 graden per dag (want 0,63 is de gemiddelde snelheid over een langer tijdvak, waarin de snelheid ook beneden haar hoogste bedrag geweest is) aan den overkant van de ekliptika, in den Waterman. Waar de snelheid het grootst is, heeft de aarde langer tijd noodig om hem in te halen en daarom verloopt er dan van de eene (zomer— of herfst-) oppositie tot de andere een langere tijd; daarentegen volgen ze sneller op elkaar in de buurt, waar de planeet langzamer loopt. Wij kunnen de beweging van Mars langs de ekliptika om ons, of eigenlijk om de zon heen, door de nevenstaande figuur aanschouwelijk voorstellen. Buiten den cirkel zijn door dikke stippen de opposities (tot 1911) aangegeven met de lengte in graden er bij geschreven; de getallen binnen den cirkel geven aan, hoeveel dagen na den 27^{sten} Mei 1890 de planeet volgens de laatste kolom zich daar bevond. Naar deze getallen zijn de kleine streepjes binnen den cirkel getrokken, die de plaats van de planeet van 20 tot 20 dagen aangeven; zij zijn aan den eenen kant dichter bij elkaar dan aan den anderen, en laten zoo de wisselende snelheid van de planeet goed uitkomen. Nog scherper komt deze te voorschijn, wanneer wij uit deze getallen berekenen, hoeveel dagen Mars voor elk der vier vierdeparten van zijn baan noodig heeft, waarin wij ook de aardbaan verdeelden. Wij vinden dan, dat de lengte van 0, 90, 180 en 270 graden op den 187^{sten}, 350^{sten}, 550^{sten} en 41^{sten} dag bereikt werd, dus met tusschentijden van 163, 200, 178 en 146 dagen.



Beweging van Mars langs de ekliptika.

Deze ongelijkheid in de beweging van Mars is zoo opvallend, dat zij ook door de Grieksche sterrekundigen der oudheid gemakkelijk bemerkt werd. En de verklaring lag op dezelfde manier voor de hand als bij de beweging van de zon: Mars beweegt zich in een uitmiddelpuntigen cirkel om de zon; de zon staat buiten het middelpunt van de Marsbaan. Deze verklaring komt ook volkomen overeen met het uiterlijk van de planeet; waar Mars het snelst beweegt, dus volgens onze theorie het dichtst bij de zon is, zien wij hem ook het helderst schitteren, een bewijs dat hij daar werkelijk dicht bij ons en bij de zon is. Hoe ver de zon buiten het middelpunt van de Marsbaan staat, kunnen wij uit de zooeven gevonden tijden berekenen, die Mars op de vier vierdeparten van zijn baan besteedt, op dezelfde manier als boven bij de zon. De volgende figuur doet ons zien, dat de afstand van de zon tot het baanmiddelpunt even groot is als de boog, dien Mars in 20 dagen doorloopt; daar Mars den straal van zijn baan in $\frac{7}{44} \times 687 = 109$ dagen zou doorloopen, volgt daaruit: de

excentriciteit van de Marsbaan is iets minder dan $\frac{1}{5}$. De Marsbaan is dus veel sterker excentrisch dan de aardbaan; de kleinste en de grootste afstand tot de zon verhouden zich ongeveer als 4 tot 6, en daarmee stemt overeen, dat de grootste snelheid aan den hemel nagenoeg anderhalf maal zoo groot is als de kleinste.



Excentriciteit van de Marsbaan.

Wanneer wij nu op dezelfde manier de planeten Jupiter en Saturnus onderzoeken, dan vinden wij iets dergelijks, alleen in minder sterker mate. Ook hier komen de opposities niet na gelijke tusschentijden en even ver van elkaar in de ekliptika. Wij kunnen ook voor Jupiter zulk een lijst van opposities samenstellen, en daar dadelijk de tusschentijden, de tussenruimten in de ekliptika, de gemiddelde snelheid en het tijdstip na de eerste oppositie bijschrijven.

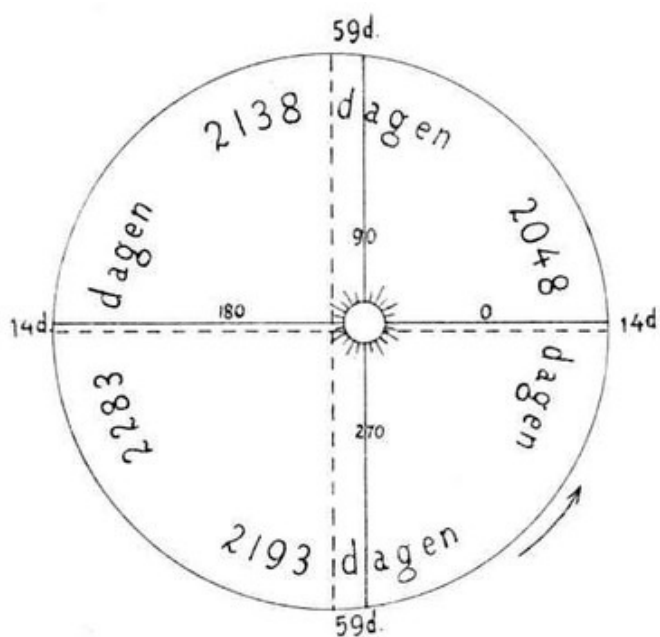
Datum der oppositie.	Lengte.	Tusschen-tijd.	Doorloopen weg.	Snelheid p. 100 dagen.	Tijdstip.
1897 23 Febr.	155 gr.				0 d.
		396 d.	30 gr.	7.6 gr.	
1898 26 Mrt.	185 "	395 "	30 "	7.6 "	396 "
1899 25 April	215 "				791 "
		397 d.	31 gr.	7.8 gr.	
1900 27 Mei	246 "	399 "	33 "	8.3 "	1188 "
1901 30 Juni	279 "	401 "	33 "	8.2 "	1587 "
1902 5 Aug.	312 "	403 "	36 "	8.9 "	1988 "
1903 12 Sept.	348 "	403 "	37 "	9.2 "	2391 "
1904 19 Okt.	25 "	401 "	36 "	9.0 "	2794 "
1905 24 Nov.	61 "	399 "	35 "	8.8 "	3195 "
1906 28 Dec.	96 "	397 "	33 "	8.3 "	3594 "
1908 29 Jan.	129 "	396 "	31 "	7.8 "	3991 "
1909 28 Febr.	160 "	396 "	30 "	7.6 "	54 "
1910 31 Mrt.	190 "	395 "	29 "	7.4 "	450 "
1911 30 April	219 "	398 "	31 "	7.8 "	845 "
1912 1 Juni	250 "				1243 "

Voor Saturnus, die $29\frac{1}{2}$ jaar (10759 dagen) voor een omloop nodig heeft, geven wij hier, om de regelmatigheid van de beweging te laten zien, elke derde oppositie:

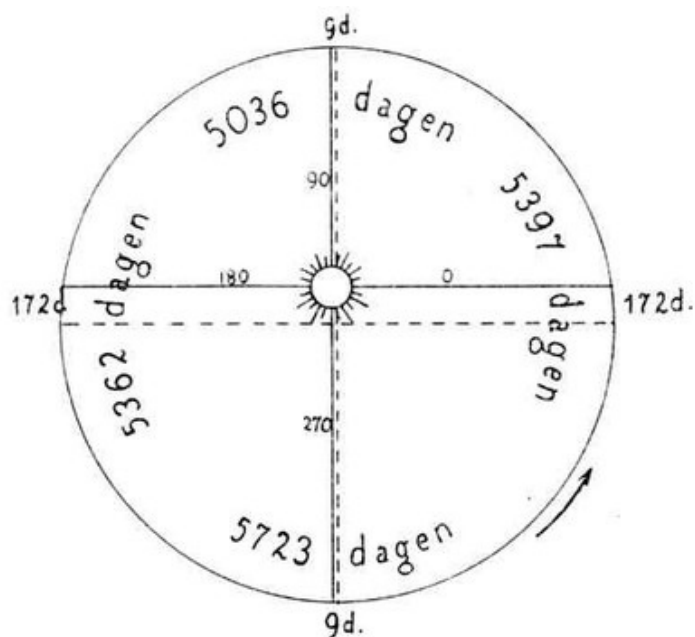
Datum der oppositie.	Lengte.	Tusschen-tijd.	Doorloopen weg.	Snelheid p. 100 dagen.	Tijdstip.
1881 1 Nov.	39 gr.				0 d.
		1137 d.	42 gr.	3.7 gr.	
1884 12 Dec.	81 "	1137 "	42 "	3.7 "	1137 "
1888 23 Jan.	123 "	1136 "	41 "	3.6 "	2274 "
1891 4 Mrt.	164 "	1134 "	38 "	3.35 "	3410 "
1894 11 April	202 "	1133 "	35 "	3.1 "	4544 "
1897 18 Mei	237 "	1131 "	35 "	3.1 "	5677 "
1900 23 Juni	272 "	1132 "	34 "	3.0 "	6808 "
1903 30 Juli	306 "	1133 "	36 "	3.2 "	7940 "
1906 5 Sept.	342 "	1134 "	38 "	3.35 "	9073 "
1909 13 Okt.	20 "	1137 "	40 "	3.5 "	10207 "
1912 23 Nov.	60 "				585 "

Bij beide planeten ziet men zonder moeite het regelmatige klimmen en dalen van de snelheid; deze is bij Jupiter op zijn grootst als hij in de Visschen, bij Saturnus als hij in de Tweelingen staat. Wij kunnen de excentriciteit van hun baan weer op dezelfde manier vinden als bij Mars, door de baan in vier gelijke deelen te verdeelen en de tijdruimte vast te stellen, die de planeet op elk dezer deelen besteedt. Uit de getallen der laatste kolom vindt men, dat Jupiter de lengten 0, 90, 180, 270 graden 2522, 3526, 329 en 1478 dagen na de eerste oppositie, en Saturnus diezelfde lengten 9610, 1381, 3887 en 6743 dagen na de eerste oppositie bereikte. Daaruit vindt men de verdere getallen, die in de beide onderstaande figuren

staan, en die ons toonen, waar de zon binnen elken planetencirkel staat.



Excentriciteit van de Jupiterbaan.



Excentriciteit van de Saturnusbaan.

Het blijkt dan, dat de zon zich bij Jupiter $\frac{1}{11}$ of $\frac{1}{12}$ van den straal, bij Saturnus ongeveer $\frac{1}{10}$ van den straal buiten het middelpunt bevindt.

Bij Venus en Mercurius laat zich het hulpmiddel: de planeten waar te nemen, als wij ze op dezelfde plaats zien als van uit de zon, niet toepassen, omdat zij nooit in oppositie komen en bij hun konjunctie met de zon onzichtbaar zijn. Hier is de vorm van de baan slechts langs omwegen te vinden. Bij Mercurius is het duidelijk, dat de baan sterk excentrisch moet zijn, omdat hij, als hij op zijn verst van de zon af staat, in grootste elongatie, de eene maal veel verder van de zon komt dan de andere maal. Bij Venus daarentegen vinden de verschijnselen steeds op dezelfde manier en met zoo groote regelmatigheid plaats, dat de zon zich vrijwel precies in het midden van de Venusbaan moet bevinden.

Ptolemaeus heeft in zijn groote werk, dat hoofdzakelijk aan een nauwkeurig onderzoek der planetenbeweging gewijd was, deze onregelmatigheden zoo weergegeven, dat hij de aarde zooveel als noodig was buiten het middelpunt van den leidcirkel plaatste. Daar de leidcirkel bij Ptolemaeus met de ware planetenbaan in het stelsel van Copernicus overeenstemt, beteekent dit hetzelfde als dat wij de zon iets buiten het middelpunt van de planetenbaan plaatsen. Maar Ptolemaeus bemerkte ook reeds, dat met deze excentrische cirkelbeweging de zaak nog niet geheel in orde was; om de waarnemingen goed voor te stellen, was deze excentrische cirkel, die met steeds gelijkmatige snelheid doorloopen wordt, niet voldoende, en verschillende middelen werden beproefd om de overgebleven onregelmatigheden te verklaren. Zoo kwam het, dat Copernicus, nadat hij het wereldstelsel van de groote epicykels bevrijd had, er toch weer kleine epicykels bij moest halen, om daar de planeten op te laten loopen. Zoo eenvoudig zijn wereldstelsel in het groot was, zoo ingewikkeld was het in de kleine details. En de tafels, waarin naar zijn theorie de plaatsen der planeten aan den hemel vooruit berekend waren, stemden wel beter dan de vroegere berekeningen, maar toch nog niet geheel en al met de werkelijkheid overeen.

Zoo was ondanks de groote omwenteling, die Copernicus gebracht had, de kennis van de beweging der planeten nog zeer onbevredigend. Dat daarin binnen een eeuw een volkomen verandering kwam, is vooral

33. HET WERK VAN TYCHO EN KEPLER.

Waardoor kwam het eigenlijk, dat de kennis der planetenbeweging in dien tijd nog zoo onvolkomen was? Vooral door het gebrek aan een voldoende hoeveelheid waarnemingen. De groote sterrekundigen der oudheid en hun navolgers deden alleen zoo nu en dan een waarneming, wanneer ze die juist noodig hadden om de plaats van een planeet aan den hemel vast te stellen. Om de grootte van de epicykels, de uitmiddelpuntigheid van de banen en de perioden der planeten te bepalen, had men aan een klein getal waarnemingen genoeg, want men wist, dat de banen uit cirkels bestonden. Niemand dacht er aan om onafgebroken den weg der planeten aan den hemel te volgen en steeds grootere reeksen van waarnemingen op elkaar te stapelen, zooals tegenwoordig de sterrekundigen dat voor vanzelfsprekend houden. Waarvoor zou men ook? Wel is waar bleek het nu en dan, dat de vooruit berekende plaatsen der planeten niet precies met de werkelijke plaatsen aan den hemel klopten. Maar wat hinderde dat? Voor de zeevaart was het alleen maar noodig, de plaats van de zon nauwkeurig vooruit te kennen; om dit even nauwkeurig voor de planeten te weten, daarvoor bestond langen tijd geen enkele in een praktische behoefte gelegen dringende reden.

Maar in de 16^{de} eeuw ontstond zulk een dringende reden; en wel in het toenmaals algemeen heerschende geloof, dat de stand der planeten de gebeurtenissen hier op aarde bepaalde. Wij hebben er reeds op gewezen, dat de astrologie de oude Babyloniërs tot ijverige waarnemers van den hemel had gemaakt, en dat eerst op grond van deze waarnemingen de Grieksche sterrekundigen hun wetenschap konden opbouwen. Dit geloof in de werking der gesternten op het aardsche leven bleef gedurende de geheele oudheid en de middeleeuwen bestaan, zij het ook niet steeds met dezelfde kracht. Dit geloof was het, dat de Egyptische en de Mahomedaansche vorsten tot hun ijver in het begunstigen der sterrekunde aandreef. Bijna alle beroemde sterrekundigen waren tegelijk astrologen; de groote Ptolemaeus had over de astrologie een werk geschreven, dat onder den naam "Tetrabiblos" in de middeleeuwen niet minder beroemd was en niet minder ijverig bestudeerd werd dan zijn Almagest. Tot een onweerstaanbare, alles overheerschende overtuiging werd het geloof in de astrologie weer in de 16^{de} eeuw, toen de vaste levensnormen van de middeleeuwen gevallen waren en de menschen, verbijsterd en ontredderd, te midden van geweldige maatschappelijke omwentelingen, gruwelijke godsdienstoorlogen en botsingen van klasse tegen klasse, naar een leer zochten en tastten, die hun levenslot van het meedoogenlooze toeval kon vrijmaken. Wat kon hun daar meer bevrediging geven, dan de leer, die het wisselend menschenlot met den onwankelbaren, eeuwigen loop der sterren in verbinding bracht? Onder alle soorten van geloof en bijgeloof, dat in die tijden van maatschappelijken en geestelijken ommekeer welig opschoot, moest juist de astrologie op de beste en ontwikkeldste geesten een sterke aantrekkingskracht uitoefenen. Zij verdiende inderdaad den naam van "meest verheven wetenschap"; zij speurde het diepste wereldgeheim, den samenhang van mensch en wereld, na, en geen andere wetenschap had voor de menschen een zoo groote praktische waarde.

De middelaars, die Gods wil aan de menschen kenbaar maakten en alle gebeurtenissen op aarde

begeleiden en verkondigden, waren de planeten. De komst van een planeet, die door haar stand bij iemands geboorte in een bepaalde betrekking tot hem stond, in bepaalde sterrebeelden of haar samentreffen met andere planeten en sterren bepaalde de gelukkige of noodlottige voorvallen in het leven van dien persoon. Wilde men echter in staat zijn, deze voorvallen goed te voorspellen, dan moest men de toekomstige plaatsen der planeten nauwkeurig vooruit kunnen berekenen. Hier had men dus een praktische behoefte van het grootste belang, om de beweging der planeten met de uiterste nauwkeurigheid te kennen.

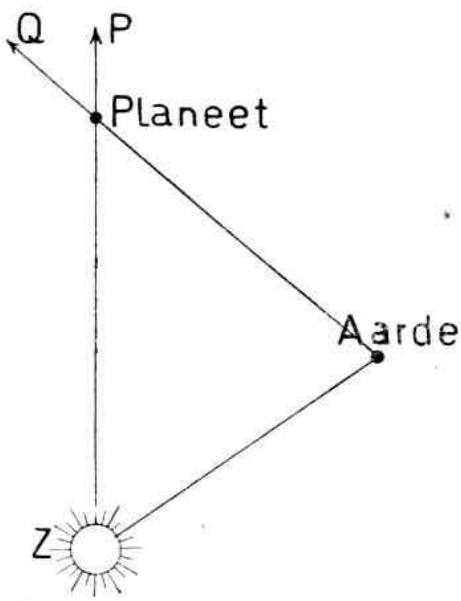
Tot de velen, die zich vol ijver en toewijding met deze verheven wetenschap bezighielden, behoorde ook een Deensch edelman, Tycho Brahe. Als jonge man nam hij in 1563 waar, dat een konjunktie, een ontmoeting van de planeten Jupiter en Saturnus door de planetentafels vele dagen verkeerd opgegeven werd; astrologisch beteekende dit, dat de daarmee samenhangende gebeurtenis vele jaren verkeerd zou voorspeld zijn. Hij was overtuigd, dat de wetenschap van den samenhang tusschen de hemelsche en de aardsche verschijnselen zich nog in haar eerste, primitieve begin bevond. Om haar ooit tot zoo groote hoogte te brengen, dat zekere, betrouwbare voorspellingen mogelijk waren, was het volstrekt noodig, dat de bewegingen der planeten met de uiterste nauwkeurigheid bekend waren en berekend konden worden. Dit was alleen op grond van de ervaring mogelijk, door eerst nauwkeurig waar te nemen, hoe de planeten zich werkelijk aan den hemel bewegen. Zoo kwam Tycho er toe, zijn leven te wijden aan de taak, door zooveel en zoo nauwkeurig mogelijke waarnemingen van de planeten het materiaal bijeen te brengen, waarmee een goede planetentheorie op te bouwen was. "Daar Tycho," zoo schrijft Gassendi in zijn in 1654 verschenen "Leven van Tycho", "door de hoop, de toekomst te doorzien, tot deze studiën aangevuurd was, is het geen wonder, dat hij van zijn jeugd af aan de astrologie ijverig toegedaan was, en haar in een openbare redevoering aanbeval. Men mag zelfs beweren, dat dit geloof zoo vast in hem leefde, dat hij het nauwelijks of nooit heeft laten varen, tenzij misschien op het laatst van zijn leven. Want zoo dikwijls hij ook teleurgesteld werd en zag dat het niet uitkwam, zoo meende hij toch steeds dat de schuld hieraan lag, dat de tafels der hemelsche bewegingen niet de plaatsen van de planeten opgaven, die met den hemel overeenstemden. Daarom legde hij de astrologie op zij en besloot haar niet weer ter hand te nemen, voordat hij met behulp van nauwkeurige waarnemingen goede tafels zou hebben vervaardigd."

Van den koning van Denemarken kreeg hij het eiland Hveen in de Sont tot Zijne beschikking, met de noodige inkomsten om er een sterrewacht te bouwen. Hij verbeterde de ruwe meetwerktuigen van dien tijd en wist ze met zooveel bekwaamheid te gebruiken, dat in de door hem gemeten plaatsen der sterren en planeten geen grooter fouten dan hoogstens een paar minuten overbleven — een nauwkeurigheid, die toen ongeloofelijk scheen en vóór de toepassing van de verrekijkers niet meer overtroffen is. Met een aantal leerlingen en helpers nam hij daar onafgebroken 16 jaren lang, van 1580 tot 1596, de zon, de maan, de sterren en de planeten waar. Daarbij werd datgene, wat voor hem eerst alleen maar middel geweest was, langzamerhand tot hoofddoel, terwijl het vroegere hoofddoel, de astrologie, op den achtergrond raakte. Zoo schreef hij in 1587 aan den kanselier van het Duitsche rijk, dat hij zich met de astrologie niet graag inliet, omdat daarop niet veel te bouwen was; maar dat hij in de astronomie, die den loop der sterren navorscht, orde tracht te brengen, want daarin is, met vlijt en arbeid en goede instrumenten, de waarheid wel te vinden. En inderdaad had hij een waarnemingsmateriaal bij elkaar gebracht, dat in hoeveelheid en hoedanigheid al het bestaande zooverre overtrof, dat het nu voor het allereerst mogelijk was geworden de werkelijke banen der planeten nauwkeurig te vinden. Tycho wilde dit werk aanvatten, toen hij zich na zijn vertrek uit Denemarken in Praag gevestigd had, waarheen hem Keizer Rudolf uitgenoodigd had, die zich in plaats van met staatszaken alleen met wetenschap bezighield. Maar hij stierf in 1600, vóór hij met deze taak goed en wel beginnen kon. Zij werd overgenomen door zijn assistent, den Wurtemberger Johannes Kepler, die ook zijn opvolger in het ambt van "Keizerlijk mathematicus" werd, en aan

wien Tycho als erfenis de opdracht naliet, uit zijn waarnemingen de juiste banen en nauwkeurige tafels voor de planeten te berekenen.

Tycho had geen gelukkiger keus kunnen doen. Kepler bezat juist de beide eigenschappen, die voor dit werk noodig waren: hij bezat een rijke fantasie, die ook tusschen de meest verschillende verschijnselen en verwijderde gebieden samenhang en verband wist te raden, en hij bezat een onvermoeibare vlijt, die onverdroten de langdradigste berekeningen uitvoerde, om zijn vermoedens op de proef te stellen, en, als het bleek niet uit te komen, zonder spijt over de verloren moeite dadelijk een nieuwen weg probeerde. Om dit groote talent in het rekenen, dat uit zijn eerste geschrift bleek, had Tycho hem uitgenoodigd, als zijn helper voor het groote werk naar Praag te komen. In dit eerste geschrift sprak Kepler reeds het groote hooge doel uit, dat hem bij zijn arbeid voor oogen stond. Hij wilde vinden, naar welk plan en welke grondgedachte het planetenstelsel, de toenmalige wereld geschapen was. Zonder eenige reden of orde, gewoon maar toevallig, kon de bouw van deze wereld niet zijn. Waarom waren er juist zes planeten? Waarom stonden zij juist op deze en niet op andere afstanden van de zon? Welke wet beheerschte hun beweging? Dit te onderzoeken, als het ware Gods gedachten in Zijn werk na te speuren, dat was het groote levensdoel, dat hem ophief en sterk maakte in alle ongeluk en hem gedurende een leven vol zorgen, onder armoede en vervolgingen, kracht tot een reuzenwerk gaf. Dat was het trotsche gevoel, dat hem bezielde, toen hij in een van zijn werken, na de uiteenzetting van een door hem ontdekte belangrijke wet, schreef: "Ik heb mijn boek geschreven en het zal gelezen worden, nu of in latere tijden — wat doet het er toe? Heeft God niet zesduizend jaar moeten wachten op dengene, die zijn werk doorgrond heeft?"

Kepler wist, dat hij dit doel alleen dan zou kunnen bereiken, wanneer hij het beste waarnemingsmateriaal kon gebruiken, dat te vinden was. Daarom werd hij door Tycho's waarnemingsschat aangetrokken en was diens uitnoodiging hem zoo welkom. Nu is wel is waar het meeste van wat hij uit zijn berekeningen afleidde later gebleken onhoudbare fantasie te zijn; daarom heeft men hem vaak voor een fantast gehouden, die maar bij toeval een paar gelukkige vondsten deed; en zijn tijdgenooten, die ook van deze vondsten de waarde niet kenden, moesten hem daarvoor nog veel meer houden. Maar men mag niet vergeten, dat hij alleen door alle richtingen te probeeren den weg kon vinden, waarop de wetenschap verder zou gaan. Wie naderhand op dit gebaande pad voortschrijdt, heeft dan meestal geen klaar besef, hoe moeilijk het eerste verkennen van het terrein was, en hoeveel vruchteloze pogingen, illusies en teleurstellingen noodig waren, voordat de weg gevonden was, die ons nu zoo eenvoudig en vanzelfsprekend voorkomt. En wie Kepler bij zijn werk begeleidt, bemerkt dadelijk, dat hij in het geheel niet zonder plan er maar op los probeerde, doch op vaste, methodische en weloverlegde wijze op zijn doel afging. Zijn groote sterrekundige ontdekkingen zijn geen vruchten van het toeval; zij zijn de uitkomsten van een stelselmatig onderzoek, dat zekerheid bood het gestelde doel te bereiken.



Het principe, waarop zijn berekeningen berusten, is uiterst eenvoudig; het is hetzelfde beginsel, dat wij ook al bij de driehoeksmeting op aarde leerden kennen. De plaats en de afstand van een voor ons onbereikbaar voorwerp zijn te vinden, als men vanuit twee verschillende plaatsen, waarvan de afstand bekend is, de richting waarneemt, waarin het voorwerp zich vertoont. Kunnen wij op die manier ook de werkelijke plaats van een planeet in de wereldruimte leeren kennen? Op het eerste gezicht schijnt dat een onoplosbaar vraagstuk, omdat wij maar één standpunt hebben: de aarde, die wij niet kunnen verlaten. Maar dat is voor ons toch geen bezwaar. Want wij weten, dat de planeet zich om de zon beweegt en wij kennen voor elk tijdstip de richting, waarin zij zich van uit de zon vertoont; wij kennen die direkt uit de opposities, en wij weten, dat telkens na een omloop de planeet weer precies op dezelfde plaats terugkomt. In werkelijkheid hebben wij dus twee standpunten: de zon en de aarde. In den geest kunnen wij ons naar de zon verplaatsen, en wij zien de planeet dan regelmatig om ons rondloopen; wel weten wij niet hoever zij in elke richting van de zon af is, doch alleen, dat zij zich ergens op de van de zon uitgaande lijn $Z P$ bevindt. Tegelijk bevinden wij ons echter lichamelijk op de aarde en zien van hieruit, als het ware van een zijpost uit, dat de planeet zich in de richting naar Q bevindt. Uit deze beide gegevens laat zich dan gemakkelijk berekenen, op welke plaats van de lijn $Z P$, op welken afstand van de zon en van de aarde de planeet zich in de ruimte bevindt. Natuurlijk is daarbij verondersteld, dat de afstand van de aarde tot de zon bekend is; wat men vindt is natuurlijk alleen de verhouding van de afstanden zon-planeet en zon-aarde.

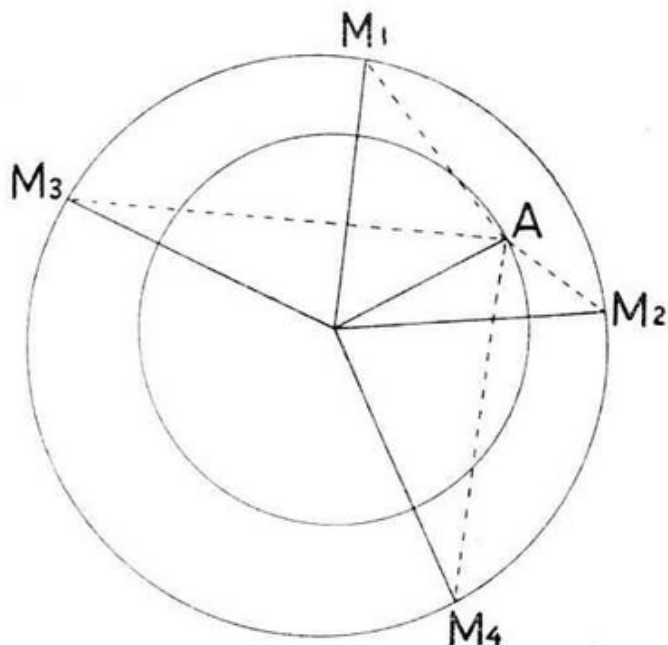
Dit principe heeft Kepler toegepast, om uit de waarnemingen van Tycho de werkelijke banen der planeten en de wetten van hun beweging te vinden.

34. DE WETTEN VAN KEPLER.

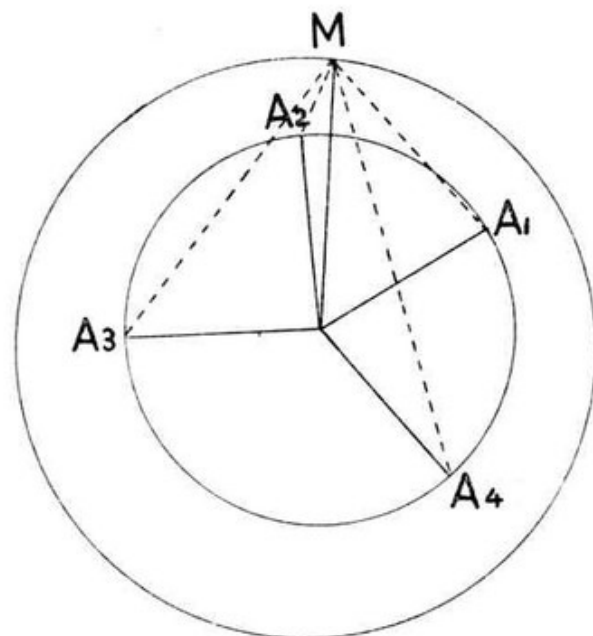
Kepler begon zijn werk met een onderzoek van de beweging van Mars. Uit Tycho's waarnemingen leidde hij met groote nauwkeurigheid alle opposities van 1580 tot 1600 af, zoowel den tijd als de plaats

aan den hemel; daaruit kon hij, op dezelfde wijze als wij boven gedaan hebben, de beweging van Mars gedurende den geheelen omloop afleiden, en zoo was hij in staat voor elk oogenblik de richting van de planeet, van uit de zon gezien, nauwkeurig te berekenen. Daarmee was de grondslag gelegd; door hiermee de plaatsen te vergelijken, waar Mars elk oogenblik van uit de aarde gezien was, kon hij zijn afstand tot de zon berekenen.

Nu deed zich hier een moeilijkheid voor; de als bekend veronderstelde maatstaf, de afstand van de aarde tot de zon, was zelf niet altijd gelijk en kon niet eenvoudig als bekend aangenomen worden. Maar deze moeilijkheid was op twee manieren te vermijden. Ten eerste kon Kepler een aantal waarnemingen opzoeken, die juist een vol aantal jaren uit elkaar lagen, waarbij de aarde zich dus telkens op dezelfde plaats van haar baan bevonden had (in A van de eerste figuur), terwijl Mars daarbij op verschillende plaatsen $M^1 M^2 M^3 M^4$ gestaan had; de afstanden van Mars tot de zon waren dan alle in dezelfde maat $Z A$ uitgedrukt. Hij kon echter ook een aantal waarnemingen uitzoeken, die juist een vol aantal Marsomlopen uit elkaar lagen, waarbij dus Mars telkens op dezelfde plaats had gestaan (M in de tweede figuur), de aarde daarentegen op verschillende plaatsen $A^1 A^2 A^3 A^4$.



Afstanden van Mars.



Afstanden van de aarde.

De verhouding der afstanden, die door de berekening gevonden werd, leerde in dit geval hoeveel de afstanden van de zon naar $A^1 A^2 A^3 A^4$ onderling verschilden, uitgedrukt in een enkelen Marsafstand als vaste maat. Terwijl de eerste methode den vorm van de Marsbaan deed kennen, werd op deze tweede manier de gedaante van de aardbaan gevonden, die als grondslag voor alle verdere berekeningen kon dienst doen.

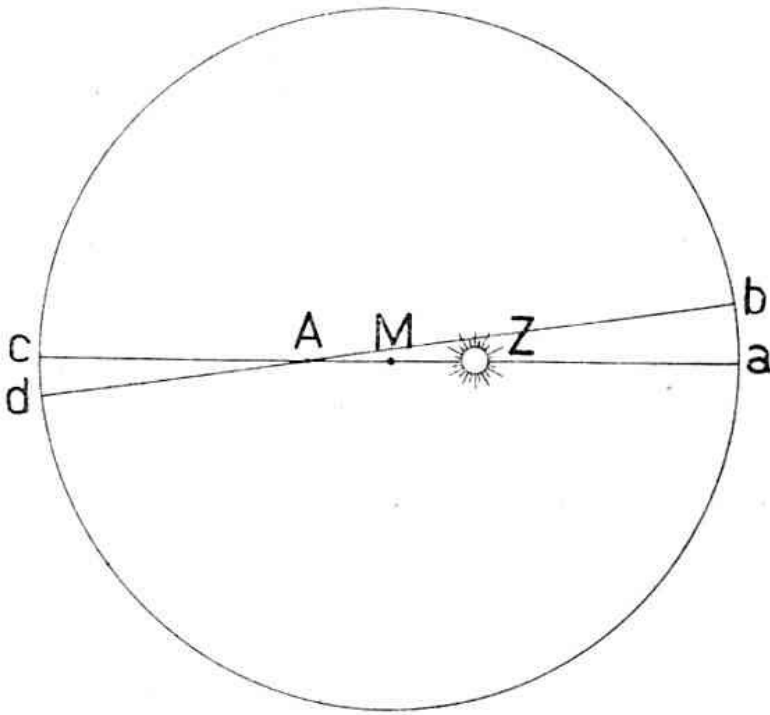
Kepler nam evenals al zijn voorgangers aan, dat de banen der planeten excentrische cirkels waren. Wat hij dus als gedaante der baan te bepalen had, was niets anders dan de grootte van de excentriciteit. Inderdaad bleek het hem, dat de gedaante van de aardbaan in niets van een cirkel verschilde, waarin de zon iets buiten het midden stond, en wel $\frac{1}{60}$ van den straal; naar den eenen kant was de afstand van de aarde tot de zon $\frac{1}{30}$ grooter dan naar den anderen kant. De plaats waar de aarde het dichtst bij de zon kwam, stemde ook precies overeen met de plaats, waar de snelheid van de zon aan den hemel het grootst is. Maar het bedrag der excentriciteit kwam niet uit; uit de wisselende snelheid van de zon aan den hemel volgde, zooals wij ook gevonden hebben, dat zij $\frac{1}{30}$ buiten het middelpunt moet staan, terwijl Kepler nu slechts half zooveel, slechts $\frac{1}{60}$ vond.

Bij Mars vertoonde zich hetzelfde verschil. Uit de grootste en de kleinste snelheid aan den hemel vond Kepler zeer nauwkeurig een bedrag voor de excentriciteit van 0,1856 — wij vonden boven ook iets minder dan $\frac{1}{5}$. Toen hij echter den grootsten en den kleinsten afstand van Mars tot de zon direkt uit zijn driehoeken berekende, vond hij voor den eersten 1,6678, voor den tweeden 1,3850 keer den straal van de aardbaan. De straal van de Marsbaan is het gemiddelde van deze getallen, dus 1,5264 keer den straal van de aardbaan, en de zon ligt het halve verschil van die beide getallen, dus 0,1414 keer den aardbaanstraal buiten het middelpunt. Dit is $\frac{0,1414}{1,5264} = 0,0926$ keer de straal van de Marsbaan; ook hier bij Mars zien wij, dat de excentriciteit uit de driehoeksmeting slechts half zoo groot wordt gevonden als uit de wisselende snelheid aan den hemel.

Nu kan er geen oogenblik twijfel bestaan, welke van die beide uitkomsten juist is. Het kleinere bedrag is uit direkte metingen en berekeningen gevonden, waarbij niets onzeker is; het grootere was afgeleid in

de onderstelling, dat de werkelijke snelheid in de cirkelbaan steeds evengroot blijft. Bewijzen voor deze onderstelling hebben wij geen andere dan het geloof, dat een steeds gelijk blijvende snelheid tot de natuur van een cirkelbaan behoort. Het blijkt nu, dat dit geloof ongegrond en de onderstelling onjuist is: de werkelijke snelheid van een planeet in haar cirkelbaan is veranderlijk.

Dit was nu geen nieuwe ontdekking. Reeds in de oudheid was dit verschijnsel bij Mars, Jupiter en Saturnus opgemerkt, en Ptolemaeus had het in zijn planetentheorie reeds op een eigenaardige, vernuftige manier in rekening gebracht. Van uit het centraallichaam, de zon (bij hem natuurlijk de aarde) gezien, is de schijnbare snelheid van Mars aan den eenen kant $\frac{1}{5}$ grooter, aan den anderen kant $\frac{1}{5}$ kleiner dan de gemiddelde. Zoeken wij dus een plaats, van waaruit de snelheid zich beide malen evengroot vertoont, het "middelpunt van beweging," dan moet de zon aan den eenen kant $\frac{1}{5}$ dichter bij Mars zijn dan dit punt, aan den anderen kant $\frac{1}{5}$ verder af.

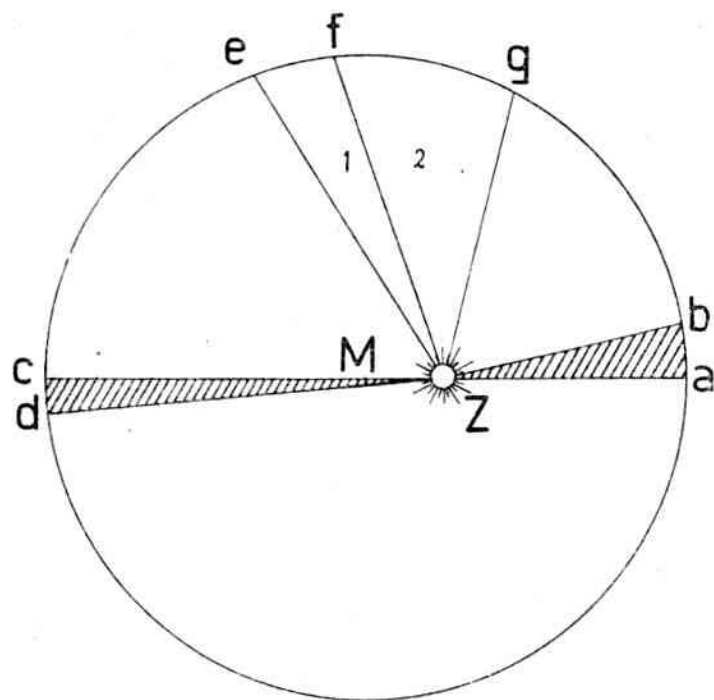


Vroeger meenden wij, dat dit punt het middelpunt van den planetencirkel was; nu is ons echter gebleken, dat de zon slechts $\frac{1}{10}$ buiten het middelpunt van den cirkel ligt. Hoe is dit met elkaar te harmonieeren? Door het middelpunt van beweging aan den anderen kant buiten het cirkelmiddelpunt te plaatsen, tegenover de zon. Het middelpunt van den cirkel M ligt midden tusschen de zon Z en het middelpunt van beweging A; van uit A schijnt de planeet volkomen regelmatig rond te loopen, maar de baan is geen cirkel om A, doch om M. Op die manier worden de waarnemingen geheel verklaard. In a is de planeet $\frac{1}{10}$ verder, in c $\frac{1}{10}$ minder ver van A af: dus zal de weg a b $\frac{1}{10}$ grooter, en de weg c d, dien de planeet in denzelfden tijd aflegt, $\frac{1}{10}$ kleiner zijn dan de gemiddelde. De zon is nu nog bovendien $\frac{1}{10}$ dichter bij a, en $\frac{1}{10}$ verder van c af; een regelmatig loopende planeet zou dus in a $\frac{1}{10}$ sneller, in c $\frac{1}{10}$ langzamer schijnen. Daar in a echter de werkelijke snelheid al $\frac{1}{10}$ grooter is, wordt de werking verdubbeld; de snellere beweging schijnt op den korteren afstand $\frac{1}{5}$ grooter, de langzamere beweging op den grooteren afstand $\frac{1}{5}$ kleiner dan gemiddeld.

Natuurlijk was de invoering van dit bijzondere "middelpunt van beweging," van waaruit de beweging van de planeet zich geheel regelmatig vertoont, slechts een formeel redmiddel om de oude grondstelling van de volkomen regelmatigheid der cirkelbewegingen in schijn te laten bestaan; in werkelijkheid was

deze grondstelling daarmee opgeheven.

Kepler had nu bewezen, dat bij Mars met de grootste nauwkeurigheid de excentriciteit van de baan precies de helft van de uit de beweging berekende excentriciteit was; daar hij bovendien voor het eerst bij de aarde hetzelfde aantoonde, moest hij aannemen, dat dit voor alle planeten gold. Maar de vorm, waarin Ptolemaeus het verschijnsel uitgedrukt had, kon hem niet bevregen. Is de planeet dan een bezielde wezen, dat zijn snelheid naar een denkbeeldig punt in de ruimte regelt?



De wet der perken.

Hoe kan een plaats in de ruimte, waar niets is, een plaats, die alleen in wiskundig verband met de wezenlijke punten Z en M staat, de beweging van de planeet beheerschen, en waarom moet die plaats juist dáár liggen? Veel natuurlijker is het, een verband te zoeken tusschen de wisselende snelheid van de planeet en het werkelijke lichaam van de zon; want de zon beheerscht toch den loop der planeten. En dan ligt het verband dadelijk voor de hand. In a is de snelheid van de planeet $\frac{1}{10}$ groter en tegelijk de afstand tot de zon $\frac{1}{10}$ kleiner dan gemiddeld, en omgekeerd in c. De snelheden a b en c d verhouden zich als 11 tot 9; de afstanden tot de zon Z a en Z c als 9 tot 11. Dit verband kan zoo uitgedrukt worden, dat de driehoekige oppervlakken of perken Z a b en Z c d even groot zijn. Voor langere tijden voegen zich deze smalle driehoekige perken tot grootere sektoren samen. Zoo luidt dan de eerste door Kepler gevonden bewegingswet der planeten, de zoogenaamde wet der perken: de planeten bewegen zich zoo, dat in gelijke tijdsruimten even groote sektoren of perken beschreven worden.

Is het oppervlak 2 tweemaal zoo groot als het oppervlak 1, dan heeft de planeet voor den weg f g een tweemaal langeren tijd noodig dan voor den weg e f.

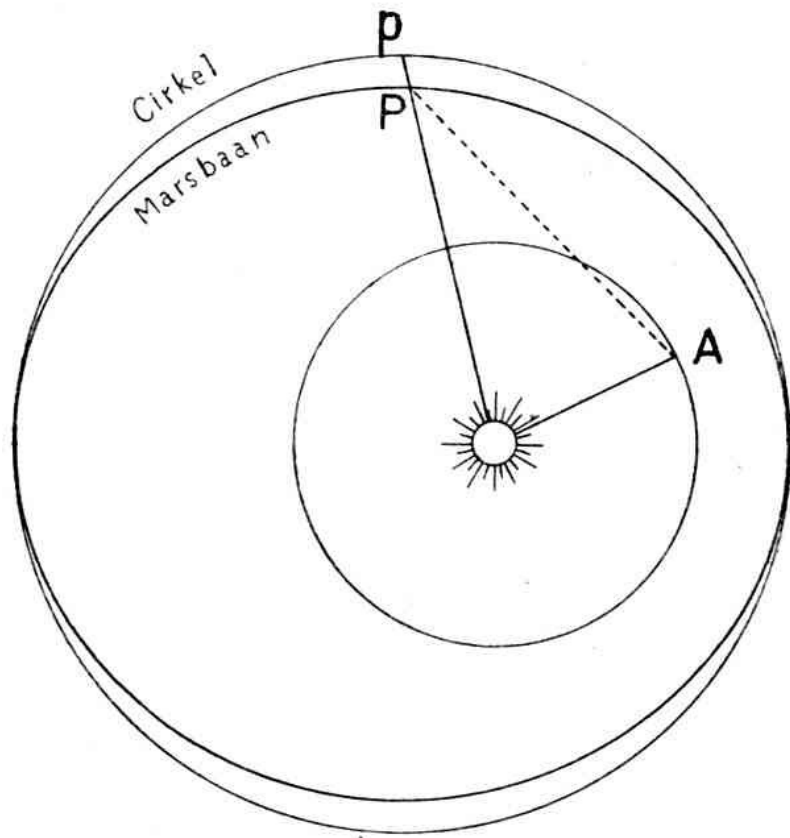
Nu kon Kepler zich aan het werk zetten om de proef op de som te maken. Hij had voor de excentriciteit en voor de richting, waarin de zon ten opzichte van het middelpunt staat, zoowel bij Mars als bij de aarde, de nauwkeurigste getallen afgeleid; ook had hij de helling en den stand van de Marsbaan ten opzichte van de ekliptika nauwkeurig berekend, waarover wij hier niets gezegd hebben, ofschoon zijn

berekeningen daardoor veel moeilijker en bewerkelijker werden.



