

## VI. TWEE EEUWEN VAN OPBOUW

## 24. WERKTUIGKUNDE EN FILOSOFIE

De stormen van de zestiende eeuw hadden grotendeels uitgewoed, en een nieuwe maatschappelijke ordening was er uit opgegroeid. De macht van het stedelijk handwerk was achteruitgegaan; buiten de oude stadjes met hun gildewezen, vrij van hun dwang, kwamen manufacturen als nieuwe industriële vormen op; en naast de oude bloeide in nieuwe centra de handel met de verre werelddelen tot een grote maatschappelijke macht op.

Politiek beantwoordde hieraan de vestiging van absoluut vorstengezag over de grotere landen, waarbij zowel stedelijk particularisme als provinciale adeltwisten onder de macht van de centrale regering bedwongen waren. Vooraan in de nieuwe ontwikkeling stonden Frankrijk, Nederland en Engeland. Frankrijk, weldra het volkrijkste, welvarendste en machtigste land in Europa, bracht het absolute koningschap tot zijn grootste schittering onder LODEWIJK XIV. Nederland, onder de heerschappij van een krachtig kooplieden-patriciaat, was tijdelijk machtig door enorme handelswinsten; en van deze economische bloei gingen sterke geestelijke impulsen uit. In Engeland, opkomend land van kooplieden en burgers, moest in de zeventiende eeuw eerst nog in een burgeroorlog de omhoogstrevende koningsmacht door parlementsrecht verslagen en vervangen worden, voor het zich ten volle kon ontplooien. Duitsland daarentegen, evenals Italië afgesneden van de nieuwe wereldhandel, had geen deel aan deze opbloei en, uitgeplunderd en onder de voet gelopen door zijn naburen, werd het enige eeuwen teruggeworpen in ontwikkeling.

Nu begint de natuurwetenschap bewuster als middel tot verbetering van het leven en verhoging van de welvaart der mensen op te treden. Duidelijk hoort men het in de woorden „... dat Wij met vrucht de vooruitgang van „de natuurlijke experimentele filosofie bevorderen, vooral van die gedeelten, „die de toename van handel en bedrijf betreffen, door de toevoeging van „nuttige uitvindingen strekkende tot het gemak, het voordeel, of de gezondheid van Onze onderdanen...”, die CHRISTOPHER WREN, Londens beroemde bouwmeester, in een ontwerp voor het Statuu' van de Royal Society koning KAREL II laat zeggen. Ervaring en proefneming worden tot grondslag van de wetenschap, waarbij toepassing op techniek en arbeidsmethoden dadelijk inbegrepen is. De geleerden van de 17de eeuw houden zich sterk met werktuigen en werktuigkunde bezig; ze zijn handige praktische werkers,

ze zijn constructeurs en uitvinders. Of eigenlijk drukt men het nog juister aldus uit: tal van personen, vervuld van weetgierigheid omtrent de dingen om hen heen — meest welgestelde burgers of edellieden, daarnaast ook professoren of ambtenaren in dienst der vorsten, soms ook ambachtlieden — deden proeven met eigengemaakte toestellen, ontwierpen en construeerden werktuigen, en deden daarbij ontdekkingen; en zij zijn het, die in latere eeuwen in de geschiedenis der wetenschap als de geleerden van deze tijd vermeld worden, terwijl het merendeel van hen, die toen de geleerden heetten en van hun katheders de oude leringen doceerden, nu vergeten is. In het begin van deze eeuw treffen wij CORNELIS DREBBEL aan als uitvinder van Europese naam, vervaardiger van vele wonderbare instrumenten, die in een duikboot uren onder de Theems dook, waarvoor hij zuurstof uit salpeter bereidde, en die zijn chemische vondsten in een nieuwe profitabele techniek van lakenverven toepaste. CHRISTIAAN HUYGENS, reeds in zijn jeugd met een sterk, door zijn omgeving aangemoedigd talent voor werktuig-behandeling begaafd, heeft zich met zijn oudere broeder CONSTANTIJN vele jaren bezig gehouden met het slijpen van lenzen voor verrekijkers. NEWTON, van huis uit knutselaar, die reeds in zijn schooljaren praktische toestellen voor huisgebruik bedacht en maakte, heeft later, toen de vaklui hem niet konden voldoen, met groot geduld een goede holle metaalspiegel voor een telescoop geslepen. LEEUWENHOEK ontdekte met door hemzelf geslepen kleine lensjes zijn microscopische kleine diertjes. CHRISTIAAN HUYGENS noemt in een ontwerp-programma voor de taken van de pas opgerichte Parijse Academie als een der punten: onderzoek van de bewegende kracht van buskruit en van stoom voor toepassing in machines. De 17de eeuw was de eeuw van de mechanica, van de leer van de bewegingen en krachten, zoals in zekere zin de 16de die van de sterrekunde, de 18de eeuw die van de warmteleer, de 19de die van de electriciteit kan genoemd worden: in deze zin dat in die eeuw dit vak van uit empirisch tastend begin tot wetenschap omhoog groeide.

Nieuwe wijsgerige beginselen komen nu op tegenover de overgeleverde leer van ARISTOTELES. Twee namen treden daarbij naar voren als de verkondigers van de nieuwe methoden der wetenschap, BACON en DESCARTES. FRANCIS BACON (BACO VERULAMIUS) formuleert met grote beslistheid in 1620 experiment en onderzoek als het nieuwe principe der filosofie; natuuronderzoek heet sindsdien in Engeland steeds „experimental philosophy”, proefondervindelijke wijsbegeerte. Zij is natuurlijk niet door hem uitgevonden of tot heerschappij gebracht; vele anderen, KEPLER, STEVIN, GILBERT hadden ze reeds lang toegepast, en hij staat in wetenschappelijk inzicht doorgaans ver bij hen achter. Maar doordat hij het beginsel scherp formuleerde, heeft men het in Engeland daarna steeds met zijn naam verbonden. In zijn utopie „*Nova Atlantis*” schetst hij een ideaalstaat, waar een leidende gemeenschap van geleerden, onderzoekers, reizigers, practici, samen leeft, werkt in laboratorium en tuin, discussieert en filosofeert, proeven neemt en uitvindt, allen vervuld van de geest van onderzoek, om de waarheid van de natuur te vinden en dienstbaar te maken aan een gelukkiger leven. In elk utopisch geschrift uit die tijd over een ideaalstaat, zoals ook b.v. in de „Zonnestaat” van de begaafde opstandige monnik THOMAS CAMPANELLA, wordt naar voren gebracht, dat arbeid en bedrijf op grondige natuurstudie moet berusten.

RENÉ DESCARTES stelt in zijn werken 1637—1644 de twijfel der critiek

tegenover de heersende leer van het geloof in de overgeleverde autoriteit; alleen op het eigen denkvermogen kan men vertrouwen. Tegenover de geestelijke slavernij van het autoriteitsgeloof (nog altijd heerste ARISTOTELES op de katheders) verkondigt hij de geestelijke vrijheid van zelf denken. Hier wordt een beginsel naar voren gebracht tegengesteld aan dat van BACON: niet het experiment maar het denken is de bron van de waarheid. Alle waarheid moet uit een enkel principe met noodzakelijkheid volgen; zuivere redenering alleen is de bron van zekerheid: „wij willen de gevolgen uit de oorzaken, en „niet omgekeerd de oorzaken uit de gevolgen afleiden”.

Deze grondgedachte werd verwerkt in zijn nieuwe wereldleer, die in de plaats van de wereldbouw van ARISTOTELES met zijn abstracte begripsfilosofie een begrijpelijk werktuigelijk beeld van het heelal opstelde. Volgens deze theorie is het heelal gevuld met een ijle vloeistof, die zich in wervels („tourbillons”), d.w.z. in een kringbeweging om de zon draait, en natuurlijk op dezelfde wijze, in die verder afgelegene streken, om de sterren. Deze draaiende beweging sleept de planeten mee in hun banen om de zon; en evenzo bewerken kleinere wervelingen om de aarde en om Jupiter de omloop van de manen. Voor de kometen bleef dan de wijde ruimte buiten de Saturnusbaan over, waar zij tussen de verschillende sterrenwervels, nu eens naderend, dan weer zich verwijderend, heen en weer zwerven. Om niet het gevaar te lopen in zijn rustige wetenschappelijke studiën door de Kerk gestoord te worden — het was juist de tijd van het proces van GALILEÏ — voegde hij er deze kunstige uitleg bij, dat de aarde voortgedragen door de stromende vloeistof, toch in rust was t.o.v. haar onmiddellijke omgeving, evenals een drijvend schip wel door de zeestromingen verplaatst wordt, maar t.o.v. het water in rust moet genoemd worden.

Deze theorie, omdat zij alle verschijnselen door het denkvermogen uit primaire oorzaken wilde afleiden, was natuurlijk vol fantastische verklaringen en door de latere wetenschap weerlegde uitspraken. „BACON”, zei naderhand de geschiedschrijver der sterrekunde BAILLY, „had de grotere wijsheid, zijn leer is gebleven; DESCARTES had de grotere stoutmoedigheid; „maar deze stoutmoedigheid heeft aan de menselijke geest grote diensten „bewezen, al zijn zijn theorieën ondergegaan”. In hun tegenstelling ligt als grondslag ook een tegenstelling in opvattingen, in algemene aard en levenshouding tussen de beide volken. In Engeland had de burgerij reeds van uit de Middeleeuwen een grote persoonlijke vrijheid en zelfstandigheid meegebracht, zeker wel mede door de natuurlijke veiligheid als eiland; het eigen initiatief werd door geen verbod of hindernis vanwege een regerende macht belemmerd, dus werd handelen, zelfdoen, proberen, experiment, zowel in natuurstudie als in handel en bedrijf, de vanzelfsprekende methode. Op het vasteland waren de mensen veel meer gebonden, gedrukt en belemmerd door oud of nieuw gezag of voorschrift; daar moesten nieuwe gedachten, omdat praktisch handelen, door tal van afhankelijkheden geremd, op hindernis stuitte, zich in eigen veld ontwikkelen en door consequent voortdenken uitgroeien tot volledige theoretische systemen. Zo werd Engeland filosofisch het land van het empirisme, Frankrijk met het overige vasteland het land van het rationalisme.

Op de katheders der universiteiten, met hun behoefte aan afgeronde stelsels, begon nu DESCARTES gaandeweg ARISTOTELES te verdringen. Met het einde

van de 17de en het begin van de 18de eeuw waren de wervelkringen ook in alle natuurkundige leerboeken doorgedrongen, terwijl ARISTOTELES nog tot ver in de 18de eeuw in de Jezuietenscholen der Zuidelijke landen zijn plaats handhaafde. Als sterrekundige theorie stond echter de leer van DESCARTES achter bij wat de wetenschap reeds bereikt had; voor de wetten van KEPLER was er noch plaats, noch enige verklaring in de wervelingen der wereldmaterie te vinden. Wij hebben trouwens reeds vermeld, dat ook GALILEÏ in zijn *Discorsi* geheel onkundig van KEPLER's werk was, en de planetenbanen als cirkels beschreef. Alleen de jonge op 22-jarige leeftijd overleden Engelse geestelijke JEREMIAH HORROX, die eerst LANSBERGEN had bestudeerd en daarna een vurig vereerder van KEPLER werd, kende diens werk grondig; hij verklaarde het eerst de grootste ongelijkheid in de beweging van de maan als een ellipsvorm van de maanbaan. KEPLER's Rudolfijnse tafels werden algemeen gebruikt; maar nog aan het eind van de 17de eeuw trachtten CASSINI en LA HIRE voor de onregelmatigheid in de planetenbeweging andere verklaringen op te stellen.

Dit kan echter niet verwonderen, als men bedenkt, dat ook de heliocentrische gedachte van COPERNICUS nog steeds moeite had om door te dringen. Wel vielen de fysische bezwaren, vooral na publicatie van GALILEÏ's laatste werk, de „gesprekken over twee nieuwe wetenschappen, de mechanica en de bewegingen”, meer en meer weg. GASSENDI, die de atomistische filosofie van de oude wijsgeer EPIKURUS weer tot leven bracht, toonde door proeven in 1640 het behoud van eenparige beweging aan — b.v. doordat in snelle rit opgeworpen ballen in de hand van de ruiters terugvielen. Daarentegen woog het theologisch bezwaar nu zwaarder, doordat in de katholieke landen de schrijvers over sterrekunde moesten vermijden met de Kerk in conflict te komen. De geleerdste en bekendste onder de tegenstanders was J. B. RICCIOLI, professor aan het Jezuietencollege te Bologna. In zijn „*Almagestum Novum*” (1651) — de naam duidt reeds een gemoderniseerde PTOLEMAEUS aan —, een omvangrijk verzamelwerk van gegevens en meningen, somt hij 49 bewijzen vóór het stelsel van COPERNICUS op, en 77 er tegen; dus was de beweging van de aarde door de meerderheid van stemmen weerlegd. Zulke slim-voorzichtige redeneringen hebben echter de voortgang van de wetenschap niet kunnen tegenhouden. Hoe in de achttiende eeuw de heliocentrische opvatting steeds meer ook in de lekenwereld doordrong, kan men in LANGENDIJK's toneelspel „De Wiskunstenaars” lezen.

In de zeventiende eeuw begint nu ook een zekere organisatie van de wetenschap op te treden. Het zijn niet meer enkelingen, die door bijzondere kennis en singuliere voorliefde voor kennis en natuurstudie tussen hun tijdgenoten uitsteken. Nu groeit in een talrijke klasse van ontwikkelde en welgestelde burgers de belangstelling in de omgevende wereld, de nieuwsgierigheid en de lust tot weten op, die zij voelen als heilzaam voor hun maatschappij. Zij zoeken en vinden elkaar; in hun uitgebreide briefwisseling vindt men de kiemen van nieuwe inzichten en ontdekkingen. Mettertijd verenigen zij zich in regelmatige samenkomsten; en wanneer zij dan van de vorsten steun en protectie krijgen en een officiële erkenning, groeien daaruit de „Academies”; enigszins naar de aard van wat BACON in zijn Nieuw-Atlantis had beschreven, zij het ook met veel minder macht en leidende invloed. Zo was er in Engeland in 1645 een eerste organisatie ontstaan, eerst nog in stilte bijeenkomend,

omdat zij als merendeels royalisten geen sympathie van het Puriteins bewind verwachtten; later, in 1662, werd zij door een koninklijk charter tot „*Royal Society*”. In de bijeenkomsten vonden voordrachten en mededelingen plaats over nieuwe ontdekkingen en inzichten, brieven van andere geleerden werden voorgelezen, en er werden proeven gedaan. Vele jaren lang was ROBERT HOOKE, een uiterst scherpzinnig en veelzijdig onderzoeker, aangesteld op een klein salarisje om op elke vergadering een nieuwe interessante proef te ver-tonen. Lange jaren fungeerde de secretaris OLDENBURG, uit Bremen afkomstig, door zijn uitgebreide correspondentie met vele Europese geleerden als een soort wetenschapscentrale. En vanaf 1666 werden voor de bekendmaking van dit alles de „*Philosophical Transactions*” uitgegeven, dat in alle verdere eeuwen een belangrijk tijdschrift van wetenschap gebleven is.

In Frankrijk waren op dezelfde wijze natuuronderzoekers reeds met elkaar in regelmatige samenkomsten in contact getreden, vóórdat Minister COLBERT hun als „*Académie des Sciences*”, in 1666, een officiële plaats gaf. Er was een, voor de verhoudingen in beide landen typisch verschil tussen de beide Academies, dat door VOLTAIRE in de volgende eeuw in een scherp licht gesteld werd: in Engeland waren de leden onafhankelijke mannen, die zelf alles moesten betalen wat ze aan natuuronderzoek deden, terwijl in Frankrijk de Académiciens salaris, z.g. pensions, van de koning kregen. Koning LODEWIJK XIV voelde zich als de grote Europese koning, die zijn roem en invloed ver buiten zijn eigen land deed gelden; hij gaf „pensions” aan tal van buitenlandse geleerden, en trachtte de besten van hen ter verhoging van de glans van zijn bewind naar Parijs te trekken. Zo werd CHRISTIAAN HUYGENS als een der leidende krachten van de nieuwe Academie door COLBERT uit Nederland geroepen, en naast de Franse sterrekundigen PICARD en AUZOUT werden OLE RÖMER uit Denemarken en DOMINICO CASSINI uit Italië gehaald, de laatste om als directeur van de nieuw te bouwen sterrewacht op te treden. In de vergaderingen werd gediscussieerd en gezamenlijk geëxperimenteerd; verscheen er een komeet, dan werd deze gezamenlijk waargenomen en werden in voordrachten beschouwingen over de natuur der kometen gegeven. In de verslagen daarvan in het kort te voren opgerichte „*Journal des Savants*” kan men diverse zulke beschouwingen vinden; vaak zijn ze maar zeer primitief, maar nu en dan treden er toch ook belangrijke inzichten naar voren.

Het voorbeeld van deze vooraanstaande landen vond elders navolging. Reeds in 1657 had zich in Florence een klein dozijn natuuronderzoekers verenigd tot een „*Academia del Cimento*”, die in haar bijeenkomsten stelselmatige proefnemingen over een aantal natuurkundige vraagstukken op touw zetten; maar toen haar te verstaan werd gegeven, dat de hoge kerkelijke autoriteiten dit werk ongaarne zagen, moest het tien jaar later gestaakt worden. In het verarmde en versplinterde Duitsland, waar toch getracht werd de glans van het hof van Versailles in het klein na te bootsen, ontstonden met-tertijd genootschappen in verschillende steden. Het belangrijkste was de Academie te Berlijn, maar dit was wel uitsluitend door de persoonlijkheid van haar stichter, de veelzijdige geleerde en filosoof G. W. LEIBNIZ, geniaal wiskundige, die trachtte in dit ontoereikende milieu zijn ideaal van een republiek der geleerden te verwezenlijken; eerst een eeuw later kwam hier een begin van bloei. Ook in het particularistische Nederland begonnen in de

achtttiende eeuw „geleerde genootschappen” in verschillende steden op te komen. In al deze Europese landen werd dit streven gedragen door de groeiende dorst naar wetenschap in de opkomende burgerlijke wereld.

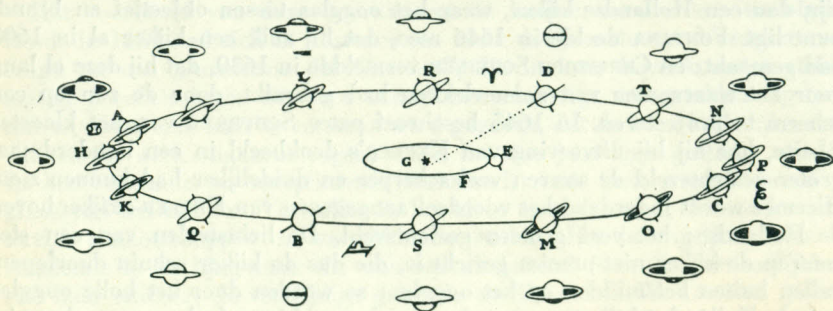
## 25. DE KJKERS

De groei van de sterrekunde in de 17de en 18de eeuw is in de eerste plaats een gevolg geweest van het gebruik van het nieuwe technische hulpmiddel, het instrument, dat de sterrekundigen nu tot hun beschikking hadden gekregen, de telescoop, of verrekijker, zoals ze in Holland genoemd werd. De eerste ontdekking was toevallig, empirisch geweest, een soort wonderding. Het was KEPLER, die het eerst, in 1612, in zijn boekje „*Dioptrische onderzoekingen*” een theorie gaf hoe de lichtstralen door de lenzen liepen en zich tot de vorming van beelden verenigden. Hij behandelde daar allerlei manieren van lenzen achter elkaar te plaatsen tot een optisch stelsel; daaronder kwam niet alleen de door GALILEÏ gebruikte Hollandse vorm voor, een bol objectief met een hol oogglas, maar ook de verbinding van een bol objectief en een kleiner bol oogglas. Deze vorm van kijker is later naar hem genoemd, hoewel hij geen enkele poging heeft gedaan om ze practisch te verwezenlijken.

Voor het practische leven was zulk een kijker niet bruikbaar, daar ze alles omkeerde, dus de mensen onderste boven gezien werden. Zij is in de volgende tientallen van jaren bij de sterrekundigen in gebruik gekomen, misschien door practisch proberen, misschien ook geleid door KEPLER's theorie; men weet het niet. Men weet niet eens met zekerheid, wie als de uitvinder te beschouwen is of wie zulk een instrument het eerst heeft gebruikt; want alle mededelingen daarover zijn uit later tijd afkomstig. Zo legde in 1655 HANS ZACHARIASSEN, de zoon van ZACHARIAS JANSEN, een verklaring af, dat hij met zijn vader samen in 1619 of 1620 een „lange buyse” had gemaakt; omdat het brandpunt tussen objectief en oculair ligt, moet zulk een kijker langer zijn dan een Hollandse kijker, waar het oogglas tussen objectief en brandpunt ligt. FONTANA deelde in 1646 mee, dat hij zulk een kijker al in 1608 had gemaakt; en CHRISTOPH SCHEINER vermeldde in 1630, dat hij deze al lang voor het waarnemen van zonnevlekken had gebruikt, door de zon op een scherm te projecteren. In 1645 beschreef pater SCHYRRLE van het klooster Rheita, hoe hij bij uitvoering van KEPLER's denkbeeld in een honderdmaal groter gezichtsveld de sterren veel scherper en duidelijker had kunnen zien. Hiermee wordt inderdaad het voordeel aangegeven van KEPLER's kijker boven de Hollandse: het veel grotere gezichtsveld. De lichtstralen van een ster waarop de kijker niet precies gericht is, die dus de kijker schuin doorlopen, vallen buiten het midden op het oogglas; ze worden door het holle oogglas van de Hollandse kijker nog verder van het midden afgebogen en dus niet gezien; door een bol oogglas echter worden ze weer naar het midden toegebogen en vallen zo gemakkelijk in de pupil van het oog. Door dit veel grotere

veld waarover de sterren alle duidelijk en scherp worden gezien, heeft KEPLER's vorm van kijker die grotere bruikbaarheid gekregen, waardoor hij voor sterrekundig gebruik de oudere vorm weldra, sinds 1640, geheel verdrongen heeft.

Het was korte tijd daarna, dat de gebroeders HUYGENS zich, als velen in die tijd, bezighielden met het geduldig en zorgvuldig slijpen van betere lenzen, ten einde de hemellichamen met sterker vergrotingen te kunnen bekijken. GALILEÏ was bij zijn kijkers tot een 30-voudige vergroting gegaan, maar daarmee was al een uiterste grens bereikt, daar de beelden bij sterker vergroting zoveel lelijker en onduidelijker werden, dat men er niets mee won. Het bleek al spoedig, dat dat aan de te sterke kromming van de lensoppervlakken lag, waardoor de lichtstralen niet in één punt verenigd worden; het was alleen te verhelpen door lenzen met minder sterk gekromde vlakken, dus met grote brandpuntsafstand, groot relatief t.o.v. de opening, te gebruiken, dus door aan de kijkers een grote lengte te geven. CHRISTIAAN HUYGENS (1629—1695) die zich reeds vroeg als scherpzinnig wiskundige onderscheidde, heeft naderhand theoretisch de beste vorm voor een lens afgeleid, het ene vlak 6 maal minder gekromd dan het andere, waarbij de beeldafwijkingen door de bolvormigheid der vlakken, de „sferische aberratie” zo gering mogelijk waren; maar praktisch gaf dit geen afdoende uitredding. Met zijn broer maakte hij eerst een 12-voets kijker, dus van een lengte 60 maal de opening, die 57mm bedroeg: later meerdere van 23 voet lengte. Met de eerste ontdekte hij in 1655 een sterretje bij Saturnus, dat met de planeet meeliiep, en een maantje bleek te zijn, dat in 16 dagen 4 uren om Saturnus een baan beschreef. Nog meer intrigeerden hem de zonderlinge aanhangsels, die GALILEÏ al had opgemerkt, en als aan Saturnus gehechte kleinere bollen had beschreven; ze waren soms onzichtbaar en veranderden steeds hun aspect. HUYGENS zag ze als hengsels, en daar hij overtuigd was, dat wat zich daar dicht bij Saturnus bevond, moest roteren, en daar het toch steeds hetzelfde aspect bleef vertonen, moest het zich ringvormig om de planeet heen uitstrekken. Het geheel verdwijnen van de ring in 1656 bewees hem dat de ring zeer dun en vlak was. Zo kon hij de oplossing van dit raadsel in zijn in 1659 verschenen „*Systema Saturnium*” geven: „zij wordt door een dunne „platte ring omgeven, die haar nergens aanraakt en schuin op de ecliptica „staat”. En hij voegde er bij: „Ik moet hier nog iets zeggen om het bezwaar „van hen tegemoet te komen, die het uiterst vreemd en mogelijk onredelijk



De wisselende aspecten van de ring van Saturnus  
(naar HUYGENS *Systema Saturnium*).



CHRISTIAAN HUYGENS.

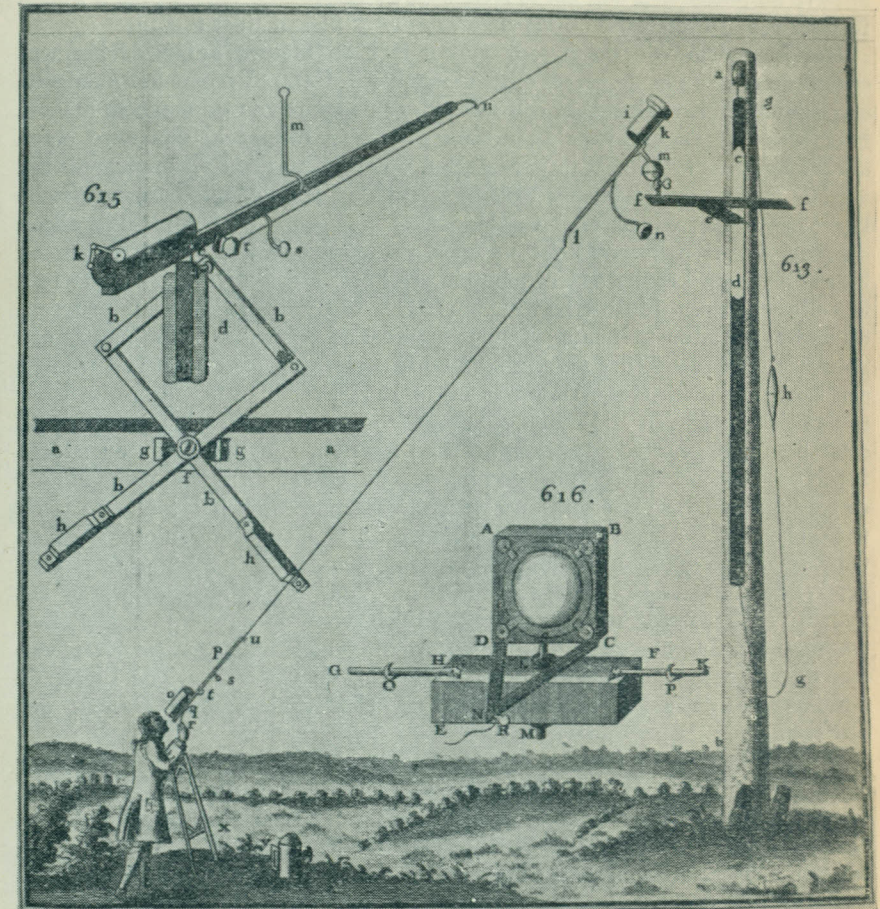
„vinden, dat ik aan een hemellichaam een vorm geef, zoals er tot nog toe „geen gevonden is, hoewel anderzijds het als zeker wordt geacht en door een „natuurwet bepaald, dat alleen de bolvorm voor hem past... Dezulken „moeten bedenken, dat ik deze onderstelling niet uit eigen vinding of fantasie bedacht heb... maar dat ik die ring duidelijk met de ogen zie”.

