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 19de 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 verwijdert; 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 astrologie 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 16de 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 16de eeuw hebben het materiaal voor den opbouw van de grondslagen der moderne astronomie geleverd.

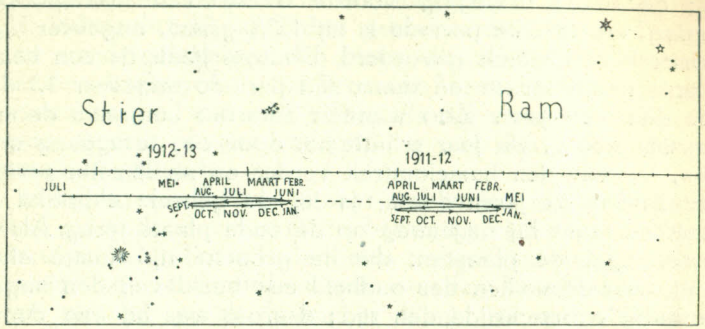
---

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 blooteoog duidelijk zichtbaar zijn, alle ingeteekend zijn. Tusschen deze sterren kan men eenvoudig op het oog de plaats der planeten, zoo dikwijls men wil, inteekenen en dan naderhand desgewenscht met behulp van de deelstrepen 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

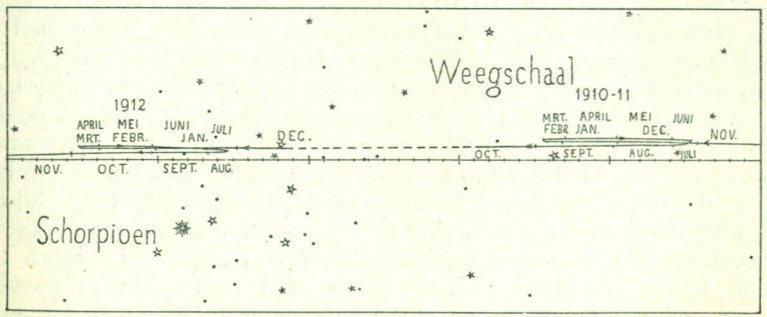


De baan van Saturnus 1911 tot 1913.

een jaar later met zijn verdwijnen in de westelijke avondschemering afsluit. 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 terugloopende 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 „rechtloopende" beweging behoudt Saturnus, totdat hij in de avondschemering verdwijnt. Dat hij ook gedurende de volgende maanden van onzichtbaarheid, wanneer de zon hem passeert — deze ont-

moeting heet de konjunktie met de zon — de rechtloopende 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 terugloopende beweging, en na elke periode is hij $12^2/_3$ graad, ongeveer $^1/_{28}$ 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, $^1/_{28}$ 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. Ook hier wisselt in iedere periode een kortere teruggang met een langere rechtloopende

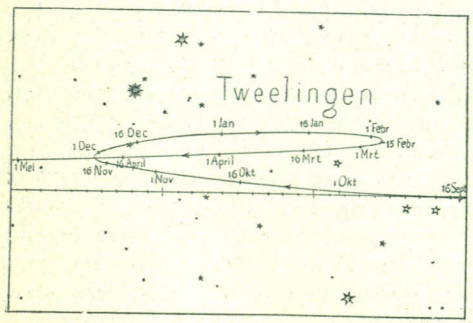


De baan van Jupiter 1910 tot 1912.

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 $^1/_{11}$ 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. Op die manier duurt het een vol jaar, voordat de tijd van oppositie nadert; eerst wanneer de zon den geheelen hemel rondgeloopen heeft en Mars den halven hemelomtrek, komen zij tegenover elkaar te staan. Dan houdt zijn snelle beweging op en gaat hij gedurende $2^1/_2$ 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 terugloopende beweging



De baan van Mars gedurende de oppositie 1913—1914.

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, $^1/_7$ van den hemelomtrek, terwijl de zon, behalve dit laatste stuk, twee maal rondgeloopen is. Bij iedere volgende oppositie is de planeet dus $^1/_7$ 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 samenvatten:

Ten eerste: iedere periode bestaat uit een kortere terugloopende en een langere rechtloopende beweging.

Tentweede: het tijdstip van oppositie met de zon ligt midden in de terugloopende beweging; de onzichtbaarheid door de konjunktie met de zon ligt midden in de rechtloopende beweging.

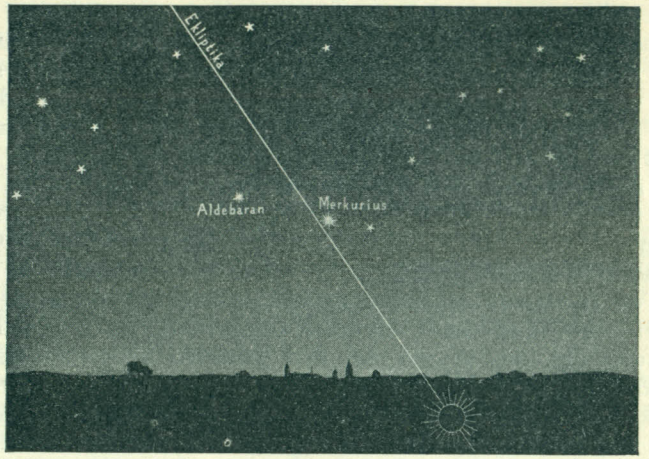
Bij Venus duurt de kringloop der verschijnselen 19 maanden (583 dagen); de eene helft van deze periode is zij avondster, de andere helft morgenster. Wanneer zij voor het eerst in de schemering na zonsondergang zichtbaar geworden is, verwijdert zij zich langzaam steeds verder van de zon — voordat zij 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 terugloopend, 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 terugloopende 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 terugloopende met een lange rechtloopende beweging af. Zij verschilt echter hierin van de andere planeten, dat zoowel in het midden van de terugloopende als van de rechtloopende beweging een konjunktie ligt, een ontmoeting met de zon, waarbij de planeet onzichtbaar is.

Bij Mercurius kan men van verschijnselen eigenlijk nauwe-

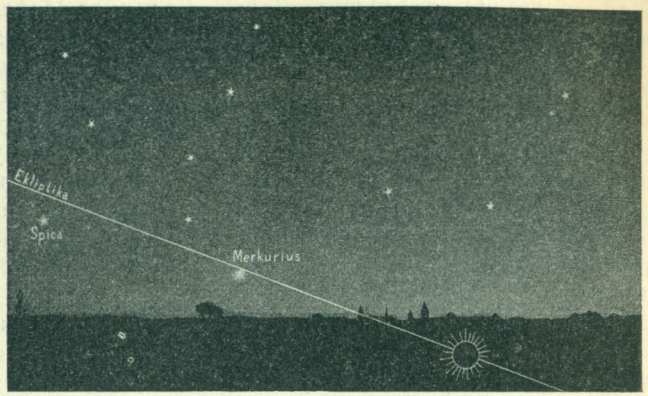
lijks spreken, omdat men al blij moet zijn, wanneer men hem maar even te zien krijgt. Dat gebeurt alleen, wanneer hij zich zoo ver



Mercurius in de voorjaarsavondschemering.

mogelijk van de zon heeft verwijderd, en ook dan nog niet altijd. 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



Mercurius in de herfstavondschemering.

van de zon blijft, alleen in het voorjaar als avondster en alleen in den herfst als morgenster zichtbaar.

