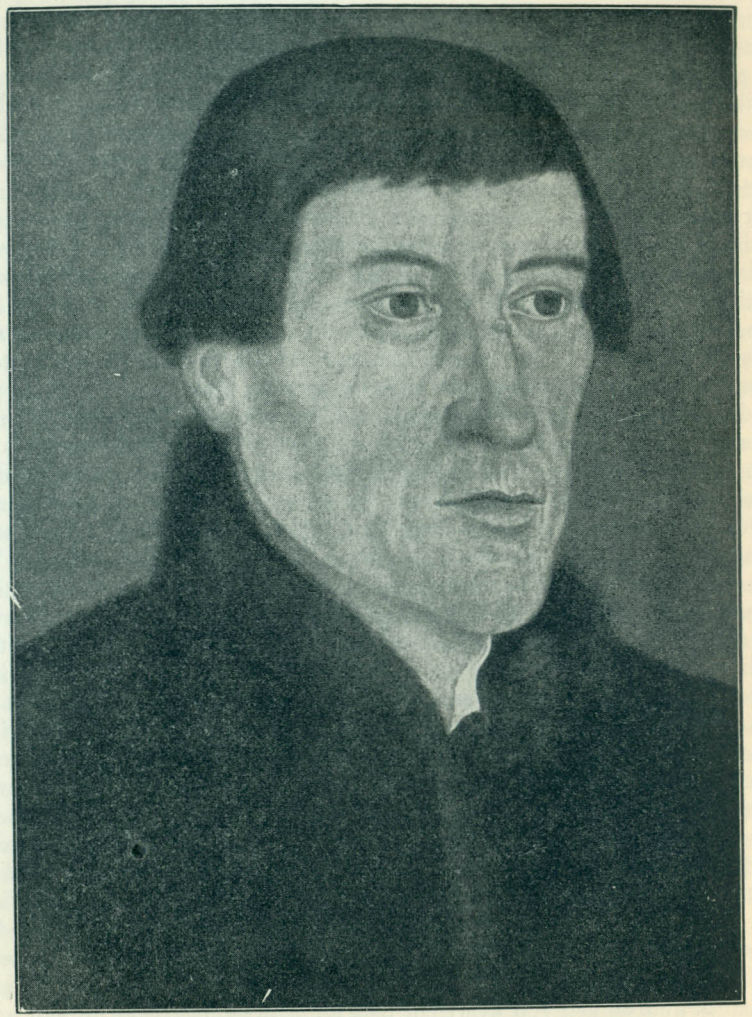
V. EEN EEUW VAN REVOLUTIE

18. COPERNICUS

Het zou niet onnatuurlijk geweest zijn als de verschillende zijden van de nieuwe wereldopvatting na elkander en bij verschillende personen opgekomen waren, b.v., zoals bij de Grieken, eerst de verklaring van de wenteling van de hemelbol door een aswenteling van de aarde, en later eerst de jaarlijkse omloop. Waarschijnlijk heeft het feit dat het oude wereldstelsel een goedsluitend geheel vormde, en dat iedereen het enkel als zulk een vaste ondeelbare eenheid kende, er toe meegewerkt, dat het nieuwe wereldstelsel ook als eenheid, ineens, in zijn geheel oprees om het oude te vervangen. Dit was de daad van NICOLAUS COPERNICUS.

COPERNICUS (NIKLAS KOPPERNINGK), in 1473 geboren te Thorn, stamde af van een familie van Duitse kolonisten, die een eeuw vroeger door de Poolse koning in het land waren geroepen. Duitse immigranten hadden zich reeds geregeld in deze landen gevestigd, eerst onder de Ridders van de Duitse Orde, later onder de Poolse koningen; zij hadden een aantal steden als Danzig, Thorn, Krakau gesticht, handel en bedrijf daar tot bloei gebracht, en als welvarende kooplieden deze tot middelpunten van burgerlijke cultuur gemaakt. In zulke pioniers leeft, zoals wij reeds vroeger opmerkten, een vrijere geest, een onbevangener, minder aan traditie gebonden denken dan bij hen, die steeds op hun oude plaats blijven. Nadat de jonge KOPPERNINGK aan de universiteit te Krakau de toenmalige astronomie in haar innige verbinding met de astrologie had leren kennen, werd hij voor juridische en daarna nog enige jaren voor medische studie naar Italië gezonden. Hier kwam hij, terwijl hij bij FERRARI sterrekunde beoefende, met het sterk pulserend leven van de Renaissance in aanraking. Hij bestudeerde het Grieks, en leerde hier kennen wat Latijnse en Griekse bronnen als afwijkende meningen van sommige filosofen der Oudheid mededelen. Deze uitspraken hebben bij hem zonder twijfel de gedachte aan een andere wereldbouw opgewekt of versterkt. In de latere opdracht aan paus PAULUS III, die de inleiding vormt tot zijn grote werk, vermeldt hij deze bronnen, die hem de moed tot het opstellen van zijn nieuwe theorie gaven: NIKETAS, die volgens CICERO de aarde liet bewegen, PHILOLAUS de Pythagoraeër, die de aarde dagelijks om het centrale vuur liet lopen, HERACLIDES en ECPHANTUS, die haar om een as lieten wentelen.