Deze ontraadseling was niet een eenvoudige ontdekking door waarneming met een goede kijker, maar een werk van nadenken en gevolgtrekken. Want vergeleken met moderne kijkers waren die van HUYGENS nog zeer primitief en slecht. Een modern sterrekundige (NIJLAND te Utrecht) die deze lens van HUYGENS' 12-voets kijker onderzocht, beschrijft het uiterlijk van een daardoor geziene heldere ster als „een vieze vlek met enige blauwgroene stralen daarvan uitgaande”. Een bekwaam Italiaans vakman, CAMPANI, die ook over beter en zuiverder glas, Venetiaans glas, beschikte, maakte heel wat betere lenzen; en door middel van daarmee toegeruste kijkers was CASSINI, nu hofastronoom te Parijs, in staat, in de jaren tussen 1671 en 1684, nog vier kleinere manen van Saturnus te ontdekken. Van groot belang was ook de verbetering van het oogglas. Eerst werd daarvoor een enkel plat-bol lensje gebruikt; daarna construeerde HUYGENS het naar hem genoemde oculair, dat uit twee plat-bolle lenzen bestaat, die op bepaalde theoretisch berekende afstand van elkaar staan; dit is tot in de nieuwste tijden steeds als het beste oculair voor kijkers in gebruik gebleven.

Om bij de wens naar sterker vergrotingen de gebreken van de objectieflens steeds meer onschadelijk te maken, werden steeds langer kijkers met minder gekromde lenzen gemaakt. De gebroeders HUYGENS slepen lenzen met brandpuntsafstand van 45, van 60, van 120 voet en nog meer; en ook CAMPANI leverde soortgelijke van 130 voet aan de sterrekundigen te Parijs. Een zo lange kijkerbuis was niet wel te maken of te hanteren. Om ze te kunnen gebruiken, werd de lens met montuur aan een hoge paal opgehesen, en de waarnemer op de grond bekeek met het oculair het beeld in het brandpunt. Een dergelijke stellage had HUYGENS op zijn buiten Hofwyck bij Den Haag opgesteld en er inderdaad waarnemingen mee verricht. Het is duidelijk hoe moeilijk zulk een toestel te hanteren was, en men verbaast zich over de praktische bekwaamheid, die waarnemingen op die manier nog mogelijk maakte. Later is men van die overmatige lengten toch weer teruggekomen. Vooral toen het door de onderzoekingen van NEWTON gebleken was, dat niet de bolvormigheid der oppervlakken, maar de kleurschifting door het glas de voornaamste bron van onduidelijkheid was; en deze bleef ook bij de grote brandpuntsafstanden bestaan.

Er was natuurlijk met kijkers behalve ontdekken nog velerlei ander werk aan de hemel te doen, door eenvoudig het eerste pionierswerk van GALILEÏ en zijn tijdgenoten voort te zetten. Zo deed FONTANA te Napels van 1630 tot 1646 vele waarnemingen van de planeten en speciaal van de manen van Jupiter. Mettertijd werden nu ook de verduisteringen van deze manen, hun intrede in de schaduw van Jupiter, opgemerkt (door HODIerna in 1652), evenals de overgang van hun schaduwen over de Jupiterschijf. BORELLI gaf in 1665 een op tal van waarnemingen berustende theorie van hun beweging, en nog vollediger geschiedde dit door CASSINI in 1668, die het eerst tafels voor hun beweging samenstelde. Zij berustten natuurlijk hoofdzakelijk op waarnemingen omstreeks de opposities van Jupiter. Bij voortzetting van de

waarnemingen te Parijs bleek toen echter, dat dicht bij de conjuncties de tijdstippen van verduistering bij de 1ste maan niet klopten; ze kwamen meer dan 10 minuten te laat. OLE RÖMER, de Deense astronoom die met PICARD op diens reis naar de ruïnes van Uranienborg in kennis was gekomen en mee naar Parijs was gegaan, heeft daarvoor toen in 1675 een verklaring



De buisloze lange kijker van HUYGENS.

gegeven, en wel door een eindige voortplantingssnelheid van het licht. Naarmate de aarde dichter bij Jupiter staat vertonen zich de verschijnselen in geringer mate verlaat; en hij leidde er uit af, dat het licht 11 minuten nodig had om de afstand aarde-zon te doorlopen.

Meerdere waarnemers ook hebben in de 17de eeuw hun kijkers op de verschillende planeten gericht en daarbij soms iets van vlekken of ook zonderlinge vormen menen te zien. HUYGENS gaf in zijn Saturnusboek een tekening van Jupiter met de duidelijke evenaars-strepen, en een van Mars met enkel een donkere band; uit latere tijd staan in zijn dagboeken schetsjes van Mars, waarin enkele van de thans bekende vlekken te herkennen zijn, en die

dan ook later voor het nauwkeurig vaststellen van de rotatietijd hebben kunnen dienen. Nog meer succes had CASSINI met zijn betere kijkers, die in 1665 uit vlekjes in de evenaars-strepen de snelle aswenteling van Jupiter in slechts 9u 56 m kon vaststellen, en in het volgend jaar de rotatietijd van Mars, 24u 40m, afleidde. Dit alles was wel aan de grens van wat met die vrij primitieve hulpmiddelen nog net te zien was, en vermeende ontdekkingen treden in deze tijden even vaak op als zulke, die later bleken juist te zijn.

Het lonendste voorwerp voor studie met de nieuwe hulpmiddelen was echter de maan. Na de eerste ontdekkingen van GALILEÏ moest het menigeen een aantrekkelijk werk lijken, een afbeelding of kaart van de maan te maken. Hier was een andere wereld, in zekere zin een evenbeeld van onze eigen aarde; maar terwijl de verre werelddelen op aarde zo goed als ontoegankelijk waren, alleen aan de kusten te benaderen, dus een volledige topografische kaart een onbereikbaar doel was, lag deze maanwereld — natuurlijk alleen de naar ons toegekeerde helft — open voor het oog van de astronoom en kon volledig in kaart worden gebracht. Het eerste grote werk op dit terrein is volbracht door JOHANN HEWELKE (1611—1687), in de astronomenwereld onder de verlatijnde naam in zijn publicaties bekend als HEVELIUS, een patriciër te Dantzig, die na zijn studiën in Leiden en elders, op zijn woning een sterrewacht inrichtte. Hier was hij in 1641 begonnen met de maan waar te nemen. Op zijn in 1647 uitgegeven „*Selenographia*”, met een groot aantal door hem zelf gegraveerde tekeningen en kaarten, zijn de bergen en andere formaties naar schatting op het oog ingetekend, en van de namen voorzien, die aan de aardse geografie ontleend waren. Deze namen, behalve enige namen van gebergten (Alpen, Apenijnen, Caucasus), hebben echter moeten wijken voor de namen die in 1651 door RICCIOLI op een door zijn leerling GRIMALDI getekende maankaart aangegeven werden. Voor de ringbergen waren het namen van beroemde wis- en sterrekundigen, voor de donkere „zeeën” fantastische karakternamen; zo betitelen wij nog heden de mooiste en opvallendste ringbergen op de maan als de Tycho, de Copernicus, de Plato, de Aristarchus, en enige grote vlakten als Helderheidszee en Oceaan der Stormen.

De diepere gedachte onder deze studie van de oppervlakken van de maan en de planeten was de overtuiging dat zij in wezen aan de aarde gelijk zijn, dus mogelijk ook door levende wezens bewoond. KEPLER had reeds indertijd een „*Somnium*” geschreven, eerst na zijn dood uitgegeven, een droom van een fantastische tocht naar de maan als romantisch gegeven, om daarop, als een oefening van het vernuft, een wetenschappelijk verantwoorde uiteenzetting over de hemelverschijnselen en de levensomstandigheden op de maan te borduren. Het was een deel van de wereldbeschouwing van de geleerden in de 17de eeuw, dat zij zich zo goed mogelijk voorstellingen vormden over de levensvoorwaarden op de bewoond gedachte planeten. Zo schreef HUYGENS in zijn in 1698 na zijn dood uitgegeven „*Cosmotheoros*”, beschouwingen over toestand en levende wezens op andere werelden: „daar het zeker „is dat de aarde en Jupiter hun water en wolken hebben, is er geen reden, „dat andere planeten ze ook niet hebben”. Grote populariteit verwierven de „Gesprekken over de veelheid der werelden” van FONTENELLE (1686), waarin over het planetenstelsel volgens COPERNICUS, over de bewoners van de maan en de planeten, over de wervelkringen en de kometen gehandeld wordt, alles

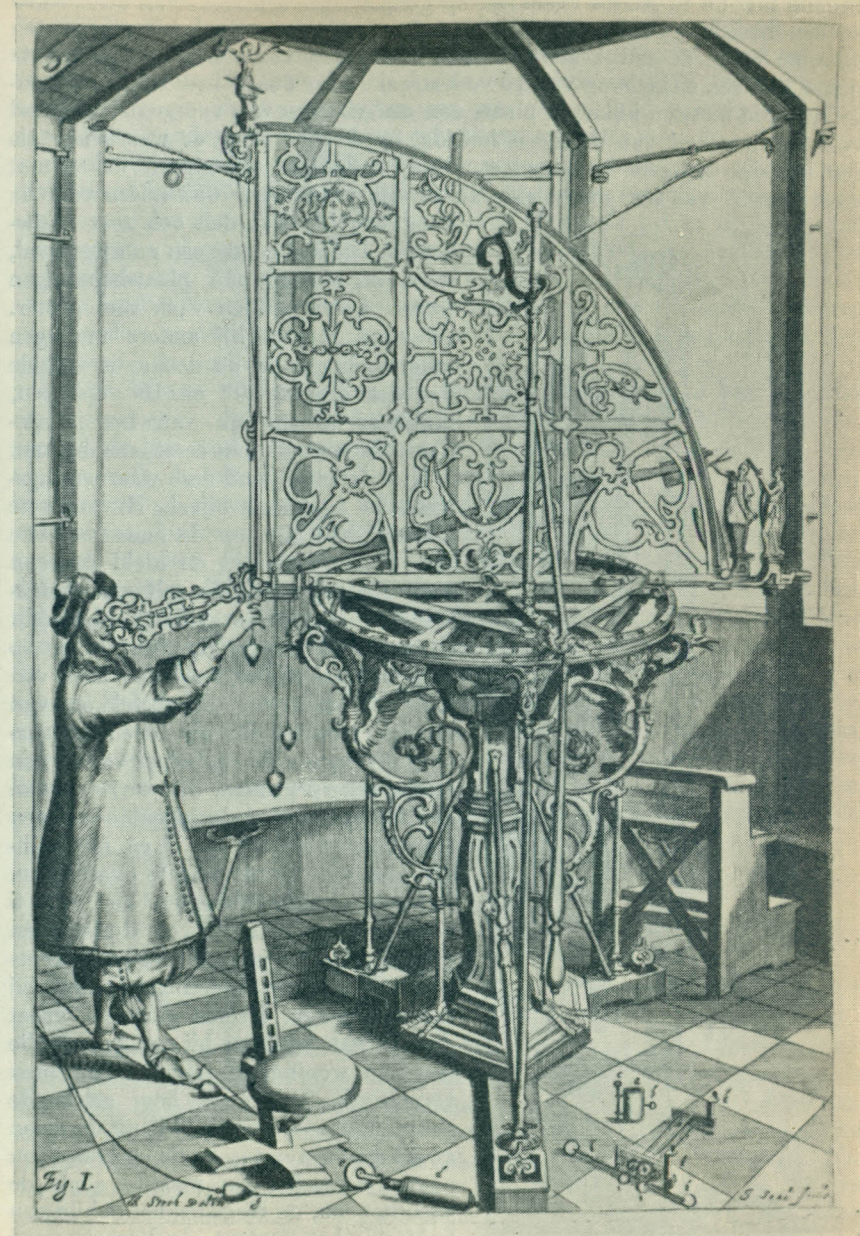


HEVELIUS' afbeelding van de volle maan.

in de lichte hoofse stijl van het tijdperk van de Roi Soleil. „Gij zult niet „verwonderd zijn”, zegt hij daar tot de markiezin, „te horen dat de maan een „aarde is als deze zelf, en dat naar alle schijn zij bewoond is”; later zegt hij eveneens van de manen van Jupiter „dat zij niet minder waardig zijn om „bewoond te zijn, al hebben zij het ongeluk van onderworpen te zijn, aan, en „te moeten wentelen om een andere belangrijker planeet”. Maar hoe is het dan met de theologische moeilijkheid — die hij in de voorrede behandelt — dat mensen op de maan niet van Adam kunnen afstammen? „Diegenen maken „de moeilijkheid aan wie het behaagt om mensen op de maan te plaatsen. „Ik plaats ze daar niet; ik plaats daar enkel bewoners, die helemaal geen „mensen zijn. . . . gij zult zien, dat ze het niet kunnen zijn naar mijn opvat- „ting van de oneindige verscheidenheid, die de natuur in al haar werken „toont”.

De eigenschap van de astronomische kijkers volgens KEPLER, dat ze van de voorwerpen een reëel beeld in het brandvlak vormen, dat dan door het er achtergeplaatste oculair bekeken wordt, is voor de sterrekunde van fundamenteel belang geworden. Tegelijk met het hemellichaam kan een voorwerp, dat zich in dit brandvlak bevindt, een plaatje, een ring, een draad, scherp bekeken worden; zo kunnen kleine afstanden en afmetingen aan de hemel gemeten worden. HUYGENS gaf in 1659 aan, hoe hij, door een planetenschijfje met een metaalreepje juist in het brandvlak te bedekken, daarvan de middellijn kon bepalen. De Franse astronoom AUZOUT beschreef in 1667 een verbetering van deze methode door in het brandvlak twee evenwijdige draden te spannen, waarvan de een door een schroef verschuifbaar was. Dit was het eerste beginsel van de dradenmicrometer, die zich in de volgende eeuwen tot een steeds volmaakter meetinstrument heeft ontwikkeld. Dat reeds vroeger, in 1640, een jong Engels sterrekundige, GASCOIGNE, die spoedig daarop in de Engelse burgeroorlog is gesneuveld, hetzelfde middel voor het meten van planetenmiddellijnen had toegepast, werd later eerst in zijn nagelaten manuscripten ontdekt.

Hoe belangrijk voor het menselijk inzicht al deze ontdekkingen met kijkers waren, toch is voor de sterrekundige wetenschap het aanbrenge van kijkers aan de meetinstrumenten nog belangrijker geweest. Een voorstel in 1634 van MORIN, befaamd astroloog in Parijs, om een Galileï-kijker op de vizierlat van een meetinstrument te zetten, kon natuurlijk niet veel opleveren; eerst de Kepler-kijker opende een nieuwe weg. Door het beeld van een ster, gezien door het vergrotende oculair, op het snijpunt van twee in het brandvlak gespannen kruisdraden te stellen, werd de stand van de kijker met veel groter precisie vastgelegd, dan een vizier met ongewapend oog is te stellen. Zo kon de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling der sterren aanmerkelijk vergroot worden. JEAN PICARD, de ijverigste en bekwaamste onder de praktische sterrekundigen, was de eerste, die dit hulpmiddel bij de sterrekundige metingen in 1667 invoerde. Zijn doel was de afmetingen van de aardbol nauwkeuriger te bepalen dan tot dusverre, en wel door gebruik te maken van de methode der driehoeksmeting. Deze methode was uitgedacht door SNELLIUS te Leiden, toegepast op de afstand Alkmaar—Bergen op Zoom, en in 1617 beschreven in een boekje met de zeer passende titel „*Eratosthenes Batavus*”.

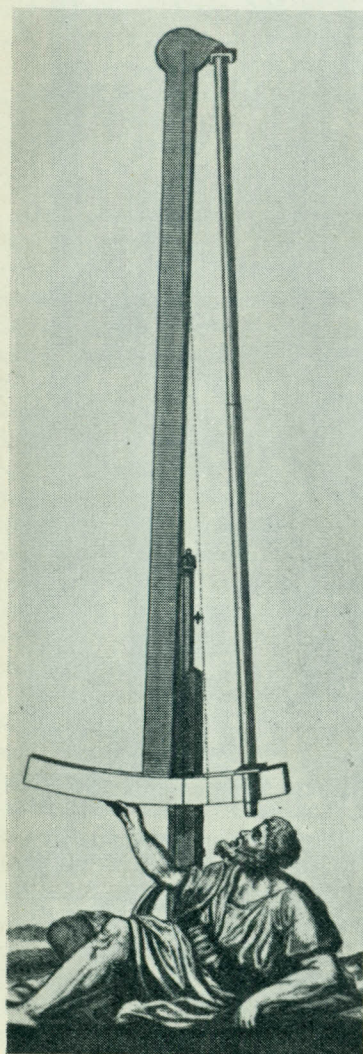


HEVELIUS met zijn kwadrant

PICARD mat nu in Noord-Frankrijk op gelijke wijze een reeks van driehoeken en een basislijn, en bepaalde het breedteverschil van de beide eindpunten door op beide de zenithsafstand in de meridiaan van een aantal sterren te meten met een cirkelboog van 10 voet straal (waar dus 1' met 1 mm overeenkwam), die met een kijker in plaats van met vizieren was voorzien. Tekenend voor het karakter van de tijd is het, dat op de afbeelding de waarnemer als een klassiek wijsgeer is uitgedost. De afzonderlijke uitkomsten weken niet meer dan 5" van het gemiddelde af, en zijn uitkomst, 57057 toisen voor de boog van  $1^\circ$ , was dan ook zeer nauwkeurig. Dit was echter een gunstig geval, want bij de gewone plaatsbepalingen waren de verschillen vaak veel groter. Zo vond PICARD bij andere metingen schommelingen in de declinatie van de Poolster die tot 10" en 15" opliepen, blijkbaar afhankelijk van het jaargetijde; de oorzaak zou eerst later blijken.

Niet dadelijk vond deze waarnemingsmethode algemeen bijval. HEVELIUS te Dantzig had zich op de oude methode van TYCHO ingericht en hield daaraan vast. Hij vervaardigde zelf zijn instrumenten met grote zorgvuldigheid, bracht er een nauwkeurige vizierinrichting op aan, en versierde ze, naar de smaak van van die tijd, tot pronkstukken van handwerkskunst. En hij bereikte daarmee — natuurlijk geholpen door een uiterst scherp gezicht, dat sterretjes van de 7de grootte onderscheidde — een nauwkeurigheid tot op 1' en nog minder, dus wist TYCHO nog te overtreffen. Behalve meridiaanhoogten met een 5 voets kwadrant mat hij vooral afstanden van planeten tot sterren met een 6 voets sextant; zijn waarnemingen tellen bij vele duizenden. Helaas ging een groot deel er van verloren bij een brand, die met zijn woning ook zijn instrumenten vernietigde. Een door hem getekende sterrenatlas — waarop hij uit groepen zwakkere sterren tussen de oude beelden nieuwe sterbeelden maakte, zoals de Jachthonden, de Hagedis, het Schild van Sobieski, het Sextant, de Vos — werd eerst na zijn dood, in 1690 uitgegeven.

Over de kwestie van de beste waar-



Zenithsector van PICARD.

nemingsmethode geraakte hij in een scherpe twist met HOOKE in Engeland, die verklaarde, dat waarnemingen met enkel vizieren, zonder kijkers, onmogelijk voldoende nauwkeurigheid konden bereiken. Daarop werd van uit Londen EDMUND HALLEY (1656—1742), die reeds in 1676 bij zijn waarnemingen op St. Helena een kijker aan zijn sextant had gebruikt, in 1679 naar Dantzig gezonden, om tesamen met HEWELKE, ieder met zijn eigen instrument, dezelfde sterren gelijktijdig waar te nemen. En toen bleek, dat het verschil tussen hun uitkomsten meestal slechts een aantal seconden was en nooit een minuut bereikte. Wel een bewijs hoever HEWELKE het in de kunst van waarnemen had gebracht. Maar dit was wel het uiterste wat zonder kijkers te bereiken was. Er zat geen toekomst in. Terwijl daarentegen met kijkers aan de meetinstrumenten deze nauwkeurigheid met gemak bereikt werd, en door verdere verbeteringen in instrumenten en methoden voortdurend hoger opgevoerd kon worden.

Van nu af aan worden kijkers een vast bestanddeel van de sterrekundige meetinstrumenten. In Engeland paste FLAMSTEED bij zijn eerste waarnemingen op de pas gestichte sterrewacht te Greenwich in 1676 dadelijk deze nieuwe methode toe. Zulke kijkers waren, zoals men op oude afbeeldingen kan zien, lange, dunne pijpen; het objectief was een lensje van slechts enkele centimeters doorsnee, want het kwam meer op flinke vergroting voor het preciese instellen dan op grote lichtsterkte aan; het doel was niet anders dan de gewone zichtbare sterren scherper te meten. Daarbij bleek meteen, dat nu, als gevolg van de sterke vergroting, die het licht van de achtergrond van de hemel verzwakt, of anders gezegd, door de vergrote lichtsterkte van de ster t.o.v. de hemelgrond, heldere sterren ook overdag waren waar te nemen. Vol enthousiasme had reeds in 1634 MORIN zijn gewaarwording beschreven, toen hij het eerst met zijn kijker Venus overdag nog uren na zonsopkomst kon volgen. Nu was het PICARD, die het eerst in 1669 op klaarlichte dag in zijn instrument de doorgang van Arkturus door de meridiaan wist waar te nemen, en zo een nieuw veld van sterrekundige metingen opende.

## 26. NEWTON

Het begrip van een aantrekkingskracht is niet eerst door NEWTON ingevoerd. COPERNICUS had al gesproken over de onderlinge aantrekking van de delen van de aarde als oorzaak van haar bolvormigheid; en hetzelfde vermogen zetelde ook in andere hemellichamen en maakte, dat bij hen evenzeer de deeltjes zich samenvoegden tot een bol. Ook KEPLER had er van gesproken, dat zwaarte het streven is van verwante lichamen naar toenadering en vereniging. In ebbe en vloed zag hij een bewijs, dat de maan een aantrekking uitoefent op het water van de aarde: „zou de aarde ophouden de wateren „aan te trekken, dan zou al het zeewater in de hoogte worden getrokken en „naar de maan vloeien”. Hij vergelijkt de zwaarte met de magneetkracht: „de „aarde trekt de in de lucht vliegende voorwerpen mee, daar ze door een „magnetische kracht aan haar geketend zijn”. Maar de baanbeweging staat



hier buiten; de zon, zegt hij, oefent geen aantrekkende kracht op de planeten uit — want dan moesten deze naar de zon toe vallen —, maar een richtende zijdelingse kracht, als van ringvormige, magnetische vezels, waardoor haar wenteling de planeten meeslept. Zwaarte en omloopsbeweging zijn twee geheel gescheiden gebieden.

Evenmin zag men in de 17de eeuw verband tussen de baanbeweging der planeten door de werveling van de aether en de zwaartekracht, die aan het oppervlak van de aarde, en zeker ook op de zon en de planeten heerste. HUYGENS deed een poging om zulk een verband te leggen in een voordracht, die hij in 1669 in de Academie te Parijs hield over „de oorzaak van de zwaartekracht”. Terwijl naar de voorstelling van DESCARTES de aetherische middenstof een soort regelmatige wenteling om een bepaalde as door de aarde uitvoert en zo de maan rondvoert, laat HUYGENS de fijne materie in snelle wervelingen in allerlei richtingen door elkaar steeds om het aardoppervlak heen bewegen. Door haar naar buiten gerichte middelpuntvliedende kracht — van de middelpuntvliedende kracht had hij toen juist een bijzondere studie gemaakt — drukt deze fijne stof de grovere tastbare materie, die niet deelneemt aan de wenteling, naar binnen, naar beneden. De snelheid van de wervelingen moet daartoe 17 maal groter zijn dan die van de evenaar door de aswenteling; want als de aswenteling van de aarde 17 maal sneller was dan ze nu is, zouden de voorwerpen aan de evenaar hun zwaarte verloren hebben.

De ontwikkeling der wetenschap ging echter in andere richting, niet naar verklaring van de zwaarte uit omloopsbeweging, maar van de omloopsbeweging uit zwaarte. GALILEÏ had nog in zijn Gesprekken over de wereldstelsels de gelijkblijvende snelheid van een horizontaal voortlopend voorwerp bij afwezigheid van wrijving aldus verklaard, dat dit een stuk van een eenparige cirkelbeweging om het middelpunt der aarde was, van oudsher als de meest natuurlijke beweging erkend. Hijzelf is over deze beperkte opvatting niet heen gekomen; maar nu hij de weg naar rationele opvattingen van de bewegingen der dingen had geopend, konden leerlingen en volgers als CAVALIERI en TORRICELLI (1632 en 1644) deze beperking overwinnen en het „beginsel der traagheid” in onze moderne vorm uitspreken: dat bij het ontbreken van storende krachten de beweging steeds in dezelfde richting en met dezelfde snelheid moet voortgaan. En toen was het inzicht niet ver meer, dat een eenparige cirkelbeweging slechts kan ontstaan, doordat een naar het centrum gerichte kracht de planeet steeds van de anders rechte baan afbuigt. Het tegengestelde van deze kracht, het streven van het in een cirkel bewegende voorwerp om zich, de raaklijn volgend, van het middelpunt te verwijderen, was als middelpuntvliedende kracht o.a. merkbaar in de spanning van het touw, waaraan een voorwerp wordt rondgeslingerd. Zo sprak dan ook BORELLI in 1665 in zijn geschrift over de Jupitersmanen er van, dat de middelpuntvliedende kracht van de omloopsbeweging der manen juist evenwicht maakte met de aantrekkende kracht van Jupiter. De volledige theorie van de middelpuntvliedende kracht werd eerst door HUYGENS in 1673 in zijn „*Horologium oscillatorium*” gegeven, waar hij behalve het door hem uitgevonden slingeruurwerk tal van daarmee samenhangende wiskundige en mechanische problemen behandelt.

Wanneer op de planeten en op de maan een naar het centrum van hun

baan gerichte aantrekkingskracht werkt, ligt het voor de hand om aan te nemen dat deze op groter afstand zwakker wordt. Maar in welke mate? Het antwoord op deze vraag werd gegeven door NEWTON.

