

### III. DE GRIEKSE STERREKUNDE

#### 9. DICHTERS EN WIJSGEREN

Wanneer de bewoners van Griekenland voor het eerst in de geschiedenis optreden, zijn de sterren voor hen niet anders dan ook voor andere primitieve volken. Zij vormen een deel van hun naturomgeving, dat ze nodig hebben, enerzijds ter oriëntering bij hun zeevaart, anderzijds voor tijdrekening bij hun bedrijf. Dit komt duidelijk uit in de grote dichtwerken uit de Griekse voortijd, de tijd van stamvorstendom: de Ilias en de Odyssee, van HOMERUS, en de „Werken en Dagen”, van HESIODUS.

HOMERUS vermeldt enige sterren bij name; in de Ilias zijn het de avondster en de morgenster, de Plejaden, de Hyaden, Orion, de Grote Beer, verder de ster die „de hond van Orion” wordt genoemd (dus Sirius), die helder straalt en een kwaad teken is, omdat zij door haar hitte aan de mensen lijden brengt. En van ODYSSEUS zegt hij: „Geen slaap kwam over zijn waakzame „ogen, die op de Plejaden gericht waren en op de laat ondergaande Boötes, „en op de Beer, die ook de Wagen genoemd wordt, die zich daar wentelt en „alleen van alle sterren nooit in de oceaan onderduikt; want de godin Kalypso „had hem gezegd, dat hij bij het varen over de zee deze aan de linkerhand „moest houden”. De Kleine Beer was blijkbaar nog niet bekend; toen lag trouwens de hemelpool tussen de beide beren en stond de tegenwoordige poolster er ver van af.

HESIODUS geeft in zijn beschrijving van het boerenleven telkens door de verschijnselen der sterren de tijden van het jaar voor de verschillende bezigheden in het bedrijf aan. Als de Plejaden heliakisch opkomen (10 Mei in onze data) is het tijd om de sikkels te gebruiken, dus te oogsten; als zij (’s ochtends) ondergaan (12 November) is het tijd voor de ploeg; veertig dagen blijven ze weg van de hemel (d.w.z. zijn ze in de zonnestrallen onzichtbaar). Als Arkturus zestig dagen na de winter (24 Februari) ’s avonds uit de zee oprijst, is het tijd de druiven te snoeien. Als Orion verschijnt (17 Juni) moet de gave van Ceres naar de goed geëffende dorsvloeren gebracht worden; maar als Orion en Sirius in het midden van de hemel komen, en de rozenvingerige Eos Arkturus ziet (14 September), ga dan de druiven plukken. Als de Plejaden, de Hyaden en Orion (’s ochtends) ondergaan (eerste helft van November), denk dan aan het ploegen. Vijftig dagen lang na het omkeren van de zon (de zomermaanden) is de goede tijd voor de mensen om te varen.

Uit dit op generlei wijze van andere primitieve volken onderscheiden be-

gin heeft zich de latere Griekse sterrekunde ontwikkeld. De berichten, die over de eerste volgende vormen tot ons zijn gekomen, hoewel schaars en onvolledig, spreken nergens van waarnemingen der hemellichten, maar steeds van meningen der wijsgeren over de wereld. Dit toont, dat wij hier met een geheel andere denkwijze te maken hebben dan bij de Oosterse volken. Het zijn hier ook inderdaad andere mensen, gegroeid onder geheel andere levensomstandigheden, dan die wij in Egypte of Mesopotamië aantreffen.

Het vasteland van Griekenland was een overal door de zee diep ingesneden bergland, met slechts hier en daar kleine stukjes bebouwbaar land aan kusten en riviertjes, door bosrijke rotsige bergen van elkaar geïsoleerd. Dit leidde er toe, dat de uit het Noorden indringende stammen, die hier wel een goed klimaat en goede havens, maar geen voldoende grond voor vestiging en uitbreiding vonden, tot zeevaarders werden en zich over de naburige eilanden en kusten verspreidden. Zeevaart en handel werd een hoofdbedrijf; mettertijd beheerste hun handel de Aegeïsche Zee en dan, in concurrentie met de Pheniciërs, de gehele Oostelijke helft van de Middellandse Zee. En weldra trokken telkens scharen, die in het oude land geen levensruimte vonden, over de zee en vestigden zich enerzijds aan de kusten van Klein-Azië, anderzijds in Zuid-Italië. De volkplantingen, die zij daar stichtten, werden vaak, zoals Milete, centra van uitgebreide handel. Nieuwe vormen van economie en politiek traden hier op.

Volkplanters, die in een nieuw land komen, te voren gewoonlijk al de energieken en onafhankelijksten van hun stam, zijn het meest vrij van overgeleverde tradities. In hen ontspringen door de nieuwe omgeving, nog bevorderd door rasmenging, nieuwe denkbeelden veel gemakkelijker dan bij de in het oude land achtergeblevenen. Daar komen dan de nieuwe vormen van leven en arbeid bij. In de handelssteden ontstaat een burgerij van industriëlen en handwerkers, die voor verkoop op verre markten produceren en er zelfs soms op uit trekken. Zeevaarders en handelaars ontwikkelen een geheel andere geestesgesteldheid dan aan hun akkers gebonden boeren. Bij dezen wordt door altijd gelijkblijvende toestanden en zich steeds herhalende levensvormen de geest conservatief; de denkbeelden en opvattingen verstenen. Daarentegen staat bij hen, die door hun reizen in aanraking komen met steeds andere volken en andere natuur, de geest, beweeglijk en veranderlijk, open voor nieuwe indrukken. Handwerk en concurrentie maken hen vindingrijk; de techniek ontwikkelt zich en daaruit ontspringt een begin van natuurkundige kennis, die kritisch staat tegenover de overgeleverde mythologie. Zo is het begrijpelijk, dat onder de Ioniërs aan de Klein-Aziatische kust en onder de Grieken in Zuid-Italië het allereerst de natuurfilosofen opkomen, die nieuwe denkbeelden over de wereld verkondigen.

Deze Griekse kolonisten, wonende op de grens van twee werelddelen, tussen de barbare stammen van Europa en de despotische rijken van Azië, waren de eersten, die als moderne mensen optreden, vergelijkbaar met de latere burgers der Europese landen. Hier ontspringen het eerst een sterk burgerlijk geestesleven, dat zich uit in een opbloeiende literatuur, en een onafhankelijk denken, dat zich uit in een opbloeiende natuurfilosofie. Hier maakt men zich het eerst vrij van de overgeleverde primitieve eredienst van de Olympische goden. Met frisse durf ontspruiten de gedachten in nieuwe vormen en vereringen. In een bewaard gebleven fragment van de wijsgeer PARMENIDES

wordt beschreven hoe de (op de oude Olympus onbekende) godin Alètheia (de Waarheid) hem ontvangt in haar wagen, rondvoert door het heelal, en hem het innerlijke wezen der wereld toont en verklaart. Het eerst bij de Grieken, en onder de Grieken het eerst in de koloniën, ontwikkelt zich in de vrije burgers het krachtige individualisme, dat het karakter der latere mensheid steeds meer doordringt en bepaalt. Dit nieuwe geestesleven hebben latere geslachten, telkens als zij in soortgelijke maatschappelijke levensomstandigheden kwamen, van vroegere generaties overgenomen; zo b.v. West-Europa in de Renaissance-tijd van de klassieke Oudheid. De Grieken alleen hebben het van niemand kunnen overnemen; in Griekenland, speciaal in de koloniën, is dit moderne geestesleven uit zichzelf, autochtoon ontstaan; hier is de moderne mens geboren. Dat is de grote wereldhistorische betekenis van het Griekenland der Oudheid en de Griekse cultuur. Men heeft wel eens, eenvoudig om de lijn van het overnemen voort te zetten, ondersteld dat de eerste Griekse denkers hun denkwijze uit Babylon of Egypte hadden overgenomen. Het is echter zonder meer duidelijk, uit de geheel verschillende levensomstandigheden, dat daarvan, behalve dan voor enkele detailgedachten, geen sprake kan zijn.

Daar komt nog een tweede verschil bij. In Egypte en Babylonië bewonen de boeren uitgestrekte vruchtbare vlakten, waar de noodzaak van centrale zorg voor watertoevoer, dijken en kanalen al vroeg een sterk centraal vorstengezag in het leven riep. Daar is de intellectuele leiding door de priesterschap ook samengevloeid en gecentraliseerd in een machtige priesterhiërarchie, die wel ook de wetenschap verzorgt, maar deze toch bindt aan een door sterke traditie in oude vormen vastgehouden godsdienst. In Griekenland daarentegen was zulk een politieke eenheid en centrale macht niet nodig en niet mogelijk; de kleine staatjes, in voortdurende strijd met elkaar, bleven onafhankelijk, elk met eigen goden (door de dichters eerst tot een gemeenschappelijke godenhiërarchie op de Olympus georganiseerd), waardoor de macht en de geestelijke invloed van de priesterschap steeds plaatselijk en gering is gebleven. Dat heeft zijn stempel op het gehele Griekse denkleven en vooral ook op de Griekse wetenschap gedrukt. In het Oosten was de wetenschap priesterwetenschap, dus geketend aan traditionele eredienst; in Griekenland was ze lekenwetenschap, vrij opgroeiend in de beweeglijke geest van zeevaarders en nieuw land ontginnende kolonisten.

In de werken, die over de geschiedenis der sterrekunde in Griekenland handelen, treden als eersten, in de 7de en 6de eeuw v. C. tal van beroemde namen op, alle uit de koloniën in Klein-Azië en Zuid-Italië. De berichten en gegevens, die wij over hen en hun denkbeelden hebben, zijn schaars en vaak tegenstrijdig. Dit is geen wonder, als men bedenkt hoeveel van de geschriften uit de Oudheid verloren is gegaan en hoe weinig er van tot latere tijden is overgekomen. Wel zijn de werken van PLATO en ARISTOTELES, door het hoge aanzien waarin ze steeds stonden, bewaard gebleven; en ARISTOTELES geeft vaak inlichting over de meningen der vroegere filosofen. Maar daar hij dit meestal doet om er zijn weerlegging aan vast te knopen, is zij zelden geheel objectief. Zijn opvolger THEOPHRASTUS schreef een boek over „Natuurkundige meningen”; zijn leerling EUDEMUS schreef een geschiedenis der sterrekunde; beide zijn verloren gegaan. Op het eerste benevens enige andere biografische geschriften is een eveneens verloren verzameling van „menin-

gen” (omstreeks 50 v. C.) gebaseerd, dat zelf weer als bron gediend heeft tot een werk van AËTIUS „over de meningen”, uit ongeveer 100 n. C., dat in de volgende eeuwen vaak gebruikt en aangehaald is. Excerpten hieruit zijn door een onbekend schrijver, die ze met de naam van de grote biograaf PLUTARCHUS tooide, als „meningen der filosofen” in de 2de eeuw n. C. gepubliceerd. Uit deze beide bronnen hebben de kerkvaders en andere Christelijke schrijvers in de volgende eeuwen geput, hoofdzakelijk om de meningen der oude heidense wijsgeren te weerleggen; en daar deze Christelijke literatuur wel bewaard is, vormt zij de bron, waaruit het mogelijk is geworden, hun laatste voorlopers enigermate te reconstrueren. Er komen dan nog hier en daar enkele vermeldingen bij Romeinse schrijvers, zoals CICERO, bij. Maar het is te begrijpen, hoe onvolledig, vaak verwarrend en verkeerd overgenomen, en ook tegenstrijdig de op deze wijze overgeleverde denkbeelden zijn, die aan de oude denkers toegeschreven worden; en hoe weinig het streven van sommige moderne geleerden, om met veel vernuft hieruit diepere opvattingen te construeren, kon slagen.

Men noemt deze mannen filosofen, omdat zij gedachten en verklaringen uitspraken over het geheel van de wereld. Maar zij waren, vooral in Ionië, meest mannen van de practijk, die de arbeidstechnieken kenden en deze kennis op de verschijnselen van het heelal toepasten. Zoals de Engelse schrijver FARRINGTON het heel goed uitdrukt: „De technologie verdreef bij „de Milesiërs de mythologie. Hun grondgedachte was de opvatting, dat het „gehele heelal net zo werkt als het kleine deel dat de mensen beheersten.” Hun verklaringen zijn daarom veel interessanter in fysisch dan in astronomisch opzicht.

Van de oudste Ionische filosofen wordt gemeld, dat THALES van Milete (624—547) het water als het beginsel van alle dingen beschouwde, en de aarde als een platte schijf, die op het water drijft; dat volgens ANAXIMANDER van Milete (611—546) dit beginsel het onbepaalde of oneindige is, en de cilindervormige aarde vrij in de ruimte zweeft; en dat volgens ANAXIMENES, ook van Milete (585—528) de platte aarde door de lucht wordt gedragen, en eveneens zon en maan als platte schijven aldus drijven. Nog primitiever in sterrekundig opzicht zijn de meningen, die van de dichter XENOPHANES van Kolophon (570—478), en van HERAKLITUS van Ephese (omstreeks 500 v. C.) worden vermeld: dat de zon en de maan 's avonds (en bij eclipsen) uitdoven, of naar het oneindige voortlopen, en elke volgende dag door nieuwe zonnen en manen vervangen worden. Deze gelden nu juist als de belangrijkste en diepste denkers; XENOPHANES tastte in zijn leer, volgens zijn uitspraak dat de mensen de goden naar hun beeld schiepen, de oude godsdienst door vrijere opvattingen aan, waarin hij in de handels- en burgersteden van Ionië wel niet alleen gestaan heeft; en HERAKLITUS „de duistere” is zelfs nu nog in ere als eerste verkondiger van de eeuwige verandering en vloeijing der dingen. Dat zij denkbeelden over het heelal verkondigden, die al door de geringste opmerkbare waarneming der hemelverschijnselen weerlegd worden, bewijst, dat ze in het geheel geen waarnemers en geen sterrekundigen waren, maar nadenkende technici; en dat zij in de geschiedenis der sterrekunde nauwelijks enige rol hebben gespeeld. Dat aan THALES bij sommige latere schrijvers de bolvorm van de aarde en de juiste verklaring van de manecipsen werd toegeschreven, is te zeer in strijd met de betrouwbaarste gegevens om aan-

nemelijk te zijn. De uitingen van ANAXIMANDER over de hemellichten als vurige hoepels met een opening zijn vrij duister; en de mening van ANAXIMENES, dat de hemellichten 's nachts horizontaal langs het Noorden omtrekken, past niet bij de andere aan hem toegeschreven uitspraak, dat de sterren als vergulde spijkers aan de kristallen hemelbol bevestigd zijn. Maar er is in dit alles veel onzekerheid; men moet ook niet een afgerond wereldstelsel verwachten; en voor de groei van de sterrekunde had het in elk geval weinig betekenis.

Van meer belang is het, dat aan THALES de voorspelling van een zoneclips (die van 585 v. C.) wordt toegeschreven. HERODOTUS vermeldt, dat, toen de Meden en Lydiërs elkaar slag leverden aan de grensrivier Halys, de dag in nacht verkeerde, en dat deze verduistering door THALES van Milete voorspeld was binnen de tijdsruimte van ditzelfde jaar. Gezien de stand van de toenmalige sterrekundige kennis zou dit alleen mogelijk zijn, als hij uit Babylonische bron wist òf van deze eclips, òf van een algemene, in ieder geval empirische voorspellingsregel. De Babyloniërs waren toen wel in staat op korte termijn maaneclipsen te voorspellen; maar zoneclipsen zijn veel wisselvalliger en onzekerder. Daar van een bredere kennis van eclipsregels, die dan toch te verwachten was, niets blijkt, is het twijfelachtig, of ten minste onzeker, of deze vermelding op legende of waarheid berust.

Een hoger ontwikkeld wereldbeeld treedt nu op bij de Zuid-Italische Grieken. Hier ontmoet men het eerst de enigszins legendarische grote figuur van PYTHAGORAS van Samos (580—ong. 500 v. C.). In Egypte had hij de wijsheid van de priesters geleerd, en naderhand in Kroton een school of soort van monniksorde van leerlingen gesticht. Hem is steeds velerlei nieuw weten toegeschreven: speciaal diepgaande kennis van meetkunde en van het verband van muziekharmonie met getallenleer. Er bestaan geen geschriften van hem; zijn later uiteengespatte school van leerlingen verbreidde de op zijn naam staande leringen, en ARISTOTELES spreekt steeds van de Pythagoraeërs, nooit van PYTHAGORAS zelf. De leer van de bolvorm van de aarde wordt aan hem, maar ook aan zijn jongere tijdgenoten ALKMAEON en PARMENIDES van Elea (waarschijnlijk 504—450 ongeveer) toegeschreven; het is een inzicht, dat bij de zeevarende Grieken, bij enige opmerksaamheid, spoedig uit hun ervaringen moest opkomen. Deze erkenning leidde dan tot het inzicht van verschillende zones op aarde, wat door de lateren ook aan PYTHAGORAS en PARMENIDES werd toegeschreven; van de latere BRON van Abdera (einde 5de eeuw) wordt de uitspraak vermeld, dat er streken op aarde zijn, die zes maanden dag en zes maanden nacht hebben, een bewijs, dat toen zulke theoretische consequenties opgemerkt werden. Ook wordt van PYTHAGORAS vermeld, dat hij het eerst morgen- en avondster tot één lichaam verklaarde, en dat hij (of OENOPIDES) het eerst de schuinsheid van de ecliptica en de banen van de planeten ten opzichte van de dagelijkse wenteling erkende. Aan EMPEDOCLES van Agrigentum (494—434 v. C.) wordt de leer van de vier elementen toegeschreven, die uit elkaar ontstaan, en door Liefde en Strijd bewogen worden.

In een klaarder omlijnd beeld staan de kosmologische denkbeelden van ANAXAGORAS van Klazomene, een stad in Ionië, (ongeveer 500—428) voor ons. Hij vestigde zich in Athene, toen de machtige vrije burgerrepubliek, waar als politiek en cultureel centrum van Griekenland het geestesleven in literatuur en kunst tot hoogste bloei was gekomen. Hij was een vriend van

PERIKLES; en hij was beroemd in de Oudheid als de denker, die de geest als het bewegend principe van de wereld opstelde. Bij hem vindt men het eerst duidelijk uitgesproken, dat de maan haar schijnsel uitzendt enkel door het licht, dat zij van de zon ontvangt; en dat dus ook eclipsen van de maan ontstaan, doordat zij in de schaduw van de aarde of van een ander lichaam komt. Hij nam het oppervlak van de aarde weer als plat aan, het bovenvlak van een cylinder, die in de ruimte zweeft, terwijl de hemellichten door de wenteling van de aether onder de aarde door worden rondgevoerd. Er is dus een tweeslachtigheid in de structuur: voor de aardse verschijnselen rechthoekig, volgens horizontale vlakken als een wateroppervlak, en evenwijdige verticale lijnen, als vallende regen; voor de hemelse verschijnselen radiaal, volgens bolvlakken en cirkels om het middelpunt.

Terwijl bij deze allen de aarde in het midden van het heelal in rust is, treedt terzelfder tijd een andere leer op bij „de Pythagoraeërs”, waarmee met name PHILOLAUS van Tarente (tussen 500 en 400) bedoeld is. In het midden bevindt zich het centrale vuur, Hestia, waaromheen de bolvormige aarde dagelijks een kring beschrijft; zo ontstaat de afwisseling van dag en nacht. Voor ons is het centraalvuur onzichtbaar, omdat wij op de afgewende zijde wonen; of wel bevindt zich een gelijkelijk met ons voortlopende „tegen-aarde” tussen de aarde en het vuur. De zon is een doorschijnende bol, als van glas, die licht en hitte krijgt van het centraalvuur en van het vuur buiten de hemelbol, en dit naar de aarde weerkaatst en uitstraalt.

Met SOKRATES en de Sokratische gesprekken van de „goddelijke wijsgeer” PLATO (427—347) neemt de Griekse wijsbegeerte een nieuwe richting. Het zijn niet meer de vraagstukken van het wezen der natuur, die haar onderwerp vormen; door de ontwikkeling van handel, bedrijf en politiek in de Griekse wereld zijn nu de problemen van mens en maatschappij naar voren gekomen. De filosofie is niet meer natuurfilosofie maar levensfilosofie. SOKRATES zelf liet zich over natuurkennis zeer geringschattend uit; en slechts een klein deel van de gesprekken handelt over natuurleer. Terwijl van PLATO voor het eerst de werken in hun geheel bewaard zijn en tot ons gekomen, vindt men daarin slechts enkele fragmenten, waaruit men zijn kosmologische denkbeelden, zijn gedachten over natuur en sterrenwereld kan leren kennen. Deze zijn echter doorgaans in de vorm van mythen en symbolische vergelijkingen gehuld; daardoor zijn zij het voorwerp van een uitgebreide latere literatuur en moderne uitlegkunde geworden; en nog altijd is de strijd der meningen omtrent wat er mee bedoeld werd, niet geëindigd.

Voor PLATO vormen de ideeën, als geestelijke wezens, de werkelijke wereld, waarvan de zichtbare wereld slechts de verschijningsvorm is. Deze werkelijkheid laat zich niet door de ervaring der zintuigen erkennen. De ware wereld is volmaakt, zuiver en eeuwig, en is slechts door de geest te erkennen, wanneer deze zich niet laat beheersen en afleiden door de onvolkomen tijdelijke verschijnselen. Dit geldt ook voor de astronomie, voor welke de sierwerken aan de hemel, hoe schoon en volmaakt ook, toch alleen maar illustraties zijn, vergelijkbaar met de figuren der meetkunde: „wij zullen de sterrekunde be-, studeren evenals de meetkunde, door middel van problemen, en daarbij de „sterrenhemel zelf uitschakelen, als wij een werkelijke kennis van de sterre-

„kunde willen verkrijgen”. „De ware astronoom moet de grootste wijze zijn, „niet de man die zich als HESIODUS en anderen met opkomsten en ondergangen „bezighoudt, maar de man, die de zeven wentelingen, bevat in de achtste „beweging, onderzoekt.” Hier wordt dus ook schijn tegenover wezen gesteld, zij het ook op enigszins andere wijze dan als geest tegenover stof; wat in de latere sterrekunde als werkelijkheid tegenover de zichtbare verschijnselen aan de hemel optreedt, een andere ordening der lichamen en banen, van een ander gezichtspunt beschouwd, treedt bij PLATO als het geestelijk wezen der dingen op, dat slechts door de macht van de geest is te ontdekken door van de ervaring te abstraheren.

Voor PLATO zijn alle sterren „godelijke wezens met lichaam en ziel”; hun zichtbare vorm werd grotendeels uit vuur gemaakt „opdat zij het helderst „en het schoonst zijn om te beschouwen”, en voor de gelijkenis met het Al werden zij bolvormig gemaakt. Het Heelal is enig, eeuwig, levend en volkomen, een volmaakte bol, ook begaafd met een ziel en met een beweging, die als de volmaaktste bij deze vorm past, de gelijkmatige wenteling om een as. Daarbij komen dan de bewegingen van de zon, de maan, en de planeten. Deze zijn uiteengezet in een allegorische mythe in de „Republiek” en een dichterlijke beschrijving in de „Timaeus”.

In het eerste wordt een visioen beschreven van een lichtzuil, die de wentelende hemel samenbindt, en de spoel (of as) van Anangkè (de Noodzakelijkheid), die de wentelingen in stand houdt. Deze vertoont acht wervels binnen elkaar, tesamen een enkel oppervlak om de as vormend met cirkelvormige randen. Deze worden naar hun breedte en kleur beschreven; de eerste, buitenste en breedste, veelkleurig (dit is de sterrenhemel), wentelt met de as; en daarbinnen wentelen de andere zeven langzaam in tegengestelde richting. Onder hen is de binnenste, dus de achtste, de snelste (dit is de maan), dan volgen de zevende, zesde en vijfde met gelijke snelheid (zon, Venus, Mercurius), en daarna komen de anderen in volgorde. De zevende is de helderste en de achtste heeft zijn kleur van het schijnsel van deze (dit zijn dus zon en maan); de tweede en vijfde (Saturnus en Mercurius) zijn geler dan deze; de derde is het meest en de zesde wat minder wit van kleur (Jupiter en Venus), terwijl de vierde (Mars) bleek rood is. Uit deze detailopgaven is het volkomen duidelijk dat hier in dichterlijke allegorie over de planeten en hun banen wordt gehandeld. Er is door latere commentatoren en moderne verklaarders veel geleerdheid aangewend om de preciese details van dit mechanisme te onthullen; maar het is wel zeer waarschijnlijk, dat wij bij de dichterlijke auteur niet een voorstelling als van een moderne mechanische structuur mogen verwachten.

In de „Timaeus” wordt de schepping van de ziel en van de wereld beschreven. Er werden twee cirkels gevormd, in twee tegenovergestelde punten elkaar schuin kruisend, en beide in zichzelf wentelend. „De buitenste noemde „hij de beweging van het Hetzelfde-zijn, de binnenste die van het Anders-zijn. De wenteling van het Hetzelfde-zijn was zijwaarts, naar rechts, die „van het Anders-zijn diagonaalsgewijs (dus schuin) naar links; hij gaf het „meesterschap aan de eerste, die enkel en onverdeeld bleef, en kiefde de „ander in zeven ongelijke cirkels, in verhouding van dubbele en driedubbele „intervallen (naderhand geïnterpreteerd als afstanden 1, 2, 3, 4, 8, 9, 27), „en hij stelde vast, dat deze cirkels in tegengestelde richting zouden bewegen,

„drie met gelijke snelheid, en de vier andere met andere, afwijkende snelheden”. Ook hier is het onmiddellijk duidelijk, dat de beweging van het Hetzelfde-zijn de dagelijkse wenteling van de hemelbol is, voor alle sterren gelijk en gemeenschappelijk, en die van het Anders-zijn de beweging van de zeven bewegende gesternten langs de ecliptica voorstelt.

Om „een bewegend beeld van de eeuwigheid” te maken, in getallen uitgedrukt, wat wij de Tijd noemen, werden de zon, de maan en de vijf planeten geschapen en in deze zeven banen geplaatst. „De maan plaatste hij het naast „bij de aarde; in de tweede boven de aarde plaatste hij de zon; daarna stelde „hij de Morgenster en de ster gewijd aan Hermes in banen met gelijke snelheid als de zon, maar met een daaraan tegengestelde kracht (of tendens), „waardoor deze beiden beurtelings de zon inhalen en door haar ingehaald worden.” Zo is dag en nacht door de eerste wenteling van de hemel bepaald, de maand door de maan, het jaar door de zon. „Maar de loop van de anderen „hebben de mensen niet doorgrond, of slechts enkelen. . . ., en zij weten „nauwlijks, dat de tijd door hun voortlopen wordt voorgesteld, zo onberekenbaar en wonderbaarlijk ingewikkeld is dit.”