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 verwijdert; en zijn beweging tusschen de sterren is ook beurtelings rechtloopend en terugloopend. 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 verwijdert 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 (+ $1^3/_4$ dag), dus 2 omloopen;

65 perioden van Jupiter zijn 71 jaren (— $5^1/_6$ dag), dus 6 omloopen;

37 perioden van Mars zijn 79 jaren (+ $3^1/_5$ dag), dus 42 omloopen;

5 perioden van Venus zijn 8 jaren (— $2^1/_2$ 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.

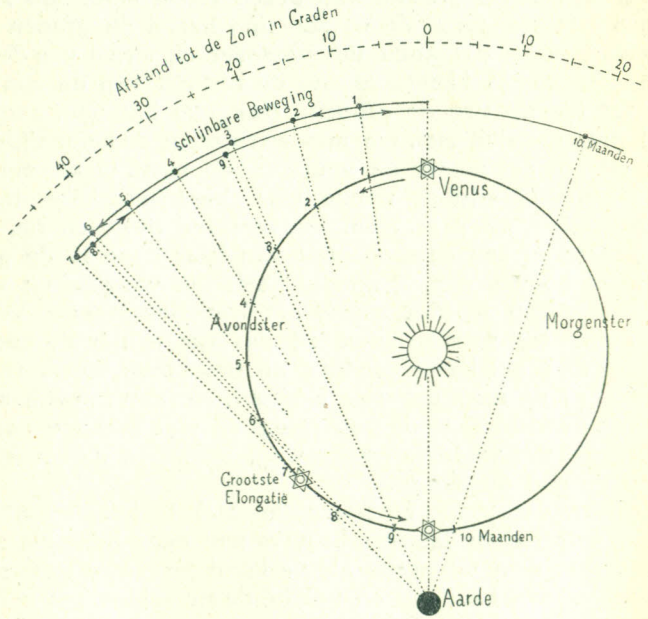
---

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 rechtloopende en terugloopende 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. Maar aan de sterke wisselingen



Cirkel van Venus om de zon.

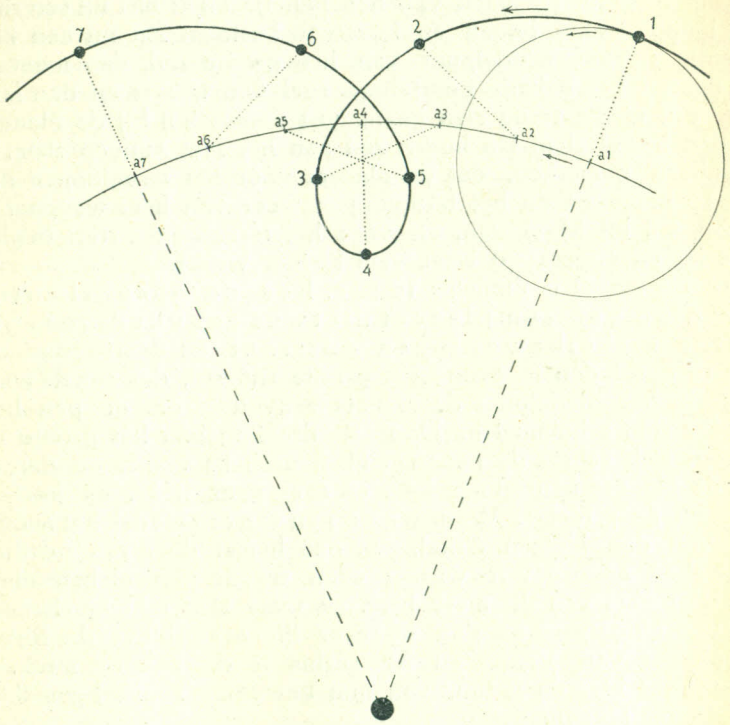
in helderheid van Mars en Venus zien wij, dat deze planeten niet altijd evenver van ons verwijderd kunnen zijn. Tallooze malen hebben wij waargenomen, dat een licht des te kleiner en zwakker

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 dichter bij 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 $^1/_3$ en $^1/_4$ 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 dichter bij 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 dichter bij 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 rechtloopende en een

kortere terugloopende 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 planeten-beweging eenvoudig uit de kombinatie 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 $^1/_6$ 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 merkteeken aangegeven was, zouden wij de planeet beurtelings links en rechts van dit merk heen en weer zien schommelen, nu eens vooruitloopend 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 verwijdert. Maar wij weten, dat in het midden van de terugloopende 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 verwijdert. 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 $^1/_9$, bij Jupiter $^1/_5$ en bij Mars $^2/_3$ 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.

---

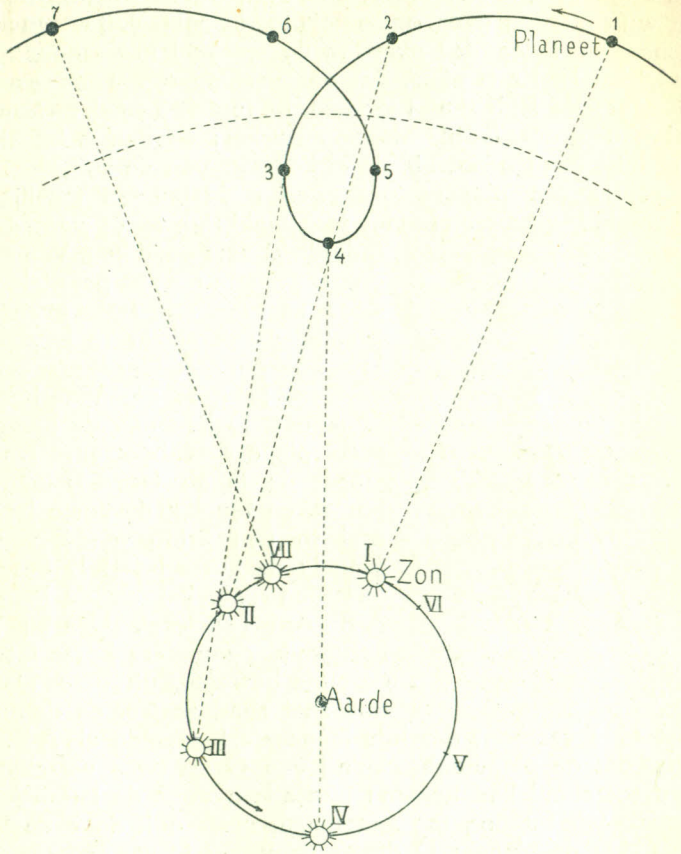
27. HET WERELDSTELSEL VAN COPERNICUS.