ISAËC NEWTON, een boerenzoon uit het dorpje Woolsthorpe, was geboren in 1642, en studeerde in Cambridge. Vandaar week hij in 1665 wegens de in de steden heersende pest naar de familiehoeve in zijn geboortedorp uit. Daar, zo luidt het verhaal, zag hij een appel van de boom vallen, en dat bracht hem aan het denken over de oorzaak van het vallen. Dit anecdotisch verhaal — vallen had hij natuurlijk al honderden malen gezien — moet in elk geval verbeterd worden tot de meer redelijke vraag, hoever deze zwaartekracht zich naar boven, tot steeds verdere afstand, zou uitstrekken. Misschien zover als tot de maan? En zou dit dan de kracht kunnen zijn, die de maan in haar baan hield? Hij nam aan, dat de kracht volgens het vierkant van de afstand zou afnemen — dit volgde uit een toepassing van de 3de wet van KEPLER op cirkelvormige banen. De afstand van de maan is 60 keer de straal van de aarde: haar omloopstijd is bekend, dus als men de omtrek of de straal van de aarde kent, is te berekenen met welke versnelling de maan van een rechtlijnig voortlopende weg afgebogen en naar de aarde getrokken wordt. Hij nam voor de lengte van een graad op aarde 60 mijlen aan, zoals hij in een zeemans-handboekje vond opgegeven, de enige bron die hem daar ter beschikking stond; nog altijd wordt een Engelse zeemijl gelijk genomen aan een boog op aarde van één minuut. Hij nam aan dat dit de gewone mijl was van 5280 voet, dus gelijk aan 4954 Parijse voet; de valversnelling van de maan werd dan 0,0073 voet, waaruit voor de versnelling der zwaartekracht op het aardoppervlak, 60 maal dichter bij het aardmiddelpunt, 3600 keer dit bedrag, dus 26,3 voet volgde. Sinds GALILEÏ was echter daarvoor een waarde van ruim 30 voet bekend. Dit was dus wel van dezelfde orde van grootte, maar het verschil was toch nog  $\frac{1}{8}$  van het totaal. Volgens het gewone verhaal liet hij toen zijn zo eenvoudige gedachte vallen. En hij wendde zich in het volgende dozijn jaren tot wiskundige studiën over de door hem ontworpen fluxierekening, en tot optische studiën over de kleurschifting.

Hij had echter een juistere waarde kunnen gebruiken, want SNELLIUS' uitkomst, volgens welke op een graad ruim 69 Engelse mijlen kwamen, was toen reeds in Engelse boeken te vinden. Ook de Franse graadmeting van PICARD, waarvan de uitkomst in 1671 bekend werd, leverde voor een graad 57065 toisen = 69 Engelse mijlen op. En met deze waarde bleek het nu geheel uit te komen. Daarmee was dus de wet van de aantrekking, omgekeerd evenredig met het vierkant van de afstand, vastgesteld.

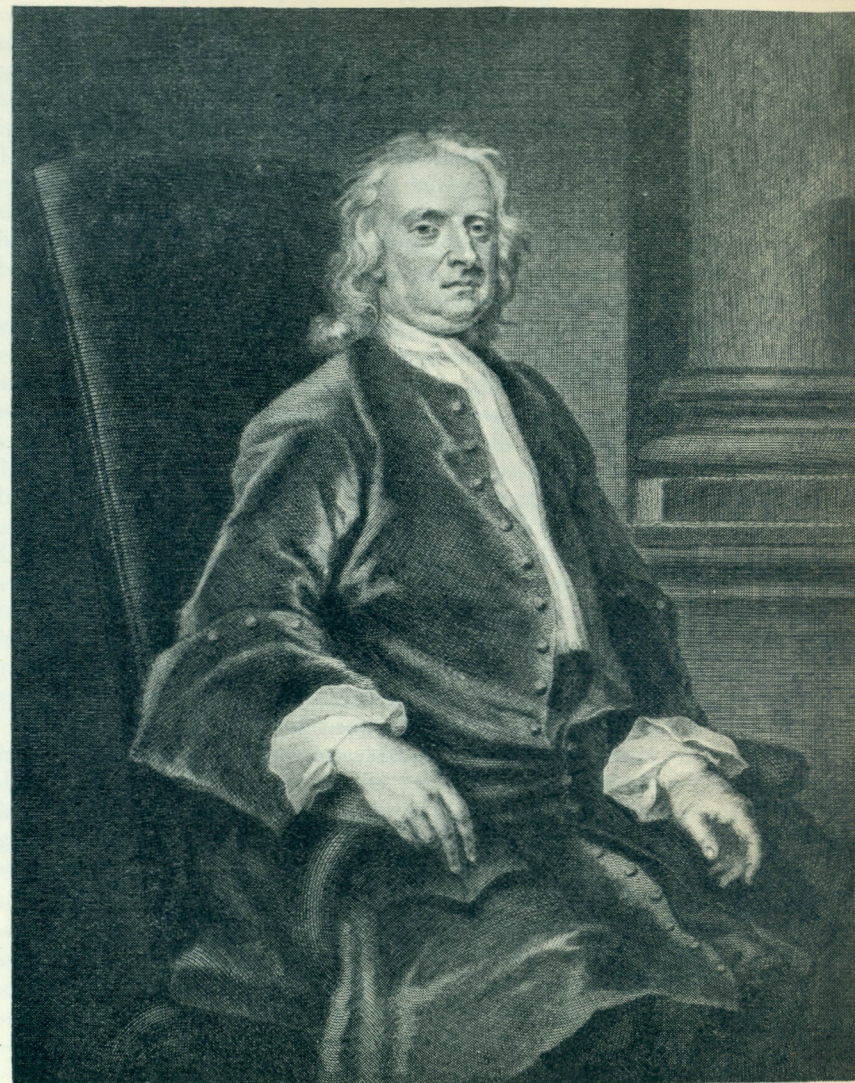
NEWTON was niet de enige, die deze vorm van afname met de afstand opstelde. ROBERT HOOKE, deze scherpzinnige en veelzijdige maar jaloerse onderzoeker, verklaarde naderhand, dat hij die wet reeds vroeger had gekend — wat zeer wel mogelijk is — en zelfs, dat NEWTON het idee van hem had; maar hij wist er verder niets mee te doen. HOOKE heeft waarschijnlijk wel, door aan NEWTON het vraagstuk voor te leggen hoe de baan van een rondlopend lichaam bij zulk een wet zou worden, diens aandacht sterk op deze kwesties gericht. Ook HALLEY en WREN hielden zich er mee bezig. Het kwam er nu echter op aan om alle grondslagen en consequenties voor de banen der hemellichamen uit te werken; en dat kon NEWTON alleen, want het was niet mogelijk zonder de wiskundige methoden die hijzelf in zijn fluxierekening had opgebouwd.

In 1684 was de theorie in wezen voltooid; en na nog een jaar ingespannen arbeid, waarbij hij zo volkomen geabsorbeerd was, dat eten en slapen er dikwijls bij in schoten en zijn gezondheid ernstig leed — op deze tijd slaan de vele anecdoten omtrent zijn verstrooidheid — kon het eerste deel in 1686 aan de Royal Society voorgelegd worden. Dat het daar niet nog een lange tijd in de archieven is blijven liggen, was vooral te danken aan de onvermoeide zorg van zijn vriend HALLEY, toen secretaris van de Society, die het geld voor het drukken wist bijeen te brengen, voor een deel uit zijn eigen zak uitgespaard. In 1687 verscheen het onder de titel „*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*” (wiskundige beginselen der natuurfilosofie).

In de titel van het boek is uitgedrukt, hoe het een nieuw fundament voor de sterrekunde kon leggen. Natuurfilosofie was toen in Engeland de naam voor natuuronderzoek; waarom hij daarvoor wiskundige beginselen opstelt legt hij uit in zijn 3de boek „het wereldsysteem”: „Ik had daarover dit derde „boek op populaire wijze voorgesteld, opdat het door velen zou kunnen worden gelezen; maar naderhand, overwegende dat diegenen, die niet voldoende in de principes waren doorgedrongen, moeilijk de kracht van de „gevolgtrekkingen konden inzien, en de in lange jaren aangewende vooroordelen niet zouden afleggen, besloot ik, om disputen te verhinderen die „zo konden ontstaan, de inhoud van dit boek in de vorm van stellingen op „wiskundige manier te brengen, leesbaar alleen voor hen, die zich de beginselen in de vorige boeken hadden eigen gemaakt”. Dit wordt begrijpelijk als men weet, dat NEWTON uiterst gevoelig was voor critiek, toen zo dikwijls op losse gronden uitgebracht op uitkomsten, die hij zorgvuldig en diep overdacht had; en bekendmaking van zijn resultaten dikwijls uitstelde om onaangename polemieken te vermijden. Het wiskundig betoog had overtuigende kracht; het was in deze zelfde tijd dat SPINOZA zijn wijsbegeerte in de mathematische vorm van stellingen met bewijzen uiteenzette.

Wat de twee eerste boeken bevatten is inderdaad wiskunde, meetkunde, toegepast op de beweging der lichamen, dus wat wij theoretische mechanica noemen. „Rationele mechanica in deze zin zal de wetenschap zijn van de „bewegingen voortgebracht door welke krachten ook, en van de krachten „nodig voor het bewerken van bewegingen, alles nauwkeurig gesteld en bewezen”, zegt hij in zijn voorrede. Hij werd aldus, voortbouwend op GALILEI en HUYGENS, de grondlegger van deze wetenschap; en hij begon dan ook met de principes op te stellen, in de vorm van „axioma's of wetten der beweging”: elk lichaam behoudt, als er geen kracht op werkt, zijn toestand van rust of beweging; de verandering van de beweging is evenredig met de kracht en in dezelfde richting; en elke werking is begeleid door een even grote tegenwerking. Hij voert hier het begrip massa in, hoeveelheid stof, onderscheiden van het gewicht. De verandering van snelheid, de versnelling, die een lichaam verkrijgt, evenredig met de werkende kracht, is omgekeerd evenredig met zijn massa. In een kromme baan wijkt het lichaam van de raaklijn een bedrag af, dat evenredig is met de werkende kracht en volgens het kwadraat van de tijd toeneemt.

Dan leidt NEWTON door strenge wiskundige bewijzen uit de wetten van KEPLER af, hoe de kracht moet zijn, die deze beweging bepaalt. Uit de wet der perken bewijst hij, dat de op een planeet werkende kracht naar de zon moet zijn gericht, dus een centripetale, middelpuntzoekende kracht is. Uit de



ISAAC NEWTON.

ellipsvorm met de zon in het brandpunt bewijst hij, dat de kracht omgekeerd evenredig is met de tweede macht van de afstand. Dit laatste was ook al gevonden door de derde wet van KEPLER toe te passen op twee planeten met cirkelbanen. Dan volgt nu uit deze derde wet, dat op gelijke afstand de door de kracht bewerkte versnelling voor verschillende planeten even groot is, dus de kracht onafhankelijk is van de aard van de stof. Door deze afleidingen kwamen de wetten van Kepler eerst tot hun volle recht; uit de ervaring gevonden, kregen ze nu de onaantastbare vastheid van uitvloeisels te zijn van de algemenere wet der aantrekking. Aan de herhaalde pogingen in de zeventiende eeuw om door andere banen of snelheidswetten de beweging voor te stellen, was nu alle grond ontnomen.

In het derde boek worden nu hieruit de conclusies getrokken. Op de manen van Jupiter werkt een naar de planeet gerichte aantrekking, omgekeerd evenredig met het kwadraat van de afstand. Evenzo bij Saturnus. De planeten worden op dezelfde wijze door de zon aangetrokken. Evenzo de maan door de aarde. En na uit de beweging van de maan de versnelling van de zwaartekracht op aarde te hebben afgeleid, gaat hij voort: „Dus de kracht, waardoor „de maan in haar baan wordt gehouden, wordt aan het oppervlak van de „aarde gelijk aan de zwaarte, die wij hier in zware lichamen waarnemen. „Derhalve is (volgens regel 1 en 2) de kracht, die de maan in haar baan „houdt, geheel dezelfde als die wij gewoonlijk zwaarte noemen; want als de „zwaartekracht een andere, daarvan verschillende kracht was, zouden de „lichamen door de verenigde impuls van beiden met de dubbele snelheid „vallen”. De regels, hier bedoeld, zijn de vóór aan dit boek gestelde „regels voor het afleiden in filosofie”, d.i. in natuuronderzoek: 1. niet meer oorzaken voor natuurlijke dingen aannemen dan die zowel waar zijn als ook voldoende om de verschijnselen te verklaren; 2. aan dezelfde gevolgen, zover mogelijk, dezelfde oorzaken toekennen. Deze regels mogen thans overbodig en kunstmatig schijnen; maar in die tijden, toen nog zoveel met fantastische bedenkfels werd gewerkt, was de daarin vervatte vermaning tot intellectuele discipline niet overbodig.

Alle lichamen worden dus door elkaar aangetrokken. De aarde trekt de steen en de maan aan; maar eb en vloed bewijzen, dat zon en maan beide de aardse materie aantrekken. Wanneer lichamen elkaar aantrekken wordt door dezelfde wederzijdse kracht de grote massa zeer weinig, de kleine massa sterk bewogen. De kracht uitgaande van een wereldlichaam is opgebouwd uit de aantrekkingen uitgaande van zijn delen, van de kleinste materie-deeltjes. Aantrekkingskracht is een algemene eigenschap van alle materie; alle deeltjes trekken elkaar aan volgens de wet van de omgekeerde vierkanten. NEWTON toonde aan, dat de gezamenlijke aantrekking van alle deeltjes van een bol precies dezelfde is alsof alle massa in het middelpunt verzameld was. En daardoor slechts konden voor een bolvormige planeet om een bolvormige zon de wetten van KEPLER streng gelden.

Deze theorie der aantrekkingskracht was niet enkel veel algemener en ruimer dan de empirische wetten waaruit ze was afgeleid, maar ze leverde nu bovendien verklaringen voor tal van andere verschijnselen. Al dadelijk bewees NEWTON, dat niet enkel elliptische, maar ook parabolische en hyperbolische banen tot dezelfde aantrekkingswet leiden, dus dat bij deze wet de baan elk van deze drie kegelsneden kon zijn, met de zon in het brandpunt.

Dit vond dadelijk toepassing op de kometen, deze geheimzinnige hemellichten, die onverwacht verschijnen en na enige tijd weer in de verte verdwijnen; dit past precies op een parabool of hyperbool als baan, met hun tot in het oneindige lopende takken. KEPLER had indertijd gemeend, dat kometen in rechte lijnen door de wereldruimte langs de zon schieten. CASSINI had vergeefs getracht door schuin in de ruimte liggende cirkelvormige banen zijn kometenwaarnemingen goed weer te geven. Daarentegen had BORELLI reeds in 1664 het vermoeden geuit, dat de banen parabolen zouden zijn. Toen in 1680 een grote komeet verscheen die, na snel vlak om de zon een halve slag omgewenteld te zijn, naar dezelfde kant zich van de zon verwijderde als waar ze vandaan was gekomen, opperde DÖRFEL, een geestelijke in Plauen, het denkbeeld dat haar baan een lang-gerekte parabool was met de zon als brandpunt.

NEWTON gaf nu een theoretische grondslag aan deze gedachte, dat voor alle kometen de banen parabolen, of veel daarop gelijkende zeer ver uitgestrekte ellipsen moesten zijn. Hij gaf ook een methode aan om uit de waargenomen weg langs de hemel de ware baan van de komeet in de ruimte te berekenen, en paste die op enige onlangs verschenen kometen toe. HALLEY heeft daarop volgens deze rekenwijze de banen van 24 kometen afgeleid, die in 1337, in 1472, en verder in de 16de en 17de eeuw verschenen waren, en dit in 1705 bekend maakt. Het viel hem daarbij op, dat er drie bij waren met zo goed als identieke ligging in de ruimte, nl. die van 1531, van 1607, en van 1682. Daar de tussentijden 76 en 75 jaar zijn, besloot hij, dat het drie verschijningen van dezelfde komeet waren, die niet in een parabool maar in een langgerekte ellips in ruim 75 jaren om de zon loopt. In een verhandeling in 1716 kwam hij hier nog eens op terug, wees op een paar vroegere kometenverschijningen (in 1456 en in 1378) die heel goed deze zelfde komeet konden geweest zijn, en voorspelde de volgende terugkeer voor het jaar 1758.

NEWTON leidt in zijn „*Principia*” ook de afplating van een wentelend hemellichaam, speciaal van de aarde, af. Nu was hij hierin reeds voorgegaan door HUYGENS. Deze berekende in 1669, dat door de middelpuntvliedende kracht van de aardrotatie een schietlood niet meer naar het aardmiddelpunt gericht kan zijn, maar (op onze middelbare breedten) een bedrag van ongeveer  $\frac{1}{10}$  graad schieff naar het Zuiden wordt getrokken. „Deze afwijking is „wel zeer in tegenspraak met wat men altijd als vaste waarheid heeft aangegenomen, nl. dat het schietlood naar het middelpunt van de aarde is gericht. . . . Ik ga daarvoor een reden geven, die alweer een paradox is, nl. „dat de aarde in het geheel niet bolvormig is, maar afgeplat aan de polen, „als een ellips, die om de korte as wentelt. . . . Het oppervlak van elke vloeistof moet zich zo stellen, dat het schietlood er loodrecht op staat, anders „zou deze verder omlaag kunnen stromen”. Het bedrag van de afplating berekende hij naderhand op  $\frac{1}{577}$ , doordat hij, bij gebrek aan beter, en in de gedachtengang van de aetherwerveling om de aarde, de zwaartekracht overal op en binnen de aarde gelijk nam. NEWTON echter had nu wat beters; uit de leer van de aantrekking als kracht die van alle deeltjes afzonderlijk uitgaat, kon hij afleiden, dat de zwaartekracht naar het middelpunt toe gelijkmatig tot nul moet afnemen, en zo berekende hij (voor een homogene aarde) een afplating  $\frac{1}{231}$ . Deze beide theoretische afleidingen vonden een felle bestrijding bij de Franse sterrekundigen, die zich op de uitkomsten van de graad-

metingen in Frankrijk beriepen. Deze gedurende vele jaren zorgvuldig voortgezette metingen hadden voor het gedeelte ten Zuiden van Parijs een iets grotere waarde opgeleverd dan uit de boog Parijs-Duinkerken was gevonden (nl. 57098 en 56970 toisen). Hieruit leidden CASSINI en anderen af, dat de graden naar het Noorden toe kleiner worden, dus de aarde naar de polen toe uitgerekte moest zijn. Deze tegenspraak tussen theorie en praktijk droeg er toe bij, de geleerden in Frankrijk sceptisch tegenover de gehele theorie te stemmen.

In zijn werk kon NEWTON op verdere sterrekundige verschijnselen wijzen, die door de theorie van de aantrekkingskracht hun verklaring vonden. Zo konden ebbe en vloed nu precieser door de verschillende aantrekking van zon en maan op het bewegelijke water en op de vaste aardkorst verklaard worden. Ook de van ouds bekende praecessie, het achteruitlopen der nachteveningen, als uiting van de langzame standverandering van de aardas, werd door NEWTON uit de aantrekking van zon en maan op de afgeplatte snel roterende aarde verklaard. Ook wees hij de aantrekking van de zon op de maan als de oorzaak aan van de door PTOLEMAEUS en TYCHO ontdekte onregelmatigheden in de maanbeweging, en hij gaf daarbij een eerste theoretische behandeling van het achteruitlopen van de knopen van de maanbaan. Dat de planeten door hun onderlinge aantrekking elkaars loop moeten storen, zag hij natuurlijk ook als consequentie van zijn theorie, „maar de werkingen van „de planeten op elkaar zijn zo heel klein, dat ze verwaarloosd kunnen worden”; alleen de werking van Jupiter op Saturnus, slechts 211 maal kleiner dan die van de zon, is merkbaar; „daaruit ontstaat een storing van de baan van Saturnus bij elke conjunctie met Jupiter, zo aanmerkelijk, dat de astronomen voor een raadsel stonden”.

Zo heeft NEWTON, door de theorie van de algemene gravitatie, aan de sterrekunde, de leer van de bewegingen der hemellichten, een zo vaste basis gegeven als te voren nooit vermoed had kunnen worden. In deze grote praktische daad van wetenschap heeft hij de beide uiterlijk tegenstrijdige principes van BACON en DESCARTES verenigd: hij ging uit van de ervaring, van wetten door ontwijfelbare berekening afgeleid uit waarnemingsgegevens, en hij stelde daarmee een algemeen geldig principe op, waaruit alle afzonderlijke verschijnselen volgen en zijn af te leiden. Geen wonder dat hij, nadat eerst de oude tradities overwonnen waren en de moeilijkheden van de nieuwe denkwijze gaandeweg verdwenen, door zijn landgenoten als een bijna bovenmenselijk genie geëerd werd. Huldgingen en ereposten vielen hem ook ten deel; van 1703 af tot zijn sterfjaar 1727 was hij voorzitter van de Royal Society. Zijn benoeming in 1696 tot *Warden of the Mint* (in 1699 verhoogd tot *Master of the Mint*) was niet enkel een erepost en een lucratieve sinecure; hij en zijn collega, de wijsgeer LOCKE, hebben samen met de ministers SOMERS en MONTAGUÉ door hun energieke maatregelen tot aanmuntning van goed zilvergeld het desolate muntstelsel van Groot-Brittannië geheel in orde gebracht voor de moderne behoeften van de handel.

NEWTON heeft zich in zijn „*Principia*” niet bepaald tot de uiteenzetting van de nieuwe theorie, die voor ons lateren het wezenlijke is; voor zijn tijdgenoten was critiek op de heersende oude theorie evenzeer nodig. Het gehele 2de boek is gewijd aan de beweging van vloeïstoffen en van lichamen onder

weerstand. Hier worden, door dezelfde strenge wiskundige behandeling, de eerste grondslagen gelegd voor vele latere ontwikkelingen van de leer der vloeïstoffen, alsook voor de theorie van bewegingen met weerstanden. Hier werden dus de wervelkringen op de proef gesteld; de vooruitgang der wetenschap in een halve eeuw, die hier te voorschijn komt, is die van vaag filosofisch gepraat tot scherpe wiskundige berekening. En zijn conclusie aan het slot is: „Dus het is duidelijk, dat de planeten niet door stoffelijke wervelkringen „worden rondgevoerd”.

Ondanks deze vernietigende critiek op de werveltheorie bleven de meeste geleerden op het vasteland sceptisch staan tegenover de leer van de aantrekkingskracht. Het beste kan dit blijken uit wat HUYGENS een paar jaar later, in 1690, in een naschrift bij een nieuwe uitgave van zijn verhandeling over de zwaartekracht schreef. Aanknopen aan hun verschillende uitkomsten over de afplatting van de aarde zegt hij: „want ik ben het niet eens met „het beginsel, dat hij in deze berekening toepast, nl. dat alle kleinste delen, „die men zich in de lichamen kan voorstellen, elkaar aantrekken en trachten „te naderen. Dat kan ik niet toegeven, omdat ik duidelijk meen te zien, dat „de oorzaak van zulk een aantrekking niet verklaarbaar is uit enig principe „van de mechanica, noch van de eigenschappen der beweging”. Natuurlijk, want naar zijn opvatting worden de „zware” voorwerpen door de aetherwervels naar de aarde omlaag gedrukt, en oefenen dus de hemelbollen zelf op elkaar geen invloed uit. Hij heeft, zegt hij, niets tegen de centripetale kracht van Newton, waardoor de planeten zwaar zijn naar de zon toe, evenals de maan naar de aarde toe; die zwaarte is verklaarbaar uit de werveling. Hij had vroeger wel gemeend de bolvorm van de zon uit zulk een zwaarte op de zon te verklaren, maar hij had niet gedacht dat deze zich zo ver, tot de planeten zou uitstrekken, „omdat de wervelkringen van DESCARTES, die „mij vroeger zeer waarschijnlijk voorkwamen, en die mijn geest nog vervulden, daar tegenin gingen. Ook had ik niet gedacht aan die regelmatige „afname van de zwaarte, nl. in omgekeerde reden van het vierkant van de „afstand tot het middelpunt, hetgeen een nieuwe en merkwaardige eigenschap van de zwaarte is, waarvan de reden te zoeken wel de moeite waard „is”. Ziende hoe NEWTON bewezen heeft, dat deze centripetale kracht in de ellips juist evenwicht maakt met de centrifugale kracht, twijfelt hij niet aan de juistheid van NEWTON's theorie. Deze lijkt nog te meer waarschijnlijk, omdat ze allerlei moeilijkheden oplost, die de wervelkringen lieten bestaan: dat het vlak van alle loopbanen door de zon gaat; dat de excentriciteiten en hellingen constant blijven; en dat de snelheden juist op die bepaalde manier veranderen; wat alles niet goed zou uitkomen als de planeten in een wervelkring om de zon zwommen. En ook ziet men nu, hoe de kometen ons systeem kunnen doorkruisen. Het was moeilijk te begrijpen hoe ze vaak tegen de wervels van de planeten in konden lopen; maar door de leer van NEWTON, volgens welke zij lang gestrekte banen moeten doorlopen, wordt die moeilijkheid opgeheven.

Dan komt hij weer terug op beschouwingen omtrent de aard, de fijnheid en ijlheid van de deeltjes die wervelen, en hoe zij de aarde omringen. „Het „zou anders zijn, als men onderstelde dat de zwaarte een inherente eigenschap van de stoffelijke materie zou zijn. Maar ik geloof niet dat dit „NEWTON's mening is, omdat zulk een hypothese ons ver van de principes

„van wiskunde en mechanica zou verwijderen”.

Er is bovendien nog een moeilijkheid, zegt HUYGENS, nl. dat NEWTON in de wereldruimte alleen een zo ijle stof toelaat, dat de planeten en kometen geen weerstand ondervinden. „Dan lijkt het niet mogelijk de werking noch „van de zwaarte, noch van het licht te verklaren, ten minste langs de weg „waarvan ik mij bediend heb”. Reeds in 1678 had HUYGENS een theorie opgesteld en meegedeeld, en in 1690 uitgegeven, van het licht als een trilling, een golfbeweging, die zich in de wereldaether bolvormig voortplant, en hij had daarmee de terugkaatsing en de breking verklaard. Van geheel ander standpunt gaf NEWTON in 1691 zijn reeds lang te voren voltooid werk over het licht uit, waarin hij, behalve zijn ontdekking over de samenstelling van gewoon licht uit talloze lichtsoorten verschillend in breekbaarheid en kleur, ook het wezen van het licht verklaart als weggeslingerde en met grote snelheid door de ruimte voortvliegende deeltjes. De breking van een schuin op een glasoppervlak invallende lichtstraal liet zich dan, geheel in het kader van zijn overige leer, eenvoudig verklaren, doordat bij de overgang de sterkere aantrekking van de dichtere glasmaterie de lichtdeeltjes naar de normaal op het oppervlak heeft toegebogen. Hier blijkt dus een diepgaande tegenstelling in de beide wereldstelsels. Bij NEWTON is de wereldruimte ledig, of zo goed als ledig. De lichtdeeltjes vliegen ongehinderd door de ruimte over eindeloze afstanden, evenals ook de planeten in hun omloop geen merkbare weerstand ondervinden; en de aantrekkingskracht werkt van massadeeltje op massadeeltje, van hemelbol op hemelbol, over de verste afstanden. HUYGENS kon NEWTON's aantrekkingsleer niet aanvaarden, omdat voor zijn theorie van het licht de wereldruimte met aethermaterie moest gevuld zijn.