JOHANNES KEPLER
(1571 — 1630)

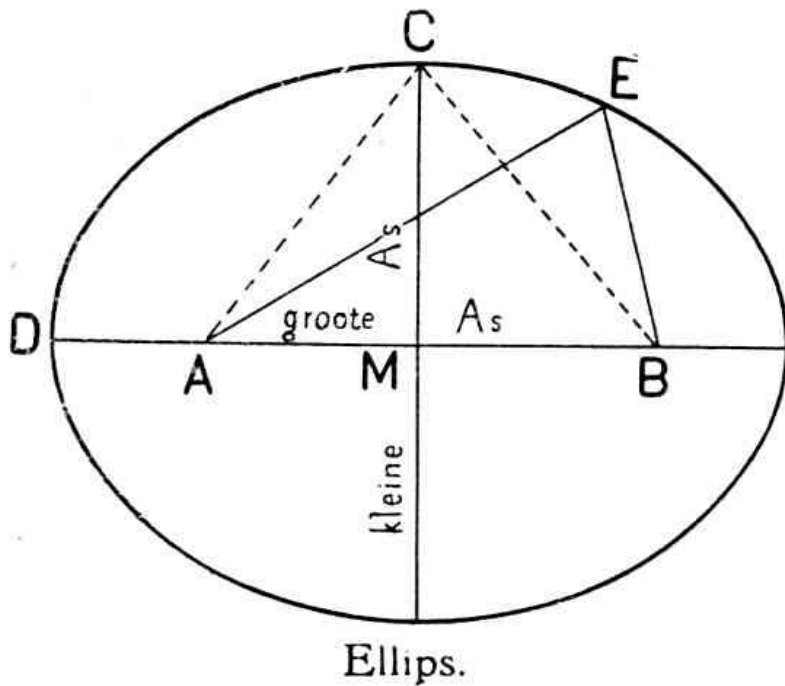
Als hij nu met deze gegevens voor den een of anderen dag de plaats berekende, waar Mars zich, van uit de aarde gezien, bevinden moest, dan moest dit binnen de grenzen der mogelijke kleine waarnemingsfoutjes precies uitkomen met de plaats, waar Tycho op dien dag de planeet werkelijk had waargenomen. Daaruit moest de juistheid van zijn theorie blijken. Toen hij nu de proef uitvoerde, bleek het, dat ze niet geheel uitkwam. Wel waren de afwijkingen klein — slechts een klein deel van een graad, dus zoo gering, dat vroeger geen sterrekundige daarop zou gelet hebben. Kepler wist echter, hoe nauwkeurig en betrouwbaar Tycho's waarnemingen waren; hij wist dat de gevonden afwijkingen te groot waren, om door fouten van Tycho verklaard te kunnen worden; de planeet had werkelijk op een andere plaats gestaan, dan hij volgens zijn theorie berekend had. Dus ging hij opnieuw aan het werk.



Lang heeft hij op de meest verschillende manieren beproefd, om achter het raadsel te komen. De afwijkingen traden vooral op, wanneer de planeet zich ergens halfweg tusschen haar grootsten en haar kleinsten afstand tot de zon bevond, dus zijdelings van de middellijn, waarop de zon stond. Hij berekende nu uit een aantal waarnemingen in die gedeelten van de baan direkt volgens de driehoeksmethode den afstand van de planeet tot de zon, en hij vond hem inderdaad iets kleiner dan hij tot nog toe had aangenomen. Het verschil was wel niet groot, slechts $\frac{1}{230}$ van den straal; maar toch was er geen twijfel aan, dat de planeet zich daar niet op den aangenomen cirkel, doch iets binnen dezen cirkel bevond. Was de baancirkel dan te groot aangenomen? Neen, want op den grootsten en kleinsten afstand tot de zon kwam het precies uit. Er was dus niet aan te twijfelen: de baan van Mars is geen cirkel. De baan van Mars is zijdelings iets samengedrukt, in de richting naar de zon en van de zon af iets langwerpig. Allerlei onderstellingen over de natuur van deze langwerpige figuur heeft Kepler op de proef gesteld, tot hij eindelijk vond, dat zij een ellips was.

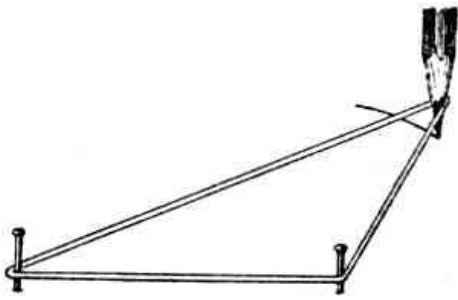
Wat is een ellips? Ieder kent ze, zij het ook niet bij name, als den vorm van de schaduw van een cirkel. Houdt men een cirkelvormige schijf of ring precies dwars in de zonnestralen, dan is de schaduw op een

papier, dat in dezelfde richting wordt gehouden, een cirkel. Houdt men den ring echter schuin, aldoor schuiner, dan ziet men, dat de schaduw in ééne richting steeds smaller wordt; zij wordt langwerpiger. Deze figuren zijn allemaal ellipsen; zij komen in alle overgangen voor van een volkomen ronden cirkel, steeds smaller wordend, tot een lijn zonder breedte. Iedere cirkel vertoont zich, wanneer hij niet volkomen recht voor het oog wordt gehouden, in de gedaante van een ellips.



De eenvoudige en mooie eigenschappen van deze ellipsen waren reeds in de oudheid door een scherpzinnig wiskunstenaar, Apollonius van Pergae, ontdekt. De langste en de kortste middellijn, die groote en kleine as genoemd worden, bepalen de gedaante van de ellips, die des te langwerpiger is, naarmate de assen meer verschillen. Op de groote as liggen ter weerszijden van het middelpunt twee merkwaardige punten, die de brandpunten heeten. Zij liggen van de eindpunten der kleine as zoover af, als de halve lengte van de groote bedraagt; in onze figuur, waar A en B de brandpunten zijn, zijn AC en BC beide even lang als MD . Hoe ronder de ellips is, des te dichter liggen de brandpunten bij elkaar; hoe langwerpiger de ellips, des te meer liggen de brandpunten in de spitse toppen; een cirkel zou men dus een ellips kunnen noemen, waarbij de beide brandpunten in het middelpunt samengevloeid zijn. De afstand van de brandpunten tot het middelpunt, de excentriciteit, bepaalt dus ook de gedaante van de ellips.

Deze brandpunten hebben nu de merkwaardige eigenschap, dat elk punt der ellips van beiden te zamen evenver verwijderd is — zij spelen dus te zamen een rol, die het middelpunt in den cirkel speelt. De afstanden AE en BE zijn te zamen altijd evengroot, wáár ook het punt E ligt, dus gelijk aan $AC + BC$, of gelijk aan $AD + BD$, dus gelijk aan de groote as.



Hoe men een ellips teekent.

Deze eigenschap vindt een nuttige toepassing bij het teekenen van een ellips. In een papier steekt men twee spelden op de plaats van de brandpunten; men legt er een samengeknoopten draad omheen en gaat nu met een potlood zóó rond, dat het potlood dien draad aldoor gespannen houdt. Wie een beetje handig in meetkunde is, kan uit deze eigenschap gemakkelijk afleiden, dat de beide voerstralen A E en B E in het punt E met de richting van de ellipslijn zelf gelijke hoeken maken. Heeft men een spiegel in den vorm van een ellips gebogen, dan wordt een lichtstraal, die in de richting A E op den spiegel valt, in de richting E B teruggekaatst. Dit geldt voor elk punt van den spiegel; staat dus een lichtbron in A, dan worden alle stralen, die op den spiegel vallen, naar B gekeerd, waar zij zich als in een brandpunt verzamelen; vandaar de naam dezer punten.

Zulk een ellips nu moest de Marsbaan zijn — wel is waar, een zeer ronde, daar de kleine as slechts $\frac{1}{230}$ kleiner was dan de groote as. Waar liggen nu de brandpunten van deze ellips? De berekening is gemakkelijk uit te voeren met behulp van de beroemde stelling van Pythagoras, waarnaar het kwadraat van de halve kleine as M C en het kwadraat van de excentriciteit M B samen gelijk zijn aan het kwadraat van de halve groote as B C. Bij een excentriciteit van $\frac{1}{10}$ moet dus de kleine as $\frac{1}{200}$ korter, bij een excentriciteit van $\frac{1}{11}$ moet ze $\frac{1}{242}$ korter dan de groote as zijn. In de gevonden Marsbaan moeten dus de brandpunten nagenoeg $\frac{1}{11}$ buiten het middelpunt liggen. Maar juist op die plaats, 0,0926 keer de halve groote as buiten het middelpunt bevindt zich de zon! De Marsbaan is dus een ellips en de zon bevindt zich in een der brandpunten van deze ellips.

Opeens was nu het raadsel opgelost, waarom de cirkels der planeten excentrisch zijn. Zij zijn geen cirkels, maar ellipsen. Dat was bij de andere planeten nu wel niet direkt te bewijzen, want hun banen verschillen door de kleinheid van de excentriciteit zoo weinig van cirkels, dat het in de waarnemingen in het geheel niet te voorschijn kan treden — Kepler had zijn ontdekking bij geen andere planeet dan bij Mars kunnen doen. Maar de gevolgtrekking was toch niet van de hand te wijzen, dat de excentriciteit ook bij de andere planeten niets anders beteekent, dan dat hun banen zeer ronde ellipsen zijn met de zon in het brandpunt. En zoo is dan de tweede wet van Kepler:

De planeten bewegen zich om de zon in ellipsen, zoo, dat de zon in een van de brandpunten staat.

Zoo was de ware natuur van de planetenbanen onthuld. Nu bleef alleen nog maar over, uit Tycho's waarnemingen nauwkeurige getallen af te leiden voor de grootte, den vorm en den stand der baan; dan kon daaruit voor alle toekomstige tijden de plaats van elke planeet aan den hemel nauwkeurig vooruit berekend worden. In deze getallen, de zoogenaamde "elementen" van de planetenbanen, die in de

volgende lijst staan, zooals Kepler ze opgeeft, zijn alle waarnemingen van Tycho en alle berekeningen van Kepler samengevat, is al onze wetenschap der planetenbewegingen in een kort bestek uitgedrukt. Zij zijn, behalve de omloopstijd en de halve groote as: de excentriciteit van de ellips, de lengte in de ekliptika, waarheen dat uiteinde van de groote as gericht is, waar de planeet het dichtst bij de zon komt (perihelium): verder de hoek, dien de planetenbaan met de ekliptika maakt, en de plaats, waar de planeet de ekliptika, van het Zuiden naar het Noorden gaande, passeert (klimmende knoop).

	Mercurius	Venus	Aarde	Mars	Jupiter	Saturnus
halve grote as	0,388	0,724	1	1,5235	5,1965	9,510
excentriciteit	0,21	0,0069	0,0179	0,0926	0,0482	0,0570
lengte van het perihelium...	75	122	96	329 ¹ / ₃	7	85 ⁵ / ₆ gr.
helling van de baan....	6gr.54m.	3gr.22 m.	0	1gr.50 ¹ / ₂ m.	1gr.20m.	2gr.32m.
lengte v/d klimmenden knoop....	223 ¹ / ₂	72 ¹ / ₂	—	49	97	111 gr.
omloopstijd.	87.97	224.70	365.25	686.98	4332.62	10759.20 d.

Met deze getallen als grondslag heeft Kepler tafels voor de toekomstige beweging der planeten berekend, die hij ter eere van den vorst, die Tycho en hem had ondersteund, de *Rudolfijnsche tafels* noemde. Zoo had hij de opdracht, die Tycho hem als erfenis naliet, vervuld; maar daarmee was zijn eigen doel nog niet bereikt. Voor hem was dit alles slechts middel tot het grootere doel: de harmonie der wereld na te sporen. Hij zocht nog naar een algemeen verband tusschen den afstand, de snelheid en den baanvorm van de planeten; hij zocht om zoo te zeggen naar de architectuur van het planetenstelsel, en trachtte deze met andere door de eenvoudige schoonheid der getallen beheerschte wereldharmonieën, zooals de regelmatige lichamen en de muzikale tonen, in samenhang te brengen. Daaraan werkte en rekende hij tegelijk met de tafels. Hij had al lang bemerkt, dat de snelheid der planeten met hun afstand minder wordt (zooals [wij ook op blz. 181](#) opmerkten). Bestaat er nu een verband tusschen omloopstijd en grootte der baan, dat voor alle planeten op dezelfde manier geldt? Na veel probeeren ontdekte Kepler in 1615 zulk een verband. In de volgende lijst hebben wij voor iedere planeet den door hem gevonden gemiddelden afstand tot de zon, d.w.z. de halve groote as der ellips (de aarde als eenheid genomen) en den omloopstijd in jaren, dus ook met de aarde als eenheid, naast elkaar gezet. Van het getal voor den omloopstijd vormen wij het kwadraat, door het met zichzelf te vermenigvuldigen, en van het getal voor den afstand vormen wij de derde macht, door het kwadraat nog eens met het getal zelf te vermenigvuldigen.

planeet	afstand	omloopstijd	kwadraat v.d. omloopstijd	derde macht v.d. afstand
Mercurius. . .	0.388	0.241	0.0581	0.0584
Venus. . . .	0.724	0.615	0.3785	0.3795
Aarde. . . .	1.	1.	1.	1.
Mars	1.5235	1.881	3.538	3.536
Jupiter. . .	5.1965	11.857	140.6	140.3
Saturnus . .	9.510	29.425	865.8	860.1

De getallen der beide laatste kolommen blijken zoo nauwkeurig met elkaar overeen te stemmen, dat de overblijvende verschillen zonder bedenken aan de overgebleven kleine foutjes der aangenomen waarden mogen worden toegeschreven. Dus luidt de derde wet van Kepler:

De kwadraten der omlooptijden staan bij de verschillende planeten in dezelfde reden tot elkaar als de derde machten der gemiddelde afstanden tot de zon.

Dat wil dus zeggen: als een planeet 4 maal zoo ver als een andere van de zon verwijderd is, is haar omlooptijd 8 maal zoo groot ($8 \times 8 = 4 \times 4 \times 4$), dus haar snelheid 2 maal zoo klein; staat zij 9 maal verder van de zon, dan is de omlooptijd 27 maal grooter en de snelheid 3 maal kleiner.

Door deze wetten was nu voor het eerst de werkelijke beweging der planeten uit ervaring en waarneming afgeleid; daarmee waren de primitieve theorieën der oudheid, die van een regelmatige cirkelbeweging als iets vanzelfsprekends uitgingen, voorgoed van het tooneel verdwenen. De tijdgenooten hebben echter aan deze wetten van Kepler even weinig opmerkzaamheid geschonken, als aan zijn overige theorieën over de harmonie der wereld. Voordat de beteekenis van deze wetten duidelijk kon worden, moest eerst de mechanika, de leer van de beweging, in de 17^{de} eeuw tot een grootere hoogte ontwikkeld worden.

Daarentegen werden de Rudolphijsche tafels algemeen hoog gewaardeerd en gebruikt, omdat zij voor het eerst juiste plaatsen gaven. Door deze tafels was het programma verwezenlijkt, dat Tycho meer dan een halve eeuw vroeger opgesteld had. Maar voor het doel, dat Tycho er toen mee beoogde, was het niet meer noodig; de astrologie, de openlijke of verborgen drijfveer van zoovele eeuwen van astronomisch onderzoek, ging juist te gronde, toen zij eindelijk haar materiaal zou krijgen. Met het wereldstelsel van Copernicus, dat juist in denzelfden tijd door Galilei's ontdekkingen tot zekerheid was geworden, was het astrologisch geloof niet meer te vereenigen. De planeten waren wereldlichamen van gelijken rang als de aarde, misschien ook wel door levende wezens bewoond; hoe kon daar de opvatting blijven bestaan, dat zij slechts als lichten aan den hemel geplaatst waren met het doel, het nietige menschenlot op aarde te verkondigen? Een nieuw doelwit wenkte de natuuronderzoekers; niet meer het levenslot van de menschen op aarde met het gebeuren aan den hemel in verbinding te brengen, maar de eigen wetten van den hemel te onderzoeken, de harmonie der groote wereld zelf te leeren kennen. Daarvoor had Kepler de grondslagen gelegd, en op zijn werk voortbouwend heeft de 17^{de} eeuw de taak volbracht, de grondwet van het hemelsch heelal te vinden.

DE AANTREKKINGSKRACHT.

35. DE ZWAARTEKRACHT EN HET VALLEN.

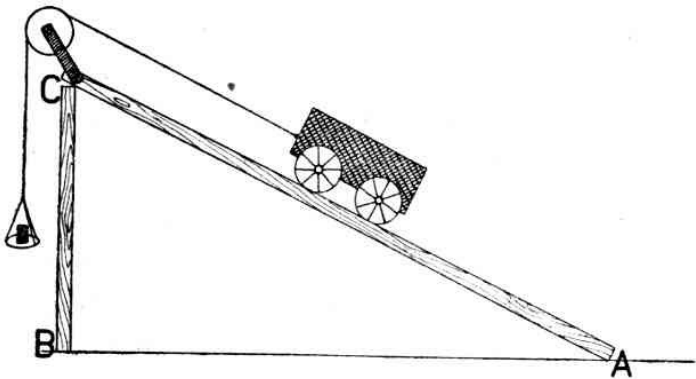
Wij moeten nu van den hemel eerst weer naar de aarde terugkeeren. Want wanneer wij dieper in de oorzaken van de bewegingen der hemellichamen willen doordringen, moeten wij eerst de bewegingen van

de dingen om ons heen nauwkeurig onderzoeken. Dit onderzoek, dat de grondslagen tot de mechanica, de wetenschap der beweging, heeft gelegd, is het werk geweest van de 17^{de} eeuw.

Als wij een steen uit de hand loslaten, valt hij naar beneden, naar de aarde toe. Waarom? Omdat hij "zwaar" is. Dat hij zwaar is, voelen wij als wij hem op de vlakke hand laten rusten; het is of hij door een kracht naar beneden getrokken wordt, en aan deze kracht gehoorzaamt hij, wanneer de hand hem loslaat; dan valt hij. Wat er bij dit vallen gebeurt, moeten we nu wat precieser nagaan.

Iedereen, die op 't vallen van een steen let, bemerkt licht, dat hij langzaam begint en dan hoe langer hoe sneller valt. Valt de steen uit een bovenverdieping of van een toren, dan treft hij de aarde met veel grootter kracht, dan wanneer wij hem uit de hand laten vallen, terwijl wij op den vlakken grond staan. Maar alles gaat zoo snel, dat het haast niet mogelijk is, de verschijnselen nauwkeurig en oplettend waar te nemen. Daarom gebruiken wij een hulpmiddel, dat het eerst door Galilei toegepast werd. Laat men een knikker over een schuine plank naar beneden rollen, dan begint hij ook eerst langzaam en krijgt vervolgens steeds grootter vaart. Maar niet zooveel als een vrij naar beneden vallende steen. Hij wordt ook wel door zijn zwaarte naar beneden getrokken, maar niet door zijn volle zwaarte; 't grootste deel van zijn zwaarte drukt hem tegen de plank aan, en slechts een klein deel trekt hem langs de plank naar beneden.

Dat dit werkelijk zoo is, kan men door een proef gemakkelijk vaststellen.



Op een schuine plank, die een glad hellend vlak vormt, staat een zeer lichtlopend wagentje, dat vastzit aan een touw, dat boven aan de plank over een rolletje loopt en een gewicht (of een schaal met gewichtjes) draagt. Is dit gewicht klein, dan rolt het wagentje naar beneden en trekt het gewichtje op; is daarentegen het gewicht groot, dan trekt het den wagen naar boven; blijft alles in rust, dan trekken gewichtje en wagentje even sterk aan het touw, ze houden elkaar in evenwicht, en de grootte van het gewichtje geeft aan, met welke kracht het wagentje door zijn eigen gewicht naar beneden getrokken wordt. Wij zien dan — wat iedereen trouwens wel weet — dat die kracht des te grootter is, naarmate de plank schuiner staat. De proeven wijzen uit, dat de kracht — dus het gewichtje, dat den wagen in rust houdt — tot het geheele gewicht van het wagentje staat, als de hoogte C B van de schuine plank staat tot haar lengte C A. Weegt het wagentje een pond, is de plank 2 meter lang en staat het eene eind 4 cM. ($\frac{1}{50}$ van 2 meter) hooger dan het andere, dan is de kracht, die den wagen langs de plank naar beneden trekt, slechts $\frac{1}{50}$ pond.

Men kan dus de kracht, die het wagentje (of een knikker) aan 't rollen brengt, zoo klein maken als men wil, door de plank meer of minder scheef te stellen. En dan gaat alles zooveel langzamer, dat men het op zijn gemak kan waarnemen en meten — dit was ook de reden, waarom Galilei het hellend vlak gebruikte.

Wij stellen dus de plank van 2 M. lengte zóó, dat het eene eind 4 cM. hooger dan het andere staat, en laten daar een knikker af rollen. Wij laten den knikker los, precies op het oogenblik dat de klok tikt, en zien dan waar hij bij elken volgenden tik gekomen is. Het blijkt dan, dat de knikker in de eerste sekonde 10 centimeter doorloopt, in de tweede sekonde 30, in de derde 50, in de vierde sekonde 70 centimeter. Zoo vinden wij de door Galilei ontdekte wet: beweegt zich een voorwerp door zijn zwaarte naar beneden, dan legt het in opvolgende gelijke tijdsruimten afstanden af, die zich verhouden als de op elkaar volgende oneven getallen. De snelheid neemt daarbij regelmatig toe; midden in elk van deze tijdsruimten komt ze met het gemiddelde van de geheele tijdsruimtes overeen: dus $\frac{1}{2}$, $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ sekonde na het loslaten klimt de snelheid als de getallen 1, 3, 5, 7 enz. Midden daartusschen in, bij het begin en einde van elke sekonde, ligt de snelheid daar juist tusschen; dus 1, 2, 3, 4 sekonden na het loslaten heeft zij de waarden 2, 4, 6, 8 bereikt. In de eerste sekonde is de snelheid van 0 tot 2 toegenomen (gemiddeld 1); in de tweede sekonde van 2 tot 4 (gemiddeld 3); in de derde sekonde van 4 tot 6 (gemiddeld 5). In iedere sekonde vergroot de kracht, die het voorwerp naar beneden trekt, de snelheid met eenzelfde bedrag. Wij kunnen het karakter van deze beweging nog anders uitdrukken, door nl. naar den geheelen afgelegden weg te vragen. In de eerste sekonde is een weg 1 afgelegd, in de 2^{de} sekonde komt er 3 bij, maakt samen 4; na 3 sekonden is de weg $4 + 5 = 9$; na 4 sekonden $9 + 7 = 16$. Deze getallen zijn juist de tweede machten van 1, 2, 3 en 4. Dat is geen toeval; want wanneer wij alle tweede machten naast elkaar schrijven: 0 1 4 9 16 25 36 49, dan zien wij, dat hun verschillen 1 3 5 7 9 11 13 juist de reeks der oneven getallen vormen. De afgelegde weg neemt dus met de tweede macht van den tijdsduur der beweging toe.

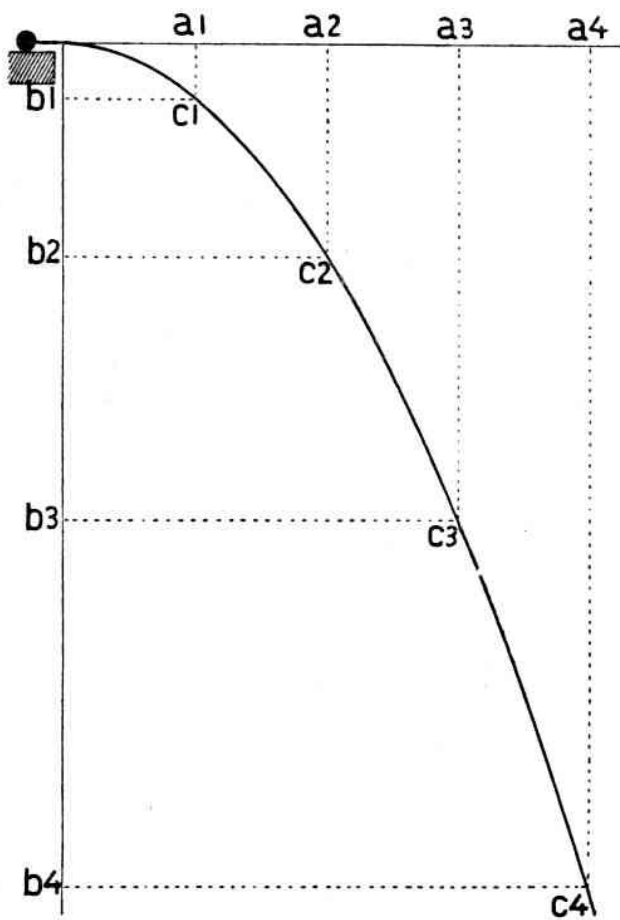
Wat verandert er nu bij onze proef, wanneer wij de plank schuiner stellen? De wet van Galilei blijft nog altijd gelden, maar de snelheden en de afgelegde afstanden worden des te grooter, naarmate de plank sterker helt en dus de kracht, die den knikker naar beneden trekt, grooter is. Wordt de hooge kant tweemaal zooveel, dus 8 cM. hooger dan de lage kant gesteld, dan legt de knikker in de eerste sekonde 20, in de tweede 60 cM. af, dus tweemaal zooveel als bij de eerste proef. Stellen we de plank aan den hoogen kant 40 cM. hoog, dus 10 maal zooveel als bij de eerste proef, dan zijn alle snelheden ook 10 maal zoo groot: in de eerste sekonde wordt dan 1 Meter doorlopen. In dit geval is de kracht, die den knikker naar beneden doet rollen, $\frac{1}{5}$ van zijn geheele zwaarte (want 40 cM. is $\frac{1}{5}$ van 2 M.). Wij mogen aannemen, dat dit alles precies zoo blijft gelden, wanneer wij de plank steeds steiler en ten slotte zuiver loodrecht stellen, zoodat de knikker dan heelemaal niet meer rolt, maar vrij naar beneden valt. Dan moet de afstand, dien hij in de eerste sekonde valt, 5 maal zoo groot zijn als bij de laatste en 50 maal zoo groot als bij de eerste proef, dus 5 meter. Dat dit werkelijk uitkomt, kan door een proef gemakkelijk bevestigd worden. Laat men een steen van een hoogte van $1 + 3 + 5$ maal 5 meter, dus van 45 meter vallen, dan komt hij juist in 3 sekonden beneden. Nauwkeurige metingen hebben voor de valhoogte in de eerste sekonde het bedrag van 490 cM. opgeleverd.

Zulk een beweging, waarbij de snelheid regelmatig grooter wordt, heet een gelijkmatig versnelde beweging. Was er geen kracht, die het voorwerp naar beneden trok, en was dit, zonder inwerking van buiten, geheel aan zichzelf overgelaten, dan zou het, zooals wij vroeger vonden, steeds dezelfde snelheid behouden. De versnelling van zijn beweging is een gevolg van de kracht, die het omlaag trekt en zijn snelheid vergroot. Is deze kracht het gewicht van het voorwerp zelf, valt het dus vrij naar beneden, dan neemt de snelheid elke sekonde 2 x 5 meter toe: de versnelling bij het vrije vallen bedraagt 10 meter (nauwkeuriger 981 cM). Rolt het voorwerp langs een schuin vlak naar beneden, dan is de versnelling in dezelfde mate kleiner als de kracht, die er de oorzaak van is.

Zoo hebben wij de wet vastgesteld, die het vallen der voorwerpen beheerscht. Maar heelemaal in orde is dit toch nog niet. Wij hebben hier van het vallen der dingen in 't algemeen gesproken, alsof dat bij alle lichamen precies hetzelfde is. Uit onze dagelijksche ervaring weten wij echter, dat dit niet uitkomt; een donsveertje blijft zweven, een dun blaadje papier daalt langzaam, terwijl zware steenen veel sneller vallen. In de natuurleer van Aristoteles waren deze feiten in de stelling samengevat, dat de dingen des te sneller vallen, naarmate ze zwaarder zijn. Tot in de 16^{de} eeuw gold deze stelling als onaantastbare waarheid, totdat Galilei haar onjuistheid aantoonde. Wanneer wij zulk een donsveertje of een blaadje zijpapier tot een balletje samenkneden, vallen ze even snel als een steentje; en toch zijn ze niets zwaarder geworden. Letten wij er echter op, hoe een dun papier valt, al heen en weer zwaaiend, dan wordt het dadelijk duidelijk, dat het de weerstand van de lucht is, die zijn val tegenhoudt en verlangzaamt; wordt het tot een balletje samengeperst, dan heeft de lucht er niet meer zooveel vat op en kan het niet meer zoo tegenhouden. Door den weerstand van de lucht vallen lichte voorwerpen, die haar een grooter oppervlak bieden, slechts langzaam naar beneden. Was er geen lucht, dan zouden alle dingen, licht of zwaar, even snel vallen. Dat dit werkelijk zoo is, kon een halve eeuw na Galilei, nadat de luchtpomp uitgevonden was, door een proef bevestigd worden. Doet men in een lange, wijde buis een veertje en een stukje lood, en pompt men dan de buis luchtledig, dan blijkt, wanneer men de buis omkeert, tegen alle gewone ervaring, dat het veertje even snel naar beneden valt als het stukje lood. De boven afgeleide valwetten van Galilei gelden dus inderdaad voor alle voorwerpen, maar alleen in een ruimte zonder lucht. In de lucht wordt de beweging door haar weerstand gewijzigd. Bij zware voorwerpen bemerken wij weliswaar op het eerste gezicht niets van dien weerstand; maar daar treedt hij toch ook op, wanneer zij uit groote hoogte, dus met groote snelheid naar beneden storten. Dan groeit de weerstand van de lucht zoo geweldig, dat hij op 't laatst de zwaartekracht evenaart; dan neemt de snelheid verder niet meer toe. Ieder ding, dat in de lucht valt, verkrijgt ten laatste een eindsnelheid, die des te grooter is, naarmate het lichaam zwaarder is met betrekking tot het oppervlak, waarop de luchtweerstand werkt. Bij een veertje is die eindsnelheid zoo klein, dat wij het eerste aangroeien van de beweging niet eens bemerken. Waterdruppels bereiken die eindsnelheid slechts, wanneer ze uit de hooge wolken naar beneden vallen, en ieder weet, dat fijne motregen langzamer valt dan groote droppen. De nog zwaardere en grootere hagelkorrels vernielen door hun geweldige vaart het koren en slaan door glasruiten heen; was er echter geen weerstandbiedende lucht, dan zouden zij, en trouwens de regendruppels ook, nog veel vernielender op de planten neerkomen.

Tot nog toe hebben wij alleen over de valbeweging gesproken. Maar de meeste bewegingen, die wij in onze omgeving opmerken, zijn veel minder eenvoudig. Wanneer wij met een steen gooien, zien wij, dat hij eerst in de richting voortvliegt, waarin de hand hem voortslingerde; dan echter krijgt de zwaarte steeds meer macht over hem, en in een wijden boog valt hij op den grond neer. Staan wij aan den rand van een diep dal, dan valt hij daarin steeds sneller en op 't laatst nagenoeg loodrecht naar beneden. Aristoteles heeft in zijn natuurleer voor deze verschijnselen een bijzonder eenvoudige en voor de hand liggende verklaring gegeven. Alle dingen hebben daarin, zooals wij ons herinneren, hun "natuurlijke" beweging, die ze naar de plaats brengt, waar ze behooren; voor zware lichamen is deze natuurlijke beweging recht naar beneden, naar 't middelpunt der aarde gericht. Worden ze nu door vreemde inwerkingen "gewelddadig" in een andere richting bewogen, geworpen of geschoten, dan moeten ze eerst wel aan dezen impuls gehoorzamen; langzamerhand echter wordt die kracht uitgeput en de natuurlijke beweging treedt meer en meer in haar plaats. Deze voorstellingswijze past zoo voortreffelijk bij wat de ervaring ons leert, dat het groote moeite heeft gekost haar door iets beters te vervangen. Eerst door zeer nauwkeurig waar te nemen wat bij zulke bewegingen gebeurt, kon haar onjuistheid blijken.

Wij leggen een knikker op tafel en geven hem een flinken stoot. Zoolang de tafel hem draagt, rolt hij, afgezien van eenige vertraging door de wrijving, met gelijkmatige snelheid horizontaal voort. Bereikt hij dan den rand van de tafel, dan vliegt hij in een boog verder, steeds steiler naar beneden, tot hij op den grond valt. Begint daarbij eerst na eenigen tijd zijn "natuurlijke" valbeweging? Neen; zoodra hij over den rand is en niet meer door de tafel gedragen wordt, begint hij te vallen; maar natuurlijk, evenals al het vallen, eerst heel langzaam en dan steeds sneller. De natuurlijke valbeweging treedt niet langzamerhand eerst op, maar vindt plaats van het eerste oogenblik af, dat hij niet meer ondersteund wordt, juist zooals wanneer hij van den tafeland recht naar beneden valt. Doordat de valbeweging steeds sneller wordt, wordt de richting der beweging aldoor steiler; maar volkomen loodrecht wordt ze niet; de knikker komt onder het vallen steeds verder van de tafel af. De beweging door den oorspronkelijken stoot wordt niet uitgeput, maar blijft voortbestaan.



In de werkelijke beweging treedt niet de eene soort beweging, de "natuurlijke", langzamerhand in de plaats van de andere, die door uiterlijk geweld, b.v. door een stoot bewerkt wordt; beide zijn ze van 't begin af aan aanwezig, van het oogenblik af dat de knikker aan den rand gekomen is; beide blijven ze ook bestaan, en te zamen bewerken zij de werkelijke beweging. Deze beweging is een combinatie van twee eenvoudige bewegingen, die ieder op zich zelf zóó plaats vinden, alsof de andere er niet was. Was de eerste beweging er alleen, zonder dat de knikker vallen kon — b.v. wanneer de tafel grooter was geweest — dan was hij na gelijke tusschentijden achtereenvolgens in a^1 , a^2 , a^3 , a^4 gekomen. Was hij eenvoudig van den tafeland naar beneden gevallen, zonder horizontale beweging, dan was hij na dezelfde tijdsruimten in b^1 , b^2 , b^3 , b^4 gekomen. Doordat de knikker beide bewegingen tegelijk uitvoert, komt hij achtereenvolgens in c^1 , c^2 , c^3 , c^4 ; de beweging, die horizontaal begon, wordt steeds sneller en steeds steiler, en zoo ontstaat de schijn, dat de eene beweging uitdooft en de andere er voor in de plaats komt.

Op die manier toonde Galilei aan (in een in 1638 verschenen werk vat hij al deze onderzoeken samen) wat sindsdien als grondslag der mechanika geldt; dat een lichaam als het ware twee (of meer) bewegingen tegelijk kan hebben, die elk haar eigen wet volgen en wier samenvoeging eerst de werkelijk beweging geeft. Elke nog zoo ingewikkelde beweging kan volgens dit principe in de eenvoudige bewegingen, waaruit zij opgebouwd is, ontbonden en zoo verklaard worden.

Wanneer wij een steen recht omhoog gooien — b.v. met een snelheid van 20 M. per seconde — dan begint hij dadelijk te vallen, en deze valbeweging vertraagt eerst de opstijgende beweging en doet haar vervolgens omkeeren. Door den eersten impuls alleen zou de snelheid zijn:

na	0	1	2	3	4	sekonden
	20	20	20	20	20	M. omhoog;

door het vallen daarentegen:

	0	10	20	30	40	M. naar beneden;
--	---	----	----	----	----	------------------

dus is de werkelijke snelheid:

	20	10 M. omhoog	0	10	20 M. omlaag.
--	----	--------------	---	----	---------------

Na 2 sekonden is dus het hoogste punt bereikt en begint het dalen. De afgelegde weg zou zijn, door de eerste werpsnelheid alleen:

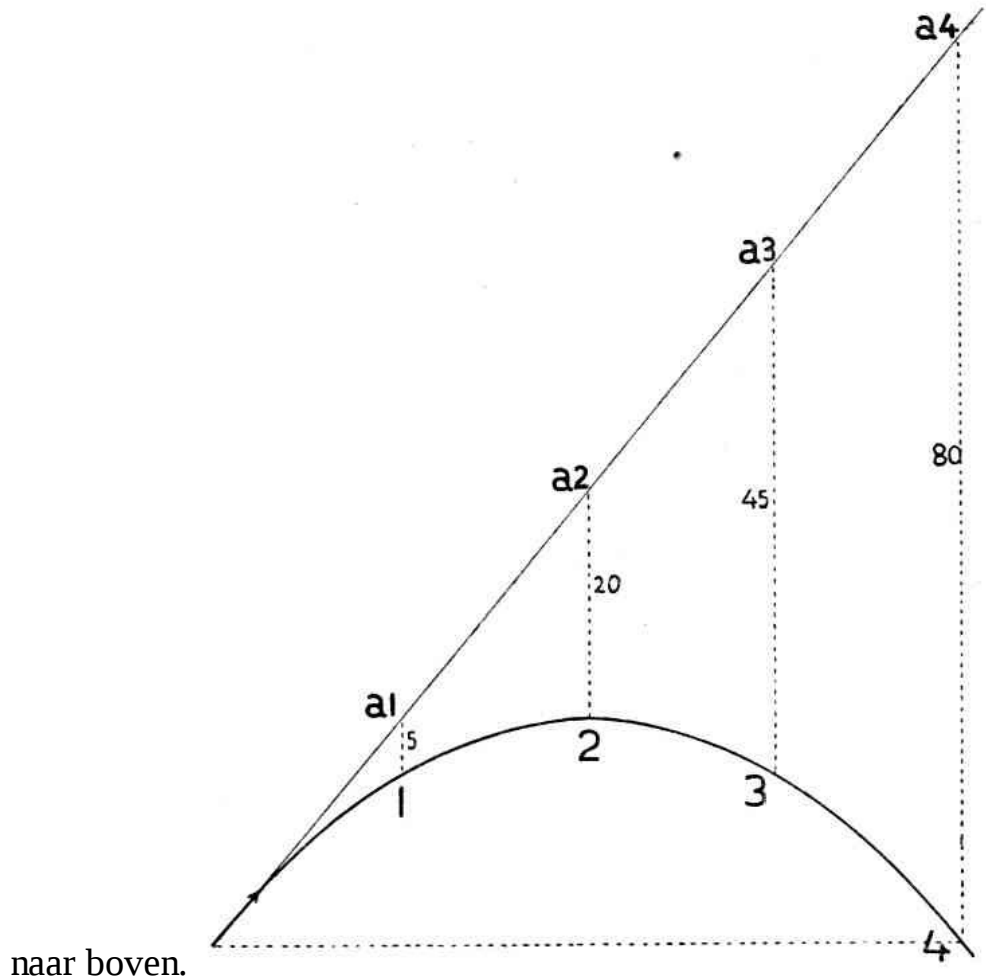
	0	20	40	60	80	M.
--	---	----	----	----	----	----

naar boven; door de valbeweging alleen is hij:

	0	5	20	45	80	M.
--	---	---	----	----	----	----

naar beneden; dus is de werkelijk afgelegde weg:

	0	15	20	15	0	M.
--	---	----	----	----	---	----



De steen is in 't geheel 20 meter hoog gekomen, en na 4 sekonden valt hij met dezelfde vaart, waarmee hij naar boven geslingerd werd, op de aarde terug.

Hetzelfde geldt voor een steen, die schuin naar boven geworpen wordt; de gedaante van de baan, die hij dan beschrijft, is ieder bekend. Ontleden wij deze beweging in haar samenstellende bestanddeelen, dan zien wij, dat de steen door de eerste werpsnelheid in een rechte lijn schuin naar boven zou vliegen. Maar tegelijk begint hij te vallen, eerst langzaam en dan steeds sneller; daardoor is hij na 1 sekonde 5 Meter, na 2 sekonden 20 M., na 3 seconden 45 M. beneden die rechte baan gekomen. Nemen wij het geval, dat hij door de eerste werpsnelheid per sekonde 20 M. hoger zou komen, dan gaat alles juist als in het vorige voorbeeld, alleen met dit verschil, dat hij tegelijk in elke sekonde eenzelfde eind horizontaal voortvliegt. Zoo beschrijft hij dan zijn regelmatig gebogen baan, die in het midden een top heeft en vervolgens weer naar de aarde terugbuigt.

36. DE CIRKELBEWEGING.

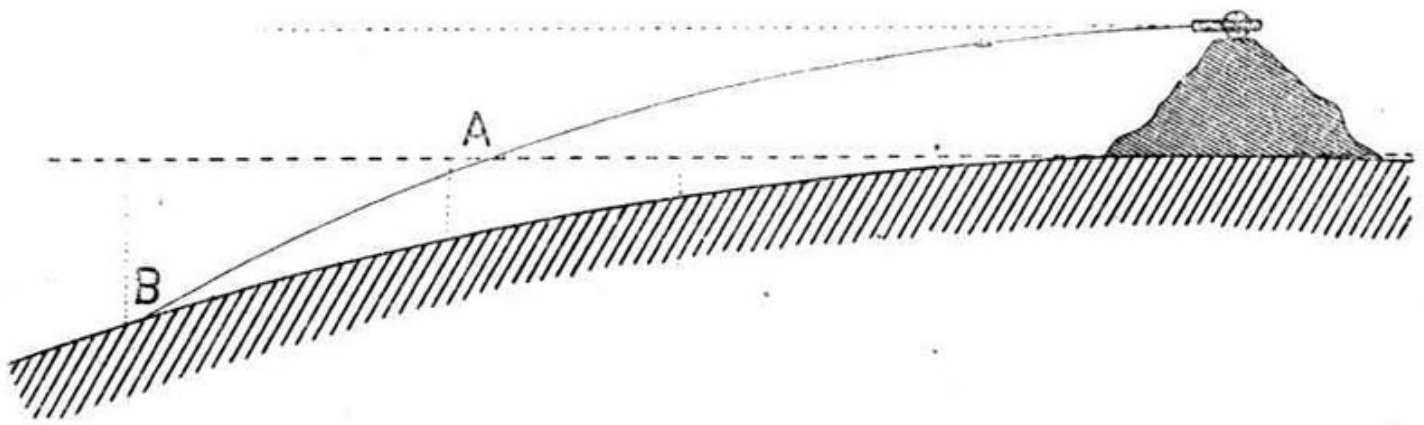
In de oude wereldleer stonden aarde en hemel door de natuur van hare bewegingen als twee geheel verschillende werelden tegenover elkaar. De natuurlijke beweging van de aardsche lichamen was

rechtlijnig, bij de zware naar beneden, naar het middelpunt der wereld, bij de lichte naar boven. Zulke bewegingen hadden een doelwit en een einde; was een ding gekomen waar het behoorde, dan bleef het in rust, tot een vreemde kracht het gewelddadig stoorde. Anders de hemellichamen. Hun cirkelbeweging om het middelpunt had geen doel en geen einde; zij kon nooit ophouden, omdat elke reden tot ophouden ontbrak. Deze eeuwige nooit ophoudende cirkelbeweging, die zoo goed bij de onvergankelijkheid der hemellichamen zelf paste, had niets met de bewegingen op aarde gemeen en behoorde tot een geheel andere wereld.

De opvatting, dat een gelijkmatige eindelooze cirkelbeweging zoo eenvoudig en natuurlijk is en zoo vanzelfsprekend, dat zij geen verdere verklaring noodig heeft, beheerschte zelfs nog den geest van Galilei en hielp hem in 't begin om Zijne nieuwe ideeën aannemelijk te maken. Toen hij de stelling uitsprak, dat een bal, wanneer er maar geen wrijving was, over een horizontaal vlak steeds even snel voort zou blijven rollen, beriep hij zich er op, dat deze beweging toch eigenlijk niets anders dan een deel van een cirkelbeweging om het middelpunt der aarde was, en het dus eigenlijk vanzelf sprak, dat zij steeds met onverminderde snelheid voortging. Eerst na hem hebben anderen uit zijn onderzoekingen verdere gevolgtrekkingen afgeleid en de stelling geformuleerd — de zoogenaamde wet der traagheid — dat elk lichaam, waarop geen kracht van buiten werkt, zijn beweging behoudt: dat dus niet slechts de snelheid, maar ook de richting van zijn beweging steeds dezelfde blijft.

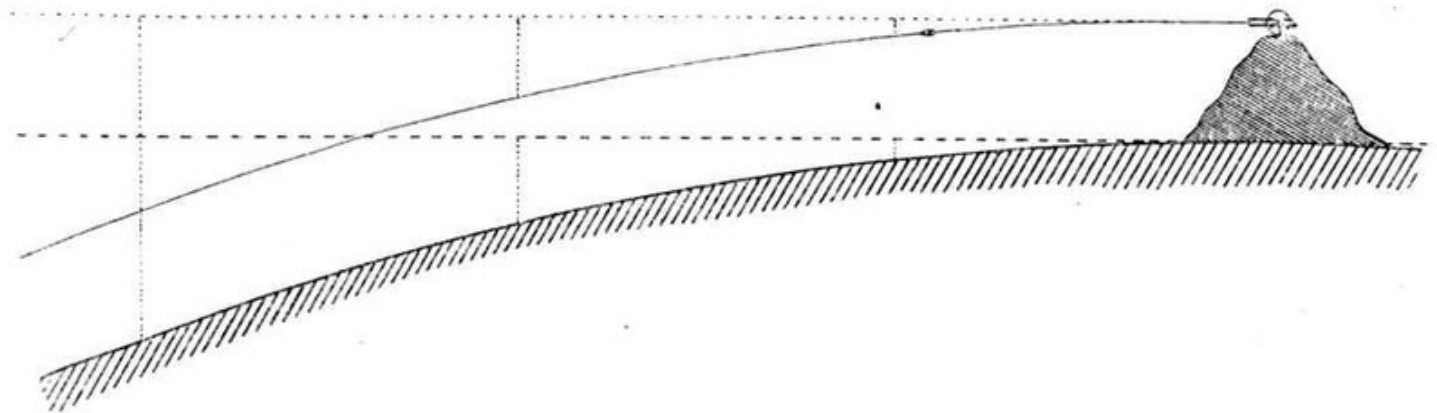
Nu moeten wij volgens het stelsel van Copernicus aannemen, dat voor de wereld der planeten geen andere natuurwetten kunnen gelden dan op aarde, daar de aarde toch zelf tot de planetenwereld behoort. Geldt dus dezelfde wet der traagheid voor de hemellichamen, dan is hun beweging in een cirkel niet meer een eenvoudige, vanzelfsprekende beweging; dan moet de cirkelbeweging uit eenvoudiger bewegingen en krachten verklaard worden. Wij spreken hier aldoor van cirkelbewegingen, omdat in dien tijd de wetten van Kepler nog geen aandacht getrokken hadden; men hield de banen der planeten meestal voor cirkels, en wij weten, dat ook volgens Kepler een cirkel zonder excentriciteit een mogelijke, en wel de eenvoudigste baan voor een planeet kan zijn. Eerst door de regelmatige cirkelbeweging uit de grondstellingen te verklaren, die voor de bewegingen op aarde gelden, kon de kloof, die hemel en aarde scheidde, voor goed gedempt worden. De weg daartoe wordt ons gewezen, wanneer wij op de beweging van een voortgeslingerd voorwerp nog nader ingaan.