Van de andere planeten wordt dan gezegd, dat een nadere uitleg van hun banen te veel ruimte zou kosten. In een door een leerling voltooid nagelaten geschrift wordt er over gesproken, dat zij evenals de derde met de zon gelijklopende planeet geen namen hebben, omdat zij door barbaren, in hun veel gunstiger klamaat, ontdekt en benoemd zijn. Maar zij zijn toch naar de goden genoemd, de morgen- en avondster naar Aphrodite, de zoëven genoemde naar Hermes. Er blijven drie over, langzamer dan deze alle, de langzaamste door sommigen naar Kronos genoemd, de volgende moet de ster van Zeus heten, en de dan volgende, de roodste van allen, de ster van Ares. Dat deze godennamen voor de planeten, die hier bij PLATO voor het eerst optreden, zo overeenstemmen met de Babylonische, wijst er op, dat in deze tijden reeds invloeden uit het Oosten zich op de Griekse sterrekunde doen gelden.

De beweging van het Hetzelfde-zijn, omdat zij sneller is dan alle andere, haalt deze allen in; de dagelijkse draaiing van zon, maan en planeten vindt daarbij langzamer en in spiralen plaats, terwijl die onder hen, die het snelst in hun eigen baan zijn, in de dagelijkse draaiing de langzaamste lijken, en omgekeerd. Dit geeft opnieuw aanleiding om in de hemelbewegingen schijn en wezen tegenover elkaar te stellen. In de „Wetten” wordt gezegd, dat de Grieken lasterlijk spreken over de goden, door te zeggen dat deze vele verschillende wegen gaan, terwijl zij in werkelijkheid steeds dezelfde baan houden, en doordat zij de snelste noemen, die in werkelijkheid de langzaamste zijn.

Terwijl uit dit alles de kosmologische leer van PLATO, zijn wereldstelsel, zonder twijfel of dubbelzinnigheid te voorschijn treedt, zijn er toch een paar zinsneden, die aanleiding hebben gegeven tot de mening — en tot uitgebreide discussies daarover — dat PLATO in zijn latere jaren de aswenteling van de aarde zou hebben aangehangen. Ten eerste om de reeds genoemde tegenstelling: alleen als hij de hemeldraaiing als een schijn beschouwt, kan hij Saturnus als werkelijk de langzaamste, de maan als de snelste in beweging noemen; dat kan hij niet als voor hem de hemeldraaiing werkelijkheid is. Maar daartegen is op te merken, dat voor PLATO de scheiding van de totaalbeweging in de dagelijkse draaiing en de eigen baan langs de ecliptica, waarin

Saturnus de langzaamste is, een werk des geestes, een proces van abstractie was, dus de diepere werkelijkheid, het wezen van de wereldbouw mocht heten. Ten tweede om een zinsnede in de „Timaeus” waar hij zegt: „Maar de aarde, „onze voedende moeder, gewonden (opgehoopt, samengepakt) om de as, die „zich door het heelal strekt, vormde hij als wachter en bewerker van nacht „en dag, de eerste en oudste van de goden, die in het heelal zijn geschapen”. Het woord bewerker (demioergos, handwerker) zou inderdaad beter passen, wanneer een rotatie van de aarde dan een van de hemel dag en nacht bewerkte; maar dit is wel te zeer in strijd met alle andere inhoud; en het woord zal dus in ruimer zin verstaan moeten worden. Ten derde wegens een zinsnede bij ARISTOLELES: „sommigen zeggen, dat zij, in het middelpunt liggend, „gewonden is en zich beweegt om de as (polos), die zich door het heelal uit „strekt, zoals in de Timaeus geschreven staat”. Hier wordt echter niet over PLATO maar over de Pythagoraeërs gesproken, en reeds THOMAS VAN AQUINO heeft uiteengezet, dat de laatste woorden slaan op de as door het heelal, waarvoor wel PLATO, maar ARISTOLELES nooit de naam polos gebruikte. Zo bestaat er omtrent PLATO's opvatting omtrent dit punt tegenwoordig wel niet veel verschil van mening meer.

Langzaam en geleidelijk heeft zich dus in het oude Griekenland de sterrekunde zover ontwikkeld, dat in de 4de eeuw v. C. de afzonderlijke planeten en hun loop langs de ecliptica onderscheiden werden. Het is wel opmerkelijk dat in deze eeuwen van 600—400 v. C., waarin de Grieken (in Athene) tot de grootste economische en politieke bloei kwamen, innerlijk tot hoge burger-vrijheid door handel en bedrijf, uiterlijk tot sterke macht tegenover de Perzische despotie in het Oosten; waarin in samenhang daarmee literatuur en kunst tot een hoogte stegen, die naderhand nauwelijks meer in de wereld is geëvenaard; waarin wijsgeren optreden, die nog steeds bewonderd en bestudeerd worden — dat toch tegelijk de wetenschap der sterrekunde slechts zo moeizaam naar boven kwam. Kennis van eenvoudige hemelverschijnselen, die naar men zou menen bij enigszins opmerkzaam opletten gemakkelijk moesten opvallen, wordt hier, als gold het belangrijke ontdekkingen, op het crediet van beroemde wijsgeren geschreven. Dit bewijst te meer, dat de geest der Grieken in die eerste eeuwen van bloei niet op practische sterrekunde was gericht; dat dus, anders dan in Babylon, van hun levenspraktijk geen sterke prikkel tot voortdurend aandachtig waarnemen der gesternten is uitgegaan.

#### 10. TIJDREKENING EN MEETKUNDE

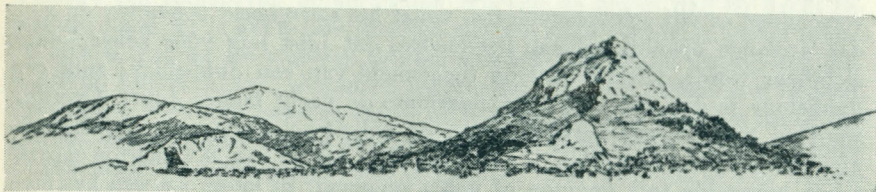
Ook voor de Grieken waren het het reizen en de tijdrekening, die de oorsprong van de practische sterrekunde vormden. Terwijl wij weten, hoe Griekse schippers voor hun handel onvervaard de zeeën doorkruisten, zijn toch van het gebruik van de sterren in de zeevaart weinig berichten tot ons gekomen. Latere schrijvers spreken van een van THALES afkomstige hand-leiding over nautische sterrekunde; deze wordt echter door anderen aan PHOCUS van Samos toegeschreven.

Talrijker zijn de vermeldingen, hoe de oude Grieken met behulp van sterrekundige gegevens de tijd van de dag wisten te vinden en hun kalender ordenen. Het voortgaan van de uren in de nacht was kenbaar aan het opkomen van telkens nieuwe sterbeelden in het Oosten. De eerste kennis van de twaalf tekens van de dierenriem, die aan OENOPIDES van Chios (omstreeks 430 v. C.) werd toegeschreven, is zonder twijfel, zoals de namen bewijzen, van uit de Babylonische wetenschap overgenomen. In de loop van een nacht verschijnen er vijf achtereenvolgens, vanaf het sterbeeld tegenover de zon, dat 's avonds opkomt, tot aan het laatste, dat juist nog vóór zonsopkomst zichtbaar wordt. Hierbij past de tijdeenheid van een dubbeluur; zulk een dubbeluur is dan des te langer, naarmate de nacht langer duurt. Overdag werd de tijd, als een verfijning van de enkele schatting naar zonshoogte, afgeleid door met de voeten de schaduw af te passen van een daartoe expres-selijk opgestelde zuil, gnomon of polos genoemd. In latere eeuwen kwamen daarvoor verschillende soorten van zonnewijzers in gebruik, b.v. door de schaduw van een bolletje in een holle door cirkels verdeelde kom. Daarnaast waren wateruurwerken in gebruik.

De tijdrekening was bij de Grieken van oudsher op de maankalender ge-grond, en op de aanpassing van deze aan het zonnejaar. De maand begon met het verschijnen van de avond-maansikkel — dus werd het etmaal ook met de avond begonnen —, wat eerst ongetwijfeld empirisch werd vastgesteld. Later werd, daar het weer de zichtbaarheid van de eerste sikkel vaak bemoei-lijkte, een regelmatige afwisseling van „volle” en „holle” maanden (d.i. van 30 en van 29 dagen) ingevoerd, waarbij echter per 16 jaar 3 dagen bijgevoegd moesten worden. De twaalf maanden van het jaar droegen in elk der Griekse steden of landschappen andere namen — de Atheense traden natuurlijk in handel en wetenschap het meeste op —; ze vielen ook niet samen; in sommige plaatsen (b.v. in Athene) begon het jaar met de zomer, in andere met andere jaargetijden. Hieruit blijkt ook weer de geestelijke versnippering van Griekenland in afzonderlijke, nauwelijks verbonden kleine eenheden. De jaren zelf werden naar de regerende ambtenaren, dus ook verschillend in verschillende steden, aangegeven. Latere schrijvers konden echter voor het dateren van vroegere gebeurtenissen bovendien van de Olympiaden, de vierjaarlijkse grote wedstrijden in Olympia, gebruik maken.

Deze maankalender moest aan het zonnejaar worden aangepast, dat arbeid en bedrijf, dus het praktische leven beheerste. Dit wordt in een leerboek der sterrekunde van een later schrijver, GEMINUS, aldus uitgedrukt: „de jaren „naar de zon rekenen betekent aan de goden dezelfde offers in hetzelfde jaar „getijde brengen. . . . Want zij nemen aan, dat dit aan de goden welgevallig „was”. De tijd van het jaar is ongetwijfeld nog lang op de wijze als bij HESIODUS door het verschijnen en verdwijnen, of ook de avondopkomst, van opvallende sterren bepaald. Daarnaast kwam de behoefte om het jaar door opzettelijke waarneming vast te leggen. Het meest voor de hand liggende verschijnsel was daarbij de zomer-zonnestilstand (solstitium), de dag waarop de zon de grootste hoogte bereikt en weer omkeert, waarbij tegelijk de plaatsen van opkomst en ondergang het verst naar het Noorden verschoven zijn. Daarop slaat waarschijnlijk een door lateren bewaarde zinsnede in het ge-schiedeniswerk van THEOPHRASTUS, dat de Atheense sterrekundige PHAEINOS de zonne-omkeer waarnam aan de Lykabettos, en KLEOSTRATUS van Tenedos

aan het Ida-gebergte (op het naburige vaste land). De Lykabettos is een heuvel, toen even ten N.O. buiten de stad (thans midden in het moderne Athene); de onregelmatige aftekening van het bergprofiel aan de horizon maakte dat kleine veranderingen in het azimuth van de in de zomer in het Noordoosten opgaande zon vrij precies opgemerkt en vastgesteld konden worden.



De Lykabettos, gezien van de Akropolis  
(naar E. CURTIUS, Stadtgeschichte von Athen)

De aanpassing van de maankalender aan de zonneloop vond, evenals in Babylon, plaats door in sommige jaren een 13de maand in te schakelen, dus door verdubbeling van de 12de maand. Dit geschiedde volgens besluit van de regerende ambtenaren, dus enigszins willekeurig en plaatselijk verschillend. Het is begrijpelijk, dat de sterrekundigen gepoogd hebben uit hun waarneming een betere schakeling naar vaste regels en perioden af te leiden. De reeds genoemde KLEOSTRATUS van Tenedos (omstreeks 500 of 520 v. C.) wordt in latere bronnen vermeld als degene, die het eerst een 8-jarige schakelperiode (oktaëteris) heeft ingevoerd. Deze omvatte 99 gehele maanden en telde 2922 dagen; hieruit volgt de lengte van het jaar  $365\frac{1}{4}$  dag, en die van de maanperiode 29,515 dagen, wat 0,016 dag te weinig is; 99 maanperioden zijn in werkelijkheid  $2923\frac{1}{2}$  dag. Dit sluit reeds uit, dat de 8-jarige periode vanaf veel vroegere tijden in gebruik zou zijn geweest; en het is zeer de vraag of zij ergens in Griekenland praktisch toegepast is. GEMINUS beschrijft dan hoe deze periode verbeterd is door EUDOXUS van Knidus (408—355), die er elke 16 jaar 3 dagen aan toevoegde, om de maand met de dagen te doen overeenstemmen, en dan na 10 zulke perioden een schakelmaand liet uitvallen om met het zonnejaar uit te komen. Er is echter geen enkele aanwijzing dat óf de 16-jarige of de 160-jarige periode praktisch in gebruik is genomen.

Want reeds vóór de tijd van EUDOXUS was door de Atheense sterrekundige METON, leerling van PHAEINOS (omstreeks 433 v. C.), die volgens PTOLEMAEUS tezamen met EUKTEMON waarnemingen deed, een andere cyclus opgesteld. Dit is de 19-jarige periode, van 6940 dagen, die 235 maanden bevatte. Dit is dezelfde, die ook in Babylon in gebruik is gekomen en in vele tijdrekeningen overgegaan. Het is nog onzeker of de Grieken de kennis van deze periode van de Babyloniërs hebben overgenomen, of dat zij deze zelfstandig hebben gevonden. In Babylon is zij als vaste basis van het kalenderwezen eerst later, sinds 370 v. C. vast te stellen. Naar deze cyclus is een jaar  $365\frac{5}{19}$  dagen,  $\frac{1}{76}$  dag meer dan  $365\frac{1}{4}$ , terwijl de juiste duur van 235 maanperioden 6939,69 dagen bedraagt. Doel en strekking van deze kalenderperioden was waarschijnlijk, het aantal verlopen dagen tussen oude en nieuwe datums ontwijfelbaar vast te leggen, speciaal ook voor astronomisch gebruik.

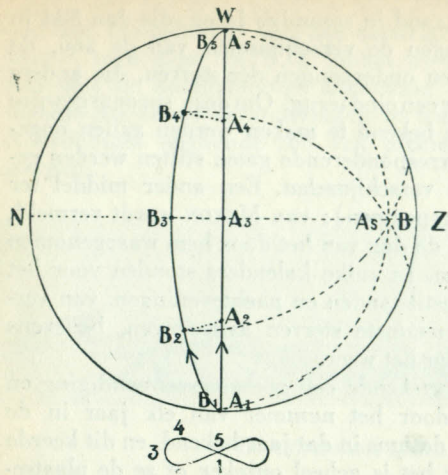
Bij de inschakeling van een 13de maand in sommige jaren, die dan 384 in plaats van 354 dagen kregen, sprongen de verschijnselen van de zon, de solstitien, evenals de heliakische op- en ondergangen der sterren, die anders elk jaar 11 dagen vooruitsprongen, weer een eind terug. Om deze sprongsgewijze wisselingen in datum aan de burgers bekend te maken werden zuilen opgesteld waar in met bepaalde datums corresponderende gaten stiften werden gestoken met aanwijzingen omtrent de verschijnselen. Een ander middel ter inlichting vormden de kalenders (parapegmen); van METON wordt vermeld, dat hij een parapegma uitgaf, dat met de dag van het door hem waargenomen zomer-solstitium van 432 v. C. begon. In zulke kalenders stonden voor het betreffende jaar de datums van zonnestilstanden en nachteveningen, van verschijnen en verdwijnen van de voornaamste sterren aangegeven, benevens aanwijzingen en voorspellingen omtrent het weer.

De 19-jarige periode van METON betekende een grote vereenvoudiging en regulering van het kalenderwezen; door het nummer van elk jaar in de cyclus was onmiddellijk alles omtrent datums in dat jaar bekend, en dit keerde in elke volgende periode terug. Maar het is geheel onzeker of ze de plaatselijke kalenders heeft kunnen verdringen. Zeker is ze niet dadelijk, doch mogelijk eerst later, omstreeks 340 v. C. in Athene in gebruik genomen. Maar ook in dit geval schijnt men er zich later niet meer precies aan te hebben gehouden, want de schakeljaren, die uit documenten zijn gevonden, passen niet in een regelmatige terugkeer van zulk een reeks.

In deze zelfde eeuwen, waarin de kennis van de hemellichamen en hun perioden voor de praktijk van de tijdmeting zich uitbreidt, ontwikkelt zich ook de theoretische wetenschap, met name de wiskunde. Hier, speciaal op het gebied van getallenleer en meetkunde, kon de op nadenken, op algemene regels, op abstractie gerichte zin der Grieken een rijk veld van groeiende kennis, van steeds verder gaande stellingen en waarheden opbouwen. En deze vonden mettertijd ook hun toepassing op de sterrekunde.

De boven reeds genoemde EUDOXUS van Knidos was befaamd als meetkundige; en hij is in de geschiedenis der sterrekunde bekend als de eerste, die in Griekenland een theorie van de heen- en weergangen der planeten heeft gegeven. Hij nam aan, naar de geldende opvattingen van die tijd, dat elke planeet aan een bol, die de aarde tot middelpunt had, bevestigd was en door de beweging daarvan meegenomen werd. Om nu de onregelmatigheid van de planetenloop te verklaren, nam hij in plaats van één, meerdere bollen aan, homocentrisch d.i. om eenzelfde middelpunt in elkaar draaiend, en elk volkomen regelmatig wentelend, zoals bij een bol past.

Om zijn theorie goed te doorzien denkt men zich een hemelbol wentelend om een horizontaal Noord-Zuid gelegen as; een aan zijn evenaar bevestigd lichaam rijst dan in het Oosten recht omhoog, gaat door het toppunt en daalt in het Westen rechtstandig omlaag (geval A). Legt men de as echter in het Zuiden schuin omhoog (geval B), met een hellingshoek van b.v.  $10^\circ$ , dan rijst het evenaarpunt in het Oosten schuin omhoog, naar het Noorden afwijkend tot het in de meridiaan zo ver mogelijk, n.l. 10 graden ten N. van het toppunt ligt, en dan schuin naar het W.-punt neerdaalt. Ten opzichte van het lichaam op de eerste bol schommelt dit punt dus naar het N. en terug; en in



Beweging van twee homocentrische bollen

we nu het geval B, waarbij het punt, dat nu de planeet zal voorstellen, van Oost over B2, B3, B4, naar West loopt, maar laten we daarbij de gehele bol met de polen van B er in bevestigd, in tegengestelde richting om de horizontale as N.-Z. wentelen, dus van W. naar O. terzelfdertijd als de planeet van O. naar W. zou lopen; dan zal deze nu alleen de relatieve baan van het 2de figuurtje, de hippopede, beschrijven. Zij schommelt naar links en rechts beurtelings een bedrag van  $10^\circ$  heen en weer, en wijkt daartussen een klein bedrag (evenredig met het kwadraat van de hellingshoek) naar boven en beneden af; en dit heen en weer schommelen wordt verkregen door gelijkmatige wentelingen van twee bollen binnen elkaar, waarvan de eerste zijn as met de polen heeft vastgehecht in de tweede en door deze wordt rondgevoerd. Deze tweede bol heeft nu zijn as met de polen in de ecliptica op een derde bol liggen, die om de pool van de ecliptica van West naar Oost wentelt in de omloopstijd van de planeet. Daarbij doorlopen dus deze polen de gehele ecliptica, en hetzelfde doet de hippopede-figuur. De planeet zal dan door de combinatie van de gelijkmatige voortgang en de heen- en weergaande schommeling beurtelings een groot stuk vooruit en een klein stukje terug lopen; de wentelingstijden van de twee eerste bollen moeten dan de planetenperiode zijn. Ten slotte is de wentelingsas door de polen van de ecliptica vastgehecht in een 4de bol, die elke dag een wenteling om de hemelas van Oost naar West volvoert. Zo is dan de gehele beweging weergegeven: zowel de dagelijkse draaiing volgens de equator, als de schuine tegengestelde beweging van de planeet langs de ecliptica, als ook het telkens terug lopen in deze beweging.

Het is wel een bewonderenswaardig scherpzinnige meetkundige prestatie, om op deze wijze de onregelmatige loop der planeten uit volmaakt gelijkmatige wentelingen van vier in elkaar gehechte bollen om hetzelfde middelpunt te verklaren. Bij de zon en de maan, die steeds in dezelfde richting voortlopen, zijn drie bollen voldoende; door aan de wenteling van de derde een iets andere schuinheid te geven kon ook de helling van de maanbaan t.o.v.

de verdere draaiing, beneden, wijkt het evenveel naar het Z. uit. Bovendien echter blijft het in zijn opstijgen in het Oosten, omdat het schuin loopt, eerst een weinig, tot ongeveer  $\frac{1}{2}^\circ$ , achter bij het eerste punt (B2—A2 in de figuur), en haalt dit daarna in tot het in de meridaan (B3—A3) er weer mee gelijk is; in B4 is het dan tijdelijk iets vóór. Hun relatieve plaats is dus als in het onderste figuurtje, waar ter completering voor een gehele omwenteling een soortgelijke lus aan de rechterkant toegevoegd moet worden. Deze figuur noemt de Griekse schrijver een „hippopede” (paardeloop), omdat in de manege de paarden ook een figuur in de vorm van een 8 liepen. Nemen

de ecliptica in rekening worden gebracht. Dat wij iets van de details van deze theorie weten, is alleen doordat SIMPLICIUS, de meest bekende commentator van ARISTOTELES in de 5de eeuw n. C., ons deze heeft overgeleverd. Nu worden bij hem wel de omloopstijden vermeld, maar niet de hellingen der bollen; dus moet men hierover zelf passende onderstellingen maken. Neemt men daarvoor bij Saturnus en Jupiter  $6^\circ$  en  $13^\circ$  aan, dan komt men op een goed bedrag voor de teruggangen, n.l.  $6^\circ$  en  $8^\circ$ , met afwijkingen naar N. en Z. van  $9'$  en  $44'$ , dus van geen belang. Bij Mars is echter, bij een synodische periode van  $2\frac{1}{7}$  jaar, geen teruggang te krijgen; hoe groot de helling ook genomen wordt, de schommeling blijft te langzaam t.o.v. de voortlopende beweging. Bij SIMPLICIUS wordt voor de omwentelingstijd van de binnenbollen dan ook een drie maal korter tijd, 8 maanden 20 dagen, opgegeven; en daarmee is, bij een helling van  $34^\circ$ , inderdaad een teruggang van  $16^\circ$  te krijgen. De afwijkingen door de breedte van de hippopede, die tot  $5^\circ$  oplopen, zijn natuurlijk niet in overeenstemming met de werkelijke breedteveranderingen van de planeet. Erger is het, dat bij deze wentelingstijd van de bollen in elke Marsperiode drie keer een teruglopen zou moeten plaatsvinden; behalve in de oppositie in twee verafgelegen minder goed zichtbare gedeelten van de baan. Hier schiet dus de theorie, hoe mooi wiskundig ook verzonnen, volkomen te kort in het weergeven der verschijnselen. Hetzelfde geldt voor Venus. Er blijkt wel uit, dat EUDOXUS over geen volledige en nauwkeurige reeks van waarnemingen beschikte om er zijn theorie aan te toetsen. De empirische kennis van de planetenbeweging was in Griekenland nog zeer onvolkomen; men wist alleen, in algemene vorm, kwalitatief, dat er telkens teruggangen optraden, maar ook niet veel meer; en van een weergeven van de fijnere details der onregelmatige beweging kon dus nog minder sprake zijn. Hier blijkt opnieuw, dat de Griekse geleerden geen waarnemers, geen sterrekundigen waren, maar uiterst scherpzinnige denkers en wiskundigen. Niet als een vooruitgang en blijvende aanwinst der sterrekunde, maar wel als eerste poging en als een monument van wiskundig vernuft, zal deze theorie van EUDOXUS gedenkwaardig blijven.

Toch kwam ook in de kennis der sterrekundige verschijnselen vooruitgang. Voor de tijdrekening moest de zon opmerkzaam gevolgd worden, en de aandacht richtte zich ook op haar andere verschijnselen. Nu kwamen naast de zonnestilstanden ook de nachteveningen, als de zonshoogte juist een waarde midden tussen de uiterste standen had. Dit blijkt uit de vermelding van de duur van de vier jaargetijden 93, 90, 90, 92 dagen volgens EUKTEMON; de waarden zijn echter nog niet zeer nauwkeurig, want de juiste bedragen voor die tijd zijn 94,1, 92,2, 88,6 en 90,4 dagen. Een grote vooruitgang treedt in de volgende eeuw op bij de bekwame sterrekundige KALLIPPUS van Cyzikus (tussen 370 en 300), een leerling van POLEMARCHUS, die zelf een leerling van EUDOXUS was. De duur van de jaargetijden, die hij opgeeft, weer beginnende bij de lente, is 94, 92, 89 en 90 dagen, dus alle binnen een halve dag juist. Deze ongelijke tijdsduur voor de vier even grote kwadranten van de ecliptica betekent, dat de snelheid van de zon afwisselend groter en kleiner wordt. Dit was in de theorie van EUDOXUS weer te geven door ook de zon een kleine hippopede van  $4^\circ$  te laten beschrijven, die haar loop beurtelings wat vertraagt en versnelt. Inderdaad vermeldt SIMPLICIUS, dat KALLIPPUS voor de zon en de maan ieder twee bollen toevoegde aan de drie van EUDOXUS; dat kan hierop

slaan. Hij vermeldt tevens, maar zonder nadere details, de toevoeging van een vijfde bol bij de vier voor Mars en Venus; men mag vermoeden, dat dat hier is geschied om het tekortschieten van EUDOXUS' verklaring te verhelpen. Het is op allerlei wijzen mogelijk om met drie in elkaar draaiende bollen een heen en weerslingeren in lengte te krijgen snel genoeg om bij een synodische periode van  $2\frac{1}{7}$  jaar toch een teruglopen van Mars te krijgen; maar hoe KALLIPPUS het werkelijk gedaan heeft, weten wij niet. Er blijkt in elk geval zijn grote bekwaamheid als meetkundige uit.

Aan KALLIPPUS wordt ook (omstreeks 334 v. C.) een verbetering van METON's 19-jarige kalenderperiode toegeschreven. Door vier van deze perioden tezamen te nemen, dus een 76-jarige tijdperk te nemen, en daarbij één dag af te trekken (dus  $4 \times 19$  jaar = 940 maanden = 27759 dagen) werd de lengte van het jaar precies  $365\frac{1}{4}$  dag, in plaats van  $\frac{1}{76}$  dag meer. De maanperiode werd dan 29d 12u 44m 25,5s (22s te groot). Zijn eerste cyclus begon 330 v. C.; maar ze is enkel bij geleerden, hoogstens in parapegmen, maar niet als officieel kalendervoorschrift in gebruik gekomen.