Maar de tegenstelling ging nog dieper. HUYGENS erkende wel de juistheid van NEWTON's formules en berekeningen; maar zij waren voor hem geen verklaring. Zij gaven hem geen antwoord op de vragen zoals hij en de Franse geleerden zich stelden: waardoor ontstaat die aantrekking, waardoor worden twee lichamen naar elkaar toe gedreven? Als er geen enkele verbinding tussen hen is, hoe kunnen ze dan aan elkander trekken? Bij een met materie gevulde ruimte brengt deze materie door aanraking, door drukking, de kracht en de beweging over; wij zien hoe door stromend water en waiende lucht voorwerpen meegesleurd worden; dat is een mechanische werking van druk en meevoering, volkomen begrijpelijk. Maar een kracht van uit de verte is volkomen vreemd aan dergelijke mechanische werkingen.

Zagen NEWTON en zijn medestanders dit bezwaar dan niet? O, zeker; maar het kwelde hen niet. In de grond was NEWTON het, volgens de algemene denkwijze van zijn tijd, met HUYGENS eens. Dat in hem dezelfde behoefte aan verklaringen leefde als in zijn tijdgenoten, blijkt uit een brief in 1678 aan ROBERT BOYLE, waarin hij de oorzaak van de zwaartekracht tracht aan te geven door verschillende soorten van deeltjes, fijnere en grovere, in een alles doordringende wereldaether aan te nemen. Dat hijzelf een aantrekking, die op een afstand werkt, geen voldoende verklaring vond, blijkt uit zijn brieven (1692—1693), aan RICHARD BENTLEY, die over een reeks lezingen, waarin hij uit de aantrekkingswet het bestaan van God demonstreerde en het atheïsme weerlegde, met NEWTON in briefwisseling was gekomen. NEWTON, die zich blijkens verscheidene geschriften over de Bijbel sterk met theologische vraag-

stukken bezighield, ging, in zijn eerste brief, ten volle in deze gedachtengangen mee: „op uw tweede vraag antwoord ik, dat de bewegingen, die de „planeten nu hebben, niet uit enige natuurlijke oorzaken alleen konden voort„komen, maar ingeplant zijn door een intelligente Bewerker (Agent)... „Zulk een stelsel met al zijn bewegingen te vervaardigen, vereist een oorzaak, „die de stofhoeveelheden en daaruit voortvloeiende krachten begreep en ver„geleek... een oorzaak, die niet blind en toevallig is maar geheel bekwaam „in mechanica en meetkunde”. En over het wezen der aantrekkingskracht schreef hij in een volgende brief: „Dat de gravitatie een innerlijke, ingebo„ren, en essentiële eigenschap van de stof zou zijn, zodat een lichaam op „een ander kan inwerken op een afstand door de ledige ruimte, zonder de „tussenkomst van iets dat de werking van het een op het ander overbrengt, „is voor mij zulk een absurditeit, dat ik geloof, dat niemand, die over voldoende „denkvermogen in wijsgerige zaken beschikt, daarin zou kunnen vervallen. „Gravitatie moet veroorzaakt worden door een agens, dat standvastig volgens „bepaalde wetten werkt; maar of dit agens stoffelijk of onstoffelijk is, heb ik aan de overweging van mijn lezers overgelaten”. In zijn „Principia” had hij dit aan het slot van het 3de deel wat gereserveerder uitgedrukt: „Tot „hiertoe hebben wij de verschijnselen van de hemel en van de zee door de „kracht der zwaarte verklaard, maar wij hebben de oorzaak van deze kracht „niet aangegeven. Dit is zeker, dat zij uit een oorzaak moet voortkomen, die „tot diep in het binnenste van de zon en de planeten doordringt zonder enige „vermindering van kracht te ondergaan; en die niet volgens de grootte van „het oppervlak der deeltjes werkt (zoals mechanische oorzaken gewoonlijk „doen) maar naar de hoeveelheid stof die ze bevatten... Maar tot nu toe „ben ik er niet in geslaagd uit de verschijnselen de grond van deze eigen„schappen van de gravitatie te ontdekken, en hypothesen verzin ik niet. Want „alles wat niet uit de verschijnselen volgt is een hypothese, en hypothesen, „hetzij metaphysische of physische, hetzij uit verborgen eigenschappen of „mechanische, behoren in de proefondervindelijke wijsbegeerte niet „thuis... Voor ons is het voldoende, dat de gravitatie werkelijk bestaat, „dat zij volgens de door ons uitgelegde wetten werkt, en dat zij in staat is alle „bewegingen der hemellichamen en van de zee te verklaren”.

Maar dat voor hem daarmee de natuurleer niet ten einde was, blijkt uit wat hij er op laat volgen: „Nu zouden wij er nog iets bij kunnen voegen „over een zekere uiterst fijne geest (spiritus) die in alle grote lichamen „verborgen is en ze doordringt, die door zijn kracht en actie maakt, dat de „deeltjes der lichamen elkaar op kleine afstand aantrekken”, waardoor elec„trische lichamen werken, licht wordt uitgezonden, de ledematen van de dier„lichamen worden bewogen „op bevel van de wil, namelijk door trillingen „van deze geest”, langs de zenuwen voortgeplant. „Maar deze dingen kunnen „niet in een paar woorden worden uitgelegd, en wij hebben niet genoeg „experimenten, nodig om de wetten nauwkeurig vast te stellen, waardoor „deze elektrische en elastische geest werkt”. Daarmee sluit zijn boek over de „Principia mathematica”.

Hier kan blijken hoezeer ook *zijn* geest uit wil vliegen in fantasie. Maar zijn theorie blijft daarvan geheel vrij. Dit is het wezenlijke: in zijn theorie treden alleen de wiskundig bewijsbare betrekkingen op. Met deze wetten van de gravitatie laten zich de verschijnselen afleiden en berekenen; en daar

gaat het om. Wat hier voor den dag komt is de tegenstelling tussen de praktische denkwijze van de Engelse en de theoretische denkwijze van de vastelandse geleerden. De laatsten breken zich het hoofd met de vraag waar iets vandaan komt, uit welke grondwaarheden het volgt; de eersten bekommeren zich daar niet om, en zijn tevreden als zij er mee kunnen werken en een praktisch resultaat bereiken. Ongetwijfeld is dit een verschil in opvatting van algemene aard, dat in verschillen van levensomstandigheden, boven reeds vermeld, van de volken in hun geheel wortelde. Dezelfde persoonlijke vrijheid en energieke durf, die de Engelse burgers op de weg naar latere commerciële en industriële wereldmacht zou stuwen, maakte ook de Engelse natuuronderzoekers in hun „experimentele filosofie” tot baanbrekers in de wetenschap.

Want wat hier, ook bij NEWTON zelf, als resignatie optrad, niet vragen naar diepere oorzaken, maar toepassen tot verdere afleidingen, is het principe geworden van de latere wetenschap: een natuurwet is niet een „verklaring” uit primair vaststaande „oorzaken”, maar de korte samenvatting van een wijd gebied van verschijnselen, die er alle door enkel logische afleiding en wiskundige berekening uit volgen. In NEWTON's wet der gravitatie heeft de wetenschap haar eerste en lange tijd enige voorbeeld van een natuurwet gekregen als een overal en absoluut geldige preciese regel, zonder uitzondering, met precies gedetermineerde gevolgen. Als zodanig heeft zij een beslissende invloed uitgeoefend op de filosofie van KANT, waar deze de natuur als het rijk der noodzakelijkheid tegenover de zedeleer als het rijk der vrijheid stelt.

## 27. PRACTISCHE STERREKUNDE

De grote uitbreiding van het scheepsverkeer op de oceanen in de 17de en 18de eeuw bracht de behoefte mee aan steeds betere sterrekundige gegevens. De havens in de verre werelddelen, de kusten en eilanden moesten in kaart gebracht en hun ligging moest bepaald worden; en ook in de open zee, ver van alle land, moest de schipper, om niet blind te varen, zijn lengte en breedte kunnen meten. De bepaling van de geografische breedte was niet moeilijk; men behoefde slechts de grootste hoogte te meten, die de zon of een ster in het Zuiden, in de meridiaan bereikt. Mits men natuurlijk over een catalogus van declinaties der sterren en over goede tafels van de zon beschikte. Men had de Rudolfijnse tafels van KEPLER voor de zon, de maan en de planeten, en voor de Noordelijke hemel de stercatalogus van TYCHO. Maar de eisen werden gaandeweg hoger, en het was de taak van de sterrekundigen om daarin te voorzien. En ook de regeringen voelden de plicht om ten dienste van de handel dit sterrekundig werk te bevorderen.

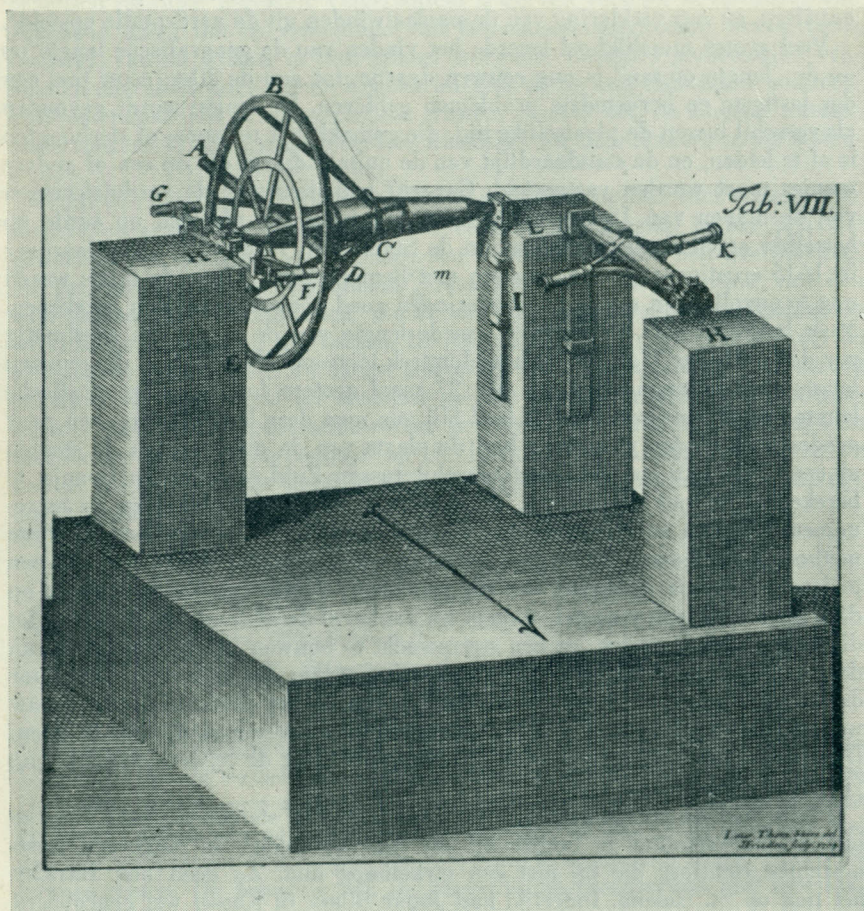
Voor de in Europa onzichtbare Zuidelijke delen van de hemel had men eerst niet anders dan de vrij ruwe plaatsen van ruim 300 sterren, door PIETER DIRKSZ KEYZER in 1595 bij Bantam en door FREDERIK DE HOUTMAN in 1600 gedurende zijn gevangenschap in Atjeh waargenomen. Daarom werd in 1676

de jonge HALLEY in opdracht van de Engelse regering uitgezonden naar St. Helena, waar hij de plaatsen van 350 Zuidelijke sterren nauwkeurig bepaalde. Zijn uitkomsten werden als supplement op TYCHO's catalogus gepubliceerd, en o.a. door HEVELIUS als aanhangsel aan zijn eigen catalogus afgedrukt. Het was op deze reis, dat HALLEY vele aardmagnetische, meteorologische en andere waarnemingen deed, waaruit hij de eerste getijdenkaart ontwierp, en een verklaring van de passaatwinden uit de aardrotatie opstelde.

Veel groter moeilijkheid leverde het vinden van de geografische lengte op — de „lengte op zee” is nog eeuwen daarna, tot aan de 20ste eeuw toe, een der lastigste en beroemdste problemen gebleven. De lengte wordt gevonden als verschil tussen de plaatselijke tijd, die gemakkelijk uit zons- of sterhoogten is af te leiden, en de standaardtijd van de nulmeridiaan, die op een of andere manier moet worden vastgesteld. GALILEÏ had daarvoor de verduisteringen van de manen van Jupiter voorgesteld, die voor alle plaatsen op aarde op hetzelfde ogenblik plaatsvinden; en de Staten van Holland hebben daarover in 1635 ernstige onderhandelingen met hem gevoerd. Maar de tafels waren nog te onvolkomen om de verduisteringen goed vooruit te kunnen berekenen. Meer belovend was het gebruik van de lengte van de maan, die regelmatig per dag  $13^\circ$ , dus  $\frac{1}{27}$  van de hemelomtrek toeneemt. Een fout in de gemeten lengte van de maan geeft dus een 27 maal grotere fout in de geografische lengte; maar men was toen al heel blij, als men deze laatste tot op een paar graden kon vinden. VESPUCCI had de plaats van de maan tussen de sterren al eens gebruikt om het lengteverschil tussen Zuid-Amerika en Spanje te berekenen, en ook PICAFETTA, de stuurman van MAGELHAEN, en de astronomen WERNER te Nürnberg en GEMMA FRISIUS te Leuven hadden deze methode aangegeven. De Franse regering van RICHELIEU stelde in 1634 een prijs op de goede oplossing van dit probleem; MORIN maakte aanspraak op deze prijs door een voorstel, waarin hij aanbeval de afstand van de maan tot diverse sterren te meten, en een sterrewacht te bouwen om de beweging van de maan door nauwkeurige metingen vast te stellen. De prijs werd hem door de daartoe ingestelde commissie ontzegd, omdat het denkbeeld niet nieuw was en MORIN geen enkel praktisch voorstel ter verwezenlijking wist te doen. Deze werd in de volgende eeuwen eerst mogelijk door de verdere ontwikkeling van de sterrekundige practijk.

TYCHO had de verschillen in Rechteklimming der sterren bepaald door ze met driehoeksmeting te berekenen uit hun afstanden in ongeveer west-oostelijke richting, die hij met een cirkelboog mat. Zo deed ook HALLEY het nog op St. Helena. Indertijd had JOOST BÜRGI in Kassel wel geprobeerd de rechte-klimmingen op de meest directe manier te meten als de tijdstippen waarop de sterren na elkaar de meridiaan passeren; maar dit stuitte af op de onbetrouwbaarheid, de onregelmatige loop der toenmalige door wrijving geremde klokken, die vele minuten per dag verkeerd liepen. Daarin kwam nu verandering door HUYGENS' uitvinding van het slingeruurwerk in 1656. GALILEÏ had reeds in 1605 opgemerkt dat een slinger (tenminste voor kleine schommelingen) een vaste, niet met de slingerwijdte veranderende slingtijd heeft, en dus geschikt is om de tijd door het aantal opeenvolgende precies gelijke intervallen (b.v. seconden) te meten. Verscheidene personen hebben zich daarna met het vraagstuk beziggehouden om met behulp van een seconde-slinger een bruikbaar uurwerk te maken, o.a. GALILEÏ's zoon VINCENZO.

HUYGENS wist het op een gelukkige manier op te lossen, op deze wijze, dat de slinger de draaiing van de tandraden regelt en tegelijk van dit raderwerk de impulsen krijgt nodig om steeds met gelijke uitslag te blijven slingeren. Zo werd het uurwerk, als automatisch telwerk van het aantal slingeren, tot een accuraat meettoestel van de tijd. En daarmee tevens tot een bruik-

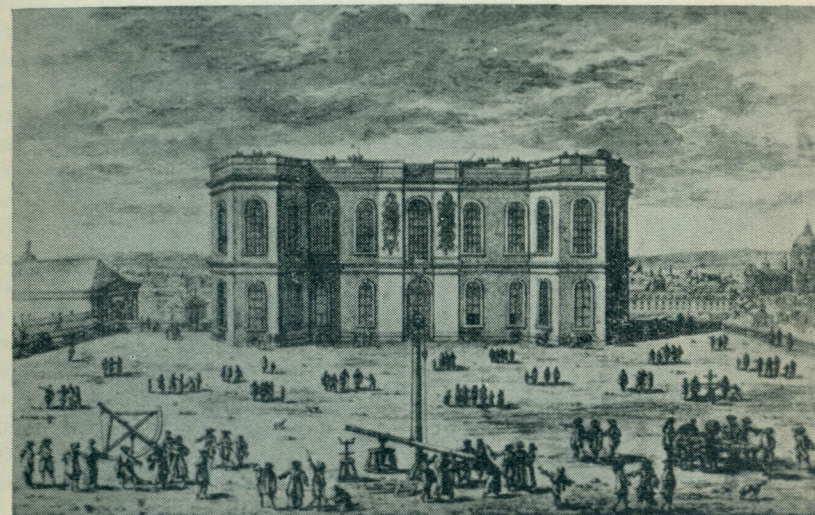


Meridiaankijker van RÖMER.

baar sterrekundig meetinstrument. OLE RÖMER heeft naderhand het daarbij meest passende waarnemingsinstrument op zijn sterrewacht te Kopenhagen geconstrueerd: het „passage-instrument”, een kijker, die om een horizontale O-W gelegen as kan draaien en daarbij de meridiaan beschrijft; het op de klok waargenomen tijdstip van doorgang van een ster door een verticale draad in het brandpunt doet dan de rechte-klimming van de ster kennen. Een fout van 1 seconde in tijd kwam wel met 15" aan de hemel overeen; maar door meerdere naast elkaar gespannen verticale draden te gebruiken kon de

fout wel tot beneden een seconde verkleind worden.

Hiermee was nu tegelijk een nieuw middel aan de hand gedaan om de lengte op zee te bepalen. Door een goed lopend uurwerk aan boord van het schip mee te nemen, kon men daarop direct de tijd van de nulmeridiaan aflezen. Maar een slingeruurwerk was op een slingerend schip niet bruikbaar te maken; hier konden niet anders dan door een veer bewogen draagbare uurwerken gebruikt worden. Nadat eerst HOOKE samen met TOMPION, de „vader van de Engelse horlogemakerskunst”, verdienstelijke constructies



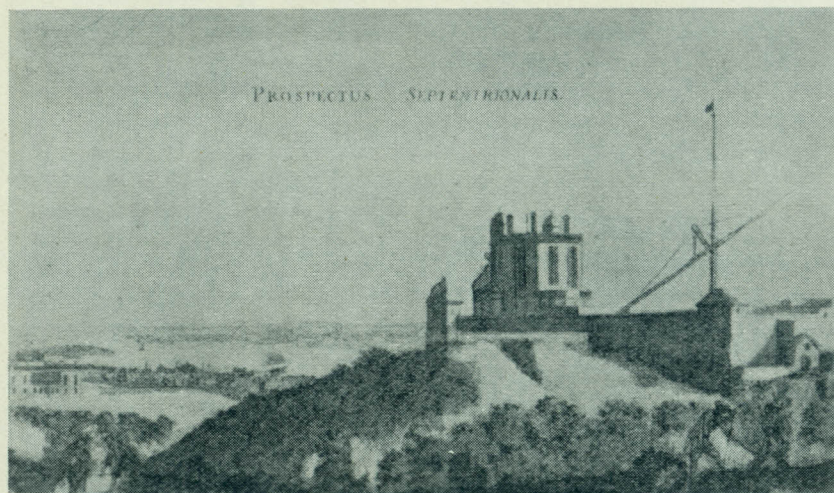
Sterrewacht te Parijs.

hadden uitgedacht, zonder geheel te kunnen slagen, heeft HUYGENS ook dit vraagstuk opgelost door hetzelfde principe in de vorm van een regelmatig slingerende regulator, de „onrust”, toe te passen. Zou zulk een „chronometer” na een tijd op zee 4 minuten verkeerd lopen, dan zou dit toch nog maar 1° fout in de lengte geven.

In deze eeuw wordt nu sterrekunde een zaak van staat en regering. Ook vroeger, in TYCHO's tijd, hadden vorsten met hun grotere middelen de persoonlijke liefhebberij der sterrekundigen ondersteund. Nu echter, onder het vorstelijk absolutisme, nam zulk een steun de vorm aan van een staatsbedrijf. Terwijl bij de ontwikkelde burgers, grondbezitters, geestelijken onder de prikkel van de nieuwe handels- en bedrijfs wereld een nieuwe cultuur opgroeiende, een streven naar wetenschap, een weetgierigheid naar de geheimen der natuur, waarvan de sterrekunde het meestbelovende voorwerp was, waren het voor de leiders van de staat in de eerste plaats de praktische toepassingen, de behoeften van de zeevaart en de aardrijkskunde, die hen tot het stichten van de eerste sterrewachten als staatsinstituten brachten.

Toen PICARD in een opdracht aan de koning, waarmee hij zijn in 1664 uitgegeven „Ephemeriden” inleidde, er op wees, dat in Frankrijk geen behoorlijk instrument voor de bepaling van poolshoogte te vinden was, gaf de koning opdracht in 1667 te Parijs een sterrewacht te bouwen; deze zou dan

tegelijk de zetel zijn van de nieuw geschapen Academie der Wetenschappen, om er te vergaderen en te experimenteren. Uit Italië werd de veelzijdige DOMINICO CASSINI naar Parijs geroepen om als directeur op te treden en door verdere ontdekkingen de roem van de vorst te verhogen. Voor het speciaal praktisch nuttige werk, de plaatsbepaling van sterren, zon en maan, was PICARD aangewezen. Hij gaf sinds 1679 de „*Connaissance des Temps*” uit, de eerste sindsdien regelmatig voortgezette zeemans-almanak, en voelde dus de noodzakelijkheid van goede waarnemingsgegevens. Hij wilde daarvoor



Sterrewacht te Greenwich.

een met kijker voorzien kwadrant van 5 voet straal laten maken, en het in de meridiaan opstellen voor het meten van hoogten en doorgangstijden. Maar daar het pompeuze bouwwerk alle geld verslond, kwam dit instrument eerst in 1683, na zijn dood, gereed. Zijn opvolger als waarnemer, LA HIRE, heeft er toen regelmatig een groot aantal waarnemingen mee gedaan. Deze dienden om de tafels te verbeteren en er nieuwe ephemeriden op te baseren. Maar er werd geen nieuwe stercatalogus uit samengesteld, en er werd evenmin aan gedacht, ook al wegens geldgebrek, de waarnemingen zelf te publiceren. Ze bleven op de sterrewacht bewaard, en sommigen er van zijn in latere tijden nog wel te pas gekomen.

In Engeland was een voorstel van een Frans bezoeker om voor de zeevaart waarnemingen van lengteverschillen te doen, aanleiding voor koning KAREL II om een rapport aan de Royal Society te vragen. Een der leden van de daartoe aangewezen commissie was JOHN FLAMSTEED (1646—1719), die zich sinds zijn jeugd met sterrekundige waarnemingen en metingen had bezig gehouden. Van zijn hand was ook het rapport, dat de noodzakelijkheid van een sterrewacht aantoonde, waar geregeld de plaatsen der hemellichamen zouden worden bepaald. De koning gaf toen in 1675 bevel, een sterrewacht te bouwen op een aan hem behorend buitenverblijf op een heuvel in Greenwich. Aan FLAMSTEED werd op een salaris van 100 pond jaarlijks de taak

van waarnemer opgedragen onder de naam van „koninklijk astronoom”, Astronomer Royal, wat sindsdien de titel voor de directeuren van de Greenwich sterrewacht is gebleven. Instrumenten waren er niet; daar moest FLAMSTEED zelf voor zorgen. Van zijn vriend MOORE kon hij een 7-voets sextant lenen, waarmee hij in 1676—1688 vele metingen deed van afstanden van sterren. Het was dus TYCHO's oude methode, maar nu was het sextant met twee kijkers toegerust, elk met een dradenkruis; de ene vaste kijker werd door beweging van het gehele instrument op de ene ster, de andere langs de cirkelboog draaibare kijker op de andere ster gericht, waarvoor dus twee waarnemers nodig waren. Op eigen kosten en met eigen kracht heeft hij toen een in de meridiaan opgesteld kwadrant gemaakt, dat eigenlijk een boog van anderhalf kwadrant omvatte, dus  $45^\circ$  over het zenith heen naar het Noorden reikte; het werd nu en dan nog versterkt en door zijn vaardige medewerker SHARP van een betere verdeling voorzien. Het instrument was aan een N-Z staande muur bevestigd; hiermee heeft hij vanaf 1689, ondanks wankelende gezondheid, regelmatig meridiaanhoogten en doorgangstijden van sterren, van zon en maan en van de planeten waargenomen. Hij liet het echter niet bij waarnemingen alleen, maar maakte ze ook voor de uitgave gereed; doch eerst na zijn dood verscheen in 1725 zijn „*Historia coelestis britannica*” met de plaatsen van 3000 sterren, die in nauwkeurigheid en in aantal sterren alle vroegere catalogi overtrof. De sterren zijn hier in elk sterrebeeld naar rechteklimming (en niet meer naar lengte) geordend en van opeenvolgende nummers voorzien, die later steeds in gebruik zijn gebleven; als men later een ster 61 Cygni noemt, is het omdat ze in FLAMSTEED's lijst de 61ste in de Zwaan is. Een hierop berustende later vaak herdrukte hemelatlas werd een paar jaar later, in 1729 uitgegeven.

De praktische sterrekunde wordt nu een regelmatig bedrijf van daartoe speciaal aangestelde deskundigen, vaak staatsambtenaren, voor wie de ambtsplicht bestaat in het doen van sterrekundige waarnemingen. Al komen daarbij ook nieuwe opzienbarende ontdekkingen voor, de hoofdzakelijke bezigheid is routinewerk van zorgvuldige en geduldige toewijding. Maar dan van een zich steeds vernieuwende routine, worstelend om steeds groter nauwkeurigheid te bereiken door voortdurende verbetering van methoden en instrumenten. Dit werd de grondslag van de zegetocht der astronomie in de volgende eeuwen.

De plaatsen van de vaste sterren moesten gemeten worden om als basis voor de studie van alle bewegingen in het wereldruim te dienen, door dat wat TYCHO vroeger bepaald had, nu nog nauwkeuriger te bepalen. Maar er kwam nog wat bij. Toen HALLEY in 1718 de moderne uitkomsten voor de breedte van Aldebaran, van Sirius en van Arkturus met de opgaven van PTOLEMAEUS vergeleek, vond hij dat ze nu alle drie meer dan een halve graad Zuidelijker stonden dan ze volgens de waarnemers uit de Oudheid moesten staan. „Wat moeten we hiervan zeggen? Het is nauwelijks te geloven dat de Ouden in „zulk een eenvoudige zaak zich zo vergist zouden hebben, waar toch drie „waarnemers elkaar bevestigen. Ook zijn deze sterren, omdat ze de helderste „aan de hemel zijn, waarschijnlijk het dichtst bij de aarde; en als zij een „bijzondere beweging van zich zelf hebben, zal dit bij hen het best te be- „merken zijn...”. De zogenaamde „vaste” sterren hebben dus niet een vaste plaats aan de hemel; ze hebben een eigen beweging, aan de hemelbol



en dus ook in de ruimte. Deze onverwachte uitkomst gaf een nieuwe kijk op de wereld. Zij bracht bovendien een bijzondere reden mee, om de plaatsen der sterren steeds opnieuw zo nauwkeurig mogelijk te meten.