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 terugloopende beweging in oppositie tot de zon, tegenover de zon staan, en midden in hun rechtloopende beweging in konjunktie, in samenstand met de zon. Wat beteekent dat? In onze teekening, waar behalve de lussenbaan van een planeet

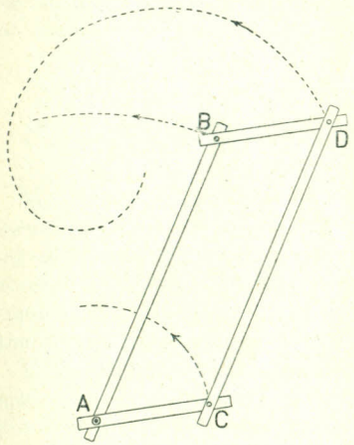
ook de cirkel van de zon geteekend is, en wel even groot als de epicykel van de planeet, moet, als de planeet in 1 staat, de zon zich in I bevinden, in dezelfde richting; is de planeet in 4 gekomen, midden in den teruggang, dan moet de zon tegenover haar in IV staan; en is de planeet in 7 weer midden in haar rechtloopende



beweging, dan bevindt zich de zon in VII. Wat zien wij nu? De planeet blijft altijd even ver van de zon verwij-

derd. 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 1½ 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-

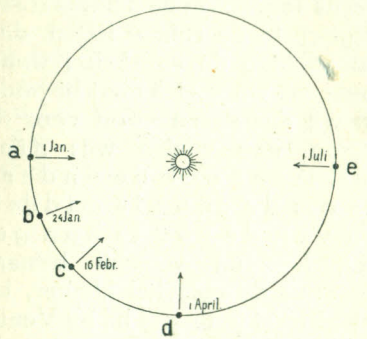


beweging ook zóó doen ontstaan, dat wij epicykel en leidcirkel met elkaar verwisselen, dus den kleinen snel doorloopen cirkel als leidcirkel en den grooten langzamen cirkel als epicykel nemen.

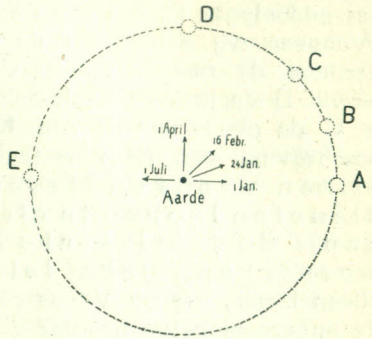
Voor de verschijnselen aan den hemel past de eerste voorstelling beter; wij zien de planeten daar om het middelpunt B, dat zelf langzaam voortwandelt, heen en weer schommelen, maar niet om het middelpunt C, dat soms zelfs recht tegenover de planeet staat. Wanneer wij echter op de beweging in de ruimte 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 evengroot 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. Bevindt zich de aarde bij haar jaarlijkschen kringloop



Baan van de aarde om de zon.

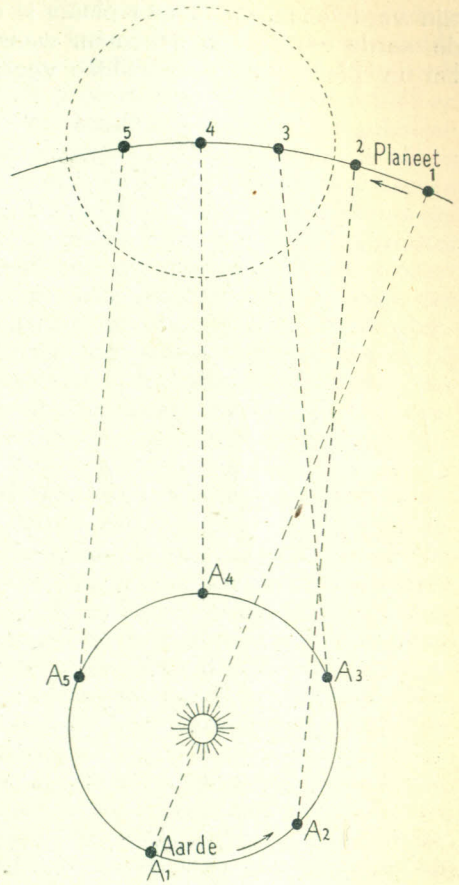


Baan van de zon om de aarde.

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.

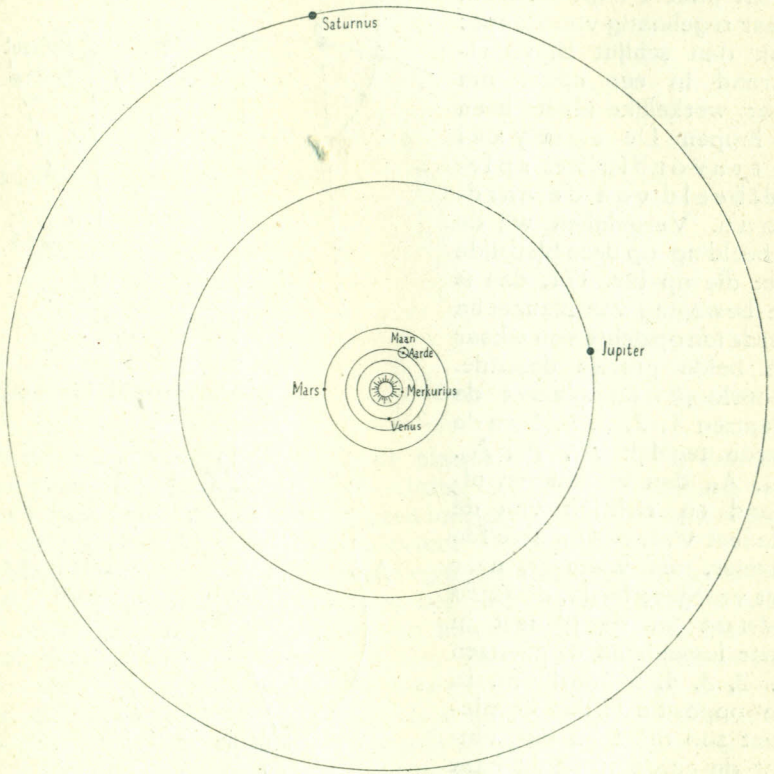
Maar ook voor de planetenbewegingen komt het op hetzelfde neer. Bevindt zich een planeet in het punt 4, dan zal de aarde, die zich in een kring om de zon beweegt, nu eens dichter bij haar komen, dan weer verder af zijn, haar nu eens meer van links, dan weer meer van rechts beschouwen. Hun plaats ten 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 A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, 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. En in plaats van de moeilijke voorstelling van een zon, die om



Het zonnestelsel volgens Copernicus.

de aarde zou loopen en daarbij alle planetenbanen mee in het rond zou sleepen, 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 grooter, 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 1½ maal grooter afstand; dan Jupiter met 5 maal en Saturnus met 9 maal grooter 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 verwijdert. 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