## 11. STELSLS VAN WERELDBOUW

ARISTOTELES van Stagira (384—322), een leerling van PLATO, is begonnen met van de grondgedachten van zijn leermeester uit te gaan; maar heeft dan, daarop in andere richting voortbouwend, in voortgaande groei zijn eigen wereldleer ontwikkeld. Terwijl voor PLATO de ideeën de werkelijke wereld vormen en de wereld der verschijnselen een bedriegelijke schijn is, is voor ARISTOTELES de wereld der verschijnselen de werkelijke wereld, waarin de ideeën als hun diepste innerlijke wezen zich manifesteren. De zichtbare verschijningswereld ontstaat doordat de ideeën op de vormloze stof, de materie, inwerken en daaraan vorm en bepaaldheid geven. De wereld der verschijnselen toont voortdurende wisseling en beweging, ontstaan en vergaan; het wezen der dingen is eeuwig en onveranderlijk. Het doel van wetenschap en wijsbegeerte — die in Griekenland één zijn — is het erkennen van dit onveranderlijke wezen door middel van het denkvermogen, het abstractievermogen van de geest. Enerzijds worden daarbij uit het bijzondere der waargenomen verschijnselen de abstracte begrippen gevonden. Meer dan zijn voorgangers legt ARISTOTELES een hoofdgewicht op zorgvuldige waarneming en beschrijving van alle details in de ervaringswereld der verschijnselen; zijn werken vormen een encyclopaedie van alle weten van zijn tijd, van de natuurverschijnselen en de dierenwereld zowel als van de menselijke maatschappij, de politiek, de ethica en de kunst. Anderzijds moet het bijzondere als uitvloeisel der ideeën, moet de veelheid der verschijnselen uit de begrippen afgeleid, dus door afleiding uit het wezen als noodzakelijke waarheid vastgesteld worden. Dit geschiedt door zorgvuldige logische redenering en gevolgtrekking. Dit brengt een vorm van voorstelling mee, waarbij de beschreven verschijnselen als door redenering verworven uitvloeisels van het voorop-

gestelde wezen der dingen, van hun ware innerlijke natuur, en van algemene principes optreden. Door deze, voor moderne opvatting vaak gekunstelde redenering, krijgt zijn wetenschap, voorgesteld als logisch resultaat uit de opgestelde principes, een sterk dogmatisch karakter. Maar tevens geeft het geslotene en alzijdig doordachte aan zijn wereldbeeld een hoge mate van innerlijke logica en schone harmonie.

De structuur van het heelal bij ARISTOTELES is volkomen radiale bolsymmetrie. De wereld is om het middelpunt volgens elkaar omgevende bollen en bolschillen opgebouwd, en de eenvoudige bewegingen volgens rechte lijnen zijn alle volgens stralen, die van af of naar het middelpunt toe gericht zijn. „Cirkelvormig is de beweging om het middelpunt heen, rechtlijnig is de beweging naar boven of naar beneden. Ik noem naar boven de beweging van het middelpunt af, naar beneden die naar het middelpunt toe. Dus moeten noodzakelijk alle eenvoudige plaatsveranderingen zo zijn: een van het middelpunt af, een ander naar het middelpunt toe, en nog een andere om het middelpunt heen.” De tegenstelling in ANAXAGORAS' wereldbeeld tussen de stralig-bolvormige structuur van de omringende hemel en de rechthoekig-vlakke structuur van alles op het platte aardoppervlak is hiermee volkomen opgeheven.

Met PLATO en andere voorgangers neemt ARISTOTELES de vier elementen aan: aarde, water, lucht en vuur, die in deze volgorde van afnemende zwaarte boven elkaar in concentrische bollen gelaagd, het aardse deel van de wereld vormen. Doordat elk van hen, als het van zijn plaats is geraakt, deze natuurlijke plaats weer tracht in te nemen, is de natuurlijke beweging van de zwaardere elementen rechtlijnig naar het middelpunt toe, van de lucht en het vuur van het middelpunt af naar boven gericht, waar zij dan tot rust komen. Bij het element vuur moet men niet denken aan aardse vlammen; de warmte en het licht van de hemellichamen ontstaat door de wrijving van hun beweging tegen de lucht, die daardoor heet wordt. In deze hogere lagen waar lucht en vuur gemengd zijn, verzamelen zich de dampen van beneden, en als zij plotseling ontvlammen, vertoont zich dit als vallende sterren en kometen.

De beweging van de hemellichamen is niet rechtlijnig en ophoudend, maar cirkelvormig, eeuwig voortgaand, onveranderlijk; veranderingen in deze wereld zijn nooit waargenomen. Zij zijn dus verschillend van de vier aardse elementen, zij vormen een vijfde element (quinta essentia), volmaakter dan de andere, de aether, het principe, waaruit de sterren gebouwd zijn, goddelijk, eeuwig en intelligent. Het gebied van de aether reikt tot de streek van de maan; daar begint de vermenging; en het „ondermaanse” is het gebied van de vier aardse elementen.

De aarde is in rust in het centrum van het heelal; omdat alle delen streven naar dit centrum, heeft zich daar het zwaarste element verzameld en vormt het vaste lichaam van de aarde. Door lange redeneringen wordt aangetoond, dat elke beweging van de aarde tegen haar natuur zou zijn. Doordat alle zware delen elkaar trachten te verdringen om zo dicht mogelijk bij het middelpunt te komen, moet het begrenzend buitenoppervlak een bol om het middelpunt van het heelal zijn, waarmee dus het middelpunt van de aarde samenvalt. Bovendien volgt de bolvorm van de aarde uit de verschijnselen die wij waarnemen; bij maansverduisteringen zouden de begrenzingen van de aard-



schaduw niet zo gebogen kunnen zijn als wij ze zien, indien de aarde niet bolvormig was. De aarde kan ook niet zeer groot zijn, want een kleine plaatsverandering naar Noord of Zuid is voldoende, om een andere horizon te krijgen; in Egypte en op Cyprus zijn sterren zichtbaar, die men hier (in Griekenland) niet ziet. De wiskundigen, die getracht hebben de afmetingen van haar omtrek te bepalen, geven daarvoor 400000 stadiën aan.

Het heelal is eindig en bolvormig. Dat het eindig moet zijn volgt ten eerste daaruit, dat als het oneindig was, hetzij enkelvoudig, hetzij samengesteld, een dezer elementen oneindig zou moeten zijn, en dan was er geen ruimte voor de andere. Verder daaruit, dat de bewegingen cirkelvormig zijn, en een oneindige cirkel niet doorlopen kan worden. En ten derde daaruit dat een oneindig ding geen middelpunt kan hebben, en het heelal heeft een middelpunt. Dat het heelal bolvormig is wordt ten eerste daardoor bewezen, dat het heelal volmaakt is en de bol de enige volmaakte figuur; verder daardoor dat de bol bij rondwenteling steeds dezelfde ruimte blijft innemen; daarbuiten is geen ruimte meer, maar eeuwigheid. Bovendien wordt het waarschijnlijk gemaakt door de bolvorm van de andere elementen. Dat de maan bolvormig is, zien wij aan de begrenzingen van het belichte en onbelichte gedeelte. De sterren moeten ook bolvormig zijn, want zij kunnen zich niet uit zichzelf bewegen, dus kunnen zij ook geen organen ter beweging hebben en („de natuur doet niets bij toeval”) bij deze toestand past het best de bolvorm. Deze argumenten kunnen als staaltje van de redeneringen dienen, die ARISTOTELES bij de afleiding der verschijnselen uit de algemene beginselen en ideeën gebruikt.

In de ordening der hemellichamen sluit ARISTOTELES zich geheel bij zijn met hem bevriende tijdgenoot KALLIPPUS aan. Bij hem zijn de homocentrische bollen echter niet enkel meetkundige voorstelling, maar werkelijk elkaar in de ruimte omsluitende doorschijnende kristallen schalen. De bewegende kracht komt van de buitenste, de hemelbol met zijn dagelijkse wenteling; deze neemt alle andere mee, doordat de kracht van elke buitenliggende op de volgende meer binnenwaarts gelegene overgebracht wordt. Dit betekent, dat van de vier bollen van de buitenste planeet Saturnus de draaiing van de drie binnenste — die de omloop langs de ecliptica in 29 jaren en de heen- en weergang bewerken — weer ongedaan gemaakt moet worden door drie meer naar binnen gelegen tegengesteld draaiende bollen, opdat op de volgende planeet weer van buiten af alleen maar de dagelijkse wenteling werkt. Dit geldt voor alle volgende planeten, behalve voor de maan als laatste; bij KALLIPPUS' 4 bollen voor Saturnus en Jupiter en 5 bollen voor Mars, Mercurius, Venus, zon en maan komen dan bij ARISTOTELES nog 2 keer 3 en 4 keer 4 teruggdraaiende bollen. In totaal zijn er in zijn wereldstelsel 55 kristallen bolschillen, die alle binnen elkaar draaien en wentelen om de loop van de hemellichamen te kunnen weergeven.

Zijn latere commentator SIMPLICIUS duidt aan, dat ARISTOTELES zelf met deze theorie niet geheel tevreden was. Want het was reeds bekend aan POLEMARCHUS, dat de planeet Mars gedurende zijn teruggang, als hij in oppositie is, en eveneens Venus als zij terugloopt, veel helderder zijn dan op andere tijden; terwijl ze volgens de theorie van de concentrische bollen altijd even ver van de aarde verwijderd moeten blijven. Daarbij is echter te bedenken, dat ten tijde van ARISTOTELES nog geen andere theorie ter verklaring van de planeten-

beweging bestond. Naderhand zijn andere verklaringswijzen gekomen. Het algemene wereldbeeld van ARISTOTELES heeft zich echter gehandhaafd door de volgende eeuwen heen, tot in de 17de eeuw. Dit bewijst wel, hoezeer het als eerste gesloten en harmonische opvatting van het heelal voldeed aan de eenvoudige wetenschappelijke ervaring van deze vroegere tijden.

Dat wil niet zeggen dat het de enige theorie van wereldbouw was. Griekenland had een periode van economische bloei en politieke grootheid beleefd, die in de 4de eeuw in een krachtig intellectueel en wetenschappelijk leven nawerkte. Juist in diezelfde tijd van diep wijsgerig denken zien wij stoutmoedige gedachtenstelsels en nieuwe theoretische opvattingen van het heelal ontspruiten. Een tijdgenoot van ARISTOTELES was HERAKLEIDES Ponticus (uit de stad Herakleia aan de Pontus, de Zwarte Zee) (388—315 of 313), ook een leerling van PLATO, van wiens vele geschriften over allerlei onderwerpen niets tot ons is gekomen. Over zijn wijsgerige en kosmologische denkbeelden worden wij echter door de vrijwel eenstemmige berichten van lateren ingelicht. Zo zegt SIMPLICIUS: „HERACLIDES Ponticus oordeelde de verschijnselen te kunnen redden (d.w.z. verklaren) door te onderstellen dat de aarde „zich in het midden bevindt en in het rond beweegt, terwijl de hemel in rust „is.” En elders: „er zijn enigen geweest, zoals HERACLIDES Ponticus en „ARISTARCHUS, die onderstelden, dat de verschijnselen gered kunnen worden „als de hemel en de sterren in rust zijn, terwijl de aarde uit het Westen om „de polen van de evenaar beweegt, elke dag ongeveer een omwenteling vol- „brengend”. En bij AËTIUS komt de zinsnede voor: „HERACLIDES Ponticus en „ECPHANTUS de Pythagoraeër laten de aarde bewegen, niet voortgaande, maar „wentelend als een wiel om een as, van W. naar O. om haar eigen middel- „punt.” Het is mogelijk dat in de voortzetting van de traditie van de Pythagoraeïsche school de beweging van de aarde om een fantastisch centraalvuur mettertijd gewijzigd werd tot een beweging om zich zelf, dus een wenteling. Ook de naam van HIKETAS van Syracuse, van wie wij verder niets weten, wordt in dit verband door CICERO genoemd.

De leer van de aswenteling van de aarde heeft dus een zekere verbreiding onder de Griekse denkers gevonden. Ongetwijfeld hadden Griekse zeevaarders reeds lang opgemerkt, dat zij in hun zacht voortglijdende schepen niets van de voortbeweging bemerkten dan alleen eventuele onregelmatigheden. Maar het is toch een grote stap geweest om van uit deze ervaring tot de gedachte aan een beweging van de aarde te komen. Dat toen reeds het zo direct aan de ervaring zich opdringende feit van de dagelijkse draaiing van de hemel, zowel als de meest ontwijfelbare overtuiging van de vaststaande aarde onder onze voeten, als schijn werden erkend, als schijnbeeld van een geheel andere werkelijkheid, dat getuigt wel van een onafhankelijkheid van geest en een diep nadenken in het overwinnen van oude vooroordelen, waardoor de Grieken zulk een uitzonderlijke plaats in de groei der wetenschap hebben ingenomen. Maar tegenover de eenvoudige logisch opgebouwde wereldleer van ARISTOTELES heeft deze schitterende gedachte zich toch in de volgende eeuwen niet kunnen handhaven.

Nog een ander nieuw sterrekundig inzicht is op rekening van HERAKLEIDES te stellen, n.l. de beweging van Mercurius en Venus in cirkels om de zon als middelpunt. Er was altijd verschil van mening bij vroegere schrijvers geweest, of de cirkels of bolschalen van deze beide planeten hoger dan die van de zon

lagen, zodat de zon op de maan volgde, of wel dicht bij het midden, dus tussen de maan en de zon in. Deze strijdvraag vond een natuurlijke oplossing door ze om de zon te laten lopen. Deze gedachte werd door het feit, dat ze steeds naar links en rechts van de zon tot een bepaalde afstand heen en weer schommelen, natuurlijk wel sterk aan de hand gedaan. ARISTOTELES spreekt er in het geheel niet over; deze opvatting past niet in zijn wereldstelsel, en het is de vraag of hij er mee bekend is geweest. Eerst bij veel latere Romeinse schrijvers wordt ze vermeld en met de naam van HERAKLEIDES verbonden.

Zij vormt de opstap tot een nog verder gaande vernieuwing van het kosmologisch wereldbeeld, dat met de naam van ARISTARCHUS van Samos (ong. 310—230 v. C.) is verbonden. Hij is de enige, van wie ondubbelzinnig vaststaat, — sommige onderzoekers schrijven dit ook aan HERAKLEIDES en PLATO toe — dat hij de zon in het centrum plaatste en de aarde een kring om de zon liet beschrijven. Wij weten dit niet uit een geschrift van hemzelf, maar alleen uit de mededeling van anderen. Van hemzelf is slechts één geschrift bewaard gebleven en tot ons gekomen, waarin niets over dit wereldstelsel te vinden is, maar dat toch wellicht de weg aangeeft, waarlangs hij er naderhand toe kwam; en dat in elk geval niet enkel van belang is voor de verdere sterrekunde, maar ook voor de wetenschappelijke methode van die tijd. Het handelt „Over de grootte en afstand van zon en maan”, en het is bewaard gebleven als deel van een voortdurend gebruikte en gecopieerde bundel geschriften van verschillende auteurs, de „Kleine samenstelling”, waarin op eenvoudiger, fragmentarischer wijze dan in de „Grote samenstelling” van PTOLEMAEUS de belangrijkste vraagstukken van de hemelbol, haar beweging, op- en ondergang, en andere verschijnselen behandeld werden.

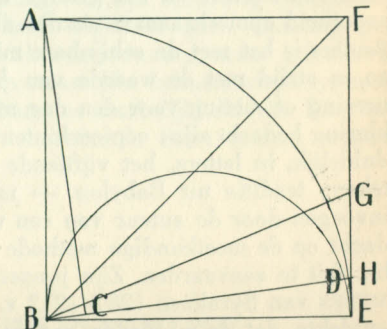
Inhoud en vorm van dit geschrift van ARISTARCHUS geeft een eigenaardige kijk op het karakter van de Griekse wetenschap. Het is, naar het voorbeeld van het grote meetkundige werk van EUKLIDES, opgebouwd als een aaneensluitende reeks van meetkundige stellingen, hier voorafgegaan door enige „hypothesen”, grondonderstellingen. De belangrijkste hieronder zijn: 1. „dat de maan haar licht van de zon ontvangt”; 4. „dat de maan precies in tweeën gedeeld schijnt, als zij van de zon een dertigste deel van een rechte hoek minder dan een rechte hoek verwijderd is” (dus  $87^\circ$ ); 5. „dat de breedte van de schaduw twee manen is”; 6. „dat de maan een middellijn van een vijftiende deel van een dierenriemsteken heeft” (dus  $2^\circ$ ). „Er wordt dan „bewezen, dat de afstand van de zon tot de aarde groter dan 18 maal en „kleiner dan 20 maal de afstand van de maan tot de aarde is, door middel „van de hypothese van het in tweeën delen; en dat de middellijn van de zon „tot die van de maan dezelfde verhouding heeft; en dat de middellijn van de „zon tot die van de aarde een verhouding heeft groter dan van 19 tot 3 en „kleiner dan van 43 tot 6, door middel van de gevonden verhouding der „afstanden, van de hypothese over de schaduw, en over de grootte van de „maan een vijftiende van een teken.” Op deze inleiding volgen dan de dozijnen van bladzijden met meetkundige stellingen en hun bewijzen. Deze Griekse denker staat reeds zover boven zijn onderwerp, dat hij zijn standpunt buiten de aarde neemt, de wereldlichamen als bollen in de ruimte beschouwt, hun doorsnijding en die van de hen omhullende schaduwkegels met platte vlakken als figuren van cirkels en driehoeken tekent, en daarop de strenge bewijsmethoden van EUKLIDES toepast. Het vraagstuk, waarop alle aandacht is ge-

concentreerd, wordt dus gezien als een meetkundig probleem, en als zodanig opgelost.<sup>1)</sup>

Hier hebben we dus, voor het eerst in de ontwikkeling van de sterrekundige wetenschap, de bepaling van afstanden van hemellichamen uit een empirisch gegeven. Dit mag men wel een begin van moderne sterrekunde noemen. De uitkomst, dat de zon 19 maal verder dan de maan is verwijderd, blijft twintig eeuwen lang een vast bestanddeel van de sterrekunde. Maar de vorm, waarin deze afleiding geboden wordt, is geheel en al afwijkend van de latere wetenschap. Ten eerste doordat alle ruimte is gebruikt, alle moeite is besteed aan de meetkundige stellingen en bewijzen, om af te leiden wat in moderne tijden een schooljongen in enige minuten klaarspeelt: de verhouding der afstanden is de sinus van  $3^\circ$ , dus  $1/19,1$ . Daartegenover worden de waarnemingsgegevens, die als grondslag dienen, zonder enige toelichting of detailopgave, als grondhypothesen in een paar regels vooropgesteld, in algehele tegenstelling tot de latere wetenschap, die aan het verkrijgen, de methode, de discussie en de mededeling van de waarnemingen de meeste aandacht en de meeste ruimte besteedt. En dan valt, ten tweede, in de meetkundige behandeling de voorzichtige precisie op in de onbepaaldheid van de uitkomst: groter dan dit, kleiner dan dat. De Griekse wiskundigen kenden nog niet het werken met benaderde waarden van irrationele getallen, die grondslag en praktijk van alle moderne rekenkunde vormen. Getallen zijn bij hen aantallen van gehelen of onderdelen, steeds precies bedoeld. Een verhouding b.v. uitgedrukt door  $\sin 3^\circ = 0,0253\dots$  kenden zij niet; zij konden slechts werken met preciese getallen, 18, 20,  $\frac{3}{5}$  e.d. Daarom konden zij in de meetkundige maatbepaling niet anders doen dan aantonen, welke preciese getallen boven en onder de gevraagde grootte liggen. Dit hebben zij met vaak bewonderenswaardig vernuft gedaan; maar het maakt hun meetkundige maatkalkulatie zeer omslachtig.

Voor de ontwikkeling van de sterrekunde was ook zeer van belang, hoe

<sup>1)</sup> Het belangrijkste is de 7de stelling, die de wezenlijkste maatkalkulatie geeft. Het bewijs voor deze stelling is interessant genoeg om ze hier zeer in het kort weer te geven. Laat in de figuur A de zon zijn, B de aarde, C de maan als ze precies half lijkt, dus hoek EBD = hoek BAC =  $3^\circ$ ; laat BG de hoek FBE =  $45^\circ$  middendoor delen. Volgens de stelling, dat de verhouding van een grote tot een kleine raaklijn aan een cirkel groter is dan de verhouding der daaronder liggende bogen en hoeken, zal GE/HE groter zijn dan de verhouding van  $\frac{1}{4}$  tot  $\frac{1}{30}$  rechte hoek, dus groter dan  $15/2$ . Verder is, naar een bekende meetkundige stelling  $FG/GE = FB/BE$  dus  $= \sqrt{2}$ , dus iets groter dan  $\frac{7}{5}$ ; dan is  $FE/GE$  groter dan  $\frac{12}{5}$ . Verbindt men dit met de vorige ongelijkheid, dan wordt  $FE/HE$  groter dan  $\frac{15}{2} \times \frac{12}{5} = 18$ ; en  $AB/BC$ , die gelijk is aan  $BH/HE$ , is dan nog iets groter, dus zeker ook groter dan  $\frac{18}{1}$ . Anderzijds, als men de stelling dat de verhouding van een grote tot een kleine koorde kleiner is dan de verhouding van de overspannen bogen, toepast op de lijn DE die in de halve cirkel BDE een boog van  $6^\circ$  overspant, en de zijde van een regelmatige zeshoek die  $60^\circ$  overspant en gelijk is aan de halve middellijn, dan vindt men dat  $\frac{1}{2} BE/DE$  kleiner is dan 10; daaruit volgt dat  $AB/BC$  kleiner is dan 20.



ARISTARCHUS in de 15de stelling in staat was de grootte van de zon t.o.v. de aarde te bepalen. De kern van zijn afleiding kunnen wij op onze manier aldus kort weergeven. De zichtbare aardschaduw bij een maaneclips is een doorsnede van de schaduwkegel (die zon en aarde omhult) op maansafstand; deze doorsnede, naar hypothese 5, is 2 maanmiddellijnen, dus (daar de zon 19 maal de maan is)  $\frac{2}{19}$  van de zonsmiddellijn. Derhalve ligt de vollemaan van de schaduwpunt  $\frac{2}{19}$ , van de zon  $\frac{17}{19}$  van de gehele schaduwlengte zon-tot-punt verwijderd. Van deze  $\frac{17}{19}$  komt  $\frac{1}{20}$  op de afstand maan-aarde,  $\frac{19}{20}$  op de afstand aarde-zon. De afstand van de aarde tot de punt is dan  $\frac{1}{20} \times \frac{17}{19} + \frac{2}{19} = \frac{3}{20}$  van de afstand van de zon tot de punt. Dit is dan ook de verhouding van hun middellijnen. De verhouding voor aarde en maan is 19 maal groter, dus  $\frac{57}{20}$ .

Bij ARISTARCHUS is dit alles met zorgvuldig-preciese stellingen uitgewerkt, waarbij de resultaten dan natuurlijk weer enkel in groter dan, en kleiner dan, zijn gegeven; dat de verhouding tussen  $\frac{19}{3}$  en  $\frac{43}{6}$  ligt, is reeds in de inleiding meegedeeld. Het opmerkenswaardige van deze afleiding is, dat er naast de  $87^\circ$  van de halve maan niets voor gebruikt is, dan de grootte van de aardschaduw vergeleken met de maan; de schijnbare middellijn van de maan komt er, in tegenstelling tot wat ARISTARCHUS zelf in de inleiding zegt, in het geheel niet bij te pas. Deze zou alleen te pas komen als de middellijnen zouden vergeleken worden met de afstanden.

Over de wijze, waarop hij aan zijn grondgegevens is gekomen, wordt niets gezegd. Deze Griekse geleerden voelen zich niet zozeer sterrekundigen, als wel meetkundigen; de hemellichamen zijn slechts het toevallige voorwerp, waarop zij hun meetkundige wetenschap toepassen. Daarom wordt over de astronomische waarden vluchtig heengelopen; hoe groot ze precies zijn, komt er minder op aan; het vernuft wordt tentoongespreid in de methode van oplossing van het meetkundige probleem. Wij weten dan ook niet, op wat voor waarnemingen zijn gegevens berusten. Dat de halvering van de maanschijf op een afstand van  $3^\circ$  van de zuivere kwadratuurstand plaatsvindt, is een sterke overschatting; in werkelijkheid is deze afstand slechts  $10'$ ; maar het is toch zeer goed mogelijk, dat de te grote waarde op een enigszins globale schatting berust; en het getuigt wel van vernuft en nadenken om op deze grootte opmerkzaam te worden als uitgangspunt naar een afstandsbeoordeling. Anders is het met de schijnbare middellijn van  $2^\circ$  voor zon en maan. Dit is zo in strijd met de waarde van  $\frac{1}{2}^\circ$ , die reeds bij de eenvoudigste waarneming of meting voor den dag moet komen, dat allerlei pogingen tot verklaring bedacht zijn; copieerfouten van oude handschriften — maar er staat duidelijk, in letters, het vijftiende deel (en niet het zestigste deel) van een teken; traditie uit Babylon — maar daar wist men al beter; opzettelijk invoegen door de auteur van een willekeurige foutieve waarde om alle aandacht op de meetkundige methode te richten. Wij weten het niet en hebben het feit te aanvaarden. Zijn jongere tijdgenoot, de grote wiskundige ARCHIMEDES van Syrakuse (287—212 v. C.) vermeldt, dat ARISTARCHUS het eerst ontdekte, dat de middellijn van de zon (en dus ook de maan)  $\frac{1}{720}$  van de dierenriem, dus  $\frac{1}{2}$  graad was; dit moet dan later, na het hier behandelde onderzoek gebeurd zijn.

Middellijnen waren slechts getallen; maar wat als werkelijke grootte van een hemellichaam indruk maakt, is zijn volume. ARISTARCHUS zegt dan ook:

„De zon heeft tot de aarde een verhouding groter dan 6859 tot 27. . . .” als hij het volume van beide bedoelt. Ligt de middellijn van de zon tussen  $\frac{19}{3}$  en  $\frac{43}{6}$  keer die van de aarde, dan moet haar volume tussen 254 en 368 keer het volume van de aarde zijn.

Het is waarschijnlijk wel deze enorme grootte van de zon geweest, die ARISTARCHUS op het denkbeeld heeft gebracht, dat zij niet geschikt was om in een kring om de zoveel kleinere aarde rond te lopen, maar veeleer zelf in het centrum behoorde te zetelen. Maar al kennen wij zijn overwegingen niet: dát hij de zon in het middelpunt plaatste blijkt met volkomen duidelijkheid uit wat ARCHIMEDES daarover zegt in zijn „Zandrekening”. Dit geschrift, waarin ARCHIMEDES het aantal zandkorrels berekent, dat het heelal zou kunnen bevatten, had ten doel te laten zien, dat men ook met het logge Griekse getallensysteem onbepaald grote getallen kan uitdrukken. Terwijl namelijk in onze getallen slechts tien cijfertekens nodig zijn, waarbij de waarde van elk van de plaats in het getal afhangt, gebruikten de Grieken de 27 letters van het alfabet voor de 9 eenheden, de 9 tientallen, en de 9 honderdtallen, en voor de nog grotere veelvoudenen (tot honderdduizenden) werden accenten bijgevoegd. Nadat hij over de grootte van de aarde en de zonnekring gesproken heeft, vervolgt hij dan: „Maar ARISTARCHUS van Samos heeft een geschrift uitgegeven met zekere hypothesen, die tot de conclusie leiden, dat het heelal „vele malen groter is dan wat nu zo genoemd wordt. Hij onderstelt, dat de „vaste sterren en de zon onbewegelijk zijn, dat de aarde om de zon een cirkel „doorloopt, met de zon in het middelpunt, en dat de bol van de vaste sterren „om ditzelfde middelpunt gelegen zo groot is, dat de cirkel waarin hij de „aarde laat lopen tot de afstand der vaste sterren dezelfde verhouding heeft „als het middelpunt van een bol tot haar oppervlak. . . . ARISTARCHUS bedoelt „daarmee, dat de aarde, als wij haar als centrum beschouwen, in dezelfde „verhouding staat tot wat wij de wereld noemen, als in zijn opvatting de bol, „waarop de volgens hem doorlopen cirkel van de aarde ligt, staat tot de bol „der vaste sterren.”