Het nodigt en meest belovend was daarnaast het volgen van de bewegende hemellichamen, de maan en de planeten. Natuurlijk bleek toen, dat de Rudolfijnse tafels niet precies hun werkelijke loop voorspelden; overal kwamen afwijkingen voor den dag. Voor een deel kon dat in orde worden gebracht door kleine wijzigingen, dus nauwkeuriger getallenwaarden voor de elementen van de loopbanen. Maar volgden de planeten wel precies de wetten van Kepler? Wel in hoofdzaak, wel genoeg om de geldigheid van deze wetten te bevestigen; maar er kwamen toch afwijkingen voor den dag. Het was weer HALLEY die in 1676 opmerkte, dat Saturnus langzamer en Jupiter sneller liep dan het moest volgens de tafels; hun omlooptijden waren sinds KEPLER's tijd veranderd. En toen de nauwkeuriger waarnemingen telkens nieuwe, kleine afwijkingen toonden, moest de gedachte opkomen, dat de wetten alleen maar voor een gemiddelde normale baan gelden, en, evenals de temperatuur met de jaargetijden verandert, de werkelijke beweging daarvan in onregelmatig grillige wisselingen wat afwijkt. Gelukkig kwam toen juist NEWTON's afleiding van de algemene wet der aantrekking. Volgens deze wet moet een planeet door de aantrekking, die zij van de zon ondervindt, precies aan de wetten van KEPLER gehoorzamen. Maar volgens dezelfde wet trekken alle lichamen elkaar aan; elke planeet ondervindt behalve de aantrekking van de zon ook die van de andere planeten; en al is deze zeer veel kleiner, zo is daarin toch een oorzaak te vinden, waardoor ze van de Kepler-ellipsen wat afwijken, wel grillig maar toch door vaste oorzaken bepaald.

## 28. STERREKUNDIGEN OP REIS

Met de uitbreiding van het scheepsverkeer over de oceanen komen nu ook de expedities van sterrekundigen naar verre werelddelen, om bepaalde bijzondere of algemene problemen op te lossen. HALLEY's expeditie naar het eiland St. Helena werd reeds vermeld. Een sterk initiatief ging daarbij uit van de nieuwe gestichte genootschappen, als gevolg van daar gevoerde discussies. Met name de Parijse Academie speelde daarbij een rol, daar de leden door de koning bezoldigd werden, en zo voor extra uitgaven een beroep op de staatskas konden doen.

Zo werd in 1671 het Academie-lid RICHER naar Cayenne gezonden om er de sterren en de planeten waar te nemen, speciaal met het oog op de paralaxe van de zon. Meer dan door haar bedoelde uitkomst is zij bekend geworden door een bijkomstig resultaat. RICHER nam een slingeruurwerk mee, dat te voren in Parijs goed geregeld was. In Cayenne bleek hem, dat de klok twee minuten per dag te langzaam liep, en dat de slinger  $\frac{1}{380}$  van zijn lengte moest verkort worden om met de aardrotatie gelijk te blijven. Hij begreep spoedig, dat dit een gevolg was van de vermindering der zwaarte-

kracht door de middelpuntvliedende kracht ten gevolge van de aswenteling der aarde; na terugkomst te Parijs in 1673 moest dan ook de slinger weer op de oude lengte hersteld worden. De vermindering van de zwaarte door de middelpuntvliedende kracht was precies te berekenen, en naar de berekening kon ze maar  $\frac{1}{580}$  zijn; HUYGENS en NEWTON beschouwden dit verschil als een empirisch bewijs voor hun theoretisch afgeleide afgeplatte gedaante van de aarde. Hierboven werd reeds vermeld, hoe daartegenover de Franse sterrekundigen, vooral op grond van de graadmetingen in Frankrijk, volhielden, dat de aarde in de richting van de polen uitgerekte moest zijn.

Toen echter in het begin van de 18de eeuw de aantrekkingsleer van NEWTON ook in Frankrijk aanhang begon te vinden, begrepen de Franse sterrekundigen, dat het kleine verschil in de lengte van een graad tussen Noord- en Zuid-Frankrijk de kwestie niet kon uitmaken. De Academie besloot daarom een expeditie uit te zenden om in de buurt van de evenaar een graadmeting te doen. Bij een afgeplatte aarde moet de kromming van een meridiaan daar sterker zijn dan in Europa. In 1735 gingen BOUGUER en LA CONDAMINE naar wat toen Peru heette en nu Ecuador, waar zij in de Noord-Zuid gerichte bergvlakte van Quito een meridiaanboog van  $3^\circ$  maten. Hun opdracht luidde om bovendien een lengtegraad Oost-West te meten; bij een afgeplatte aarde moest deze langer, bij een uitgerekte aarde korter zijn dan de breedtegraad. Maar dat was in dit ontzaglijke bergland met zijn Noord-Zuid lopende ketens onmogelijk uit te voeren, en bovendien waren bepalingen van lengteverschillen heel wat onnauwkeuriger dan breedtemetingen. Door allerlei wederwaardigheden en strijd kwamen de waarnemers eerst in 1743 terug; maar het resultaat van hun werk was afdoende en beslissend: bij Quito vond BOUGUER 56753 toises voor  $1^\circ$ , beslist veel minder dan de 57057 toises in Frankrijk.

Intussen was kort na hun vertrek op voorstel van MAUPERTUIS, om de beslissing nog afdoender te maken, besloten om een tweede expeditie naar het hoge Noorden uit te zenden. In 1736 ging MAUPERTUIS, vergezeld door CLAIRAUT en enige andere jonge geleerden, naar Lapland, waar ze dicht bij Tornea, onder veel ontbering, deels op het ijs, deels langs de rivieroevers een meridiaanboog van  $0^\circ 57'$  maten. Ook de uitkomst van deze metingen,  $1$  graad = 57438 toises, leverde een afdoend bewijs voor de afplatting van de aarde; en daar MAUPERTUIS dadelijk naar Frankrijk terugkeerde, kon hij aldaar reeds in 1738 als de man optreden, die het eerst de waarheid van de theorie empirisch had bewezen. Wel bleken, bij nauwkeuriger bezien, de getallenwaarden nog al uiteen te lopen; uit het verschil Tornea-Parijs volgde een afplatting  $\frac{1}{114}$ , uit het verschil Quito-Parijs  $\frac{1}{279}$ , dus veel minder. Het bleek uit latere metingen, dat de laatstgenoemde waarde ongeveer juist was; het werk in Peru was met grote zorgvuldigheid en nauwkeurigheid uitgevoerd. In Lapland was alles veel moeilijker geweest; na een zo strenge winter, dat zelfs het kwikzilver in de thermometers bevroor, en de instrumenten nauwelijks te hanteren waren, keerden de waarnemers zo spoedig mogelijk terug. En bij een hernieuwde meting in de 19de eeuw bleek, dat MAUPERTUIS het breedteverschil te klein, dus zijn graad te groot had bepaald.

Andere expedities in de 18de eeuw stonden in verband met het vraagstuk van de zonsparallaxe, de fundamentele grootte, die de afstand aarde-zon en daarmee alle afmetingen in ons zonnestelsel bepaalt. TYCHO had daarvoor

nog steeds, naar de traditie van de Oudheid, 3' aangenomen. KEPLER had in zijn Mars-werk uit Tycho's waarnemingen afgeleid, dat ze niet wel boven 1' kon liggen. VENDELINUS had omstreeks 1630 nog eens de oude methode van ARISTARCHUS toegepast, maar nu door met een kijker nauwkeuriger het ogenblik van halvering van de maanschijf te bepalen. Hij vond dat dat gebeurde als de maan  $\frac{1}{4}^\circ$  minder dan  $90^\circ$  van de zon afstond, 12 maal minder dan ARISTARCHUS had aangenomen; daaruit volgde een 12 maal grotere afstand en een 12 maal kleinere parallaxe, 15". Groter nauwkeurigheid te bereiken werd door de ruwe bergachtigheid van het maanoppervlak verhinderd.

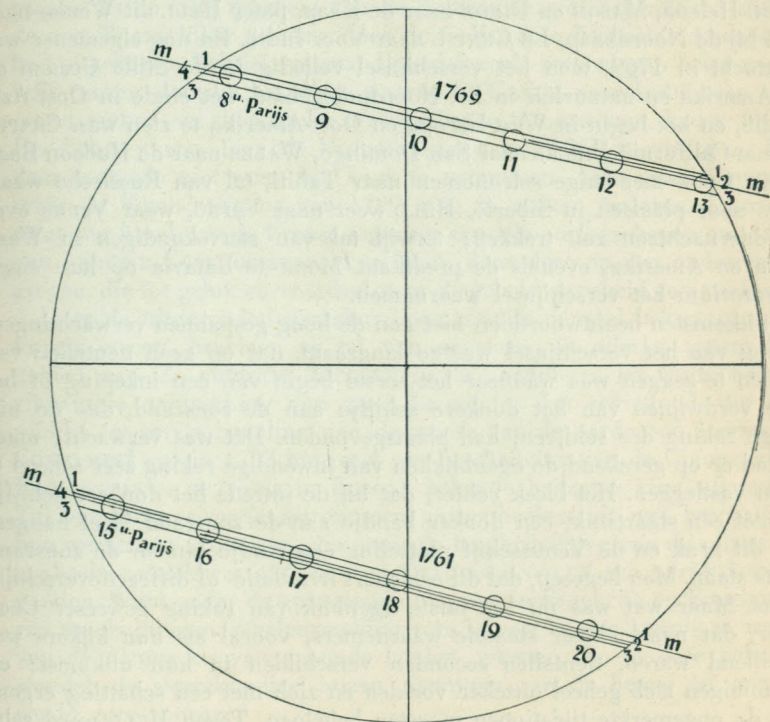
De reeds vermelde expeditie van RICHER naar Cayenne was speciaal bedoeld om de parallaxe van Mars te bepalen, als deze in de herfst van 1672 de aarde tot op een afstand 0,37 naderde, dus zijn parallaxe bijna driemaal zo groot was als die van de zon. Daartoe werd de declinatie van Mars en van naburige sterren gemeten, terwijl CASSINI dezelfde metingen te Parijs deed. Het verschil kwam wel dicht aan de grens van de nauwkeurigheid van die tijd. CASSINI leidde er uit af, dat de parallaxe van Mars niet wel boven 25", dus die van de zon niet boven 10" kon liggen; ten slotte werd  $9\frac{1}{2}''$  aangenomen. Voor het eerst was dus de afstand van de zon uit directe parallaxe-metingen afgeleid; ook in ongeveer de goede orde van grootte, maar toch met meerdere seconden, dus  $\frac{1}{3}$  of  $\frac{1}{4}$  van het bedrag, onzekerheid.

Naderhand is dezelfde methode, met ietwat betere instrumenten, nog eens toegepast door de ijverige LACAILLE, die in 1751 naar de Kaap de Goede Hoop trok en daar tien jaar bleef, om de plaatsen van een aantal Zuidelijke sterren te bepalen, en tevens de parallaxen van de zon en van de maan te meten. Voor de maanparallaxe kreeg hij een goede nauwkeurige waarde: 57'5". Voor de zonsparallaxe nam hij, behalve Mars in oppositie, ook de sikkelvormige Venus dicht bij de benedenste conjunctie waar, daar zij dan dicht bij de aarde staat. Maar de Europese sterrekundigen lieten hem voor corresponderende waarnemingen in de steek; daardoor waren de uitkomsten niet heel mooi: 10,2" uit Mars, 10,6" uit Venus, waarbij de afzonderlijke waarden meerdere seconden uiteenliepen.

Maar intussen was er een veel meer belovende methode opgekomen. Bij zijn verblijf op St. Helena in 1676 had HALLEY een overgang van Mercurius over de zonnenschijf waargenomen, waarbij dus de zon de achtergrond voor de plaats van de planeet vormt; en hij had zelfs getracht uit de tijden van ingang en uitgang een waarde voor de zonsparallaxe af te leiden. Dit was natuurlijk hoogst onnauwkeurig, en de uitkomst 45" was waardeloos. Maar het gaf toch aanleiding tot de overweging, dat als Venus in de plaats van Mercurius was geweest, de omstandigheden zeer veel gunstiger zouden zijn. De beweging van Venus voor de zonnenschijf langs is zo langzaam, dat zij 7 uren nodig heeft om de zonsmiddellijn te doorlopen, dus 14 tijdseconden voor een verplaatsing van 1" besteedt. Daardoor kan de door de parallaxe bewerkte verplaatsing in hoogte (22"), die een verandering in lengte van de doorlopen koorde bewerkstelligt, een verschil van 5 minuten in het tijdstip van intrede of uitgang bewerken. Zou men dus bij het waarnemen van dit tijdstip een fout van b.v. 3 seconden maken, dan zou dat in de zonsparallaxe een fout van slechts  $\frac{1}{100}$  van het gehele bedrag bewerken. Geen wonder dat

HALLEY in zijn pleidooi voor deze methode in 1691 de opmerking maakte: „er is maar één soort waarneming, die in de komende eeuw de afstand van „de zon tot de aarde zal doen kennen, nl. als Venus zich vóór de zonnenschijf „zal bevinden op 26 Mei 1761 (oude stijl); dan is de parallaxe van Venus „bijna 3 maal die van de zon, de waarnemingen zijn gemakkelijk, en men „kan er alles uit leren kennen wat voor de inspanning der mensen bereik- „baar is”.

Om vóór langs de zonnenschijf te gaan moet Venus in benedenste conjunctie dicht bij een knoop van haar baan zijn; en daar 5 perioden op enkele dagen na 8 jaren uitmaken, vindt 8 jaar later de benedenste conjunctie weer dicht bij de knoop plaats. De plaats verschuift daarbij  $2,4^\circ$  in lengte, wat een verandering van 8,5' in breedte meebrengt, van uit de zon gezien, en dus van uit de aarde gezien 22' verschil in breedte betekent. De zon heeft een middellijn van ruim 30'; er zijn dus twee opeenvolgende overgangen, 8 jaar na elkaar, zichtbaar; daarna verschuift de plaats van conjunctie te ver van de



Voorbijgang van Venus over de zonnenschijf.

m, Weg van Venus voor het aardmiddelpunt.

1761: 1. Rodrigues, 2. Parijs, 3. Tobolsk, 4. Tahiti.

1769: 1. Tahiti, 2. Batavia, 3. Vardö, 4. Parijs.

knoop weg. Na ruim een eeuw komt dan dicht bij de andere knoop een nieuwe conjunctie, zodat dan weer 8 jaar na elkaar twee voorbijgangen voor de zon plaatsvinden. KEPLER had reeds te voren vaag over het bijzondere en belangrijke van deze verschijnselen gesproken. De eerste maal, dat zulk een voorbij-

gang werd waargenomen, was op 4 Dec. 1639 door de reeds vermelde HORROX, die daarover vol enthousiasme aan zijn vriend en medewerker CRABTREE schreef. De volgende voorbijgangen op 6 Juni 1761 en 3 Juni 1769 waren diegenen waarop HALLEY nu, en nog eens uitvoeriger in een verhandeling in 1716, de aandacht vestigde. Hij wees daar op de wenselijkheid om op zoveel mogelijk stations op aarde de tijdstippen van ingang en uitgang waar te nemen, niet enkel ver naar het Zuiden en naar het Noorden, maar ook ver Oostelijk en Westelijk, waar maar een van beide zichtbaar zou zijn.

Toen de tijd naderde vond zijn oproep weerklank in de sterrekundige wereld. Uit Frankrijk en Engeland trokken tal van astronomen er op uit, op reis naar verre halfbekende oorden. Over geheel Azië benevens het Noordpoolgebied was het verloop in zijn geheel te volgen, daarnevens in West-Europa en de Atlantische Oceaan alleen het uittrekken, op de Australische eilanden alleen de intrede. PINGRÉ ging naar het eiland Rodrigues in de Indische Oceaan, CHAPPE D'AUTEROUCHE naar Tobolsk in Siberië, MASKELYNE naar St. Helena, MASON en DIXON naar de Kaap, pater HELL uit Wenen naar Vardö bij de Noordkaap, LE GENTIL naar Voor-Indië. En nog algemener was de uittocht in 1769, toen het verschijnsel volledig in de Stille Oceaan en West-Amerika en natuurlijk in het Noordpoolgebied, het einde in Oost-Azië en Indië, en het begin in West-Europa en Oost-Amerika te zien was. CHAPPE ging naar Californië, PINGRÉ naar San Domingo, WALES naar de Hudson Baai, kapitein COOK met enige astronomen naar Tahiti, tal van Russische waarnemers naar plaatsen in Siberië, HELL weer naar Vardö, waar Venus over de middernachtzon zou trekken; terwijl tal van sterrekundigen in West-Europa en Amerika, evenals de predikant MOHR te Batavia op hun eigen observatorium het verschijnsel waarnamen.

De uitkomsten beantwoordden niet aan de hoog gespannen verwachtingen. De gang van het verschijnsel was zo langzaam, dat op geen tientallen van seconden te zeggen was wanneer het eerste begin van een inkeping of het laatste verdwijnen van het donkere schijfje aan de zonsrand, dus de uitwendige raking der schijven, had plaatsgevonden. Dat was verwacht; maar men had er op gerekend de ogenblikken van inwendige raking zeer scherp te kunnen vastleggen. Het bleek echter, dat bij de intrede het donkere schijfje eerst met een staartstuk, een donker bandje aan de zonsrand bleef hangen, totdat dit brak en de Venusschijf plotseling een eindje binnen de zonsrand bleek te staan. Men begreep, dat dit een soort irradiatie- of diffractieverschijnsel was. Maar wat was nu het juiste ogenblik van raking geweest? Geen wonder, dat naast elkaar staande waarnemers, vooral als hun kijkers wat verschillend waren, tientallen seconden verschilden in hun uitkomst; en dat sommigen zich geheel onzeker voelden en zich met een schatting ergens tussen de opgemerkte tijdstippen moesten behelpen. Tegen HELL werd zelfs later de beschuldiging geuit, dat hij naderhand zijn uitkomsten veranderd en gefatsoeneerd had.

De uitkomsten voor de zonsparallaxe, die verschillende bewerkers uit verschillende combinaties van eigen en anderer waarnemingen afleidden, liepen dan ook heel wat meer uiteen, dan HALLEY's optimisme indertijd had gehoopt. Er kwam nog bij dat de geografische lengte van tal van waarnemingsstations slechts ruw en onvolkomen bekend was. Veelal moest deze voor 1761 uit enige door de waarnemers zelve verrichte waarnemingen van verduiste-

ringen van Jupiters satellieten afgeleid worden; in 1769 kon een partiële zoneclips, die op dezelfde dag viel, gebruikt worden. Allerlei waarden voor de parallaxe tussen 8,55" en 8,88" werden gevonden. Maar daarmee was dan toch een geweldige vooruitgang geboekt. In plaats van meerdere seconden, zoals te voren, liepen de uitkomsten nu nog maar enkele tienden van een seconde uiteen. Was vroeger de parallaxe, dus ook de afstand van de zon, slechts tot op omstreeks een vierde van het bedrag bekend, nu kon men zeggen, dat ze beide tenminste tot op een dertigste of een veertigste van hun waarde verzekerd waren. Zo hebben de Venus-expedities van de 18de eeuw dan toch ten volle aan hun doel beantwoord.

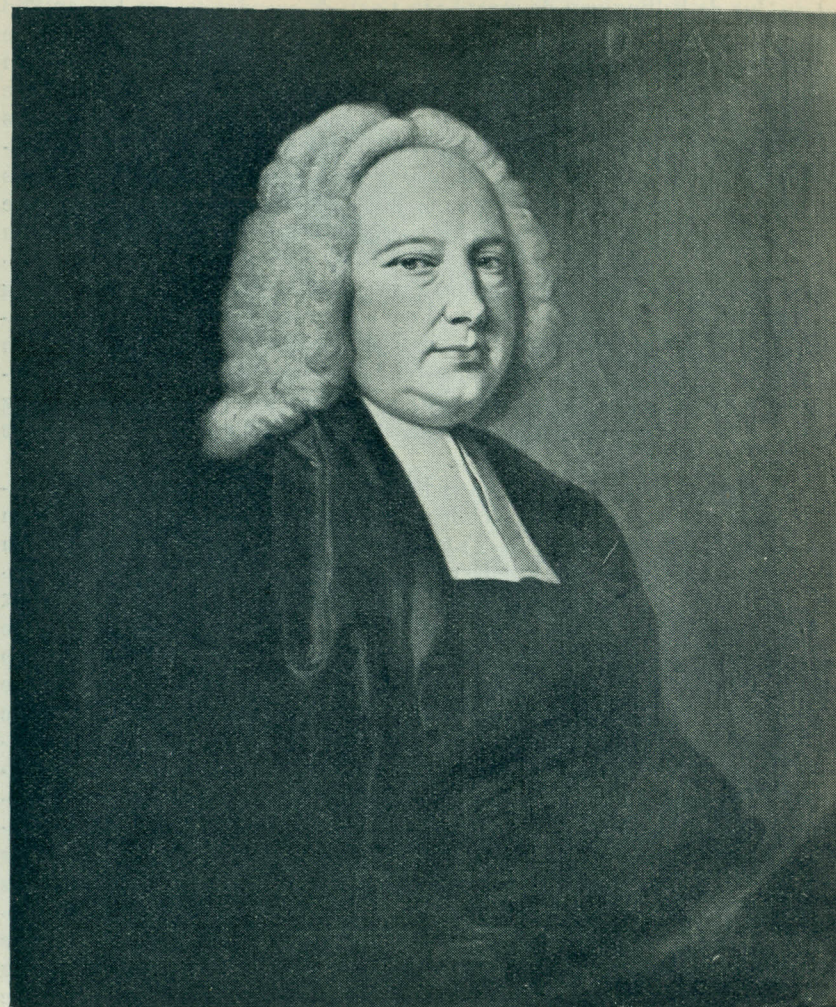
Men mag deze sterrekundige expedities niet beoordelen naar de verkeers-toestanden van onze latere tijden. Het reizen was toen veel bezwaarlijker, en daardoor ook vol avontuur. Men wist veel minder van de verre landen en streken, en nog minder van hun natuurlijke gesteldheid. Er is wel eens opgemerkt, dat anders wellicht MAUPERTUIS voor zijn Noordelijke graadmeting in plaats van de kille ijzigheid van de Bothnische golf het mildere klimaat van de nog Noordelijker gelegen, door de Golfstroom bespoelde Atlantische kust had uitgekozen. Politieke omstandigheden zoals zeeoorlogen belemmerden het vrije reizen; doordat het schip, waarop LE GENTIL naar Indië voer, omwegen moest maken om de Engelse oorlogschepen te ontwijken, kwam hij eerst in Pondicherry aan, toen de Venusovergang van 1761 voorbij was. Hij bleef daar toen om niet weer zijn kans te verzuimen, deed velerlei nuttig werk, maar de Venusovergang van 1769 ging in wolken verloren. Daartegenover staat een bevel van de Franse regering aan alle oorlogschepen om de schepen van kapitein COOK ongemoeid te laten, daar deze op een onderneming uitgingen, die tot geluk en voordeel voor de gehele mensheid zou strekken.

Daar de uitgezonden sterrekundigen tegelijk meestal bekwaam op velerlei terrein waren, brachten zij tal van gegevens op allerlei wetenschappelijk gebied mee. Zo ontdekte BOUGUER in de Cordilleras bij Quito het eerst de zijdelingse aantrekking van grote bergen op het schietlood, die later een middel tot eerste bepaling van de massa van de aarde zou leveren. En LA CONDAMINE gaf in 1738 het eerst een beschrijving van de Cinchona-boom in Peru waarvan de reeds in Europa bekende heilzame kina afkomstig was. Tal van deze reizende astronomen gaven boeken uit met beschrijving van hun werken en avonturen, die naast de beschrijvingen van de reizen van geografische ontdekkers als COOK en DE BOUGAINVILLE een talrijk lezerspubliek vonden. Want onder de opkomende burgerij in Frankrijk en Engeland was er een steeds groeiende belangstelling voor al wat er aan kennis en wetenschap van de natuur en van vreemde landen opkwam. En in deze belangstelling stonden de sterrekundige reizen, avontuur aan de hemel en avontuur op aarde, mee vooraan.

Met de sterrekundige metingen was het toch niet helemaal in orde. Er werd wel ijverig getracht de onzekerheid der metingen steeds kleiner te maken. De refractie, de straalbreking in de atmosfeer, was een zeer hinderlijke bron van fouten; tal van sterrekundigen werkten in deze en volgende tijden aan de taak, door theorie en waarneming haar juiste verloop af te leiden en correctietafels samen te stellen. Maar ook, na correctie hiervoor, weken de waarden voor de declinaties der vaste sterren, die men in Parijs en in Greenwich bepaalde, soms nog tientallen van seconden van elkaar af. PICARD had dit vroeger ook al gehad. FLAMSTEED meende, dat deze verschillen, die met de loop van het jaar samenhangen, door een jaarlijkse parallaxe van de sterren bewerkt kon zijn; maar zijn collega's wezen hem er op, dat dan het verloop met het jaargetij heel anders had moeten zijn. Door een jaarlijkse parallaxe moet een ster zich iets naar de plaats toe buigen waar de zon zich in de ecliptica bevindt; en dat kwam niet uit.

Om deze kwestie uit te maken liet MOLYNEUX in 1725 op zijn buitengoed te Kew bij Londen een instrument opstellen, dat bestond uit een slechts enkele graden omvattende cirkelsector van zeer grote straal, 24 voet, verticaal in de meridiaan opgesteld, waarlangs een kijker op een ster gericht kon worden, die dicht bij het zenith culmineert. Veranderingen in de declinatie, dus in de afstand tot het zenith, konden dan zeer nauwkeurig worden vastgesteld; zoals later bleek waren de metingen tot op 2'' nauwkeurig. Daar hij dadelijk bij het begin door een benoeming bij de Admiraliteit het waarnemen moest opgeven, nam zijn jongere vriend JAMES BRADLEY (1692—1762), sinds 1721 professor in Oxford, die er al aan had deelgenomen, het werk verder over. De ster  $\gamma$  Draconis, het eerste object van waarneming, toonde inderdaad een duidelijke en regelmatige verandering: van December 1725 tot de volgende Maart liep de ster 20'' naar het Zuiden, keerde toen om, liep tot September 40'' naar het Noorden, keerde weer om, en was in December weer nagenoeg op de waarde van uitgang teruggekeerd. Het was dus een periodieke verandering in een jaar; maar het kon geen parallaxe zijn, want dan had de ster in December zo ver mogelijk Zuid, in Juni zo ver mogelijk Noord moeten staan. Met een bredere sector van kleiner straal, 12 voet, die 6° ter weerszijden van het zenith reikte, volgde hij nu sinds 1727 meerdere andere sterren. Alle vertoonden overeenkomstige veranderingen, des te kleiner naarmate ze dichter bij de ecliptica stonden. En weldra wist BRADLEY ook, in 1728, de verklaring te geven: een schijnbare afdwaling, „aberratie”, van de lichtstralen; doordat de kijker met de aarde in haar baan in snelle vaart wordt voortbewogen, terwijl de lichtstraal er met 10.000 maal grotere snelheid doorheenschiet, moet de kijker iets overhellen naar de richting van de aardbeweging.