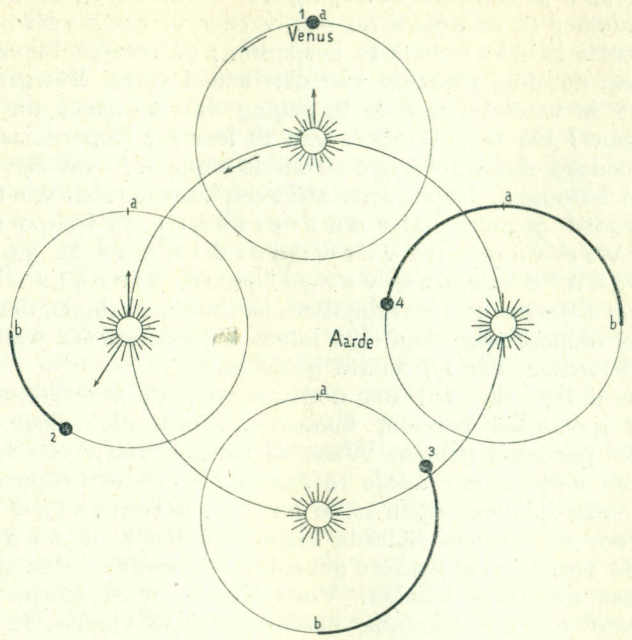
„worden gehouden. Want dat zij niet het middelpunt van alle „kringloopen kan zijn, bewijzen de schijnbaar onregelmatige be- „wegingen der dwaalsterren en hun veranderlijke afstanden tot de „aarde, die uit cirkels om de aarde als middelpunt niet verklaard „kunnen worden. Daar dus toch meerdere middelpunten 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 ver- „schijnselen 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 verschijn- „selen leent. Ten slotte zal men van meening zijn, dat de zon zelf „het midden der wereld inneemt; en dit alles leert ons de redelijk- „heid 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 omloopstijd 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 omloopstijd uit de volgende beschouwing te vinden. In $^1/_4$ jaar doorloopt Venus, naar de oude theorie, $^1/_6$ van haar epicykel; was zij dus eerst in het buitenste punt a van den epicykel, in 1, dan is ze na $^1/_4$ jaar $^1/_6$ 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 $^1/_4$ van den omtrek doorloopen, en van de zon uit gezien, heeft Venus, vanaf a, $^1/_6$ en nog bovendien $^1/_4$ 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 $^3/_4$ 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 29½ 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 365¼ 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.

---

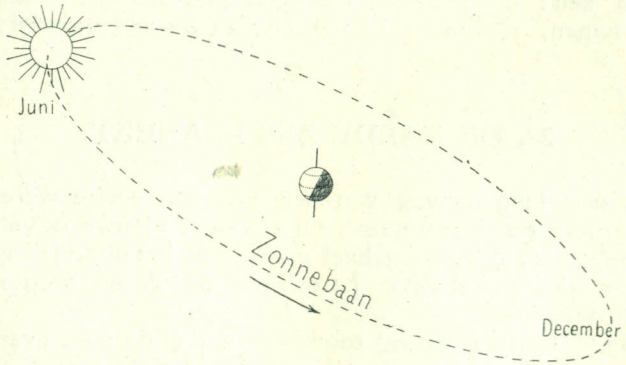
28. DE AARDE ALS PLANEET.

Langs een langen weg zijn wij van ons eerste wereldbeeld, over meerdere tusschenstations, nu tot deze nieuwe opvatting der wereld gekomen, die zoo geheel en al van het uiterlijk aspekt 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.

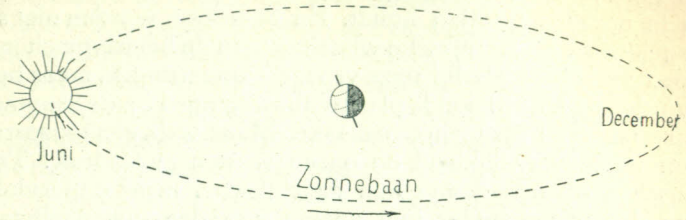
De ervaring had ons ook geleerd, dat de zon, de maan en de planeten geen vaste plaatsen aan den hemelbol innemen, maar zich langs den hemel in banen bewegen. Nu de hemel stilgezet en de hemelbol verdwenen is, blijven deze banen als eenige beweging der hemellichamen over. In een jaar loopt de zon in een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



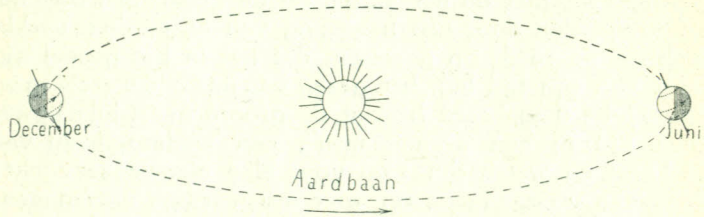
opzichte van de aardas. Teekenen wij de aardas in onze figuur rechtop, dan staat de zon in Juni aan den eenen kant boven en verlicht zoo de Noordpool der aarde, terwijl de Zuidpool in duister blijft; door de aswenteling komen alle plaatsen op het Noordeljjk halfrond het grootste deel van den dag in de 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 planeten-



beweging 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 16de 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 middel„punt 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 ver„houdt als het middelpunt van een bol tot zijn oppervlak." [1]) En evenzoo vermeldt later Plutarchus van hem, dat hij „om de ver„schijnselen 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,

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

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 ekonomische 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 e e n g e h e e l n i e u w e w e r e l d b e s c h o u w i n g. 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: d e p l a n e t e n z i j n o o k a a r d b o l l e n, 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 eindelooze 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 Melanchton als bijbelvaste theologen niets van haar willen weten, zoo was het juist een jong geleerde uit Wittenberg, Rhaeticus, 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 16de 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 vèrststrekkende 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 16de 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.

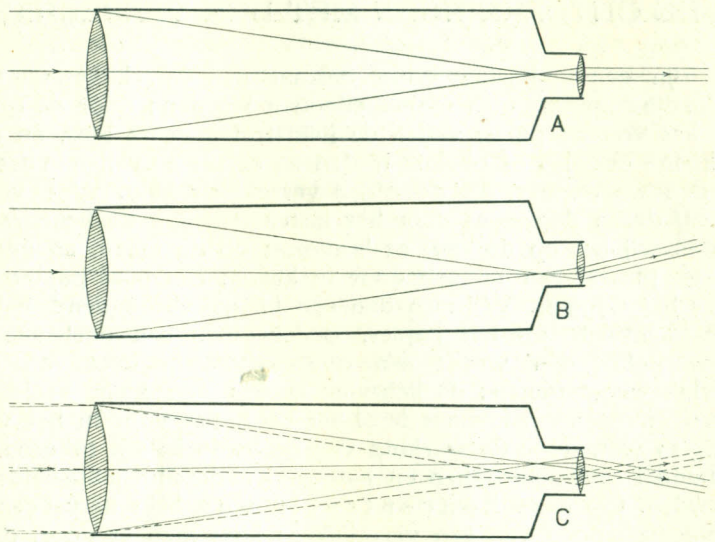
---

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 koncentratie 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 grooter dan die van de pupil, en haar oppervlak dus 100 maal grooter, 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 tallooze 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 zeer scheef 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 grooter, 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

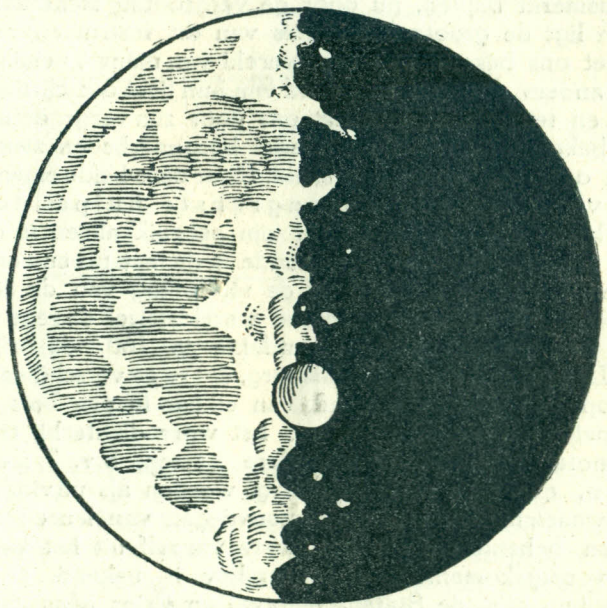
den bovenrand en den onderrand van de maan nemen; ook de maan zien wij in den kijker vergroot. Dat is dus een tweede werking van den kijker: alle afstanden en alle voorwerpen aan den hemel worden vergroot, en wel in dezelfde mate, als de lichtbundel bij den doorgang door den kijker samengetrokken wordt. 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 tallooze 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 hnn ware gesteldheid. Door deze beide eigenschappen is de verrekijker 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 Hans Lippershey 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 aanvroeg. 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