Wij denken ons boven op een berg een kanon opgesteld, waaruit met groote snelheid een kogel precies horizontaal weggeschoten wordt. De kogel begint te vallen op hetzelfde oogenblik, dat hij uit den mond van het kanon vliegt; na 1 sekonde is hij 5 M., na 2 sekonden 20 M., na 3 sekonden 45 M. gevallen. Hij buigt dus in een kromme baan naar de aardoppervlakte en valt eindelijk op den grond neer. Wij denken ons de lucht met haar weerstand weg, want het is er ons niet om te doen de proef werkelijk uit te voeren; wij stellen ze ons alleen maar in gedachten voor. Nu is de aardoppervlakte niet vlak, maar gebogen. Trekt men daar, waar wij staan, een horizontale rechte lijn, dan zinkt het oppervlak naarmate men verder weggaat, steeds dieper onder deze lijn weg. De kogel bereikt den vasten grond dus in werkelijkheid niet zoo gauw, als bij een vlakke aarde het geval zou zijn; de vlakke aarde zou hij in A getroffen hebben, op de werkelijke gebogen aarde komt hij in B neer. Men kan met behulp van de meetkunde gemakkelijk berekenen, hoeveel het bolvormige aardoppervlak onder een horizontale lijn daalt, die wij van uit de plaats trekken, waar wij staan.



Dit bedrag neemt evenredig met het kwadraat van den afstand tot deze plaats toe; 3,6 KM van ons verwijderd is het 1 M., twee keer zoover is het 4 M. enz. Op een afstand van 8 KM. is het 5 M., bij 16 KM is het tot 20 M., bij 24 KM is het tot 45 M. aangegroeid. ¹⁾

Wat zou er nu gebeuren als ons kanon, geweldiger dan alle werkelijk bestaande kanonnen, den kogel met een snelheid van 8 KM. per sekonde wegslingerde? Na 1 sekonde was hij dan 8 KM., na 2 sekonden 16 KM., na 3 sekonden 24 KM. ver weggevlogen; tegelijk was hij gaan vallen: na 1 sekonde 5 M., na 2 sekonden 20 M., na 3 sekonden 45 M. Maar nu daalt de aardoppervlakte op een afstand van 8 KM. juist 5 M., van 16 KM. juist 20 M., van 24 KM. juist 45 M., juist evenveel als de kogel op dezelfde afstanden gedaald is.



De kogel is dus niets dichterbij de aarde gekomen; wel valt hij in een gebogen lijn, maar de aardoppervlakte is even sterk gebogen. Terwijl hij dus voortvliegt en evenver van de aarde blijft, blijft zijn baan steeds loodrecht op de richting van de zwaartekracht, is dus in elke volgende plaats wat daar horizontaal heet. De kogel blijft dus aldoor precies in dezelfde omstandigheden, steeds even hoog boven de aarde, steeds horizontaal en even snel voortvloiegend; en voor elk verder punt van zijn baan geldt hetzelfde als voor zijn punt van uitgang. De beweging gaat dus ook verderop steeds op dezelfde wijze voort; de kogel blijft steeds even ver van het middelpunt der aarde verwijderd: hij beschrijft een cirkelbaan om de aarde en komt, anderhalf uur (nauwkeuriger 40000 K.M. / 7.89 K.M. == 5067 sekonden) na het schot van den anderen kant weer bij het kanon terug.

Zoo zien wij, hoe een cirkelbeweging tot stand komt. De cirkelbeweging ontstaat uit het samenwerken van de zwaartekracht en een voortsnellende beweging. Zonder de zwaartekracht zou de kogel in een rechte lijn voortgevlogen zijn, steeds verder van de aarde weg. Door de zwaartekracht wordt zijn baan tot een cirkel gebogen, evenals ook de baan

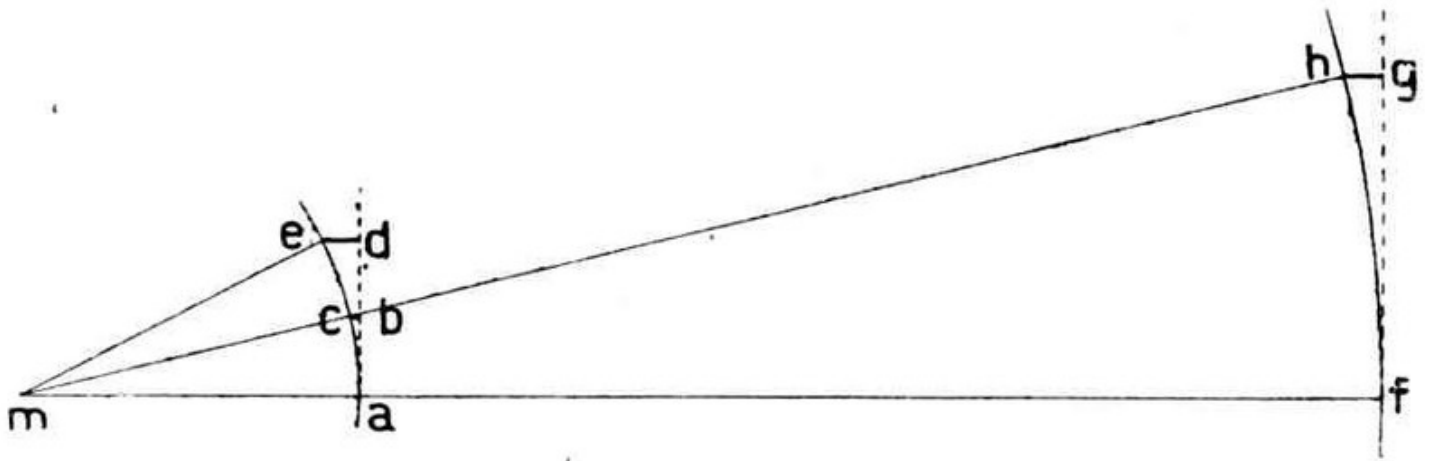
van een schuin opgeworpen steen tot een kromme lijn gebogen wordt. De zwaartekracht bewerkt, dat de kogel, in plaats van weg te vliegen, in de buurt van de aarde vastgehouden wordt en in een kring om haar heen moet loopen. De zwaarte werkt hier niet als versnellende kracht, maar als een kracht, die aldoor de richting van de beweging verandert. Zij doet den kogel vallen, maar het is een vallen, dat het vallende lichaam niet dichter bij de aarde brengt: een vallen, dat alleen maar verhindert, dat het zich van de aarde verwijdert.

Zoo hebben wij dus uit een aardsch lichaam, dat aan de aardsche bewegingswetten gehoorzaamt, een hemellichaam gemaakt, ten minste wat den aard der beweging aangaat: een lichaam met een eeuwigdurende cirkelbeweging om een middelpunt. Natuurlijk alleen in gedachte; in werkelijkheid zou de weerstand van de lucht aan de beweging van onzen kogel gauw een eind hebben gemaakt. Maar buiten den dampkring bestaat deze hindernis niet; daar zou zulk een cirkelbeweging praktisch zeer goed mogelijk zijn. Hier hebben wij dus een verklaring voor de cirkelbeweging der hemellichamen uit de wetten der beweging, die op aarde gelden. Een cirkelbeweging om een middelpunt vindt haar oorzaak in een kracht, die naar dit middelpunt gericht is.

Tegelijk krijgen we hier nu een goed inzicht in de middelpuntvliedende kracht, die wij reeds bij de aswenteling van de aarde leerden kennen, maar die wij nu eerst goed kunnen begrijpen. Het waren dan ook de onderzoekingen, die Christiaan Huygens, in verband met zijn uitvinding van het slingeruurwerk, in 1673 over de middelpuntvliedende kracht bekend maakte, die het verband tusschen een aantrekkende kracht en een cirkelbeweging tot volkomen klaarheid brachten.

Als wij een steen of een ander zwaar voorwerp aan een touw in het rond slingeren, voelen wij dat het touw aan de hand trekt. Hoe komt dat? Wij kunnen antwoorden: door de middelpuntvliedende kracht; maar dan hebben wij het verschijnsel alleen maar een nieuwen naam gegeven. Wij passen dus dezelfde redeneering toe als hier boven. Kon de steen vrij zijn eigen weg volgen, dan zou hij rechtuit vliegen; dat zien wij ook gebeuren, als het touw breekt. Dat hij in een kring rondvliegt komt hierdoor, dat het touw een kracht op hem uitoefent, hem naar binnen trekt. Wat dat voor kracht is, zien wij nog beter, wanneer wij in plaats van een touw een elastiek nemen. Dit elastiek geeft eerst mee, wanneer de steen rechtuit vliegt; het wordt uitgerekt, omdat de steen zich daarbij van het middelpunt verwijdert. Maar door het rekken wordt het gespannen, en de veerkracht, waarmee het zich tracht samen te trekken, trekt aan den steen en dwingt hem in een cirkel rond te loopen, evenals de zwaartekracht in het vorige voorbeeld den kogel dwong, in een cirkel te loopen. Deze veerkracht voelen wij als een trekken van den steen aan de vingers, die het elastiek vasthouden, en deze trekkende kracht noemen wij middelpuntvliedende kracht. Datzelfde geldt nu ook voor een gewoon touw, alleen met dit verschil, dat de uitrekking, die de spanning veroorzaakt, zoo uiterst klein is, dat wij ze niet bemerken. De middelpuntvliedende kracht is eenvoudig de spanning in het touw, die den steen dwingt, in een cirkel rond te loopen.

Het kost nu ook geen moeite, te vinden, hoe groot de middelpuntvliedende kracht is; zij wordt gemeten door den afstand, dien zij in 1 sekonde den steen uit de rechte lijn, die anders zijn weg zou zijn, naar het middelpunt trekt.

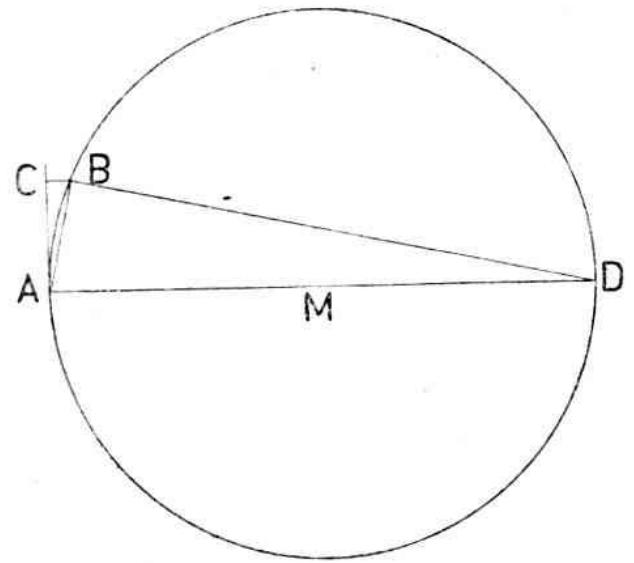


Beteekent in de onderstaande figuur m a het touw, en doorloopt de steen in 1 sekonde den weg a c, dan zou hij zonder touw en zonder deze kracht den weg a b zijn gegaan; het eindje b c is de werking van de spanning in 1 sekonde. Wij zien nu dadelijk, dat, wanneer de steen twee keer zoo snel in 't rond geslingerd werd, b c de werking der kracht in $\frac{1}{2}$ sekonde is, en d e, de werking in 1 sekonde, viermaal grooter dan b c is; de middelpuntvliedende kracht wordt dus bij dubbele draaiingssnelheid vier keer zoo groot. Nemen wij een viermaal zoo lang touw, dan wordt bij denzelfden tijd van draaiing de kracht vier keer zoo groot (g h == 4 x b c); dit viermaal langere touw moet in den dubbelen tijd rondgeslingerd worden, om dezelfde middelpuntvliedende kracht te krijgen (g h == d e). Wat wij vroeger ([blz. 134](#)) eenvoudig als resultaat van proefneming en berekening aangaven, vindt dus hier zijn bewijs.

Wij kunnen nu ook de middelpuntvliedende kracht, die uit de aswenteling der aarde ontstaat, beter begrijpen. Wij denken ons het geval, dat een aardsch voorwerp, ergens aan den evenaar, plotseling zijn zwaarte verliest. Wat gebeurt er dan mee? Het bewoog zich tot dusver met een snelheid van 463 meter per sekonde in een cirkel. Wordt het niet meer door de zwaarte tegen de aarde gedrukt, dan behoudt het eenvoudig de beweging, die het heeft, en het vliegt met zijn snelheid van 463 meter in een rechte lijn voort. Deze rechte lijn verwijderd zich steeds meer van het aardoppervlak; op 1 KM afstand is zij er 8 cM. boven, en dit bedrag neemt toe met het kwadraat van den afstand. Wij zouden dat gewichtlooze ding dus eerst gewoon met ons zien meeloopen; dan rijst het langzamerhand, na 1 sekonde $1\frac{2}{3}$ cM., na 2 sekonden 7 cM.; steeds sneller schijnt het te stijgen: het is alsof een kracht — de middelpuntvliedende kracht — het in een gelijkmatig versnelde beweging omhoog trekt. Nu houdt in werkelijkheid de zwaarte de dingen op het aardoppervlak vast; omdat ze zwaar zijn, vallen ze naar beneden, maar toch niet zoo snel als zonder de draaiing der aarde. Laten wij een steen los, dan valt hij als vrij zwevend lichaam met de bekende versnelling naar beneden ten opzichte van de rechte lijn, die anders zijn baan zou zijn; deze rechte baan zou hem in 1 sekonde $1\frac{2}{3}$ cM. boven de aarde opgeheven hebben; door de zwaarte valt hij in denzelfden tijd 490 cM. naar beneden; ten opzichte van het aardoppervlak valt hij dus $488\frac{1}{2}$ cM. naar beneden. De draaiing der aarde vermindert dus de valsnelheid en de zwaarte met $\frac{1}{300}$ — wat wij vroeger reeds als uitwerking der middelpuntvliedende kracht vermeld hebben. Wanneer de aarde tweemaal zoo vlug draaide, zou het gewichtlooze voorwerp viermaal zoo snel stijgen; de valhoogte in de eerste sekonde zou dus bij de zware dingen viermaal zooveel, nl. 7 cM. minder zijn dan bij een stilstaande aarde, en in dezelfde verhouding zouden zij minder zwaar drukken. Wanneer de aarde ruim 17 maal sneller om haar as wentelde, zou de stijging 300 maal grooter zijn, dus even groot als de daling door de zwaarte. Dan vallen de aardsche voorwerpen in het geheel niet meer, omdat hun zwaarte door de middelpuntvliedende kracht opgeheven wordt. Zij hebben in het geheel geen gewicht meer; vrij zweven ze met de draaiende aarde mee. Zij verkeerden in hetzelfde geval als onze kanonskogel van vroeger, want daar de aarde dan in $1\frac{1}{2}$ uur

om haar as wentelt, vliegen zij met een snelheid van 8 KM. per seconde voort. Zij loopen dan als vrijzwevende hemellichamen om de aarde heen, dicht bij haar oppervlak, en hun zwaarte is juist voldoende hen in deze cirkelbanen te houden.

¹⁾ Omdat deze getallen als 't ware het fundament van de verdere uiteenzettingen vormen, vermelden wij de meetkundige stelling, waarop ze



berusten. A en B zijn 2 punten van een cirkel en A C raakt den cirkel in A aan. Uit de gelijkvormigheid der driehoeken A B C en A B D volgt, dat B C tot A B staat als A B tot A D. Bij de aarde geeft B C aan, hoever 't aardoppervlak onder de horizontale lijn, die de aarde in A raakt, op den afstand A B daalt. Deze daling staat tot den afstand, als de afstand tot de middellijn der aarde staat. Daar de middellijn van de aarde 12,7 miljoen Meter bedraagt, levert het kwadraat van den afstand in kilometers, gedeeld door 12,7 het bedrag van de daling in meters. Op een afstand van 3.6 KM. is de daling $3.6 \times 3.6 / 12.7 = 1.02$ M.; bij 8 KM. is ze $8 \times 8 / 12.7 = 5.04$ M., en ze bedraagt 4.90 M. op een afstand van 7.89 KM., (want $7.89 \times 7.89 = 62.25$ en $4.90 \times 12.7 = 62.23$). Deze eenvoudige regel leert ons tevens, hoever men op aarde van verschillende hoogten uit kijken kan; voor wie zich in C op de hoogte C B boven de aarde bevindt, ligt de horizon in A, op een afstand A B. Zijn hoogte in meters, vermenigvuldigd met 12.7, levert het kwadraat van den afstand van zijn horizon in kilometers.

37. DE OORZAAK VAN DE PLANETENBEWEGING.

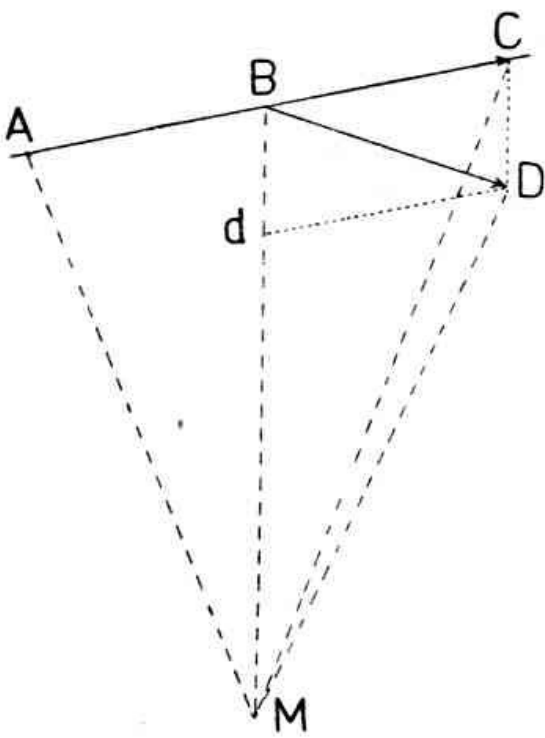
Dat de zwaarte niet enkel een aardsch verschijnsel is, was vroeger al dikwijls door schrijvers uit de oudheid en uit lateren tijd gezegd. De bolvormige gedaante van de hemellichamen wees er op, dat hun deeltjes op dezelfde wijze bij elkaar gehouden en naar een middelpunt getrokken werden als bij de aarde. Wij voerden reeds aan ([blz. 178](#)) wat Copernicus over de zwaarte bij andere lichamen schreef. Ook Kepler dacht er zoo over, en hij vergeleek de zwaartekracht met de magneetkracht, die kort te voren door den Engelschen arts Gilbert nauwkeurig bestudeerd was. "Zwaarte is een lichamelijke eigenschap, een wederzijdsch streven van verwante lichamen, om zich met elkaar te vereenigen en te verbinden (waartoe ook de magnetische kracht behoort) zóó, dat de aarde veel sterker den steen aantrekt dan de steen de aarde." Maar men was niet in staat, deze aantrekkende kracht met de beweging der hemellichamen in verband te brengen. Wel moest, zoodra de zon als middelpunt der planetenbanen erkend was, vanzelf de gedachte opkomen, dat in de zon ook de oorzaak voor het rondloopen der planeten ligt. "Daarvoor, dat de oorzaak van de planetenbeweging," schreef Kepler, "nergens anders dan in het zonnelichaam moet gezocht worden, spreken vooral twee feiten: ten eerste is de beweging van de verstverwijderde planeten het langzaamst, en ten tweede loopt elke planeet sneller of langzamer al naar haar afstand tot de zon, zóó, dat

zij dicht bij de zon het snelst, ver van de zon het langzaamst beweegt." Maar hij zocht deze oorzaak in een wenteling van de zon, die de planeten meesleept en ze zoo in hun cirkels doet rondloopen. Dat een zwaartekracht, die de lichamen naar een middelpunt trekt, de oorzaak voor een kringloop om dit middelpunt is — dat kon bij niemand opkomen, zoolang niet de grondslagen der bewegingsleer tot op deze hoogte opgebouwd waren.

Eerst in de tweede helft van de 17^{de} eeuw kon daarom de gedachte opkomen en tot een algemeene overtuiging worden, dat een aantrekkingskracht, die van de zon uitgaat, de beweging van de planeten veroorzaakt. Bewezen was het echter alleen nog maar voor een zuivere cirkelbaan, waarin de kracht en de snelheid altijd even groot blijven. De planeten daarentegen bewegen zich volgens de wetten van Kepler in ellipsen met wisselende snelheid. Is deze beweging ook door een van de zon uitgaande aantrekking te verklaren, en hoe verandert die kracht daarbij met den afstand? Men kon wel van te voren vermoeden, dat op grooter afstand de kracht zwakker moest worden; maar iets zekers was over de wet, die haar beheerschte, niet bekend.

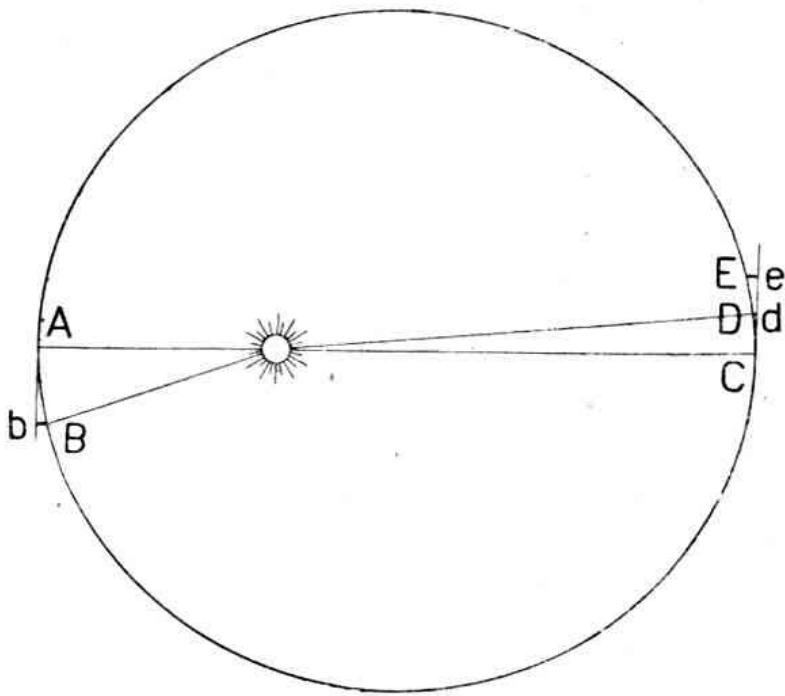
Het antwoord op al deze vragen werd door een Engelsch geleerde, I s a a c N e w t o n, gegeven. Hij ging uit van de wetten van Kepler, waarvan de beteekenis nu eerst aan het licht trad, toen hij er door zijn wiskundig vernuft de wetten der aantrekkingskracht uit wist af te leiden.

Een cirkelbaan ontstaat door een kracht, die naar het middelpunt is gericht. Bij de planetenbaan staat de zon in een der brandpunten; is hier de kracht naar dat brandpunt gericht? Newton kon deze vraag met behulp van Kepler's wet der perken beantwoorden. Wanneer een lichaam de rechte lijn A B C zonder eenige uiterlijke kracht doorloopt, legt het in elke sekonde een even langen weg $AB == BC$ af. De verbindingslijn van het voorwerp met een middelpunt M strijkt in de eerste sekonde over den driehoek A M B, in de tweede over den driehoek B M C, en deze beide driehoeken zijn even groot. Treedt nu echter voor een oogenblik, terwijl het in B is, een kracht op, die naar het middelpunt M gericht is en het lichaam in 1 sekonde naar d zou brengen, dan komt het door samenvoeging van de beide snelheden in D. De vlakke, die nu in de tweede sekonde door den voerstraal bestreken wordt, is driehoek B M D; maar deze driehoek is even groot als B M C — dus ook als A M B omdat ze de zijde B M gemeen hebben, en de toppen C en D even ver van deze grondlijn verwijderd zijn.



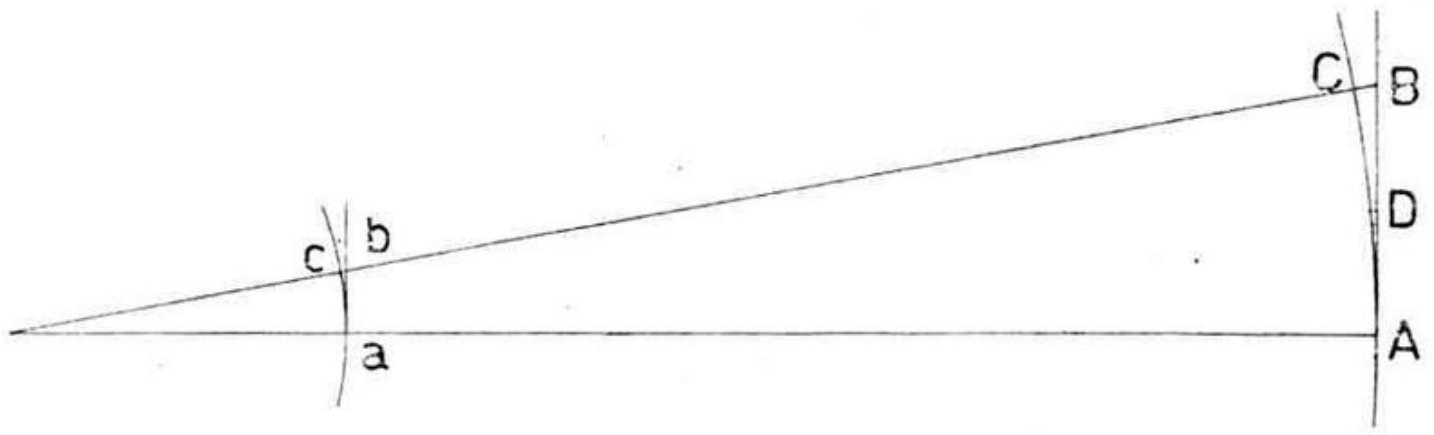
Deze gelijkheid geldt alleen als C en D even ver van B M verwijderd zijn, dus wanneer d op de lijn B M ligt. Wanneer de in B optredende kracht, alleen, het lichaam op zij van de lijn B M zou aftrekken, dan waren de driehoeken niet gelijk; ze zijn het echter altijd, wanneer de kracht, die in B werkt, naar het middelpunt M gericht is; dan is de bestreken driehoek in de 2^{de} sekonde even groot als in de eerste. Dit geldt natuurlijk ook, wanneer de kracht niet enkel een oogenblik in B een stootje geeft, maar voortdurend werkt en zoo de baan regelmatig buigt. Newton kon op die manier als algemeene waarheid bewijzen, dat, wanneer bij een beweging de gelijkheid der perken ten opzichte van een centrum geldt, er een kracht werkt, die naar dit centrum gericht is; en omgekeerd geldt hetzelfde. En daar wij door de wet van Kepler weten, dat voor de planeten de gelijkheid der perken met betrekking tot de zon geldt, kon Newton als zijn eerste wet vaststellen: de oorzaak van de planetenbeweging is een aantrekkingskracht, die naar de zon gericht is.

Uit de tweede wet van Kepler, die zegt dat de planetenbanen ellipsen zijn, was nu zonder moeite te vinden, volgens welke wet de aantrekkingskracht met den afstand tot de zon verandert. Daartoe vergelijken wij de beide plaatsen van de ellips met elkaar, die aan het einde der groote as tegenover elkaar liggen: de eene het dichtst bij de zon, de andere het verst er af. In die beide plaatsen heeft de baan precies denzelfden vorm, maar zij wordt er met verschillende snelheid doorlopen. Nemen wij zulk een ellips, dat de grootste afstand in C 2 maal zoo groot is als de kleinste afstand in A. Loopt de planeet op beide plaatsen hetzelfde stuk $AB == CE$ in haar baan voort, dan wordt zij in beide gevallen door de zon een even groot bedrag $bB == eE$ van den rechten weg afgetrokken. Maar deze valhoogten worden niet in denzelfden tijd doorlopen; de weg CE op den grooten afstand tot de zon eischt den dubbelen tijd, omdat hier de snelheid half zoo groot is als in A.



Daar de valhoogte in een tweemaal groter tijd viermaal groter wordt, zou de planeet in C in denzelfden tijd slechts viermaal zoo weinig naar de zon toe vallen als in A; de valhoogte d D, die bij den halven weg C D en bij hetzelfde tijdsverloop behoort, is $\frac{1}{4}$ van b B. De kracht, waarmee de zon de planeet van den rechten weg aftrekt, is dus in C viermaal kleiner dan in A. Wij kunnen dezelfde redeneering toepassen op een ellips, waarbij de grootste afstand tot de zon 10 maal groter is dan de kleinste afstand; de weg in C zou dan voor een gelijk tijdsverloop 10 maal kleiner en de valhoogte 100 maal kleiner zijn dan in A. Zoo vindt men als tweede wet van Newton: de van de zon uitgaande aantrekkingskracht neemt bij toenemenden afstand in verhouding tot het kwadraat van den afstand af.

Newton bewees streng wiskundig, dat dit ook voor alle andere punten van de ellips opgaat. Uit deze beide eerste wetten van Kepler laat zich dus de wet van de aantrekkingskracht volkomen afleiden. Maar wij kunnen de verandering met den afstand ook nog op andere wijze vinden, namelijk uit de derde wet van Kepler. Wij nemen daarvoor het geval van twee planeten, die zich in cirkels om de zon bewegen, de eene viermaal verder dan de andere. Naar de derde wet moet dan haar omloopstijd 8 maal groter en haar snelheid half zoo groot zijn als bij de andere. Hebben beide hetzelfde gedeelte van hun baan afgelegd, dan zijn de weg A B en de valhoogte B C bij de verste planeet 4 maal groter dan bij de andere; om dezelfde valhoogte b c te hebben, moet zij slechts halfzoover, tot D loopen. Deze weg A D is nog tweemaal zoo lang als a c en wordt tweemaal zoo langzaam doorloopen, eischt dus den vierdubbelen tijd. Op viermaal groter afstand van de zon is dus een viermaal groter tijd noodig om door de werking der zonskracht eenzelfde hoogte te vallen; in gelijke tijden zou dus de valhoogte bij de verste planeet $\frac{1}{16}$ van die bij de naaste planeet zijn; m. a. w: de aantrekking van de zon vermindert op viermaal groter afstand tot een zestiende.



Schijnbaar hebben we hier nog eens hetzelfde gevonden, wat wij al wisten. Maar er is toch een verschil. De eerste afleiding leerde ons, dat dezelfde planeet, wanneer zij op den dubbelen afstand van de zon komt, viermaal zwakker aangetrokken wordt. De laatste afleiding leert ons daarentegen, dat een andere planeet op den dubbelen afstand viermaal zwakker aangetrokken wordt dan de eerste; dus, dat verschillende planeten, op gelijken afstand van de zon geplaatst, even sterk door de zon worden aangetrokken en door die aantrekking een even groote versnelling krijgen. Daar wij mogen aannemen, dat de verschillende planeten nu niet precies dezelfde stoffelijke samenstelling hebben, volgt hieruit de derde wet van Newton:

de aantrekkingskracht is onafhankelijk van de bijzondere stoffelijke samenstelling der wereldlichamen.

Zoo was de oorzaak van de planetenbeweging volkomen opgehelderd. De wetten, die op grond van Kepler's berekeningen als niet meer dan ervaringsregels konden gelden, hadden hier tot een algemeene grondwet gevoerd, die ze in zich besloot. Daardoor verdween meteen hun toevalligheid; terwijl te voren niet in te zien was, waarom juist tusschen het kwadraat van den omloopstijd en de derde macht van den afstand een vaste betrekking moest bestaan, en waarom de banen juist ellipsen moesten zijn, kregen deze wetten van Kepler nu een innerlijke noodzakelijkheid als uitvloeisels van een veel algemeenere eenvoudige grondwet. De zon oefent op de planeten een aantrekkingskracht uit, die omgekeerd evenredig met het vierkant van den afstand afneemt en op verschillende stoffen even sterk werkt. Ten gevolge van deze aantrekking bewegen de planeten zich volgens de wetten van Kepler in hun banen.

38. DE ALGEMEENE AANTREKKINGSKRACHT.

Zoo was nu de beweging der planeten in vrijwel ronde ellipsen door een van de zon uitgaande aantrekkingskracht verklaard. Maar de zon is niet het eenige centrum, waaromheen zich hemellichamen in zulke banen bewegen: wij vermeldde reeds de manen, die om Jupiter rondloopen; naderhand waren dergelijke manen bij Saturnus ontdekt, en om de aarde beweegt zich onze eigen maan. Dan moet voor die banen — die ook alle vrij ronde ellipsen zijn — dezelfde verklaring gelden; ook Jupiter en Saturnus bewerken door hun aantrekking de beweging van hun manen;

ook van de aarde gaat een aantrekking uit, die de maan in haar baan houdt en van dezelfde natuur is als de aantrekkingskracht van de zon.

Maar kennen wij zulk een aantrekking der aarde niet al lang? Wanneer een steen door zijn zwaarte naar beneden valt, is het toch ook een soort aantrekkingskracht, die hem naar beneden trekt. Is misschien de kracht, die de maan in haar baan houdt, dezelfde kracht, die een steen doet vallen, en die wij tot nog toe zwaartekracht noemden? Deze vraag beteekent niet, of zij evenals de zwaartekracht werkt; dat weten wij al, want wij hebben in het begin de aardsche zwaarte als voorbeeld van een aantrekkende kracht gebruikt, waaruit een cirkelbeweging ontstaat. De vraag is, of de op de maan werkende kracht de zwaartekracht zelf is. Om ze te beantwoorden, behoefde men het niet bij ijdel vragen en filosofeeren te laten; de berekening kon het uitwijzen. Want wanneer de kracht, die de maan van den rechten weg trekt en haar zoo haar baan doet doorloopen, de zwaartekracht zelf is, moet zij bij de maan, die 60 keer verder van het aardmiddelpunt verwijderd is dan een voorwerp op het aardoppervlak, volgens de boven gevonden wet $60 \times 60 == 3600$ maal zwakker werken dan de zwaartekracht in onze omgeving; dan moet dus de valhoogte in één sekonde bij de maan 3600 maal geringer zijn dan 490 cM., de valhoogte in één sekonde op aarde. Newton voerde deze berekening reeds in het jaar 1666 uit. Hij nam, zooals toen in Engeland algemeen gedaan werd, voor de middellijn der aarde 34 miljoen Parijsche voeten aan (wat met 11 miljoen Meter overeenkomt); de afstand van de maan, 30 maal meer, wordt dan 330 miljoen M., de lengte van haar baan 2070 miljoen M. Deze baan wordt in $27\frac{1}{3}$ dag $= 27\frac{1}{3} \times 86400 = 2360000$ sekonden doorloopen: per sekonde legt de maan dus een weg van 877 M. af. Naar den bekenden, vroeger vermelden regel ([blz. 242](#)) is dan de valhoogte van de maan in 1 sekonde 0.00117 M. $= 1.17$ millimeter (want $877 \times 877 = 0.00117 \times 660$ miljoen). De valhoogte op aarde moet dan 3600 maal grooter zijn; 3600×1.17 mM. $= 4.21$ Meter. De werkelijke valhoogte op aarde is echter 4.90 M., dus aanmerkelijk meer. Teleurgesteld legde Newton zijn berekeningen weg; zijn mooi en eenvoudig idee had de proef niet doorstaan, want uit de berekening was gebleken, dat buiten de gewone aardsche zwaarte nog een andere kracht op de maan moest werken.

Zoo meende hij. Maar in 1682 vernam hij toevallig, dat de Fransche graadmeter, die Picard in 1671 voltooid had, een belangrijk grootere waarde voor den omvang der aarde opgeleverd had dan hij had aangenomen. Hij had inderdaad de aarde en dus ook de maanbaan aanmerkelijk te klein aangenomen, hoewel Snellius vroeger al een veel juister bedrag gevonden had. Hij ging toen opnieuw aan het werk en nu met een heel ander resultaat. Neemt men, zooals het moet, voor den omvang der aarde 40 miljoen M., voor de maanbaan 2400 miljoen M. en voor haar middellijn 762 miljoen M. aan (dus alles $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{7}$ meer), dan vindt men voor de snelheid van de maan 1017 M. per sekonde en voor haar valhoogte in één sekonde 1.36 mM. Dit met 3600 vermenigvuldigd, geeft 4.90 meter voor de valhoogte op aarde, precies wat het zijn moet.

Hetzelfde resultaat is ook nog op andere wijze af te leiden. Wij vonden vroeger, dat een kogel, horizontaal met zoo groote snelheid afgeschoten, dat hij in een cirkelbaan om de aarde loopt, daarvoor 5070 sekonden $= 1.41$ uren noodig zou hebben. Zulke om de aarde rondlopende lichamen kan men zich ook verder van de aarde voorstellen; en wanneer de zwaarte op grooter afstand van de aarde met het vierkant van den afstand afneemt, moeten omloopstijd en afstand van al die lichamen aan de derde wet van Kepler gehoorzamen. Wat moet dan de omloopstijd van een lichaam zijn, dat onder de werking der zwaartekracht op maansafstand rondloopt? Is zijn afstand 60 maal zoo groot als bij onzen vroegeren kogel, dan moet zijn omloopstijd 466 maal zoo groot zijn ($60 \times 60 \times 60$ is nagenoeg 466×466) dus 466×1.41 uren $= 657$ uren $= 27\frac{1}{3}$ dag, precies de omloopstijd van de maan. Onder de werking van de

aardsche zwaartekracht moet, wanneer ze volgens de wet van Newton afneemt, een lichaam op den afstand van de maan zich juist zoo bewegen als de maan het doet. De kracht, die de maan in haar baan doet loopen, is dus de aardsche zwaartekracht zelf.

Door deze ontdekking was meteen het wezen van de aantrekkingskracht der zon opgehelderd. Zij was niet een soort van magneetkracht, die "verwante" lichamen — zooals Kepler het uitdrukte — naar elkaar toedrijft; zij is niets anders dan de van ouds bekende zwaartekracht. Daarom noemde Newton haar ook, als een soort meer algemeen geldige zwaarte: de *gravitatie* (*gravitas* is het latijnsche woord voor zwaarte): "de planeten graviteeren naar de zon," d.w.z. zij zijn zwaar naar de zon, zooals een steen zwaar is naar de aarde. De zwaartekracht huist in de aarde en trekt de steenen en ook de maan naar deze toe; zij huist in de zon en trekt alle planeten, ook de aarde, naar de zon toe; zij huist in de planeten, wat niet slechts hun manen bewijzen, maar ook hun ronde vorm aantoont. Zij moet dus aan alle wereldlichamen als eigenschap toekomen.

Is nu deze eigenschap aan die lichamen zelf gebonden? Zou een gedeelte van de zon, als het van de geheele zon gescheiden werd, niet ook nog een aantrekking uitoefenen? Wanneer men eenmaal weet, dat de aantrekking in alle wereldlichamen huist, ligt het voor de hand, haar ook aan de samenstellende deelen van deze lichamen toe te kennen, en de aantrekkingskracht van de zon als de totaalsom van de aantrekking van al haar deelen op te vatten. Was de aantrekking tot nog toe alleen opgetreden als een op de wereldbollen werkende kracht, die hun beweging in ellipsen naar Kepler veroorzaakte, zoo kreeg zij nu een veel omvattender beteekenis: de aantrekking is een algemeene eigenschap van de stof. Op dit principe bouwde Newton in zijn hoofdwerk, dat in 1686 verscheen: "Wiskundige beginselen der natuurfilosofie," zijn theorie ter verklaring der hemelsche bewegingen op, die nog steeds als het fundament der astronomie en als een der belangrijkste aanwinsten der menschelijke kennis geldt. Dat was echter alleen mogelijk, doordat hij tegelijk de leer van de bewegingen en krachten, waarvan Galilei het begin opgebouwd had, tot algeheele klaarheid en volmaaktheid bracht.

Wij vonden, dat lichte en zware lichamen onder den invloed der zwaarte even snel vallen, of juister uitgedrukt, met dezelfde versnelling vallen. Wil dat zeggen, dat de aarde ze even sterk aantrekt? Natuurlijk niet; wij voelen met de hand het verschil in deze aantrekking als een verschil in zwaarte; een groote steen wordt door de aarde sterker aangetrokken dan een kleine, en de grootte van die aantrekking wordt ons juist door het gewicht aangegeven. Hoe komt het dan, dat de groote steen, die de grootste kracht ondervindt, niet veel sterker, met grooter versnelling valt, dan de kleine?

Het antwoord op die vraag wordt door het vroeger (bij de behandeling van de tegenwerpingen tegen de beweging der aarde) vermelde feit gegeven: een zelfde kracht brengt een licht voorwerp gemakkelijker in beweging dan een zwaar lichaam. Om bij verschillende lichamen — zoo werd daar gezegd — eenzelfde verandering in de voorhanden beweging (of rust) te bewerken, is een des te grooter kracht noodig, naarmate het lichaam zwaarder is. Wij kunnen nu echter het gewicht niet meer als de beste uitdrukking gebruiken voor de mate, waarin een kracht op een lichaam werkt; terwijl wij het vroeger voor iets hielden, dat voor elk lichaam vast bepaald en onveranderlijk was, weten wij nu, dat het gewicht, als werking van de aantrekkingskracht, met de plaats wisselt. Een ding, dat hier een pond weegt, zou op maansafstand gebracht, slechts $\frac{1}{3600}$ van een pond wegen; en ook in Afrika weegt het minder dan hier. Toch zou eenzelfde stoot het daarginds geen grooter snelheid geven dan hier. Wat de werking van een kracht op een voorwerp bepaalt, is niet zijn gewicht, dat slechts iets uiterlijks en veranderlijks is, maar zijn *massa*, die iets innerlijks en blijvends uitdrukt en ook wel als *hoeveelheid stof* betiteld wordt.

Bij de voorwerpen in onze omgeving, die alle onder de werking van dezelfde aantrekkingskracht staan, kennen wij de massa aan het gewicht; daarom spreken wij zoo dikwijls van gewicht, waar wij de massa bedoelen. Wie een pond suiker koopt, is het om een bepaalde massa, een bepaalde hoeveelheid suiker te doen; in Afrika bedoelt hij niet iets minder suiker te krijgen, al is het gewicht daar ook minder; het gewicht dient alleen om de juiste hoeveelheid af te meten.

Een steen, die 5 maal zoo zwaar is als een andere, heeft dus ook een 5 maal grootere massa en komt daarom 5 maal moeilijker in beweging; een 5 maal grootere kracht is noodig, om hem, als zij voortdurend werkt, dezelfde versnelling te geven. Wij kunnen nu onze vroegere stelling van [blz. 160](#) scherper en juister uitdrukken: Om bij een voorwerp een bepaalde verandering der beweging te bewerken, is een kracht noodig, die evenredig is met de massa van het voorwerp. En daar wij vroeger reeds vonden, dat de versnelling in gelijke reden met de grootte van de kracht groter of kleiner wordt, kunnen wij nog algemeener zeggen: de kracht is evenredig met het produkt van de door haar bewerkte versnelling en de massa van het voorwerp.

Nu is elke tegenstrijdigheid opgeheven. De groote steen van 5 pond wordt wel met een 5 maal grootere kracht door de aarde aangetrokken dan de steen van 1 pond; maar deze 5 maal grootere kracht moet een 5 maal grootere massa in beweging brengen, en daardoor krijgt de groote steen precies dezelfde versnelling als de kleine. En omgekeerd kunnen we nu zeggen: daar de ondervinding ons leert, dat alle voorwerpen bij het vallen dezelfde versnelling krijgen, besluiten wij daaruit — wat wij straks eenvoudig aangenomen hebben — dat bij al deze voorwerpen gewicht (de kracht van de aarde) en massa precies evenredig met elkaar zijn. Maar nu zal ons deze gevolgtrekking niet meer dienen, om iets over de grootte van de massa te weten te komen, doch omgekeerd, om een eigenschap van de aantrekkingskracht uit te drukken. Om het verschil in gedrag tusschen verschillend zware lichamen vast te houden nadat wij ingezien hadden, dat gewicht en zwaarte zelf iets toevalligs en veranderlijks zijn, hebben wij daaruit de massa als eenvoudigst grondbegrip afgeleid, dat het verschil in gedrag der voorwerpen uitdrukt in een grootheid, die voor elk ding vast en onveranderlijk is. En vinden wij nu, uit de gelijkheid der versnellingen, dat gewicht en massa steeds in dezelfde verhouding tot elkaar staan, dan beteekent dit: de aantrekkingskracht, die de aarde op een voorwerp uitoefent, is evenredig met de massa van dit voorwerp. Omdat de groote steen een 5 maal grootere massa heeft, daarom wordt hij door de aarde 5 maal sterker aangetrokken, en daarom weegt hij 5 maal zoo zwaar.

Deze kracht hangt natuurlijk niet enkel van de massa van den steen (en van den afstand) af. Konden wij de aarde in twee helften verdeelen, dan zou iedere helft den steen nog maar met halve kracht aantrekken. De aantrekkingskracht is ook evenredig met de massa van het aantrekkende lichaam. Konden wij uit de aarde een steen van 10 pond, die misschien het duizendtrillioenste deel van de geheele aarde mag zijn, afzonderen en op zijn eentje op denzelfden afstand van ons als het aardmiddelpunt plaatsen, dan zou deze op onzen vijfpondssteen een aantrekking uitoefenen, die slechts een duizendtrillioenste van zijn gewicht, van 5 pond, zou bedragen. Maar wordt deze aantrekking nu enkel door den tienpondssteen op den vijfpondssteen uitgeoefend? De een is evengoed een deel van de aarde als de ander. Of trekken misschien alleen de groote lichamen de kleine aan? Wij behoeven slechts onzen tienponder in tien stukken van 1 pond te verdeelen, die ieder met een tiende van de eerste kracht den vijfponder aantrekken, om te zien, dat dat geheel onaannemelijk is. Wij kunnen de dingen niet in twee groepen verdeelen, zoo, dat de eene soort, de grooten, de aantrekking alleen uitoefenen, en de anderen, de kleinen, de aantrekking ondergaan. Ook de wereldlichamen bewijzen dat: de aarde ondergaat, als alle planeten, de aantrekking van de zon; zijzelf trekt de maan aan; waarom zou zij

alleen op de maan en niet ook op de zon een aantrekkingskracht uitoefenen? Al zulke tegenstrijdigheden zijn alleen te vermijden, als men aanneemt, dat niet slechts sommige lichamen andere aantrekken, maar dat alle lichamen elkaar aantrekken. De aantrekking werkt tusschen elke twee lichamen en tracht ze naar elkaar toe te trekken met een kracht, die van hun beider massa's op dezelfde wijze af hangt, en waarin beide volkomen dezelfde rol spelen; beide trekken aan en beide worden aangetrokken. Op het eerste gezicht lijkt het vreemd, dat, zonder dat wij het bemerken, de aarde de zon even sterk zou aantrekken als de zon de aarde; maar een kort nadenken toont ons, dat het niet anders kan zijn.