Naar het Poolse land teruggekeerd, waar hij reeds te voren door zijn oom, de bisschop van Ermland, een plaats als kanunnik in het domkapittel te



NICOLAUS COPERNICUS

Frauenburg had gekregen, formuleerde hij weldra, in 1507, zijn denkbeelden in de vorm van een „*Commentariolus*" (korte toelichting), die hij aan een aantal vrienden en vakgenoten toezond. Daarin staan, kort en krachtig, in zeven stellingen de pijlers van de nieuwe wereldbouw opgericht. Er is niet één centrum voor alle hemelse banen en sferen. Het middelpunt der aarde is niet het middelpunt van de wereld, maar slechts van de zwaarte en van de maanbaan. Alle banen omwandelen de zon, die als het ware in het midden van allen staat, zodat het middelpunt van de wereld omtrent de zon ligt. De afstand zon-aarde is in verhouding tot de hoogte van het firmament kleiner dan de aardstraal is tot de afstand van de zon; en de verhouding daarvan tot de hoogte van het firmament is in het geheel niet aan te geven. Wat wij als bewegingen aan het firmament zien, ontstaat niet uit een beweging van dit, maar van de aarde; de aarde met haar elementen wentelt dagelijks om terwijl haar polen onveranderd hun richting behouden, en het firmament en de laatste hemel onbewegelijk blijven. Wat ons als beweging van de zon toeschijnt, is niet het gevolg van haar beweging, maar van die van de aarde en haar sfeer, waardoor zij als een planeet om de zon omloopt; de aarde heeft dus meerdere bewegingen. Wat ons als het voortlopen en het teruglopen der planeten toeschijnt, is niet een gevolg van hun beweging, maar van die van de aarde; deze beweging is voldoende om alle verschijnselen aan de hemel te verklaren.