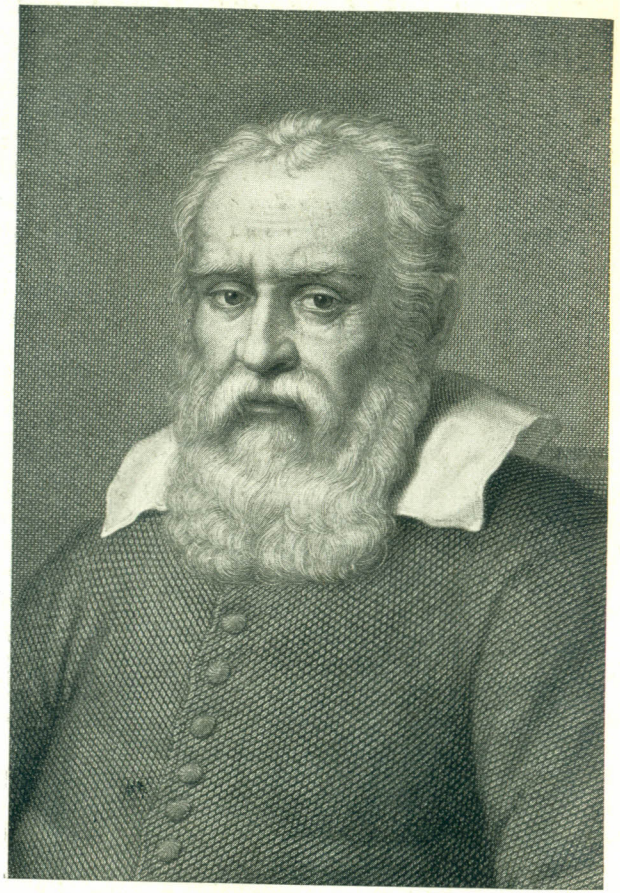
te richten en de juistheid van de leer van Copernicus te bewijzen.

Eerst werd natuurlijk de kijker op de maan gericht. „Uit deze „telkens herhaalde waarnemingen zijn wij tot de overtuiging ge„komen, 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." Hij zag, dat de



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

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,



GALILEO GALILEI
(1564—1642)

welke door de eerste zonnestralen reeds verlicht werden, terwijl de omliggende vlakten nog in de nachtelijke schaduw lagen. 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." [1]) 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 7den 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 20sten 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. 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.

Jupiter in een verrekijker.

Hier was nu duidelijk voor iedereen te zien, dat de aarde onmogelijk

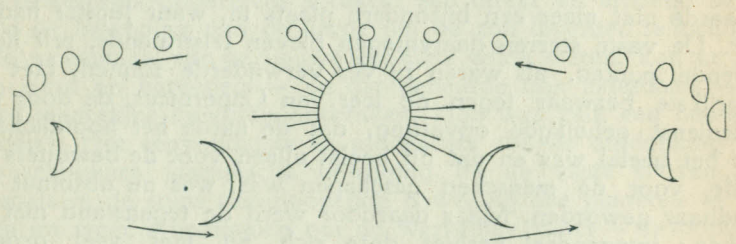
[1]) Dit door Galilei ontdekte verschil verklaart ons ook, waarom de planeten niet flikkeren en aan het bloote oog in veel rustiger licht verschijnen dan de andere sterren.

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 ge„hinderd worden, dat zij zulk een bouw van de wereld voor ge„heel 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 afge„keerde 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 voort„gaan met smaller worden, totdat zij, na tot een dunnen, fijnen boog „verminderd te zijn, verdwijnt... Uit deze wonderbare waarne„ming 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 be„grijpen, 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."

Inderdaad, wanneer Venus een donkere bol is, moet zij bij haar



Schijngestalten van de planeet Venus.

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 grooter, 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 „Dialoog 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, machtelooze verbod buiten werking gesteld.

---

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 terugloopende 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 j a a r l ij k s c h e p a r a l l a x e 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 tweeërlei 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.

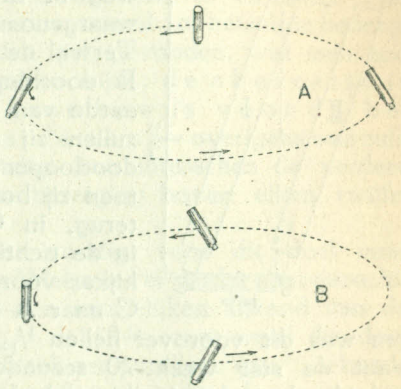
Natuurlijk was deze toestand voor de sterrekundigen niet aangenaam, en ze deden in de 17de eeuw ook al hun best, door nauwkeurige waarnemingen een parallaxe bij de vaste sterren te ontdekken. Maar altijd tevergeefs. De waarnemingen waren tot op een paar minuten nauwkeurig (een minuut is, naar wij ons herinneren, het 60ste 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 18de eeuw daalde de onzekerheid der metingen tot op weinige sekunden, in de 19de 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 18de eeuw trachtte een Engelsch sterrekundige, James Bradley, 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.

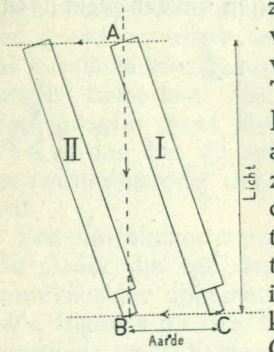
Stellen wij ons voor, dat wij met een wagen om een plein heenrijden, terwijl hoog boven het midden van het plein een ballon zweeft. Houden wij dan een kijker op den ballon gericht, dan moet deze kijker niet rechtop en niet steeds in dezelfde richting gehouden worden. Hij moet iets naar het midden van 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 eind'e 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 $^1/_{10000}$ van de lengte van den kijker, want de ster week 20 secunden 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 $8^1/_3$ 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 $365^1/_4$ 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 twijfelen. 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 19de eeuw werd dit doel bereikt; de allernaaste vaste ster bleek een parallaxe van $^3/_4$ 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.

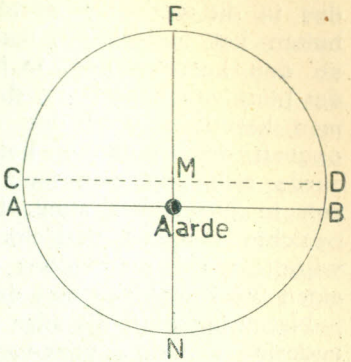
Op grond van onzen eersten oppervlakkigen indruk namen wij aan, dat de zon voor elk der vier vierdeparten, waarin haar baan door de beide nachteveningspunten en het zomer- en winterkeerpunt verdeeld wordt, een even lang driemaandelijksch tijdperk noodig heeft. Maar nauwkeuriger waarnemingen leeren ons, dat dit niet precies uitkomt.