De aarde trekt den steen aan; maar met dezelfde kracht trekt de steen de aarde aan. Waarom valt dan alleen de steen naar de aarde en niet omgekeerd ook de aarde naar den steen? Er is geen enkele reden, waarom de aarde niet naar den steen toe zou vallen, want de aarde zweeft even vrij in de wereldruimte als de steen. Beide lichamen bewegen zich dus naar elkaar toe, de steen wordt naar beneden en de aarde met dezelfde kracht naar boven getrokken. Daar echter de aarde wel duizendtriljoen maal groter is dan de steen, dus ook haar massa zooveel groter dan die van den steen moet zijn, bewerkt dezelfde kracht bij haar een versnelling, die duizendtriljoen maal kleiner is dan bij den steen. In denzelfden tijd dat de steen een meter naar beneden valt, valt de aarde een trillioenste millimeter naar den steen toe, naar boven. En wie zou meenen, dat daardoor dan toch de plaats van de aarde in het heelal dit kleine bedrag gewijzigd zou worden, vergist zich ook nog daarin; want toen ik te voren den steen opbeurde, dus de aarde en den steen tegen hun wederzijdsche aantrekking in van elkaar verwijderde, door met de hand den steen aan te vatten en met de voeten tegen de aarde te drukken, werd de aarde ditzelfde bedragje van een trillioenste millimeter naar beneden geduwd, terwijl de steen een meter omhoog ging; bij het vallen nemen beide hun oude plaats weer in.

Wij zien hier nu, waarom wij de aantrekkingskracht eerst als een eenzijdige werking van het eene ding op het andere leerden kennen. Van de lichamen, bij welke wij haar ontmoetten, was altijd het eene veel groter dan het andere, en daarom bemerkten wij alleen de beweging van het kleine lichaam: het vallen van den steen op de aarde, het rondloopen van de planeet om de zon — de beweging van het groote lichaam was onmerkbaar. Eerst door deze theoretische redeneeringen konden wij tot het eigenlijke wezen doordringen. En zoo kon Newton zijn wet der aantrekking, onafhankelijk van planeten, zon en aarde, als een algemeene grondwet der natuur in dezen vorm vaststellen:

alle stofdeeltjes, die de lichamen van het heelal samenstellen, trekken elkaar aan met een kracht, die met beider massa evenredig is en omgekeerd evenredig met het vierkant van hun afstand.

Van een bepaalden afstand kan men natuurlijk alleen bij kleine deeltjes, van punten spreken. De aantrekking van een geheel lichaam is dan het totaal der aantrekkingen van al zijn deeltjes. De zwaarte van een steen ontstaat hierdoor, dat alle deeltjes die te zamen de aarde vormen en waarvan sommige dichtbij, vlak onder onze voeten liggen en andere zeer ver af, den steen aantrekken en deze aantrekkingen zich samenvoegen. Wiskundig laat zich bewijzen, dat bij een bolvormig lichaam de totale aantrekking precies zoo groot is, als wanneer de geheele massa in zijn middelpunt verzameld was. De aarde trekt den steen op haar oppervlak en de maan in de verte juist zoo aan, alsof zij alleen met haar middelpunt aantrekt; deze eigenschap, waarvan wij als iets vanzelfsprekends al gebruik gemaakt hebben, veroorlooft, de wet der aantrekking ineens op groote wereldebollen toe te passen, en daarbij van "hun" afstand te spreken, evenalsof zij kleine punten zijn.

De massa van een hemellichaam bepaalt dus de aantrekkingskracht, die het uitoefent; deze massa is het

grondelement, dat wij moeten kennen, om de aantrekking te kunnen berekenen; wij willen dus in de eerste plaats de massa van de zon kennen in verhouding tot die van de aarde. Daartoe moeten wij hun werkingen vergelijken, die voor de zon uit de beweging van de aardplaneet, voor de aarde uit de baan van de maan blijkt. Dat kan echter alleen, wanneer wij de grootte der aardbaan, d.w.z. den afstand van de zon tot de aarde nauwkeurig kennen.

In de oudheid was over dezen afstand niets zekers bekend; ook Copernicus, Tycho en Kepler behielpen zich nog met de uitkomst van Aristarchus (zie [blz. 56](#)). Maar juist ten tijde van Newton was zij voor het eerst met eenige zekerheid gemeten. Het daarbij toegepaste beginsel is hetzelfde als vroeger bij de maan uitgelegd is ([blz. 80](#)), alleen met dit verschil, dat niet de parallaxe van de zon zelf, maar van Mars bepaald werd, die in zijn oppositie veel dichterbij ons is. Daartoe diende de reis van Richer naar Cayenne in 1672. In Cayenne, waar Mars hoog aan den hemel stond, zag hij hem noordelijker tusschen de sterren staan, dan de sterrekundigen te Parijs, voor wie Mars laag in het Zuiden stond; dit verschil leverde de parallaxe en den afstand van Mars, en uit de tafels van Kepler was te zien, hoeveel malen de zon verder dan Mars van de aarde af stond. Zoo werd gevonden, dat de zon 20 000 aardstralen van ons verwijderd is en een parallaxe van 10 seconden bezit. Daar de maan 60 aardstralen verwijderd is, is de zon ruim 330 maal verder dan de maan van ons verwijderd.

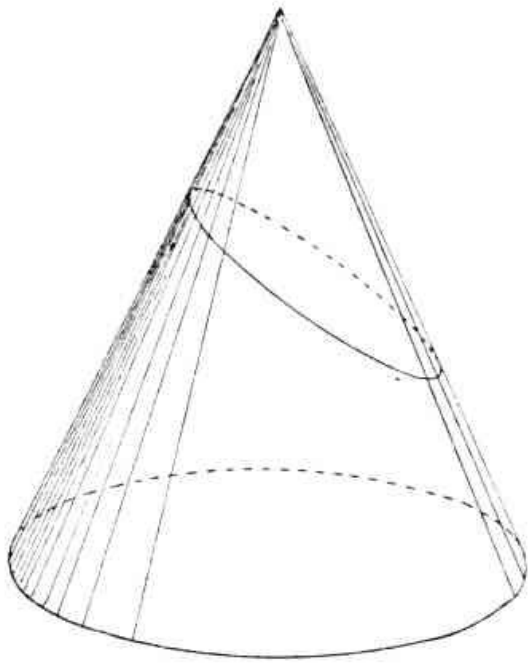
Nu is de berekening van de massa der zon niet moeilijk meer. Wij stellen eerst de vraag: hoever zou een maan van de aarde verwijderd moeten zijn, om in een jaar rond te loopen? De derde wet van Kepler geeft het antwoord: daar het kwadraat van $13\frac{1}{3}$ gelijk is aan de derde macht van 5,6, zal een maan, die 5,6 keer verder dan onze maan van de aarde verwijderd is, in $13\frac{1}{3}$ maal langeren tijd, dus juist in een jaar rondloopen. Om de zon en de aarde beide loopt dan een hemellichaam in een jaar rond; maar de baan van het om de zon loopende lichaam is $\frac{330}{5,6} = 59$ maal groter dan de andere. Alles in deze baan, dus ook het bedrag, dat het lichaam in 1 sekonde van den rechten weg afgetrokken wordt, de werking dus van de aantrekking de zon, is 59 maal groter dan de werking van de aarde. Maar deze zonswerking vindt op 59 maal groteren afstand plaats; 59 maal dichterbij, dus op gelijken afstand als de aarde op het om haar loopend lichaam werkt, zou ze nog 59×59 keer sterker zijn. Op gelijken afstand moet dus de werking van de zon $59 \times 59 \times 59 = 205000$ maal sterker zijn dan die van de aarde.

Nu hebben de nauwkeurigste moderne metingen voor de parallaxe van de zon een nog iets kleiner bedrag, nl. 8.8 seconden opgeleverd, dus een iets groteren afstand, nl. 23400 aardstralen. Daarmee worden alle getallen eenigszins anders; de zon is in werkelijkheid 389 maal verder dan de maan van ons verwijderd; in plaats van 59 moet ruim 69 gelezen worden, en de massa van de zon is 330000 maal groter dan de massa van de aarde.

39. DE UITWERKINGEN DER AANTREKKINGSKRACHT.

De grondwet, die de beweging der wereldlichamen beheerscht, is nu bekend. In de wereldruimte bevinden zich meerdere bolvormige lichamen, een zeer groot, de zon, en vele kleinere. Zij trekken elkaar aan met een kracht, die evenredig is met hun massa's en omgekeerd evenredig met het vierkant van hun

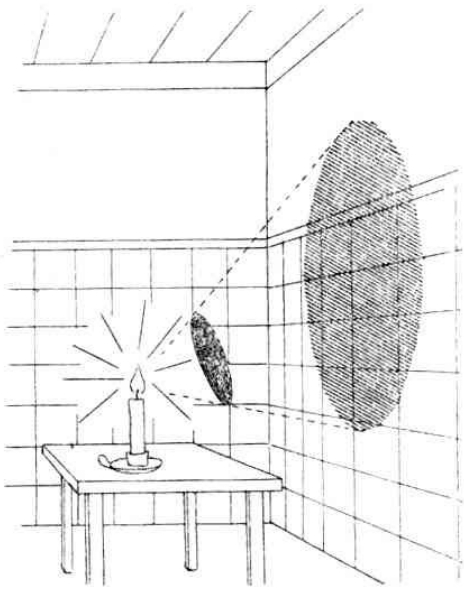
afstand. Deze kracht trekt hen uit den rechten weg, dien ze anders zouden volgen. Daar deze kracht nu bekend is, is ook te berekenen, hoe de lichamen zich bewegen. Terwijl tot nog toe de beweging der hemellichamen en haar wetten alleen maar uit de waarneming, de ervaring te vinden was, hebben wij nu een middel, om hun beweging door zuiver theoretische beschouwingen op het papier te berekenen en te voorspellen. De beweging van een hemellichaam berekenen wordt nu een zuiver theoretisch vraagstuk; dit is de groote taak der theoretische sterrekunde, die als nieuwe wetenschap met Newton begint. Daarbij moet dan de juistheid van het uitgangspunt hierin blijken, dat wat door berekening gevonden wordt, in de praktijk aan den hemel ook werkelijk uitkomt.



Kegel met snede.

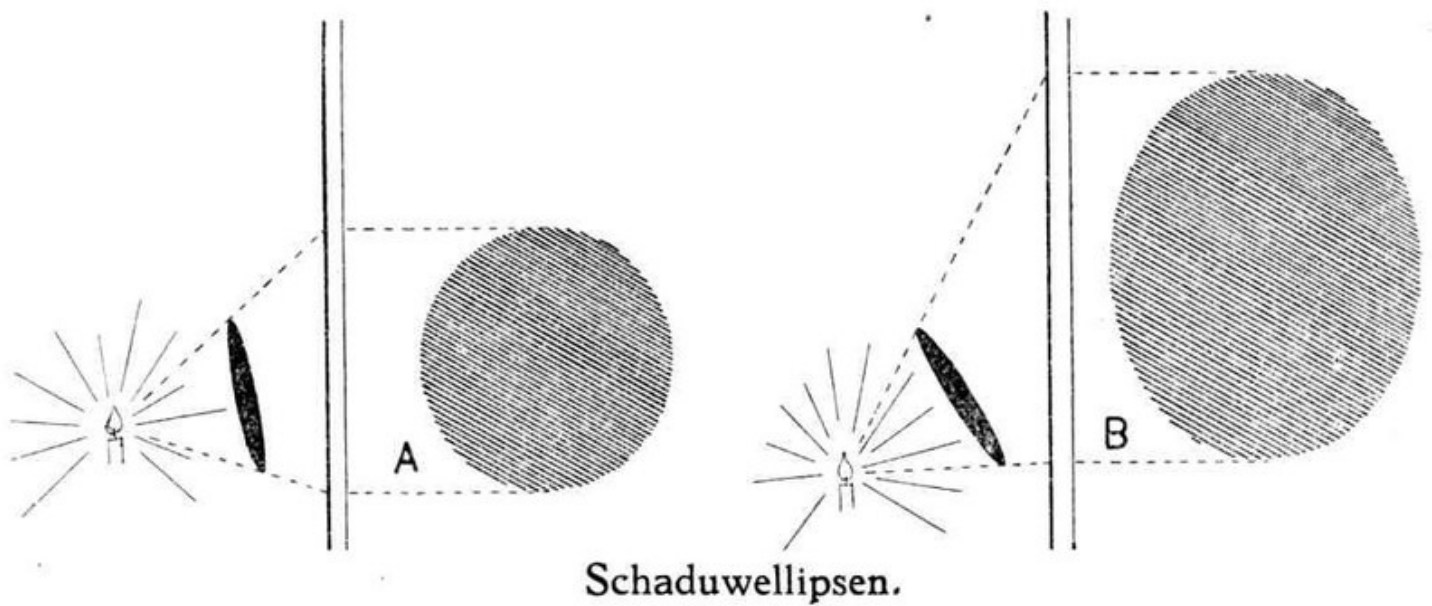
Het eerst stelde Newton zich deze vraag: welke baan moet een lichaam doorloopen, dat door de zon aangetrokken wordt? Wij weten al, dat een ellips zulk een baan is; maar zij kan ook nog anders zijn. Met behulp van de hoogere wiskunde, waarvan de grondslagen in de 17^{de} eeuw door Descartes, Leibnitz en Newton zelf gelegd waren, kon men bewijzen, dat de baan van een lichaam, dat door de zon volgens de wet van Newton wordt aangetrokken, altijd een kegelsnede moet zijn, met de zon in het brandpunt.

Wat is een kegelsnede? De naam zegt het reeds; de figuur, die men krijgt bij het doorsnijden van een kegel — een kegeloppervlak krijgt men door een lijn, die in één punt als draaipunt vastgehouden wordt (de top), langs een cirkel te laten glijden. Men kan deze figuren ook gemakkelijk te zien krijgen, zonder dat men iets doorsnijdt. Zet men een kaars (of een ander licht) op tafel, en houdt men een eindje daarvandaan een ronde schijf, b.v. een deksel, dan ziet men achter dat deksel op den muur zijn schaduw.



De ruimte, die in de schaduw ligt en verder van het deksel aldoor breeder wordt, heeft de gedaante van een kegel, waarvan de vlam de top is, vanwaar de lichtstralen als rechte lijnen uitgaan. De muur doorsnijdt dezen donkeren kegel, en de doorsnee, de zwarte figuur op den muur, is een kegelsnede.

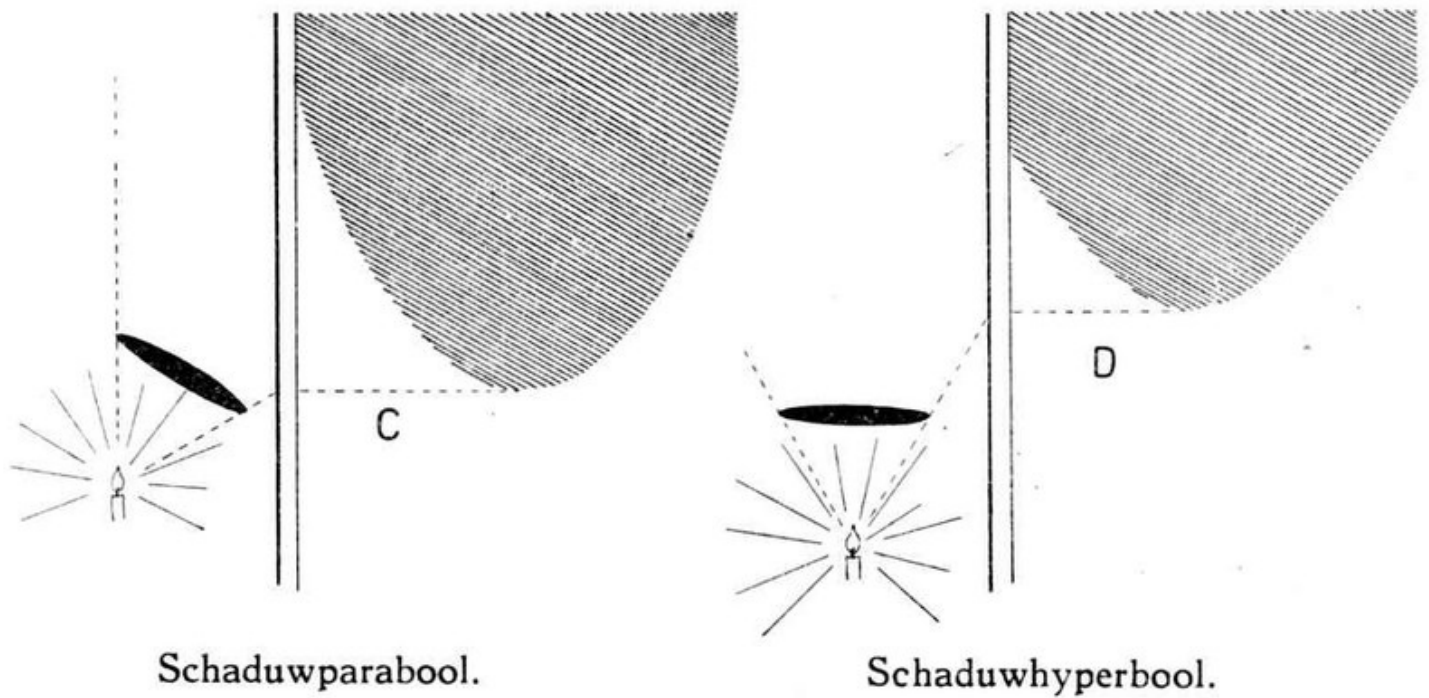
Houdt men het deksel rechtop tusschen de vlam en den muur, dan is de schaduw op den muur een cirkel. Wordt het deksel iets hoger en meer schuin gehouden, dan vertoont zich als schaduwfiguur de ons reeds bekende ellips (A). De ellips en de cirkel behooren beide tot de kegelsneden.



Schaduwellipsen.

Houdt men het deksel steeds hoger en schuiner, dan ziet men de zwarte ellips op den muur naar boven sterk groeien (B); zij wordt langwerpiger, maar niet doordat zij smaller wordt; zij wordt breeder en beneden stomper, want de kleine as wordt grooter — maar doordat de groote as sterker toeneemt dan de kleine as.

Houden wij eindelijk het deksel zoo hoog, dat de bovenrand juist boven de vlam komt, dan kan geen lichtstraal meer over dezen rand heen op den muur vallen, hoe hoog deze zich ook uitstrekt.



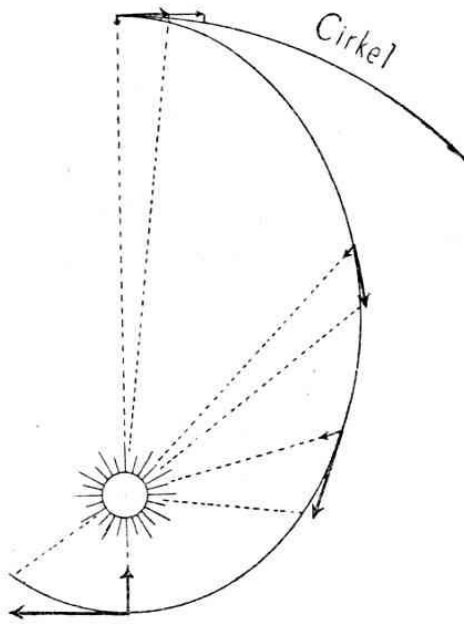
Schaduwparabool.

Schaduwhyperbool.

De schaduw is naar boven tot in het oneindige gegroeid, er is boven geen einde of spits meer en vanaf de benedenste top wordt zij naar boven steeds breder (C). De begrenzing van de schaduw is nu een *parabool* geworden, een lijn met twee oneindig lange takken, die in het begin, aan den top, sterk uiteenloopen, maar dan verder hoe langer hoe meer dezelfde richting krijgen, zonder ooit precies evenwijdig te worden. Wij kennen deze figuur ook al als den vorm van de baan, die een schuin naar boven geworpen steen volgt. Houden wij het deksel nog verder boven de vlam, zoodat het er ten slotte plat boven ligt (zooals in D), dan ziet men de beide takken van de parabool steeds verder uiteen buigen. Zulk een figuur heet een *hyperbool*; de beide takken krijgen niet steeds meer dezelfde richting, maar naderen steeds meer tot twee schuin uiteenlopende rechte lijnen.

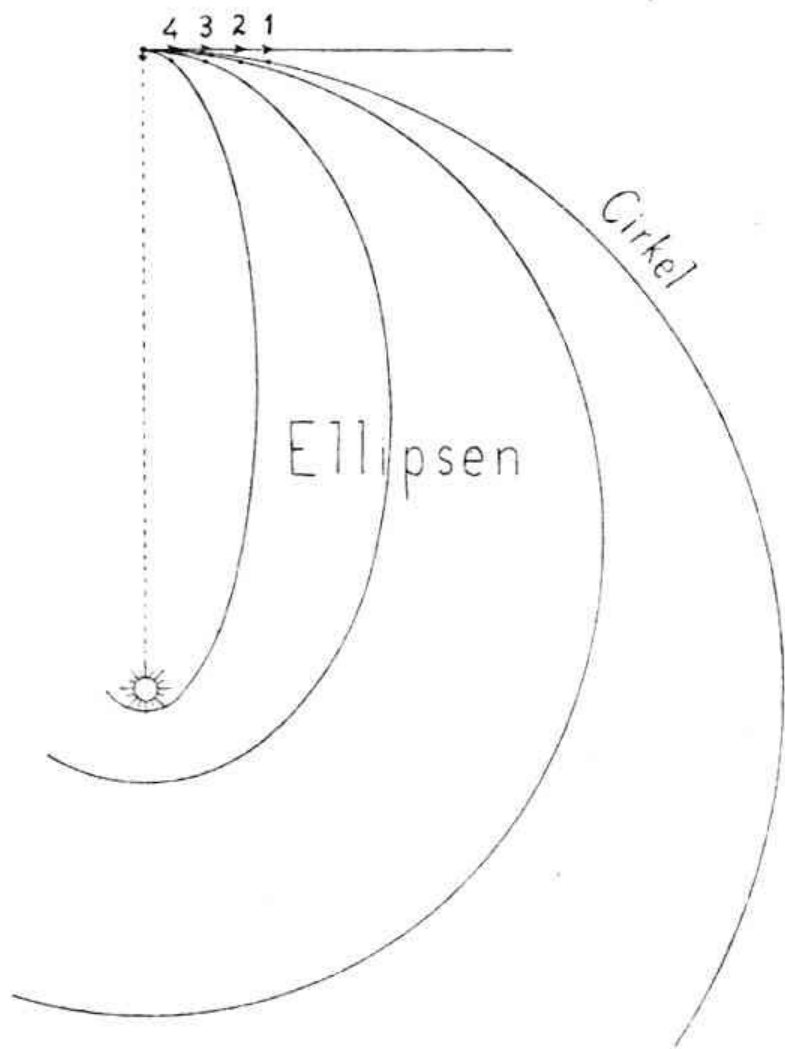
Cirkel, ellips, parabool en hyperbool zijn de verschillende soorten van kegelsneden. Alle cirkels en ook alle parabolen zijn gelijk van vorm en alleen verschillend in grootte. Daarentegen verschillen de ellipsen, en evenzoo de hyperbolen, onderling zeer in vorm; ellipsen kunnen ronder of langwerpiger zijn, en bij de hyperbolen kunnen de beide beenen in hun eindelijke richting een kleinen scherpen of een zeer grooten stompen hoek met elkaar maken. Een parabool is als een ellips op te vatten, waarvan het eene eind zich tot in het oneindige verwijderd heeft; en ook als een hyperbool, waarvan de hoek tusschen de beide beenen aldoor kleiner geworden is; zij is dus als een overgangsvorm tusschen de beide andere soorten te beschouwen.

Newton bewees nu, dat onder de werking van de door hem ontdekte aantrekkingskracht een lichaam zich noodzakelijk in een van deze kegelsneden moet bewegen. Willen wij zien, op welke wijze zulke banen ontstaan, dan doen wij iets dergelijks als bij ons oude voorbeeld, den kanonskogel, dien wij op aarde afschoten en die door de zwaartekracht van zijn rechten weg afgetrokken werd, Ergens in het zonnestelsel slingeren wij een voorwerp met groote snelheid zijwaarts weg: d.w.z. loodrecht op de richting naar de zon, en zien wat het dan, aan zijn lot overgelaten, uitvoert, Wij weten reeds, dat het bij een zekere bepaalde snelheid een cirkelbaan gaat beschrijven. Wat gebeurt er echter, wanneer het met een *kleinere* snelheid weggeslingerd wordt?



Hoe een ellipsbaan ontstaat.

Wanneer op aarde een kogel met een kleinere snelheid dan 8 KM wordt afgeschoten, komt deze al dalende steeds dichterbij de aardoppervlakte en valt eindelijk op den grond. Zoo gaat het ook met ons voorwerp, alleen met dit verschil, dat er geen vaste grond is, die het na korten tijd opvangt en tegenhoudt. Het gaat steeds voort met verder naar beneden te vallen, de baan wordt steeds steiler naar beneden gebogen en het voorwerp komt, terwijl de snelheid toeneemt, steeds dichterbij de zon. Het kan natuurlijk niet recht naar de zon toe vallen, want het behoudt altijd zijn zijdelingsche beweging: wij weten al, dat bij zulk een beweging de wet der perken geldt. Het schijnt, alsof het door zijn snelle vaart voorbij de zon zal schieten; maar hoe dichterbij de zon komt, des te sterker buigt de snel toenemende aantrekking van de zon zijn baan naar binnen. En eerst als het aan den anderen kant van de zon is gekomen, recht tegenover het punt van uitgang, gelukt dit voorbijschieten. Op die plaats is zijn beweging loodrecht op de richting naar de zon; hier is het voorwerp op zijn dichtst bij de zon gekomen, en van hier verwijderd het zich door zijn snelle vaart weer van de zon. Dan komen dezelfde verschijnselen van de eerste helft der baan in omgekeerde volgorde terug. De andere helft van de baan is precies het spiegelbeeld van de eerste; want als het voorwerp uit dit naaste punt bij de zon met dezelfde snelheid, waarmee het aankwam, teruggeslingerd werd, zou het denzelfden weg terug doorlopen hebben. Het verwijderd zich dus in de tweede helft der baan steeds verder van de zon, loopt daarbij steeds langzamer en komt eindelijk weer op zijn punt van uitgang met de beginsnelheid aan, zoodat het precies op dezelfde manier een tweeden omloop kan beginnen.



Verschillende ellipsbanen.

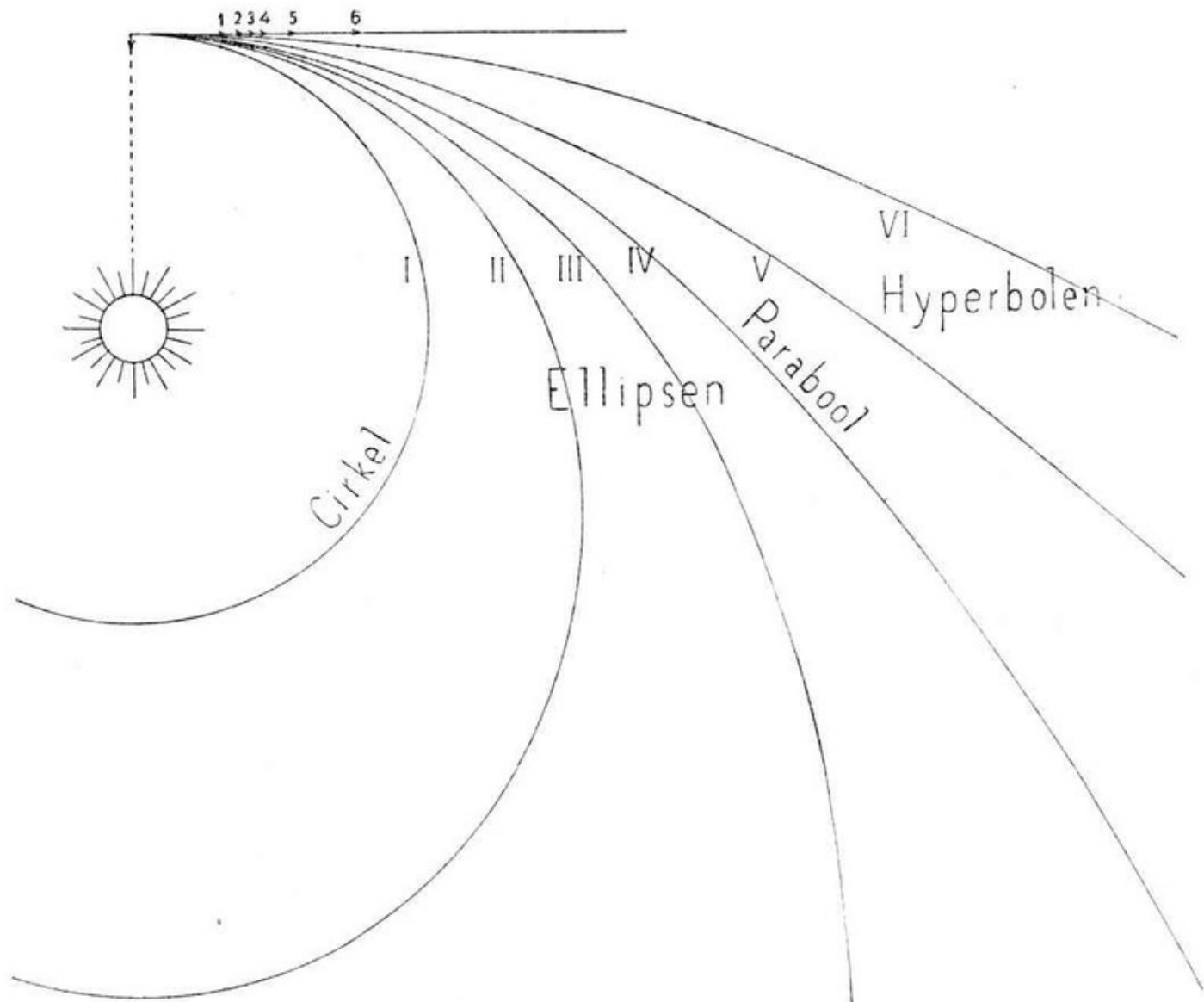
Deze baan is een ellips, waarbij het punt van uitgang het uiteinde der groote as is, die het verst van de zon verwijderd is. Hoe kleiner de beginsnelheid en dus ook het in een bepaalden tijd overstreken perk, des te smaller en uitmiddelpuntiger is de ellips, des te kleiner de groote as, des te dichter komt de planeet bij de zon, des te korter is de omloopstijd en des te grooter de gemiddelde snelheid. Als uiterste grens kan men het geval nemen, dat het voorwerp in het begin in het geheel geen snelheid kreeg en regelrecht naar de zon toe viel. Wij vinden dus: wanneer een lichaam met kleiner snelheid dan die van den cirkel zijdelings weggeslingerd wordt, doorloopt het een ellips, waarbij het punt van uitgang het verste punt is, en die des te meer naar binnen ligt, des te excentrischer is en des te kleiner omloopstijd heeft, naarmate de beginsnelheid kleiner is.

Wij nemen nu het omgekeerde geval, waarbij het lichaam met een grootere snelheid dan die van een cirkelbaan weggeslingerd wordt. Het valt dan minder sterk naar de zon toe dan bij een cirkelbeweging — onze vroegere kogel, met nog grooter snelheid dan 8 KM. voortgeschoten, zou dan minder sterk naar beneden buigen dan het aardoppervlak, dus schijnbaar langzaam omhoog stijgen. Het voorwerp verwijdert zich dus van de zon en zijn beweging wordt langzamer. Het verkeert in hetzelfde geval als ons vorig lichaam, toen het het naaste punt bij de zon gepasseerd was en de tweede helft van zijn baan begon af te leggen. Het beschrijft dus óók een ellips en komt tegenover het punt van uitgang in het verste punt van zijn baan. Wanneer dus een voorwerp met grooter snelheid dan die van den cirkel zijdelings weggeslingerd wordt, beschrijft het een ellips,

waarvan het punt van uitgang het dichtst bij de zon ligt, en waarvan excentriciteit, groote as en omloopstijd des te grooter zijn, naarmate de beginsnelheid grooter is.

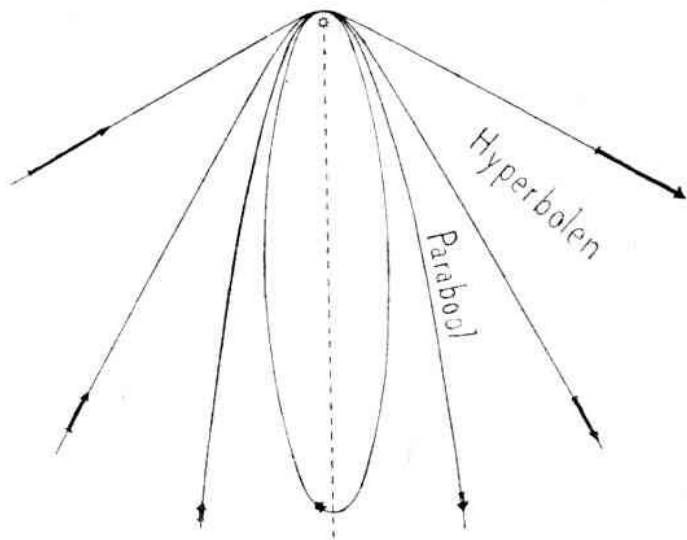
Hoe grooter de snelheid, des te verder verwijderd zich het voorwerp van de zon, voordat deze het eindelijk terugbuigt en tot omkeer noodzaakt. Wordt de snelheid eindelijk nog grooter, dan heeft de zon geen kracht genoeg het voorwerp tot omkeer te dwingen. Het verwijderd zich steeds verder van de zon, wordt daarbij steeds langzamer en verwijderd zich, zij het ook in afnemende mate, steeds verder van de as der baan; de baan is als het ware een ellips met oneindig lange groote as geworden. *D e z e b a a n i s e e n p a r a b o o l*. Nu heeft een parabool de eigenschap, dat zij aan haar top van een rechte lijn juist half zooveel afwijkt als een cirkel om het brandpunt. De valhoogte moet dus voor een parabool bij gelijken weg half zoo groot zijn als bij een cirkel. Om dezelfde valhoogte te vinden moet de afgelegde weg bij een parabool dus 1.41 maal zoo groot zijn als bij een cirkel (want $1.41 \times 1.41 = 2$). *D e b a a n w o r d t d u s e e n p a r a b o o l*, als de beginsnelheid ruim 1,4 maal zoo groot is, als voor een cirkel nodig was.

Is de beginsnelheid nog grooter, dan is de zon nog veel minder in staat, het lichaam naar de as terug te trekken. Het verwijderd zich steeds verder van de zon en van de as, en vliegt ten slotte haast rechtuit in schuine richting de wereldruimte in.



De baan is dan een hyperbool geworden, waarvan de beide beenen des te verder uiteenstaan, naarmate de beginsnelheid groter is.

Volgen wij zulk een voorwerp op grooten afstand van de zon, dan zien wij het, als het een parabool beschrijft, zich ongeveer in de richting van de as langzaam voortslepen, alsof al zijn snelheid uitgeput is — inderdaad behoefde deze maar iets kleiner te zijn, en het voorwerp zou naar de as toe getrokken worden, en in een langgestrekte ellips naar de zon terug vallen. Op de hyperbool daarentegen snelt het met een flinke vaart voort, en nadert de snelheid bij de verwijdering van de zon steeds meer tot een eindbedrag, dat des te groter blijft naarmate de beenen verder uiteen staan.



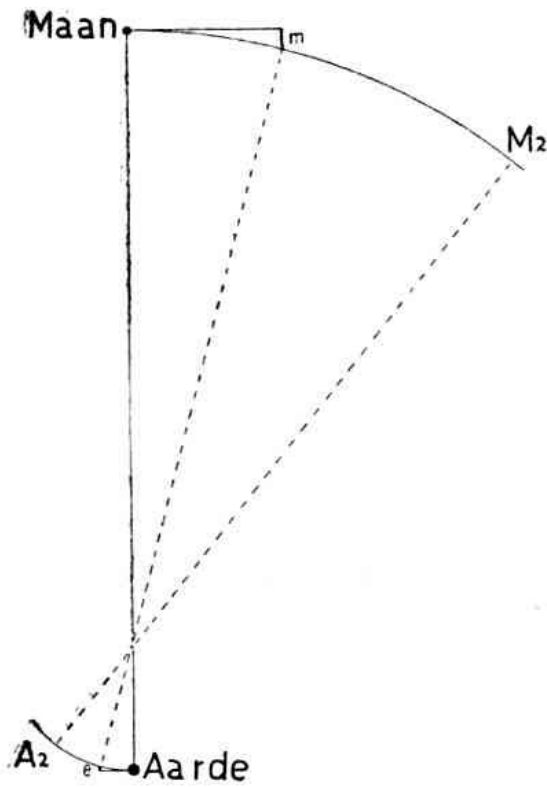
Komt uit de diepten der wereldruimte een voorwerp aanvliegen, dan zal het onder aantrekking van de zon een hyperbool beschrijven; het nadert, steeds sneller loopend, de zon, vliegt in razende vaart in een boog om haar heen — door den top van de hyperbool — en vliegt aan den anderen kant weg, langzamerhand zijn vaart vertragend, om zich eindelijk, met zijn oorspronkelijke snelheid maar in andere richting voortsnellend, in de oneindige wereldruimte te verliezen. Was echter zijn oorspronkelijke eigen snelheid slechts uiterst gering, dan komt het in een parabool, eerst langzaam, dan steeds sneller op de zon aanvliegen, draait er met geweldige vaart in een boog omheen, en loopt dan naar denzelfden kant, vanwaar het gekomen is, steeds langzamer terug. De parabool is altijd een overgangsgeval, dat, evenals een cirkelbaan, wel nooit precies zal voorkomen. Al naar de snelheid iets beneden of iets boven de juiste waarde ligt, is de baan een uiterst langgestrekte ellips, of een spitse hyperbool; aan den top, vlak bij de zon verschillen deze figuren ook nauwelijks van elkaar.

Zoo heeft dus Newton de kennis van de banen der hemellichamen buitengewoon uitgebreid en dieper gemaakt. Terwijl de ervaring te voren slechts getoond had, hoe het bij sommige hemellichamen was, bewees hij door zijn theorie, hoe het noodzakelijk moest zijn. De ellipsen, die Kepler bij de planeten ontdekt had, bleken hier slechts het bijzondere geval van een veel algemeener regel te zijn. Zij zijn niet de eenige banen, die bij hemellichamen mogelijk zijn, als ze door de zon worden aangetrokken; maar zij zijn de eenig mogelijke banen voor hemellichamen, die altijd in de buurt van de zon blijven en voor altijd vaste leden van het zonnestelsel zijn. De andere banen behooren bij lichamen, die uit oneindige verte komen aanvliegen, het zonnestelsel eenmaal bezoeken en dan weer voorgoed verdwijnen.

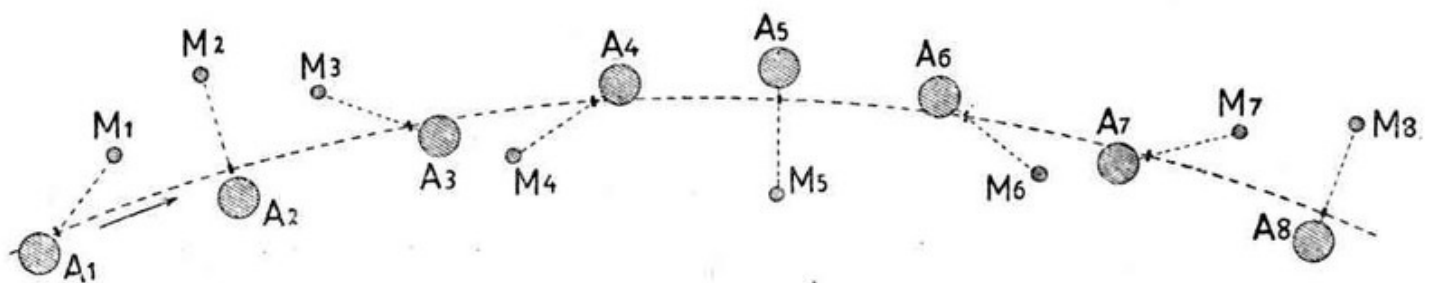
In de aantrekkingskracht van Newton bezitten wij dus nu een algemeene wereldwet, die de wetten van Kepler als bijzonder geval omvat, maar zelf veel ruimer en algemeener is. Maar ook in anderen zin brengen de ontdekkingen van Newton ons verder dan wij door de wetten van Kepler waren. De beweging van de maan om de aarde en van de planeten om de zon, zooals die volgens de wetten van Kepler plaats vindt, hebben wij afgeleid uit de aantrekking, die de aarde op de maan, die de zon op de planeten uitoefent. Maar wij weten nu, dat omgekeerd ook de maan de aarde en elke planeet de zon aantrekt. Wat heeft dat voor gevolgen?

De maan trekt de aarde aan met dezelfde kracht als de aarde de maan aantrekt. Daar echter de massa van de aarde veel groter is dan die van de maan (wij zullen verderop zien, dat ze 80 keer groter is), bewerkt deze gelijke kracht bij de aarde een veel geringere, hoewel toch merkbare versnelling. De aarde valt dus eenigszins naar de maan toe. Hoe is dat mogelijk, zonder dat daarbij de afstand der beide

lichamen vermindert? Doordat de aarde een klein cirkeltje beschrijft, dat bij deze versnelling behoort.



De maan, die snel naar de aarde valt, beschrijft daardoor een grooten cirkel; de aarde met haar 80 maal kleinere versnelling beschrijft in denzelfden tijd een 80 maal kleineren cirkel — de figuur, waar m en e deze versnellingen voorstellen, is voor een veel geringer verschil der massa's, voor een verhouding van 1 tot 5 geteekend. In plaats van het middelpunt der aarde blijft nu een ander punt in rust, dat tusschen beide lichamen in ligt en wel 80 maal dichtër bij de aarde; dit zoogenaamde gemeenschappelijke zwaartepunt van aarde en maan is het werkelijke middelpunt van de groote maanbaan en de kleine aardbaan. Terwijl zij om dit punt heenloopen, staan zij natuurlijk altijd tegenover elkaar; is de Aarde in A₂ aangekomen, dan is de maan in M₂. Waren aarde en maan alleen in de wereld, dan zou dit gemeenschappelijk zwaartepunt in rust blijven. In werkelijkheid worden beide door de zon aangetrokken en moeten zij samen in een jaar om de zon loopen; daarbij volgt dan het gemeenschappelijk zwaartepunt precies de Keplersche ellips om de zon, en het middelpunt der aarde schommelt daaromheen, beurtelings in een maand wat vooruitlopend en wat achterblijvend, zooals de figuur toont, waar de afstand aarde—maan in verhouding tot de baan om de zon 40 maal te groot is geteekend.



Dit heen en weer slingeren, vooruitloopen en achterblijven der aarde, dat zich in de waarnemingen van de zon en van de planeten duidelijk verradt, bedraagt ongeveer $\frac{3}{4}$ van den straal van den aardbol. Het gemeenschappelijk zwaartepunt ligt dus nog binnen in het aardlichaam, $\frac{3}{4}$ van den straal van het middelpunt verwijderd; en daar de afstand der maan 60 aardstralen bedraagt, is de maan 80 maal verder

van dit zwaartepunt af dan het middelpunt der aarde; zoo vinden wij, dat de massa van de maan 80 maal kleiner is dan die van de aarde.

Terwijl wij dus uit onze eerste ervaring vonden, dat de maan om de aarde loopt, leert ons nu de theorie — die door nauwkeurige waarneming bevestigd wordt — dat dit niet geheel juist is: niet alleen loopt de maan om de aarde, maar ook de aarde loopt om de maan, of, juister nog: de aarde en de maan loopen beide om hun gemeenschappelijk zwaartepunt. Dit geldt natuurlijk evenzoo voor de zon en de planeten; daar is er echter niets van te bemerken, dat de zon zich beweegt, omdat de zon voor ons het vaste middelpunt is, waarvan wij niet zeggen kunnen hoe en of het zich beweegt, omdat elk vast punt van vergelijking ontbreekt. Bij de planeten treedt echter het pas gevondene op een andere manier te voorschijn.