Hier treedt dus ondubbelzinnig de heliocentrische wereldbouw te voorschijn; maar zonder enig verder detail omtrent redenen en consequenties. En ook latere schrijvers, waar ze ARISTARCHUS en zijn opvatting vermelden, geven geen nadere bijzonderheden. Zij heeft blijkbaar geen aanhang gevonden; er is niet op voortgebouwd; ze is als een vernuftig, maar geïsoleerd eindpunt van gedachtenontwikkeling blijven staan. Het heliocentrisch systeem drong zich nog niet als een onontkoombare noodzakelijkheid op. Daartoe moest de voortgaande ontwikkeling der sterrekunde eerst andere wegen inslaan.

## 12. PRAKTISCHE STERREKUNDE EN ASTROLOGIE

ALEXANDER VON HUMBOLDT heeft in het tweede deel van zijn beroemde werk „Kosmos” een levendig beeld getekend van de verruiming van de gezichtskring der Griekse wereld door de veroveringstochten van ALEXANDER

van Macedonië. Niet slechts lag nu het machtige, te voren zo moeilijk toegankelijke Perzische rijk, dus geheel Voor-Azië open voor Griekse cultuur en exploratie; maar ook verder verwijderde streken als Baktrië, Toerkestan, een deel van Indië, met hun nieuwe natuurverschijnselen, hun bergen, woestijnen en steppen, planten en dieren, en andere volken met andere levensomstandigheden, en ook de Indische Oceaan met zijn getijden, het kwam nu alles binnen hun bereik. Belangrijker echter nog, dan deze door HUMBOLDT beschreven directe vergroting van kennis was het samengroeien van de Griekse en de Oosterse wereld in een nieuwe economische en politieke ontwikkeling. Achter de veroverende legers aan trokken kooplieden en handwerkers uit Griekenland naar de nu opengelegde landen van Voor-Azië en bevolkten daar de bestaande en de nieuw gestichte steden. De rijkdommen, die in de schatkamers van de Perzische koningen en hun satrapen opgestapeld lagen, werden nu verspreid als buit, of uitgegeven door de nieuwe vorsten, voor stedenbouw en wegeaanleg, voor tempelstichtingen en staatsleveranties, en stimuleerden handel en bedrijf. Gemakkelijker en intensiever handelsverkeer, langs oude en nieuwe wegen, met Indië, Arabië, Afrika was een nieuwe bron van rijkdom en cultuurontwikkeling. Daarbij kwam, dat de grotere energie en bekwaamheid van de Griekse burgers als ambtenaren en zakendoenden een intensievere exploitatie van de vruchtbare landen in Mesopotamië, van de Nijldelta en de Orontes-vlakte verzekerde, dan onder de vroegere heersers.

Het gevolg was, dat overal in deze landen grote en welvarende steden opbloeden, zoals Alexandrië, Antiochië, Smyrna, Ephese, Nicea, centra van handel en bedrijf, ook van nieuwe industrieën. In al deze grote en kleinere steden woonden naast de kooplieden en handwerkers en goed-begiftigde oudsoldaten ook de grondbezitters en ambtenaren, die van hier uit het platteland regeerden. Evenals in het Griekse moederland hadden deze steden een algemeen zelfbestuur, dus grote burgervrijheid, zij het ook onder oppergezag van de koningen, die de binnenlandse vrede handhaafden. Naast deze koninkrijken bloeide op het eiland Rhodus een vrije handelsrepubliek op, vergelijkbaar in organisatie met het latere Venetië of Genua, die meer dan een eeuw lang de handel in de Oostelijke Middellandse zee beheerste. Dit alles was de wereld van het „Hellenisme”, waar de economische activiteit ook een sterke geestelijke activiteit wekte; deze landen en steden werden de zetels van de nieuwe Hellenistische cultuur. Daartegenover trad het oude Griekenland in betekenis terug; het werd ontvolkt en barbaars. De steden werden tot slapende landstadjes, op enkele uitzonderingen na, zoals Korinthe en Thessalonika, die aan het grote handelsverkeer deelnamen, en Athene, dat als de stad van PLATO en ARISTOTELES, door de traditie van vroegere, nu in haar Academie en filosofenscholen vastgehouden cultuur, een centrum van kunst en wijsbegeerte bleef.

De bloei van de Hellenistische wereld duurde een of twee eeuwen; toen kwam de verovering en uitplundering van deze landen door de Romeinse legioenen, de exploitatie door Rome en de opslorping in het Romeinse wereldrijk. De gedeeltelijk als slaven weggevoerde inwoners werden de leermeesters van het Westen, en de Griekse wetenschap werd tot een element in de harde en meer uiterlijke cultuur der Romeinse heersers.

De kracht van de Hellenistische cultuur ligt daarin, dat Oosterse en Griekse

bestanddelen hier tot een eenheid samensmolten. Met name in de sterrekunde treedt een verbinding op van Babylonische empirie en feitenkennis met Griekse onafhankelijkheid van denken en theoretisch abstractievermogen. Door kennismaking met de Babylonische waarnemingsmethoden, en mogelijk ook met hun instrumenten, werden de Griekse geleerden tot sterrekundige waarnemingen aangezet; bovendien werden de Babylonische uitkomsten over perioden en onregelmatigheden, die daar slechts numerieke gegevens bleven, bij de Grieken tot theoretische constructies, tot meetkundige beelden van ruimtelijke wereldbouw verwerkt. Omgekeerd kwamen Babyloniërs onder invloed van de Griekse theorie; zo wordt onder hen, die de aswenteling van de aarde leerden, ook een Chaldaeër SELEUKUS uit de stad Seleucia genoemd.

Het middelpunt van de wereldhandel in deze eeuwen, Alexandrië, de grote koopstad en hoofdstad in het rijke door Griekse ambtenaren bestuurde Egypte, was tevens het middelpunt van de wetenschap in die tijd. Daar stichtten de Griekse vorsten, de Ptolemaëen, de tempel der Musen, het „Museum”, beroemd door de Bibliotheek, waarvoor handschriften van overal werden bijeengebracht; en zij beriepen geleerden van naam daarheen als bestuurders, die er een soort Academie vormden. Naast filologie, medicijnen en wiskunde bloeide daar ook de sterrekunde. Ongetwijfeld was de omvang en regelmaat van het waarnemingswerk, dat daar verricht werd, op verre na niet te vergelijken met dat van de Babylonische priesters. Over hun instrumenten is ook niets met zekerheid bekend; EUKLIDES in zijn sterrekundig werk „Over de verschijnselen” vermeldt alleen een „dioptr”, nog niet aan een verdeelde cirkel bevestigd, enkel gebruikt om tegenover elkaar gelegen punten van de horizon vast te stellen. Aangezien echter PTOLEMAEUS de sterrekundigen ARISTYLLUS en TIMOCHARIS uit de eerste Alexandrijnse tijd, tussen 296 en 272 v. C., niet slechts vermeldt, maar ook door hen gemeten „breedten ten opzichte van de evenaar”. d.w.z. declinaties opgeeft, benevens lengten, moeten zij instrumenten met verdeelde cirkels gebruikt hebben. In Alexandrië, evenals op Rhodus en wellicht elders, stonden, vóór de tempels, ten behoeve van de tijdrekening, equatoriaal-ringen opgesteld, in gordelvorm, met boven- en onderrand juist in de richting van het aequatorvlak; de schaduw van de Zuidelijke op de Noordelijke rand, die aan de bovenrand of de onderrand van de binnenzijde van de ring een lichtstreepje overliet al naar de zon boven of beneden de evenaar stond, veroorloofde het juiste ogenblik van dag- en nachtevening vast te stellen.

Een der eerste leiders van de bibliotheek in Alexandrië was de aardrijkskundige ERATOSTHENES van Cyrene, een tijdgenoot van ARCHIMEDES. Hij is, behalve door zijn aardrijkskundige beschrijving van de toen bekende wereld, vooral befaamd door zijn bepaling van de grootte van de aarde, waarvan een later, ten tijde van keizer AUGUSTUS levend schrijver CLEOMEDES in zijn „Cirkeltheorie der hemelverschijnselen” een uitvoerige uiteenzetting geeft. Op de langste dag wordt in de stad Syene in Zuid-Egypte in een verticale diepe put de bodem door de zon verlicht, dus staat deze precies in het top-punt; te Alexandrië echter, Noordelijk daarvan, is de schaduw in de holte van een zonnwijzer op die dag  $\frac{1}{50}$  van de totale cirkel. Dan moet de afstand van de beide steden ook  $\frac{1}{50}$  van de omtrek van de aarde zijn; daar, volgens de tijd die 's Konings boden daarover lopen, deze afstand 5000 stadiën bedraagt, wordt de aardomtrek 250.000 stadiën bevonden. Er is in moderne

tijden veel gediscussieerd over de lengte van de hier gebruikte stadiën; neemt men daarvoor de waarschijnlijkste waarde van 157 meter, dan komt de uitkomst van ERATOSTHENES op zeer weinig na met de werkelijkheid overeen. In zijn verder verhaal vermeldt dan CLEOMEDES de latere geleerde Stoïcijn POSIDONIUS (135—51 v. C.), die hetzelfde principe toepaste op de heldere Zuidelijke ster Canopus; deze is op Rhodus juist even aan de horizon in het Zuiden zichtbaar, maar in Alexandrië bereikt zij een hoogte van  $7\frac{1}{2}^\circ$ ; uit de afstand over zee van 5000 stadiën volgt een aardomtrek van 240000 stadiën.

Aan ERATOSTHENES wordt ook een bepaling van de schuinsheid van de ecliptica toegeschreven. EUDOXUS had daarvoor de boog op de zijde van een regelmatige vijftienhoek, dus  $24^\circ$  opgegeven. Volgens ERATOSTHENES was de afstand tussen zomer- en winterhoogte van de zon  $\frac{11}{83}$  van de omtrek; de helft daarvan komt overeen met  $23^\circ 51'$ , dus zeer dicht bij de werkelijke waarde. Uit deze opgave van een boog, niet in graden maar in breukdelen van de cirkelomtrek, evenals ook bij de aardmeting, is wel eens afgeleid, dat de graadverdeling toen nog niet in gebruik was. Dit wordt echter door PTOLEMAEUS' duidelijke vermelding van de metingsuitkomsten der vroegste Alexandrijnse sterrekundigen weerlegd.

Als de grootste onder de sterrekundigen van de Griekse oudheid wordt HIPPARCHUS van Nicéa geroemd, die omstreeks en tussen 162 en 126 v. C., hoofdzakelijk op Rhodus, leefde en werkte. Van zijn geschriften is slechts een enkel bewaard gebleven; maar zijn werk, dat zowel uit praktische waarneming als uit theoretische vernieuwing bestond, is ons door latere schrijvers, vooral door PTOLEMAEUS overgeleverd. Deze vermeldt van hem geschriften „Over de lengte van het jaar” en „Over de schakelmaanden en dagen”, waarin de door KALLIPPUS gegeven 76-jarige kalenderperiode, door deze vier maal langer te nemen en een dag af te trekken, verder verbeterd wordt. Dan komt de maanperiode op  $111035d : 3760 = 29,53058d = 29d12u44m2,5s$ , wat geheel met de beste Chaldeeuwse gegevens overeenstemt, en slechts 1 seconde te kort is. De lengte van het jaar wordt dan  $\frac{1}{300}$  dag korter dan de preciese  $365\frac{1}{4}$  dag, die KALLIPPUS aannam, dus  $365d5u55m16s$ . HIPPARCHUS betoogt, dat de lengte van het jaar niet door de terugkeer tot dezelfde sterren, maar tot dezelfde nachteveningen en zonnestilstanden bepaald wordt, daar deze het jaargetij beheersen. Hij vermeldt een door ARISTARCHUS waargenomen zomer-zonnestilstand in 280 v. C., vergelijkt deze met een van hemzelf uit 135 v. C., en vindt dat de tussentijd een half etmaal minder is dan bij  $365\frac{1}{4}$  dag zou passen, dus het jaar  $\frac{1}{300}$  dag korter is. Nu is het ogenblik van zonnestilstand moeilijk op een halve dag precies te bepalen; hij moet dus nog andere gegevens gebruikt hebben, en PTOLEMAEUS deelt dan ook zes door hem waargenomen herfst-nachteveningen en drie voorjaars-nachteveningen mee, uit de jaren 162 tot 128 v. C. Wel konden ook hier volgens PTOLEMAEUS fouten „zelfs tot een kwart dag” optreden; en deze sprak van een gebrekkige stabiliteit van het instrument, daar soms tweemaal op dezelfde dag de wisseling in verlichting boven en onder aan de ring optrad. In werkelijkheid was dit een werking van de refractie; als even vóór het lentepunt de zon nog ten Zuiden van de evenaar staat, kan zij 's ochtends bij opkomst door de refractie naar de Noordkant opgeheven worden, zinkt spoedig daarna naar de Zuidkant terug en passeert eerst later op de dag werkelijk de evenaar.

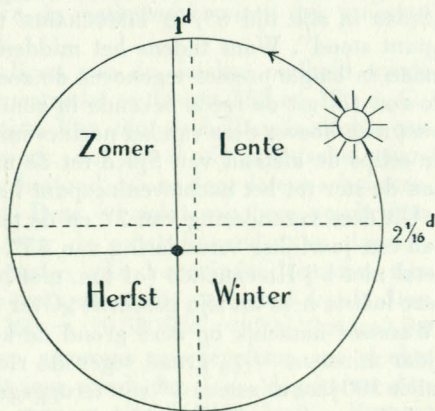
De werkelijke fout in de afgeleide tussentijden moet echter nog groter geweest zijn, want HIPPARCHUS' waarde voor de lengte van het tropische jaar is nog  $\frac{1}{200}$  dag te groot, evenals de overeenkomstige Chaldeeuwse waarde.

De terugkeer van de zon tot dezelfde sterren, de siderische omlooptijd, die in de Chaldeeuwse tafels optreedt, is groter dan  $365\frac{1}{4}$  dag. Dit verschil vindt zijn oorzaak in de teruggang der nachteveningen, de z.g. praecessie. De praecessie is de belangrijkste ontdekking van HIPPARCHUS. Hoewel in de Chaldeeuwse tafels het verschijnsel zelf telkens te voorschijn treedt in wisselende nulpunten van telling der lengten, en daarom dikwijls betoogd is, dat HIPPARCHUS deze kennis van hen heeft overgenomen, staat wel vast, dat hij het eerst als een eenvoudige voortgaande verandering in regelmatige wetmatigheid deed kennen. Het is afgeleid uit een vergelijking van de vroegere waarnemingen in Alexandrië met zijn eigene uit later tijd. PTOLEMAEUS geeft dit aldus weer: „In zijn geschrift „Over de verandering van de keerpunten en „de nachteveningspunten” komt HIPPARCHUS door vergelijking van in zijn „tijd nauwkeurig waargenomen maansverduisteringen met die, welke nog „vroeger door TIMOCHARIS waren waargenomen, tot de uitkomst, dat de ster „Spica in zijn tijd  $6^\circ$ , in TIMOCHARIS' tijd  $8^\circ$  vóór het herfstnachteveningspunt stond”. Want tijdens het midden van de eclips staat de verduisterde maan in lengte precies tegenover de zon; uit de gemeten middaghoogte van de zon (of uit de reeds bekende in zonnetafels neergelegde loop van de zon) weet men hoever deze van het nachteveningspunt verwijderd was; door tijdens de eclips de afstand van Spica tot de maan te meten, wordt dan de afstand van de ster tot het nachteveningspunt bekend.

Uit deze verandering van  $2^\circ$  en de tussentijd van ongeveer 160 jaar volgt dan een jaarlijkse verandering van  $45''$ . Het merkwaardige hierbij is, dat dit getal niet bij HIPPARCHUS (of t.m. niet bij PTOLEMAEUS) voorkomt, maar dat deze laatste hem uit zijn geschrift „Over de lengte van het jaar” aldus citeert: „Wanneer namelijk op deze grond de keerpunten en nachteveningen in één „jaar minstens  $\frac{1}{100}$  graad tegen de richting der tekens teruggaan, moeten „zij in 300 jaar minstens  $3^\circ$  zijn teruggegaan”. En dit getal van  $1^\circ$  in 100 jaar of  $36''$  per jaar ( $14''$  te klein) wordt dan verder, zonder het „minstens”, steeds door PTOLEMAEUS als de door HIPPARCHUS gevonden waarde aangehaald. Dat de sterren zich evenwijdig aan de ecliptica verplaatsten, bleek duidelijk uit de vergelijking van de door TIMOCHARIS of ARISTYLLUS en de later door HIPPARCHUS gemeten declinaties van een 18-tal sterren, zoals PTOLEMAEUS die meedeelt; aan de ene zijde van de hemel zijn ze naar het Noorden, aan de andere zijde naar het Zuiden verplaatst, in maximum ongeveer  $1^\circ$ . Dus besloot HIPPARCHUS tot een gelijkmatige beweging om de polen van de ecliptica, of nog juister, zoals uit de titel van zijn geschrift blijkt, een gelijkmatige verplaatsing van de nachteveningspunten, met de daaraan verbonden evenaar, langs de ecliptica, tegen de volgorde der dierenriemstekens in.

De ongelijke duur van de vier jaargetijden, waarin de zon de vier gelijke kwadranten van de ecliptica doorloopt, was reeds te voren, aan KALLIPPUS, vrij nauwkeurig bekend. Aan HIPPARCHUS schrijft PTOLEMAEUS de nog nauwkeuriger waarden toe van  $94\frac{1}{2}$  dag voor de lente en van  $92\frac{1}{2}$  dag voor de zomer, zodat voor het andere halfjaar, van herfstpunt tot lentepunt,  $178\frac{1}{4}$  dag overblijft. Deze waarden komen haast precies overeen met wat uit de

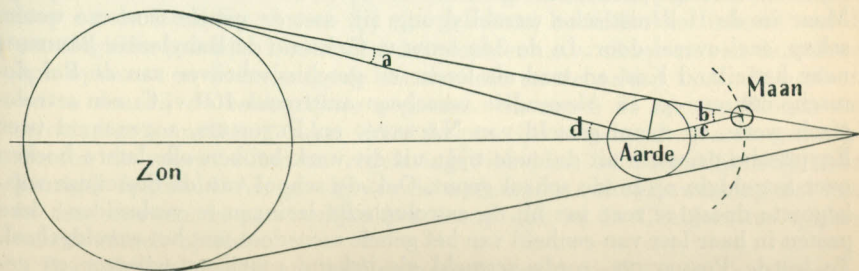
gelijktijdige Chaldeeuse tafels volgt (94,50, 92,73 en 178,03). Het is dus mogelijk, dat hij zijn waarden aan Chaldeeuse bronnen ontleend heeft; wij weten niet van eigen waarnemingen hieromtrent, want PTOLEMAEUS, waar hij de lengte van het jaar bespreekt, deelt van hem wel een aantal waarnemingen van nachteveningen mee, maar geen zonnestilstanden. Hoe dit zij, de grote betekenis en verdienste van HIPPARCHUS ligt in zijn theoretische verklaring van deze ongelijkheid. En wel door de zon in een excentrische cirkel om de aarde te laten lopen. De cirkelbaan wordt, overeenkomstig de filosofische opvatting van harmonie en innerlijk wezen, volkomen gelijkmatig doorlopen; maar doordat de aarde op een plaats buiten het middelpunt van deze cirkel staat, zien wij de snelheid van de zon ongelijkmatig: in de grootste nabijheid, in het perigeum, het grootst, en in het verste punt, in het apogeum, het kleinst, en daartussen regelmatig af- en toenemend. Hoe ver de aarde buiten het middelpunt staat, de z.g. excentriciteit, en in welke richting, kon HIPPARCHUS uit de duur der jaargetijden berekenen door middel van eenvoudige betrekkingen tussen lijnen en bogen in een cirkel (zie de figuur), die een eerste begin vormen van de latere driehoeksmeting — aan hem wordt ook de eerste samenstelling van een tafel van bij elke boog behorende koorde- en toegeschreven. Hij vond de excentriciteit  $\frac{1}{24}$  van de straal en de lengte van het apogeum  $65^{\circ}30'$ . In deze verklaring door middel van de ruimtelijke bouw van het stelsel der hemellichamen, getuigenis tegelijk van de zin voor theorie, van abstractievermogen, en van de hoge ontwikkeling der meetkunde, zien wij het Griekse wezen in zijn volle kracht.



Ook de kennis van de beweging van de maan, waarover te voren in Griekenland weinig gerept werd, bracht hij tot groter volkomenheid. Een aantal eclipsen, tussen de jaren 146 en 135 v. C. werden door hem waargenomen. PTOLEMAEUS vermeldt, dat HIPPARCHUS, door deze met vroegere, speciaal Chaldeeuse te vergelijken, nauwkeuriger waarden voor de maanperioden afleidde dan waarover „de nog oudere sterrekundigen” beschikten. Men heeft dit meestal zo uitgelegd, dat die nog ouderen de Babyloniërs waren. Maar sinds men weet, dat terzelfdertijd in de Chaldeeuse tafels waarden gebruikt zijn — en dus reeds vroeger bekend waren — precies gelijk aan die van hem vermeld werden, neemt men aan, dat deze kennis van de perioden uit de Chaldeeuse wereld tot hem is gekomen. Het is zeer aannemelijk, al weten wij daarover geen details, dat er in deze eeuwen een zeker geestelijk verkeer tussen de Griekse en de Babylonische wereld plaats vond. De eclipsen tonen, dat de terugkeer van de maan tot dezelfde knoop (z.g. terugkeer in breedte) en de terugkeer tot maximum snelheid (z.g. terugkeer van de anomalie) in enigszins andere perioden plaatsvinden dan de terugkeer tot

dezelfde ster. In plaats van de saros-periode van „de nog ouderen”, van  $6585\frac{1}{3}$  dagen = 223 lunaties = 239 keer de terugkeer van de anomalie = 242 maal de terugkeer in breedte = 241 omlopen in lengte +  $10\frac{2}{3}^{\circ}$ , gaf HIPPARCHUS een veel langer tijdperk van 126007 dagen + 1 uur = 4267 lunaties = 4573 maal de terugkeer van de anomalie = 4612 omlopen —  $7\frac{1}{2}^{\circ}$  = nagenoeg 345 omlopen van de zon, terwijl 5458 lunaties gelijk aan 5923 terugkeren in breedte zijn. Hieruit volgt voor de duur van een lunatie 29d12u44m3,3s (slechts 0,4s te groot), en voor de siderische omloopstijd 27d7u43m13,1s (slechts 1,7s te groot), beide dus zeer nauwkeurige waarden. Uit de uitvoerige beschrijving bij PTOLEMAEUS van de wijze, waarop HIPPARCHUS de eclipsen uitzocht en combineerde voor de vaststelling van de perioden, blijkt wel, dat hij niet klakkeloos de Chaldeeuse waarden overnam en als de zijne gaf, maar ze zorgvuldig controleerde. Voor de wisselende snelheid van de maan in haar baan nam hij natuurlijk, evenals bij de zon, een excentrische cirkel aan. Bij de maan was dan natuurlijk de lengte van het apogeum niet vast, ook niet gedurende korte tijd; want op 4612 omlopen werd het apogeum 39 keer minder bereikt, dus het loopt met de maan mee, één keer rond in 118 omlopen, d.i. 9 jaren.

Door een later schrijver, PROKLUS, in de 5de eeuw n.C., wordt een toestel beschreven, waarmee HIPPARCHUS de middellijn van zon en maan trachtte te meten, en zelfs meende de veranderingen in de zonsmiddellijn te kunnen vaststellen. Het bestond uit een lange lat, met daarop aan de ene zijde een vast opstaand plaatje met een opening voor het oog om door te kijken, aan de andere zijde een verschuifbaar plaatje met twee openingen een eindje boven elkaar. De lat werd op de laagstaande zon (of maan) gericht en het plaatje zolang verschoven tot door de beide gaatjes juist de bovenrand en de onder-rand van de zon te zien waren. Naders over meetuitkomsten is niet bekend. Uit het feit, dat een zoneclips (in 310 v. C.) aan de Hellespont totaal was gezien, terwijl in Alexandrië de zon voor  $\frac{4}{5}$  verduisterd was, kon hij, gebruikmakend van de uit hun breedte bekende afstand van deze plaatsen in aardstralen de parallaxe en de afstand van de maan vinden. Hij leidde er uit af, dat deze afstand wisselde tussen 62 en 72 aardstralen. Nog een andere vernuftige manier ter bepaling van deze afstand werd hem toegeschreven: uit de grootte van de aardshadow, waar deze door de maan wordt doorsneden. Uit de figuur van een doorsnede van de schaduwkegel van de aarde ziet men een eenvoudige betrekking tussen de daarin met letters aangegeven hoeken: hoek  $a$  + hoek  $b$  = hoek  $c$  + hoek  $d$ . Dat wil zeggen, dat de parallaxe van



De schaduwkegel van de aarde.

de zon plus de parallaxe van de maan gelijk is aan de straal van de schaduw-cirkel plus de straal van de zon, beide gezien van uit de aarde. En daar de parallaxe van de zon zeker klein is, is de parallaxe van de maan nagenoeg gelijk aan deze laatste som. Dezelfde gedachtengang was trouwens reeds vervat in de methode waarop ARISTARCHUS in zijn boven besproken geschrift afstand en grootte van zon en maan had afgeleid.

Van HIPPARCHUS moet ook de eerste catalogus van de vaste sterren afkomstig zijn, met hun plaats aan de hemel uitgedrukt in lengte en breedte t.o.v. de ecliptica. Algemeen wordt aangenomen dat ons deze is overgeleverd in de catalogus, die PTOLEMAEUS drie eeuwen later in zijn grote werk gaf; er is reden om aan te nemen, dat de lijst van HIPPARCHUS ongeveer 850 sterren bevatte, wat PTOLEMAEUS dan met een 170 tal uitbreidde. Het instrument, dat voor deze plaatsbepalingen gebruikt is, was hoogstwaarschijnlijk van de soort die later een armillaar-sfeer of armilla genoemd werd, een ringensfeer, bestaande uit in elkaar draaiende ringen, die de cirkels aan de hemelbol voorstellen, buitenom meridiaan en equator, daar binnen uurcirkel en ecliptica. Met behulp van de zon, de maan of bekende sterren werd het instrument en werden de draaibare cirkels in de juiste stand gesteld, waarna de lengte en de breedte van de ster, op welke de vizierlijn met diopter gericht was, aan de verdeelde cirkels konden worden afgelezen. Over de reden waarom hij dit werk ondernam, zegt de Romeinse schrijver PLINIUS (ong. 70 n. C.), dat HIPPARCHUS „een nieuwe ster ontdekte, en een andere, die in zijn tijd ontstaan was”, en daarom de sterren ging tellen en hun plaatsen met werktuigen bepalen. Hieruit is niet met zekerheid op te maken of er in HIPPARCHUS' tijd een „nova”, een werkelijke „nieuwe ster” is opgevlamd, of dat hij misschien een veranderlijke ster, als Mira in de Walvisch, heeft zien verschijnen en verdwijnen. Het kan ook zijn, dat het eenvoudig de toenmalige groeiende belangstelling in de sterren en sterrebeelden was, bij hem blijkend uit zijn enige tot ons gekomen geschrift, een kritisch commentaar op de dichtelijke hemelbeschrijving van ARATUS; en dat die belangstelling haar wetenschappelijke neerslag in zijn exacte beschrijving van de sterren heeft gevonden.