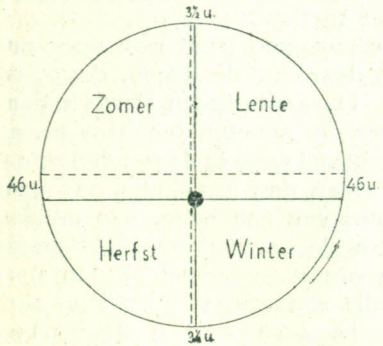
Reeds de Babyloniërs en de Grieken, die ten dienste van hun tijdrekening de tijdstippen van nachtevening en zonnestilstand met hun primitieve werktuigen bepaalden, kenden die verschillen. Ptolemaeus deelt in zijn Almagest mede, dat Hipparchus 145 v. C. deze tijdstippen nauwkeurig bepaalde en daarvoor 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; $94^1/_2$ dag voor de lente, $92^1/_2$ dag voor den zomer, $88^1/_8$ dag voor den herfst en $90^1/_8$ dag voor den winter, te zamen $365^1/_4$ 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).

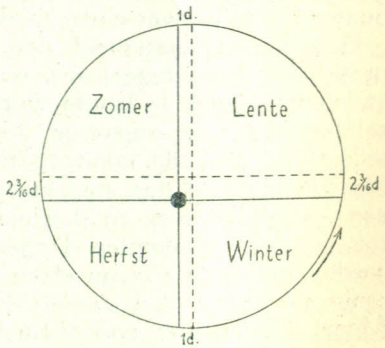
Uit deze getallen blijkt, dat de zon in haar baan niet altijd even snel loopt; de winterhelft beneden den aequator wordt tegenwoordig in $178^3/_4$ dag, de zomerhelft boven den aequator in $186\frac{1}{2}$ dag doorloopen, de laatste dus heel wat langzamer. Bewijst dit nu niet, dat de grondstelling, waarop 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 $1^{15}/_{16}$ dag doorloopen, en daar $1^{15}/_{16}$ dag het 189ste deel van een jaar is, zijn A C en B D ook $^1/_{189}$ van den omtrek, dus $^1/_{30}$ 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 zamen 14 uren = 4 × 3½ uur korter dan zomer en herfst te zamen. De aarde staat dus in dit werkelijke geval wel $^1/_{30}$ 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 $^1/_{30}$ van den straal buiten het middelpunt van de aardbaan. De zonneschijf 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 $^1/_{30}$ meer, in Juli $^1/_{30}$ minder dan gemiddeld

af; daarom is een zonnedag in Januari $^1/_{30}$ 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, geloopen 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 dichter 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 seconden 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 18de 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 eklipitika 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.

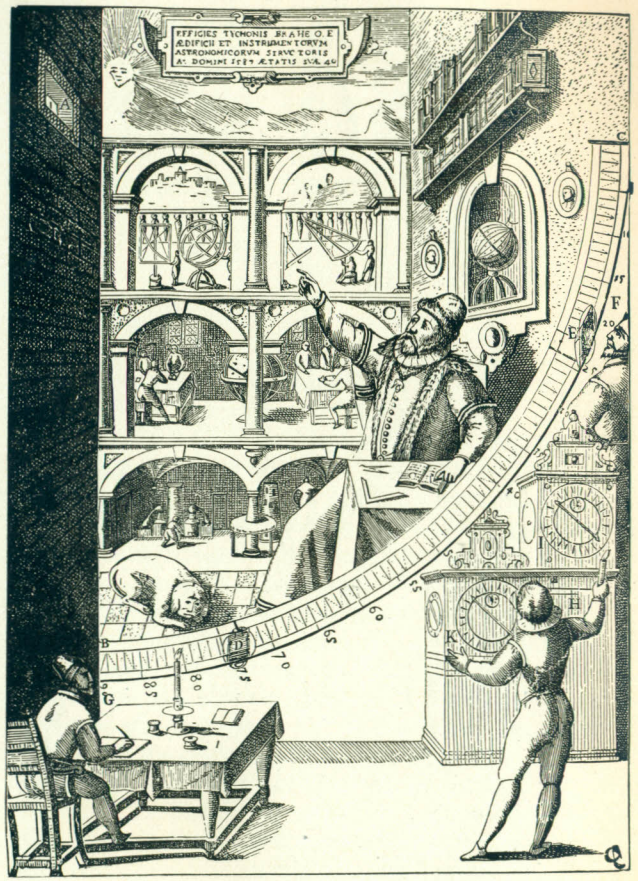
De groote onregelmatigheid in de beweging der planeten, die zich in hun beurtelings vooruit- en terugloopen aan den hemel vertoont, hebben wij reeds als schijn leeren kennen. Omdat de zon het middelpunt van hun banen is en wij ze van uit de aarde waarnemen, zien wij in hun schijnbare beweging de beweging 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	
1892 4 Augustus	Steenbok	312 „	2 jaar 70 dagen
1894 20 Oktober	Ram	28 „	„ 77 „
1896 11 December	Stier	80 „	„ 53 „
1899 18 Januari	Kreeft	119 „	„ 38 „
1901 22 Februari	Leeuw	153 „	„ 35 „
1903 29 Maart	Maagd	187 „	„ 35 „
1905 8 Mei	Weegschaal	227 „	„ 41 „
1907 6 Juli	Schutter	283 „	„ 59 „
1909 24 September	Visschen	1 „	„ 81 „
1911 24 November	Stier	62 „	„ 61 „
1914 3 Januari	Tweelingen	103 „	„ 41 „
1916 9 Februari	Kreeft	140 „	„ 37 „

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 $^{65}/_{113} = 0{,}58$ 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.