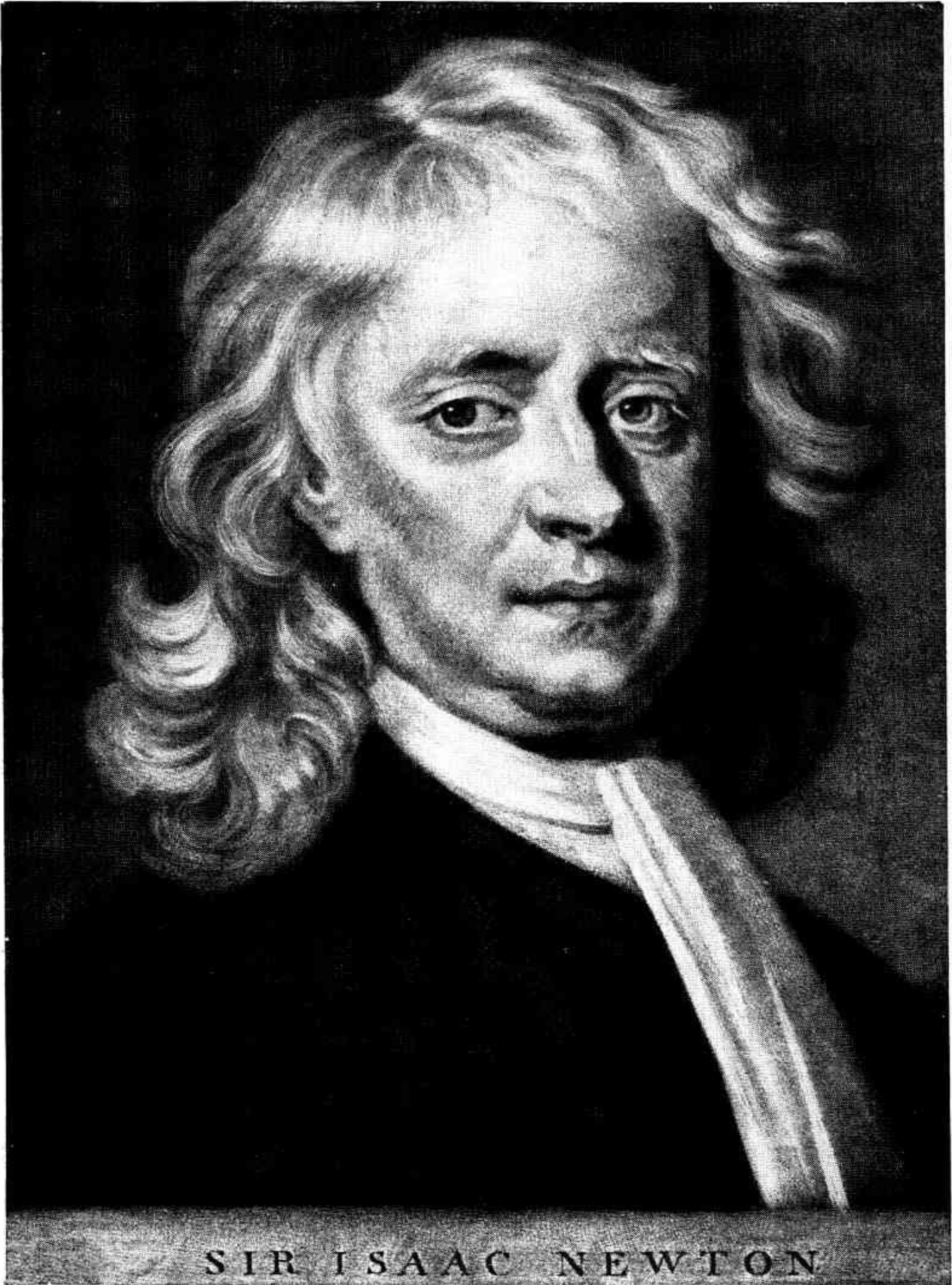
Wanneer de maan een uiterst klein lichaampje was (dus het gemeenschappelijk zwaartepunt in het middelpunt der aarde viel), zou zij een kring met den vollen afstand aarde—maan als straal beschrijven, dus een iets grooter kring, dan zij nu om het gemeenschappelijk zwaartepunt beschrijft. Toch zou de versnelling, waarmee zij naar de aarde valt, in beide gevallen dezelfde zijn. Hoe kan dat? Eenvoudig zoo, dat nu de kleinere cirkel in iets korter tijd doorloopen wordt dan het kleine lichaampje den grooteren cirkel zou doorloopen. De omloopstijd van de maan is dus kleiner dan de omloopstijd van een zeer klein maantje bij gelijken afstand zou zijn. Hoe grooter de massa van de maan is met betrekking tot die van de aarde, des te meer wordt haar omloopstijd verkleind; het is alsof een grootere aantrekkende massa dan de aarde haar doet rondloopen, en de berekening leert, dat zij zóó rondloopt, alsof de maanmassa bij de aardmassa in het middelpunt gevoegd was. Passen wij dit op de planeten toe, dan mogen wij zeggen, dat elke planeet zóó rondloopt, als een nietig klein planeetje op dien afstand zou rondloopen, dat niet door de zonsmassa alleen, maar door de zons- en planetenmassa te zamen werd aangetrokken. Voor elke andere planeet, als nietig klein lichaampje beschouwd, is het dus, alsof de zon een andere massa bezit. De derde wet van Kepler kan dus niet volkomen juist zijn; volkomen juist zou zij slechts zijn voor uiterst kleine planeetjes met onmerkbare massa. Dit komt wel nagenoeg uit, want de planetenmassa's zijn vergeleken met de zon uiterst klein; en daardoor kon Kepler zijn wet ook ontdekken. Zooals wel meer in de wetenschap voorgekomen is, heeft dus de uit de ervaring gevonden derde wet van Kepler tot de algemeenere aantrekkingswet geleid, en heeft deze algemeenere wet naderhand theoretisch de — wel is waar geringe — onjuistheid van haar eigen grondslag aangetoond. Zoo overwint elke vooruitgang der wetenschap, die op vroegere uitkomsten voortbouwt, tegelijk de onvolkomenheid van het vroegere.

Doch ook nog op andere wijze heeft de wet der aantrekkingskracht de wetten van Kepler onjuist gemaakt. Deze wetten gelden, naar onze afleiding, voor een planeet, die enkel door de zon wordt aangetrokken. Maar wij weten nu, dat op de planeten nog andere krachten werken, want alle wereldlichamen trekken elkaar aan. Een planeet wordt niet alleen door de zon, maar ook door alle andere planeten aangetrokken. Zoo wordt ook onze maan niet enkel door de aarde, maar bovendien door de zon en de andere planeten aangetrokken. Door deze bijkomende krachten wordt de beweging van de maan en de planeten anders, dan wij tot nog toe aangenomen hebben.

Toen de waarnemingen der planeten in de 2^{de} helft van de 17^{de} eeuw steeds talrijker en nauwkeuriger werden, viel het op, dat deze niet precies zóó liepen, als de tafels en de wetten van Kepler aangaven. Hun banen veranderden; zoo werden b.v. de baan en de omloopstijd van Jupiter langzamerhand kleiner, terwijl

zij bij Saturnus grooter werden. Dat bracht de sterrekundigen in verlegenheid en zorg; en sommigen meenden reeds, dat de wetten van Kepler eenvoudig onjuist waren en verworpen moesten worden. Meer nog vond de meening ingang, dat de wetten van Kepler slechts op dezelfde wijze golden als het regelmatige stijgen en dalen van de temperatuur in den loop van het jaar; evenals het weer slechts in groote trekken aan deze wisseling gehoorzaamt en er in de details voortdurend op de onregelmatigste wijze van afwijkt, evenzoo wijken ook de planeten toevallig en onregelmatig nu eens zoo, dan weer anders een beetje van de gemiddelde normale Keplersche baan af. Was dit werkelijk het geval, dan was alle kans verkeken om in de wetenschap der sterrekunde tot grooter zekerheid en nauwkeurigheid te komen. Gelukkig kwam toen juist te rechter tijd de theorie van Newton en bewees, dat de planeten aan de wetten van Kepler ook niet precies kunnen gehoorzamen. De afwijkingen ontstaan echter niet door een onberekenbaar toeval; zij ontspruiten uit een bekende oorzaak, de onderlinge aantrekking der planeten. Daar de massa's der planeten gering zijn in vergelijking met de zonsmassa, zijn de daardoor bewerkte afwijkingen van de Keplersche wetten ook gering, en vertoonen zich als kleine storingen van den regelmatigen loop. En wat de hoofdzaak was: deze krachten en storingen waren nauwkeurig te berekenen, en geen onberekenbaar toeval kon meer een rol spelen in de beweging der planeten. Met vasten tred ging de wetenschap weer voorwaarts op den weg naar steeds hoogere volkomenheid.

Wel was de berekening van deze storingen moeilijk en stelde zij de hoogste eischen aan de wiskunde; de scherpzinnigste wiskundigen van de 18^{de} en 19^{de} eeuw hebben aan deze berekening deelgenomen, en de wiskunde werd zelf buitengewoon vooruitgebracht door de nieuwe taak, deze storingen nauwkeurig af te leiden.



ISAAC NEWTON.
(1643—1727)

Het vraagstuk, de bewegingen van de planeten en de maan enkel op grond van Newton's aantrekkingswet te vinden, werd voor het eerst volledig door den Franschen wiskundige Laplace opgelost, op wiens in 1799 verschenen "Mechanika des Hemels" de onderzoekers van de 19^{de} eeuw voortbouwden. Laplace toonde aan, dat de planeten niet slechts kleine wisselende bedragen afwijken van hun regelmatige banen, maar dat deze ellipsen zelf ook langzaam hun stand en hun vorm veranderen. De richting van de groote as draait langzaam — bij de aarde hebben wij vroeger al gevonden, dat zij ten tijde van Hipparchus in November het dichtst bij de zon kwam en nu in Januari; de excentriciteit, de helling en de groote as van de baan veranderen alle zoo, dat zij in lange tijdsruimten beurtelings grooter en kleiner worden. De plaatsen der planeten te vinden was nu niet meer het oplossen van een eenvoudig meetkundig, maar van een moeilijk mechanisch vraagstuk, dat lange berekeningen eischte. Maar daardoor werd ook een nauwkeurigheid in de uitkomst verkregen, die vroeger onbereikbaar scheen. Kepler was tevreden, dat zijn tafels geen grooter fout dan een paar minuten overlieten; nu werd dit honderdmaal overtroffen. Tegelijk is door het gebruik van den verrekijker de nauwkeurigheid der waarnemingen in dezelfde mate toegenomen; daardoor kon de juistheid der berekeningen op een uiterst scherpe proef gesteld worden, en deze proef hebben zij schitterend doorstaan; tot op bijna onmerkbare kleinigheden bleken berekening en waarneming overeen te stemmen. Deze overeenstemming van de berekende storingen met de werkelijkheid levert even zoovele nieuwe bevestigingen van de aantrekkingswet van Newton, als er verschillende storingen zijn. Wat in iedere wetenschap als maatstaf van volkomenheid geldt: de nauwkeurigheid en zekerheid, waarmee zij toekomstige verschijnselen voorspelt, maakt de wet van Newton tot een der stevigste grondslagen van het menschelijk weten, tot een van de schitterendste veroveringen van den menschelijken geest.

Op bijzonder treffende wijze werd deze zekerheid der sterrekundige wetenschap door een ontdekking bewezen, die in het midden van de 19^{de} eeuw buitengewoon opzien wekte. In 1781 ontdekte de Engelsche sterrekundige Herschel op de grens van den Stier en de Tweelingen een nieuwe planeet, die als een voor het bloote oog amper zichtbaar sterretje langs de ekliptika wandelt en een kring beschrijft, die bijna 2 maal zoo groot is als die van Saturnus. Zij kreeg den naam *Uranus*; haar gemiddelde afstand tot de zon is 19,2 maal zoo groot als die der aarde en haar omloopstijd is 84 jaren. Haar baan was spoedig uit de waarnemingen berekend — zij was ook al vroeger in de 18^{de} eeuw waargenomen, maar steeds voor een gewoon sterretje gehouden — en ook haar storingen door de aantrekking der andere planeten werden nauwkeurig berekend. Maar in het begin van de 19^{de} eeuw bleek, dat zij niet zoo liep, als zij naar de berekening moest loopen. Bij de sterrekundigen zette zich steeds meer het denkbeeld vast, dat nog een onbekende kracht op haar moest werken, en het vermoeden werd uitgesproken, dat er een nog verder verwijderde planeet moest bestaan, die door haar aantrekking deze afwijkingen veroorzaakte. Twee jonge wiskundigen, Le Verrier te Parijs en Adams te Cambridge (in Engeland), gingen, zonder van elkaar te weten, bijna tegelijk aan het werk om uit de afwijkingen bij *Uranus* af te leiden, waar deze onbekende planeet zich bevond. Door aan te nemen, dat zij nagenoeg tweemaal zoo ver als *Uranus* van de zon af moest staan, gelukte het inderdaad haar plaats te berekenen, en op aanwijzing van Le Verrier werd in 1846 in Berlijn de onbekende niet ver van de berekende plaats, in den Waterman, inderdaad gevonden. Het bleek weldra, dat deze planeet, die den naam *Neptunus* kreeg, aanmerkelijk dichter bij de zon rondloopt, dan aangenomen was; de gemiddelde afstand tot de zon overtreft dien der aarde 30 maal en de omloopstijd is 164 jaar. Men begrijpt licht, dat deze ontdekking een buitengewonen indruk maakte; nooit te voren was de macht der wetenschap aan het groote publiek zoo duidelijk voor oogen gevoerd, als door de theoretische ontdekking van een onbekend hemellichaam, en de onmiddellijke bevestiging door de waarneming. Natuurlijk beteekende dat niet, zooals toen onder den indruk van de eerste geestdrift wel

gezegd werd, dat nu inderdaad de wet van Newton afdoende bewezen was. Deze wet stond vóór de ontdekking van Neptunus even vast als daarna; elke vooruitberekening van de plaats van een planeet volgens de theorie en de latere bevestiging hiervan door de waarneming levert evengoed een bewijs voor de juistheid van Newton's theorie, als de ontdekking van Neptunus.

Le Verrier heeft vervolgens ook van de overige planeten alle storingen nauwkeurig volgens de theorie berekend, en tegelijk uit alle waarnemingen de werkelijke banen der planeten met de uiterste zorgvuldigheid afgeleid. En in alle gevallen bleek een volkomen overeenstemming tusschen de theorie en de praktijk te bestaan — met één uitzondering. De richting van de groote as van de Mercuriusbaan draait iets (43 sekunden per eeuw, dus een graad in 8400 jaar) sneller rond dan uit de aantrekking der andere planeten berekend wordt. De oorzaak van deze afwijking, waarvoor allerlei verklaringen bedacht zijn, is eerst onlangs, zooals hierna zal blijken, opgehelderd.

40. DE ONREGELMATIGHEDEN VAN DE MAANBEWEGING.

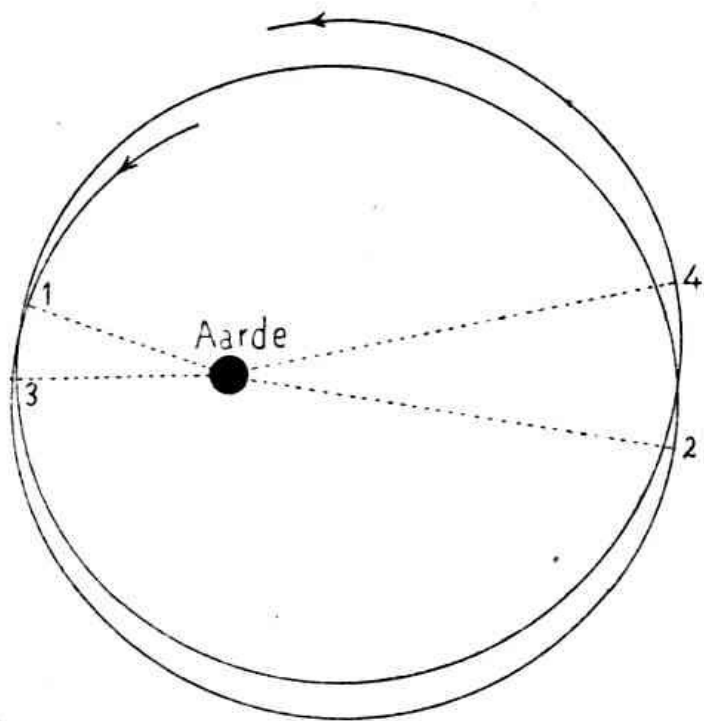
Reeds in het begin van onze waarneming der hemelverschijnselen leerden wij den loop van de maan in groote trekken kennen. Wij zagen toen, dat zij in $27\frac{1}{3}$ dag regelmatig in een kring om de aarde loopt. Vervolgens hebben wij het een en ander over haar plaats in het heelal afgeleid; eerst vonden wij, dat zij veel dichtër bij de aarde is dan eenig ander hemellichaam; vervolgens bleek het ons, dat zij alleen de aarde trouw bleef, toen alle planeten naar de zon als middelpunt overgingen, en dat zij met de aarde te zamen een jaarlijkschen kring om de zon beschrijft. Ook leerden wij de oorzaak van haar beweging in de aantrekkingskracht der aarde kennen en leidden theoretisch af, dat zij niet om het aardmiddelpunt, maar om het gemeenschappelijk zwaartepunt als middelpunt van haar baan beweegt. Maar bij al deze uitbreiding van onze kennis hebben wij nog steeds verzuimd, haar beweging in alle kleinere details te onderzoeken. En er is alle reden tot zulk een onderzoek, omdat de maan een aantal merkwaardige bijzonderheden en onregelmatigheden vertoont, die wij bij andere hemellichamen niet aantreffen.

Enkele moesten reeds aan de eerste waarnemers in het oog vallen, en wij hebben deze ook in ons 8^{ste} Hoofdstuk vermeld. De verduisteringen toonen, dat de maanbaan iets schuin staat ten opzichte van de ekliptika en deze in twee tegenover elkaar liggende punten, de knopen van de baan, snijdt. En wij vonden uit het steeds vroeger vallen der eklipsen, dat de knopen van de maanbaan langs de ekliptika terugloopen, en in 18 jaar 7 maanden de geheele ekliptika rondwandelen. De maan komt dus bij haar knopen telkens wat sneller terug dan haar omloopstijd bedraagt. Terwijl de omloopstijd gemiddeld 27 dagen 7 uren 43 minuten 11 sekonden bedraagt, verlopen tusschen twee opeenvolgende doorgangen door denzelfden knoop 27 dagen 5 uren 5 minuten 36 sekonden, dus $2\frac{1}{2}$ uur minder.

Hiertoe beperkte zich echter de kennis der maanbeweging bij de volken der oudheid niet. Wij namen tot dusver aan, dat de maan een regelmatige cirkelbeweging volbrengt. Is dat juist, dan moet de tusschentijd tusschen twee opeenvolgende verduisteringen altijd een vol aantal maanperioden zijn, of precies een halve maanperiode meer. Dat dit niet uitkomt, toont reeds onze lijst van verduisteringen op [blz. 60](#),

ofschoon de tijd daar maar ruw, in volle uren aangegeven is. Tusschen een zons- en een maansverduistering, die 14 dagen uiteen liggen, vinden wij daar als tusschentijd: in 1891 13 d, 22 u., in 1898 14 d. 7 u., in 1901 14 d. 16 u., in 1905 15 d. 10. u., in 1912 15 d. 14 u., terwijl een halve maanperiode 14 d. 18 u. is. Door eklipsen te vergelijken, die een half jaar, dus $5\frac{1}{2}$ of $6\frac{1}{2}$ maanperiode uiteen liggen, zouden wij uit die lijst nog meer gegevens kunnen krijgen. Maar deze zijn al voldoende om aan te toonen, dat de maan de eene helft van de ekliptika gemiddeld met een andere snelheid doorloopt dan de andere. De afwijking loopt tot 20 uren op, waarin de maan 10 graden aan den hemel doorloopt; in een halven omloopstijd legt de maan dus soms 10 graden meer, soms 10 graden minder af dan de halve omtrek des hemels.

Naar hetgeen wij van de planeten weten, ligt de verklaring van deze onregelmatigheid dadelijk voor de hand. In het kader van de Grieksche sterrekunde zouden wij zeggen, dat de aarde niet in, maar $\frac{1}{11}$ buiten het middelpunt van de maanbaan staat. In het kader van onze moderne sterrekunde zeggen wij: de maan beschrijft om de aarde volgens de wetten van Kepler een ellips met een excentriciteit van ongeveer $\frac{1}{22}$. Probeeran wij nu echter de ligging van de groote as van haar baan te vinden, waarin zij het dichtst bij en het verst van de aarde komt, dan stooten wij op nieuwe moeilijkheden. Wij kunnen bij de boven opgegeven tusschentijden tusschen twee eklipsen bijschrijven, welk deel van de ekliptika zoo snel of zoo langzaam doorloopen werd, om zoo te vinden in welke lengte haar snelheid het grootst en het kleinst was. Doen wij dit, dan verkrijgen wij de meest tegenstrijdige uitkomsten; hetzelfde deel van de ekliptika, dat in 1891 zeer snel doorloopen werd, kostte in 1912 den langsten tijd. Uit deze weinige gegevens laat zich dus niets zekers vinden; de oplossing van het vraagstuk blijkt echter spoedig, wanneer wij ons niet tot eklipsen beperken, maar zoo dikwijls mogelijk de plaats van de maan tusschen de sterren waarnemen.



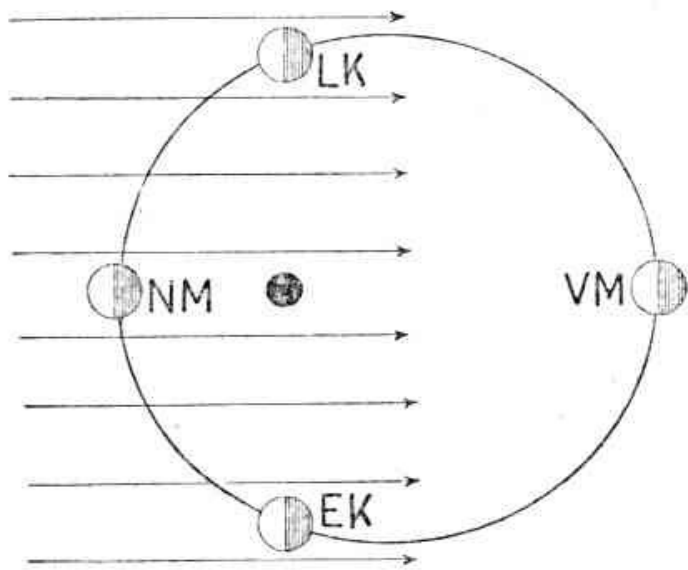
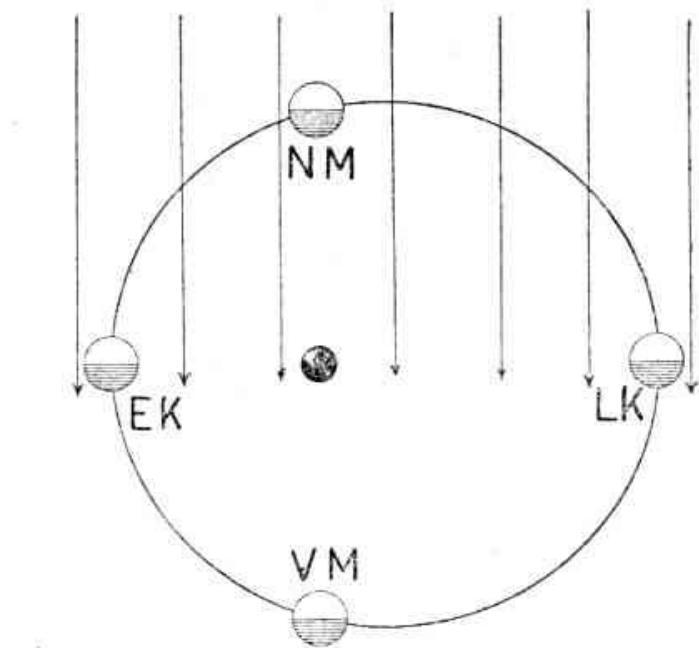
Dan blijkt, dat de snelheid van de maan langs den hemel beurtelings grooter en kleiner wordt, zooals bij een beweging in een ellips behoort, en het is niet moeilijk de plaats te vinden, waar de snelheid het grootst en de maan het dichtst bij de aarde is. Doen wij zulke waarnemingen van jaar tot jaar, dan vinden wij, dat de richting van de groote as regelmatig verandert, 40 graden per jaar, en in 9 jaren in dezelfde richting als de maan eenmaal den

geheel en hemel rondloopt. Hoe deze beweging in een ellips plaats vindt, die zelf langzaam ronddraait, toont nevenstaande figuur in zeer overdreven maatstaf. De maan komt minder snel in haar grootste nabijheid tot de aarde terug, dan zij haar omloop voltooit; dat tijdsverloop duurt nl. gemiddeld 27 dagen 13 uren 18 minuten 37 sekonden, dus $5\frac{1}{2}$ uur langer dan de omloopstijd. In deze periode neemt dus de snelheid van de maan regelmatig toe en af. De juiste waarde voor den draaiingstijd der groote as is $3232\frac{1}{2}$ dag, dus 8 jaar $310\frac{1}{2}$ dagen.

Hier rijst de vraag hoe het bij zulk een sterke wisseling in den tusschentijd tusschen twee verduisteringen dan toch voor de oudheid mogelijk was, een bepaalde Sarosperiode te vinden, waarna de eklipsen op dezelfde manier terugkwamen. Wij vonden immers, dat ze na 18 jaar en 15 dagen terugkwamen, maar dan steeds 8 uren later. Het antwoord is, dat de Sarosperiode zeer weinig van de dubbele draaiingsperiode der groote as verschilt; na 18 jaren vallen de kleinste en de grootste afstand tot de aarde weer op dezelfde plaats, en daarom volgen de verduisteringen dan weer met denzelfden tusschentijd op elkaar.

De kennis van deze ongelijkheden in de maanbeweging behoort tot de vroegste aanwinsten der wetenschap. Uit eeuwenlange waarnemingsreeksen hadden reeds de Babyloniërs de perioden gevonden, waarna de verduisteringen terugkeeren; en deze kennis gebruikten zij, om den tijd van volle en nieuwe maan nauwkeurig vooruit te berekenen. Uit de bewaard gebleven inschriften in spijkerschrift op gebakken kleitafeltjes, die door de Assyriologen Epping en Kugler ontcijferd zijn, blijkt, dat de Babylonische priesters ten minste in Tateren tijd de maanperioden, den omloopstijd der knopen en de periode, waarin de snelheid der maan af- en toeneemt, zeer nauwkeurig kenden en wisten te gebruiken. Zij hadden b.v. gevonden, dat in 251 maanperioden (ruim 20 jaren of 271 maansomloopen) de maan precies 269 maal haar grootste nabijheid tot de aarde bereikt, en dat dus na dit tijdsverloop volle en nieuwe maan weer met dezelfde tusschentijden op elkaar volgen. Ook wisten zij, dat de maan in 5458 perioden (441 jaren of 5899 werkelijke maansomloopen) 5923 maal bij denzelfden knoop terugkomt, zoodat na dit tijdsverloop de verduisteringen zich op dezelfde manier herhalen. Van de Babyloniërs hebben de Grieken de kennis van deze perioden gekregen.

De belangstelling van de Grieksche sterrekundigen voor de maan ging echter verder dan het voorspellen van eklipsen en nieuwe manen. Zij hadden zich een voorstelling gevormd, hoe de hemellichamen door de wereldruimte loopen; zij trachtten hun beweging door een systeem van cirkelbanen voor te stellen en letten dus ook op de maan in andere gedeelten van haar baan. Daarbij ontdekte Ptolemaeus, dat de plaats van de maan in eerste en laatste kwartier heelemaal niet uitkwam met de baan, die uit de verduisteringen was afgeleid; en het gelukte hem ook het karakter van deze onregelmatigheid, die *e v e k t i e* genoemd is, vast te stellen.



De evektie.

Wanneer de zon op zij staat, in de richting loodrecht op de groote as van de maanbaan (zooals in de bovenste figuur), is de maan in eerste en laatste kwartier het dichtst bij en het verst van de aarde; volle en nieuwe maan verdeelen de baan in twee helften, die met ongelijke snelheid doorlopen worden; en wij vonden reeds, dat dan in den halven omloopstijd 10 graden meer (of minder) dan de halve hemelomtrek doorlopen wordt. Drie maanden later staat de zon in de richting van de groote as (als in de tweede figuur), volle en nieuwe maan vallen samen met den grootsten en kleinsten afstand der aarde; zij verdeelen de maanbaan in twee gelijke helften, en uit de verduisteringen kan de excentriciteit niet gevonden worden. Deze moeten wij vinden uit eerste en laatste kwartier, die nu de baan in twee ongelijke helften verdeelen; en zij toonen, dat nu in een halven omloopstijd niet 10 graden, maar 15 graden meer (of minder) dan de helft van de ekliptika doorlopen wordt. De excentriciteit van de maanbaan wordt afwisselend grooter en kleiner; zij is het grootst, wanneer de groote as naar de zon gericht is, het kleinst, wanneer deze op zij van de groote as staat.

De verduisteringen konden ons alleen de kleinste excentriciteit doen kennen; de grootste is $1\frac{1}{2}$ maal zoo groot en gemiddeld is de excentriciteit van de maanbaan dus $\frac{1}{18}$. Ptolemaeus probeerde deze

onregelmatigheid door een bijzonder stel van epicykels voor te stellen; maar het is te begrijpen hoe ingewikkeld en onbevredigend hier de geheele epicykeltheorie moest worden. En toch is juist de evektie een sterke steun voor de epicykeltheorie geworden. Want zij was een onregelmatigheid in de maanbeweging, die van den stand van de zon afhing, evenals bij de planeten ook een samenhang met de zon bestaat. Anders had de door de zon beheerschte epicykelbeweging bij de planeten twijfel kunnen wekken, of de aarde wel het echte middelpunt was; nu werd deze twijfel opgeheven door de overweging, dat zulk een afhankelijkheid van de zon ook bij de maan voorkwam, en aan háár beweging om de aarde was geen twijfel mogelijk.

De nauwkeurige waarnemingen van Tycho brachten nog verdere onregelmatigheden aan het licht. Hij vond, dat de snelheid van de maan in haar baan bij volle en bij nieuwe maan grooter, bij eerste en laatste kwartier kleiner is dan bij een regelmatige af- en toenemende beweging in een excentrischen cirkel (of een ellips) behoort. Daardoor is de maan 3 dagen na volle en nieuwe maan iets meer dan haar eigen middellijn te veel vooruit, 3 dagen vóór volle en nieuwe maan evenveel achter. Tycho noemde deze ongelijkheid de *variatio* van de maan. Tegelijk ontdekte hij, dat de omloopstijd van de maan 's winters iets grooter is dan 's zomers; het kleine bedrag van eenige minuten, dat de maan daardoor in den herfst vooruit, in de lente achter is, was slechts door zijn nauwkeurige metingen vast te stellen.

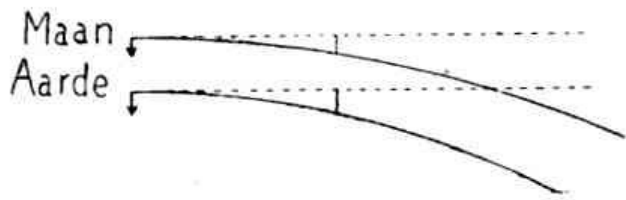
Zoo bleek dus de beweging van de maan nog veel ingewikkelder dan die der planeten, en alle scherpzinnigheid van Kepler, die bij de planeten een zoo grooten triomf behaalde, schoot te kort bij het probleem van de maan. Hij kon niet meer doen, dan de verschillende ongelijkheden eenvoudig als feiten aannemen en hun bedrag uit Tycho's waarnemingen zoo goed mogelijk bepalen. Een verklaring werd eerst mogelijk door Newton's ontdekking van de algemeene aantrekking. Toen was de samenhang van de meeste onregelmatigheden met de zon onmiddellijk duidelijk; de maan wordt niet slechts door de aarde, maar ook door de zon aangetrokken. Daarom kan de maan zich niet in een regelmatige ellips om de aarde bewegen; de onregelmatigheden in den loop van de maan zijn storingen, waarvan de oorzaak in de aantrekking door de zon ligt. De verklaring van de maanbeweging door Newton en de Fransche wiskundigen der 18^{de} eeuw, die op zijn werk voortbouwden, werd nu een nieuw en belangrijk bewijs voor de juistheid van de wetten der algemeene aantrekkingskracht.

41. VERKLARING VAN DE MAANBEWEGING.

Zooals de zon de aarde aantrekt, zoo trekt zij ook met ongeveer dezelfde kracht alles aan, wat zich in de buurt van de aarde bevindt, dus ook de maan. Omdat aarde en maan beide met ongeveer dezelfde kracht door de zon worden aangetrokken, krijgen zij ongeveer dezelfde versnelling naar de zon toe, worden evenveel van den rechten weg afgebogen, en doorloopen zoo samen hun jaarlijksche baan om de zon. Was de aantrekking op aarde en maan precies gelijk, dan zouden zij volkomen gelijk bewegen alsof zij aan elkaar vastzaten; er kwam dan alleen de aantrekking van de aarde op de maan bij, die deze als tweede beweging om de aarde doet cirkelen. Maar in werkelijkheid gaat het anders. De aantrekking van de zon is op ieder ander punt van de ruimte iets anders; zij neemt op grooter afstand af, en daarom is de aantrekking

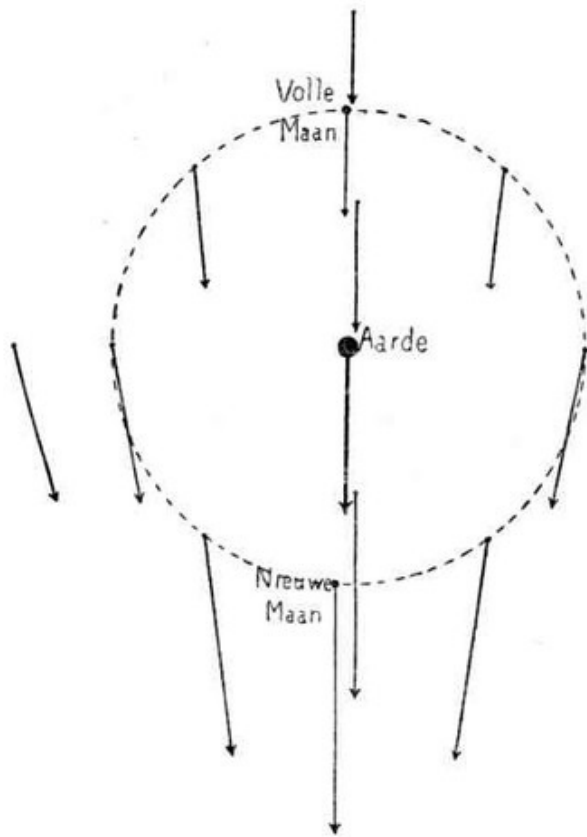
van de zon op de maan wel ongeveer, maar niet precies gelijk aan haar aantrekking op de aarde.

Nemen wij b.v. de volle maan. Zij is iets verder van de zon af dan de aarde en wordt dus met iets kleinere kracht door de zon aangetrokken.

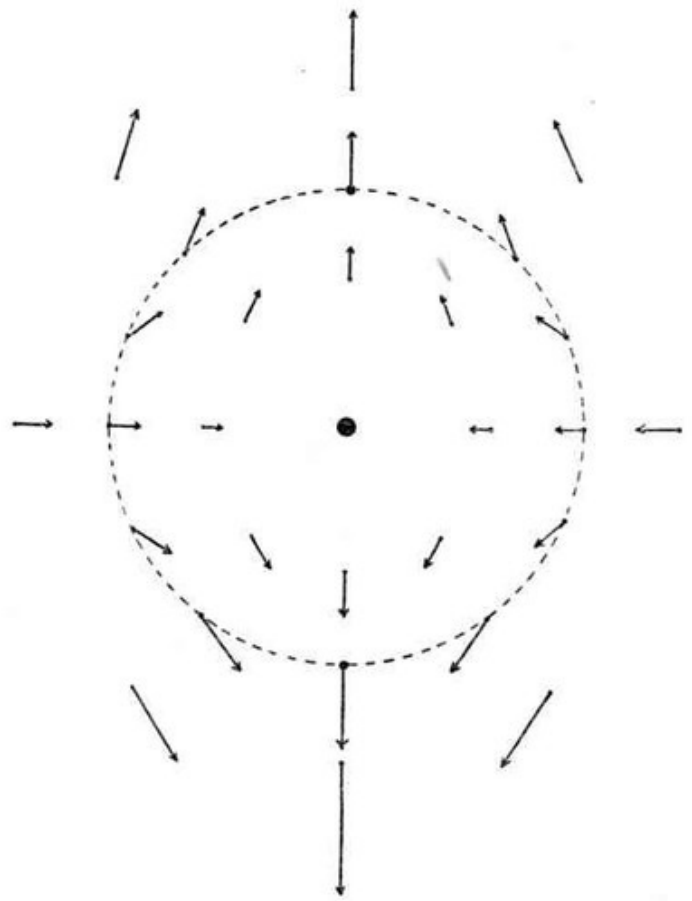


Was nu de onderlinge aantrekking tusschen aarde en maan niet voorhanden, waren beiden dus b.v. kleine stofjes, wat zou er dan gebeuren? Als zij zich met gelijke snelheid voortbewegen, zakt de maan minder snel naar de zon toe dan de aarde; haar baan wordt minder gekromd, en zij verwijderd zich steeds verder van de aarde. Voor de aardbewoners schijnt het, alsof de maan door een kracht omhooggeheven en van de aarde weggedreven wordt. Dat komt ook uit, want hun relatieve beweging wordt bepaald door het verschil der op beiden werkende krachten. Nu behoeft er in werkelijkheid geen vrees te bestaan, dat de maan wegloopt, omdat zij door de aantrekkingskracht van de aarde vastgehouden wordt. Het streven om zich van elkaar te verwijderen bewerkstelligt nu alleen, dat de aardkracht verminderd wordt en de maan met een iets kleinere versnelling naar de aarde valt. De aantrekkende kracht der aarde wordt verminderd door een kracht, die de maan van de aarde wegdrijft, en die niets anders is dan het verschil der zonsaantrekking op aarde en maan. In het algemeen kan men zeggen, dat van de aantrekkingskracht, die de zon op de maan uitoefent, het deel dat aan de op de aarde werkende kracht gelijk is, daartoe dient om de maan met de aarde mee te laten lopen; het overschot, het verschil dus tusschen de op de aarde en op de maan werkende zonnekrachten, bepaalt hun relatieve beweging en komt bij de gewone wederzijdsche aantrekking van aarde en maan. Deze laatste voor zich alleen bewerkstelligt de regelmatige beweging in een ellips volgens de wetten van Kepler; de afwijkingen van de Keplersche beweging, die wij als onregelmatigheden van de maanbeweging hebben leeren kennen, worden veroorzaakt door het verschil tusschen de door de zon op de aarde en op de maan uitgeoefende krachten. Dit verschil is de storende kracht van de zon, die wij nu moeten onderzoeken.

Op de hiervolgende figuur is de grootte en de richting van de zonnekracht voor de aarde en voor een aantal plaatsen in de omgeving der aarde door pijltjes weergegeven — waarbij wij, om de verschillen sterk overdreven te doen uitkomen, de zon slechts 5 maal zoo ver van de aarde aannemen als de maan.



Aantrekkingskracht van de zon.



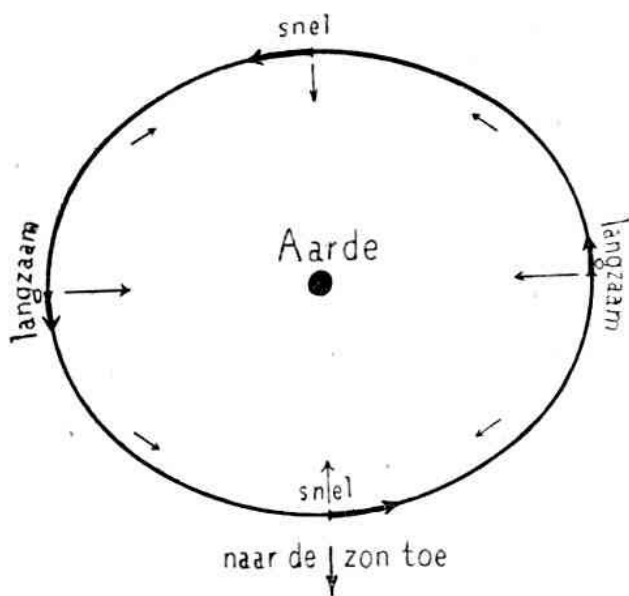
Storende kracht van de zon.

Wij zien daar, hoe de kracht naar de zon toe grooter, van de zon af kleiner is dan in het midden, waar de aarde staat, terwijl zij op zij van de aarde wel even groot is, maar schuin gericht. De pijlen in de tweede figuur geven aan, hoeveel al deze krachten anders zijn dan de op de aarde werkende kracht; met de pijl aan de aarde vereenigd geven deze storende krachten samen weer de totale kracht uit de eerste figuur. Bij nieuwe maan zien wij dit overschot, deze storende kracht, naar de zon toe gericht, bij volle maan van de zon af gericht, in beide gevallen dus van de aarde afgericht. Bij eerste en laatste kwartier is het verschil een kleinere naar de aarde toe gerichte kracht, die de aantrekkingskracht der aarde vergroot. Tusschen deze hoofdstanden in zien wij als storende kracht een scheef gerichte kracht, die aan weerszijden van de nieuwe maan naar de nieuwe maan, aan weerszijden van de volle maan naar deze gericht is. Aan de pijlen, die in punten binnen en buiten de maanbaan aangebracht zijn, zien wij, dat de storende kracht met den afstand tot de aarde regelmatig grooter wordt; zij verandert dus in omgekeerden zin als de aantrekkingskracht van de aarde.

Zoo ziet de storende kracht er uit, die op de maan werkt. En hoe groot zij is, is ook gemakkelijk te berekenen. De zon, die 330 000 maal grooter massa heeft, maar ook 389 maal verder van de maan verwijderd is dan de aarde, oefent op de maan en de aarde een aantrekking uit, die om de eene reden 330 000 maal grooter, om de andere $389 \times 389 =$ ruim 150 000 kleiner, dus door beide samen dubbel zoo groot is (2.2 maal) als de kracht van de aarde op de maan. Het onderscheid der aantrekkingen op maan en aarde is, in den zijdelingschen stand, nog weer 389 maal kleiner, dus $\frac{1}{180}$ van de aardkracht; bij volle en nieuwe maan bedraagt zij het dubbele daarvan, vermindert dus de door de aarde uitgeoefende aantrekking met $\frac{1}{90}$.

Welke werking heeft nu deze storende kracht op de beweging van de maan? Beurtelings versterkt en verzwakt zij de aantrekking van de aarde; maar de verzwakking bij volle en nieuwe maan is dubbel zoo groot als de versterking bij eerste en laatste kwartier. Als totaal blijft dus gemiddeld een verzwakking over. Het is alsof de aarde met een kleinere kracht aantrekt of een kleinere massa heeft. Kon men de zon ineens laten verdwijnen, dan zou het zijn alsof de aarde de maan eensklaps sterker ging aantrekken; de maan zou dan, met behoud van de perkensnelheid, die zij eenmaal heeft, een meer naar binnen gelegen baan inslaan, dicht bij de aarde komen en in korteren tijd rondloopen. Dit is nu wel onmogelijk, maar men kan er toch uit afleiden, wat er gebeuren moet, wanneer de kracht van de zon beurtelings sterker en zwakker wordt. En dit vindt werkelijk plaats; 's winters is de zon dicht bij ons en trekt zij de aarde sterker dan 's zomers. Dus moet de omloopstijd van de maan 's winters groter en haar beweging langzamer zijn dan 's zomers, juist zooals Tycho het uit de waarnemingen had gevonden.

Was de maanbaan in plaats van een ellips precies een cirkel, dan zou zij onder de storende werking van de zon toch geen cirkel blijven. Want de aantrekking naar het centrum is nu niet meer aan alle kanten even groot. Naar de zon toe en van de zon af is ze kleiner, op zij is zij groter, terwijl de storende kracht vóór volle en nieuwe maan voortdrijvend, versnellend werkt, na volle en nieuwe maan tegenhoudend, vertragend. Daardoor moet de baan naar beide kanten zijdelings uitgerekt worden; zij wordt een ellips met de aarde als middelpunt en de kleine as naar de zon gericht. In deze baan beweegt de maan zich met wisselende snelheid; is het volle en nieuwe maan, dan loopt zij sneller, in de kwartierstanden langzamer evenals een aan een touw hangend zwaar voorwerp, dat men in een langwerpige baan laat rondslingeren.



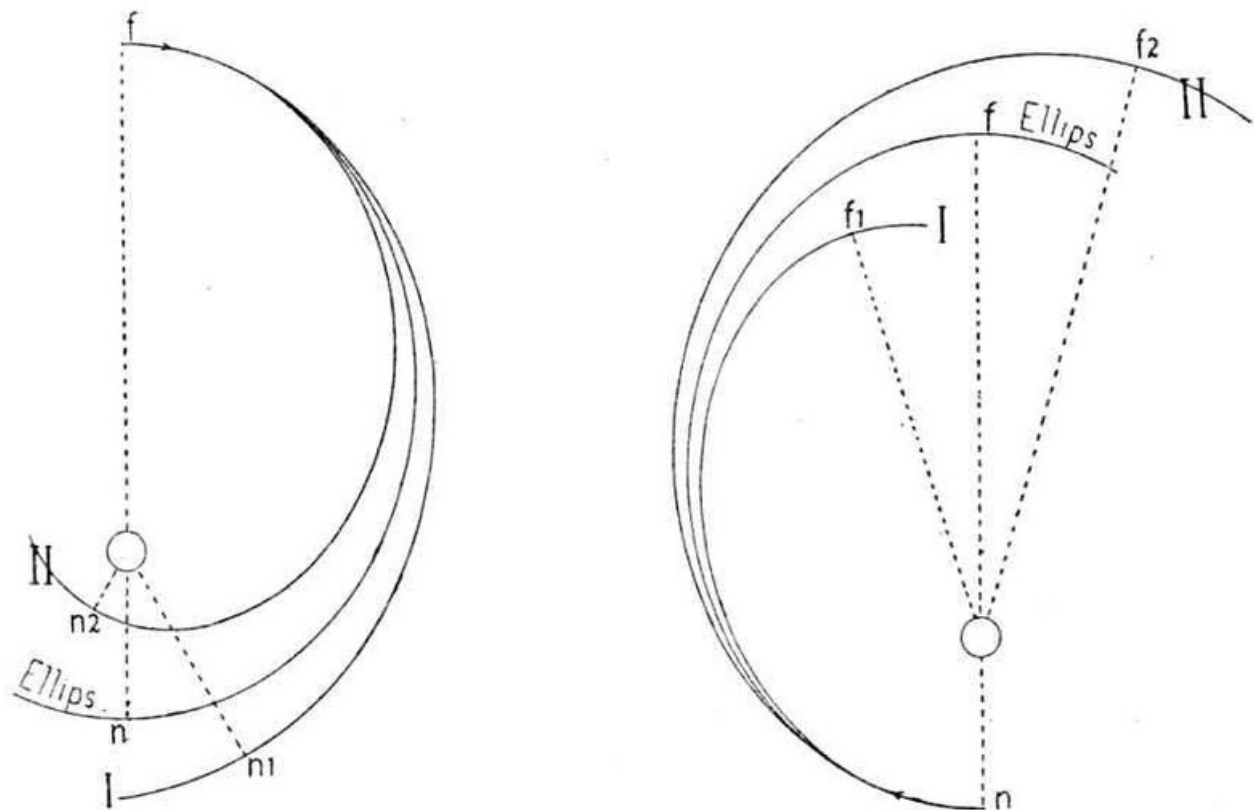
De variatie van de maan.

Deze afwisselende versnelling en vertraging is de door Tycho ontdekte variatie.

Nu is echter de ongestoorde maanbaan geen cirkel, maar een ellips met de aarde als brandpunt. Terwijl de maan beurtelings dicht bij en verder van de aarde komt, wordt de storende kracht van de zon beurtelings kleiner en groter. Nemen wij eerst het geval, dat de groote as van de maanbaan naar de zon is gericht. Zoowel op den kleinsten als op den grootsten afstand wordt de aantrekking der aarde door de storende kracht verminderd. Maar niet in dezelfde mate; op den grooteren afstand, waar de aardkracht het geringst is, wordt zij sterk verminderd, op den kleinsten afstand, waar de aardkracht het grootst is, gaat er minder af. Was bij veel grooter excentriciteit, dan de maan bezit, de eene afstand 2 maal zoo groot als de

andere, dus de aardkracht hier 1, daar $\frac{1}{4}$, dan zou zij door de storing hier veranderen in $1 - \frac{1}{90}$, daar in $\frac{1}{4} - \frac{2}{90}$. Vergeleken met elkaar is de groote kracht groter, de kleine kracht kleiner geworden, hun onderscheid is versterkt. De kracht, die de maan ondervindt, neemt dus op kleiner afstand sneller toe, op grooter afstand sneller af dan door de aarde alleen het geval zou zijn; het is alsof de aantrekking in sterkere mate met den afstand verandert, dan volgens de wet van Newton.