Deze belangstelling gaat terug op een andere invloed, die, van Babylon uit, zich op de sterrekunde in de Westerse wereld deed gelden. Dat was de machtige invloed van de astrologie. Vóór de tijd van ALEXANDER was de Griekse sterrekunde vrij van deze denkwijze gebleven, behalve dan in het geloof, o.a. bij EUDOXUS uitgesproken, dat het weer van de stand der hemellichten afhangt. Maar in de Hellenistische wereld drong zij, met de gehele Oosterse wetenschap, snel overal door. In de 3de eeuw v. C. kwam de Babyloniër BEROSSOS naar het eiland Kos, en trad als leraar en geschiedschrijver van de Babylonische cultuur op. In Alexandrië verscheen omstreeks 160 v. C. een astrologisch werk, op naam gesteld van NACHEPSO en PETOSIRIS, zogenaamd twee Egyptische priesters uit de oude tijd; uit dit werk hebben alle latere boeken over astrologie op brede schaal geput. Ook de school van de Stoïcijnse wijsbegeerte droeg er zeer toe bij de astrologische leringen te verbreiden; deze pasten in haar leer van eenheid van het gehele mensdom met het wereldgeheel. Zo leerde POSIDONIUS, reeds vermeld als bekend schrijver, wijsgeer en geleerde — van wie echter alle werken verloren zijn gegaan, en alleen frag-

menten door anderen bewaard zijn — een algemeen samengestemd zijn en medegevoel (sympathie) van de aardse en de hemelse wereld. Van hem is ook de bekende uiteenzetting van het verschil tussen de sterrekundige en de natuurkundige wetenschap: dat voor de sterrekundige elke verklaring goed is, die de verschijnselen weergeeft, terwijl de natuurkundige de waarheid moet vaststellen en verklaringen uit eerste oorzaken en scheppende krachten opstelt. Dit betekent natuurlijk, dat de sterrekunde een ander doel heeft dan abstracte kennis, n.l. de plaats en bewegingen der hemellichamen praktisch vooruitberekenen; en dit heeft alleen zin voorzover deze sterrekundige berekening hulpmiddel is voor een hoger doel, de vooruitbepaling van het mensenlot.

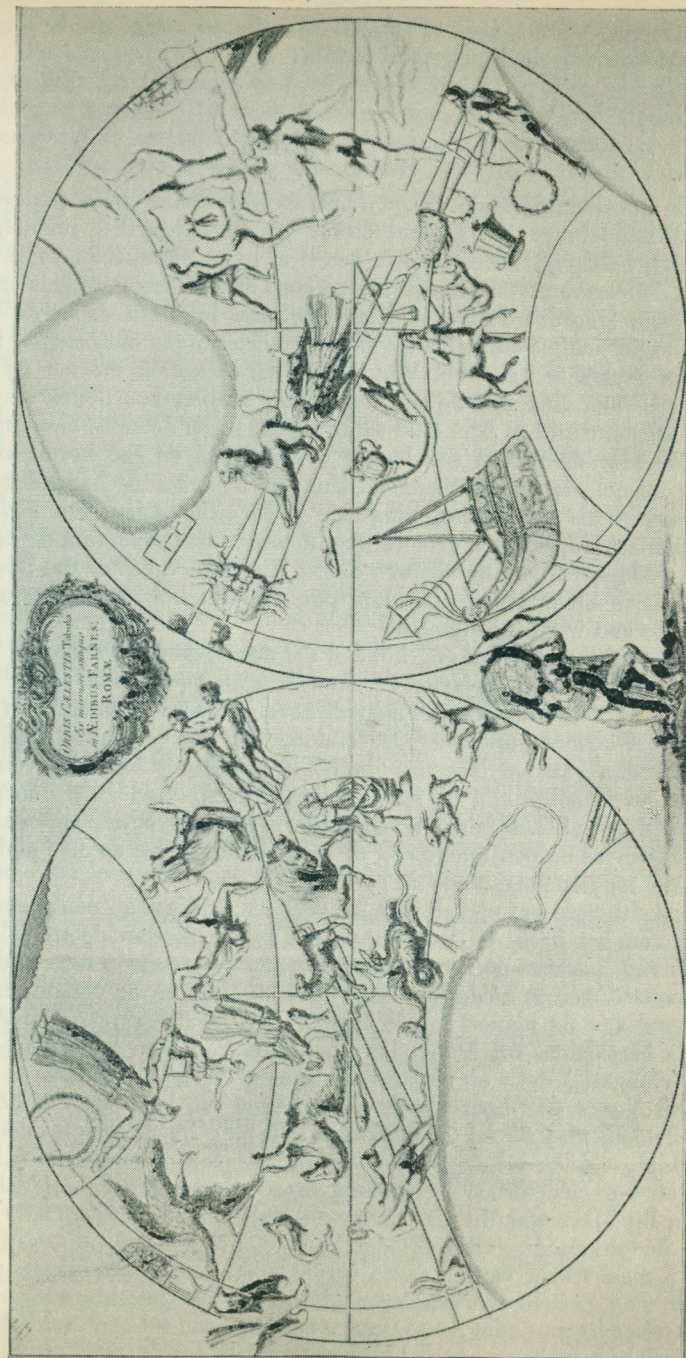
Zo verbreidde zich de astrologie als een steeds meer algemeen aanvaarde denkwijze van uit het Hellenistische Oosten over het Romeinse rijk. Hier vond zij vooral een vruchtbare bodem toen, in de laatste eeuwen v. C., Rome, in macht en rijkdom gezwollen door verovering van alle oude cultuurlanden, door wreed gevoerde burgeroorlogen geteisterd werd, die leven en bezit der burgers onzeker maakten. Nu werd de astrologie een integrerend bestanddeel van de cultuur der Oudheid. Naast haar heerschappij in de theoretische leringen van geleerden, schrijvers en wijsgeren vond zij haar neerslag in overvloedig grof bijgeloof en waarzeggerij. Het karakter van deze astrologie in de Grieks-Romeinse wereld was uiteraard sterk verschillend van wat zij in Babylon was geweest. Dáár waren het de grillige, slechts langzamerhand in enige regelmaat gevangen zwerfbanen van de heldere gesternten langs het hemelgewelf, waarin de goden hun tekenen neerschreven van wat zij over de mensen beschikt hadden. Dáár was het alleen het lot van het grote wereldgeheel, van de staten en vorsten en volken, waarover de grote goden, de beheersers der schitterende planeten, zich bekommerden en uitsluitel gaven; daar ging het over oorlog, overwinning of nederlaag, over regen en droogte, overvloed of verwoesting. De kleine afzonderlijke mensen moesten zich maar tot hun locale kleinere godheden wenden. In de Griekse wereld echter, met zijn sterk ontwikkeld persoonlijkheidsgevoel, met daarnaast de politieke verscheurdheid in tal van staten en steden, kreeg ook de astrologie een meer persoonlijk karakter; en dit gold nog meer voor de Romeijnen. Nu de sterren wereldlichamen waren geworden, waarvan de beweging theoretisch te voorspellen was, werd hun loop niet zozeer een teken als wel een oorzaak van het aardse gebeuren; het leven van ieder mens was zo goed aan de sterren onderworpen als de meer algemene meteorologische of politieke veranderingen. Nu werd de horoskoop, de afleiding van ieders persoonlijke levensloop uit de stand der sterren bij zijn geboorte, hoofddoel en inhoud van de astrologische praktijk. De standen der planeten t.o.v. elkaar en van de sterren, hun opkomst en ondergang, de standen der sterrebeelden t.o.v. de horizon, waren daarbij de belangrijkste gegevens. Naarmate de onderstellingen van eenvoudige samenhang vaker door de praktijk te schande waren gemaakt, werden de voorschriften en regels ingewikkelder, en natuurlijk ook willekeuriger opgesteld. Als gevolg van de wederzijdse cultuurinwerking ziet men in deze eeuwen de persoonlijke horoscoop ook in de Chaldeeuwse spijkschrift-teksten optreden.

Door deze algemene verbreiding van de astrologische wereldbeschouwing stond de sterrekunde in de oudheid in het centrum van de publieke belang-

stelling. Zij was de meest praktische wetenschap, eigenlijk de enige die de naam wetenschap mocht dragen; zij stond midden in het leven, niet slechts door tijdrekening en kalender, maar bovenal door de diepe verbondenheid van sterrenloop en mensenlot. Dit blijkt niet enkel uit de vele toespelingen op hemelverschijnselen bij de dichters en prozaschrijvers, maar vooral ook uit de uitgebreide sterrekundige literatuur zelf — al is die dan later voor een groot deel verloren gegaan. Van EUDOXUS wordt een eerste uitvoerige beschrijving van de hemel, de sterrebeelden en hun sterren vermeld. Deze is door ARATUS (die omstreeks 270 v. C. aan het hof van koning ANTIGONUS van Macedonië leefde) in versvorm omgezet. Het grote dichtwerk van ARATUS „Over de verschijnselen” is de gehele oudheid door beroemd gebleven; het werd gelezen en op de scholen voor onderricht gebruikt; daar vindt men alle fabels en legenden over de oorsprong der sterrebeelden uit de godenleer, die tot in moderne tijden in sterrekundige werken werden overgenomen. Van de grote wiskundige EUKLIDES is een werk, ook „Over de verschijnselen” genaamd, bewaard gebleven, dat de wiskundige theorie bij ARATUS' dichterlijke beschrijving geeft, in de vorm van een heldere uiteenzetting van de cirkels op de hemelbol, de aswenteling, de daarbij optredende verschijnselen van opkomst en ondergang, kortom alles wat toen en later „sphaerica” heette, leer van de bol (de hemelbol). Deze algemene verbreidheid van ARATUS' gedicht maakt het begrijpelijk, dat HIPPARCHUS hierover en over zijn bron EUDOXUS het straks vermelde uitvoerige kritische geschrift samenstelde, waarvan de belangrijkheid in de Oudheid daaraan kan worden afgemeten, dat het het enige is, wat wij nog van hem bezitten.

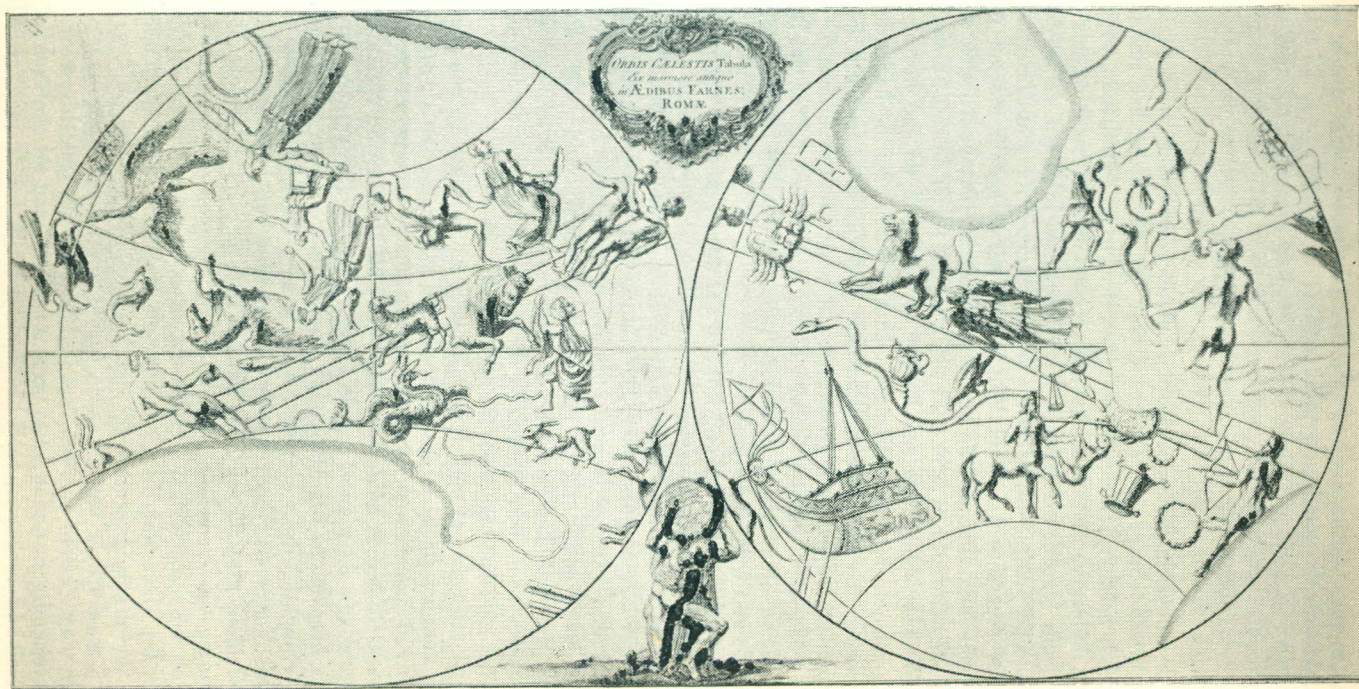
Nog tal van andere geschriften zijn uit deze laatste en volgende eeuwen bekend: een Latijns gedicht van MANILIUS (omstreeks 10 n. C.) over de sterren, ook literair hoog geschat; en nog later een dichterlijke hemelbeschrijving van HYGINUS. Dan bestaat er een degelijk werk van GEMINUS (ong. 70 v. C.) over de gehele sterrekunde van die tijd, waarin wij tal van belangrijke bijzonderheden over de geschiedenis van de wetenschap vinden; en een werk van CLEOMEDES (ten tijde van keizer AUGUSTUS) „Cirkeltheorie van de hemelverschijnselen”. Uit de omvang en verbreidheid van deze literatuur blijkt hoezeer de sterrekunde toen een levende wetenschap was, die vast in de toenmalige Romeinse maatschappij wortelde.

Naast deze leerboeken bestonden ook, ten dienste van de astrologen, die ze nodig hadden, jaarboeken met de vooruitberekende plaatsen van de planeten, waarvan fragmenten (b.v. in een Egyptische papyrus) bewaard zijn. Ook wordt melding gemaakt van hemelglobes, als hulpmiddel voor het afbeelden van de hemel en voor het onderricht; door de veldheer MARCELLUS werd na de verovering van Syrakuse een globe van ARCHIMEDES naar Rome meegebracht. Op zulke globes waren soms alleen de figuren der sterrebeelden, zonder de sterren zelf afgebeeld; wat begrijpelijk is, daar toch de astrologische werkingen van de Leeuw, de Waterman, de Schorpioen zelf, en niet van de aparte sterren uitgingen. Als voorbeeld kan de z.g. „Farnesische Atlas” dienen, een marmerbeeld van de reus Atlas op zijn nek de hemelbol torsend; voor de daarop voorkomende sterrebeelden geeft de figuur op blz. 109 een verkleinde reproductie van een in de achttiende eeuw door MARTIN FOULKES vervaardigde en aan BENTLEY's uitgave van MANILIUS' dichtwerk toegevoegde gravure. Ook schijnen machinale nabootsingen van het wereldstelsel, dus een



De sterrebeelden op de Farnesische Atlas.  
(De open plekken zijn behalve de Zuidpool het beschadigde Beren-gebied en de plaatsen van de handen, die de bol vasthouden.)





De sterrebeelden op de Farnesische Atlas.  
(De open plekken zijn behalve de Zuidpool het beschadigde Beren-gebied en de plaatsen  
van de handen, die de bol vasthouden.)

soort planetariums vervaardigd te zijn. Deze behoren echter reeds tot een hoger ontwikkelde theorie van wereldbouw.

### 13. DE EPICYKELTHEORIE

Volgens de epicykeltheorie doorloopt de planeet een kleine cirkel (epicykel), waarvan het middelpunt een grotere cirkel om de aarde, het middelpunt van het heelal, beschrijft. Deze theorie moest zich op natuurlijke wijze ontwikkelen uit de leer van HERAKLEIDES, dat Venus en Mercurius cirkels om de zon beschrijven. Doordat de zon in haar jaarlijkse loop om de aarde deze cirkels meesleept, schijnt elk van deze beide planeten haar om beurten naar links en naar rechts te passeren. Van uit de aarde gezien moeten zij dan beurtelings een lang eind met de zon mee, maar sneller, voortlopen en dan, tussen twee stilstanden, een kort eind terug lopen, tegen de zonsbeweging in. Juist dezelfde afwisseling van een langer vooruitlopen en een korter teruglopen tonen nu ook de andere planeten. Dus ligt het voor de hand deze nu ook op te vatten als de samenstelling van twee cirkelbanen, een kleinere waarop de planeet loopt en een grotere (z.g. deferent, leidcirkel) om de aarde, waarop het middelpunt van de kleinere loopt. Hier is dan echter dat middelpunt ledig, alleen maar een denkbeeldig punt, terwijl het bij Mercurius en Venus door de zon werd ingenomen.

Men moet daarbij wel in het oog houden dat de Grieken, en allen die later deze theorie overnamen, de epicykel beschouwden als vast aan de straal naar de aarde te zitten, zodat het laagste, naar de aarde gekeerde punt, bij het rondlopen steeds het laagste punt bleef. De omlooptijd van de planeet langs de epicykel geldt dan van het laagste punt tot het volgende bereiken van het laagste punt, en is gelijk aan de synodische planetenperiode. De doorgang door dit laagste punt, het midden van de teruglopende beweging, was bij Venus en Mercurius de conjunctie met de zon, maar valt bij de drie anderen samen met de oppositie tegenover de zon.

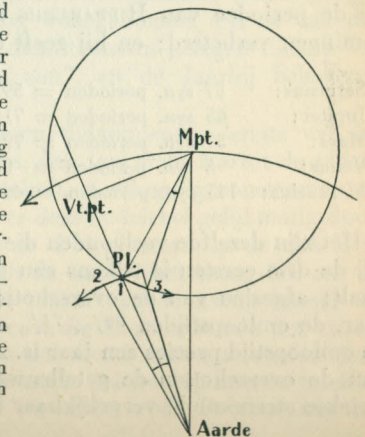
Deze epicykeltheorie gaf niet slechts een veel eenvoudiger en nauwkeuriger voorstelling van het heen- en weer lopen der planeten, dan de wentelende kristalballen van EUDOXUS en ARISTOTELES, maar ze verklaarde meteen de zo opvallende wisselingen in helderheid bij Venus en Mars uit de veranderingen van de afstand van de planeet tot de aarde. Deze veranderingen waren gemakkelijk te berekenen. Bij Mercurius en Venus kon men uit de grootste uitwijking (elongatie) links en rechts van de zon, die bij Mercurius gemiddeld  $22^\circ$ , bij Venus  $46^\circ$  bedroeg, de verhouding van hun epicykel tot de leidcirkel afleiden, nl. 0,37 en 0,71. Evenzo kon men bij de andere planeten deze verhouding vinden uit de grootste afstand waarop de planeet zich links en rechts van het onzichtbaar regelmatig voortlopende epicykel-middelpunt verwijderde. Bij Mars was dit  $43^\circ$ , dus de straal van de epicykel 0,66 keer die van de leidcirkel; daaruit volgt dat Mars in het hoogste punt van zijn baan bijna 5 maal zo ver van de aarde verwijderd is als in het laagste punt.

De vraag mag gesteld worden, en is herhaaldelijk gesteld, waarom de Griekse sterrekundigen, nadat ARISTARCHUS reeds de zon tot centraal lichaam van het stelsel had verheven, toch teruggekeerd zijn tot de meer primitieve geocentrische opvatting. Men kan het antwoord niet zoeken in wat PAUL

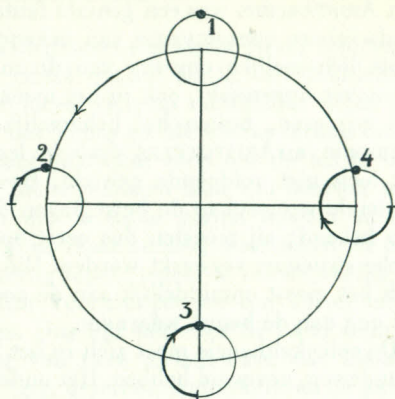
TANNERY, een bekwaam geschiedschrijver der sterrekunde, eens als verklaring gaf: dat het de Grieken der Oudheid aan genialiteit in het vernieuwen van ideeën omtrent de wereld ontbrak; in dit opzicht hebben zij hun superioriteit voldoende getoond. Het moet daarin liggen, dat de epicykeltheorie voor hun wetenschap de meest natuurlijke ontwikkelingsweg vormde. Het wereldbeeld van ARISTARCHUS was een geniale fantasie, niet noodzakelijk opgedrongen als onafwijsbare consequentie van bekende feiten. Wat daarvoor sprak was de grote lichamelijke omvang van de zon boven de aarde; maar, werd daartegenover opgemerkt, ook in het menselijk lichaam ligt het hart, de zetel van ziel en leven, buiten het lichamelijke zwaartepunt. En tegen de logische harmonie van ARISTOTELES' fysische leer der hemelse en aardse elementen had het toch niet voldoende gewicht. Bovendien waren in deze tijden van beginnende wetenschap de bewegingen der planeten nog pas in algemene trekken bekend; zij moesten dus eerst op de eenvoudigste wijze tot een theoretische structuur verwerkt worden. Die vond men in de epicykels; zij drongen zich het meest onmiddellijk aan de geest op als het ruimtelijk beeld van wat het oog aan de hemel waarnam.

De epicykeltheorie moet zich in het begin van de 3de eeuw v. C., misschien gaandeweg, gevormd hebben. Het oudste zekere bericht daarover is verbonden met de naam van de grote wiskundige APPOLLONIUS van Perga (omstr. 230 v. C.), de grondlegger van de meetkundige theorie der kegelsneden. Van hem vermeldt PTOLEMAEUS een meetkundige stelling, dienstig om de tijdstippen van de stilstanden der planeten te vinden. De Chaldeeuwse sterrekundigen hadden deze stilstanden of omkeerpunten zorgvuldig waargenomen, en ze in hun latere planetentafels als belangrijke grondelementen in de kennis van de planetenloop vooruit berekend. De Griekse theorie moest tonen, dat ze hetzelfde probleem, tijd en plaats van de stilstanden vast te stellen, even goed of beter met haar hulpmiddelen wist op te lossen. PTOLEMAEUS deelt dan ook mee, hoe APOLLONIUS het oploste door de berekening tot een zuiver meetkundig vraagstuk terug te brengen: het trekken van een snijlijn van uit de aarde door de epicykel, zo dat de stukken een bepaalde verhouding hebben.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Om de belangrijkheid geven we hier dit bewijs. De gehele epicykel met het middelpunt en met de planeet op zijn omtrek in punt 1 van de figuur wentelt naar links om de aarde, en daardoor gaat de planeet naar punt 2, over een afstand gelijk aan de hoeksnelheid van omloopbeweging maal de afstand aarde—planeet. Tegelijk loopt de planeet op de epicykel naar rechts, van 1 naar het punt 3, over een afstand gelijk aan de epicykel-hoeksnelheid maal de afstand middelpunt—planeet. Dit eindje wordt vanuit de aarde schuin gezien, verkort, en wel, naar de figuur toont, juist in de verhouding van de afstand planeet—voetpunt tot de afstand planeet—middelpunt. Zal de planeet vanuit de aarde gezien stil schijnen te staan, dan moeten de links-verplaatsing en de verkort geziene rechts-verplaatsing elkaar juist compenseren; dus dan moeten de afstanden aarde—planeet en planeet—voetpunt omgekeerd evenredig zijn met de bijbehorende hoeksnelheden. Of anders gezegd, dan moeten de afstand aarde—planeet en de halve afgesneden koorde in de epicykel zich verhouden als de omlooptijd en de synodische periode van de planeet.



Daarna heeft HIPPARCHUS zich met de epicykeltheorie bezig gehouden en haar de klassieke vorm gegeven. Hij toonde aan dat een epicykel op een concentrische cirkel, wanneer zij in tegengestelde zin in dezelfde periode als de grote cirkel wordt doorlopen, precies op hetzelfde neerkomt als een enkele excentrische cirkel. Men ziet dit onmiddellijk in de figuur waar de plaatsen 1, 2, 3, 4 juist zo liggen, alsof de cirkel naar boven is verschoven. Beide wijzen van voorstelling kunnen dus evengoed gebruikt worden. Daar bij een planeet, afgezien van de schommelingen heen en weer door de epicykelbeweging, de snelheid van omloop langs de leidcirkel ook wisselt, aan de ene kant van de ecliptica groter en aan de tegenoverliggende kant kleiner is, nam HIPPARCHUS daarvoor een excentrische cirkel aan. Naar analogie met de planeten werd daarom ook voor de zon aan een excentrische cirkel de voorkeur gegeven.



Naar hetgeen PTOLEMAEUS daarover meedeelt, heeft HIPPARCHUS zeer goed opgemerkt, dat de teruggangen bij een planeet niet altijd even groot waren, dus dat de bewegingen onregelmatiger waren dan de vroegere sterrekundigen aannamen. Maar hij had geen waarnemingsgegevens genoeg van voorgangers om de theorie volledig in getallenwaarden uit te werken. Daarom heeft hij zich, zegt PTOLEMAEUS, beperkt tot het verzamelen van nieuwe gegevens; „een man, die het op alle gebieden van wiskunde tot zulk een grondigheid „en zo sterke liefde voor de waarheid gebracht had” kon het niet bevredigen de theorie enkel in algemene trekken te verkondigen. Hij moest uit de verschijnselen de getallenwaarden der beweging in de banen vaststellen, en aantonen, dat deze door gelijkmatig doorlopen cirkels geheel waren weer te geven; en dat was uit de toenmalige gegevens nog niet mogelijk.