Hier bleef het niet bij. Toen BRADLEY de waarnemingen van  $\gamma$  Draconis in de volgende jaren voortzette, bemerkte hij dat er nog een tweede schommeling bijkwam: 9 jaren lang werd de declinatie van de ster groter en daarna 9 jaren kleiner, over een bedrag van 18''. Deze verandering, met overeenkomstige bij andere sterren, op zijn verzoek bevestigd door gelijktijdige waarnemingen van LEMONNIER te Parijs, kon verklaard worden (in 1748) door



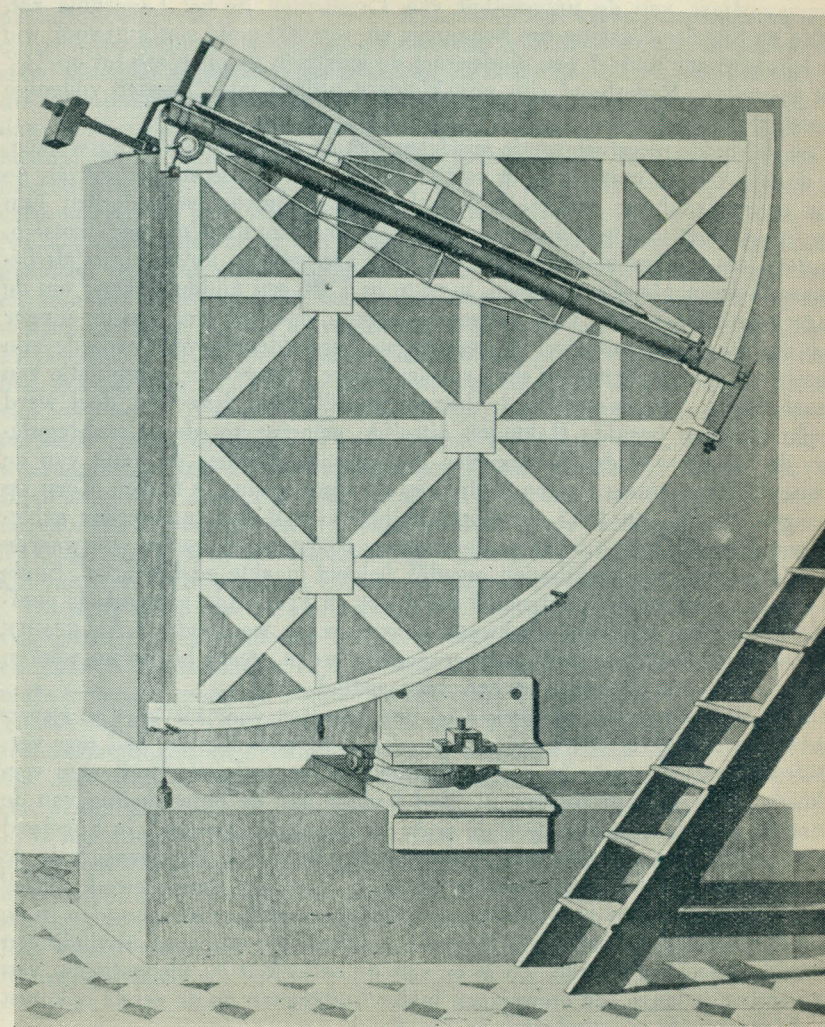
JAMES BRADLEY.

een „nutatie”, een kegelbeweging van de aardas, als kleine storing gesuperponeerd op de grote langzame kegelbeweging van de praecessie. De periode van 18 jaar, gelijk aan de omloopstijd van de knopen van de maanbaan, waarin dus de helling van de maanbaan t.o.v. de evenaar tussen  $18^\circ$  en  $28^\circ$  schommelt, wees op de wisselende aantrekking van de maan op de afgeplatte aarde als oorzaak van het verschijnsel. „Aan deze beide ontdekkingen van BRADLEY” zegt DELAMBRE, „hebben wij de nauwkeurigheid van de moderne „sterrekunde te danken. Deze dubbele dienst verzekert hem de hoogste plaats „na die van HIPPARCHUS en KEPLER, en stelt hem boven de grootste sterrekundigen van alle tijden en landen”. Mag deze lofuiting ietwat te mateloos klinken, de eerste uitspraak is letterlijk juist. Zolang door deze oorzaken de sterplaatsen  $40''$  en meer veranderden, was het hopeloos om de metingen nauwkeuriger dan tot b.v.  $10''$  te willen maken. Slechts door de metingsuitkomsten, behalve van de voortgaande verandering door praecessie, ook nog van deze beide grote, precies berekenbare schommelingen te bevrijden, kunnen ze standvastige waarden voor de stercoördinaten opleveren, die dan nog alleen door de werkelijke, onvermijdelijke waarnemingsfouten uiteenlopen. En nu eerst loonde het om deze waarnemingsfouten door verfijning van instrumenten en methoden tot een steeds geringer aantal seconden te verkleinen.

De meetinstrumenten werden nu inderdaad ook beter, en wel vooral doordat er afzonderlijke vaklui opstonden, die een bijzondere bedrevenheid in de vervaardiging ontwikkelden. FLAMSTEED had nog zelf met behulp van zijn medewerker SHARP zijn kwadranten geconstrueerd. Maar een groter volkomenheid werd daarin bereikt door GEORGE GRAHAM, die voor MOLYNEUX en BRADLEY de instrumenten vervaardigde, waarmee de aberratie en de nutatie ontdekt werden. Hij gebruikte daarbij een vernuftige methode om op kwadranten en kleinere sectoren goede, nauwkeurige graadverdelingen te maken. Ook paste hij daarbij het aflezen van onderdelen door middel van de draaiing van een schroef toe. Toen HALLEY in 1721 als opvolger van FLAMSTEED directeur in Greenwich werd, vond hij alle instrumenten door de erfnamen weggehaald, daar ze FLAMSTEED's persoonlijk eigendom waren geweest. HALLEY kon toen op staatskosten de sterrewacht van nieuwe instrumenten voorzien; en deze werden alle door GRAHAM geleverd. GRAHAM's jonge medewerker BIRD, die de zaak voortzette, heeft in zijn werkplaats niet alleen voor de sterrekundigen in Greenwich maar voor een aantal Europese sterrewachten de instrumenten vervaardigd, die door hun voortreffelijke uitvoering de nauwkeurigheid tot een hoger peil opvoerden. In 1767 kreeg hij 500 pond sterling van de regering om in een boek ten algemene nutte zijn methode van nauwkeurig verdelen van cirkelranden te beschrijven.

Deze ontwikkeling van het instrumenten maken tot een fijn handwerk van speciale vaklieden was alleen mogelijk, doordat er nu een algemene vraag naar meetinstrumenten kwam. En wel hoofdzakelijk van uit de zeevaart. Om de plaatsbepaling op zee, door het meten van zonshoogten en maanlengten, te verfijnen, waren nauwkeurige meetinstrumenten voor het gebruik in de vrije hand nodig. Sinds de middeleeuwen had men zich op zee aldoor met de Jakobsstaf beholpen; maar ook de geoefendste stuurman kon daarmee geen groter nauwkeurigheid dan meerdere minuten bereiken. NEWTON had reeds omstreeks 1700 een instrument ontworpen, waarin door middel van spiegels

de lichtstralen van twee hemellichamen in dezelfde kijker, elk door de halve objectiefopening, worden gebracht; maar het is niet verder bekend geworden. In 1731 gaf JOHN HADLEY de beschrijving van een spiegelkwadrant, de eerste vorm waaruit daarna het spiegelsextant ontstond, als de meest handige



Kwadrant van BIRD.

vorm. Op een schommelend schip in de hand gehouden kon daarmee de afstand van twee hemellichamen (of van de zon en de kim) door instelling en tot dekking brengen van twee beelden in één kijker, met grote nauwkeurigheid bepaald worden. Dit sextant is sindsdien het onontbeerlijkste instrument voor iedere zeeman geworden; en de regelmatige vervaardiging voor de zich vooral in Engeland snel uitbreidende zeevaart verhief de instrumentmakerskunst tot een regelmatig, bloeiend, zich steeds meer ontwikkelend bedrijf. En

van deze vakbekwaamheid profiteerde weer de sterrekunde.

Nu Engeland in handel en scheepvaart steeds meer de eerste plaats ging innemen, werd ook hier het vraagstuk van de lengte op zee steeds meer een zaak van openbaar belang. Op voorstel van NEWTON, die sinds 1701 als vertegenwoordiger van de universiteit van Cambridge in het Lagerhuis zat, loofde de Engelse regering een hoge prijs uit (30.000 pond sterling) voor wie een betrouwbaar middel zou vinden om de lengte in de open zee tot op  $\frac{1}{4}^\circ$  vast te stellen. Naderhand zijn nog kleinere prijzen voor minder volledige oplossingen uitgelooft.

Een der beide meestbelovende middelen was de verbetering der uurwerken, om de tijd van de nulmeridiaan vast te houden. Zowel de slingerklok als de door een spiraalveer geregelde draagbare chronometer veranderden hun gang sterk met de temperatuur, door de warmte-uitzetting der metalen. GRAHAM, als uurwerkmaker de leerling van TOMPION en boven reeds als bekwaam instrumentmaker vermeld, maakte in 1726 een middel bekend om de slingerlengte ongevoelig voor warmte te maken, door de lens van de slinger door een fles met kwikzilver te vervangen. Terzeldertijd vervaardigde zijn jongere vakgenoot HARRISON een „roosterslinger”, waar door combinatie van metaalstangen van verschillende uitzettingscoëfficiënt hetzelfde doel werd bereikt. Daarop breidde HARRISON ditzelfde principe tot de spiraal-reguleur, de onrust, van de chronometer uit, en wist daarmee de gang van de chronometer nagenoeg onafhankelijk van de temperatuur te maken. Toen op zeereizen in 1761 en 1765 de voortreffelijkheid van deze uurwerken gebleken was, kreeg hij eerst 5000 en daarna nog 10.000 pond, onder voorwaarde dat hij zijn constructiemethoden openlijk bekend maakte en beschreef. Sinds die tijd zijn niet enkel in Engeland maar ook in Frankrijk, grotendeels onafhankelijk, door verschillende bekwame constructeurs, waaronder J. A. LEPAUTE en FERDINAND BERTHOUD het meest geroemd werden, steeds betere uurwerken speciaal ook voor de lengte op zee, vervaardigd.

Dat de fabricage van uurwerken en instrumenten voor zeevaart en sterrekunde zich in Engeland tot een gevestigd bedrijf ontwikkelde, had nog verder-strekkende gevolgen. In de geschiedboeken der techniek vindt men vermeld, dat de meeste uitvinders, die deel hadden aan de ontwikkeling van de spinmachines, waardoor in de 18de eeuw de industriële revolutie in Engeland werd ingeleid, zoals ARKWRIGHT, HARGREAVES, CROMPTON, zich vroeger in de uurwerkmakerij vertrouwd hadden gemaakt met fijn precisiewerk. Daar hebben zij de bekwaamheid verworven om hun vernuftige denkbeelden in de doelmatige en volmaakte vorm te verwezenlijken, die aan hun uitvindingen practisch succes verzekerde. Zo is er van de behoeften en toepassingen van de sterrekunde langs een omweg een invloed uitgegaan op de eerste opkomst van de machinale grootindustrie in Engeland.

In 1742 werd BRADLEY als opvolger van HALLEY directeur van de sterrewacht te Greenwich. De metingen, die hij met de daar aanwezige instrumenten deed, bevredigden hem niet, en hij liet zich door BIRD grotere en betere instrumenten vervaardigen. Dit waren een passage-instrument met een kijker van 8 voet, voor de rechteklimmingsen, en een muurkwadrant van 8 voet straal, ter bepaling van de declinaties. Hiermee heeft hij van 1750 tot kort voor zijn dood in 1762 uitgebreide reeksen van waarnemingen van de sterren, de zon, de maan en de planeten verricht, die al het vroegere in nauwkeurigheid

overtroffen. Meer nog dan de precisie van de aflezingsen was hier van belang de grote zorgvuldigheid, waarmee de systematische fouten, die uit het instrument of uit de omgeving voortkomen, bepaald werden en in rekening gebracht. De geringe helling van de horizontale as, waarom het passage-instrument draaide, werd telkens door een niveau bepaald; voor de correcte berekening van de refractie werden luchttemperatuur en barometerstand geregeld afgelezen. Daardoor kon bij latere bewerking elke foutenbron, die de uitkomsten vervalste, uit de waarnemingen zelf afgeleid worden, en dan konden deze waarnemingen daarvoor verbeterd worden. Dit was van belang, omdat wel de dadelijk nodige plaatsen van de maan afgeleid en bekend gemaakt werden, maar voor een zo zorgvuldige reductie van de vaste sterren als deze waarnemingen verdienden, geen tijd beschikbaar was. Na zijn dood ontstond er een strijd tussen de Britse Admiraliteit en de erfgenamen over het eigendomsrecht van de 13 delen waarnemingsjournalen en -manuscripten; na jaren lang procederen werden deze eindelijk, bij minnelijke schikking, aan de universiteit te Oxford ter publicatie gegeven, en in 1798—1805 gedrukt. Toen BESSEL de bewerking van dit materiaal ter hand had genomen en in 1818 de uitkomsten publiceerde, drukte hij in de titel van zijn werk: „*Fundamenta astronomiae, ex observationibus viri incomparabilis James Bradley*” (Fundamenten der sterrekunde, afgeleid uit de waarnemingen van de onvergelykelijke JAMES BRADLEY) terecht uit, hoe BRADLEY's werk door zijn hoge kwaliteit tot grondslag van de beginnende negentiende-eeuwse sterrekunde is geworden. In de catalogus van ongeveer 3000 sterren, waarin de resultaten zijn samengevat, zijn de fouten in rechteklimming en declinatie door elkaar niet meer dan enkele boogseconden.

BRADLEY heeft voor de sterrewacht in Greenwich een standaard van zorgvuldigheid in werkmethoden opgesteld, die door zijn opvolgers MASKELYNE en POND is gehandhaafd. In zijn eigen tijd werd hij, wel niet geëvenaard, maar toch opzij gestreefd door zulke bekwame en volhardende waarnemers als TOBIAS MAYER in Göttingen en LACAILLE te Parijs. Bij vergelijking van de rechteklimmingsen en declinaties, die zij in hun catalogi van enige honderden der helderste sterren gaven, de eerste betere sinds FLAMSTEED, blijkt een gemiddelde fout in deze coördinaten van 4" tot 5". LACAILLE ging in 1751 met zijn instrumenten naar de Kaap de Goede Hoop, om daar, naast de parallaxen van zon en maan, zoveel mogelijk plaatsen van Zuidelijke sterren te bepalen. Zijn catalogus bevat 10.000, voor het merendeel telescopische sterren van de 7de en 8ste grootte, zodat dus nu de sterren van de Zuidelijke hemel vollediger waren bepaald dan die van het van ouds bekende Noordelijke deel.

Een belangrijke stap vooruit naar steeds grotere nauwkeurigheid was intussen voorbereid door verbetering van de optische hulpmiddelen. Voor de ontwikkeling van de telescopen moeten wij nu eerst een eeuw teruggaan. In de jaren 1660—70 had NEWTON zich verdiept in de studie van de lichtverschijnselen en daarbij de kleurschifting ontdekt, de verschillende breekbaarheid van verschillende kleuren, waardoor elke breking van het licht, b.v. in een prisma, vergezeld is van een uiteenspreiding van de kleuren in een spectrum. Hij bemerkte, dat hierin de voornaamste oorzaak was gelegen van de

slechte gekleurde beelden in de kijkers; doordat de verschillende kleuren niet in één brandpunt waren samen te brengen, moest alle pogen om door betere vormgeving van de lenzen de beelden beter te maken, hopeloos zijn. Zo kwam hij op het denkbeeld om, teneinde de lichtstralen in één punt te verenigen, een holle spiegel in plaats van een lens te gebruiken. Te voren was ook reeds door GREGORY een spiegeltelescoop ontworpen, maar de glasslijpers waren in het goed slijpen van een holle spiegel niet geslaagd. NEWTON heeft zelf met grote zorg en veel moeite een holle metaalspiegel geslepen, en maakte daarmee in 1671 een spiegeltelescoop, die grote belangstelling vond in de Royal Society en nu nog in haar archief bewaard wordt. Het beeld in het brandvlak werd na terugkaatsing onder een hoek van  $45^\circ$  van opzij met een oculair bekeken; en het bleek, dat dit kleine instrument, slechts 6 inch (15 cm) lang, met een opening van een paar inch, en 40 maal vergroting, evenveel als een 6 voets kijker kon verdragen, dezelfde details aan de hemellichamen vertoonde, waartoe anders kijkers van 3 of 4 voet lengte nodig waren.

Deze uitvinding bleef feitelijk ongebruikt totdat omstreeks 1720 JAMES SHORT en er slaagde om holle spiegels zo goed te slijpen, dat hij spiegeltelescopen als regelmatige producten van zijn werkplaats kon leveren. Daar ze door de grote opening lichtsterk waren, en bovendien rechtziend, doordat naar de constructie van GREGORY het beeld door een gat midden in de hoofdspiegel bekeken werd zoals het op een klein hol spiegelkje was teruggekaatst, werden ze geliefkoosde instrumenten in handen van liefhebbers en sterrekundigen voor het gewone bekijken van hemellichamen, verre te verkiezen boven de lange onhandige kijkers met hun slechte en zwakke beelden. Maar aan meetinstrumenten waren ze moeilijk aan te brengen; daar bleef men bij de lange vizierkijkers met kleine opening.

NEWTON had de opheffing van de kleurschifting voor onmogelijk verklaard, daar hij meende dat kleurschifting en breking in verschillend dichte stoffen wel verschillend, maar toch evenredig waren. Nadat echter EULER zijn twijfel daarover had geuit, en de Zweedse physicus KLINGENSTJERNA door proeven de onjuistheid van die mening had aangetoond, slaagde in 1757 JOHN DOLLOND in Londen, die met beiden daarover in briefwisseling stond, er in, na veel zoeken en experimenteren een combinatie van glazen te maken, waarbij de kleurschifting was opgeheven. Door tussen twee positieve (d.i. bolle) lenzen van gewoon glas (kroonglas) een negatieve, dubbel-holle van het sterker brekende, maar nog veel sterker kleurschiftende flintglas (z.g. kristal) te plaatsen, werd een „achromatische” lenzencombinatie verkregen, die alle kleuren in één brandpunt verenigde.

Deze uitvinding werd van enorme betekenis; zij maakte de baan vrij voor een onafzienbare ontwikkeling van sterrekundige kijkers in de volgende eeuw. Want nu de kleurschifting was opgeheven, kon op het vroegere werk van HUYGENS worden voortgebouwd en alle aandacht besteed aan de meest effectieve vormgeving der afzonderlijke lenzen. Weldra verbreidden zich de achromatische kijkers uit de door zijn zoon PETER DOLLOND opgerichte werkplaats onder de sterrekundigen en verdrongen zowel de oude één-lens kijkers als ook grotendeels de spiegeltelescopen. Met hun grote opening van 3—4 inch, bijna 10 cm — grotere goede glasschijven waren toen van de glasfabrieken niet te krijgen — en hun brandpuntsafstand van omstreeks 4 voet, dus han-

dige bruikbaarheid, gaven zij scherpe en lichtsterke beelden van de sterren, over een veel groter veld dan de spiegeltelescopen. Bij de Venus-expedities zag men beide instrumenten, de achromatische kijkers en de spiegeltelescopen, naast elkaar in gebruik.

Voor de sterrekundige meetinstrumenten betekende DOLLOND's uitvinding een belangrijke vooruitgang. De met deze instrumenten verbonden vizierkijkers waren tot nog toe lange dunne buizen met kleine objectieven geweest (zie het kwadrant op blz. 241), die toch nog tamelijk slechte sterbeeldjes gaven. Nu waren de sterbeeldjes mooie scherpe intense lichtpunten, die met sterkere oculairen sterker vergroot konden worden, dus met groter nauwkeurigheid op fijne kruisdraden waren in te stellen. Nu konden de kijkers bij matige lengte groter opening krijgen, waardoor zwakkere telescopische sterren duidelijker konden worden gezien en zonder moeite nauwkeurig waargenomen. Tot nog toe waren het alleen de met het blote oog zichtbare sterren en die van de 7de, hoogstens van de 8ste grootte, waarvan de gemeten plaatsen in de catalogi optraden. Van nu af aan wordt het mogelijk om ook van de massa van de zwakkere telescopische sterren de plaatsen met instrumenten te meten.

Het was vooral de werkplaats, die door RAMSDEN, de schoonzoon van JOHN DOLLOND was opgericht, van waaruit nu de beste instrumenten kwamen, die alle van achromatische kijkers waren voorzien. MASKELYNE liet in 1772 BRADLEY's instrumenten in Greenwich met zulke betere kijkers toerusten; doordat hij nu het tijdstip van doorgang van de mooie puntsterbeelden door 5 verticale draden bepaalde en tot op  $\frac{1}{10}$  seconden wist te schatten — BRADLEY had alleen nog maar volle of halve en derde seconden genoteerd — werden zijn rechteklimmingen heel wat nauwkeuriger dan de vroegere. Tal van sterrewachten buiten Engeland werden door RAMSDEN van Engelse instrumenten voorzien. Toen G. PIAZZI opdracht kreeg om te Palermo een sterrewacht in te richten, liet hij door RAMSDEN een 5 voets verticaalcirkel bouwen, die nog op een 3 voets horizontale cirkel draaibaar was; beide waren met microscopen voorzien voor de aflezing. Hiermee bepaalde hij in de jaren 1792—1802 de plaatsen van 6700 sterren met grote zorgvuldigheid. Er was zodoende een hogere norm van nauwkeurigheid en volledigheid gekomen, met onzekerheid van niet meer dan enige boogseconden. Dat BRADLEY door zijn wijze van behandeling der instrumenten nog meer bereikt had, kon eerst bij de latere bewerking door BESSEL blijken.

### 30. VERFIJNDE THEORIE

Met NEWTON's theorie van de algemene aantrekkingskracht was feitelijk aan de werveltheorie van DESCARTES een einde gemaakt. Wel bleven zelfs in Engeland de leerboeken van natuurkunde, die geheel op DESCARTES berustten, nog lange tijd in gebruik; maar toch weldra met toevoegingen en aanhangsels, die NEWTON's leer uitlegden; en zo vond deze mettertijd aan de Engelse universiteiten steeds meer ingang.

Heel wat langzamer ging het op het vasteland van Europa. In Frankrijk was het alleen de onafhankelijk denkende DE LOUVILLE, die zich omstreeks 1722 als aanhanger deed kennen. Het gezag en de traditie van de oude leer waren eerst nog te groot. Maar nu begon dit anders te worden. In Frankrijk begon, na de neergang en de nederlaag van de Franse macht tegenover het opkomende Engeland een critische stemming tegen het eigen politiek en maatschappelijk stelsel op te komen. Steeds sterker werd in de 18de eeuw deze geest van verzet, opgestuwd door de toename in betekenis en kracht van de burgerij, die naar de vrijere Engelse sociale en politieke levensvormen uitkeek als navolgenswaardige voorbeelden. Dus was ze ook bereid om daarvan de gronddenkwijze over te nemen. Als een der eerste woordvoerders van deze hervormingsgedachten schreef VOLTAIRE zijn „Brieven van uit Londen over de Engelsen” (1728—30). Daarin behandelt hij, naast de Quakers, de Engelse kerk, het Parlement, de handel, de koepokinenting, en de letterkunde, ook de wetenschap, BACON en NEWTON. Hij schrijft daar in de aanhef van zijn 14de brief over DESCARTES en NEWTON: „Een Fransman, die „in Londen komt, vindt de dingen geheel veranderd, in de filosofie evenzeer „als in al het andere. Hij liet daarginds de wereld gevuld, hij vindt haar „hier ledig. In Parijs ziet men het heelal gevuld met wervelkringen van een „uiterst fijne stof; in Londen ziet men daar niets van. Bij u is het de drukking „van de maan, die de vloed in de zee bewerkt, bij de Engelsen is het de zee, „die graviteert naar de maan. . . . Bovendien kunt gij opmerken dat de zon, „die in Frankrijk niet in deze zaak gemoeid is, hier voor een kwart daartoe „bijdraagt. Bij uw Cartesianen geschiedt alles door druk, wat niet wel be- „grijpelijk is; bij Monsieur Newton gebeurt het door aantrekking, waarvan „men de oorzaak al niet beter kent. In Parijs geeft men de aarde de gedaante „van een meloen; in Londen is zij naar beide zijden afgeplat”.

Ondanks de lichte feuilletonstijl geeft VOLTAIRE dan een uitstekende uiteenzetting van de theorie van NEWTON en een vergelijking met die van DESCARTES. Nog uitvoeriger licht hij nog eens in 1733, in een afzonderlijk geschrift „Elementen van de filosofie van Newton”, zijn landgenoten in over diens lichttheorie en de aantrekkingsleer. En nu is hier de wereld steeds meer ontvankelijk geworden voor de nieuwe leer. Nadat in de verhandelingen van de Parijse Academie een tijdlang beide standpunten afwisselend tot uiting kwamen, verdwijnen daar sinds 1740 beschouwingen, die van de wervelkringen uitgaan, voor goed. Men kon er niets mee doen, er niets uit afleiden, terwijl uit de wetten van NEWTON door gebruik van enkel wiskunde preciese uitkomsten konden worden berekend. Nu de grondwet ontdekt was, volgens welke alle materiedeeltjes, dus alle lichamen in het heelal op elkaar inwerken, kwam dit als de grote taak: hieruit alle consequenties af te leiden en aan de waarneming te toetsen. Zo werd de verdere ontwikkeling der wetenschap in de 18de eeuw grotendeels door de aantrekkingsleer beheerst.

Nu komen ook de mannen die NEWTON's werk voortzetten. Niet in Engeland waar, toen eenmaal vrijheid en zelfbestuur veroverd was, in zelfvoldane bloei, zonder hogere aspiraties, alle kracht op de practijk werd gericht; maar wel op het vasteland, met name in Frankrijk, waar de geesten nu opgestuwd werden door sterke begeerte naar maatschappelijke vernieuwing. Engeland bleef vooraan in de practische sterrekunde, zoals in alle practijk. Maar op het vasteland bracht de traditie van rationalistisch denken onder deze nieuwe

impuls een opbloei van theorie, van wiskundige behandeling der natuurverschijnselen. Een reeks van schitterende wiskundigen treedt hier op: de BERNOULLI's en LEONHARD EULER uit Basel, CLAIRAUT en d'ALEMBERT in Frankrijk, en vele anderen, wier werk dan voortgezet en afgesloten wordt door LAGRANGE en LAPLACE. In plaats van de door NEWTON gebruikte aanschouwelijke maar tegelijk moeilijk hanteerbare meetkundige manier van werken en bewijzen, ontwikkelden zij de algebraïsche methode, waarbij het in de meetkunde vereiste doorziën en zich voorstellen van een ruimtelijk probleem vervangen wordt door eenvoudige berekening, en die dus in staat stelt ingewikkelder vraagstukken te beheersen. NEWTON zelf had daartoe de basis gelegd in zijn fluxie-leer, de methode om alle grootheden in hun verandering te onderzoeken, door ze in het grensgeval van onbegrensd kleine veranderingen te beschouwen. Deze gedachtengang was gelijktijdig door LEIBNIZ in enigszins andere formulering ontwikkeld, als differentiaal- en integraalrekening; en in deze vorm is zij tot het practische werkapparaat der wiskundigen in de volgende eeuwen geworden.