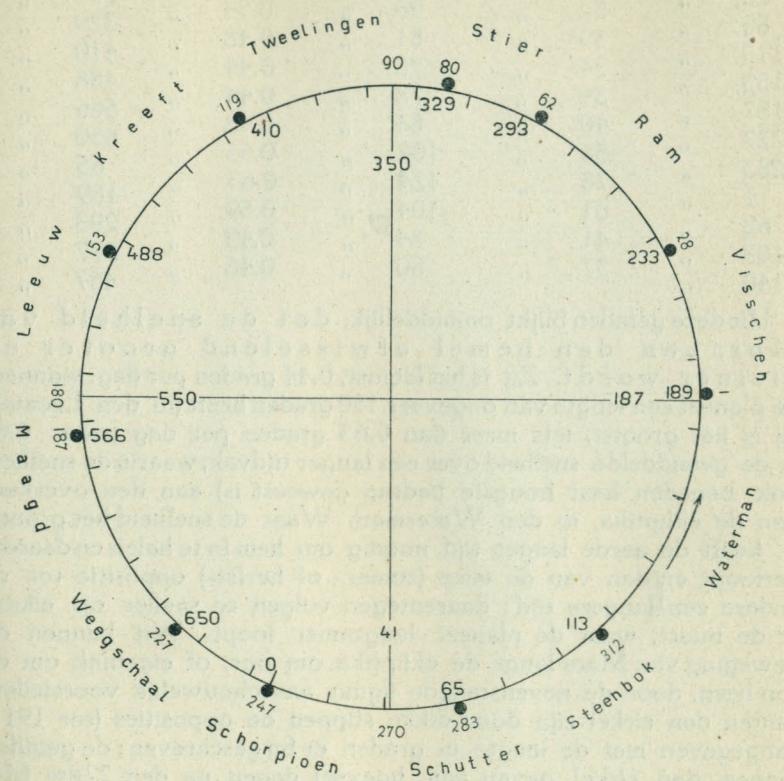


TYCHO BRAHE
waarnemende met het muurkwadrant

Lengte.	Doorloopen weg.	Tusschentijd.	Gemiddelde snelheid p. dag.	Tijdstip.
247 graden	65 graden	113 dagen	0.58 graden	0 dagen
312 „	76 „	120 „	0.63 „	113 „
28 „	52 „	96 „	0.54 „	233 „
80 „	39 „	81 „	0.48 „	329 „
119 „	34 „	78 „	0.44 „	410 „
153 „	34 „	78 „	0.44 „	488 „
187 „	40 „	84 „	0.48 „	566 „
227 „	56 „	102 „	0.55 „	650 „
283 „	78 „	124 „	0.63 „	65 „
1 „	61 „	104 „	0.59 „	189 „
62 „	41 „	84 „	0.49 „	293 „
103 „	37 „	80 „	0.46 „	377 „
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 27sten 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

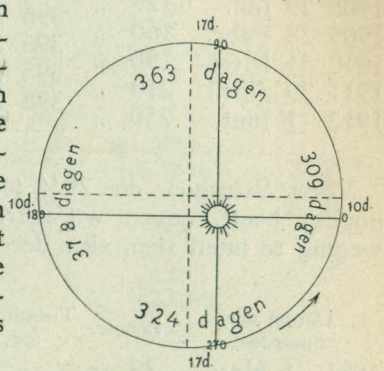
elk der vier vierdeparten van zijn baan noodig heeft, waarin wij ook de aardbaan verdeelden. Wij vinden dan, dat de lengte van 0, 90, 180 en 270 graden op den 187sten, 350sten, 550sten en 41sten dag bereikt werd, dus met tusschentijden van 163, 200, 178 en 146 dagen.



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 dichter 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 $^7/_{44} \times 687 = 109$ dagen zou doorloopen, volgt daaruit: de excentriciteit van de Marsbaan is iets minder dan $^1/_5$. 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 tusschenruimten 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 „				396 „
		395 „	30 „	7.6 „	
1899 25 April	215 „				791 „

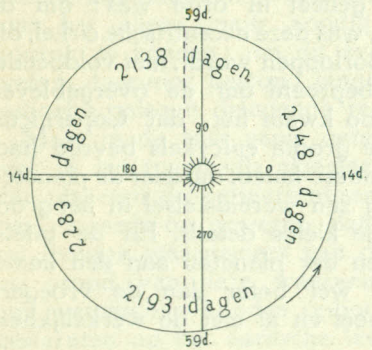
Datum der oppositie.	Lengte.	Tusschen-tijd.	Doorloopen weg.	Snelheid p. 100 dagen.	Tijdstip.
1899 25 April	215 gr.				791 d.
		397 d.	31 gr.	7.8 gr.	
1900 27 Mei	246 „				1188 „
		399 „	33 „	8.3 „	
1901 30 Juni	279 „				1587 „
		401 „	33 „	8.2 „	
1902 5 Aug.	312 „				1988 „
		403 „	36 „	8.9 „	
1903 12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

Voor Saturnus, die 29½ jaar (10759 dagen) voor een omloop noodig heeft, geven wij hier, om de regelmatigheid van de beweging te laten zien, elke derde oppositie.

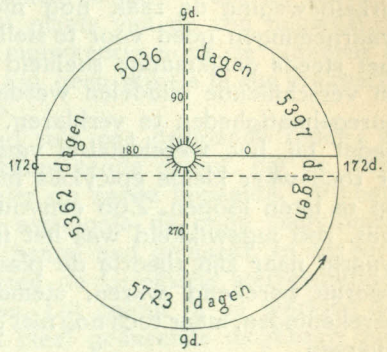
Datum der oppositie.	Lengte.	Tusschen-tijd.	Doorloopen weg.	Snelheid p. 100 dagen.	Tijdstip.
1881 1 Nov.	39 gr.				0 d.
		1137 d.	42 gr.	3.7 gr.	
1884 12 Dec.	81 „				1137 „
		1137 „	42 „	3.7 „	
1888 23 Jan.	123 „				2274 „
		1136 „	41 „	3.6 „	
1891 4 Mrt.	164 „				3410 „
		1134 „	38 „	3.35 „	
1894 11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



Excentriciteit van de Jupiterbaan.



Excentriciteit van de Saturnusbaan.

elken planetencirkel staat. Het blijkt dan, dat de zon zich bij Jupiter $^1/_{11}$ of $^1/_{12}$ van den straal, bij Saturnus ongeveer $^1/_{10}$ 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 konjunktie 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 aan het levenswerk van twee mannen te danken, Tycho Brahe en Johannes Kepler.

---

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 16de 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 16de 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 be-

vrediging 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 begeleidden 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 aange-„vuurd was, is het geen wonder, dat hij van zijn jeugd af aan de „astrologie ijverig toegedaan was, en haar in een openbare rede-„voering 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

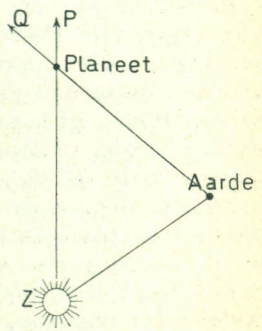
werkelijke banen der planeten nauwkeurig te vinden. Tycho wilde dit werk aanvatten, toen hij zich na zijn vertrek uit Denemarken in Praag gevestigd had, waarheen hem Keizer Rudolf uitgenoodigd had, die zich in plaats van met staatszaken alleen met wetenschap bezighield. Maar hij stierf in 1600, vóór 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 vruchtelooze 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.

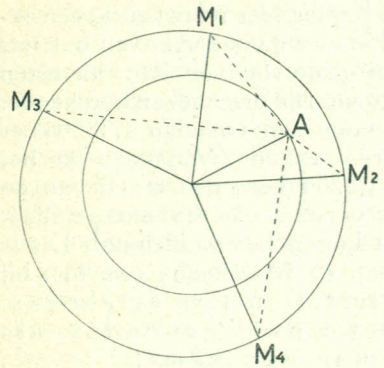
---

34. DE WETTEN VAN KEPLER.

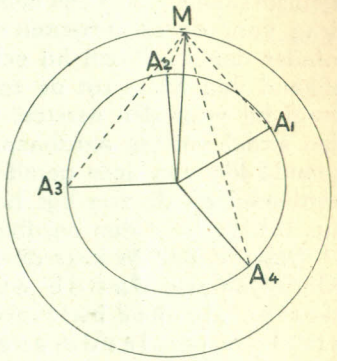
Kepler begon zijn werk met een onderzoek van de beweging van Mars. Uit Tycho's waarnemingen leidde hij met groote nauwkeurigheid alle opposities van 1580 tot 1600 af, zoowel den tijd als de plaats aan den hemel; daaruit kon hij, op dezelfde wijze als wij boven gedaan hebben, de beweging van Mars gedurende 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 Marsomloopen 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. De verhouding



Afstanden van Mars.