Hoe dit op de beweging van de maan moet werken, kan ons duidelijk worden, wanneer wij ons herinneren, hoe onder de werking van de wet van Newton de elliptische baan ontstond. Uit haar verste punt wordt de planeet, al voortlopende, naar de zon toe getrokken, waarbij de beweging steeds sneller wordt; het schijnt alsof zij de zon voorbij wil vliegen; maar de snel groeiende aantrekking van de zon buigt haar baan steeds sterker, en eerst als zij aan den overkant gekomen is, gelukt het; de bewegingsrichting is dan zachtjesaan minder scheef ten opzichte van den voerstraal geworden, en juist tegenover het punt van uitgang komt de planeet het dichtst bij de zon, vliegt voorbij en verwijderd zich weer. Wel is een wiskundige berekening noodig om te bewijzen, dat juist bij de wet van Newton, waarbij de kracht precies omgekeerd evenredig met het kwadraat van den afstand afneemt, de grootste nadering tot de zon juist tegenover het punt van grootste verwijdering ligt. Maar onze meer algemeene beschouwing kan toch duidelijk maken, wat er moet gebeuren, als de kracht sneller of minder snel met den afstand verandert. Groeit de kracht bij de nadering tot de zon minder snel, dan wordt de baan in haar verder verloop minder sterk gebogen en bereikt vroeger en nog verder van de zon af de plaats, waar zij de zon voorbijschiet (I in de figuur); groeit de kracht sterker en wordt de baan dus sterker gebogen, dan gelukt het voorbijschieten eerst later, verderop en dichterbij de zon (als in II). En hetzelfde vindt men, wanneer men de tweede helft van de baan beschouwt (tweede figuur). Neemt de kracht bij de verwijdering van de zon langzamer af, blijft ze dus groter, dan dwingt zij de planeet vroeger en op kleiner afstand terug te keeren (I); neemt zij snel af en wordt zij dus klein, dan keert de planeet eerst later om en nadat zij verder van de zon is weggelopen (II).



De baan is nu geen ellips meer; maar men kan het toch zoo opvatten, alsof de planeet een ellips

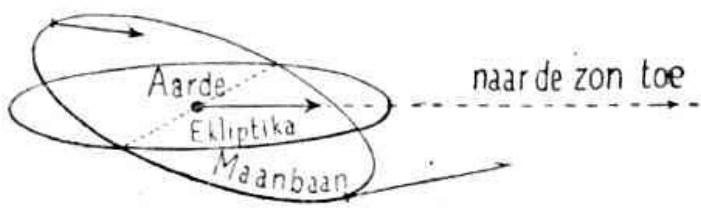
beschrijft, die zelf intusschen verandert. In geval I is het een ellips, die tegelijk terugdraait, doordat de richting van de groote as achteruitloopt, tegen de planeet zelf in; in geval II draait de ellips vooruit, met de planeet mee.

Het is nu gemakkelijk te zien, wat er met de maan gebeurt. In het door ons aangenomen geval, dat de zon in de richting van de groote as staat, verandert de kracht op de maan in sterker mate dan volgens de wet van Newton. Dat is dus geval II. De maan komt van haar versten naar haar kleinsten afstand in meer dan een halven omloop en nadert de zon sterker; en zij gebruikt van haar kleinsten tot haar grootsten afstand weer meer dan een halven omloop en gaat daarbij verder van de aarde weg. De baan blijkt te zijn een ellips met grooter excentriciteit, waarvan de groote as vooruitdraait.

Drie maanden later hebben zich echter de omstandigheden veranderd. De zon (of eigenlijk de aarde) heeft een vierde van haar baan doorlopen en staat nu opzij, in een richting loodrecht op de groote as. Is de maan nu in haar grootsten en kleinsten afstand tot de aarde, dan is zij tegelijk in de kwartierstanden, waar de storende kracht de aantrekking vergroot, en wel alweer met een bedrag, dat het grootst is bij den grootsten afstand, waar de aantrekkingskracht het kleinst is. Nu is alles net omgekeerd als in het vorige geval; de krachten 1 en $\frac{1}{4}$ in ons voorbeeld worden nu $1 + \frac{1}{180}$ en $\frac{1}{4} + \frac{2}{180}$. De kleine kracht wordt sterk, de groote weinig vergroot, en de werkelijke kracht op de maan verandert minder sterk met den afstand dan volgens de wet van Newton. Hier is dus geval I van onze figuren toepasselijk; de maan bereikt den kleinsten en grootsten afstand sneller, de eerste op groter, de tweede op kleiner afstand dan zonder de storing het geval zou zijn. De beweging is dus zoo uit te drukken, dat de maan een ellips met kleiner excentriciteit beschrijft, waarvan de groote as terugdraait.

Hier hebben wij dus de verklaring voor de door Ptolemaeus ontdekte evektie; staat de zon in de richting van de groote as, dan is de excentriciteit groter, staat zij loodrecht daarop, dan is de excentriciteit kleiner. Maar wij vinden hier bovendien iets, wat wij nog niet wisten, dat echter door de nauwkeurige waarnemingen na Newton's tijd dadelijk bevestigd werd: dat de richting van de groote as beurtelings vooruit en terug draait; vooruit, als zij naar de zon gericht is, terug, als zij er loodrecht op staat. Wat is het totale resultaat van deze beweging? De vermindering der aantrekking in het eerste geval is dubbel zoo groot als haar vermeerdering in het tweede; wij weten dat gemiddeld een vermindering overblijft. De storende werking in het eerste geval, de draaiing vooruit, is dus ook tweemaal zoo sterk als de terugdraaiing. Als totaal blijft dus over, dat de groote as vooruit draait — zooals aan de volken der oudheid reeds bekend was.

Nu blijft nog over de storingen te vinden, die uit den schuinen stand van de maanbaan t.o.v. de ekliptika ontstaan. De maan stijgt nu eens aan de eene zijde boven de ekliptika, keert dan terug, verwijdt zich aan den anderen kant van deze en keert weer terug; zoo schommelt zij op en neer. De aantrekking van de aarde trekt haar, als zij boven de ekliptika staat, schuin naar beneden, als zij er onder staat schuin naar boven, en wel des te sterker naarmate zij verder van de ekliptika af staat. Zoo is haar beweging dus geheel met die van een slinger te vergelijken, die ook des te sterker teruggetrokken wordt, naarmate hij verder uit den middenstand afwijkt: alleen met dit verschil, dat de maan in juist denzelfden tijd, dat zij eenmaal heen en weer slingert, ook eenmaal om de aarde heen loopt.



Nu komt de aantrekking van de zon er bij; deze trekt de maan altijd schuin naar de ekliptika terug, naar welken kant zij ook afwijkt; de zonnekracht vergroot dus de kracht der aarde, die de maan naar de ekliptika trekt. Wordt bij een slinger de kracht, die hem naar zijn middenstand terug trekt, grooter, dan gaat hij sneller schommelen. Ook de maan moet dus door de vergroting van de kracht sneller om de ekliptika heen en weer schommelen. Werd nu de totale aantrekking der aarde ook vergroot, dan zou de maan daarbij sneller haar omloop om de aarde volbrengen. Maar wij weten, dat de totale aantrekkingskracht door de zonnekracht verminderd wordt en de maan dus langzamer rondloopt. De tijd van heen en weer schommelen is dus nu korter dan de omlooptijd, in plaats van daaraan gelijk zooals bij de ongestoorde beweging. De maan komt telkens sneller bij haar knopen terug, dan zij op dezelfde plaats van den hemel terugkomt; de knopen schuiven terug langs de ekliptika, juist zooals uit de waarneming der eclipsen van oudsher gebleken is.

Zoo waren alle onregelmatigheden in de beweging van de maan, die ten tijde van Newton bekend waren, door zijn aantrekkingswet te verklaren en leverden zij een nieuw bewijs voor de waarheid en de groote beteekenis van deze wet. Natuurlijk waren ook de theoretisch berekende getallenwaarden voor het bedrag van elke storing juist zoo, als met de waarnemingen overeenstemde. Maar de theorie leerde nog meer; zij toonde, dat de hier opgenoemde storingen de beweging van de maan alleen maar in groote trekken, niet in de kleinere details weergeven. Wij hebben de groote storingen ook telkens als werkingen van de gemiddelde waarden der storende krachten leeren kennen; in werkelijkheid wisselen deze krachten van plaats tot plaats en van dag tot dag, en de storingen moeten dus ook veel onregelmatiger verlopen. Ook wordt ieder dezer werkingen weer anders, omdat door de storingen zelf de plaatsen van de maan en de zon veranderen. Bovendien trekt de afgeplatte aarde de maan wat anders aan dan een volkomen ronde aarde zou doen, en ten slotte bewerkt ook de aantrekking der planeten nog eenige kleinere storingen in de beweging van de maan. Door dat alles loopt het aantal merkbare storingen van de maan in de honderden, en aan hun berekening hebben de knapste theoretici een groot deel van hun leven besteed. Dat was ook noodig, omdat de waarnemingen steeds nauwkeuriger werden; hoe scherper en juister de plaats van de maan aan den hemel vast te stellen was, des te nauwkeuriger moest ook de berekening worden, en des te meer storingen moesten in rekening gebracht worden, om met de waarnemingen in overeenstemming te blijven.

Wat daarbij de geleerden aanvuurde, was niet enkel het wetenschappelijke belang van een zoo volledig mogelijke kennis der wereld. Er was ook een groot praktisch belang in het spel: het voor de scheepvaart zoo buitengewoon belangrijke vraagstuk van de lengte op zee. Wil de schipper in de open zee, ver van alle kusten, veilig varen, dan moet hij uit de hemellichten de plaats kunnen bepalen, waar hij zich bevindt, dus zijn lengte en breedte op aarde. De breedte van een plaats is gemakkelijk uit de middaghoogte van de zon te vinden; de ligging van den horizon ten opzichte van den sterrenhemel, dus van de sterren ten opzichte van den horizon, verandert met de breedte. Met de lengte verandert ze niet; of men zich meer Oostelijk of Westelijk bevindt is aan den sterrenhemel niet te zien. De lengte van een plaats kennen wij slechts als het verschil tusschen den plaatselijken tijd, en den tijd van een vaste plaats op aarde, b.v. van de sterrewacht te Greenwich. Van deze beide is weer de plaatselijke tijd uit de hemelverschijnselen gemakkelijk te vinden; overall is het 12 uur plaatselijke tijd als de zon in het Zuiden

staat. Weet dus de schipper, hoe laat het op dit oogenblik in Greenwich is, dan is het vraagstuk opgelost en de lengte bekend. Maar hier ligt de moeilijkheid, die de regeeringen van alle zeevarende volken — de Spanjaarden in de 16^{de}, de Hollanders in de 17^{de}, de Engelschen in de 18^{de} en 19^{de} eeuw — telkens opnieuw dwong om hun aandacht aan dit vraagstuk te wijden. Want duizenden schepen, die op klippen strandden, waren het offer van de onvolkomenheid in de oplossing van dit probleem.

Hoe is het mogelijk, midden in den oceaan den tijd van Greenwich te weten te komen? Twee verschillende wegen werden daartoe ingeslagen. De eenvoudigste weg is, bij het uitvaren een goed uurwerk — een chronometer — dat Greenwichtijd aanwijst, mee te nemen. Alles hangt er dan van af, dat het uurwerk volkomen goed loopt en den juisten tijd bewaart; daarom heeft de Engelsche Admiraliteit herhaaldelijk hooge premies op elke belangrijke verbetering der chronometers gesteld en uitbetaald, waardoor deze betrouwbaarder werden. Tegenwoordig behoort een aantal nauwkeurig geregelde en onderzochte chronometers, die elkaar kontroleeren, tot de vast voorgeschreven uitrusting van ieder zeeschip. Maar in den tijd der zeilschepen, toen het vaak maanden duurde, voor het schip weer in een haven kwam, was dit middel toch niet voldoende. Daar werd dan het tweede middel, de waarneming van de maan, toegepast.

De maan doorloopt per dag $\frac{1}{27}$ van den omtrek des hemels, dus ongeveer 13 graden. In den loop van den dag doorloopt zij, langzaam en regelmatig voortwandeland, dezen afstand. Weet men nu, waar zij zich om 12 uur Greenwichtijd bevond, dan is op elk ander oogenblik aan haar plaats aan den hemel te zien, hoe laat het in Greenwich is. Denkt men zich dat bij de plaatsen, waar zij vandaag en morgen om 12 uur staat, de cijfers 0 en 24 gezet worden en dat de tusschenruimte door streepjes in 24 parten verdeeld en met cijfers van 1 tot 24 voorzien is; dan is deze verdeelde strook als het ware een wijzerplaat, waar de maan als wijzer langs loopt. Op de geheele aarde kon men dan op die klok kijken en zien, hoe laat het in Greenwich is. Nu ontbreken aan den hemel die kunstmatige strepen en cijfers; als vaste merkpunten moeten hier de sterren dienen, en in zijn Almanak vindt de zeeman precies opgegeven, hoe ver de maan van uur tot uur Greenwichtijd van naburige sterren verwijderd is. Hij behoeft dus slechts zoo nauwkeurig mogelijk dezen afstand op zijn schip te meten, om midden in den oceaan den Greenwichtijd aan de groote hemelklok af te lezen.

Bij deze methode komt natuurlijk alles aan op de juistheid en nauwkeurigheid van de opgaven in den Almanak, die verscheidene jaren vooruit berekend worden. Daarin bestaat het belang van een volmaakte theoretische kennis van de beweging der maan, dat zij ons in staat stelt, haar beweging jaren lang vooruit te berekenen. Daarom heeft de Engelsche Admiraliteit niet alleen de chronometermakers met prijzen aangemoedigd en beloond, maar ook de sterrekundigen, die in de 18^{de} en 19^{de} eeuw door berekening van nauwkeurige maantafels de grondslagen legden voor deze oplossing van het probleem der lengten op zee. Wij moeten er echter bijvoegen, dat later, onder de stoomvaart, door den korteren duur der reizen, de beteekenis van de maan voor de zeevaart lang niet meer zoo groot was als in den tijd der zeilschepen. En in den nieuwsten tijd is eindelijk een derde, volmaakte oplossing van het oude probleem bereikt door de uitvinding van de draadloze telegrafie; deze maakt het mogelijk van uit een aantal over de aarde verspreide stations den Greenwichtijd uiterst nauwkeurig aan alle met de noodige ontvangtoestellen toegeruste schepen over te seinen, waar die zich ook op den oceaan bevinden. Is eenmaal de internationale organisatie dezer draadloze seinen geheel in orde gebracht, dan verdwijnt de vroegere beteekenis van de maan voor de zeevaart geheel en al.

42. DE TERUGGANG DER NACHTEVINGEN.

Toen de Grieksche sterrekundige Hipparchus zijn waarnemingen van de sterren vergeleek met die, welke anderhalve eeuw vroeger door de Alexandrijnsche sterrekundigen Aristyllus en Timocharis gedaan waren, bemerkte hij, dat bij alle sterren de lengte een paar graden grooter geworden was, terwijl de breedte ten noorden of ten zuiden van de ekliptika gelijk gebleven was. Alle sterren schuiven dus langzaam evenwijdig aan de ekliptika voort, aan den eenen kant van den hemel schuin naar het Noorden, aan den anderen kant schuin naar het Zuiden. Het is of de geheele sterrenhemel langzaam in de richting van de ekliptika ronddraait. Maar ten opzichte waarvan draait hij? Het nulpunt, van waaruit de lengten geteld worden, is het lentepunt, het punt waar de zon, naar het Noorden klimmend, den evenaar des hemels passeert. Dus bestaat het door Hipparchus ontdekte verschijnsel hierin, dat het lentepunt ten opzichte van de sterren langs de ekliptika terugschuift. Deze beweging treedt des te sterker aan het licht, naarmate zij langeren tijd duurt. Wat Hipparchus slechts met moeite door vergelijking van verschillende metingen kon vinden, vertoont zich nu op het eerste gezicht als een duidelijke verandering van den hemel sinds den tijd der Grieken.

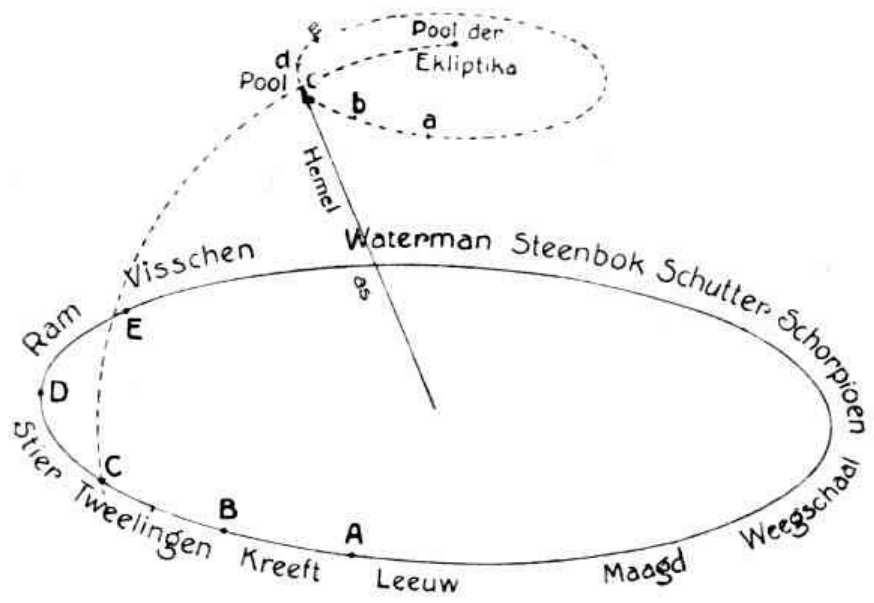
Toen, voor ongeveer twee duizend jaren, lag het lentepunt in het sterrebeeld de Ram, en daarmee overeenkomstig het herfstpunt in de Weegschaal, het noordelijkste keerpunt van de zonnebaan in de Kreeft, het zuidelijkste in den Steenbok. Daarvandaan worden nog steeds in leerboeken en almanakken het lente- en herfstpunt als "teeken van den Ram" en "teeken van de Weegschaal" betiteld, en heeten op de wereldkaarten de parallelcirkels, die op 21 Juni en 21 December de zon boven zich hebben, nog steeds "Kreefts- en Steenbokskeerkring". Deze namen wortelen in een traditie der oudheid; op den tegenwoordigen toestand passen zij in het geheel niet meer. Tegenwoordig ligt het lentepunt in de Visschen, het herfstpunt in de Maagd, en zomer- en winterkeerpunt in de Tweelingen en den Schutter, en wel overal reeds dicht bij de grens van de daaraan voorafgaande sterrebeelden. In ruim 2000 jaren schuiven al deze bijzondere punten der zonnebaan een vol dierenriemsbeeld terug. ¹⁾

Daardoor verandert tegelijk de plaats van den hemelaequator en de hemelpool tusschen de sterren. Aan den kant van den hemel, waar zich het herfstpunt bevindt, schuift de aequator met dit herfstpunt schuin naar het Noorden, aan den kant van het lentepunt naar het Zuiden. Daar echter lente- en herfstpunt steeds even ver van de Noordpool des hemels blijven, sleepen zij deze hemelpool mee, die dus van de plaats van het herfstpunt af, naar de plaats van het lentepunt toe bewegen moet. De Noordelijke hemelpool ligt het dichtst bij die plaats van de ekliptika, waar zich het zomerkeerpunt bevindt; want het zomerkeerpunt is niets anders dan de plaats, waar de ekliptika het dichtst bij de Noordpool komt.



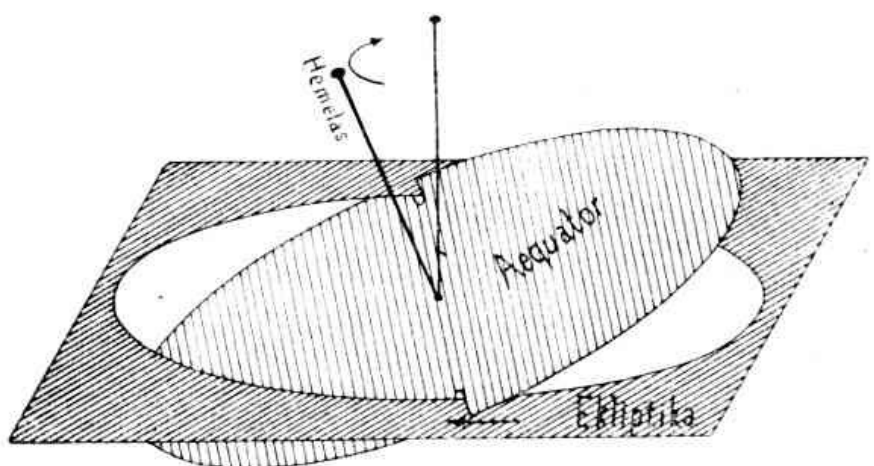
Teruggang der nachteveningen in 4000 jaren.

Schuift het zomerkeerpunt naar rechts, dan moet ook de hemelpool mee naar rechts schuiven, terwijl zij denzelfden afstand tot de ekliptika behoudt.



Deze gemeenschappelijke verschuiving van aequator en hemelpool, van lente-, zomer- en herfstpunt tusschen de sterrebeelden is op de sterrekaart op de vorige bladzijde in teekening gebracht; de tegenwoordige stand is met het cijfer 3, die voor 2000 jaar met 2, die voor 4000 jaar met 1 aangeduid. De hemelpool zien wij hier langs een kleinen cirkel voortloopen, die evenwijdig is met de ekliptika en waarvan het middelpunt als de pool van de ekliptika te betitelen is. Wanneer het zomerkeerpunt de plaatsen A, B, C, D, E in de ekliptika inneemt, bevindt zich de hemelpool gelijktijdig in a, b, c, d, e.

Terwijl dus de ekliptika onbeweeglijk tusschen de sterren blijft staan, veranderen aequator en hemelpool hun stand. Hun gemeenschappelijke verandering is het best door een modelletje weer te geven.



Een naald wordt loodrecht in het middelpunt van een kartonnen cirkel gestoken, die schuin in de ronde opening van een tweede karton gehouden wordt. Dit tweede karton stelt de ekliptika voor, het eerste met de naald aequator en hemelas, terwijl de omringende voorwerpen in de kamer de sterren mogen voorstellen. Men laat nu het tweede karton op zijn plaats en draait het eerste langzaam naar rechts, zoo, dat het altijd even schuin blijft; dit gaat het best als men in het eerste karton nog een naald steekt, die

loodrecht op de ekliptika staat, en deze naald zoo tusschen de vingers rolt, dat alles om haar als as draait. De beide plaatsen, waar de kartons elkander snijden (lente en herfstpunt), loopen daarbij achterwaarts de geheele ekliptika rond.

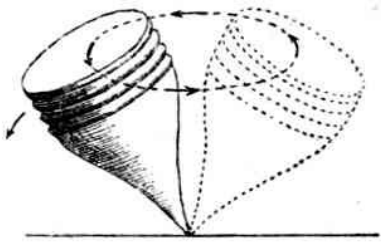
Hierdoor ontstaat in den loop der eeuwen een diepgaande verandering in het uiterlijk van den hemel. Wij weten, dat op een plaats van de aarde alle sterren achtereenvolgens zichtbaar worden, die tot op een bepaalden afstand van de hemelpool liggen. In ons land b.v. blijven alleen diegene onzichtbaar, die tot op 50 graden van de Zuidpool des hemels liggen. Wanneer nu de richting van de hemelas en de plaats van de polen veranderen, omvat het onzichtbare gebied een ander deel van den hemel. Aan den kant van den hemel, waar het herfstpunt ligt, zakken de sterren steeds zuidelijker weg en worden onzichtbaar, terwijl aan den anderen kant, bij het lentepunt, nieuwe sterrebeelden opduiken. Tegelijkertijd worden de wintersterren tot voorjaarssterren, de voorjaarssterren tot zomersterren, en verschuift, algemeen gesproken, de zichtbaarheidstijd van bepaalde sterrebeelden op een steeds later jaargetijde, een maand in ruim 2000 jaar. Terwijl wij er aan gewend zijn, een bepaald uiterlijk van den hemel en een bepaald jaargetijde steeds met elkaar te verbinden, zien wij nu, dat ook in dit opzicht alles, zij het ook langzaam, wisselt en verandert.

Dit feit is van groote beteekenis voor een goed begrip van het eerste begin der sterrekunde en de kultuur der oude volken. Toen in Babylonië de eerste beschaving opkwam, ongeveer 3000 v. C., lag het lentepunt in den Stier, het herfstpunt in den Schorpioen, het zomerkeerpunt in den Leeuw en het winterkeerpunt in den Waterman. In de astronomisch-religieuze denkbeelden en de oudste sagen en mythen vindt men daarvan, naar het oordeel van vele Assyriologen, nog vele aanduidingen en sporen; en ook de namen van de dierenriemsbeelden zijn alleen te verklaren uit de verschijnselen der jaargetijden, die toen bij deze sterrebeelden behoorden. Sirius en Orion stonden toen veel lager dan nu in het Zuiden, terwijl daar toen omgekeerd het Zuidelijke Kruis zichtbaar was, dat daarvoor nu te dicht bij de Zuidpool staat. De datum, waarop Sirius 's morgens voor het eerst uit de zonnestrallen opduikt, verloopt met de eeuwen; 2000 v. C. viel hij op 29 Juni, tegelijk met het eerste wassen van den Nijl; ten tijde van de Romeinen was deze datum al 20 Juli geworden, en kon dus al niet meer de rol vervullen, waardoor Sirius voor de Egyptenaren de belangrijkste aller sterren was; en nu is hij alweer een maand later. Onze poolster aan de punt van den staart van de Kleine Beer heeft deze plaats van rust pas in de laatste duizend jaar ingenomen; vroeger stond zij vrij ver van de pool af, die ten tijde van de Grieken tusschen de beide Beeren lag, en in nog oudere tijden dicht boven den staart van de Groote Beer. Toen moet de draaiing van de Groote Beer om een pool dicht boven zijn staart nog veel meer dan nu een merkwaardig en opvallend verschijnsel geweest zijn; en waarschijnlijk komt het daarvandaan, dat de Groote Beer als aanwijzer der jaargetijden in de oudste Chineesche astronomie een zoo gewichtige plaats inneemt.

Soortgelijke veranderingen zullen ook in de toekomst plaats vinden, al zien wij er zelf door haar buitengewone langzaamheid niets van. De Groote Beer zal zich steeds verder van de Noordpool verwijderen en een sterrebeeld worden, dat voor Midden-Europa op- en ondergaat. Sirius en Orion zullen lentegesternten worden en ten slotte voor onze streken geheel verdwijnen; daarvoor in de plaats treden dan nieuwe zuidelijke beelden in onzen gezichtskring. Na 13000 jaren zal de hemel het allermeeft van zijn tegenwoordig uiterlijk verschillen. Dicht bij de Noordpool staat dan de heldere Wega; hoog aan den winterhemel schitteren dan de Schorpioen en de Schutter, en lager, onder hen, staan de Centaurus en het Kruis, die allen te zamen de mooiste gedeelten van den Melkweg bevatten; in de zomernachten staat onze tegenwoordige poolster boven ons hoofd, terwijl zich in het Zuiden Capella en nog lager, dicht bij den horizon, de Stier en de Tweelingen vertoonen.

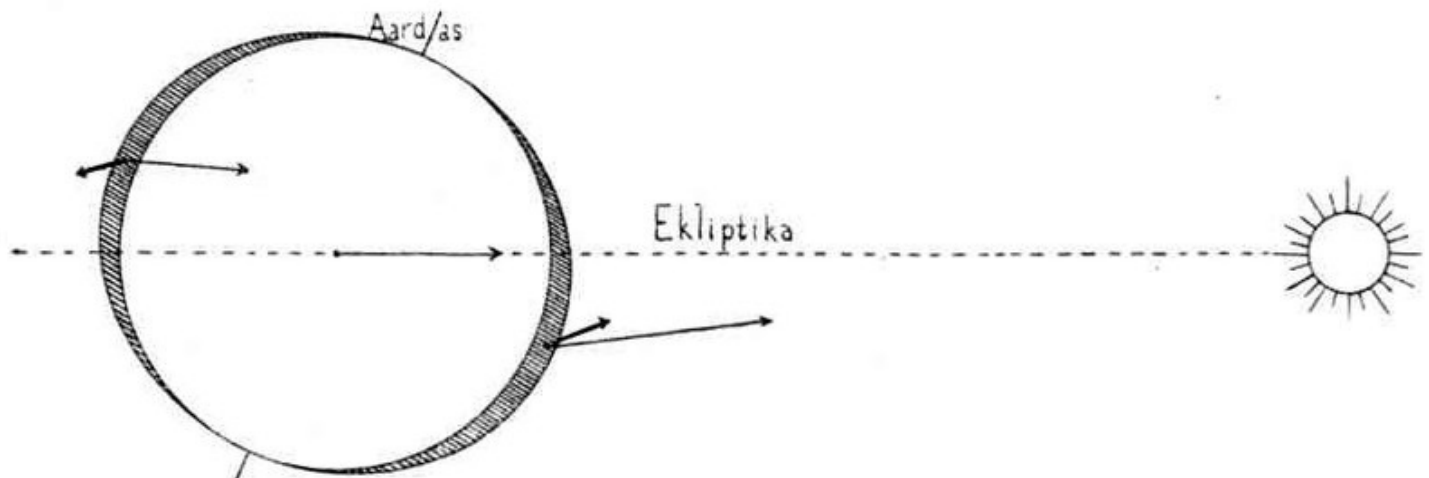
Wat kan wel de oorzaak van deze merkwaardige veranderingen van den hemel zijn? Newton heeft haar door zijn aantrekkingswet volkomen opgehelderd. Wij komen vanzelf tot zijn verklaring, wanneer wij ons model weer ter hand nemen. De naar de hemelpool wijzende naald, die wij de hemelas noemden, is in werkelijkheid de aardas. In plaats van het aequatorblad met de naald moesten wij dus eigenlijk een bolletje nemen, dat de aarde voorstelt, met de naald als as er door gestoken; aardas en aardbol voeren in werkelijkheid dezelfde beweging uit als het aequatorblad in ons eerste model. Willen wij nu alles nog echter maken, dan laten wij dit aardbolletje met razende snelheid om zijn as snorren — want in 2000 jaar, waarin de as zich slechts een klein eindje verplaatst, draait de aarde 700 000 maal om haar as. En kijken wij nu ons toestelletje goed aan, dan herkennen wij daarin het speelgoed, dat ons den weg ter verklaring aanwijst: de tol.

We hebben de aarde vroeger al eens met een tol vergeleken. Aan een rechtop staanden tol zagen wij hoe een snel draaiend voorwerp zijn as steeds in dezelfde richting tracht te houden, en zoo begrepen wij, waarom ook de as van de aarde bij haar jaarlijkschen omloop haar stand behoudt.



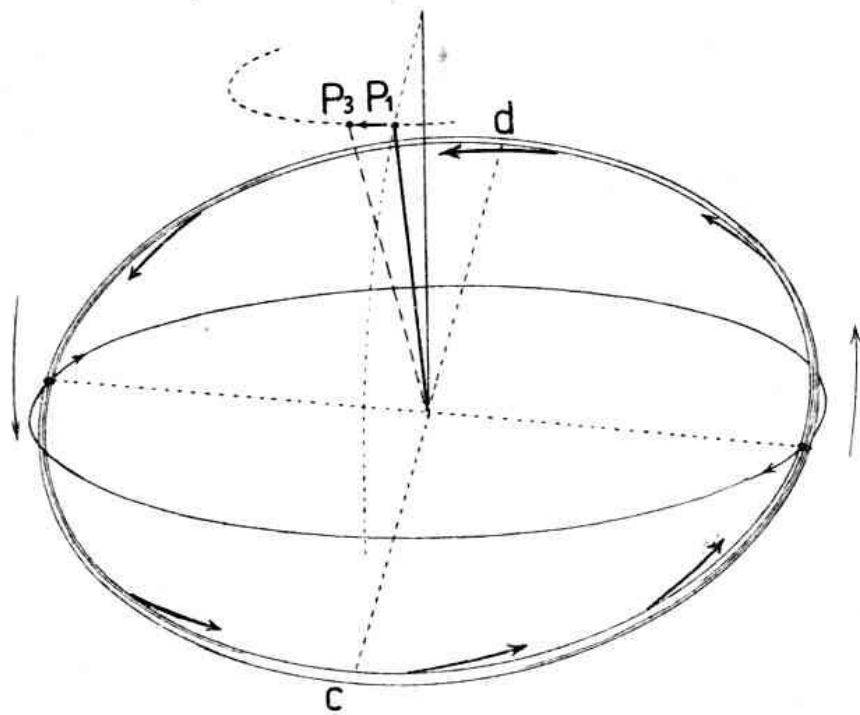
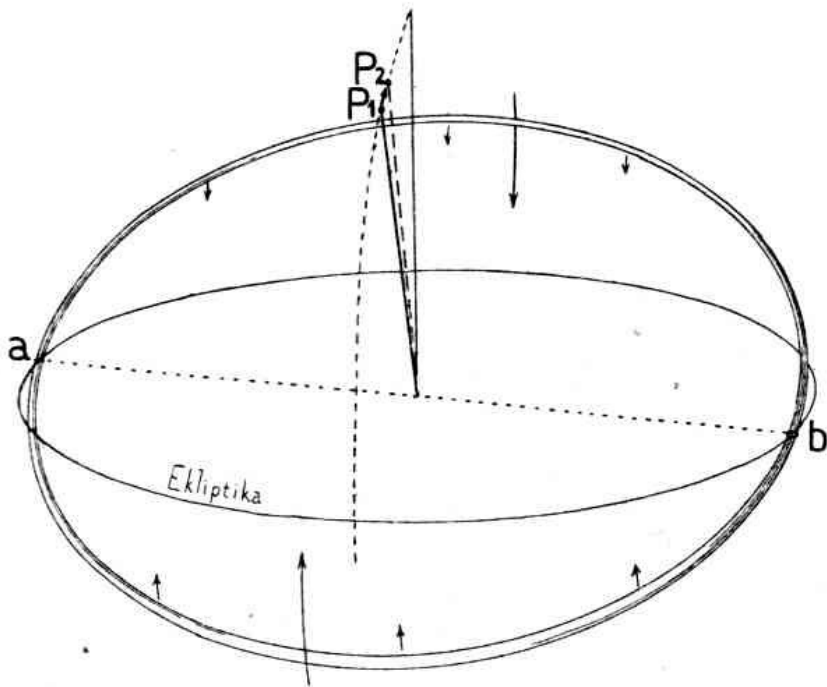
Wanneer echter een tol scheef staat, en dus een kracht hem opzij wil trekken, dan zwaait hij met zijn as langzaam in het rond, op dezelfde manier als wij nu bij de aarde bevonden. Draaide hij niet, dan zou hij eenvoudig omvallen; nu hij snel draait, kan hij niet omvallen en nu bewerkt de kracht, die hem anders zou doen omvallen, dat hij in schuinen stand in het rond zwaait. Het ligt voor de hand; dezelfde verklaring ook op de beweging van de aardas toe te passen en de vraag te stellen, of er ook hier misschien een kracht is, die de scheef op de ekliptika staande aarde op zij zou trekken, als zij niet zoo snel draaide.

Zulk een kracht is inderdaad voorhanden; zij ontstaat uit de aantrekking, die zon en maan op de afgeplatte aarde uitoefenen. Was de aarde zuiver bolvormig, dan was het onverschillig hoe ze staat, en geen kracht van buiten zou haar stand kunnen veranderen.



Nu zij afgeplat is, is zij met een bol te vergelijken, waar om den evenaar een ringvormige verdikking is gelegd, die naar het Noorden en Zuiden toe steeds dunner wordt. Deze ring, die scheef ten opzichte van de ekliptika ligt, wordt door de zon en de maan aangetrokken; daar zij in de ekliptika staan, trachten zij hem

naar de ekliptika te trekken. In de figuur is de aantrekking, die de zon op het naaste en verste deel van den ring uitoefent, door dunne lijntjes voorgesteld; de dikke pijlen geven aan, hoeveel deze anders zijn dan de aantrekking op het middelpunt, die de aarde als geheel doet bewegen. Wij zien, hoe deze overblijvende krachten den ring naar de ekliptika trachten te draaien en dus de geheele daaraan vastzittende aarde rechtop te zetten. Verhinderde de snelle aswenteling dit niet, dan zou de aardas zich onder de werking van die krachten loodrecht op de ekliptika stellen.



Door de aswenteling komt in plaats daarvan, evenals bij den tol, een rondzwaaien van de as om den stand, waar zij heengetrokken wordt. De teruggang der nachteveningen is dus een noodzakelijk gevolg van de aantrekking van de zon en maan op de scheef op de ekliptika staande, afgeplatte, snel om haar as wentelende aarde.

Maar wij willen ons nu niet met deze vergelijking met den tol tevredenstellen, wij willen dieper op de oorzaken ingaan; dus stellen wij de vraag, waarom bij de aarde en den tol dit rondzwaaien van de as ontstaat. Voor de eenvoudigheid nemen wij enkel een ring, die om den evenaar van een bolvormige aarde ligt en zoo aan de aarde vastzit; in onze figuur ligt de laagste plaats van den ring onder de ekliptika naar voren, de hoogste naar achteren, dus staat de as schuin naar voren. De aantrekking van zon en maan probeert nu dezen ring van uit zijn scheeven stand in het vlak der ekliptika te brengen; aan den voorkant worden de deeltjes van den ring naar boven, aan den achterkant naar beneden getrokken. Was er geen draaiing om de as, dan zou daardoor een beweging ontstaan (1^{ste} figuur), die het voorste deel van den ring naar boven, het achterste naar beneden schuift, dus den heelen ring om de as $a\ b$ doet wentelen en de schuin naar voren staande aardas naar achteren drukt, van P_1 naar P_2 , zoodat zij steeds steiler gaat staan, totdat zij eindelijk loodrecht op de ekliptika staat. Nu draait echter de ring met de geheele aarde snel om de aardas, en alle deelen van den ring bewegen zich aan den voorkant snel naar rechts, aan den achterkant snel naar links. De nieuwe kracht, die ze naar de ekliptika toe trekt, kan nu alleen maar de richting van de beweging een beetje veranderen, zooals de tweede figuur doet zien; aan den voorkant wordt de beweging schuin naar boven, aan den achterkant schuin naar beneden gericht. Deze verandering komt hierop neer, dat de geheele ring met al wat er aan vastzit, een beetje om de as $c\ d$ draait, aan den rechterkant iets hooger, aan den linkerkant iets lager komt. Daarbij schuiven de snijpunten met de ekliptika iets terug, en de aardas verzet zich wat naar links, van P_1 naar P_3 , waarbij zij even scheef blijft als te voren. Doordat ditzelfde in den nieuwen stand weer juist zoo plaatsvindt en zich telkens in gelijke omstandigheden herhaalt, zwaait de aardas steeds meer naar links, altijd even schuin ten opzichte van de ekliptika blijvend, in een kring in het rond.

Men bemerkt hier een zekere overeenstemming, zij het ook wat ingewikkelder, met onze vroegere verklaring van het ontstaan van een cirkelbeweging door de zwaarte. Daar werkte een kracht, die den kogel, als hij in rust was geweest, naar beneden had getrokken, steeds meer naar het middelpunt der aarde toe; omdat echter de kogel snel voortvliegt, bewerkt deze kracht, dat alleen zijn richting van beweging verandert, dat hij steeds even ver van het middelpunt afblijft en er in een kring omheen loopt. Hier werkt een draaiende kracht, die de richting van de aardas naar de richting, loodrecht op de ekliptika, toe trekt; door het snelle rondtollen om de as blijft hij echter steeds even ver van dit doel af en zwaait er in een kring omheen.

Ook is er overeenstemming met de verklaring, die in het vorig hoofdstuk voor het terugloopen der maansknoopen gegeven werd. Als de ring uit enkel losse deeltjes bestond, die achter elkaar aan liepen, zoodat de as slechts een denkbeeldige lijn was, dan zou toch de geheele redeneering op dezelfde manier blijven gelden; deze deeltjes zouden door de kracht, die hen naar de ekliptika toe trekt, de richting van hun beweging veranderen, en wel zoo, dat het snijpunt van hun banen met de ekliptika langzaam terugwijkt. Elk dezer deeltjes stond dan met een maantje gelijk, en we hadden precies het geval van de maan, die in een schuin tot de ekliptika staande baan om de aarde loopt. Wij hebben dus hier een anderen vorm van het vroeger gegeven bewijs voor het terugloopen der maanknoopen.

Zoo heeft Newton dadelijk met behulp van zijn wet der aantrekkingskracht een verklaring voor dezen vanouds bekenden teruggang der nachteveningen gegeven. Nu staat de maan niet precies in de ekliptika; haar baan staat, in 18 jaren wisselend, nu eens meer, dan weer minder schuin op den aardevenaar dan de ekliptika. De kracht van de maan wisselt dus eenigszins in een 18-jarige periode, en daarom komen er bij de regelmatige zwaaiing der aardas nog kleine schommelingen in deze periode bij.

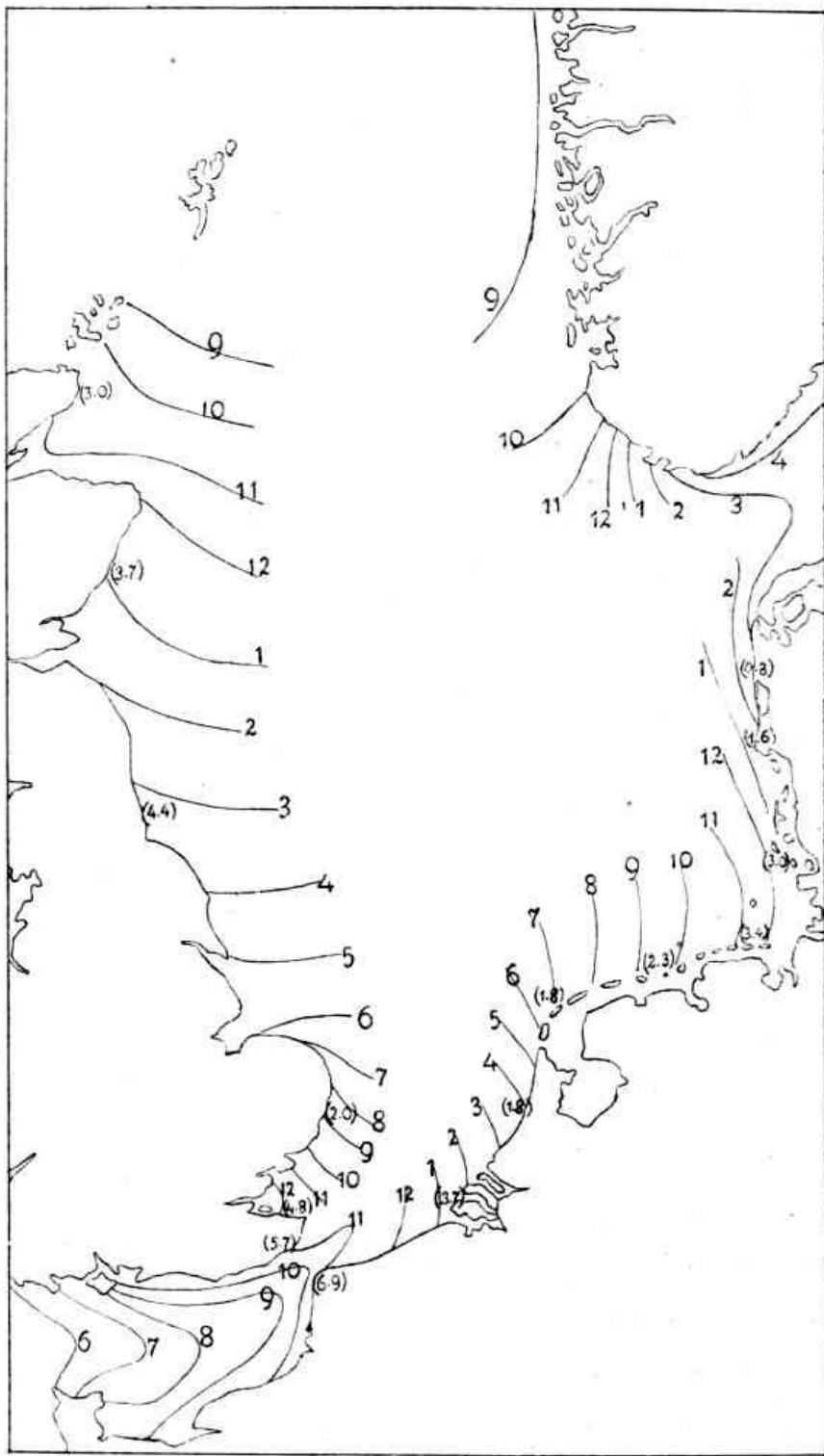
¹⁾ De lengten, die wij op onze dierenriemskaart door streepjes en getallen hebben aangegeven, gelden dus ook niet voor altijd, maar alleen

voor het jaar 1900. De geheele maatstaf der lengten schuift ten opzichte van de sterren langzaam naar rechts, zóó, dat zij in 72 jaren één deelstreep, een graad, verschuift. De lengten, die op de kaart afgelezen worden, gelden ten opzichte van het lentepunt van 1900.

43. EBBE EN VLOED.

Ieder schipper en iedereen, die aan de zeekust of in een havenstad woont, kent de getijden, de wisseling van ebbe en vloed. Tweemaal per dag stijgt het zeewater en stroomt in de baaien en riviermonden; tweemaal daalt het en stroomt terug. Het hoogwater komt echter niet altijd even laat; elken volgenden dag komt het ongeveer 50 minuten later dan den vorigen dag: na 14 dagen is het 12 uur later gekomen, zoodat dan het eene hoogwater op denzelfden tijd van den dag valt als 14 dagen vroeger het andere hoogwater. Wat beteekent deze regelmatige verschuiving? Ook de maan verlaat zich ongeveer 50 minuten per dag. Ebbe en vloed volgen de maan; zij komen altijd een vasten tijd na de oogenblikken, waarop de maan in het Zuiden het hoogst, of in het Noorden onder den horizon het laagst stond. Dit tijdsverloop, dat het hoogwater na de maan komt — dus de tijd van hoogwater op den dag van volle of nieuwe maan, als de maan om 12 uur in het Zuiden staat — heet *haventijd*. Voor de schippers is het van groot belang dezen haventijd, die voor elke zeeplaats en haven verschillend is, te kennen, omdat vele havens alleen bij hoogwater met diepgaande schepen te bereiken zijn, en bij andere het in- en uitstroomende water de schepen meevoert.