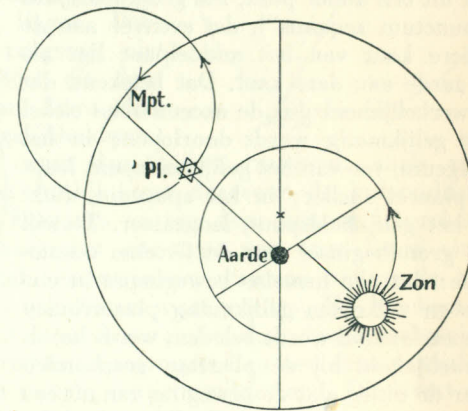
Dit is het werk geweest van PTOLEMAEUS zelf, die daarmee de epicykeltheorie tot volledige uitwerking en afsluiting bracht. Naar hij meedeelt heeft hij de perioden van HIPPARCHUS naar de uitkomsten van zijn eigen waarnemingen verbeterd; en hij geeft daarvoor op:

Saturnus:	57 syn. perioden = 59 jaren + $1\frac{3}{4}$ dag = 2 omlopen + $1^{\circ}43'$
Jupiter:	65 syn. perioden = 71 jaren - $4\frac{9}{10}$ dag = 6 omlopen - $4^{\circ}50'$
Mars:	37 syn. perioden = 79 jaren + $3\frac{13}{60}$ dag = 42 omlopen + $3^{\circ}10'$
Venus:	5 syn. perioden = 8 jaren - $2\frac{3}{10}$ dag = 8 omlopen - $2^{\circ}15'$
Mercurius:	145 syn. perioden = 46 jaren + $1\frac{1}{30}$ dag = 46 omlopen + $1^{\circ}$

Het zijn dezelfde veelvouden die ook de Babyloniërs kenden en gebruikten. Bij de drie eersten is telkens een periode verlopen als de zon de planeet inhaalt; afgezien van de overschotjes zijn de perioden  $\frac{59}{57}$ ,  $\frac{71}{65}$  en  $\frac{79}{37}$  jaar, de omloopstijden  $\frac{59}{2}$ ,  $\frac{71}{6}$  en  $\frac{79}{42}$  jaar, terwijl bij de beide laatsten de omloopstijd precies een jaar is. In de nauwkeurigheid, waarmee in de vorm van de overschotten de getallenwaarden hier worden opgegeven, wordt de Griekse sterrekunde vergelijkbaar met de Chaldeeuwse, al bereiken ze daar-

van nog niet de exactheid; de bijgevoegde hoekoverschotten zijn nog soms tot een halve graad fout.

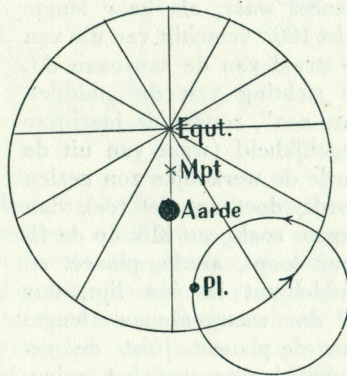
Om de beweging van deze planeten, speciaal eerst voor de drie eerstgenoemden, volledig vast te stellen, moest PTOLEMAEUS het vraagstuk in tweeën splitsen, eerst de beweging van het epicykelmiddenpunt langs de grote leidcirkel bepalen, en daarna de beweging van de planeet langs de epicykel. Voor het eerste moet hij het heen en weer schommelen op de epicykel elimineren, door de planeet waar te nemen als ze precies vóór het epicykelmiddenpunt stond, dus in dezelfde richting gezien werd. Hoe is dat te onderkennen? De planeet staat dan tegenover de zon, in oppositie. Volgens de grondonderstelling van de epicykeltheorie loopt de straal van de epicykel gelijkmatig met de straal van de zonsbaan in het rond, zodat beide steeds in gelijke richting staan. Neemt men dus de planeet waar, als haar lengte juist  $180^{\circ}$  verschilt van die van de straal van de zonsbaan d.i. de richting van de „middelbare zon”, zonder de jaarlijkse ongelijkheid (waar van uit de aarde de werkelijke zon gezien wordt, doet er niet toe), dan liggen, zoals een blik op de figuur toont, aarde, planeet en middelpunt in één lijn, dus is de waargenomen lengte van de planeet juist de gezochte lengte van het epicykelmiddenpunt.



Daartoe zijn een aantal waarnemingen op opeenvolgende dagen omstreeks de oppositie van de planeet tot de zon nodig. De waarnemingen, die PTOLEMAEUS daartoe verrichtte, zijn deels ontmoetingen met of sterke naderingen tot vaste sterren of tot de maan, deels ook aflezingen aan een instrument met verdeelde cirkels; bij dit instrument, dat hij „astrolabon” noemt, de latere „armilla” of ringensfeer, werd de planeet door twee tegenover elkaar gelegen openingen in de binnenste bewegelijke ring waargenomen. Uit de van dag tot dag waargenomen lengte kan dan het daar tussenen gelegen tijdstip van de preciese oppositie tot de „middelbare zon”, en de daarbij behorende lengte, afgeleid worden.

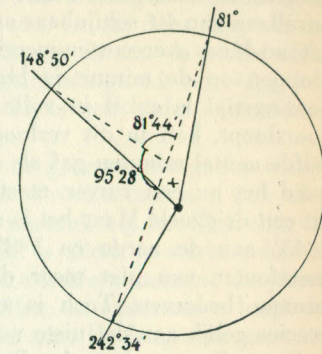
Kent men nu voor drie ver uiteen gelegen tijdstippen de lengte van het epicykelmiddenpunt, gezien van uit de aarde, dan laat zich daaruit de plaats, waar de aarde zich binnen de leidcirkel bevindt, meetkundig construeren, en dus ook in getallen berekenen. Want wanneer deze leidcirkel gelijkmatig doorlopen wordt, weet men uit de tussentijden de drie plaatsen op de cirkel, en men weet ook hun richtingen gezien van uit de aarde; het vraagstuk om uit de van uit de aarde geziene richtingen de plaats van de aarde binnen de cirkel af te leiden, is hetzelfde als wat later in de landmeetkunde het vraagstuk van SNELLIUS heette: de plaats van een onbekend station te vinden door daar de richtingen naar drie omgevende bekende driehoekspunten te meten; het is rechtstreeks op te lossen. Hier trad nu echter voor PTOLEMAEUS een moeilijkheid op. Hij zegt daarover:

„Nu vonden wij echter bij verdere toepassing en vergelijking van de door „waarneming vastgestelde loop met de uit combinatie van deze hypothesen „volgende uitkomsten, dat het verloop van de beweging toch niet zo eenvoudig kan zijn . . . De epicykels kunnen hun middelpunten niet langs zulke „excentrische cirkels laten lopen, dat men ze vanuit de middelpunten daar „van, bij eenparig rondlopen, in gelijke tijden gelijke hoeken ziet doorlopen.” Maar het middelpunt van de excentrische cirkel ligt op het halveringspunt tussen dit punt van gelijkmatig verschijnende hoekbeweging en het centrum van de ecliptika, de aarde. Anders gezegd: het epicykelmiddelpunt doorloopt wel een excentrische cirkel, d.w.z. een cirkel waarvan het middelpunt buiten de aarde ligt. Maar het doorloopt deze cirkel op zulk een wijze, dat het een gelijkmatige hoekbeweging vertoont, niet gezien van uit zijn middelpunt, maar van uit een ander punt, het gelijkheidspunt („punctum aequans”), dat evenver aan de andere kant van het middelpunt ligt als de aarde aan deze kant. Dat betekent, dat in werkelijkheid dus de excentrische cirkel *niet* gelijkmatig wordt doorlopen; in het perigeum, ver van het gelijkheidspunt loopt de planeet sneller; in het apogeum, dicht bij het gelijkheidspunt, langzamer. Terwijl het grondbeginsel van de Griekse cosmologie: dat alle hemelse bewegingen in cirkels en volkomen gelijkmatig plaatsvinden — met de mond wordt beleden, wordt het in werkelijkheid bij de planeten geschonden door de uitleg, dat de beweging van uit een zeker ander punt gezien gelijkmatig lijkt.



Hiermee wordt nu echter op voortreffelijke wijze weergegeven, wat aan de loop der planeten met de hulpmiddelen van die tijd was waar te nemen. PTOLEMAEUS geeft geen enkele grond of waarneming aan, waarop deze theorie berust; hij zegt enkel: „wij vonden, dat . . .” Maar het is gemakkelijk te zien wat haar grondslag was. De afstand tussen de aarde en het gelijkheidspunt bepaalt de ongelijkmatigheid in hoeksnelheid, waarmee men het epicykelmiddelpunt de ecliptica ziet doorlopen; is deze b.v.  $\frac{1}{10}$  van de straal van de leidcirkel, dan is in apogeum en perigeum de hoeksnelheid  $\frac{1}{10}$  beneden resp. boven het gemiddelde. Om welk middelpunt er ergens tussen in de leidcirkel is beschreven, is daarbij zo goed als zonder betekenis. Daarentegen hangt de schijnbare grootte van de epicykel, dus het bedrag dat de planeet links en rechts van het onzichtbare epicykelmiddelpunt uitwijkt, af van de afstand van de aarde tot het middelpunt van de leidcirkel. De waarnemingen moeten dus getoond hebben, dat de uitwijkingen door de epicykelbeweging een excentriciteit half zo groot opleveren als de ongelijkmatigheden in hoeksnelheid over de ecliptica. De preciese halvering van de totale excentriciteit werd als eenvoudige waarde aangenomen maar bleek een gelukkige greep te zijn geweest. Bij de zon, die zonder epicykel zelf haar excentrische cirkel doorloopt, kon een dergelijk onderscheid niet worden gemaakt; daar was alleen een totale excentriciteit afgeleid, en wordt dus de cirkel gelijkmatig doorlopen.

Om nu voor elk van deze drie planeten de baan af te leiden, gebruikt PTOLEMAEUS drie opposities. Voor Mars b.v. geeft hij in zijn werk de volgende gegevens, die hij uit zijn waarnemingen heeft afgeleid. Op 15 Dec. 130 n. C. (bij hem heet het 15de jaar Hadrianus, 26/27 van de Egyptische maand Tybi) 1 uur 's nachts, lengte  $81^\circ$ ; op 21 Febr. 135 n. C. 9 uur 's avonds, lengte  $148^\circ 50'$ , op 27 Mei 139 n. C. 10 uur 's avonds, lengte  $242^\circ 34'$ . Uit de tussentijden, na aftrek van een aantal volle omlopen, zijn de hoeken tussen de drie richtingen in het gelijkheidspunt te berekenen. Gevraagd wordt in de cirkel de richting van de apsidenlijn, en hoever daarop ter weerszijden van het middelpunt de aarde en het gelijkheidspunt liggen. Door directe berekening is dit vraagstuk niet op te lossen; PTOLEMAEUS doet dit door achtereenvolgende benaderingen. Eerst doet hij alsof de cirkel om het gelijkheidspunt als middelpunt is getrokken; want dan is het vraagstuk, zoals reeds gezegd is, direct op te lossen; en hij bezat daarvoor de hulpmiddelen, de meetkundige stellingen van EUKLIDUS en een door hem zelf berekende tafel van koorden voor elke hoek, het prototype van onze latere sinus-tafels. Wat hij vindt is de totale excentriciteit, waarvan hij nu de helft neemt als bedrag, dat de cirkel verschoven moet worden. Hij berekent nu hoeveel de richting gezien van uit de aarde verandert door deze verschuiving; zoveel wordt de waargenomen richting gecorrigeerd en met deze gewijzigde lengten wordt de berekening in tweede instantie uitgevoerd. Dit levert dan nog eens wijzigingen, nu zeer kleine, voor een derde benadering, en zo wordt volledige overeenstemming met de gegevens van uitgang verkregen. In deze berekeningen, die hij in volle uitvoerigheid meedeelt, heeft PTOLEMAEUS aldus de methode van convergente benadering toegepast, die in de moderne wetenschap een zo grote rol zou spelen.



De uitkomsten, die hij op deze wijze verkreeg voor de totale excentriciteit, in 360ste delen van de straal uitgedrukt, en voor de lengte van het apogeum, zijn voor Mars  $\frac{72}{360} = 0,200$  en  $115^\circ 30'$ , voor Jupiter  $\frac{33}{360} = 0,092$  en  $161^\circ$ , en voor Saturnus  $\frac{41}{360} = 0,114$  en  $233^\circ$ . Vergelijkt men dit met wat volgens moderne gegevens toen de werkelijke waarden waren: bij Mars  $0,186$  en  $121^\circ$ , bij Jupiter  $0,096$  en  $164^\circ$ , en bij Saturnus  $0,112$  en  $239^\circ$ , dan blijkt, dat zijn weergave van de planetenbanen zeer dicht bij de werkelijkheid komt. Dit bewijst, dat met betrekkelijk ruwe waarnemingen de banen van de planeten in vorm en ligging reeds goed waren vast te stellen; en het bewijst tevens hoe goed de epicykeltheorie in staat was hun werkelijke beweging weer te geven.

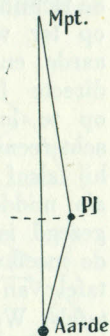
Nu moet nog, als tweede vraagstuk, voor de epicykel de grootte t.o.v. de leidcirkel worden afgeleid. Daarvoor is het nodig de planeet waar te nemen als zij een eind opzij van het epicykelmiddelpunt staat, dus ver buiten de oppositie. Merkwaardigerwijze geeft PTOLEMAEUS bij Mars hiervoor één waarneming slechts drie dagen na de oppositie. „Daar het ons volgende doel „is de grootteverhouding van de epicykel in getallen vast te leggen, kiezen

„wij voor dat doel een waarneming, die wij ongeveer drie dagen na de derde „oppositie (op 30 Mei 139 n. C., 9 uur 's avonds) deden.” Met het astrolabon, met behulp van Spica in de goede richting gebracht, werd de lengte van Mars  $241^{\circ}36'$  gevonden; tegelijk stond Mars  $1^{\circ}36'$  ten O. van de maan, die volgens de maantafels berekend op een lengte  $239^{\circ}20'$  stond, maar door de parallaxe van  $40'$  schijnbaar op  $240^{\circ}0'$  moest staan, dus „ook op deze manier „stond Mars overeenstemmend met de gemeten plaats op  $241^{\circ}36''$ . Dit precies kloppen op de minuut is blijkbaar opzet en pasklaar gemaakt; de waarnemingstijd is enkel in volle uren gegeven, en daar de maan per uur  $33'$  voortloopt, kon in dit verloop een lengte gekozen worden, die precies hetzelfde aantal minuten gaf als de meting. Met dit dubbel gefundeerde gegeven werd het nu een zuiver meetkundig vraagstuk van berekening uit een driehoek. Maar het is een driehoek met zo kleine hoeken:  $2^{\circ}43'$  aan de aarde en  $1^{\circ}8'$  aan het epicykelmiddenpunt, dat meetfouten van niet meer dan  $\frac{1}{4}^{\circ}$  de uitkomst aanmerkelijk kunnen bederven. Toch is zijn uitkomst, 0,658, zo goed als precies gelijk aan de juiste waarde 0,656. Is dit geen toeval, dan is het welhaast zeker, dat PTOLEMAEUS voor de grootte van de epicykel nog andere waarnemingen moet hebben gebruikt, met veel groter hoeken. Dan zal men de gegeven afleiding enkel als een voorbeeld ter demonstratie van de gevolgde meetkundige methode moeten beschouwen. Voor Jupiter en Saturnus leidt hij uit waarnemingen, die in dit geval ver opzij van de oppositie lagen, voor de grootte van de epicykel  $\frac{23}{120} = 0,192$  en  $\frac{13}{120} = 0,108$  af; de ware waarden zijn 0,192 en 0,105.

Bij deze drie planeten toont zich de epicykeltheorie in haar volle kracht. Had de oudheid beschikt over een lange reeks van waarnemingen, dan had zij daaraan kunnen tonen hoe goed deze theorie in staat was door berekening weer te geven. Nu weten wij alleen op andere wijze, door vergelijking met onze moderne gegevens, dat haar eenvoudige ruimtelijke structuur van cirkelcombinaties inderdaad een voortreffelijk beeld gaf van alle bijzonderheden in de planetenbeweging, die in vroegere eeuwen zo grillig en raadselachtig leken.

Bij de beide andere planeten, Venus en Mercurius, gaat het niet zo mooi. Hier was de epicykeltheorie genoodzaakt van de eenvoudige opvatting van HERAKLEIDES af te wijken, ten einde de onregelmatigheden in hun loop naar haar principe weer te geven. De epicykeltheorie zegt niet, dat de zon het middelpunt van hun epicykels is; zij stelt alleen, dat het epicykel-middelpunt in dezelfde tijd als de zon rondloopt en steeds dezelfde richting heeft als de straal in de zonsbaan. Dit brengt mee dat, terwijl de grootste afwijking (elongatie) van de planeet Oostelijk en Westelijk van de zon wisselend is en verschillend in grootte, dit toch theoretisch door een gelijkmatig doorlopen cirkelvormige epicykel moet worden weergegeven.

Bij Venus zijn deze verschillen gering; de grootste elongaties blijven altijd tussen  $45^{\circ}53'$  en  $46^{\circ}43'$ ; hier past dus uitstekend als epicykel een zuivere cirkel, waarvan het middelpunt altijd vlak bij de zon blijft. PTOLEMAEUS vindt daarbij voor de leidcirkel van Venus een totale excentriciteit van  $\frac{1}{24}$  met een apogeum op  $55^{\circ}$  lengte. Het is hem blijkbaar niet opgevallen — ten minste hij vermeldt het nergens — dat dit precies dezelfde excentriciteit en



nagenoeg hetzelfde apogeum is als hij voor de zon heeft afgeleid, dus dat de zon zelf hier als werkelijk middelpunt van de Venus-epicykel kan gelden. Mocht men zich er over verwonderen, dat de waarnemingen van Venus de excentriciteit evenveel te groot opleverden als die van de zon (de werkelijke waarde was  $\frac{1}{30}$ ), dan is te bedenken, dat zijn waarnemingen bestonden in het bepalen van de grootste elongaties t.o.v. de zon, en dat deze dan, om de lengte van Venus te krijgen, werden toegevoegd aan de aan de zonnetafels ontleende lengten van de zon, die op een ongelijkmatigheid van  $\frac{1}{24}$  berustten; zodat hij er als uitkomst uitkreeg, wat hij er zelf onder een andere naam had ingestopt.

Bij Mercurius zijn de verschillen veel groter; de grootste elongaties wisselen hier tussen  $17^{\circ}$  en  $28^{\circ}$ ; en hier gelukte het PTOLEMAEUS dan ook niet om tot een bevredigende theorie te komen. De oorzaak lag hoofdzakelijk in de moeilijkheid van de waarnemingen; de planeet is alleen in sterke schemering te zien, dicht bij de horizon, ver van andere heldere sterren; de juiste dag van grootste elongatie is moeilijk vast te stellen, en ondertussen loopt de planeet even snel langs de ecliptica voort als de zon; de lengte in grootste elongatie, waarvan de berekening uitgaat, kan dan zeer veel fout zijn. Een tweede oorzaak lag in de theorie; de asymmetrie in de heen-en-weer slingeringen van Mercurius past niet goed voor een weergave door een cirkelvormige epicykel. Zo kwam PTOLEMAEUS er toe om voor de leidcirkel bij Mercurius een ovaal aan te nemen met de aarde op de lange as buiten het middelpunt. Natuurlijk was dit ovaal ook opgebouwd uit cirkelbewegingen; door het middelpunt van de leidcirkel een kleine cirkel te laten beschrijven twee maal sneller dan het middelpunt van de epicykel de leidcirkel doorloopt, en wel in tegengestelde richting, blijkt dit juist op de gewenste wijze een ovale baan te volgen, die dan de rol van leidcirkel vervult. Op die wijze konden de hoofdtrekken van de verschijnselen van Mercurius worden weergegeven, zij het ook op een veel ingewikkelder en toch veel minder juiste wijze dan bij de andere planeten. Het is wel een bewijs voor de veelzijdige mogelijkheden van de epicykeltheorie, dat zij ook voor zulke moeilijke vraagstukken een oplossing wist te vinden.

Ten slotte neemt PTOLEMAEUS nog de afwijkingen van de planeten naar het noorden of zuiden van de ecliptica, dus hun breedte, in zijn epicykeltheorie op, en geeft ze weer door de kleine hellingen van de cirkels: van de epicykel t.o.v. de leidcirkel en van de leidcirkel t.o.v. de ecliptica. Naar wat wij weten zouden deze beide hellingen in het geval van Mars, Jupiter en Saturnus gelijk en tegengesteld moeten zijn, zodat de epicykel steeds evenwijdig aan de ecliptica blijft. Voor PTOLEMAEUS bestond er geen reden om dit aan te nemen en hij bepaalde deze hellingen uit enige zeer ruwe gegevens (een breedte van Jupiter van b.v.  $1^{\circ}$  en  $2^{\circ}$  in apogeum en perigeum leverde voor die beide hellingen  $1\frac{1}{2}^{\circ}$  en  $2\frac{1}{2}^{\circ}$ ). Bij Mercurius en Venus maakt hij nog ingewikkelder onderstellingen, waarbij het hoogste punt van de epicykel langs een verticaal cirkeltje beurtelings boven en beneden de ecliptica gevoerd wordt. En dan voegt hij er deze filosofische vertroosting aan toe: laat niemand met het oog op aardse inrichtingen dit te kunstmatig achten; want wat is er meer ongelijk dan goddelijke en menselijke dingen; de eenvoud van het hemelse gebeuren mag niet beoordeeld worden naar wat wij eenvoudig of ingewikkeld noemen, daar bij ons alles willekeurig en veran-

derlijk is en bij de hemelse wezens alles vast en onveranderlijk, zodat bij hun loopbanen aan geen nood en geen moeite gedacht kan worden.

In de Chaldeeuse tafels werd over de breedte van de planeten niet ge-rept; de getallen handelen alleen over hun lengte, hun vooruit- en terug-lopen; het is alsof de ecliptica als middencirkel voor de planetenbanen onop-gemerkt bleef. Enkel bij de maan treedt de breedte op, omdat zij nodig is voor de eclipsen, en omdat ook voor de berekening van de eerste sikkkel de afwijking van de maan naar Noord of Zuid van belang is. Hierin vertoont zich de superioriteit van de Griekse boven de Babylonische sterrekunde; want zij zag de hemellichten als lichamen, die banen in de ruimte doorlopen. Zo staat de epicykeltheorie, in de vorm die PTOLEMAEUS haar gaf, als de meest volmaakte ruimtelijke voorstelling van deze banen, vóór ons als het rijpste product van de sterrekunde der Oudheid.

#### 14. AFSLUITING DER OUDHEID

In het Romeinse rijk waren bij het begin van onze jaartelling alle enigszins beschaafde volken der oudheid tot een wereldrijk samengevat. De Middellandse Zee, waar ze omheen woonden, was de oude wereldzee, toneel van een levendige handel, die ze alle tot een economische eenheid samenbond. Vanuit de Zuidelijke overkant en het veroverde Oosten stroomden de rijkdommen en de levensbehoeften naar het economisch en politiek gepri-vilegieerde Italië en speciaal naar de hoofdstad Rome. Buiten de grenzen, door sterke legers afgeweerd, woonden de barbaarse stammen van Europa en Afrika, en lagen de Aziatische rijken, waartegen telkens grensoorlogen nodig waren. Maar binnen in het uitgestrekte gebied heerste onder de kei-zers in de twee eerste eeuwen vrede, slechts eenmaal door een strijd tussen enige generaals om het keizerschap onderbroken. Met de bloei van handel en bedrijf, die in deze eeuwen zich steeds gelijkmatiger over alle delen van het rijk uitspreidde, ging een uitspreiding van geestelijke cultuur gepaard. Zij was uit het Oostelijk deel afkomstig, dat ook onder de heerschappij van Rome Grieks, Hellenistisch in taal en karakter bleef, en was vandaar uit onder het boerse veroveraarsvolk van het Westen doorgedrongen. Maar hier bleef het navolging; op het gebied van wetenschap en natuurkennis hebben de Romeinen weinig oorspronkelijks geleverd.

Dat geldt met name ook voor de sterrekunde. Het aandeel van de Romei-nen en hun onderdanen is spoedig opgesomd. CLEOMEDES — zijn naam is Grieks — is reeds genoemd als samensteller van een leerboek; opmerking verdient, dat hij voor de gelijktijdige zichtbaarheid van de zon en de ver-duisterde maan tegenover elkaar boven de horizon al de goede verklaring gaf, dat de lichtstralen bij de horizon gebogen werden. PTOLEMAEUS gebruikt waarnemingen van sterbedekkingen door de maan, die door MENELAUS te Rome en door AGRIPPA in Bithynië in 92 en 98 n. C. zijn gedaan; de eerste naam wijst ook op Griekse oorsprong. Van PLUTARCHUS, de schrijver van beroemde biografieën, in de 2de eeuw n. C., bezitten wij een samenspraak „Over het gezicht in de maan”, waarin de maan als een kleiner aarde-achtig

lichaam wordt gekenschetst, met diepten en oneffenheden, die grote scha-duwen werpen; dus een moderne opvatting, die reeds ver boven ARISTOTELES uitgaat. Dan moet hier, omdat zij de grondslag voor alle latere tijdrekening vormt, de kalenderhervorming van JULIUS CAESAR vermeld worden, waarbij met de maanrekening geheel werd gebroken en in navolging van de Egp-tische kalender het zonnejaar van  $365\frac{1}{4}$  dag als enige aan de sterrekunde ontleende periode werd gebruikt. Dit was wel geen uitbreiding, maar enkel een toepassing der wetenschap. Het behoorde dan ook tot zulke maatregelen van sociaal-politieke organisatie als waarin de kracht van de Romeinen lag.

Wel echter gaf het karakter van het Romeinse wereldrijk ook aan het werk van wetenschap in deze tijden een nieuw en bijzonder karakter. In de vorige eeuwen had de opkomst van handel en bedrijf en de wedijver tussen de kleine landjes en steden in Hellas en het Oosten het scheppende initiatief in de groei van nieuwe denkbeelden wakker gemaakt. Nu, onder de invloed van de samenvatting van de gehele beschaafde mensheid tot een eenheid, werd ook in de natuurbeschouwing de gedachte gericht op het universele, op samen-vatting van al deze kennis tot één geheel van wetenschap. In plaats van de frisse kracht van originele denkers en onderzoekers, in plaats van het op-bruisen van nieuwe ideeën, kwam de alomvattende geleerdheid der compi-latoren, die alles wat door deze voorgangers ontdekt en gewrocht was, natuurlijk vaak ook met eigen beschouwingen toegelicht, tot encyclopaedische boeken verwerkten. De Romeinse keizertijd was in de wetenschap de tijd van verzamelwerken op alle gebied: van STRABO over de aardrijkskunde, van PLINIUS over de natuurlijke historie, van GALENUS over de geneeskunde; zij vormden een voltooiing en afsluiting van de wetenschap der Oudheid.