Afstanden van de aarde.

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

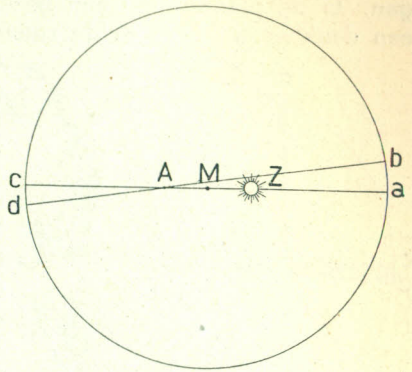
buiten het midden stond, en wel $^1/_{60}$ van den straal; naar den eenen kant was de afstand van de aarde tot de zon $^1/_{30}$ grooter dan naar den anderen kant. De plaats waar de aarde het dichtst bij de zon kwam, stemde ook precies overeen met de plaats, waar de snelheid van de zon aan den hemel 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 $^1/_{30}$ buiten het middelpunt moet staan, terwijl Kepler nu slechts half zooveel, slechts $^1/_{60}$ 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 $^1/_5$. 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 $^{0{\cdot}1414}/_{1{\cdot}5264}$ = 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 snel-

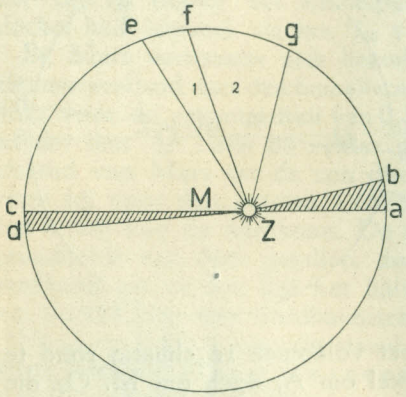
heid van Mars aan den eenen kant $^1/_5$ grooter, aan den anderen kant $^1/_5$ kleiner dan de gemiddelde. Zoeken wij dus een plaats, van waaruit de snelheid zich beide malen evengroot vertoont, het „middelpunt van beweging," dan moet de zon aan den eenen kant $^1/_5$ dichter bij Mars zijn dan dit punt, aan den anderen kant $^1/_5$ verder af. Vroeger meenden wij, dat dit punt het middelpunt van den planetencirkel was; nu is ons echter gebleken, dat de zon slechts $^1/_{10}$ 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 $^1/_{10}$ verder, in c $^1/_{10}$ minder ver van A af: dus zal de weg a b $^1/_{10}$ grooter, en de weg c d, dien de planeet in denzelfden tijd aflegt, $^1/_{10}$ kleiner zijn dan de gemiddelde. De zon is nu nog bovendien $^1/_{10}$ dichter bij a, en $^1/_{10}$ verder van c af; een regelmatig loopende planeet zou dus in a $^1/_{10}$ sneller. in c $^1/_{10}$ langzamer schijnen. Daar in a echter de werkelijke snelheid al $^1/_{10}$ grooter is, wordt de werking verdubbeld; de snellere beweging schijnt op den korteren afstand $^1/_5$ grooter, de langzamere beweging op den grooteren afstand $^1/_5$ 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 nauw-

keurigheid 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 bezield wezen, dat zijn snelheid naar een denkbeeldig punt in de ruimte regelt? 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 $^1/_{10}$ grooter en tegelijk de afstand tot de zon $^1/_{10}$ 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 w e t d e r p e r k e n: d e p l a n e t e n b e w e g e n z i c h z o o, d a t i n g e l i j k e t i j d s r u i m t e n e v e n g r o o t e s e k t o r e n o f p e r k e n b e s c h r e v e n w o r d e n.



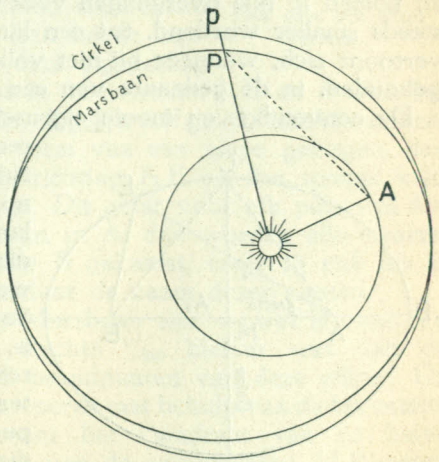
De wet der perken.

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,

JOHANNES KEPLER
(1571—1630)

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. 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.

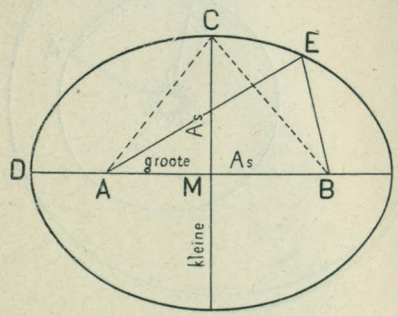


Lang heeft hij op de meest verschillende manieren beproefd, om achter het raadsel te komen. De afwijkingen traden vooral op, wanneer de planeet zich ergens halfweg tusschen haar grootsten en haar kleinsten afstand tot de zon bevond, dus zijdelings van de middellijn, waarop de zon stond. Hij berekende 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 $^1/_{230}$ 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 langwerpig. 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.

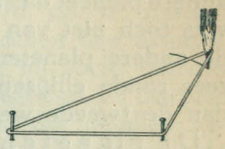
De eenvoudige en mooie eigenschappen van deze ellipsen waren reeds in de oudheid door een scherpzinnig wiskunstenaar, Apollonius van Pergae, ontdekt. De langste en de kortste middellijn, die groote en kleine as genoemd worden, bepalen de gedaante van de ellips, die des te langwerpiger is, naarmate de 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 A C en



Ellips.

B C beide even lang als M D. 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 A E en B E zijn te zamen altijd evengroot, wáár ook het punt E ligt, dus gelijk aan A C + B C, of gelijk aan A D + B D, dus gelijk aan de groote as. 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 gekaatst, waar zij zich als in een brandpunt verzamelen; vandaar de naam dezer punten.


Hoe men een ellips teekent.

Zulk een ellips nu moest de Marsbaan zijn — wel is waar, een zeer ronde, daar de kleine as slechts $^1/_{230}$ 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 $^1/_{10}$ moet dus de kleine as $^1/_{200}$ korter, bij een excentriciteit van $^1/_{11}$ moet ze $^1/_{242}$ korter dan de groote as zijn.

In de gevonden Marsbaan moeten dus de brandpunten nagenoeg $^1/_{11}$ 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 groote 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

	Mercurius	Venus	Aarde	Mars	Jupiter	Saturnus
lengte van het perihelium . . .	75	122	96	$329^1/_3$	7	$85^5/_6$ gr.
helling van de baan	6 gr. 54 m.	3 gr. 22 m.	0	1 gr. $50^1/_2$ m.	1 gr. 20 m.	2 gr. 32 m.
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 architektuur 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 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.

planeet	afstand	omloopstijd	kwadraat v. d. omloopstijd	derde macht v d. afstand
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 omloopstijden 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 omloopstijd 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 omloopstijd 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 17de eeuw tot een grootere hoogte ontwikkeld worden.

Daarentegen werden de Rudolfijnsche 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 ontdek-

kingen 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 17de eeuw de taak volbracht, de grondwet van het hemelsch heelal te vinden.