Vergelijkt men nu den haventijd van een aantal naburige plaatsen, dan ziet men dat hij regelmatig van plaats tot plaats verandert; op het kaartje is hij voor de kusten der Noordzee van uur tot uur aan gegeven. Men ziet hier, hoe het hoogwater als een golf voortschuift; van uit het Noorden buigt een golf om Schotland heen, die langs de Engelsche en Noorsche kusten naar het Zuiden loopt, terwijl uit het Zuiden, uit het Kanaal een golf langs de Hollandsche en Duitsche kusten oploopt. Deze vloedgolven loopen natuurlijk ook over de open zee, al kan men ze daar bij gebrek aan peilschalen niet bemerken.



Vloedgolf in de Noordzee.

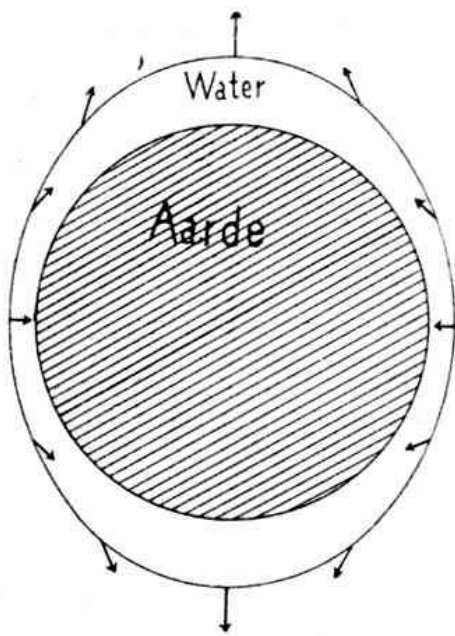
Van de beide golven, die van het Noorden en van het Zuiden komen, nemen wij aan de kusten de vereenigde werking waar; aan de getallen tusschen haakjes op de kaart, die de vloedhoogte in meters aangeven, is te zien, hoe zij elkaar op sommige plaatsen versterken, op andere verzwakken. Het eerste is het geval bij de wadden, van Den Helder tot Esbjerg, waar de gescheurde kusten het geweld van de door stormvloed veroorzaakte overstromingen toonen; het laatste is het geval bij de gave kustlijn van Noord-Holland en van Jutland.

Wij zien hier hoe het verschil tusschen hoog en laag water niet overal even groot is. Aan rechte kusten en bij eilanden in den oceaan is het vaak niet eens een meter; waar echter de vloedgolf in een zeeëngte dringt, die steeds nauwer wordt, wordt het water opgestuwd, en daar groeit het verschil tot vele meters,

op enkele plaatsen zelfs tot 15 en 20 meter. Maar ook op dezelfde plaats is dit verschil altijd niet even groot; de vloedhoogte wordt in een 14-daagsche periode beurtelings groter en kleiner. Bij volle en nieuwe maan is de vloed het hoogst, de ebbe het laagst (springtij), terwijl zij in de kwartierstanden van de maan veel minder van den gemiddelden zeespiegel verschillen (doodtij). De oorzaak van dit verschijnsel is dadelijk in te zien. Zijn de getijden een werking van de maan, dan zal de zon een gelijksoortige werking uitoefenen; bij volle en nieuwe maan valt deze werking met die van de maan samen en versterken zij elkaar, terwijl in de kwartierstanden maanvloed en zonneebbe samenvallen, dus elkaar verzwakken. Ook neemt men dikwijls waar, dat de beide op elkaar volgende hoogwaters, b.v. de dagvloed en de nachtvloed niet even hoog zijn, zoodat een sterke en een zwakke vloed met elkaar afwisselen.

Reeds voordat Newton zijn aantrekkingskracht als algemeene wereldkracht ontdekt had, waren de getijden al aan een aantrekking van de maan toegeschreven. Terwijl Galilei de oorzaak in ongelijkheden door de aswenteling der aarde zocht, zei Kepler daarover: "het klaarblijkelijkste bewijs voor de wederzijdsche aantrekking van aarde en maan ligt in de ebbe en vloed der zeeën. De maan in den top der oceanen trekt de wateren aan, die de aarde omstroomden, en deze aantrekking bewerkt, dat zij van hun kusten wegstroomden, omdat zij zich naar de open, niet door vastelanden afgesloten gedeelten der zeeën spoeden, die juist onder de maan liggen." Newton kon dus dadelijk op de getijden als bewijs voor de algemeenheid der aantrekking wijzen; en omdat hij de wetten van deze aantrekking nauwkeurig had vastgesteld, kon hij een volledige verklaring geven.

Zon en maan trekken alle deeltjes van de aarde aan, en het totaal van al deze aantrekkingen is de geheele kracht, die de beweging van de aarde als geheel bepaalt, en die juist zoo groot is, alsof alle deeltjes in het middelpunt verzameld waren, Maar al deze deeltjes worden niet even sterk aangetrokken; die het dichtst bij de maan (of de zon) zijn, worden het sterkst, die aan den achterkant liggen het zwakst aangetrokken. Hier geldt nu hetzelfde als wij op [bladzij 282](#) voor de krachten vonden, die op de maan werken; de beweging van de aarde als totaallichaam wordt door de kracht bepaald, die op het middelpunt werkt; wordt een deeltje aan den achterkant zwakker aangetrokken, dan heeft het neiging om langzamer dan de totale aarde naar de maan te bewegen, dus achter te blijven, d.w.z. omhoog te stijgen. Zijn gewicht wordt zooveel verminderd, als de op hem werkende kracht van de maan minder is dan die op het middelpunt werkt. Het verschil tusschen de kracht op een of ander deeltje en de kracht op het middelpunt bepaalt de beweging van dit deeltje ten opzichte van het middelpunt. Nu blijft de aardkorst voor die krachten ongevoelig — alleen voor zooverre zij niet geheel vast, of eenigszins veerkrachtig is, kan zij er iets door vervormd worden — maar het beweeglijke water moet er aan gehoorzamen. Hoe zijn nu die krachten?



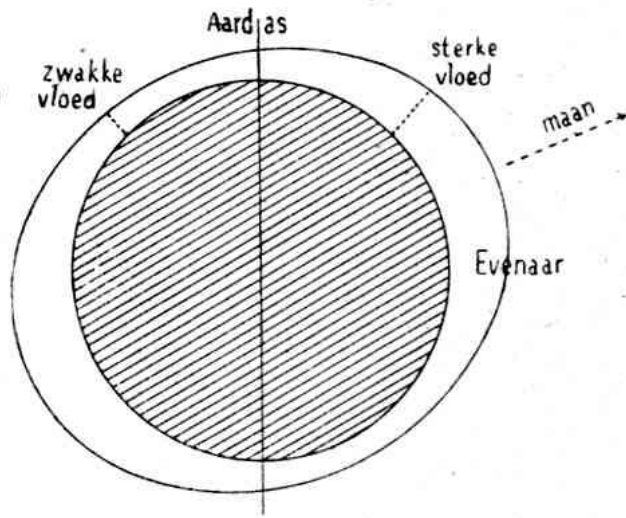
Voor deze geldt hetzelfde, wat wij vroeger voor de op de maan werkende storende zonnekrachten vonden; aan den voor- en den achterkant zijn ze van het middelpunt af gericht en verzwakken zij de zwaartekracht; zijdelings zijn ze naar het middelpunt toe gericht en versterken zij de zwaartekracht. Denken wij ons de aarde geheel met water bedekt, dan moet het water aan den kant tegenover en naar de maan (of de zon) toe, waar de zwaarte verminderd is, omhoog stijgen; daar stroomt het onder de werking van de maankracht van alle kanten heen, terwijl het zijdelings, waar de zwaarte sterker is geworden, lager komt. Het wateroppervlak krijgt zoo den vorm van een ei met twee gelijke spitsen, of een naar twee kanten uitgerekten bol. Alleen bij die gedaante blijft het wateroppervlak onder de gezamenlijke werking van maankracht en zwaartekracht in evenwicht.

Zulk een afwijking van den bolvorm van het wateroppervlak wordt nu zoowel door de zon als door de maan teweeggebracht; maar de afwijking door de zon is de kleinste. Hoe is dat mogelijk, terwijl de aantrekkende kracht van de zon op de aarde toch ruim 170 maal grooter is dan die van de maan? De zon is 12000, de maan slechts 30 aardmiddellijnen van ons verwijderd; over denzelfden afstand, b.v. tusschen den voorkant en het middelpunt der aarde, vermindert de zonnekracht 400 maal minder snel dan de maankracht; en deze vermindering, dit verschil, dat de oorzaak van ebbe en vloed is, is dus bij de zon slechts half zoo groot als bij de maan. Daarom bepaalt de maan de hoofdzaak van het verschijnsel, en werken de zonnegetijden slechts als verzwakking of versterking van de maangetijden. Wij zullen verder alleen maar over de maangetijden spreken, alsof de maan er alleen was; wij denken er dan wel aan, dat zij bij volle en nieuwe maan $1\frac{1}{2}$ maal zoo sterk, bij eerste en laatste kwartier tot nagenoeg de helft verzwakt zijn.

Nu draait de aarde om haar as en keert in den loop van den dag alle kanten naar de maan toe. De beide watereispitsen, die naar de maan toe en van de maan afgekeerd zijn, kunnen natuurlijk niet meedraaien; zij moeten naar de maan toe gekeerd blijven, terwijl de vaste aarde en het diepere water van den oceaan als 't ware onder hen door draait. Of, zooals het zich voor ons aardbewoners vertoont: de maan loopt elken dag eens om de aarde heen en sleept de waterbergen mee, die als twee reusachtige vloedgolven over de vaste aarde en den wereldoceaan heen strijken. Ziet men ergens de maan in het Oosten opkomen en hooger klimmen, dan begint ook het water te stijgen; wanneer de maan in het Zuiden staat, gaat de hoogste golfkam ons voorbij: hij is des te hooger, naarmate de maan dichter langs het toppunt des hemels strijkt. Daalt de maan naar het Westen, dan wordt het ebbe, en het water staat op zijn laagst als de maan

ondergaat. Dan komt de tegenoverliggende golf aanloopen, waarvan de kam ons voorbij trekt, wanneer de maan in het Noorden het diepst onder den horizon staat.

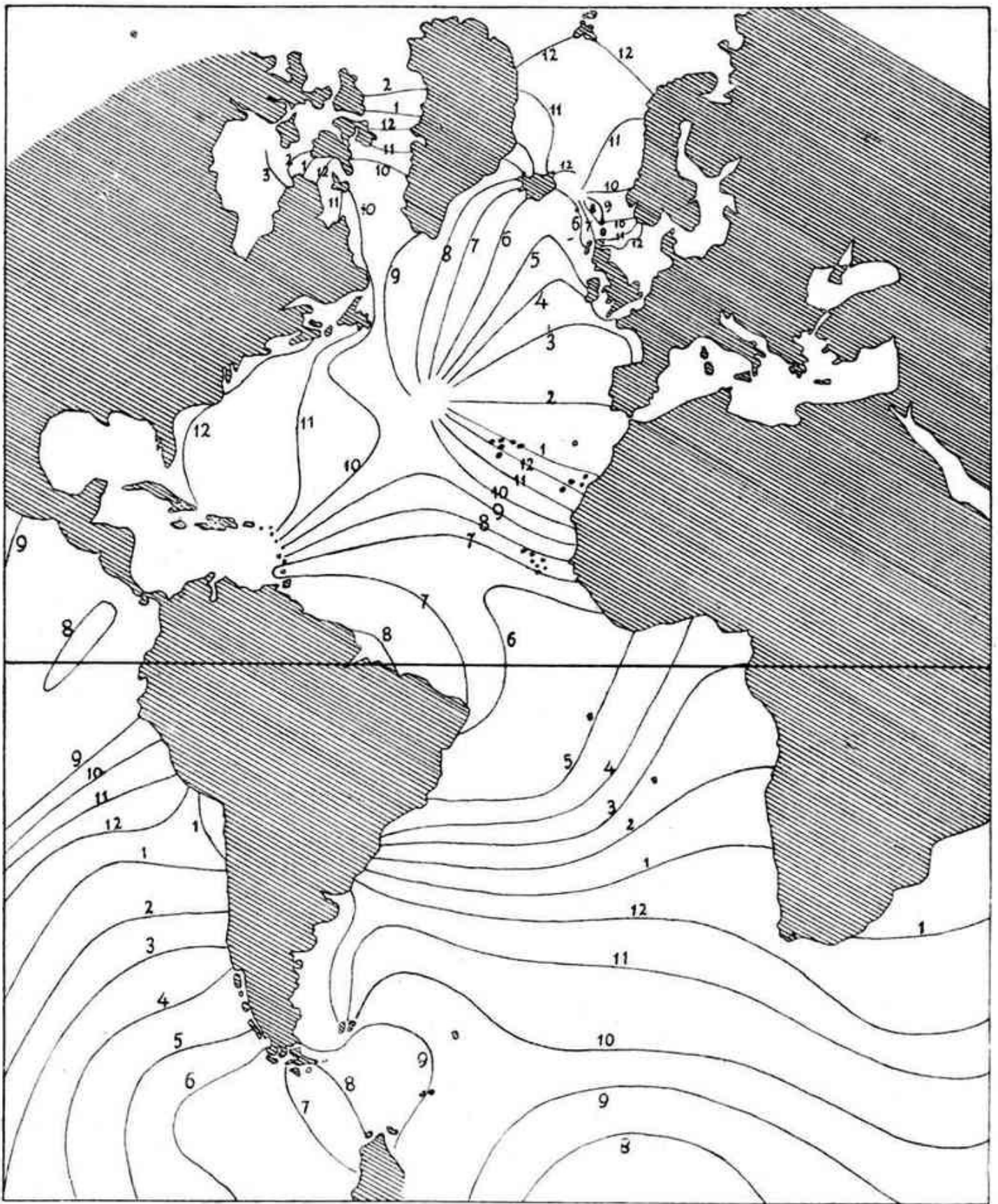
Wij zien hier nu meteen de verklaring voor een andere eigenaardigheid der getijden. Bevindt zich de maan in den aequator des hemels, dan loopen de vloedbergen juist over den evenaar.



Staat de maan echter in de noordelijkste of zuidelijkste deelen van haar baan, dan staat het water eene schief ten opzichte van de aardas; de eene punt strijkt over het Noordelijk, de andere over het Zuidelijk halfrond; de eerste bewerkt op een plaats ter hoogte van Europa een sterken, de andere een veel zwakkeren vloed, nauwelijks hooger dan de ebbe. Zoo wordt het begrijpelijk, waarom somtijds de vloed afwisselend sterk en zwak is.

Volgens deze eenvoudige theorie moest nu overal de tijd van hoogwater met den hoogsten en den laagsten stand van de maan samenvallen, dus m.a.w. de haventijd overal 0 uur zijn. Dit is echter niet het geval. Al dadelijk hierom niet, omdat het water wel eene dunne beweeglijke vloeistof is, maar niet zoo licht beweeglijk, dat zijn beweging in het geheel geen weerstand, geen wrijving zou ondervinden. Stellen wij ons voor, dat niet een wateroceaan, maar een hulsel van dikke, taaië olie de aarde omgaf, dan zou deze vloeistof aan de aantrekking van de maan maar moeilijk en langzaam gehoorzamen. Dit is in veel geringer mate ook nu het geval met het water; de vloedgolf blijft bij de maan achter en wordt door haar achter zich aan gesleept; of, anders gezegd, de rondwentelende vaste aarde met de groote watermassa er om heen sleurt, door de taaiheid van het water, de vloedbergen een eindje met zich mee, zoodat zij niet precies onder de maan kunnen blijven staan. Daardoor moet een algemeene, slechts met de diepte der zeeën eenigszins wisselende verlating van de vloedgolf ontstaan.

Maar oneindig veel belangrijker is een andere omstandigheid. Wij hebben tot nog toe aangenomen, dat de aarde overal met water bedekt is. In werkelijkheid liggen groote vastelanden over den aardbol verspreid, die de vloedgolf verhinderen regelmatig voort te loopen. Waar deze tegen een vasteland stoot, moet zij uitwijken, ombuigen, achterblijven, om later in de open zee weer vooruit te schieten. De vastelanden verdeelen het water in een aantal bekkens, die slechts door nauwe straten verbonden zijn; van een geregeld om de aarde loopende vloedgolf kan dus eigenlijk in het geheel geen sprake zijn.



De vloedgolf in den Atlantischen Oceaan.

In ieder oceaانبekken ontstaat een eigen, uiterst ingewikkelde golf beweging; waar zulk een golf aan den ingang van een zeearm komt, rolt zij daarin voort volgens haar eigen wetten, zonder zich verder om de maan te bekommeren, soms zelfs in oostelijke richting tegen de beweging van de maan in.

Er is al dikwijls geprobeerd, om uit de haventijden van alle mogelijke kustplaatsen op aarde op een kaart weer te geven, hoe de vloedgolf over de oceanen voortloopt, op die manier, dat alle plaatsen op zee, die tegelijkertijd hoogwater hebben, door lijnen met elkaar verbonden worden. Natuurlijk is dat uiterst moeilijk, omdat men alleen gegevens van kustplaatsen heeft; midden in den oceaan is geen peilschaal te plaatsen, en de verstrooide eilanden vullen dit gemis maar gebrekkig aan. Waar deze lijnen ver van de kust af loopen, berusten ze grootendeels op fantasie. Een beeld van deze moeilijkheid kan ons kaartje van de Noordzee geven, waar deze lijnen aan de kusten aangegeven zijn; wie beproeft de lijnen over de open zee te teekenen, zal bemerken, dat dit bijna onmogelijk is. Men heeft wel gemeend, dat ten minste voor de groote oceanen, zooals de Indische en de Stille Oceaan, de vloedgolf vrij regelmatig van het Oosten naar het Westen voortrolde; en zoo vindt men het ook op oude kaarten voorgesteld. Maar in werkelijkheid is de beweging van het water hier oneindig veel gekompliceerder; hier vindt men plaatsen zonder getijwisseling, waar de vloedgolf in een kring omheenloopt; daar vindt men gebieden, waar de geheele watermassa als in een tobbe heen en weer schommelt. Voor den Atlantischen Oceaan is de vloedbeweging nog het best bekend. Uit de Zuidelijke IJszee komt de vloedgolf aanrollen, en loopt door dezen oceaan, die eigenlijk niet meer dan een breede zeestraat is, noordwaarts. Met de maan heeft deze golf dan niets meer te maken; na 12 uren heeft zij de kusten van Senegambië en van Noord-Amerika bereikt, en nog 12 uur later is zij op Spitsbergen gekomen en om Schotland heen en langs Calais in de Noordzee gedrongen. Vindt men dus in Ostende of aan de Schotsche kust een haventijd van 12 uur, d.w.z. dat de vloedgolf tegelijk met de maan komt, dan is deze golf reeds een dag vroeger door de maan veroorzaakt.

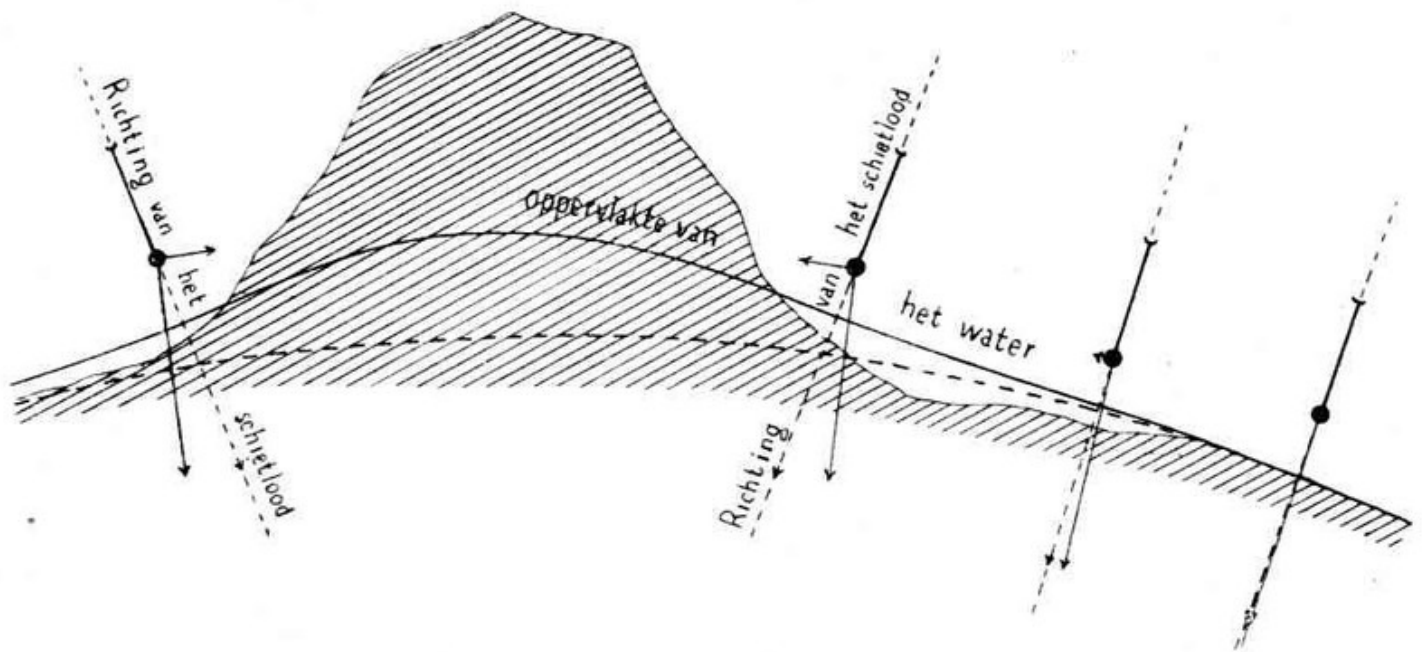
Bedenkt men nu, dat de sterkte van de vloedgolf nog weer verandert, al naar zon en maan verder noordelijk of zuidelijk staan, en dat ook de verschillende achter elkaar loopende golven elkaar weer beïnvloeden en doorkruisen, dan beseft men, hoe moeilijk het moet zijn, alleen nog maar het werkelijk verloop der verschijnselen uit de ervaring vast te stellen. En eerst wanneer dat gebeurd is, kan men trachten, dit verloop met den kustvorm en de diepte der zeeën in verband te brengen. Zoo eenvoudig en natuurlijk de verklaring van ebbe en vloed uit de aantrekking van zon en maan in het algemeen is, zoo moeilijk is het, de ingewikkelde bijzonderheden van dit verschijnsel uit de vormen van het aardoppervlak te verklaren.

44. HET GEWICHT VAN DE AARDE.

In de uitdrukking "gewicht van de aarde" ligt eigenlijk een tegenstrijdigheid; want het gewicht van een ding geeft aan, hoe sterk het door de aarde wordt aangetrokken. Toch wordt de uitdrukking algemeen gebruikt, en ieder voelt ook onmiddellijk wat er mee bedoeld wordt: de massa van de aarde. Wij stellen dus de vraag: hoeveel malen is de massa van de aarde groter dan de massa van een kilogram, b.v. dan de massa van het stuk platina, dat in Parijs als standaard van het kilogramgewicht bewaard wordt? Omdat bij de dingen in onze omgeving het gewicht 10 of 100 keer zoo groot is, wanneer de massa 10 of 100 keer groter is, zijn wij gewend altijd gewicht te zeggen, wanneer wij massa bedoelen. In dien zin spreken wij dan ook van het gewicht van de aarde, maar wij bedoelen de massa.

De wet van Newton zegt, dat de kracht, waarmede twee voorwerpen elkaar aantrekken, evenredig met de massa van beiden verandert en omgekeerd evenredig met het vierkant van den afstand. Kunnen wij dus nu de kracht berekenen. wanneer wij de beide massa's en hun afstand kennen? Neen, en daarom moet er aan deze wet nog iets toe gevoegd worden. Wij moeten voor één geval, voor twee lichamen met bekende massa's en bekenden afstand, de kracht kennen; door de wet van Newton kennen wij ze dan voor alle andere gevallen. Nu kennen wij de kracht in geval het eene der beide lichamen onze aarde en het andere b.v. een kilogramstuk is, want die kracht is juist het gewicht van het kilogram. Maar in dit geval kennen wij de massa van de aarde niet. Nemen wij daarentegen voor het eene lichaam een zwaar blok van een ton gewicht, dan kennen wij de aantrekkingskracht niet, die het op ons kilogramstuk uitoefent; wij hebben van zulk een aantrekking nooit iets bemerkt, blijkbaar omdat zij haast onmerkbaar klein is. Men ziet, dat beide vragen op hetzelfde neerkomen; men moet òf de aantrekking kennen, die een lichaam van bekende massa uitoefent, òf de massa van een lichaam, waarvan, zooals bij de aarde, de aantrekking bekend is. Beide zijn ook uit elkaar te berekenen; weet men b.v. dat een 100 KG. zware bal op een afstand van 1 M. een lichaam met een kracht aantrekt, die 100 000 maal kleiner dan zijn gewicht is, dan rekenen wij: van het aardmiddelpunt is het lichaam 6 miljoen meter, dus 6 miljoen keer verder verwijderd dan van den bal, en toch trekt de aarde het nog 100 000 maal sterker aan: op gelijken afstand zou de aarde het dus 6 miljoen x 6 miljoen x 100 000 keer sterker aantrekken, en de massa van de aarde is dus 6 miljoen x 6 miljoen x 100 000 keer groter dan die van den bal van 100 KG. De bepaling van de massa der aarde is dus hetzelfde als de bepaling van de onderlinge aantrekking van twee voorwerpen van bekende massa.

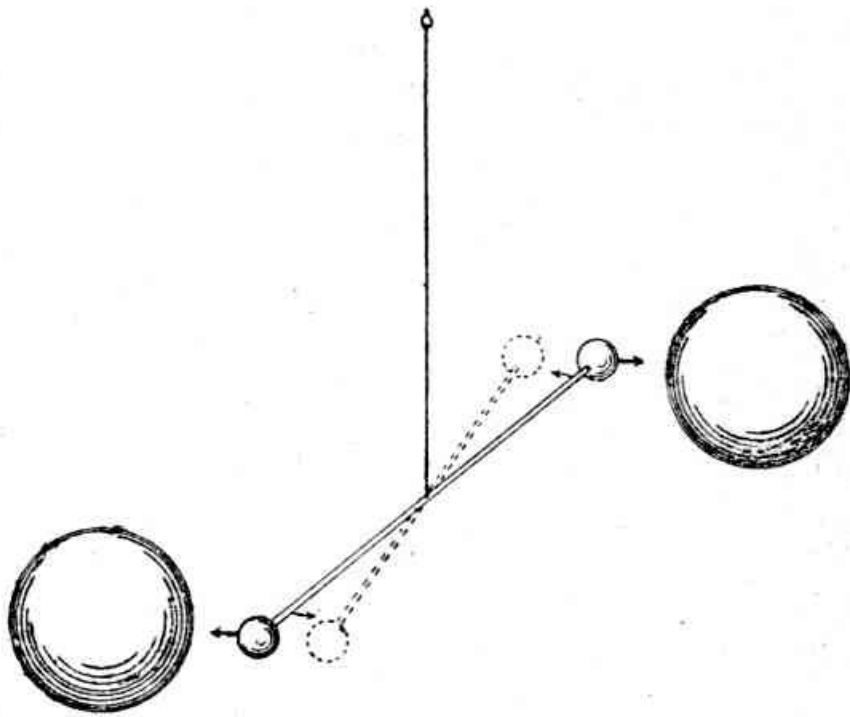
Nu is zelfs de aantrekking van een blok van 100 of 1000 KG. zoo onmerkbaar gering, dat het buitengewoon moeilijk is ze te meten. Men heeft daarom eerst beproefd het vraagstuk op te lossen door de aantrekking van heele bergen te meten. Toen wij de gedaante van de aarde behandelden, hebben wij vermeld, dat het oppervlak van het stilstaande water, als het door kanaaltjes overal door het vaste land geleid werd, niet precies een afgeplatte bol is, maar op onregelmatige wijze soms hoger, soms lager ligt, vooral in de buurt van gebergten. Wij zien nu, wat de oorzaak van deze onregelmatigheden is; de groote bergmassa's trekken alles in hun buurt aan; daardoor moet het schietlood aan beide kanten een beetje scheef naar het gebergte toe hangen, en de waterspiegel, die loodrecht op het schietlood staat, moet in de buurt van het gebergte hoger komen. Ook andere onregelmatigheden van de aardkorst, b.v. bijzonder zware of bijzonder lichte gesteenten, diep onder het aardoppervlak, bewerken zoo een hooger en of lageren stand van het wateroppervlak.



Aantrekking van een berg.

Toen deze aantrekking der bergen in de 18^{de} eeuw opgemerkt werd, begreep men dadelijk, dat zij ons de massa van de aarde kon leeren kennen. In 1774 deed de Engelsche sterrekundige Maskelyne met dit doel nauwkeurige metingen van de poolshoogte op twee plaatsen ten Noorden en ten Zuiden van een alleenstaanden berg in Schotland; en hij vond het verschil inderdaad aanmerkelijk grooter dan het volgens den afstand der beide plaatsen moest zijn. Dit kwam natuurlijk door de aantrekking van den berg; uit de figuur is te zien, dat de richtingen van het schietlood aan beide zijden van den berg veel meer verschillen, dan zonder den berg het geval zou zijn. Uit de afwijking was te zien, hoeveel malen de aantrekking van den berg kleiner is dan die van de aarde; uit de hoogte en den omvang van den berg benevens het gewicht van het gesteente, waaruit hij bestond, kon men de massa van den berg schatten en zoo de massa van de aarde vinden. Natuurlijk blijft de uitkomst ietwat onzeker, daar men niet precies weet, welk gesteente zich diep in het binnenste van den berg bevindt.

In de 19^{de} eeuw werden de instrumenten zooveel nauwkeuriger en fijner, dat het nu niet meer hopeloos scheen, de zwakke aantrekking van een gewoon handelbaar aardsch voorwerp te meten. Allerlei methoden en instrumenten zijn daarvoor gebruikt. Het meest voor de hand liggende is een gewone weegschaal, die natuurlijk buitengewoon gevoelig moet zijn; daarmee hebben Jolly te München, Poynting in Engeland en later nog anderen de massa van de aarde bepaald. Ligt in de beide schalen een gewicht van 1 kilo, dan is de balans in evenwicht; wordt dan een zware metalen bol beurtelings onder het eene en onder het andere gewicht geplaatst, dan wordt dit door de aantrekking van den bol een paar milligram zwaarder, en deze gewichtsvermeerdering werd nauwkeurig gemeten.



Een andere manier, de oudste van alle, is die, welke het eerst door Cavendish in 1797 toegepast werd. Aan een metaaldraad hangt, in het midden opgehangen, een horizontale stang met kleine bollen aan de beide uiteinden. Hangt alles geheel in evenwicht en draait men dan de stang een weinig om den draad als as, dan wordt deze draad iets ineengedraaid, gewrongen, tracht zich te ontwringen en brengt zoo de stang weer in den eersten stand terug. De kracht, waarmee de gewrongen draad de stang weer terug wil draaien, is wel uiterst gering, wat zich in de langzaamheid van de slingeren heen en weer verradt. Maar dat komt hier juist van pas; want nu kan de aantrekking van twee zware bollen, die naast de kleine bolletjes gezet worden, zooals de figuur aangeeft, de stang merkbaar uit haar ruststand trekken. Hier wordt dus de aantrekking van een zwaren bol niet onmiddellijk met die van de aarde vergeleken, maar met de uiterst zwakke draaikracht van een gewrongen draad; uit de langzaamheid der slingeren, die deze kracht bewerkt, kan men afleiden, hoeveel malen zij zwakker is dan de aantrekkingskracht der aarde.

Uit al deze verschillende metingen is nu gevonden, dat een lichaam van 100 kilo op een afstand van 1 meter een aantrekkingskracht uitoefent, die niet meer bedraagt dan een 1500 millioenste van de aantrekking der aarde, dus een voorwerp van een kilogram met een kracht van $\frac{1}{1500}$ milligram aantrekt. Als men daarmee de elektrische en magnetische krachten vergelijkt, die kleine voorwerpjes zelfs tegen hun zwaarte in naar boven trekken, dan ziet men, dat de algemeene aantrekkingskracht tot de allerzwakste natuurkrachten behoort. Alleen omdat zij van reusachtige wereldlichamen uitgaat, wordt zij tot die machtige beweegkracht, die de loopbanen der wereldbollen beheerscht. Hadden wij haar niet dagelijks als aantrekking van den geweldigen aardbol voor oogen, dan waren wij zeker nooit op de gedachte gekomen, de onmerkbaar kleine wederzijdsche aantrekking van de lichamen in onze omgeving te onderzoeken.

Wij kunnen dezelfde uitkomst ook als massa der aarde uitdrukken. De aarde trekt van uit een afstand van 6360000 meter want zoover is haar middelpunt van ons af: en van uit dien 6360000 maal grooteren afstand trekt zij nog 1500 millioen maal sterker dan het lichaam van 100 Kilo; dus is haar massa 6360000 x 6360000 x 1500 millioen maal groter dan dit lichaam, dus 6 millioen x millioen x millioen keer groter dan de massa van een kilogramstuk. Dit getal drukt dus "het

gewicht der aarde" in kilogrammen uit.

Wat hebben wij er nu aan, of wij dit reuzengetal kennen, dat wij niet eens kunnen uitspreken? Wanneer wij het vergelijken met den inhoud van de aarde, kunnen wij er een paar belangrijke gevolgtrekkingen over de innerlijke natuur der aarde uit afleiden. Het gewicht van een lichaam hangt ten eerste van zijn inhoud af, en ten tweede van de dichtheid of het soortelijk gewicht der stof, waaruit het lichaam bestaat. Deze dichtheid, het gewicht van een kubieken decimeter of een liter van de stof, drukt uit, hoeveel malen zij zwaarder of lichter dan water is, want 1 liter water weegt 1 Kilo. De meest voorkomende mineralen en gesteenten, zooals kwarts en veldspaat, hebben een dichtheid van ongeveer $2\frac{1}{2}$; daarentegen zijn de meeste metalen veel zwaarder: ijzer heeft een dichtheid van 7 tot 8, lood van 11, goud zelfs van 19. Wat is nu de dichtheid van de aarde? Berekenen wij haar inhoud, dan vinden wij 1083 x miljoen x miljoen x miljoen kubieke meter; dus moet een kubieke meter van het aardlichaam 5500 kilogram wegen, d.w.z. de dichtheid der aarde is $5\frac{1}{2}$.

Nu bestaat de aardkorst, zoover wij er door mijnen en boringen in kunnen dringen, uit gesteenten, die een dichtheid tusschen 2 en 3 hebben. Dat de aarde gemiddeld zooveel zwaarder is, bewijst, dat zij niet geheel en al uit zulke gesteenten kan bestaan; het voor ons onbereikbare binnenste der aarde moet uit andere, veel zwaardere stoffen bestaan. Daar wij geen andere zoo zware stoffen kennen dan metalen, neemt men aan, dat het binnenste der aarde door metalen, en wel vooral door ijzer wordt gevormd. Deze gevolgtrekking wordt nog op andere wijze bevestigd. Theoretische berekeningen hebben aangetoond, dat de aarde, als zij van binnen naar buiten overal uit dezelfde stof bestond, sterker moest afgeplat zijn dan zij is; haar kleinere afplatting bewijst, dat zij in haar binnenste dichter moet zijn dan aan de oppervlakte. Waarnemingen van aardbevingen hebben in de laatste jaren geleerd, dat de metalen kern en de steenen korst door een vrij scherpe grens gescheiden worden, die op ongeveer $\frac{1}{5}$ van den straal der aarde beneden de oppervlakte ligt.

45. HET WEZEN DER AANTREKKINGSKRACHT.

Men zou denken, dat Newton, toen hij zijn werk bekend maakte, dadelijk van alle zijden met instemming en bewondering begroet werd. Maar dat was niet het geval. Alleen onder zijn eigen landgenooten vond zijn "nieuwe filosofie" aanhang, en hier werd hij weldra geprezen en geëerd als een sieraad van zijn land; maar in het overige Europa bleef zij nog bijna een halve eeuw lang onopgemerkt. Men kende zijn theorie wel, maar begreep haar groote beteekenis niet. De groote natuuronderzoekers op het vasteland waardeerden wel de scherpzinnige berekeningen en gevolgtrekkingen van Newton, en twijfelden er ook niet aan dat zij goed en juist waren. Maar zijn geheele manier van denken, het grondkarakter van zijn werk, was hun ongewoon en vreemd. Christiaan Huygens schreef in een aanhangsel, dat hij aan zijn geschrift "Over de oorzaak van de zwaarte" toevoegde: "Ik had ook niet zoozeer aan die regelmatige afname van de zwaarte gedacht, namelijk, dat zij omgekeerd evenredig is met het vierkant van den afstand; dat is een nieuwe en hoogst merkwaardige eigenschap van de zwaarte, waarvan de oorzaak op te sporen zeer de moeite waard is..." Deze uiting toont duidelijk, dat voor hem door de ontdekking van Newton de oorzaak van de planetenbeweging ook niet in

't minst verklaard werd.

Hier blijkt, hoe Newton's theorie bij haar verschijnen een algemeene denkwijze aantrof, die voor haar begrip hoogst ongunstig was. De natuuronderzoekers, die toen de wijsgeeren meteen waren, trachtten in de eerste plaats de wereld, de natuur uit haar grondprincipes te begrijpen. Daarvoor was wel de ervaring een onontbeerlijk hulpmiddel, maar volgens de "rationalistische" opvatting was het toch vooral de taak der menschelijke rede, deze principes te vinden. Naar de denkbeelden van den beroemden natuurfilosoof Descartes, die in de 2^{de} helft van de 17^{de} eeuw in Frankrijk, het geestelijke centrum van het vasteland, algemeen aangehangen werden, was het heelal gevuld met een zeer dunne vloeistof, die om de zon draaide en de planeten in cirkelbanen om de zon meesleepte. Deze opvatting, waaruit Huygens dan nog nader een verklaring van de aardsche zwaarte wist af te leiden, gaf voor de beweging der planeten een dadelijk voor iedereen begrijpelijke verklaring. Iedereen had wel eens gezien, hoe schepen door stroomend water, bladeren door den wind meegevoerd werden; de waterdeeltjes drukken tegen het schip, de luchtdeeltjes tegen de bladeren, en zoo duwen ook de bewegende deeltjes van den wervelenden wereldaether de planeten voort. Wat bij Newton als gevolg van de aantrekkingskracht optreedt, is dus een uitwerking van dezen druk; Newton's ontdekking over de afname van de aantrekking met den afstand was belangrijk, om nader uitsluitsel over dien druk en die wereldvloeistof te krijgen, maar meer ook niet. En Newton's opvatting, dat alle kleinste stofdeeltjes, ook die diep in het binnenste der aarde zitten, elkaar aantrekken, lijkt Huygens geheel absurd toe, want hij "gelooft duidelijk te zien, dat de oorzaak van zulk een aantrekking in het geheel niet verklaarbaar is door eenig principe der mechanika of door de wetten der beweging." Hij kan ook niet gelooven, dat Newton de zwaarte voor een grondeigenschap der materie wil verklaren: "Iets anders is het, wanneer wij de gravitatie als een innerlijke (inherente) eigenschap van de stoffelijke materie zouden beschouwen. Maar ik geloof niet, dat Newton dit wil, daar toch een dergelijke onderstelling ons ver van de wiskundige en mechanische principes zou verwijderen." En nog duidelijker drukte zich Leibniz in een brief aan Huygens uit: "Het schijnt, dat de zwaarte volgens hem (Newton) niets dan een zeker onstoffelijk en onverklaarbaar vermogen (vertu) is, terwijl gij haar daarentegen zeer goed door de wetten der mechanika verklaart."

Een geheel andere geestesrichting dan dit rationalisme heerschte in Engeland. In dit land, dat door den bloei van zijn handel langzamerhand aan de spits der economische ontwikkeling kwam te staan en meer dan andere landen een onbegrensde toekomst voor zich zag, was de geest der menschen bovenal op de praktijk, op de werkelijkheid gericht. Hier heerschte filosofisch de van alle abstrakte bespiegeling afkeerige empiristische richting. De Engelschen lieten zich door geen spekulatief systeem verhinderen de praktijk tot leidster van hun filosofische denkwijze te maken, en zoo werden zij tot baanbrekers van een nieuwe wetenschappelijke beschouwingswijze. Zij konden met de theorie van Newton praktisch werken; zij konden daarmee de banen der hemellichamen juist en nauwkeurig berekenen, en dat bewees haar waarheid. Aan de geleerden op het vasteland gaf Newton's leer geen antwoord op de vragen, die hen bezighielden; want wanneer wij weten, volgens welke wet de aantrekking van de zon of de aarde werkt, zijn wij nog even ver van het inzicht verwijderd, waar deze kracht vandaan komt en wat eigenlijk haar wezen is. Daarentegen werden de Engelsche geleerden door zulke zorgen niet gekweld. "De oorzaak van deze eigenschappen der aantrekkingskracht" schreef Newton aan het slot van zijn werk, "kon ik echter niet uit de verschijnselen afleiden, en hypothesen verzin ik niet. Want een hypothese is dat, wat uit de verschijnselen niet kan gevonden worden; en hypothesen, hetzij metaphysische of physische, hetzij met behulp van verborgen eigenschappen of mechanische, behooren in de proefondervindelijke wijsbegeerte niet te huis."

Dat ten slotte de filosofische hindernissen in andere landen overwonnen werden, lag niet enkel aan de

overtuigingskracht, die van de juistheid der op Newton's theorie berustende berekeningen uitging. Er kwam bij, dat in de 18^{de} eeuw in Frankrijk met de opkomende oppositie en kritiek der politieke en maatschappelijke toestanden een geestestoestand ontstond, die Engeland bewonderde en tot voorbeeld nam en de Engelsche empiristische denkwijze in zich opnam. Voltaire maakte zijn landgenooten met de nieuwe Engelsche filosofie bekend, die nu een veel gunstiger bodem vond. Een reeks van schitterende wiskundigen bouwden voort op Newton's werk, en berekenden volgens zijn aantrekkingswet de beweging van de planeten en de maan met steeds grooter nauwkeurigheid; toen zonken de oude wervelkringen, die tot zoo iets niet in staat waren, in de vergetelheid weg. En toen in het laatst van die eeuw Laplace het geheele zonnestelsel als een groot mechanisme, een machine beschreef, waar alle bewegingen tot in de kleinste bijzonderheden berekend werden als een puur wiskundig vraagstuk, toen was de triomf van Newton's theorie volkomen.

En nu trad ook een volkomen ommekeer in de gronddenkenbeelden voor den dag. Terwijl Newton zelf, blijkens zijn boven aangehaalde woorden, over de "oorzaak" van de aantrekkingswet gesproken had als iets, waarover men alleen vermoedens kon opperen, die in de strenge wetenschap niet thuis behoorden, vond men nu zulk een oorzaak niet meer noodig; als een verschijnsel tot een uit de verte werkende aantrekkingskracht teruggebracht was, achtte men het volkomen verklaard en alle raadsels opgelost. Het doel der wetenschap, met name der mechanica, was nu, alle verschijnselen en bewegingen uit de krachten te verklaren, die ze bewerken. Een aantrekkingskracht, die van uit de verte door een leege ruimte heen op de lichamen werkte, scheen aan de geleerden in het begin der 19^{de} eeuw zoo eenvoudig, begrijpelijk en natuurlijk toe, dat zij ook andere verschijnselen, b.v. de elektrische en magnetische werkingen door zulke van verre werkende krachten zochten te verklaren. En toen Gruithuisen, een door allerlei zonderlinge ideeën bekende Beiersche professor, eens verklaarde, dat aantrekking van verre een onding was en dat een aantrekkende kracht zonder verbindende touwen of stangen niet denkbaar was, moest hij zich wegens dit gebrek aan begrip menige spotternij laten welgevalen.

En toch had hij niet zoo heelemaal ongelijk; mettertijd lieten zich steeds meer stemmen hooren, die er op wezen, dat het woord "kracht" toch eigenlijk niets is dan een woord, dat juist van pas komt, als men iets niet weet te verklaren. Wanneer wij de oorzaak van het vallen van de steenen "zwaartekracht" noemen, weten wij er dan iets meer van dan te voren? Neen, het verschijnsel, dat een steen vanzelf naar de aarde valt, is er even geheimzinnig door gebleven. En wanneer wij met Newton de oorzaak van de planetenbeweging in een aantrekkingskracht zoeken, die dezelfde natuur heeft als de aardsche zwaartekracht, geven wij ons dan niet aan het zelfbedrog over, dat wij iets onbekends meenen te kunnen verklaren door iets, dat even onbekend is? Hadden dus, welbeschouwd, Leibniz en Huygens niet gelijk, toen zij vroegen, wat de wet van Newton hen nu eigenlijk in het begrijpen van de wereld verder gebracht had?

De tegenstrijdigheid tusschen zulke twijfelingen en de zekerheid, die wij desondanks gevoelen, dat wij in Newton's aantrekkingswet toch een verklaring van de hemelsche bewegingen bezitten, wordt opgelost door het inzicht, wat eigenlijk wetenschappelijk verklaren beteekent. In de laatste halve eeuw is dit inzicht in de kennisleer zooveel helderder geworden, dat nu voor geheimzinnigheid en mystiek in de leer der wetenschap geen plaats meer is.