Het waren niet enkel sterrekundige vraagstukken waaraan zij werkten. Op de grondslagen, die NEWTON het eerst voor de bewegingsleer geformuleerd had en die wij nog steeds gebruiken, de betrekkingen tussen krachten, afstanden, snelheden, versnellingen en massa's, werden alle problemen en verschijnselen van beweging onderhanden genomen. Algemene principes werden opgesteld en uitgewerkt, en tot een volledige wetenschap der mechanica opgebouwd. Maar de sterrekunde kreeg toch wel een belangrijk deel van de aandacht, vooral ook door de moeilijkheid van de vraagstukken, die het vernuft prikkelde, en door de mogelijkheid om de uitkomsten door vergelijking met de waarnemingen op de proef te stellen. Wanneer enige lichamen elkaar aantrekken, kan wel voor iedere bekende achtereenvolgende ligging t.o.v. elkaar berekend worden, met welke kracht elk door de anderen wordt aangetrokken, dus wat op elk oogenblik zijn versnelling is; uit deze versnellingen kunnen dan door samenvoeging, integratie, de snelheden opgebouwd, en uit deze door integratie de volgende plaatsen afgeleid worden, die zij innemen. Maar deze uitkomsten, de plaatsen, waren zelf nodig als gegevens in de beginberekening; dit maakt het vinden van de banen tot een speciaal ingewikkeld probleem, het oplossen van een stel differentiaalvergelijkingen.

Voor twee lichamen was de oplossing eenvoudig, en was ze reeds door NEWTON gegeven. Voor drie of meer lichamen kon men echter geen oplossing vinden. Reeds aan de wiskundigen van de achttiende eeuw, die er het eerst voor kwamen te staan, bleek het „probleem der drie lichamen” langs directe weg onoplosbaar; en het is dit sindsdien gebleven. Hun teleurstelling lezen we in de verzuchting van een van de bekwaamsten onder hen, ALEXIS CLAIRAUT (1713—1765): „. . . .laat nu maar integreren wie het kan. . . . „Ik heb de vergelijkingen dadelijk afgeleid, maar ik heb maar weinig moeite „kunnen doen om ze op te lossen, daar ze mij heel weinig handelbaar toe- „schenen. Misschien beloven zij aan anderen meer. Ik heb ze opgegeven en „heb de weg van benadering ingeslagen”. En evenzo de geniale LEONHARD EULER (1707—1783) in zijn voorrede van zijn laatste grote werk over de theorie van de maan, in 1773. „Zo vaak ik gepoogd heb sinds 40 jaren de „theorie en beweging van de maan uit de principes van de gravitatie af te „leiden, hebben zich steeds zovele moeilijkheden voorgedaan, dat ik genood-



„zaakt ben mijn werk en latere onderzoekingen af te breken. Het vraagstuk „reduceert zich tot drie differentiaalvergelijkingen van de 2de graad, die „niet alleen niet te integreren zijn, maar die ook aan de benaderingen, waar „mee men hier genoeg moet nemen, de grootste moeilijkheden in de weg „leggen, zodat ik niet zie hoe een onderzoek van uit de enkele theorie „zo afgesloten kan worden, dat het voor enigszins nuttig gebruik kan „dienen...”.

Wat deze pioniers in het land van de „hemel-mechanica” als onbevredigend noodbehelp aanvaardden, is gebleken de enige, wel wijdlopijge en bezwaarlijke, maar toch algemeenste manier voor het oplossen van dergelijke problemen te zijn. Eerst worden de krachten en versnellingen berekend, zoals ze zouden zijn in de bekende ongestoorde baan; door integratie volgt daaruit hoeveel de werkelijke beweging in eerste instantie daarvan afwijkt. Daar door deze afwijkingen in de plaats van de aangetrokken planeet de krachten en versnellingen een klein bedragje (klein t.o.v. de eerste waarde) gewijzigd worden, komen er nieuwe kleinere afwijkingen bij, z.g. van de tweede orde. Zo kan men doorgaan, in opeenvolgende benaderingen steeds dichtert tot een einduitkomst naderend. Daar de storende krachten in eerste instantie met de wisselingen in onderlinge stand der planeten vrij onregelmatig in grootte en richting wisselen, geven ze aanleiding tot een aantal „storingstermen”, die op diverse wijze van de lengte, de anomalie, de knoop en de breedte van beide lichamen, het storende en het gestoorde, afhangen. Doordat deze in de hogere orden op elkaar terugwerken, wordt de volledige berekening van al die termen een haast onontwarbare en onoverzichtelijke taak, die toen al jaren, en later, bij hogere eisen, vaak een geheel mensenleven van ingespanssen en zorgvuldig werk eiste. Dit was echter niet een rustig passieeloos voortrekenen met formules, zoals het nu in de leerboeken staat. Het was een zoekend voortdringen in het onbekende land van de theorie, dan hier, dan daar zich een weg banend, vol avontuur, en meestal gestuwd door practische problemen. En steeds vervuld van de vraag: zal het mogelijk zijn met de wet van NEWTON alle feitelijke bewegingen te berekenen? Is deze wet de preciese en universele wet, die geheel alleen de verschijnselen verklaart? Dat gaf spanning aan het werk van de grote wiskundigen van de 18de eeuw.

Het eerste practische probleem werd gesteld door de beweging van Jupiter en Saturnus. KEPLER had al opgemerkt, in 1625, dat er iets niet klopte; HALLEY had in zijn tafels in 1695 een regelmatige versnelling van Jupiter en vertraging van Saturnus opgenomen, van een bedrag, dat deze planeten in 1000 jaar  $0^{\circ}57'$  en  $2^{\circ}19'$  zou verplaatsen. Als dit altijd zo doorging, dat de baan van Jupiter kleiner en die van Saturnus groter werd, zou het voor de stabiliteit van het zonnestelsel bedenkelijke gevolgen kunnen hebben. Wat was de oorzaak? Was het een gevolg van de onderlinge aantrekkingen, en uit de wet van NEWTON te berekenen? De Parijse Academie stelde dit als prijsvraag voor 1748 op, en nog eens voor 1752. Want een beantwoording van de eerste door EULER werd wel bekroond, wegens de daarin vervatte mooie nieuwe theoretische afleidingen, maar ze loste het probleem niet op. En evenmin deed dit zijn eveneens bekroonde beantwoording van de tweede prijsvraag, met alleen een algemene afleiding van de mogelijkheid van z.g. seculaire, steeds in dezelfde zin voortlopende storingen. LAGRANGE gaf in 1763 een geheel nieuwe behandelingsmethode van het probleem der drie lichamen,

en leidde daarbij enige seculaire storingen van Jupiter en Saturnus af; maar deze klopten niet, waren niet de gezochte. LAPLACE berekende toen zorgvuldig alle termen, ook van hogere orde, en bevond, dat ze elkaar alle opheffen. Hij wist toen streng de belangrijke stelling te bewijzen, dat uit de onderlinge aantrekkingen geen werkelijk seculaire, steeds in dezelfde zin voortlopende, termen in de baangrootte en de omlooptijd kunnen ontstaan. Dus dat de stabiliteit van het zonnestelsel verzekerd is. Maar hoe dan met de waargenomen veranderingen bij Jupiter en Saturnus? LAMBERT merkte in 1773 op, dat deze toch anders waren dan men tot dusver had gedacht; de vergelijking van HEVELIUS' waarnemingen met die van de 18de eeuw toonde het tegendeel van wat voor de vroegere tijd was gevonden, n.l. een vertraging van Jupiter en een versnelling van Saturnus; dus het verschijnsel leek veeleer van periodiek wisselende aard. Eindelijk in 1784 gelukte het aan PIERRE SIMON DE LAPLACE (1729—1827) het raadsel op te lossen. Vijf omlopen van Jupiter en twee van Saturnus zijn nagenoeg aan elkaar gelijk, zodat na 59 jaar — drie conjuncties van de oude astrologie — beide elkaar weer ontmoeten op nagenoeg dezelfde plaats in de ecliptica. Een paar wegens hun kleinheid over het hoofd geziene tempjes in de wederzijdse aantrekking werken dan in elk dezer perioden op nagenoeg dezelfde wijze, en hun effect hoopt zich op tot een goed merkbaar bedrag; en dat gaat net zolang door tot gaandeweg de planeten bij de conjunctie in andere posities geraken, en eindelijk na 450 jaar het effect omkeert. Het is dus inderdaad een periodieke storing, maar van zeer lange periode, bijna 900 jaar; ze loopt bij Saturnus hoogstens tot  $49'$ , bij Jupiter tot  $21'$  op. Alle vroegere en latere waarnemingen van de beide planeten bleken hiermee geheel in overeenstemming te zijn. „Door deze kapitale ontdekking” schreef later ROBERT GRANT in zijn Geschiedenis van de physische Astronomie „heeft LAPLACE de theorie van NEWTON uit een van de ergste gevaren gered”.

Een ander beroemd voorwerp van berekening was de komeet, die volgens HALLEY in 1758 moest terugkeren. Nu, sinds NEWTON, begreep men, dat de aantrekking der planeten haar beweging moest storen, dus dat ze misschien vroeger, misschien later dan voorspeld was, zou kunnen verschijnen. Tussen 1531 en 1607 was ruim 76 jaar, tussen 1607 en 1682 iets minder dan 75 jaar verlopen; zou de volgende omloop 75 jaar zijn, dan kon ze al in 1757 opduiken. Toen de tijd naderde, zette CLAIRAUT zich aan het werk. Hier hielp geen van de bij de planeten gebruikte manieren om de storing voor de gehele baan ineens als een som van termen te vinden. Van punt tot punt moest hij rekenende de komeet volgen in haar gehele omloop van 76 jaar, zowel in de beide vorige omlopen als in de laatste. Vol agitatie, dat de komeet hen zou kunnen verrassen, rekende hij met zijn helpster, Madame LEPAUTE, een begaafde wiskundige, de vrouw van Frankrijk's beroemde uurwerkmaker, dag aan dag voort, zich nauwelijks de tijd voor maaltijden gunnend. „Het werk waarin ik mij had begeven, was ontzaglijk, en ik was „niet in staat over de uitkomst iets bepaalds te zeggen vóór de herfst van „1758”. De komeet had hen gelukkig niet verrast; en nu kon hij het waarom aan de Academie meedelen, n.l. dat door de aantrekking van Jupiter en Saturnus de komeet over de laatste omloop 618 dagen meer zou besteden dan over de vorige, en haar perihelium eerst in April 1759 te verwachten was. Met nog een maand onzekerheid wegens velerlei verwaarlozingen. „Ik

„onderneem het hier”, zegt hij in zijn mededeling „te laten zien, dat deze „vertraging, verre van nadeel te doen aan de theorie van de algemene aantrekking, er een noodzakelijk uitvloeisel van is; en dat men nog verder kan „gaan, doordat ik er tegelijk de grenzen van aangeef”. Op het eind van 1758 werd de komeet voor het eerst ontdekt, door een amateur, PALITSCH, bij Dresden; zij ging in Maart door haar perihelium en kon tot in Juni waargenomen worden. Deze voorspelde en vooruit berekende terugkeer van de komeet van HALLEY werd algemeen, en terecht, als een triomf van de wetenschap van NEWTON beschouwd.

De verschijning van deze komeet was een episode. Maar de beweging van de maan was het blijvende grote en moeilijke probleem, dat de stoot gaf tot tal van onderzoekingen, de toetssteen van vernuft in het uitdenken van nieuwe methoden. De voornaamste onregelmatigheden, de „storingen” in de beweging van de maan ontstaan, zoals reeds NEWTON had aangeduid, door de aantrekking van de zon. De zon oefent op de maan een storende kracht uit, die een vrij groot breukdeel, bij volle en nieuwe maan  $1/89$ , is van de aantrekking, die de aarde op de maan uitoefent. Daar door de grote nabijheid van de maan de kleinste verplaatsingen ons als duidelijke grootheden in het oog vallen, moeten de benaderingen zeer ver doorgevoerd worden, en ontstaat een verwarrende veelheid van onderling afhankelijke storingstermen. CLAIRAUT werd op de moeilijkheid van dit vraagstuk dadelijk in zijn eerste werk in 1746 op gevoelige wijze opmerkzaam gemaakt, doordat hij bij berekening de draaiing van de grote as van de maanbaan slechts half zo groot vond als uit de waarneming bekend was,  $20^\circ$  in plaats van  $40^\circ$  per jaar. Hij meende toen eerst, dat de wet van NEWTON niet helemaal juist kon zijn en voor zulke kleine afstanden als tussen aarde en maan ietwat gewijzigd moest worden. Maar verdere berekening toonde hem naderhand — en dit werd bevestigd door EULER en D'ALEMBERT — dat er nog een aantal eerst weggelaten termen van hoger orde hun aandeel bijdroegen, en dat daarmee de zaak in orde kwam. Toch was er nog geen sprake van, dat theoretische berekening voor deze draaiing van de grote as een enigszins preciese waarde kon leveren; en al was dit wel het moeilijkste van alle vraagstukken, toch gold dit enigszins voor alle maanstoringsen. In 1754 publiceerden zowel CLAIRAUT als D'ALEMBERT hun enkel op theorie gebaseerde maantafels, waarvan de eerste reeds alle tafels uit vroegere tijd overtroffen. EULER had al in 1745—46 de storingsen van de maan, met bijbehorende tafels, berekend; in 1755 gaf hij een verbeterde theorie, en in 1772 nog eens voor de derde maal, steeds verder de details van de theorie ontwikkelend. Maar de tafels kwamen toch maar matig met de waarneming overeen.

Dat kwam zo. Wat de theorie kon doen, was aangeven, welke termen moesten optreden, in welke perioden ze wisselen, en van welke grootheden, plaats van de zon, van de knopen, van de grote as van zon- en maanbaan, enz. ze afhankelijk zijn. Maar de preciese grootte bleef meestal onzeker, door het grote aantal steeds kleinere bedragjes van hogere orde, dat er toe bijdroeg. Toch was het voor de practische behoeften van de zeevaart dringend nodig om de plaats van de maan vooruit te kunnen berekenen; en er was ook geen twijfel aan, dat de theorie van de aantrekking wat beters dan de oude maantafels moest kunnen leveren. Toen was het, dat de boven reeds genoemde TOBIAS MAYER (1723—1762) een gelukkige greep deed door theo-

rie en practijk met elkaar te verenigen. Hij had reeds naam gemaakt door met gebrekkige hulpmiddelen de plaatsen van een groot aantal maanbergen te meten en daaruit tevens de libraties van de maan nauwkeurig af te leiden. Daarna werd hij in Göttingen in het land Hannover beroepen, waar men, onder de regering van de koning van Engeland, wat meer vrij was van de geestelijke misère van de Duitse dwergstaatjes; hij kreeg daar een sterrewacht en nam er de sterren en de maan waar. In 1753 gaf hij tafels van de zon en de maan uit, waarbij hij de belangrijkste ongelijkheden van de maan uit EULER's theorie overnam, maar het bedrag van elke term, dus de amplitudo van elke schommeling, aan de waarnemingen ontleende, zo, dat deze zo goed mogelijk weergegeven werden. Door 14 termen op te nemen in zijn formules bereikte hij, dat slechts in weinige gevallen de fouten tot  $1\frac{1}{2}'$  opliepen. Deze nauwkeurigheid was van belang als de maan als hemelklok gebruikt wordt om er de Greenwich-tijd aan af te lezen; daar zij 27 maal langzamer voortschuift dan de hemelbol draait, geeft 1' fout in de plaats van de maan een fout van  $27'$ , dus hoogstens 27 zeemijlen in de lengte op zee. Nadat na zijn dood zijn nieuwe tafels in opdracht van de Britse Admiraliteit nog eens door BRADLEY onderzocht, met de Greenwich-waarnemingen vergeleken en hier en daar verbeterd waren, bleven alle fouten beneden, meestal ver beneden 1'. Als gewichtig hulpmiddel voor het vinden van de lengte op zee, waarvoor MAYER zelf nog methoden en aanwijzingen had toegevoegd, werden de tafels door de Admiraliteit in 1770 uitgegeven, en werd aan zijn weduwe 3000 pond sterling door de Engelse regering toegekend.

Voor de practijk van de zeevaart was het vraagstuk dus voorlopig opgelost; maar de theorie stond nog voor een moeilijk en geheimzinnig probleem. Reeds in 1693 had HALLEY opgemerkt, toen hij de eclipsen uit de oudheid en uit de tijd van de Arabieren met de moderne vergeleek, dat de omloopstijd van de maan, dus ook haar baan, kleiner was geworden. Deze „seculaire versnelling” van de maan werd bevestigd door TOBIAS MAYER; hij vond het bedrag per eeuw eerst  $6,7''$ , later, in de Londense tafels  $9''$ , terwijl LAPLACE  $10''$  afleidde. Dit wil zeggen dat de maan na een eeuw  $10''$ , na 2 eeuwen  $40''$ , na 3 eeuwen  $90''$  verder is gekomen dan zij zonder deze term zou zijn; en dat dus de in een eeuw doorlopen boog (die  $100 \times 13\frac{1}{3} \times 360^\circ$  bedraagt) elke eeuw 20 seconden groter wordt. Zal deze verkleining van de maanbaan steeds onbeperkt doorgaan, en de maan dus tenslotte op de aarde storten? EULER wist er in zijn prijsantwoord in 1770 geen verklaring voor te vinden: „het „schijnt dus wel vast te staan”, schreef hij „door ontwijfelbare evidentie, dat „de seculaire ongelijkheid van de maan niet door de gravitatiekracht kan „zijn bewerkt”. En in 1772 riep hij ter verklaring een weerstandbiedende middenstof te hulp, die de wereldruimte vult; daarmee kon inderdaad een voortgaande verkleining van de maanbaan verklaard worden; maar dan moest het ten slotte toch tot een catastrofe komen. Eindelijk vond LAPLACE in 1787 een verklaring uit de gravitatiewerking; de excentriciteit van de aardbaan neemt langzaam af en zal dat nog enige tienduizenden jaren blijven doen; de aardbaan wordt ronder, dus de gemiddelde afstand tot de zon wordt groter; en de storende werking van de zon, die de maan ietwat van de aarde wegtrekt, wordt daarbij geringer. LAPLACE kreeg daarbij door theoretische berekening dezelfde waarde van  $10''$  per eeuw, die de oude eclipsen practisch hadden opgeleverd. Zo was opnieuw de ongerustheid weggenomen;

en sterker dan ooit werd de overtuiging gevestigd, dat de theorie van NEWTON in staat was alle bewegingen in het zonnestelsel te verklaren.

De volledige theoretische berekening van de beweging van de maan en de planeten door middel van wiskundige ontwikkelingen is het werk geweest van LAPLACE. Voor de planeten kon hij zelfs de langzame steeds voortgaande veranderingen in vorm en ligging van de banen, de seculaire storingsen, voor honderdduizenden jaren vooruit en achteruit berekenen. Bij de maan slaagde hij er in om met enkel theoretisch berekende termen haar beweging tot op minder dan een halve boogminuut weer te geven. Hier kwamen ook termen bij voor, in de verandering van de lengte van perigeum en knoop, die ontstaan doordat de aarde afgeplat is. Omgekeerd kon dan uit de empirisch gevonden grootte van deze termen de afplatting van de aarde afgeleid worden; hij vond  $\frac{1}{305}$ , wat dicht bij de werkelijke waarde ligt, en toen een welkome bevestiging was van de uitkomst uit de expeditie naar Peru. Ook was er een term bij van ruim  $2'$ , die van de verhouding der afstanden van zon en maan tot de aarde afhangt, en „parallactische ongelijkheid” heet, omdat ze direct met de zonsparallaxe samenhangt; op deze wijze leidde LAPLACE een zonsparallaxe van  $8,6''$  af. „Het is merkwaardig”, zo zegt hij daarover, „dat een astronoom, zonder zijn observatorium te verlaten, door de „waarnemingen van de maan met de analyse te vergelijken, nauwkeurig „grootte en gedaante van de aarde en de afstand van zon en maan kan afleiden, waartoe anders lange moeitevolle reizen nodig waren”.

Dit gezegde vindt men in het laatste deel van het grote werk „*Traité de Mécanique céleste*”, handboek der hemel-mechanica. In dit werk, waarvan het eerste deel in 1799 verscheen, behandelt LAPLACE alle bewegingen in het zonnestelsel als een zuiver mechanisch vraagstuk. Het probleem wordt in zijn algemene vorm gesteld: elk wereldlichaam bestaat uit kleine massa-elementen, die elkaar volgens de wet van Newton aantrekken; uit de som van al deze krachten der delen is dan de kracht van de totale lichamen opgebouwd, die bij niet volkomen bolvormigheid slechts weinig afwijkt van een van hun middelpunt uitgaande kracht. Deze algemene formulering maakte LAPLACE in de volgende eeuw tot de vaak gecritiseerde woordvoerder van de mechanistische wereldleer, volgens welke, als eenmaal de begintoestand van alle deeltjes gegeven was, de gehele verdere wereldloop volkomen bepaald is en streng wiskundig te berekenen zou zijn. Er was toen natuurlijk nog geen sprake van de atomen of moleculen der latere physica; LAPLACE gebruikt enkel de zeer kleine massa-elementen als wiskundige abstractie.

Het zonnestelsel wordt hier beschouwd als een reuzen-mechanisme, gedreven en gestuurd door de ene wereldkracht, de algemene gravitatie, als een volkomen bekend en berekenbaar uurwerk, dat ten eeuwigen dage zo zal blijven voortlopen — geheel in overeenstemming met de denkwijze van de achttiende eeuw, die de gehele natuur als een kunstig en volmaakt mechanisme opvatte en trachtte te begrijpen. Wel is waar niet eeuwig zo geweest. Reeds in 1755 had de toen nog jonge IMMANUEL KANT de theorie opgesteld, dat alle materie van het zonnestelsel oorspronkelijk een wijd uitgestrekte nevelmassa was geweest, die zich door haar eigen mechanische werkingen eerst tot een platte roterende schijf had gevormd, waaruit door samentrekking de zon en de planeten in hun banen waren ontstaan. Terwijl NEWTON het denkbeeld van een ontstaan van het heelal uit een eerst gelijkmatig verspreide

materie volgens mechanische principes, zonder ingrijpen van een hogere intelligentie onvereenigbaar met zijn wereldsysteem had geacht, trad hierin de vooruitgang van de rationalistische denkwijze van de achttiende eeuw voor den dag, dat men zulke problemen als natuurproblemen durfde aan te pakken. Als rationele verklaring van het feit, dat de planetenbanen alle nagenoeg in hetzelfde vlak liggen en in dezelfde richting worden doorlopen, vormde KANT's neveltheorie de eerste wetenschappelijk gefundeerde kosmogonie. Zonder van hem te weten stelde LAPLACE naderhand dezelfde verklaring op, hoe de orde van het zonnestelsel door een evolutie uit een geheel andere primitieve toestand was ontstaan. Maar nu was een definitieve eindtoestand bereikt, die, naar LAPLACE had aangetoond, door de onderlinge aantrekkingen niet meer verstoord kon worden — evenals ook de mensenwereld na een lange ontwikkeling van uit barbaarsheid en onwetendheid nu de definitieve eindtoestand onder de heerschappij van vrijheid, rede en wetenschap had, of bijna had bereikt.

Zo kon het einde van de achttiende eeuw met trots op de hoge ontwikkeling van de sterrekunde terugzien. Met een vroeger ongekende nauwkeurigheid werden de bewegingen der hemellichten waargenomen; en de wetenschap was in staat deze vanuit de nu ontdekte grondwet van het heelal te berekenen en te voorspellen. Wel is waar was dit heelal enkel het zonnestelsel; maar reeds begon men over de grenzen van dit stelsel heen te zien.

### 31. DE WERELD VERRUIMT ZICH

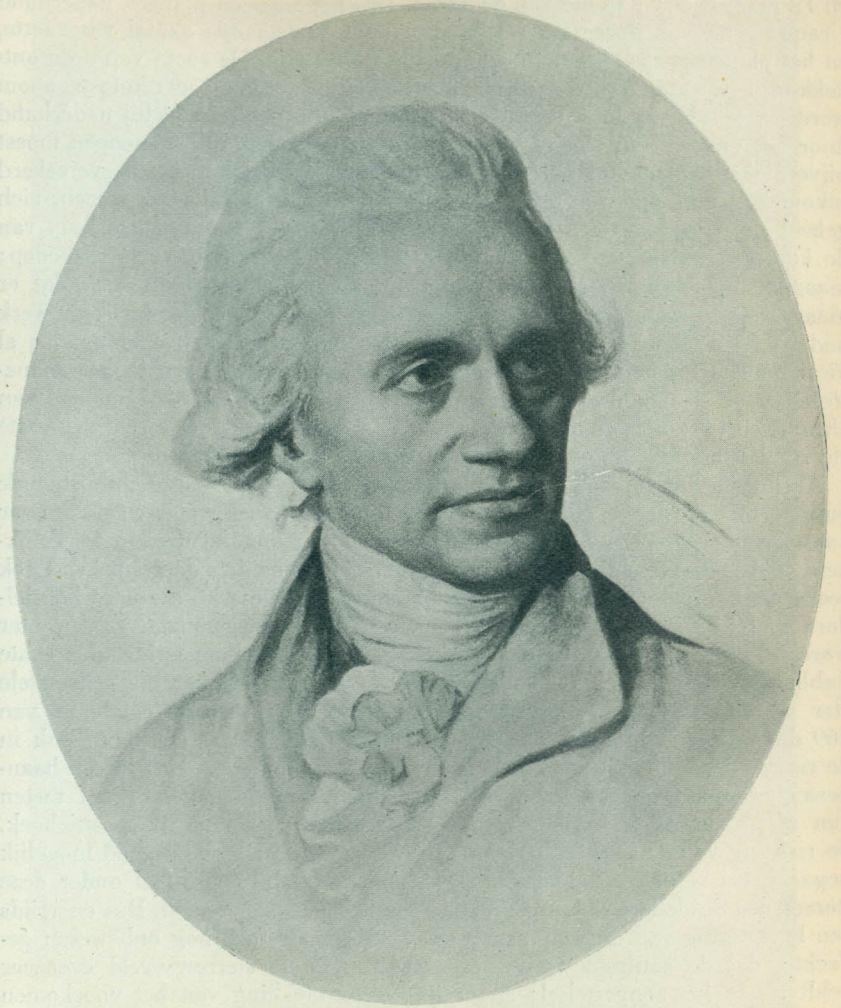
De vaste sterren hadden tot nog toe niet veel andere belangstelling gevonden dan als achtergrond voor de beweging der planeten, als vaste punten, om daaraan de wisselende plaatsen van de maan en de planeten te bepalen. Er waren wel al enige toevallige bijzonderheden over henzelf bekend geworden. Bij een aantal sterren was een eigen beweging, een kleine plaatsverandering aan de hemel vastgesteld. Ook waren sterren, die in regelmatige wisseling haar helderheid veranderden, opgemerkt, zonder veel verwondering te wekken, want men had in de nieuwe sterren van TYCHO en KEPLER veel sensationeler gebeurtenissen beleefd. In 1596 merkte DAVID FABRICIUS een ster in de Walvis op, van de 3de grootte, die na een tijdje afnam en verdween, en die hij dus voor een nova hield. HOLWARDA te Franeker zag haar in 1638 opnieuw, zag haar verdwijnen, maar in het volgend jaar weer verschijnen. Zij bleek telkens na elf maanden haar grootste helderheid te krijgen, maar met vele onregelmatigheden; soms bereikte ze slechts de 4de grootte, soms ook de 2de, en eenmaal (in 1779) straalde ze zelfs als een ster van de eerste grootte. De Assyrioloog SCHAUMBERGER acht het waarschijnlijk, dat ze reeds in Babylon was opgemerkt; sommige spijkerschriftteksten spreken over het sterrebeeld Dilgan (d.i. de Walvis) met uitdrukkingen, die oplichten of opvlammen en uitdoven betekenen. In de zeventiende en achttiende eeuw volgen dan enige verdere ontdekkingen; in 1672 zag MONTANARI te Bologna, die ook

reeds veranderingen in Algol bespeurde, een ster laag in het Zuiden in de Waterslang, die tussen de 4de grootte en onzichtbaarheid wisselde; en in 1686 ontdekte KIRCH te Berlijn iets dergelijks bij een sterretje van de 5de grootte in de hals van de Zwaan. Het bewijst, dat er waarnemers waren, die met aandacht op de vaste sterren letten; maar de belangstelling was nog niet groot genoeg om tot duurzame stelselmatige waarneming te leiden.