Zo was het ook met sterrekunde. Hier verschijnt als afsluiting van de Griekse sterrekunde het grote werk van CLAUDIUS PTOLEMAEUS: de „dertien boeken der mathematische samenstelling” (*mathematikè suntaxis*). Hij leefde ten tijde van de keizers HADRIANUS en ANTONINUS PIUS, en was dus een tijdge-noot van PLUTARCHUS. Geboorte- en sterfjaar zijn van hem niet overgeleverd; maar wij bezitten waarnemingen van hem uit de jaren 127 tot 151 n. C. Hij leefde in Alexandrië en behoort geheel tot de Griekse cultuurwereld. Zijn werk nu is veel meer dan enkel een verzameling, een samenstelling van vroegere kennis. PTOLEMAEUS was geen compiler, maar een zelfstandig wetenschappelijk onderzoeker, naast HIPPARCHUS de grootste sterrekundige van de Oudheid. Hij heeft de theorieën van zijn voorgangers op allerlei punten verbeterd en uitgebreid; hij heeft door eigen waarnemingen en ver-klaringen de wetenschap verder opgebouwd. Wij zagen reeds hoe hij de epicykeltheorie voltooide, door haar preciese vorm en getallenwaarden te geven.

Het werk van PTOLEMAEUS is een handboek, dat de gehele toenmalige sterrekunde omvat. Wel behandelt hij alleen de hemelbol, met sterren, zon en maan, en de planeten; over b.v. de kometen spreekt hij niet, hoewel de wijsgeer SENECA (omstreeks 70 n. C.) deze in een vaak geciteerde uitspraak tot hemellichamen verklaarde, waarvan de ver uitgestrekte banen, waarin ze meestal onzichtbaar blijven, in latere tijden wel ontdekt zouden worden. Maar ARISTOTELES had ze als verschijnselen in de bovenste atmosfeer, niet in het hemelgebied, beschouwd; en PTOLEMAEUS sloot zich in zijn algemene grondslagen van wereldbouw bij ARISTOTELES aan. Dus begint hij dan ook

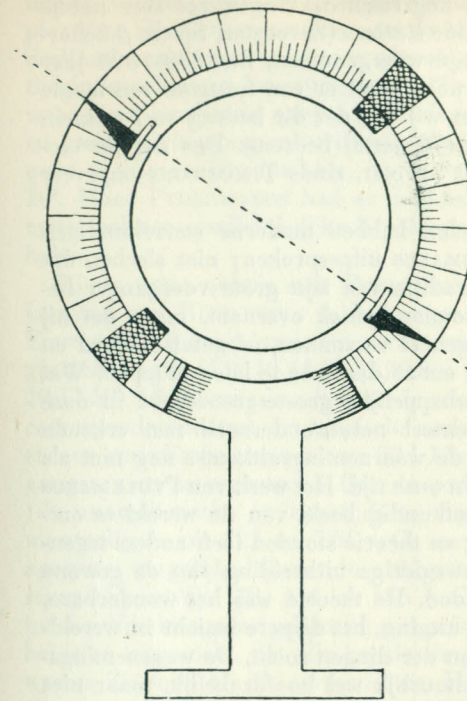
met uiteen te zetten, dat het hemelgewelf bolvormig is, en zich als een bol om zijn as draait; dat ook de aarde bolvormig is; dat de aarde in het middelpunt van de hemelbol staat; dat wat betreft grootte en afstand de aarde zich als een punt ten opzichte van de sfeer der vaste sterren verhoudt; dat de aarde geen beweging heeft, die haar plaats verandert. Dit laatste wordt met de gewone uiteenzetting van de leer van ARISTOTELES aangetoond; bovendien polemiseert hij, zonder de naam ARISTARCHUS te noemen, tegen hen „die de „hemelbol in rust aannemen, terwijl ze de aarde om dezelfde as van West „naar Oost nagenoeg een wenteling per dag laten maken”. „Wat de ver- „schijnselen der sterrenwereld betreft”, zo vervolgt hij dan „zou er niets „tegen zijn, wegens de eenvoudigheid, dat het zo zou zijn”. Maar de belachelijkheid van die opvatting komt daarin uit, dat dan de fijnste en lichtste materie geen beweging, en de zwaarste en logste materiemassa daarentegen een ongelooflijk snelle beweging zou hebben. Alles wat niet vast aan haar verbonden was (zoals wolken of geworpen voorwerpen) zou achterblijven, dus in tegengestelde richting, naar het Westen schijnen te bewegen. Of, als men dan verklaart, dat ze door de met de aarde meewentelende lucht meegenomen worden, dan zouden ze, als het ware ingeklemd, steeds op dezelfde plaats daarin moeten blijven vastzitten. Dit zijn de argumenten, die PTOLEMAEUS voor zijn geocentrisch wereldstelsel aanvoert.

In een meetkundige inleiding wordt eerst een tafel van koorden voor alle met een halve graad opklimmende hoeken berekend en afgedrukt; de daarbij gebruikte eigenschap van vierhoeken in een cirkel wordt nu nog altijd als „stelling van PTOLEMAEUS” in de meetkundeboeken behandeld. En ook worden omtrent vlakke driehoeken en driehoeken op de bol afgeleid, die voor het vervolg nodig zijn. Daaraan sluiten dan de berekeningen van grootheden op de draaiende hemelbol aan: de tijd en de duur van de opkomst der verschillende tekens van de dierenriem, de hoeken die de ecliptica met de horizon, met de meridiaan, en met andere hoogtecirkels maakt — alles grootheden, die bij astrologische berekeningen te pas komen. Deze hangen af van de poolhoogte van de plaats van waarneming; daarom worden eerst de verschijnselen afzonderlijk voor de verschillende breedten op aarde, van de evenaar tot de pool, behandeld. Daarbij werden standaardbreedten genomen, die opklimmen met de duur van de langste dag:  $12\frac{1}{4}$ ,  $12\frac{1}{2}$ ,  $12\frac{3}{4}$ , 13... uren (corresponderend met breedten van  $4^{\circ}15'$ ,  $8^{\circ}25'$ ,  $12^{\circ}30'$ ,  $16^{\circ}27'$ ...) tot 23u en 24u (voor breedte  $66^{\circ}$  en  $66^{\circ}8'40''$ ). Voor die standaardbreedten, die de bewoonde wereld omvatten, met  $\frac{1}{2}$  uur opklimmend, worden alle berekende grootheden in tabelvorm gegeven.

Het eerst wordt dan de beweging van de zon behandeld. De grootheden, die daarbij te pas komen, zijn de helling van de ecliptica, de duur van het jaar, en de excentriciteit van de cirkelbaan. Voor de bepaling van de helling beschrijft hij twee instrumenten, het éne een in graden verdeelde cirkel, waarbinnen een kleine cirkel draaibaar is, zodat door schaduw en index de meridiaanhoogte van de zon is af te lezen, (zie de aan PROCLUS ontleende figuur op de volgende bladzij), het andere een in graden verdeeld kwadrant, voor hetzelfde doel. Hij vond dat het verschil in meridiaanhoogte bij zomer- en winterstilstand steeds tussen  $47^{\circ}40'$  en  $47^{\circ}45'$  viel, en hij merkt op dat dit ongeveer hetzelfde is als ERATOSTHENES gevonden en ook HIPPARCHUS gebruikt had, nl.  $11\frac{1}{38}$  van de cirkelomtrek.

De helft daarvan,  $23^{\circ}51\frac{1}{3}'$ , wordt dan als helling van de ecliptica aangenomen.

Omtrent de baan van de zon vermeldt hij eerst, dat HIPPARCHUS het tijdsverloop tussen lente-, zomer- en herfstpunt op  $94\frac{1}{2}$  en  $92\frac{1}{2}$  dag vaststelde en daaruit een excentriciteit van  $\frac{1}{24}$  afleidde. „Ook wij kwamen tot de uitkomst, „dat tegenwoordig de omstandig- „heden nog zo goed als dezelfde „zijn”. . . . „wij vinden namelijk „met behulp van in het 463ste „jaar na ALEXANDER's dood (d.i. „139/140 n. C.) door ons nauw- „keurig waargenomen nachteve- „ningen en de even nauwkeurig „berekende zonnestilstand dezelfde „waarden der tussentijden”. (Dit zijn 26 Sept. 139 een uur na zonsopkomst, 22 Mrt. 140 een uur na de middag, dus  $178\frac{1}{4}$  dag later, en 25 Juni 140 om 2 uur in de ochtend.) En daaruit leidt hij dan natuurlijk een excentriciteit  $\frac{1}{24}$  en een apogeum op  $65^{\circ}30'$  af, identiek met de waarden van



HIPPARCHUS. In werkelijkheid waren, volgens onze moderne gegevens, die tussentijden 93,9 en 92,6 dagen geweest, en was de excentriciteit  $\frac{1}{30}$ .

Dezelfde beide nachteveningstijden worden ook gebruikt voor de vaststelling van de lengte van het jaar, door ze met de door HIPPARCHUS aangegeven tijdstippen uit 147 en 146 v. C., 285 jaar vroeger te vergelijken. Hij vindt de tussentijd  $70\frac{3}{10}$  dag langer dan  $285 \times 365$  dagen, terwijl  $\frac{1}{4} \times 285 = 71\frac{1}{4}$  is, dus „dat in 300 jaren de terugkeer van de zon naar het lentepunt „ongeveer een dag vroeger plaats vindt dan met  $365\frac{1}{4}$  dag overeenstemt”. En hij constateert hier weer de volledige overeenstemming met HIPPARCHUS, nl. een lengte van het jaar van  $365d 5 u 55,2m$ . Nu is dit echter 7 minuten te lang, dus moet zijn totale interval meer dan een dag te lang geweest zijn; rekt men met moderne gegevens na, dan blijken de werkelijke tijdstippen van nachtevening ruim een dag vroeger te zijn geweest dan wat hij als waarnemingsuitkomsten opgeeft.

De lengte van het jaar, of meer precies het bedrag, dat het tropische jaar korter is dan de terugkeer van de zon tot dezelfde sterren, het siderische jaar, hangt onmiddellijk met de praecessie samen. En ook hierbij is PTOLEMAEUS weer geheel in overeenstemming met HIPPARCHUS. Hij vond, zegt hij na vermelding van diens waarde „dat een voortgaan der sterren t.o.v. de nacht- „eveningspunten overeenkomstig de boven meegedeelde vooruitgang heeft „plaatsgevonden”; en hij deelt dan een waarneming van Regulus mee, volgens welke deze ster in de 265 jaren sinds HIPPARCHUS  $2^{\circ}40'$  voortgegaan is,

dus dat per 100 jaren een vooruitgang van één graad in de richting der tekens plaats vond. Hij vergelijkt dan nog sterbedekkingen (of zeer nabije samenstanden) van de maan met bepaalde sterren (Zevenster, Spica,  $\beta$  Schorpioen), door TIMOCHARIS in de oude tijd waargenomen, met 380—390 jaar latere van MENELAUS en AGRIPPA; en weer komt er een toename van lengte van  $1^\circ$  in 100 jaar uit. En toch weten wij nu, dat dit bedrag veel te klein is, en dat de werkelijke waarde  $1^\circ$  in 72 jaren bedroeg. Dus dat de verplaatsing, sinds HIPPARCHUS ongeveer  $1^\circ$  groter, sinds TIMOCHARIS ongeveer  $1\frac{1}{2}^\circ$  groter moet geweest zijn.

Op grond van deze tegenstrijdigheden hebben moderne sterrekundigen dikwijls een hard oordeel over PTOLEMAEUS uitgesproken: niet slechts, dat hij zo geheel in blind geloof aan de traditie van zijn grote voorganger bevangen was, dat hij diens waarden zonder kritiek overnam, maar dat hij daartoe zijn waarnemingsgegevens of geheel verzonnen, of gefatsoeneerd en veranderd, dus eigenlijk vervalst heeft, om ze daarmee te laten kloppen. Wat er veeleer uit blijkt is, dat de wetenschappelijke geestesgesteldheid in deze oudheid, toen er nog geen experimenteel natuuronderzoek met erkende methode van beoordeling bestond, en de waarnemingsuitkomst nog niet als document gold, geheel anders was dan in onze tijd. Het werk van PTOLEMAEUS was theoretisch; zijn doel was een meetkundig beeld van de wereld te ontwikkelen en uit te leggen. Waarneming en theorie stonden toen anders tegenover elkaar. De waarneming was nieuwsgierige uitbreiding van de gewone praktijk, kijken waar het hemellicht stond. De theorie was het wonderbare, het nieuwe, dat ver buiten die praktijk uitging, het diepere inzicht in wereldstructuur, de wijsbegeerte, die het wezen der dingen zocht. De waarnemingsgegevens waren de voorbeelden, die natuurlijk wel hoofdzakelijk, maar niet strikt noodzakelijk aan de praktijk met zijn onzekerheden ontleend waren. Zij zijn dan niet bedoeld als zelfstandige nieuwe data, maar droegen vaak het karakter van soms snel tevredenstellende verificatie van eerwaardige vroegere wijsheid.

Bij de uitkomst voor de praecessie moeten bovendien de bronnen van fouten niet uit het oog worden verloren. Bij de uitkomst voor Regulus b.v. werd eerst de ondergaande zon met de maan vergeleken, en later de toen lager staande maan met de ster; door de straalbreking bij de horizon moet dan de ster t.o.v. de zon een te kleine lengte hebben gekregen. Als daarbij de lengte van de zon ontleend werd aan de zonnetafels, gaat de fout van deze, die op de foutieve nachteveningen berusten, geheel en in dezelfde richting in de uitkomst over. Om uit de sterbedekkingen door de maan de lengte van de sterren te berekenen, moesten de tafels en de parallaxen van de maan gebruikt worden, en die waren, zoals blijken zal, ook heel wat fout. Wanneer de tijden ruw zijn opgegeven, kan men bij het snelle voortlopen van de maan van  $\frac{1}{2}^\circ$  per uur, door deze geschikt te kiezen, de uitkomst licht aan de verwachting aanpassen. Dit alles laat ons een blik slaan in de denkwerkmethode van deze oude astronomen, en inzien hoe deze in velerlei opzicht afwijkt van die der moderne natuuronderzoekers en niet met de maatstaf van dezen zijn te meten.

Vermeldingswaardig is ook nog het volgende. PTOLEMAEUS deelt daarbij enige lijsten met uitkomsten voor de declinatie (z.g. breedte t.o.v. de aequator) van een aantal sterren mee, volgens metingen van TIMOCHARIS, van HIP-

PARCHUS en van hemzelf, om te laten zien, dat ze aan de ene kant van de hemel Noordelijker, aan de andere kant Zuidelijker worden, dus dat de verplaatsing bij allen evenwijdig aan de ecliptica plaatsvond. Herleidt men deze declinatieverschillen volgens moderne methoden, dan vindt men voor beide tijdsintervallen een beweging van  $50''$  per jaar, dus geheel en al juist. Hier, waar geen berekende zons- of maanlengten complicaties en fouten brachten, en geen vooringenomen verificatie een rol kon spelen, blijken hun metingen goed te zijn en betrouwbaar, met de gemiddelde fouten niet veel meer dan  $10'$ . Maar PTOLEMAEUS had er blijkbaar geen vermoeden van, dat uit dit materiaal een onafhankelijke bepaling van het bedrag der praecessie was te halen.

Bij de maan echter stelt PTOLEMAEUS zich er niet mee tevreden de uitkomsten van HIPPARCHUS te bevestigen; hier gaat hij eigen nieuwe wegen. Eerst gaat hij enige perioden verbeteren. In de gemiddelde dagelijkse beweging in lengte ( $13^\circ, 10, 34, 58, 33, 30, 30$ ) en die t.o.v. de zon ( $12^\circ, 11, 26, 41, 20, 17, 59$ ) (de komma's scheiden de sexagesimalen van telkens hogere orde), corresponderend met een tropische omlooptijd van de zon van  $365d\ 5u\ 55m$  en een synodische periode van  $29d\ 12u\ 44m\ 3\frac{1}{3}s$ , vindt hij aan zijn voorganger niets te verbeteren. Om de periode van terugkeer tot het apogeum (de anomalistische omlooptijd) te vinden, gebruikt hij drie Babylonische maaneclipsen uit 721 en 720 v. C., en de daaruit gevonden lengte van het apogeum vergelijkt hij met de uitkomst uit drie door hemzelf waargenomen maaneclipsen uit 133, 134 en 136 n. C. En voor de periode van terugkeer tot dezelfde knoop vergelijkt hij een eclips uit 491 v. C. met een uit 125 n. C., beide zo uitgezocht, dat alle bepalende grootheden in beide gevallen dezelfde waren. Zo vond hij als correctie aan HIPPARCHUS' waarde voor de terugkeer tot apogeum, die op de verhouding 269:251 berustte, een bedragje van  $0^\circ 17'$  in 854 jaar, terwijl de correctie aan de beweging van de knoop nul werd gevonden. Dus was de beweging in graden per dag t.o.v. het apogeum  $13,3,53,56,17,51,59$ , en t.o.v. de knoop  $13,13,45,39,48,56,37$ . Deze corresponderen met een teruglopen van de knoop in lengte in een tijd van 6796,26 dagen, en een vooruitlopen van het apogeum in een tijd van 3231,62 dagen.

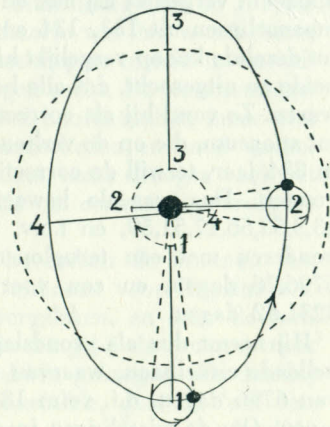
Hij neemt dus als grondslag voor de maanbeweging een op de ecliptica hellende cirkelbaan, waarvan de snijpunten met de ecliptica in een periode van 6796 dagen, d.i. ruim 18 jaren regelmatig achteruit de ecliptica doorlopen. Om de wisselingen in snelheid tussen apogeum en perigeum weer te geven, wordt nu — om redenen die straks zullen blijken — niet een excentrische cirkel gebruikt als bij de zon, maar een epicykel. Wij hebben reeds gezien (zie figuur blz. 112), dat in plaats van een excentrische cirkel even goed een concentrische cirkel tesamen met een in dezelfde tijd doorlopend epicykel kan gebruikt worden. Om in plaats van een stilstaand een vooruitlopend apogeum te krijgen, behoeft de beweging op de epicykel slechts een ietsje,  $6'41''$  per dag, langzamer te zijn. Het bedrag der excentriciteit, dus hier de straal van de epicykel, was volgens deze eclipsen  $\frac{1}{11,49} = 0,087$ , wat met een maximale afwijking t.o.v. de gemiddelde loop van  $5^\circ 1'$  overeenstemt.

Al deze uitkomsten berusten op maaneclipsen; bij deze immers geeft het tijdstip van het midden der eclips de plaats van de maan veel nauwkeuriger



dan de directe meting met een instrument zou kunnen doen. PTOLEMAEUS stelde zich daarmee echter niet tevreden en wilde de plaats van de maan ook in andere delen van haar baan kennen. Daartoe beschrijft hij uitvoerig een meetinstrument, dat hij „Astrolabon”<sup>1)</sup> noemt. Dit mag niet verward worden met wat in latere tijden astrolabium heette en iets geheel anders is. PTOLEMAEUS' astrolabon komt overeen met wat later *sphaera armillaris*, ringensfeer, of ook kortweg armilla heet en naar zijn voorbeeld door tal van latere sterrekundigen is gebruikt. Hij heeft er ook, naar hij meedeelt, lengte en breedte van de sterren mee gemeten. Hier werd het gebruikt, om overdag het lengteverschil van zon en maan herhaaldelijk te meten. En toen bleek, dat de theorie met deze metingen helemaal niet strookte. In de kwartierstanden, bij eerste en laatste kwartier, bleek de maximale afwijking van de gemiddelde loop  $7^{\circ}40'$  in plaats van  $5^{\circ}1'$  te zijn.

Om deze „tweede anomalie” van de maan (in latere tijden „evectie” genoemd), die van de stand t.o.v. de zon afhangt, te kunnen verklaren, moest de maanepicykel dienen. PTOLEMAEUS heeft daartoe een mechanisme uitgedacht, waarbij de epicykel van de eerste anomalie beurtelings dichterbij en verder van de aarde af komt, en daardoor zich afwisselend groter en kleiner vertoont, in de kwartierstanden anderhalf maal groter dan bij volle en nieuwe maan. Zijn middelpunt loopt daartoe niet op een cirkel, maar op een ovale baan, met de verste, smalle uiteinden van de zon af en naar de zon toegekeerd en de platte kanten loodrecht daarop. Kwam hij daarmee niet in strijd met het grondbeginsel van de Griekse kosmologie, dat alle banen eenparig doorlopen cirkels moeten zijn, of combinaties daarvan? Formeel kon hij er aan voldoen door het epicykelmiddelpunt een leidcirkel te laten doorlopen, waarvan het middelpunt niet stilstaat maar zelf op een kleine cirkel in tegengestelde richting rondloopt, zoals de figuur laat zien. Om de lange as van het ovaal steeds op de zon gericht te houden moet dit binnenmiddelpunt  $12^{\circ}11'26''$  per dag vorderen, terwijl de maan zelf  $13^{\circ}10'35''$  per dag aflegt. De excentriciteit, d.i. de straal van de kleine binnen-cirkel is 0,208; de afstand en de schijn-

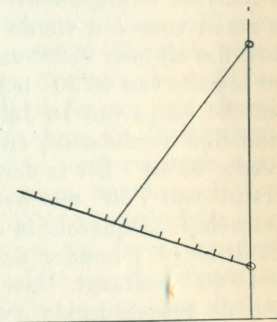


<sup>1)</sup> Dit instrument is voor de sterrekunde te belangrijk geweest, om niet de beschrijving, die PTOLEMAEUS er van geeft, in het kort weer te geven. Twee vast verbonden onderling loodrechte ringen stellen de ekliptika en de loodrecht daaropstaande cirkel (de z.g. koluur) door zomer- en winterpunt en de polen van ekliptika en evenaar voor. Om twee stiften in de beide ekliptika-polen kan daarbinnen een ring draaien, waarvan de stand aan de in graden verdeelde ekliptika-ring als „lengte” wordt afgelezen. Binnen in en langs deze glijdt een ook in graden verdeelde ring met twee vizieren, waarop men de „breedte” van het hemellichaam afleest, waarop de vizierlijn is gericht. Om dit ekliptika-ringenstel zo te kunnen stellen als met de hemel overeenkomt, is het door middel van twee stiften, die buiten op de plaats van de beide hemelpolen op de koluur-ring zijn aangebracht, draaibaar binnen een vaste ring, die de meridiaan voorstelt. Men stelt dus eerst het voetstuk, waarop deze laatste bevestigd is, zó, dat de meridiaan-ring goed Noord—Zuid staat en de pool-draaipunten op de goede poolhoogte staan. Dan wordt de lengte-ring op de bekende of berekende lengte van de zon (of van een ster)

bare grootte van de epicykel wisselen dus in de verhouding 1,21 tot 0,79, wat met de verhouding van  $7^{\circ}40'$  tot  $5^{\circ}1'$  overeenstemt. In deze zelfde maat is de straal van de epicykel (0,087 keer de lange as) dan 0,106.

Zo is dan op vernuftige wijze, formeel aan de eis van cirkelbanen voldoende, een verklaring gegeven. Maar op een wijze, die meebrengt, dat de afstand van de maan tot de aarde tussen  $1,21+0,10$  en  $0,79-0,10$ , dus in de verhouding van 13 tot 7 zou kunnen wisselen. En nu kan ieder die wel eens naar de maan kijkt, reeds met het blote oog, zonder enige meting, vaststellen, dat dat niet het geval is, dat de maanschijf niet de ene keer bijna twee maal zo groot is als de andere. Deze theorie geeft dus zeker niet de beweging in de ruimte goed weer. Nu is wel gezegd, dat dat niet hindert, daar de ruimtelijke baan enkel een formele constructie is om de lengten met haar onregelmatigheden goed weer te geven; en daarop alleen komt het aan. Maar dit laatste is niet juist; want de parallaxen van de maan wisselen in dezelfde onmogelijke verhouding, en die bepalen de plaats waar de maan door de waarnemers op aarde gezien wordt.

PTOLEMAEUS beschrijft dan een instrument, waarmee hij de parallaxe van de maan heeft gemeten. Hij meet niet anders dan de meridiaanhoogte van de maan. Een schuine lat, die bovenaan met een verticale paal verbonden is door een scharnier, waaromheen hij in een verticaal vlak op en neer kan draaien, wordt door vizieren op de maan gericht. Zijn helling wordt niet afgelezen op een in graden verdeelde boog, maar op een smalle, rechte staaf, die de koorde van zulk een boog voorstelt en waarop een verdeling is aangebracht; deze is onder met een scharnier aan de paal bevestigd terwijl het andere eind van de lat langs zijn verdeling kan glijden. Het is dus een instrument om de hoogte of de zenithsafstand van een hemellicht te meten. In latere tijden is dit instrument in West-Europa onder de naam driestaf gebruikt. PTOLEMAEUS gebruikte het o.a. om door meting van de maanhoogte in haar hoogste punt de maximale breedte van de maan, d.i. de helling van de maan t.o.v. de ecliptica op  $5^{\circ}0'$  te bepalen. De parallaxe van de maan kon hij vinden door de meridiaanhoogte te meten in het Zuidelijkste deel van haar baan en dit te vergelijken met wat door berekening volgde uit de hoogte in de Noordelijkste stand (dicht bij het zenith, dus vrij van parallaxe) verbonden met de bekende poolhoogte; daarbij werd dus van de symmetrie van de maanbaan boven en beneden ecliptica en evenaar uitgegaan. „Uit een aantal parallaxe-„waarnemingen, die bij zulke standen door ons zijn gedaan, willen wij er „één meedelen om daaraan de gang van de berekening uit te leggen en er „de verdere consequenties uit af te leiden”. Dit is dan een waarneming op 1 Oct. 135, waaruit hij een parallaxe van  $1^{\circ}7'$  en een afstand van  $39\frac{3}{4}$  aardstralen afleidt. Daaruit volgt dan dat de spitsen van de ovaal 59 en de gesteld, vervolgens de koluur-ring zover om de hemelas gewenteld, tot de lengte-ring precies op de zon (of de ster) is gericht. Dan liggen de ekliptika en haar vaste punten juist zo als aan de hemel. Men kan dan de lengte-ring en de daarin glijdende breedte-ring met de vizieren op de maan (of op een andere ster) richten en lengte en breedte aflezen.



vlakke zijden  $38^{43}/_{60}$  aardstralen verwijderd zijn; en op de grondslag van deze waarden berekent hij zijn tafels. Men stelt hier met verwondering de vraag hoe de andere parallaxe-metingen, die hij niet meedeelt, hiermee konden uitkomen, en waarom hij juist deze heeft uitgezocht — tenzij als proeve hoe men zulke verheven en ingewikkelde dingen als de loop van de maan door strikte berekening kan weergeven. In zijn tafels treden als uiterste waarden van de parallaxe  $53'34''$  en  $63'51''$  aan de spitsen van het ovaal (dus bij volle en nieuwe maan), en  $79'$  en  $104'$  aan de vlakke zijden (dus in de kwartierstanden) op, alles de werkelijke uitersten van de maanparallaxe ver te buiten gaande. In deze theoretische voorstelling is PTOLEMAEUS het slachtoffer geworden van zijn grondbeginsel: door een stelsel van eenparig doorlopen epicykels alle onregelmatigheden in de maanbeweging te willen weergeven.