Wetenschap doet niets anders, dan systeem en orde in de menschelijke ervaring brengen. De verwarrende veelheid der verschijnselen kan in onze hersens geen plaats vinden; daarom vatten wij datgene, wat telkens en overal terugkomt, het algemeene, het gemeenschappelijke in een groep van verschijnselen theoretisch in een begrip samen. "De wetenschap," aldus Mach, "heeft de economische

taak, ervaringen te sparen en de feiten met het kleinst mogelijke gebruik van gedachten weer te geven." "Het is de taak der mechanika," had Kirchhoff reeds vroeger gezegd, "om de bewegingen in de natuur zoo eenvoudig en volledig mogelijk te beschrijven." "De menschelijke geest," aldus Dietzgen, "is het orgaan van het algemeene; het wetenschappelijke oorzaakbegrip wil niets anders, dan het algemeene der verschijnselen uitdrukken." Zoo is in het begrip "zwaartekracht" het gemeenschappelijke samengevat van alle verschijnselen van vallende of voortgeworpen steenen, weggeschoten kogels, van een drijvende kurk en een opstijgenden luchtballon, een schommelenden slinger, van neervallenden regen, van golven op zee en stroomende rivieren. Al deze verschijnselen verschillen door de bijzondere omstandigheden en de verschillende eigenschappen der stoffen; wat hun echter gemeen is, wordt door het begrip en de wet van de zwaartekracht weergegeven. Wij behoeven nu niet meer elk bijzonder geval van een weggeworpen steen of een vallend lichaam te onthouden en evenmin al deze verschillende soorten van verschijnselen; in de "zwaartekracht" hebben wij ze alle als het ware in een korte formule samengevat; door de theorie, de wet der zwaartekracht weten wij precies wat in elk dergelijk geval van een beweging op aarde gebeurt.

Het is zinloos, daarbij nog naar een verborgen "wezen" der kracht te vragen. Wat alleen werkelijk voorhanden is, is de totaliteit van alle verschijnselen. Een zwaartekracht als iets aparts bestaat alleen in ons hoofd, als begrip, en nergens anders. De vraag naar het wezen der zwaartekracht is de vraag naar het wezen van alle abstrakte begrippen, en het antwoord luidt, dat zij het algemeene uit de konkrete verschijnselen uitdrukken. Maar daarmee is niet gezegd, dat er verder niets te vragen overblijft. Het begrip "zwaartekracht" is uit een bepaalde groep van verschijnselen gevormd; daarnaast bestaan talloze andere verschijnselen — bv. het kaatsen van biljartballen, het op- en ondergaan van de zon, bliksem en donder, het lichtgeven van een kaars — die er niets mee te maken hebben. Gelukt het nu echter een samenhang met zulke verschijnselen te vinden, dus in deze veel grootere groep van verschijnselen iets gemeenschappelijks te vinden, dat dan nog algemeener is dan de zwaartekracht, zoodat de zwaartekracht als bijzonder geval, als uitvloeisel van dit nog algemeener begrip optreedt, dan wordt de ekonomie van het denken nog hoger opgevoerd, de beschrijving van de wereld nog eenvoudiger gemaakt, ons inzicht in de wereld grooter en volkomener, onze wetenschap rijker en geslotener.

Het mooiste voorbeeld van zulk een vervolmaking der wetenschap is nu juist de theorie van Newton; en omgekeerd toont ons deze exkursie op het terrein der kennisleer, waarin de groote beteekenis van de leer van Newton ligt, die wij tot dusver slechts instinctief voelden. Vóór den tijd van Newton waren de bewegingen op aarde en de bewegingen in de wereldruimte twee geheel verschillende groepen van verschijnselen, die niets met elkaar te maken hadden. De eerste groep werd door Galilei's wetten der zwaartekracht, de tweede groep door Kepler's wetten der planetenbeweging samengevat. Newton vereenigde ze tot één geheel, door de planetenbeweging tot een algemeene aantrekkingskracht terug te brengen, waarvan de aardsche zwaartekracht slechts een bijzonder geval is. Meer nog: niet alleen de wetten van Kepler zelf, maar ook de afwijkingen van die wetten werden door zijn theorie weergegeven. De onregelmatigheden in de maanbeweging, de getijden in de oceanen, de zwakke aantrekkingskracht door aardsche gewichtblokken, de gedaante van het aardoppervlak, de verandering van den sterrenhemel door den teruggang der nachteveningen — al deze verschijnselen werden in het begrip "aantrekkingskracht" samengevat en door een eenvoudige wet uitgedrukt. Doordat zij gelijksoortig blijken te zijn met de ons van ouds bekende valverschijnselen op aarde, verliezen zij voor ons al wat er vreemd, onbekend en geheimzinnig aan was. In een paar eenvoudige stellingen wordt een onafzienbaar gebied van de meest verschillende verschijnselen, op aarde en aan den hemel, in verleden en toekomst, eenvoudig en volledig beschreven, in orde en systeem gebracht. Daarin ligt de buitengewone

belangrijkheid van Newton's ontdekking.

Wanneer dus naar een verdere verklaring van het wezen of de oorzaak der aantrekkingskracht gevraagd wordt, komt dat meestal neer op een gebrek aan inzicht in het wezen van alle wetenschappelijke verklaring. In de 19^{de} eeuw zijn een groot aantal "verklaringen" van de aantrekkingskracht uitgedacht, waarbij deze kracht nu eens uit het stooten van rondvliegende kleine deeltjes, dan weer uit de drukking van een de wereldruimte vullende vloeistof afgeleid werd. Voorzoover die verklaringen van de grondgedachte uitgaan, dat druk en stoot iets zonder meer natuurlijks en begrijpelijks, aantrekking iets vreemds en onbegrijpelijks is, berusten zij op een misvatting. Omgekeerd zijn er natuurkundigen geweest, die de verschijnselen van botsing en vloeistofdruk uit de werkingen van kleine stofdeeltjes afleidden, die elkaar niet onmiddellijk aanraken maar van op een afstand aantrekken of afstooten. Voor het eene is evenveel te zeggen als voor het andere, in zooverre daarbij druk, stoot en aantrekking, die ons alle uit het dagelijksch leven bekend zijn, met elkaar in samenhang worden gebracht. Wanneer het gelukte, door samenvatting van de aantrekkingskracht en die andere groepen van verschijnselen een eenvoudiger beeld van dit geheele gebied te krijgen, dan zou men inderdaad van een "verklaring" van de aantrekkingskracht mogen spreken. Maar bij al deze theorieën zijn zooveel gekunstelde onderstellingen noodig, dat zij geen van alle aan dien eisch voldoen; een vereenvoudiging van ons wereldbeeld hebben zij niet gegeven.

Huygens had iets dergelijks gewild; maar voor hem lag de zaak nog eenigszins anders. Dat hij de aardsche zwaarte uit de wervelkringen zocht te verklaren, die de planeten rondsleepten, lag voor hem hierom zoo voor de hand, omdat hij uit geheel andere verschijnselen de overtuiging gekregen had, dat de wereldruimte niet ledig maar met een of andere stof, een wereldaether gevuld moest zijn. Naar de door hem opgestelde theorie van het licht brengen de heete, lichtgevende voorwerpen dezen aether in fijne snelle trillingen, die zich dan als golvingen naar alle kanten met de bekende reusachtige snelheid van bijna 300000 KM. per sekonde uitbreiden en in ons oog treden. Newton had daartegenover de theorie opgesteld, dat het licht uit kleine deeltjes bestaat, die door de gloeiende voorwerpen weggeslingerd worden en met groote vaart door de ledige wereldruimte vliegen; en deze theorie vond in de 18^{de} eeuw den meesten aanhang. In het begin van de 19^{de} eeuw werden echter lichtverschijnselen ontdekt en nader onderzocht, die alleen uit golvingen en trillingen te verklaren waren; hier bleek Huygens dus gelijk te hebben gehad. En aan deze lichttheorie van Huygens knoopte in de 19^{de} eeuw een nieuwe richting der wetenschap aan.

De stoot voor dezen ommekeer in de gronddenkenbeelden der natuurkunde kwam weer uit Engeland. Terwijl Duitsche professoren de aantrekking uit de verte omgekeerd evenredig met het vierkant van den afstand tot filosofisch principe der natuur proklameerden, en haar tot verklaring der elektrische verschijnselen gebruikten, kwam een Engelsch onderzoeker, de apothekersbediende Michael Faraday, door zich enkel door de proefnemingen zelf te laten leiden, tot geheel andere opvattingen. Zijn geestesoog zag tusschen de elektrisch geladen lichamen en stroomgeleiders een onzichtbare middenstof, die gespannen, gedrukt, getrokken en gedraaid werd en daardoor de bewegingen veroorzaakte, die zich aan ons als elektrische afstooting en aantrekking vertoonen. Zijn denkbeelden stonden zoo geheel vreemd tegenover de heerschende theoretische opvattingen, dat zij eerst veel later eenigermate begrepen werden, toen Maxwell ze in wiskundigen vorm uitdrukte. Toen vonden zij in de tweede helft der 19^{de} eeuw, tegen de remmende macht der ingewortelde traditie, steeds meer bijval, eerst in Engeland, daarna op het vasteland. Want zij had op de oude theorieën dit voor, dat zij uit de wetten der elektriciteit tegelijk alle verschijnselen van het licht wist te verklaren, en aldus twee tot nog toe geheel gescheiden groepen van verschijnselen tot één theorie terugbracht. Die alom tegenwoordige substantie van Faraday, die door haar spanning en beweging de elektrische en magnetische verschijnselen bewerkt,

is niets anders dan de wereldaether, dien Huygens voor de verklaring van het licht had aangenomen. De juistheid van de theorie van Maxwell, waarvan de draadloze telegrafie een direkte toepassing is, wordt thans door iedereen erkend.

Het lag nu voor de hand om te beproeven, of ook de algemeene aantrekkingskracht niet evengoed als de elektrische krachten met behulp van deze overal aanwezige middenstof, den wereldaether, verklaard kon worden. Deze pogingen zijn echter niet gelukt; en het is naderhand gebleken, dat op deze wijze het probleem te beperkt gesteld was. Voor de wetenschap komt het er niet op aan, een antwoord juist in de richting te vinden, die men verwacht; haar doel wordt bereikt door de aantrekkingskracht op een of andere wijze in samenhang met de andere natuurverschijnselen te brengen, en zoo tot een dieper inzicht in haar wezen, tot een grootere eenheid in de natuurleer te komen. En in dezen zin is juist in de laatste jaren een belangrijke schrede op den weg der "verklaring" van de gravitatie gedaan.

Wij hebben in onze beschouwingen over beweging en rust uiteengezet, dat het onmogelijk is om in de wereldruimte van absolute beweging of rust te spreken. Alle lichamen bewegen zich ten opzichte van elkaar, en alleen deze relatieve bewegingen kunnen wij leren kennen. Wij mogen voor het gemak, om de verschijnselen eenvoudig uit te drukken, nu eens de aarde, dan weer de zon als rustend aannemen; maar weten doen wij het niet. Of liever, er is in het geheel niet over te spreken, of een of ander punt in rust is, daar dit een zinledig woord is. Dit was de grondslag van de ontwikkeling der mechanika in de 17^{de} eeuw. Maar gaat dat alles nu nog wel op? De natuurkunde van de 19^{de} eeuw leert, dat de geheele wereldruimte gevuld is met den wereldaether, het voertuig der lichtverschijnselen. Het ligt nu voor de hand om alle bewegingen ten opzichte van dezen aether te beschouwen; en dan kan men wel van absolute beweging en rust spreken. In absolute rust is de wereldaether en elk ding, dat zich ten opzichte van den wereldaether niet beweegt.

Het was nu van belang om de beweging van de aarde in absoluten zin, dus t.o.v. den wereldaether te vinden. De aether doordringt alle stoffen, vult de tussenruimte tussen alle atomen, en wanneer dus de lichamen, waarmee wij werken, en hun atomen met groote snelheid (b.v. van 27 KM per seconde, de snelheid van de aarde in haar baan) door den aether heen vliegen, moet dat in bepaalde optische en elektrische verschijnselen voor den dag komen. Men heeft deze proeven herhaaldelijk gedaan, maar de verwachte verschijnselen bleven uit. Van een invloed der snelle beweging van de aarde t.o.v. den aether was niets te bespeuren. Op alle vragen, die men haar omtrent onze absolute beweging stelde, bleef de natuur stom. Het was alsof ze zeide: uw vragen zijn zinloos. Men heeft allerlei onderstellingen gemaakt om het uitblijven van de verwachte verschijnselen te verklaren, tot Albert Einstein in 1906 in zijn relativiteitstheorie het principe formuleerde, volgens hetwelk dit uitblijven natuurlijk en vanzelfsprekend was. Niet alleen de hemelsche bewegingen, maar ook alle natuurkundige verschijnselen, die wij waarnemen, vinden zóó plaats, dat daarbij van geen absolute maar alleen van relatieve bewegingen sprake is. Wij mogen in de wereld als rustend of bewegend aannemen, wat wij willen: alle wetten en verschijnselen moeten er dezelfde om blijven. Het is alsof er in het geheel geen wereldaether is, en vele natuurkundigen, ook Einstein zelf, laten de onderstelling dat er een wereldaether bestaat, als een soort stoffelijke substantie, die alle werkingen in de ruimte voortplant, geheel vervallen. Daarvoor in plaats treedt dan echter het feit, dat de snelheid van het licht een bepalende rol in alle bewegingsverschijnselen speelt; want alle kennis, die een waarnemer van de gebeurtenissen in de wereld heeft, en die hij in wetten uitdrukt, wordt hem naar zijn rustend of beweeglijk gedachte standplaats overgebracht door voortplanting van lichtverschijnselen. De lichtsnelheid is de bovenste grens van alle mogelijke bewegingen. Niet alleen is het onmogelijk en zelfs ondenkbaar, dat ooit een voorwerp deze snelheid overtreft of zelfs bereikt,

maar elke werkelijke beweging voelt ook het bestaan van die grens als het ware als een soort druk van boven, die haar wijzigt, zij het ook in een zoo geringe mate, als zij gering is in verhouding tot de lichtsnelheid.

Nu verschijnt de algemeene aantrekkingskracht ook in een nieuw licht. Zij is onder alle natuurkrachten een zeer bijzondere, of nog juister gezegd: alle andere (b.v. de elektrische) krachten zijn bijzonder en hangen van bijzondere toestanden af; maar de gravitatie is algemeen en wordt bepaald door dezelfde massa, die in alle bewegingen een rol speelt. Het is zelfs de vraag of men haar wel een aparte kracht mag noemen. Want men kan haar door wijziging van onze onderstellingen omtrent rust en beweging geheel laten verdwijnen. Wij hebben bij onze beschouwingen over de middelpuntvliedende kracht al gezien, hoe een bewegingstoestand zich als kracht kan openbaren. Was de aarde steeds met een ondoorzichtige wolkenlaag bedekt, zoodat de menschen nooit iets van de sterren hadden bemerkt, dus ook nooit op het idee van een aswenteling waren gekomen, dan zouden zij uit nauwkeurige waarnemingen gevonden hebben, dat de aantrekkingskracht op een bepaalde manier van de plaats op aarde afhangt, en zoo hadden ze alle bekende feiten evengoed weergegeven als wij door onze leer van de aswenteling doen. Een ander voorbeeld kunnen wij vinden in het projectiel, dat Jules Verne naar de maan liet schieten; de menschen daar binnen in konden niets van zwaarte ondervinden, omdat zij met alle voorwerpen om hen heen even snel als het projectiel zelf naar de aarde toe vielen (d.w.z. hun vaart naar boven in dezelfde mate vertraagden). In al hun bewegingen t.o.v. elkaar en de wanden was de zwaartekracht afwezig, opgeheven door hun gemeenschappelijke beweging. Wij kunnen ons nu in plaats van dit projectiel een kamer, duizenden malen grooter voorstellen, met dezelfde beweging; dan kunnen wij alle bewegingen en verschijnselen daar binnen t.o.v. de kamer voorstellen, alsof deze in rust is. Daar gelden alle wetten van de mechanika en de natuurkunde; er is geen aantrekkingskracht, alles is gewichtloos en heeft enkel massa, alle bewegingen vinden eenparig plaats, en een kogel, die er horizontaal doorheen vliegt, loopt volkomen rechthoekig. Beschouwen wij echter alles t.o.v. de vaste aarde beneden, dan gelden ook nu nog dezelfde natuurwetten alle, maar nu zijn de bewegingen naar beneden versneld, de kogel beschrijft een gekromde baan, de voorwerpen oefenen een druk naar beneden uit, en wij zeggen, dat er een aantrekkingskracht werkt.

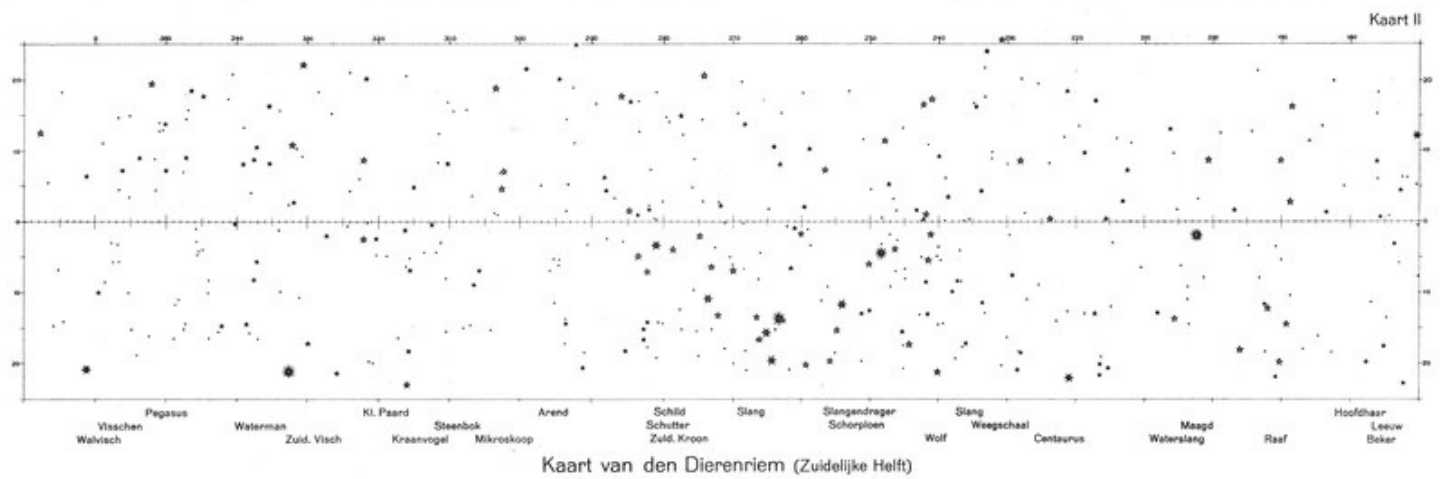
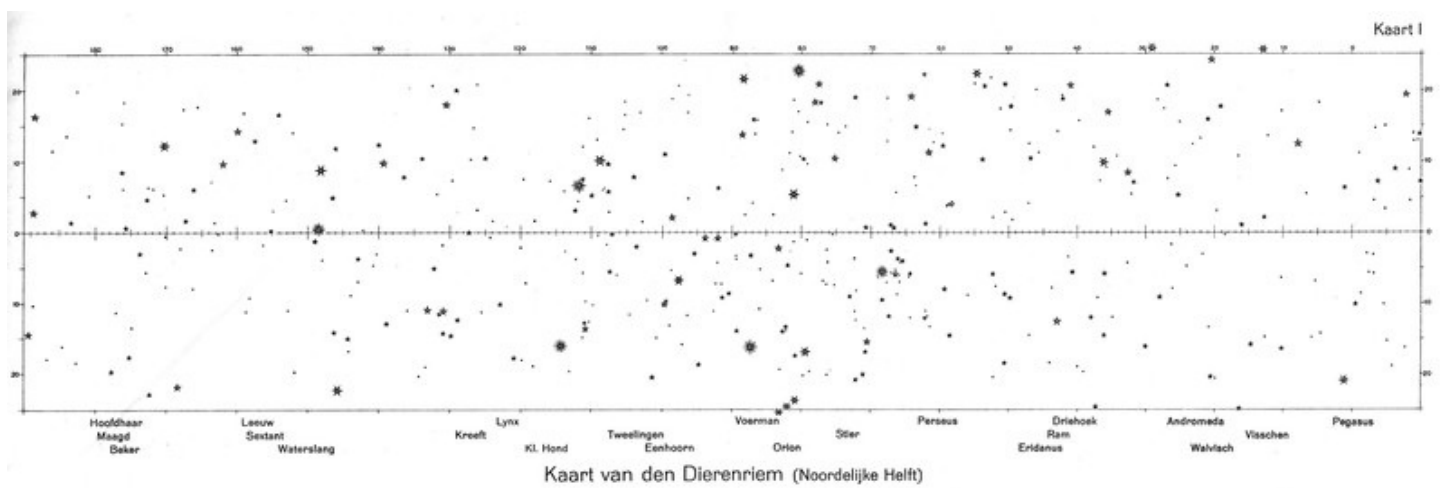
Nu zou men kunnen opmerken, dat de laatste manier van beschouwen dan toch de meer natuurlijke en juiste is, terwijl de eerste alleen maar een oogenblik als gefantaseerd geval gedacht wordt. Maar volgens het beginsel van de relativiteit zijn beide manieren van opvatting even goed en even juist; men kan alleen dit onderscheid maken, dat de een voor ons praktischer en doelmatiger kan zijn dan de andere, omdat ze eenvoudiger formules geeft of ruimer gebieden omvat. Maar daaraan, wat voor ons doelmatig is, kan de natuur zich niet storen; zij mag niet van onze willekeur afhankelijk zijn, en de natuurwetten moeten in beide gevallen op dezelfde manier gelden. De natuurwetten mogen dus nooit zóó geformuleerd worden, dat er een onderstelling in ligt omtrent rust of absolute beweging; want dan zijn ze zeker niet precies goed. Nu zijn uit de waarnemingsgegevens dikwijls eenvoudige natuurwetten afgeleid, waarvan nu blijkt, dat ze niet aan dezen eisch voldoen van onveranderd te blijven gelden, wat wij ook over onze beweging of rust willen aannemen. Zij moeten dus eenigszins gewijzigd worden, maar daar dit maar uiterst weinig is — omdat de snelheden ten opzichte van de lichtsnelheid uiterst klein zijn — zal het verschil in de praktijk meestal absoluut onmerkbaar zijn. Ook de eenvoudige aantrekkingswet, die Newton had afgeleid, kan nu niet meer precies goed zijn; de gravitatie moet nog op zeer ingewikkelde wijze van de snelheden af hangen. Bij zijn berekeningen bleek het in 1915 aan Einstein, dat de wijzigingen, die daardoor in de planetenbeweging ontstaan, zoo klein zijn, dat zij voor onze beste waarnemingen geheel onmerkbaar blijven — met één uitzondering: de groote as van de Mercuriusbaan moet door dezen invloed 43 sekonden per eeuw van richting veranderen. Nu was echter juist (zie [blz. 275](#)) het eenige punt, waarin de

waarnemingen en de berekening volgens de wet van Newton niet overeenstemden, dat de groote as van de Mercurius-baan per eeuw 43 seconden te veel draaide. Zonder dat dus eenige verdere onderstelling noodig was, gaf de relativiteitstheorie ineens een ongezochte verklaring van het eenige feit in de planetenbeweging, dat door de zuivere wet van Newton niet verklaard kon worden. Dit was een triomf van de nieuwe theorie, die bewees, dat het door Einstein vooropgestelde relativiteitsbeginsel geen theoretische fantasie was, maar in de werkelijkheid van de natuur wortelt.

In het voorbeeld van Jules Verne's projektiel bleek, dat de verschijnselen daar binnenin op twee manieren beschouwd en verklaard konden worden: de eene plaats vindende in een ruimte zonder gravitatie, de andere in een ruimte met gravitatie. Deze beide manieren van beschouwing verschillen alleen, doordat de ruimten in beide gevallen op een bepaalde manier ten opzichte van elkaar bewegen; de gravitatie is dus geheel gelijkwaardig met betrekkingen tusschen de eene ruimte en de andere, die niets met lichamen, maar alleen met meetkundige eigenschappen van de ruimte en met tijd te maken hebben. De gravitatie is niet een bijzondere kracht, die op een lichaam werkt, dat zich ergens in de ruimte bevindt; zij is een eigenschap van die ruimte zelf; zij is als het ware een verandering, een vervorming van de meetkundige eigenschappen van de ruimte (en daarbij ingesloten de tijd) waarin zij werkt, en dit maakt, dat de beweging van de lichamen daarin niet meer eenparig rechtlijnig kan zijn. Een eeuw geleden hadden Laplace en Poisson de gravitatie ook al, in plaats van als kracht tusschen twee lichamen, opgevat als een grootheid, die op elk punt van de ruimte een bepaalde waarde heeft, bepaald door de naaste (ledige of met stof gevulde) omgeving, en die zich dus van plaats tot plaats voortplanten moet; deze grootheid bepaalt, wat er met de beweging van een lichaam gebeurt, dat zich in dat punt bevindt. Wat voor hen een wiskundige grootheid was geweest, alleen ten dienste van de berekeningen, heeft nu echter een dieperen zin gekregen. Want de relativiteitstheorie, die de gravitatie tot een meetkundige eigenschap van de ruimte maakt, brengt vanzelf mee, dat alle natuurkundige verschijnselen in deze ruimte daarvan den invloed ondervinden, d.w.z. naar het ons voorkomt, onderworpen zijn aan de aantrekkingskracht. Evenals een voortgeschoten kogel loopt ook een horizontale lichtstraal door onze bovenonderstelde projektielkamer rechtlijnig voort. Maar dan moet ten opzichte van de aarde deze lichtstraal evengoed als de kogel een gebogen baan beschrijven. Een lichtstraal — dat volgt dus uit het relativiteitsbeginsel — is aan de zwaarte onderworpen en gedraagt zich als een voorwerp, dat met een snelheid van 300000 K.M. per sekonde voortvliegt. Ook deze gevolgtrekking heeft men op de proef kunnen stellen. Een lichtstraal, die van een ster achter de zon komt en langs haar rand strijkt, zal door de aantrekking van de zon $1\frac{3}{4}$ sekonde van haar richting worden afgebogen; de fotografieën, die bij de totale zoneklips van 29 Mei 1919 werden opgenomen, hebben deze voorspelling geheel bevestigd.

Zoo heeft de leer van de gravitatie in de 20^{ste} eeuw een grooten sprong voorwaarts gedaan — de grootste vooruitgang sinds Newton — maar in geheel andere richting dan in de 19^e eeuw verwacht werd. Men had gehoopt, de aantrekkingskracht uit haar isolement te kunnen bevrijden door haar terug te brengen tot denzelfden wereldaether, die de natuurkunde als drager van alle elektrische verschijnselen en van de voortplanting van het licht had opgesteld. Maar de samenhang van deze verschillende gebieden is omgekeerd tot stand gebracht door alle natuurkundige verschijnselen aan de gravitatie te onderwerpen. En deze gravitatie zelf staat onaantastbaarder en geheimzinniger voor ons door haar identiteit met de meest fundamenteele meetkundige eigenschappen van ruimte en tijd. Men had gehoopt, de hypothesen, die Newton niet had willen verzinnen, en die de aantrekking uit bekende en begrijpelijke inwerkingen van lichamen op elkaar moest verklaren, te kunnen vinden door tot de grondgedachte van Huygens terug te keeren, in moderneren, hooger ontwikkelden vorm, door den toestand op elk punt van de ruimte aan een overal tegenwoordige substantie met bepaalde eigenschappen toe te schrijven. Maar op het voetspoor van Newton maakt Einstein de ruimte weer ledig, vraagt niet hoe men zich de werkingen moet voorstellen,

doch beperkt zich tot het opstellen van formules, waarmee de verschijnselen juist berekend kunnen worden. Als men dan let op de fundamentele betekenis van de lichtsnelheid, waarmee zich de werkingen door de wereldruimte voortplanten, dan is het duidelijk, dat deze onderzoekingen van Einstein de ontwikkeling van de leer der gravitatie tot een steeds grootere eenheid in het wetenschappelijk natuurbeeld niet afgesloten, maar haar veeleer nieuwe banen geopend hebben.



Transcriber's Notes:

De volgende zetfouten zijn gecorrigeerd:

[\[zich van het Noorwesten\] —>](#)

[\[zich van het Noordwesten\]](#)

[\[de kracht der zonnestaling\] —>](#)

[\[de kracht der zonnestraling\]](#)

[\[Zuiden haar grootste hoogste.\] —>](#)

[\[Zuiden haar grootste hoogte.\]](#)

[\[het middenpunt van dien cirkel\] —>](#)

[\[het middelpunt van dien cirkel\]](#)

[\[precies 365 dagen 6 uur\] —>](#)

[\[precies 365 dagen en 6 uur\]](#)

[\[als flauwe rimpeling zien\] —>](#)

[\[als flauwe rimpeling zien\]](#)

[\[knnen blijven\] —>](#)

[\[kunnen blijven\]](#)

[\[de volmaakste lichaamsvorm\] —>](#)

[\[de volmaaktste lichaamsvorm\]](#)

[\[de volmaakste figuur\] —>](#)

[\[de volmaaktste figuur\]](#)

[\[gedeeltijk in de oudheid\] —>](#)

[\[gedeeltelijk in de oudheid\]](#)

[\[in orde wes gebracht\] —>](#)

[\[in orde was gebracht\]](#)

[\[die ten Zuiden\] —>](#)

[\[die ten Zuiden\]](#)

[\[plaatsen op het Noordelijk\] —>](#)

[\[plaatsen op het Noordelijk\]](#)

[\[over hnn ware\] —>](#)

[\[over hun ware\]](#)

[\[wij ook blz. 181\] —>](#)

[\[wij ook op blz. 181\]](#)

[\[dle het vallen\] —>](#)

[\[die het vallen\]](#)

[\[goed kunnen beprijpen.\] —>](#)

[\[goed kunnen begrijpen.\]](#)

[\[rond geslingerd werdt\] —>](#)

[\[rond geslingerd werd\]](#)

[\[bij punten spreken\] —>](#)

[\[van punten spreken\]](#)

[\[zoo grooten triumf\] —>](#)

[\[zoo grooten triomf\]](#)

[\[Hei is nu gemakkelijk\] —>](#)

[\[Het is nu gemakkelijk\]](#)

[\[duizende schepen\] —>](#)

[\[duizenden schepen\]](#)

[\[nauwlijks hooger dan\] —>](#)

[\[nauwelijks hooger dan\]](#)

[\[zooals de figur aangeeft\] —>](#)

[\[zooals de figuur aangeeft\]](#)

[19e eeuw] / [19de eeuw]: beide schrijfwijzen komen meerdere keren voor, maar de laatste het meest (ook voor andere eeuwen) Dit is niet gecorrigeerd.

[sekonden] / [seconden] / [sekunden]: deze drie schrijfwijzen komen allen meerdere keren voor. De eerste twee zijn reguliere Nederlandse schrijfwijzen, de derde is dat niet: waarschijnlijk is dit een onvertaald Duits woord. Dit is niet gecorrigeerd.

De papieren versie gebruikt voornamelijk gespatieerde tekst en vetgedrukte tekst om fragmenten te benadrukken. Deze opmaak is in de HTML-versie overgenomen maar kan toch op tekst-fragmenten doorzocht worden alsof er van spatiëring geen sprake is. De 'platte tekst'-versie simuleert met [~] de **vetgedrukte** en met [_] de g e s p a t i e e r d e fragmenten.

Als u de spatiëring in de HTML-versie niet prettig vindt lezen, kunt u dit eenvoudig aanpassen door de CSS-tag [expand_spacing] in het

<style>-gedeelte een andere opmaak te geven.

In de HTML-versie staan paginanummers: onderaan de pagina's. Ze zijn wel zichtbaar, maar niet op te zoeken of te selecteren. Dat geldt ook voor afbreekstreepjes die soms aan het einde van een pagina voor komen. Het voordeel daarvan is dat de lezer kan zoeken op tekstfragmenten zonder zich zorgen te hoeven maken over daarin aanwezige paginanummers en afbreekstreepjes.

End of Project Gutenberg's DE WONDERBOUW DER WERELD, by A. Pannekoek

*** END OF THIS PROJECT GUTENBERG EBOOK DE WONDERBOUW DER WERELD ***

***** This file should be named 59744-h.htm or 59744-h.zip *****

This and all associated files of various formats will be found in:

<http://www.gutenberg.org/5/9/7/4/59744/>

Produced by R.G.P.M. van Giesen

Updated editions will replace the previous one--the old editions will be renamed.

Creating the works from print editions not protected by U.S. copyright law means that no one owns a United States copyright in these works, so the Foundation (and you!) can copy and distribute it in the United States without permission and without paying copyright royalties. Special rules, set forth in the General Terms of Use part of this license, apply to copying and distributing Project Gutenberg-tm electronic works to protect the PROJECT GUTENBERG-tm concept and trademark. Project Gutenberg is a registered trademark, and may not be used if you charge for the eBooks, unless you receive specific permission. If you do not charge anything for copies of this eBook, complying with the rules is very easy. You may use this eBook for nearly any purpose such as creation of derivative works, reports, performances and research. They may be modified and printed and given away--you may do practically ANYTHING in the United States with eBooks not protected by U.S. copyright law. Redistribution is subject to the trademark license, especially commercial redistribution.

START: FULL LICENSE

THE FULL PROJECT GUTENBERG LICENSE

PLEASE READ THIS BEFORE YOU DISTRIBUTE OR USE THIS WORK

To protect the Project Gutenberg-tm mission of promoting the free distribution of electronic works, by using or distributing this work (or any other work associated in any way with the phrase "Project Gutenberg"), you agree to comply with all the terms of the Full Project Gutenberg-tm License available with this file or online at www.gutenberg.org/license.

Section 1. General Terms of Use and Redistributing Project Gutenberg-tm electronic works

1.A. By reading or using any part of this Project Gutenberg-tm electronic work, you indicate that you have read, understand, agree to and accept all the terms of this license and intellectual property (trademark/copyright) agreement. If you do not agree to abide by all the terms of this agreement, you must cease using and return or destroy all copies of Project Gutenberg-tm electronic works in your possession. If you paid a fee for obtaining a copy of or access to a Project Gutenberg-tm electronic work and you do not agree to be bound by the terms of this agreement, you may obtain a refund from the person or entity to whom you paid the fee as set forth in paragraph 1.E.8.

1.B. "Project Gutenberg" is a registered trademark. It may only be used on or associated in any way with an electronic work by people who agree to be bound by the terms of this agreement. There are a few things that you can do with most Project Gutenberg-tm electronic works even without complying with the full terms of this agreement. See

paragraph 1.C below. There are a lot of things you can do with Project Gutenberg-tm electronic works if you follow the terms of this agreement and help preserve free future access to Project Gutenberg-tm electronic works. See paragraph 1.E below.

1.C. The Project Gutenberg Literary Archive Foundation ("the Foundation" or PGLAF), owns a compilation copyright in the collection of Project Gutenberg-tm electronic works. Nearly all the individual works in the collection are in the public domain in the United States. If an individual work is unprotected by copyright law in the United States and you are located in the United States, we do not claim a right to prevent you from copying, distributing, performing, displaying or creating derivative works based on the work as long as all references to Project Gutenberg are removed. Of course, we hope that you will support the Project Gutenberg-tm mission of promoting free access to electronic works by freely sharing Project Gutenberg-tm works in compliance with the terms of this agreement for keeping the Project Gutenberg-tm name associated with the work. You can easily comply with the terms of this agreement by keeping this work in the same format with its attached full Project Gutenberg-tm License when you share it without charge with others.

1.D. The copyright laws of the place where you are located also govern what you can do with this work. Copyright laws in most countries are in a constant state of change. If you are outside the United States, check the laws of your country in addition to the terms of this agreement before downloading, copying, displaying, performing, distributing or creating derivative works based on this work or any other Project Gutenberg-tm work. The Foundation makes no representations concerning the copyright status of any work in any country outside the United States.

1.E. Unless you have removed all references to Project Gutenberg:

1.E.1. The following sentence, with active links to, or other immediate access to, the full Project Gutenberg-tm License must appear prominently whenever any copy of a Project Gutenberg-tm work (any work on which the phrase "Project Gutenberg" appears, or with which the phrase "Project Gutenberg" is associated) is accessed, displayed, performed, viewed, copied or distributed:

This eBook is for the use of anyone anywhere in the United States and most other parts of the world at no cost and with almost no restrictions whatsoever. You may copy it, give it away or re-use it under the terms of the Project Gutenberg License included with this eBook or online at www.gutenberg.org. If you are not located in the United States, you'll have to check the laws of the country where you are located before using this ebook.

1.E.2. If an individual Project Gutenberg-tm electronic work is derived from texts not protected by U.S. copyright law (does not contain a notice indicating that it is posted with permission of the copyright holder), the work can be copied and distributed to anyone in the United States without paying any fees or charges. If you are redistributing or providing access to a work with the phrase "Project Gutenberg" associated with or appearing on the work, you must comply either with the requirements of paragraphs 1.E.1 through 1.E.7 or obtain permission for the use of the work and the Project Gutenberg-tm trademark as set forth in paragraphs 1.E.8 or 1.E.9.

1.E.3. If an individual Project Gutenberg-tm electronic work is posted with the permission of the copyright holder, your use and distribution must comply with both paragraphs 1.E.1 through 1.E.7 and any additional terms imposed by the copyright holder. Additional terms will be linked to the Project Gutenberg-tm License for all works posted with the permission of the copyright holder found at the beginning of this work.

1.E.4. Do not unlink or detach or remove the full Project Gutenberg-tm License terms from this work, or any files containing a part of this work or any other work associated with Project Gutenberg-tm.

1.E.5. Do not copy, display, perform, distribute or redistribute this electronic work, or any part of this electronic work, without prominently displaying the sentence set forth in paragraph 1.E.1 with active links or immediate access to the full terms of the Project Gutenberg-tm License.

1.E.6. You may convert to and distribute this work in any binary, compressed, marked up, nonproprietary or proprietary form, including any word processing or hypertext form. However, if you provide access to or distribute copies of a Project Gutenberg-tm work in a format other than "Plain Vanilla ASCII" or other format used in the official version posted on the official Project Gutenberg-tm web site (www.gutenberg.org), you must, at no additional cost, fee or expense to the user, provide a copy, a means of exporting a copy, or a means of obtaining a copy upon request, of the work in its original "Plain Vanilla ASCII" or other form. Any alternate format must include the full Project Gutenberg-tm License as specified in paragraph 1.E.1.

1.E.7. Do not charge a fee for access to, viewing, displaying, performing, copying or distributing any Project Gutenberg-tm works unless you comply with paragraph 1.E.8 or 1.E.9.

1.E.8. You may charge a reasonable fee for copies of or providing access to or distributing Project Gutenberg-tm electronic works provided that

- * You pay a royalty fee of 20% of the gross profits you derive from the use of Project Gutenberg-tm works calculated using the method you already use to calculate your applicable taxes. The fee is owed to the owner of the Project Gutenberg-tm trademark, but he has agreed to donate royalties under this paragraph to the Project Gutenberg Literary Archive Foundation. Royalty payments must be paid within 60 days following each date on which you prepare (or are legally required to prepare) your periodic tax returns. Royalty payments should be clearly marked as such and sent to the Project Gutenberg Literary Archive Foundation at the address specified in Section 4, "Information about donations to the Project Gutenberg Literary Archive Foundation."
- * You provide a full refund of any money paid by a user who notifies you in writing (or by e-mail) within 30 days of receipt that s/he does not agree to the terms of the full Project Gutenberg-tm License. You must require such a user to return or destroy all copies of the works possessed in a physical medium and discontinue all use of and all access to other copies of Project Gutenberg-tm works.
- * You provide, in accordance with paragraph 1.F.3, a full refund of any money paid for a work or a replacement copy, if a defect in the electronic work is discovered and reported to you within 90 days of receipt of the work.
- * You comply with all other terms of this agreement for free distribution of Project Gutenberg-tm works.

1.E.9. If you wish to charge a fee or distribute a Project Gutenberg-tm electronic work or group of works on different terms than are set forth in this agreement, you must obtain permission in writing from both the Project Gutenberg Literary Archive Foundation and The Project Gutenberg Trademark LLC, the owner of the Project Gutenberg-tm trademark. Contact the Foundation as set forth in Section 3 below.

1.F.

1.F.1. Project Gutenberg volunteers and employees expend considerable effort to identify, do copyright research on, transcribe and proofread works not protected by U.S. copyright law in creating the Project Gutenberg-tm collection. Despite these efforts, Project Gutenberg-tm electronic works, and the medium on which they may be stored, may contain "Defects," such as, but not limited to, incomplete, inaccurate or corrupt data, transcription errors, a copyright or other intellectual property infringement, a defective or damaged disk or other medium, a computer virus, or computer codes that damage or cannot be read by your equipment.

1.F.2. LIMITED WARRANTY, DISCLAIMER OF DAMAGES - Except for the "Right of Replacement or Refund" described in paragraph 1.F.3, the Project Gutenberg Literary Archive Foundation, the owner of the Project Gutenberg-tm trademark, and any other party distributing a Project Gutenberg-tm electronic work under this agreement, disclaim all liability to you for damages, costs and expenses, including legal fees. YOU AGREE THAT YOU HAVE NO REMEDIES FOR NEGLIGENCE, STRICT

LIABILITY, BREACH OF WARRANTY OR BREACH OF CONTRACT EXCEPT THOSE PROVIDED IN PARAGRAPH 1.F.3. YOU AGREE THAT THE FOUNDATION, THE TRADEMARK OWNER, AND ANY DISTRIBUTOR UNDER THIS AGREEMENT WILL NOT BE LIABLE TO YOU FOR ACTUAL, DIRECT, INDIRECT, CONSEQUENTIAL, PUNITIVE OR INCIDENTAL DAMAGES EVEN IF YOU GIVE NOTICE OF THE POSSIBILITY OF SUCH DAMAGE.

1.F.3. LIMITED RIGHT OF REPLACEMENT OR REFUND - If you discover a defect in this electronic work within 90 days of receiving it, you can receive a refund of the money (if any) you paid for it by sending a written explanation to the person you received the work from. If you received the work on a physical medium, you must return the medium with your written explanation. The person or entity that provided you with the defective work may elect to provide a replacement copy in lieu of a refund. If you received the work electronically, the person or entity providing it to you may choose to give you a second opportunity to receive the work electronically in lieu of a refund. If the second copy is also defective, you may demand a refund in writing without further opportunities to fix the problem.

1.F.4. Except for the limited right of replacement or refund set forth in paragraph 1.F.3, this work is provided to you 'AS-IS', WITH NO OTHER WARRANTIES OF ANY KIND, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR ANY PURPOSE.

1.F.5. Some states do not allow disclaimers of certain implied warranties or the exclusion or limitation of certain types of damages. If any disclaimer or limitation set forth in this agreement violates the law of the state applicable to this agreement, the agreement shall be interpreted to make the maximum disclaimer or limitation permitted by the applicable state law. The invalidity or unenforceability of any provision of this agreement shall not void the remaining provisions.

1.F.6. INDEMNITY - You agree to indemnify and hold the Foundation, the trademark owner, any agent or employee of the Foundation, anyone providing copies of Project Gutenberg-tm electronic works in accordance with this agreement, and any volunteers associated with the production, promotion and distribution of Project Gutenberg-tm electronic works, harmless from all liability, costs and expenses, including legal fees, that arise directly or indirectly from any of the following which you do or cause to occur: (a) distribution of this or any Project Gutenberg-tm work, (b) alteration, modification, or additions or deletions to any Project Gutenberg-tm work, and (c) any Defect you cause.

Section 2. Information about the Mission of Project Gutenberg-tm

Project Gutenberg-tm is synonymous with the free distribution of electronic works in formats readable by the widest variety of computers including obsolete, old, middle-aged and new computers. It exists because of the efforts of hundreds of volunteers and donations from people in all walks of life.

Volunteers and financial support to provide volunteers with the assistance they need are critical to reaching Project Gutenberg-tm's goals and ensuring that the Project Gutenberg-tm collection will remain freely available for generations to come. In 2001, the Project Gutenberg Literary Archive Foundation was created to provide a secure and permanent future for Project Gutenberg-tm and future generations. To learn more about the Project Gutenberg Literary Archive Foundation and how your efforts and donations can help, see Sections 3 and 4 and the Foundation information page at www.gutenberg.org

Section 3. Information about the Project Gutenberg Literary Archive Foundation

The Project Gutenberg Literary Archive Foundation is a non profit 501(c)(3) educational corporation organized under the laws of the state of Mississippi and granted tax exempt status by the Internal Revenue Service. The Foundation's EIN or federal tax identification number is 64-6221541. Contributions to the Project Gutenberg Literary Archive Foundation are tax deductible to the full extent permitted by U.S. federal laws and your state's laws.

The Foundation's principal office is in Fairbanks, Alaska, with the mailing address: PO Box 750175, Fairbanks, AK 99775, but its volunteers and employees are scattered throughout numerous locations. Its business office is located at 809 North 1500 West, Salt Lake City, UT 84116, (801) 596-1887. Email contact links and up to date contact information can be found at the Foundation's web site and official page at www.gutenberg.org/contact

For additional contact information:

Dr. Gregory B. Newby
Chief Executive and Director
gnewby@pglaf.org

Section 4. Information about Donations to the Project Gutenberg Literary Archive Foundation

Project Gutenberg-tm depends upon and cannot survive without wide spread public support and donations to carry out its mission of increasing the number of public domain and licensed works that can be freely distributed in machine readable form accessible by the widest array of equipment including outdated equipment. Many small donations (\$1 to \$5,000) are particularly important to maintaining tax exempt status with the IRS.

The Foundation is committed to complying with the laws regulating charities and charitable donations in all 50 states of the United States. Compliance requirements are not uniform and it takes a considerable effort, much paperwork and many fees to meet and keep up with these requirements. We do not solicit donations in locations where we have not received written confirmation of compliance. To SEND DONATIONS or determine the status of compliance for any particular state visit www.gutenberg.org/donate

While we cannot and do not solicit contributions from states where we have not met the solicitation requirements, we know of no prohibition against accepting unsolicited donations from donors in such states who approach us with offers to donate.

International donations are gratefully accepted, but we cannot make any statements concerning tax treatment of donations received from outside the United States. U.S. laws alone swamp our small staff.

Please check the Project Gutenberg Web pages for current donation methods and addresses. Donations are accepted in a number of other ways including checks, online payments and credit card donations. To donate, please visit: www.gutenberg.org/donate

Section 5. General Information About Project Gutenberg-tm electronic works.

Professor Michael S. Hart was the originator of the Project Gutenberg-tm concept of a library of electronic works that could be freely shared with anyone. For forty years, he produced and distributed Project Gutenberg-tm eBooks with only a loose network of volunteer support.

Project Gutenberg-tm eBooks are often created from several printed editions, all of which are confirmed as not protected by copyright in the U.S. unless a copyright notice is included. Thus, we do not necessarily keep eBooks in compliance with any particular paper edition.

Most people start at our Web site which has the main PG search facility: www.gutenberg.org

This Web site includes information about Project Gutenberg-tm, including how to make donations to the Project Gutenberg Literary Archive Foundation, how to help produce our new eBooks, and how to subscribe to our email newsletter to hear about new eBooks.