Eveneens tot de sterrenwereld behoorden nevelige objecten, „nevelvlekken”, waarvan de beide helderste, een in Andromeda en een in Orion, reeds in de eerste tijd van de kijkers opgemerkt, en naderhand enige keren afgebeeld waren. Zwakkere waren er nog heel wat meer. Omdat deze neveltjes veel op kometen bij hun eerste verschijnen gelijken, heeft de Franse astronoom MESSIER, specialiteit in het ontdekken van kometen, een lijst van ruim honderd van deze voorwerpen opgemaakt — en in 1771 gepubliceerd — opdat de waarnemers niet telkens door denkbeeldige kometenontdekkingen teleurgesteld zouden worden. Dit was van de sterrenwereld zo ongeveer datgene waarmee men zich had beziggehouden. En ook de afstand der sterren was nog onbekend, daar nog niemand er in geslaagd was de jaarlijkse parallaxe van een ster te bepalen.

Het was in 1773 dat F. W. HERSCHEL (1738—1822), afkomstig uit Hannover uit een familie van musici, zelf een gezien musicus en dirigent te Bath in Engeland, die van huis uit grote belangstelling voor natuurwetenschap had meegebracht, zich met sterrekundige studiën ging bezighouden. Daar de aangeschafte instrumenten hem niet voldeden, ging hij zelf aan het slijpen van holle spiegels, waarvoor hij ook zelf het beste metaalmengsel (koper met  $\frac{1}{3}$  tin) prepareerde en goot. Door met de uiterste zorg de juiste vorm te geven en de oppervlakte te polijsten, kreeg hij spiegels van zulk een voortreffelijke werking, met zo zuiver ronde beelden, dat zij, naar later bij een directe vergelijking bleek, de telescopen op de Greenwich sterrewacht verre overtroffen. Bij deze verfijning in kwaliteit kwam nog als tweede factor de toename in afmeting, dus tevens in lichtkracht, in oplossend vermogen, en in de vergroting, die door sterke oculairen tot vroeger ongekende bedragen van 600, 1000, zelfs 2000 maal kon opgevoerd worden. Geholpen door zijn broer en door zijn zuster CAROLINE, zijn toegewijde helpster eerst in zijn muziekleven, daarna in zijn sterrekundig werk, maakte hij 7-voets, 10-voets en 20-voets telescopen, de twee laatste met spiegels van 12 en van 19 inch middellijn (30 en 47 cm) en gebruikte ze in intensieve waarnemingspraktijk. Het was weer een vooruitgang in sterrekundige techniek, vrucht van bekwaamheid door onvermoeide oefening en van hartstochtelijk streven naar de grootste volkomenheid in het werkapparaat. Geen wonder dat wat hij als amateur in het bestuderen van de hemellichten opmerkte, hem reeds een goede naam onder de Engelse sterrekundigen verschafte.

Hij stelde zich ver-reikende doeleinden; in de eerste plaats het vinden van parallaxen van sterren, door middel van de relatieve plaatsverandering van heldere sterren t.o.v. dicht naast hen gelegen veel kleinere, dus vermoedelijk veel verder verwijderde buur-sterretjes. Hij ging dus ster voor ster met zijn 7-voets telescoop opletend bekijken, of er zulk een begeleider dichtbij was. Daarbij viel hem in 1781 in de Tweelingen een ster van de 6de grootte op, neveliger en met groter schijf dan de anderen; bij sterker vergroting werd de schijf ook groter, en na een paar dagen zag hij dat ze zich verplaatst had.

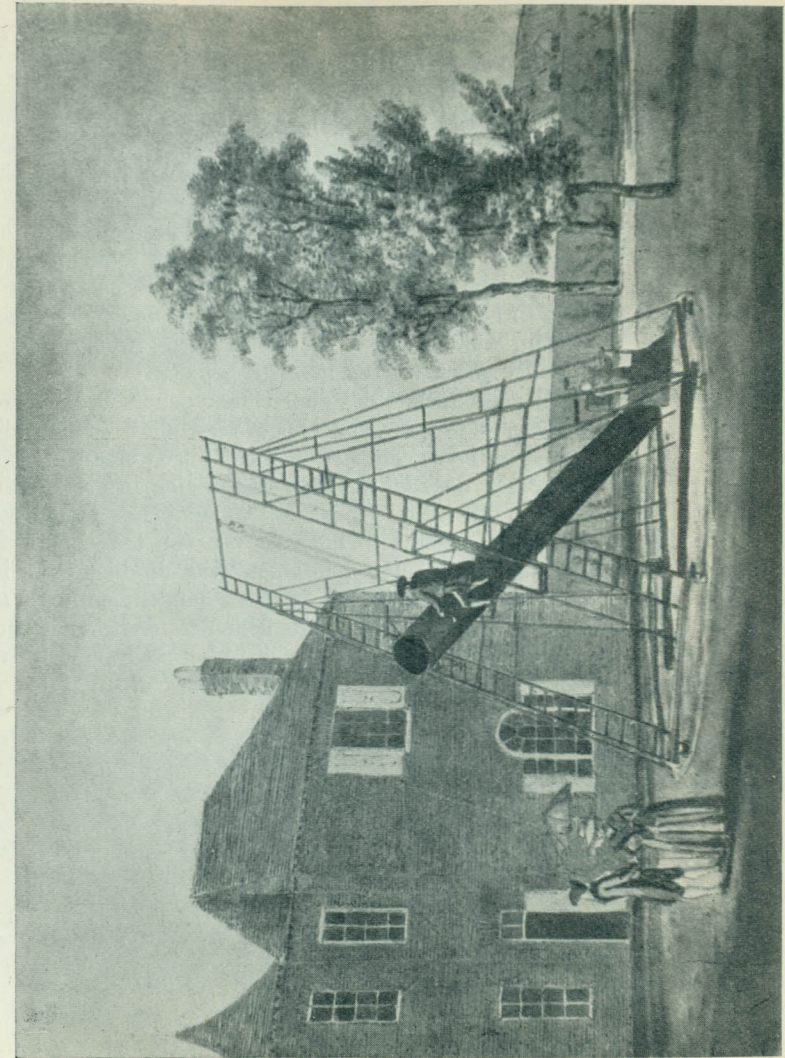


WILLIAM HERSCHEL.

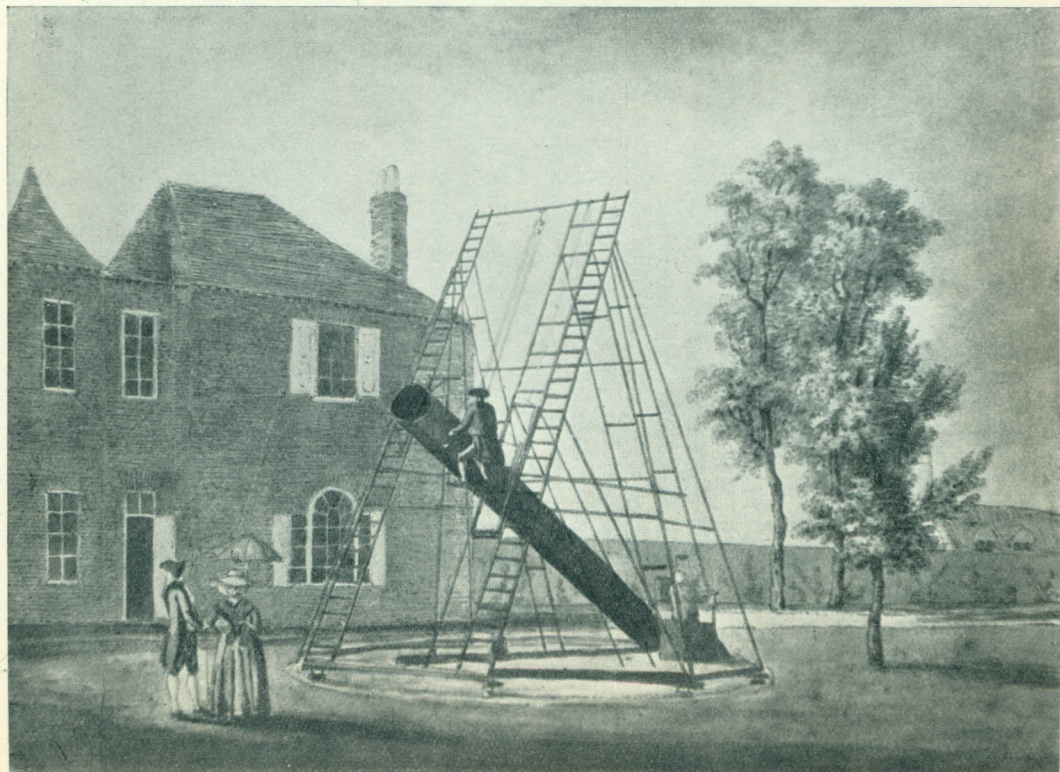
Hij deelde de ontdekking aan MASKELYNE en anderen mede onder de naam van een nieuwe ongewone komeet; overal werd ze weldra waargenomen, en het bleek na een jaar waarnemer, dat de baan ongeveer cirkelvormig was en 19 maal groter dan die van de aarde. Dus het was een planeet, naderhand Uranus genoemd, de eerste die het van ouds vaststaande aantal vergrootte, en het planetenstelsel tot dubbele omvang uitbreidde. De roem van deze ontdekking bewerkte, dat hij door de Engelse koning tot een soort hofastronoom werd benoemd; wel op een matig salaris van 200 pond, zodat hij naderhand door het onvermoeid slijpen van spiegels en verkopen van telescopen moest bijverdienen; maar hij kon nu toch het muziekbedrijf met zijn verzekerd inkomen geheel opgeven, en dicht bij Windsor, waar hij ging wonen, zich geheel aan zijn hartstocht voor sterrekunde wijden. Met financiële hulp van de koning sleep hij spiegels voor een nog grotere, een 40-voets telescoop; maar de opstelling van dit gevaarte was zo moeilijk hanteerbaar, dat er maar weinig waarnemingen mee zijn verricht. Al het belangrijkste werk naderhand is gedaan met de 20-voets telescoop van 19 inch opening. En al kwamen daarbij ook velerlei waarnemingen en ontdekkingen in het zonnestelsel voor — zonnevlekken, de poolkappen van Mars, twee manen van Uranus en twee nieuwe manen van Saturnus — toch was de wereld der vaste sterren het hoofdvoorwerp van al zijn werken en onderzoeken.

Al spoedig had hij zich overtuigd, dat het aantal sterren met dichtbijstaande buursterren, op slechts enige boogseconden afstand, veel groter was dan naar kansen van waarschijnlijkheid was te verwachten; dus dat deze in werkelijkheid als begeleiders bij die sterren behoren. Trouwens, iets dergelijks was ook reeds, in 1777, door CHR. MAYER te Mannheim opgemerkt, die deze begeleiders als bij de sterren behorende planeten had bekend gemaakt. Vaak echter waren de beide sterren slechts weinig verschillend in lichtsterkte, dus echte dubbelsterren, die zich in een zwakkere of slechtere kijker als een enkele ster vertoonden. In 1782 publiceerde HERSCHEL zijn eerste catalogus van 269 dubbelsterren. Hij begreep onmiddellijk, dat als deze sterparen ook in de ruimte dicht bijeen stonden, hun onderlinge aantrekking zich in een baanbeweging moest openbaren. Wel waren zijn hulpmiddelen voor het meten van afstanden, zijn micrometers, tamelijk gebrekkig, maar de positiehoek, de richting van de verbindingslijn van elk paar werd toch zo goed mogelijk bepaald. En reeds in 1803 kon hij vaststellen, dat bij een 50-tal onder deze sterren een duidelijke richtingsverandering had plaatsgevonden. Dus enerzijds een bevestiging van de wel vanzelf sprekende maar toch nog onbewezen gedachte, dat de aantrekkingswet van NEWTON in de sterrenwereld evenzeer geldt als in het zonnestelsel; anderzijds de ontdekking van het voorkomen van een aantal om elkaar wentelende sterparen naast de enkelvoudige sterren als onze zon.

Zijn gedachten gingen nu uit naar een wijder doel: alle verschillendsoortige objecten in de sterrenwereld te overzien, te rangschikken, dus een inventaris op te maken van het heelal. Naast de dubbelsterren kwamen drie- en viervoudige sterren voor, ook grotere groepen als de Zevenster; met zijn telescoop zag hij, dat vele voorwerpen, die er met kleinere kijkers als nevelvlekken uitzien, uit opeenhopingen van duizenden sterren bestaan. Geldt dat ook voor de vele die zich in zijn grootste telescoop als neveltjes vertonen? In stelselmatig heen en weer vegen („sweeps”) van de telescoop over achtereenvolgende



HERSCHEL'S twintig-voets telescoop

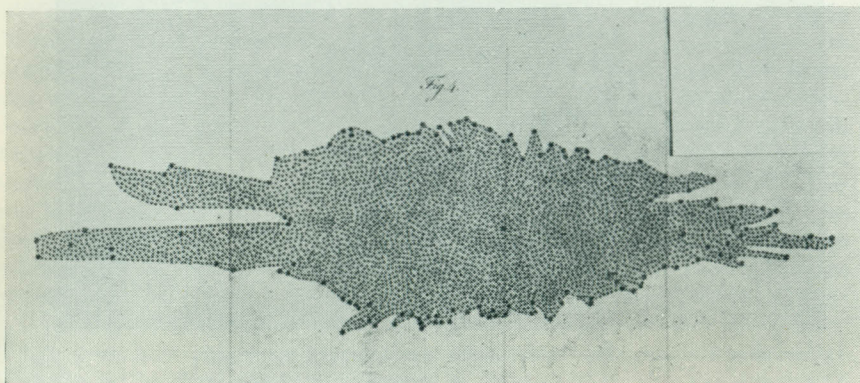


HERSCHEL'S twintig-voets telescoop

hemelstroken zamelde hij alle merkwaardige voorwerpen op, die hij tegenkwam. En zo kon hij in 1785 een lijst van een duizendtal nevelvlekken en sterrehopen publiceren, later met nog een duizendtal vermeerderd, met beschrijving en indeling in groepen naar hun verschillend uiterlijk. Nu niet, omdat ze met kometen verward konden worden, maar om hun zelfs wille: als stelsels van zonnen en verre werelden in het grotere heelal.

Hoe groot is dit heelal? Hoe is het gebouwd? Bestaat het uit een reusachtig aantal zonnestelsels analoog met het onze? Reeds in 1750 had THOMAS WRIGHT in de melkweg het beeld gezien van een zich in deze richtingen ver uitstrekkend stelsel van sterren; en KANT had deze voorstelling ook tot de zijne gemaakt. LAMBERT had in 1761 de theorie opgesteld van de steromgeving van de zon als een stelsel van hogere orde, bestaande uit duizenden zonnestelsels; een groot aantal van deze sterrenhopen tesamen vormen de melkweg als een stelsel van nog hogere orde; en wellicht waren er vele zulke melkwegstelsels in het heelal. Maar dit was alles nog maar speculatie en fantasie. HERSCHEL was de eerste die stelselmatige waarnemingen deed om de uitgestrektheid van het sterrenstelsel te bepalen.

Hij ging daarbij uit van de gedachte, dat door elkaar genomen de sterren overal even groot en ongeveer even ver van elkaar verwijderd zouden zijn. Waar men dus in de melkweg een groot aantal dicht bijeen staande kleine sterretjes ziet, moet dat komen doordat het stersysteem zich in die richting zeer ver uitstrekt. Derhalve telde hij op ruim 3000 verschillende punten van de hemel het aantal sterren dat tegelijk in het veld van zijn telescoop zichtbaar was; deze tellingen noemde hij dan „peilingen” van de diepte van het heelal. Zo kwam hij in 1784 en 1785 in een paar verhandelingen „*On the construction of the heavens*” (Over de bouw van de hemel) tot de bekende voorstelling van een lensvormig melkwegstelsel, dat zich in het melkwegvlak over 850 keer, loodrecht daarop over slechts 150 keer zover uitstrekt als de



HERSCHEL'S doorsnede door het sterrenstelsel.

gemiddelde afstand van twee sterren bedraagt, dus b.v. van de zon tot Sirius of Arcturus. „Dat de melkweg een zeer uitgestrekte laag sterren is van verschillende grootte, kan niet meer betwijfeld worden; en dat onze zon zelf een „van de daartoe behorende hemellichamen is, is evenzeer duidelijk. Ik heb

„nu deze schitterende gordel in bijna elke richting beschouwd en gepeild, „en gevonden dat zij uit sterren bestaat, waarvan het aantal toe- en afneemt „volgens de schijnbare helderheid”.

Maar in deze verhandelingen beperkt hij zich niet tot enkel een nuchtere bepaling van de afmeting. HERSCHEL had in zijn telescoop zoveel vormen van sterophopingen leren kennen, dat zijn gedachten vanzelf uitgingen naar de vraag hoe dat alles gekomen is. Hij legt uit, dat door de onderlinge aantrekking de sterren steeds meer samenballen tot regelmatige of ook onregelmatig samengevoegde condensaties, waartussen dan leegten overblijven. „Vorming van nevelvlekken” noemt hij dit, en geeft daarmee de opvatting weer, dat wat er in zijn telescoop als een nevelvlekje uitziet, ook uit een hoop uiterst fijne, dus ver verwijderde sterretjes bestaat. „Telescopische melkwegen” noemt hij de uitgebreide nevelvlekken. En zo is dan ook ons melkwegstelsel niet anders dan een nevelvlek soortgelijk aan andere. „Wij bewonen de „planeet van een ster, die behoort tot een samengestelde nevel van de derde „soort”. Het is begrijpelijk, dat zulke beschouwingen, die het wereldtoneel zo ontzaglijk uitbreidden, bij sommige tijdgenoten geestdriftige bewondering wekten, maar bij anderen op sceptische twijfel stieten; niemand anders had ook al die nieuwe hemelwonderen met eigen ogen aanschouwd. Maar nog vreemder stond men in zijn omgeving tegenover zijn denkbeelden over evolutie van stersystemen en sterrehopen. HERSCHEL was in zijn jeugd gevoed met de rationalistisch-critische geest van de continentale natuurbeschouwing, die aan het vrije maar dogmatisch-conservatieve Engeland van die tijd vreemd was gebleven. „HERSCHEL was de eerste”, aldus een door zijn kleindochter CONSTANCE LUBBOCK geschreven biografie „die in de opvatting van „de Schepping een storende factor bracht door zijn suggestie, dat deze een „lang proces was, en niet een afgesloten voltooide daad. Misschien lag wel „een van de redenen, waarom zijn stukken in de Royal Society zo koel „ontvangen werden, in het feit, dat het denken in Engeland nog niet zo vrij „was als in Frankrijk en Duitsland. In deze tijd kon niemand een hoge plaats „innemen aan de universiteiten of elders bij het onderwijs, als hij niet tot „de geestelijke stand behoorde. De Astronomer Royal was een geestelijke, „evenals Dr. HORNSBY, de astronoom in Oxford, en de hoogleraar in de „sterrekunde te Edinburg”.

Zijn denkbeelden over de evolutie bleven echter niet dezelfde, toen hij zijn waarnemingen voortzette. Hij werd getroffen door het aspect van sterren met gelijkmatige nevelige omhulsels, en vooral ook van de ronde of langwerpige nevelschijfjes met effen licht, die hij om dit uiterlijk „planeet-nevels” noemde. Dat konden geen sterophopingen zijn: „de gelijkmatige en aanmerkelijke helderheid van de schijf komt bijzonder goed overeen met een „lichtgevend fluidum, terwijl de onderstelling, dat zij uit samengebalde „sterren zou bestaan, niet zo volkomen rekenschap geeft van de melkachtige „of zachte tint van hun licht” schreef hij in 1791. En dan wijst hij op de betekenis hiervan. „Welk een nieuw veld opent zich hier voor onze opvattingen! „Een lichtgevend fluidum van voldoende helderheid om van de verre gebieden van sterren van de 8ste, 9de, 10de, 11de, 12de grootte ons te bereik- „ken, en van zo grote omvang, dat ze 3 tot 6 minuten middellijn vertonen! „Zouden wij het kunnen vergelijken met de flonkeringen van het electrisch „fluidum in het Noorderlicht?” Dit brengt hem er toe om zijn denkbeelden

over de evolutie om te schakelen: de nevelvlekken, die eerst als verre melkwegen aan het eind van de ontwikkelingsreeks hadden gestaan, worden nu aan het begin geplaatst. Zij zijn lichtgevende oermaterie, waaruit zich door condensatie de sterren hebben gevormd; zoals hij het in 1811 uitdrukte: „... dat, in het voortgaan der tijden deze nevels, die zich reeds in zo „gecomprimeerde toestand bevinden, nog verder zullen condenseren en tot „werkelijke sterren worden”. Tegelijk gaat ook het samenballen van de sterrescharen voort, en wordt de melkweg, oorspronkelijk een gelijkmatige laag, steeds meer in heldere fragmenten en condensaties opgebroken.

Het waren de hoogste en wijdeste problemen van de bouw van het heelal, die hier voor het eerst in het oog gevat werden. Maar daar tussendoor werden ook andere verschijnselen van de vaste sterren door HERSCHEL opgemerkt en behandeld. Reeds in 1783 had hij uit de eigen bewegingen van een dozijn heldere sterren afgeleid, dat deze voor een deel de reflex waren van een voortgaande beweging van ons zonnestelsel door de ruimte, in een richting ongeveer naar de ster  $\lambda$  Herculis toe. Ook begonnen toen de helderheidsveranderingen van sommige vaste sterren de aandacht te trekken. In 1782 had JOHN GOODRICKE de regelmatige verandering van de ster Algol in Perseus in een periode van 2d 21u vastgesteld, en er een verklaring voor gegeven als telkens terugkerende verduisteringen door een in die periode om Algol rondlopend donker lichaam. Twee jaar later ontdekte GOODRICKE de regelmatige veranderlijkheid van  $\delta$  Cephei en van  $\beta$  Lyrae, terwijl zijn vriend PIGOTT in 1785 de ster  $\eta$  Aquilae en naderhand een klein sterretje in het Schild als veranderlijk onderkende. HERSCHEL was tegelijkertijd begonnen met systematisch de helderheden der sterren met elkaar te vergelijken, en hun kleine helderheidsverschillen door een stelsel van bepaalde tekens uit te drukken. Daarbij ontdekte hij in 1795 de veranderlijkheid van de rode ster  $\alpha$  Herculis; de door hem bedachte methode van helderheidsvergelijkingen is lang onopgemerkt gebleven en eerst veel later door ARGELANDER nader ontwikkeld en uitgewerkt.

Zo was nu de wereld der vaste sterren voorgoed binnen het gebied van de werkdadige sterrekunde getrokken. Dat HERSCHEL dit heeft kunnen volbrengen was wel grotendeels het gevolg daarvan, dat hij als autodidact van buiten af in de wetenschap was gekomen. Niet bezwaard met de vracht der traditie, die voor de in het vak opgeleiden veelal het gebied van de plichtmatige en erkende objecten van studie omgrenzen, kon hij daarbuiten onbetreden wegen inslaan. In de geschiedenis van de sterrekunde is zo iets dikwijls voorgekomen. Nu was het een bekroning van het opbouwend sterrekundig onderzoek van twee eeuwen, dat de poorten naar het wijde gebied van de sterrenwereld waren opengeworpen, en de wegen gebaad, waarop de wetenschap in de volgende eeuw zou voortgaan.

## VII. DE EEUW DER WETENSCHAP

### 32. PRECISIE-TECHNIEK

„Wij mogen ons niet vleien”, aldus in 1782 de welbepaalde geschiedschrijver der sterrekunde BAILLY, die later als president van de Constituante in de Franse revolutie een rol speelde, „dat de instrumenten, zelfs als ze „nog geperfectioneerd worden, ons zullen veroorloven nog verder te gaan en „de nauwkeurigheid tot voorbij één seconde te drijven. Het zou best kunnen „zijn, dat BRADLEY daarin de grenzen van onze kennis heeft vastgelegd”. Bewondering voor de bereikte hoogte — 1" is inderdaad zeer weinig, vertewoordigt  $\frac{1}{100}$  mm op een cirkel van 2 meter straal — is hier gepaard aan de naïviteit van de achttiende-eeuwse burger, die met de nu bijna bereikte heerschappij van de menselijke rede en van het inzicht in een natuurlijke wereldorde de geestelijke — en weldra ook de politieke — ontwikkeling van de mensheid voltooid achtte. Wie kon toen vermoeden, dat dit alles slechts voorbereiding voor een onafzienbare, steeds snellere maatschappelijke ontwikkeling zou zijn, die een even onbegrensde ontwikkeling van de wetenschap in steeds sneller tempo zou meebrengen?

In het laatst van de 18de eeuw was in Engeland de industriële revolutie begonnen met haar diep ingrijpende maatschappelijke gevolgen, en breidde zich in de loop van de 19de eeuw over de naburige landen, over de Verenigde Staten van Noord-Amerika, en ten slotte over de gehele wereld uit. Haar grondslag was de groei der techniek; het oude kleine handwerkstuig werd verdrongen door de veel productievere vernuftig geconstrueerde machines, weldra door de stoommachine als machtige beweegkracht gedreven. Uit handwerk en kleinbedrijf groeide de kapitalistische grootindustrie op, die steeds meer het economisch leven beheerste en ten slotte het gehele aspect van de aarde heeft omgewoeld. En daarmee veranderden ook de mensen; de scherpe concurrentiestrijd van de ondernemers bracht nieuwe spanning en joeg niet hen alleen op in rusteloze energie. Uit de na-middeleeuwse, min of meer absolutistische, door grondbezit en handel beheerste wereld van Europa kwam nu een krachtige burgerklasse omhoog als het leidende element van de nieuwe maatschappij. In felle revoluties (als in Frankrijk) of in diepgaande hervorming (als in Engeland) bouwde zij haar politieke macht en