Nu bleef nog over, de afmetingen van de hemellichamen, en ook de afstand van de zon af te leiden. Hij vertelt hoe hij een diopter-instrument als dat van HIPPARCHUS gebruikte en hoe daarbij de middellijn van de zon steeds even-groot leek, en wel even groot als de volle maan op haar grootste afstand (van 64 aardstralen). Dat wil dus zeggen dat ringvormige zoneclipsen niet konden voorkomen. Voor het meten van deze middellijnen vindt hij echter de methode niet nauwkeurig genoeg, en hij gaat ze nu afleiden door berekening uit de bekende baanelementen, met behulp van twee maaneclipsen, waarbij de maan zich op deze grootste afstand van de aarde bevond. De ene was de in Babylon waargenomen maaneclips van 22 April 621 v. C.; daarbij werd de maan voor één vierde van haar middellijn verduisterd en de berekening leert, dat zij toen  $9^{\circ}20'$  van de knoop verwijderd was, dus haar middelpunt een breedte van  $48'30''$  ten Noorden van de ecliptica had. Bij de latere Babylonische eclips van 16 Juli 523 v. C. was de maan voor de helft van haar middellijn verduisterd, en bij een afstand  $7^{\circ}48'$  van de knoop was haar breedte  $40'40''$ . Dit is derhalve juist de straal van de aardschaduw, en het verschil van  $7'50''$  met het vorige getal is dan de helft van de straal van de maanschijf. „Bijgevolg is de halve middellijn van de schaduw slechts onbeduidend ( $4''$ ) minder dan het  $2^{3}/_{5}$ -voudige van de halve middellijn, die  $0^{\circ}15'40''$  bedraagt. Daar wij verder uit een aantal dergelijke waarnemingen de medegedeelde getallenuitkomsten nagenoeg overeenstemmend krijgen, hebben wij daarvan zowel bij de andere theoretische onderzoeken „omtrent de verduisteringen gebruik gemaakt als ook nu voor het bewijs „van de afstand van de zon”.

De berekening van de afstand van de zon, die PTOLEMAEUS nu op ingewikkelder manier met stralen en afstanden uitvoert, komt op hetzelfde neer als de reeds vermelde stelling van HIPPARCHUS, maar nu zo gebruikt, dat men van  $40'40'' + 15'40''$  de maanparallaxe bij grootste afstand van volle of nieuwe maan  $53'34''$  aftrekt, waarbij voor de zonsparallaxe  $2'46''$  overblijft; hij vindt aldus een afstand van 1210 aardstralen.

Dat deze afstandsbeplating een volkomen illusie is, valt direct in het oog. De ruwe opgaven over verduistering van de helft of een vierde part van de maan bij de eclipsen — noodzakelijk ruw daar de schaduw maar vaag begrensd is — kunnen vele minuten fout zijn, en daarmee valt de gehele zonsparallaxe weg. Maar voor PTOLEMAEUS lag de kwestie geheel anders. Karakter en bedoeling van deze afleiding zijn volkomen theoretisch, als

een demonstratie van de meetkundige samenhang der verschijnselen en grootheden. En als zodanig mag men zeggen, dat deze afleiding ook een beeld geeft van de hoogte der Griekse sterrekunde. Dat de sterrekundige, in theorie, in staat was uit de waarneming der eclipsen de afstand van de zon af te leiden, dat toont hoever de mens nu was voortgeschreden in wijd en diep inzicht in de wereldbouw.

Hieraan sluit zich dan aan, dat de middellijn van de zon  $5\frac{1}{2}$  maal groter, en van de maan  $3\frac{3}{5}$  maal kleiner dan die van de aarde moet zijn; en dus de inhouden 170 maal groter en 39 maal kleiner. Een aantal hoofdstukken zijn dan verder gewijd aan een zorgvuldige uiteenzetting van de berekening van zon- en maaneclipsen op grond van de gevonden uitkomsten over de beweging van zon en maan.

Na de zon en de maan komen de sterren. PTOLEMAEUS' werk bevat de oudste catalogus van vaste sterren, gerangschikt in sterrebeelden, waarin voor elk der 1022 sterren lengte en breedte, dus de coördinaten t.o.v. de ecliptica worden gegeven, benevens de helderheid. De helderheid, genoemd „grootte” wordt uitgedrukt als 1ste, 2de enz. tot 6de grootte, bij sommige sterren ter fijnere onderscheiding nog voorzien van een bijvoeging „groter” of „kleiner”; een methode die in alle latere sterrekunde is overgenomen. De lengten zijn over het geheel omstreeks een graad te klein; dit is in moderne tijden meestal zo geduid, dat PTOLEMAEUS eenvoudig de catalogus van HIPPARCHUS met de daar gegeven coördinaten heeft overgenomen, na de lengten met zijn eveneens aan HIPPARCHUS ontleende te kleine praecessie-waarde ( $2^{\circ}40'$  in plaats van  $3^{\circ}40'$  voor die tussentijd) te hebben vergroot; dus zelf niets wezenlijks daaraan gedaan heeft. Het is echter zeer aannemelijk, zoals boven reeds is vermeld, dat zijn praecessie toch op eigen metingen berustte, en diezelfde metingen moeten dan alle daarop berustende lengten der sterren te klein gemaakt hebben. Het vermoeden is uitgesproken, dat PTOLEMAEUS een uit ruim 800 sterren bestaande lijst van HIPPARCHUS zonder nieuwe eigen metingen heeft overgenomen en met 170, meest kleinere, van hemzelf vermeerdert; dit op grond van het feit dat de breedten bij het merendeel der sterren in zesde delen van graden zijn gegeven — dit zouden de onveranderd overgenomen sterren zijn — bij een klein aantal echter in vierde graden; deze vierde en zesde graden zouden dan de verdelingen van hun instrumenten betekenen. Zonder meer kan deze kwestie natuurlijk niet worden uitgemaakt. De toevallige fouten zijn natuurlijk groter dan deze nauwkeurigheid van aflezing; naar vergelijking met moderne gegevens is de middelbare fout van een lengte  $35'$ , van een breedte  $22'$ .

Bij zes heldere sterren voegt PTOLEMAEUS een aanduiding van de kleur toe: hij noemt ze „hupokirros”, d.i. enigszins geel. Het zijn Aldebaran, Betelgeuse, Arcturus, Antares, Pollux en Sirius, waarvan de eerste vijf juist die sterren van de eerste grootte zijn, die wij rood of roodachtig noemen. Inderdaad is onze betiteling rood overdreven en subjectief versterkt door de kleinheid van de ster; de nog veel rodere Mars vertoont in een kijker een gelige kleur zonder spoor van rood, dus PTOLEMAEUS' „geelachtig” is eigenlijk een heel goede weergave. Dat PTOLEMAEUS bij deze „rode” sterren ook Sirius noemt, die wij als blauwachtig wit kennen, heeft steeds verwondering gewekt, en tal van schrijvers hebben er uit afgeleid, dat Sirius in historische tijden van kleur veranderd moet zijn. Dat het niet een gewone schrijffout was, blijkt

wel daaruit, dat in de Romeinse literatuur telkens van de „rubra canicula”, de rode hondster gehandeld wordt, de vurige, brandende ster, die de zomerhitte brengt. Ook in de Babylonische teksten vindt men een vermelding van de ster Kak-si-di, die „als koper glanst”. Een dergelijke catastrophale verandering wordt echter door onze moderne astrophysica volkomen uitgesloten; trouwens, ook bij de dichter MANILIUS vindt men een regel, waar hij van Sirius zegt: (in de vertaling van J. VAN WAGENINGEN) „... omdat hij verweg „aan het fimament staat, is zijn gelaat azuurblauw en werpt hij koude licht-„stralen”. De meest waarschijnlijke verklaring ligt wel daarin, dat de Egyptenaren hem zo noemden, omdat hij op het enige voor hen belangrijke ogenblik, als hij juist in ochtendopkomst even aan de horizon verscheen, door de lange dampkringsweg inderdaad rossig gekleurd was. En bij de Romeinse schrijvers was het veelal niet de fysieke kleur maar de astrologische betekenis, die de betiteling van een ster bepaalde.

Op de stercatalogus laat PTOLEMAEUS een beschrijving van de melkweg volgen, die in alle volgende eeuwen, tot de negentiende toe, niet herhaald of verbeterd is; eerst sinds de tweede helft van die eeuw is hij door nauwkeuriger onderzoekingen overtroffen. En dan wijdt hij een hoofdstuk aan een voorschrift voor de vervaardiging van een hemelglobe; „voor de achtergrond „kiezen wij een iets donkerder tint, zoals met het donker van de nachthemel „overeenstemt”; daarop worden de sterren naar lengte en breedte door een stip ingetekend: „ten slotte zetten wij voor de gele en anders gekleurde „sterren hun bijzondere kleur in zulk een mate op, als in goede verhouding „staat tot de geschatte grootte van de ster”. De figuren der sterrebeelden wil hij in slechts flauw zichtbare lijnen aangeduid zien, niet door opvallende bonte kleuren; ook wordt de melkweg met zijn helderder en ijlere plekken aangegeven. Zodat deze hemelglobe van PTOLEMAEUS in mooie juistheid van weergave van de hemel zeker de meeste latere heeft overtroffen. Hij gebruikt die dan voor het weergeven en aflezen van verschillende verschijnselen, met name van de op- en ondergangen der sterren.

Dan wordt het laatste gedeelte, nagenoeg de helft, maar dan de belangrijkste helft van PTOLEMAEUS' grote werk ingenomen door de planeten, waarvan de banen volgens de epicykeltheorie in het vorige hoofdstuk reeds zijn besproken. Voor alle bewegingen, in de leidcirkels en op de epicykels, worden tafels gegeven, waarmee de plaatsen der planeten snel zijn te vinden. Daarbij voegt zich dan een behandeling van de breedten der planeten door middel van de hellingen der banen, eveneens samengevat in tafels. Ten slotte worden dan de vraagstukken van de opvallende verschijnselen in het oog gevat, waarmee de planetenleer begon en die uit Babylon werden overgenomen, de stilstanden, de grootste elongaties en de heliakische op- en ondergangen. De uitgewerkte en alle onregelmatigheden weergevende theorie kan deze nu ook in alle detail oplossen; hier is de Griekse theorie boven de Chaldeeuwse getallenreeksen uitgegroeid. Tafels worden gegeven voor de stilstanden in verschillende punten van de baan, voor de grootste elongaties, 's morgens en 's avonds, van Venus en Mercurius, geldig voor het beginpunt van elk der dierenriemstekens; en voor de elongaties van alle vijf planeten bij heliakische op- en ondergang, eveneens afzonderlijk en verschillend voor het beginpunt van elk der twaalf tekens.

Zo staat in dit grote handboek van de sterrekunde der Oudheid, de „Wis-

kundige Samenstelling” de wereld der hemellichamen vóór ons als een meetkundig beeld van het heelal. Het is een beeld vol van eenvoudige harmonie, van eeuwig voortlopende cirkelbewegingen volgens vaste wetten, een „kosmos”, d.i. een sieraad. Dit wordt gedemonstreerd in strak voortlopende afleidingen, waarbij geen hinderlijke onregelmatigheden optreden. Uit de gegevens worden zodanige uitgezocht, of binnen toelaatbare grenzen gefatsoeneerd, dat de afleidingen precies kloppen en geen toch bijkomstige afwijkingen de lezer verontrusten of doen twifelen, en de harmonie verstoren. Ook het boek, het werk van de samensteller, moet voldoen aan de eis van volmaakte vorm en afwerking. Geestelijk werk stond in die tijden niet zo ver van handwerk af; zoals de ambachtsman uit het voorwerp, dat hij maakte, elke ruwheid of onregelmatigheid zorgvuldig verwijderde, opdat niets het oog in de bekoring van de zuivere vorm zou storen, zo was het ook met het geestelijk werkstuk, dat oog en geest bekoorde door zijn zuivere weergave van het heelal in een wiskundige afbeelding.

In het geheel van het menselijk weten nam in de Oudheid de meetkunde als enige tegelijk abstracte en exacte wetenschap een hoge plaats in. In haar streng logische opbouw van stellingen op stellingen en axioma's was zij een wonderwerk van de menselijke geest, een monument van abstracte waarheden, buiten de stoffelijke wereld staande, en ondanks de aanschouwelijkheid geheel geest. Want het beetje nuttige practijk, waaruit haar begin was opgegroeid, van Egyptisch landmeten, was naast het grote theoretische bouwwerk van EUKLIDES nauwelijks van belang. Wel was er de „sphaerica”, de leer van de bol en de cirkels daarop, die voor de verschijnselen van de wentelende hemelbol, voor opkomst en ondergang van de sterren nodig was, en als praktische wiskunde toen en later een belangrijke plaats innam. Maar deze leer van de bol was maar een speciaal onderdeel van de meetkunde. De gehele leer van de driehoeken en cirkels, met al hun relaties en eigenschappen van lijnen en hoeken, was enkel een theoretische leer, om haarzelfs wil, om haar innerlijke schoonheid beoefend.

Maar nu kwam de leer van de planetenbeweging, het werk van PTOLEMAEUS, als een praktische belichaming van de theorie. Wat anders slechts een systeem van gedachte waarheden in de voorstelling was: hier, in de bouw van het wereldgeheel, werd het tot werkelijkheid. Hier kreeg het bepaaldheid en vorm, getal en maat. In de planetenwereld bewogen de cirkels, groeiden en krompen de afstanden, strekten zich de hoeken en vervormden zich de driehoeken in eindeloos statige voortgang. Noemt men de sterrekunde de oudste, inderdaad in de Oudheid de enige wetenschap, dan moet er bijgevoegd worden, dat ze hier in Griekenland was gematerialiseerde meetkunde. En wel het enige gebied waar de meetkunde zich kon materialiseren. Terwijl anders de practijk van de beoefenaren van meetkunde zich moest bepalen tot het ijdel werken met gefantaseerde figuren, vonden ze hier een gebied, het enige en tegelijk het meest grootse, waar hun figuren werkelijkheid waren, waar ze bepaalde vorm en grootte hadden, waar ze leefden als reële dingen, waar ze wat betekenden, de banen van de goddelijke gesternten. Zo was de „Mathematikè Suntaxis” een feest van meetkunde, een celebratie van het diepzinnigst product van de menselijke geest in een weergave van het heelal. Is het wonder, dat PTOLEMAEUS in een aan het werk voorafgaand vier-regelig motto zegt, dat hij, als hij de banen der sterren bestudeert, zich voelt als gezeten aan de tafel van Zeus en gelaafd met hemelse ambrosia?

Hiermee was echter zijn taak niet afgelopen. Opstaande van de tafel van Zeus had hij eerst nog binnen te treden in de raadzaal der Goden om te vernemen, hoe zij hun raadsbesluiten aan de stervelingen kenbaar maken. Het was niet de ongeïnteresseerde wetgierigheid naar de bewegingen der hemellichamen, die hem evenals voorgangers en tijdgenoten dreef. De kennis van deze bewegingen was middel tot een hoger doel, tot de practisch noodzakelijke kennis van het gebeuren op aarde, van mensleven en mensenlot. Dus volgden op deze dertien boeken nog vier verdere boeken, die, hoewel ze ook tot de „Mathematische Samenstelling” behoorden — de astrologen werden ook veelal mathematici genoemd — later meestal afzonderlijk, onder de naam „Tetrabiblos” werden uitgegeven. Men heeft in moderne tijden wel getracht de grote astronoom te bevrijden van de blaam, dat hij aan astrologie geloofde, en daartoe de echtheid van de Tetrabiblos willen betwijfelen. Maar ook in het zuiver sterrekundig werk kan men een uitspraak in die zin vinden: waar hij, namelijk, aan het slot van het achtste boek, bij de heliakische op- en ondergangen opmerkt, dat de invloeden op het weer, die daarvan uitgaan, niet onveranderlijk zijn, maar ook van de opposities tot de zon en de standen van de maan afhangen.

In de vier boeken echter geeft PTOLEMAEUS een algemene theorie van de invloed van de gesternten op de aardse gebeurtenissen en de mens. Hij zegt daar: „Wij hebben hier dadelijk een stelling, die volkomen evident is en „geen lang betoog nodig heeft: een kracht, die van de eeuwige wereld van „de aether uitgaat, plant zich voort naar alles, wat de aarde omgeeft en aan „onophoudelijke veranderingen onderworpen is. De eerste elementen, die „beneden de maan liggen, het vuur en de lucht, worden door de beweging van „de hen omgevende aether uit hun evenwicht gebracht; en zij slepen in hun „onrust alle lichamen mee, die zich lager bevinden, de aarde, het water, en „alle planten en dieren die daaruit geboren worden. De zon, die met de „hemel al het aardse omgeeft, legt inderdaad aan al deze dingen een vaste „duurzame orde op. . . . De maan, die het dichtst bij de aarde staat, beïnvloedt al het aardse op duidelijke manier; de meeste bezielde en onbezielde „wezens gaan met haar in haar veranderingen mee: de rivieren wassen en „nemen af met het licht van de maan; al naar zij opstijgt of ondergaat, „worden de zeeën door tegengestelde stromen meegesleept; en de planten en „dieren voelen, in hun geheel of in sommige delen, de werking van het „wassen en afnemen van de maan mee. Dan is nog de loop der sterren een „voorteken voor talrijke verschijnselen in de lucht, zoals hitte, koude, en „wind. Ook de relatieve standen der sterren zijn de oorzaak van velerlei veranderingen; want door zich te verenigen vermengen de hemellichamen hun „werkingen. Ofschoon de kracht van de zon, volgens het samenstel der „wereld, die der andere sterren overtreft, kunnen deze toch aan wat zij doet, „wat toevoegen of er wat afdoen. De maan geeft ons daarvan in zijn verschillende fases het veelvuldigste en duidelijkste bewijs; voor de andere sterren kunnen wij dat niet zo dikwijls en niet op zo zekere wijze verifiëren”.

Dan volgen in detail vakkundige uiteenzettingen van de invloeden van de onderlinge standen van de bewegelijke hemellichten t.o.v. de dierenriemstekens en tot elkaar: de conjuncties, opposities, trigoon- en kwadratuurstanden; over de vraag van welke van deze standen, en van welke verschillende sterrebeelden en planeten gunstige en ongunstige werkingen uitgaan; en hoe het

leven van de mens door de stand van de sterren bij zijn geboorte met de sterrenwereld verbonden is. Door aanwijzingen, hoe dit alles uit de astronomisch berekende standen der hemellichamen is af te leiden, is eerst het doel van de wetenschap voltooid.

Zo staat het werk van PTOLEMAEUS als een groots monument van wetenschap der Oudheid vóór ons. Toen hij leefde, onder de keizers HADRIANUS en ANTONINUS, en zijn werk voltooide, heerste ongestoorde vrede en welvaart in het Romeinse wereldrijk. Het leek of ten slotte, na alle vroegere chaotische strijd en verwarring, oorlogen der volken en burgeroorlogen, nu voor de beschaafde, verenigde mensheid een blijvende eindtoestand van zonnige vrede, van harmonische cultuur en rustige verzekerdheid was weggelegd. Maar deze maatschappij was innerlijk voos. Het was slechts de avondzon van de Oudheid, die nog even een schoon schijnsel wierp op een afgeleefde wereld. Weldra, in het laatste deel van de tweede eeuw, braken de stormen los, die in een enkele eeuw de kracht van het wereldrijk zouden ondermijnen, en na nog een eeuw de grondslagen van de antieke wereld en haar cultuur vernietigden.

Het complex van oorzaken van deze ondergang kan hier niet uiteengezet worden; over de onderlinge samenhang der verschillende verschijnselen en aspecten bestaat ook nog veel strijd der meningen. Daar was in de eerste plaats de arbeidsvorm der slavernij, die als een kanker de gehele Oudheid vergiftigde, en bij het ophouden van de slaventoevoer door veroveringsoorlogen, een primitieve lijfeigenschap deed ontstaan. Als tweede oorzaak wordt het verdwijnen van edelmetaal-munt door de uitputting van de Spaanse zilvermijnen genoemd, met als gevolg verlamming van handel en warenproductie, en teruggang tot primitieve landbouw voor eigen gebruik. Daar kwam de verzwakking van de financiële kracht van het rijk bij. En niet te vergeten de zware pestepidemie in het jaar 188 n. C. en daarna, met in Rome alleen 2000 doden per dag, waardoor de militaire macht van het rijk geknakt werd. Nu konden de van buiten opdringende barbaren na vernielende strooptochten zich in de ontvolkte streken neerzetten; ook wordt de uitroeiing van de adel en de goeude burgerij der steden door de boerenlegers en hun soldatenkeizers vermeld. Dan volgt tenslotte na een eeuw van steeds verdergaande inzinking de instelling van een despotische ambtenarenstaat, als tijdelijk redmiddel, totdat de Germaanse benden en volken het Westen geheel veroverden.

In deze chaos van verwoesting en hopeloze ondergang van de oude maatschappij ging ook de cultuur van de Oudheid te gronde. In de volksmassa's, zonder hoop of toekomst, groeide een nieuwe levensopvatting, die zich afwende van de werkelijke wereld, en, terwijl ze trachtte deze door een practijk van naastenliefde en hulpbetoon dragelijk te maken, troost en toevlucht zocht in de gedachte van een beter leven hiernamaals. Het Christendom verdrong steeds meer de oude godsdiensten en nam de strijd tegen de filosofische stelsels van de Oudheid op; het trad ten slotte zegevierend als staatsgodsdienst op en verving bij het verdwijnen van de oude staatsmacht deze grotendeels als sociale en geestelijke organisatie van de maatschappij.

In deze nieuw opgroeiende wereldbeschouwing, die voor de wijzen verborgen was, maar aan de eenvoudigen geopenbaard, was geen plaats meer voor

de verst ontwikkelde wetenschap van de Oudheid. Haar kosmologisch wereldbeeld werd vervangen door de oorspronkelijke in de Bijbelboeken neergelegde leer van de vlakke aarde, die trouwens paste bij de nu weer primitieve productievorm, de landbouw voor eigen gebruik en voor cijns en tiende. Terwijl de Christelijke schrijvers in de tweede en derde eeuw nog goed beslagen optreden in hun polemieken tegen de Heidense filosofen, worden de sterrekundige opvattingen van de kerkvaders in de volgende eeuwen primitiever. LACTANTIUS maakt de leer van de bolvormige aarde belachelijk, en COSMAS-de-Indiëvaarder beschrijft een vierkante vlakke aarde naar de dichtelijke ontboezeming in het boek Prediker.

Van een vooruitgang van de sterrekunde na PTOLEMAEUS is dus geen sprake meer. Wat nog aan sterrekundige geschriften verschijnt, zijn samenvattingen en commentaren, nadere uitleggingen van de klassieke werken, dus nu ook van PTOLEMAEUS. Voor ons zijn ze van belang, omdat zij vaak details geven volgens werken, die later verloren zijn gegaan. Deze commentatoren zijn geleerden, geen onderzoekers, en worden dan door tijdgenoten en lateren geroemd, niet voor wat ze deden, maar voor wat ze wisten. Onder hen is PROCLUS, bijgenaamd Diadochus, de opvolger, te noemen, die in de 5de eeuw n. C. als laatste der Heidense filosofen in Athene werkte en leeraarde, en een nuttige commentaar op PTOLEMAEUS schreef. In dezelfde tijd leefde SIMPLICIUS, beroemd als commentator van ARISTOTELES, die, vervolgd en uitgedreven door de fanatieke kerk van het Byzantijnse rijk, een toevlucht in Perzië zocht. Hij vermeldt, dat zijn leermeester AMMONIUS in Alexandrië met een astrolabium waarnemingen van Arcturus heeft verricht. In deze en andere commentaren werden het steeds meer de eenvoudigste beginselen, die het hoofdonderwerp vormden; de bij PTOLEMAEUS bereikte grote hoogte der wetenschap ging verloren. Het sterrekundig gedeelte van de werken van de om zijn kennis hogelijk geprezen ISODORUS, aartsbisschop van Sevilla in de zesde eeuw, waarin hij de sterren hun licht van de zon laat krijgen, de maan in 8 jaar, Mercurius in 20, de zon in 19, en Mars of de avondster in 15 jaar laat rondlopen, toont tot welk een diep peil de astronomische wetenschap in West-Europa was gedaald. De duisternis van de Middeleeuwen viel in.

## IV. DE MIDDELEEUWEN

### 15. DE ARABISCHE STERREKUNDE

In het midden van de zevende eeuw n. C. braken de Arabieren los uit hun woestijnland en overstroonden de omliggende cultuurlanden, zowel Egypte en Syrië, toen deel van het Oostromeinse rijk, als Mesopotamië, toen de welvarende kern van het Nieuw-Perzische rijk. Het was een herhaling van wat ook in oudere tijden reeds was gebeurd: de Semitische verovering van Babylonië omstreeks 2000 v. C., en de latere Aramaëische invasie van Syrië. In het milieu van de hoogst ontwikkelde handels- en bedrijfscentra in Hedsjas, onder de invloed van de Joodse en de Christelijke godsdienst, had MOHAMMED zijn leer opgebouwd en gepropageerd, die de steeds verdeelde en onderling strijdende stammen tot een machtige eenheid zou samenbinden, de leer van de broederschap aller gelovigen, de Islam, waarvoor alle oude banden van familie- en stamverwantschap hebben te wijken. De Arabieren, een volk van krachtige, geharde persoonlijkheden, kamelenhoedende nomaden en dappere rovers vol verbeeldingskracht, met hoog ontwikkelde taal en poëzie, traden nu op als heersers in Voor-Azië, en brachten met hun frisse barbaarse kracht en de felle nieuwe ideologie van de Islam alle economische en geestelijke elementen van deze wereld tot nieuwe ontwikkeling en hoge bloei. Door hun veroveringen, die zich in het Westen tot Marokko en Spanje uitstrekten, in het Oosten tot in Voor-Indië en de steppen van Midden-Azië, schiepen zij een wereldrijk, waarbinnen als samenhangende eenheid handel en verkeer zich krachtig ontplooiden en de verst uiteenliggende wereldstreken met elkaar verbonden. En ook nadat het later in afzonderlijke sultanaten uiteenviel, bleef door de godsdienstgemeenschap dit gehele gebied een cultuureenheid. Overal, maar het meest in de vruchtbare centra, Egypte, Syrië, en vooral Mesopotamië, ontwikkelde zich kunstzinnig handwerk in tal van nieuwe steden; met de handel, die de producten van China en Indië naar het Westen, van Byzantium en Europa naar het Oosten bracht, kwam ook een uitwisseling van cultuur en wetenschap. Machtige heersers, eerst de Chalifen in Bagdad, later de sultans van de afzonderlijke landen als Egypte, en nog later nieuwe Turkse en Mongoolse veroveraars van uit Midden-Azië, werden tot bevorderaars en beschermers van kunsten en wetenschappen.

Wat voor zulke met bekwaamheid en doorzicht begaafde vorsten een onmiddellijke aanleiding voor deze belangstelling schiep, was de zorg voor eigen welzijn en toekomst. Geneeskunde en sterrekunde waren de vakken,