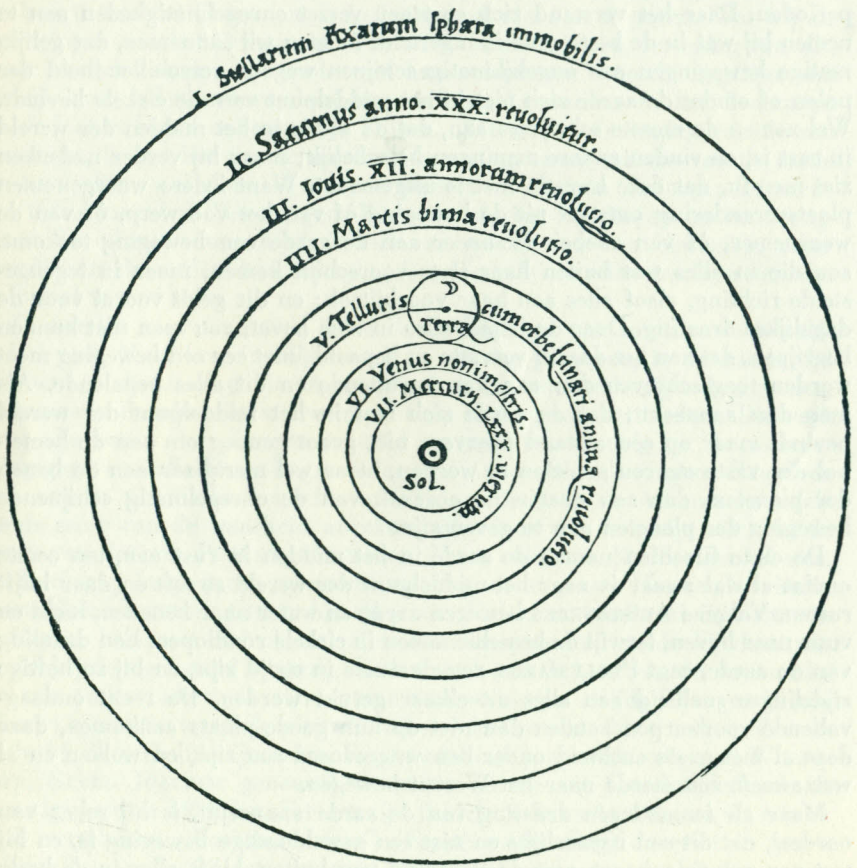
Zo stonden voor hem toen reeds de grondslagen van het nieuwe wereldstelsel vast. Maar het eigenlijke werk moest nog gebeuren, in de ruime tijd die hem in de komende jaren overbleef tussen zijn ambtelijke bezigheden, deelname in de administratieve en politieke leiding van het bisdom. Dit werk was: alle banen der planeten in getal en maat nauwkeurig uit de waarnemingsgegevens afleiden, als grondslag voor vooruitberekeningen. Daardoor kon aan de practische behoefte voldaan worden, nu de Alfonsische tafels steeds meer van de waarheid afweken; daardoor ook kon zijn werk in de plaats van dat van PTOLEMAEUS treden. Maar ook toen dit alles gereed was, heeft hij nog lange jaren geaarzeld met het uit te geven. Hoewel bevriende geestelijken, TIDEMAN GIESE, bisschop van Kulm, en kardinaal SCHOENBERG te Capua, hem met nadruk tot publicatie aanspoorden, stelde hij deze uit, omdat hij de tegenstand voorzag, die het werk van de kant van de vooroordelen zou ondervinden; en zijn natuur was wars van strijd. Zijn gemis aan scherpe oppositie tegen de nieuwe Lutherse leer maakte hem toch reeds verdacht bij de kerkelijke ijveraars. Eerst nadat een jong wiskundige uit Wittenberg, GEORG JOACHIM genaamd RHETICUS (d.w.z. uit Graubunderland afkomstig) hem in 1539 bezocht om zijn theorie te leren kennen, en in een in 1540 verschenen „*Narratio prima*" (Eerste mededeling) daarvan in geestdriftige bewoordingen een overzicht had uitgegeven, overwon hij zijn aarzeling. Hij gaf het manuscript „*De revolutionibus, libri VI*" (Zes boeken over de Omloopsbewegingen) aan RHETICUS mee, om het in Nürnberg te laten drukken, waar het in 1543, zijn sterfjaar, verscheen. Aan deze eerste uitgave werd door OSIANDER, Luthers geestelijke in deze stad, die het toezicht op het drukken op zich had genomen, een anonyme voorrede toegevoegd — waarschijnlijk om aan de tegenstand van de Wittenberger theologen tegemoet te komen — „Over de hypothesen van dit werk"; terwijl ook de uitbreiding van de titel tot „De revolutionibus corporum coelestium" (Over de omloopbewegingen der hemellichamen) de opvatting toeliet, dat de aarde daaronder niet begrepen behoefde te zijn. Eerst in veel latere tijd werd bekend, dat dit wijzigingen waren, die niet van de auteur zelf afkomstig waren.

Aan dit werk van COPERNICUS moet men drie verschillende zijden opmerken. In de eerste plaats de nieuwe grondslag van het wereldstelsel, waarvoor in het Eerste Boek de argumenten tegenover de vroegere van PTOLEMAEUS worden gesteld. Eerst wordt uiteengezet, dat de aarde met de zee de gedaante van een bol heeft; en dat de beweging van de hemellichamen gelijkmatig en ononderbroken cirkelvormig is of uit cirkelbewegingen is samengesteld. Want dan alleen, zo zegt hij, komt het vroegere terug en richt zich naar vaste perioden. Daar het verstand zich er tegen verzet onregelmatigheden aan te nemen bij wat in de beste orde is ingericht, moeten wij aannemen, dat gelijkmatige bewegingen ons ongelijkmatig schijnen wegens verschillendheid der polen of omdat de aarde zich niet in het middelpunt van die cirkels bevindt. Wel nemen de meeste schrijvers aan, dat de aarde in het midden der wereld in rust is, en vinden andere meningen belachelijk; maar bij verder nadenken ziet men in, dat deze kwestie niet is uitgemaakt. Want iedere waargenomen plaatsverandering ontstaat uit de beweging òf van het voorwerp, òf van de waarnemer, òf van allebei. Wanneer aan de aarde een beweging toekomt, zou die in alles wat buiten haar is te voorschijn komen, maar in tegengestelde richting, alsof alles aan haar voorbijtrok; en dit geldt vooral voor de dagelijkse draaiing. Daar de hemel alles in zich bevat, zou men niet kunnen begrijpen, dat aan het daarin vervatte en bepaalde niet eer een beweging moet worden toegeschreven dan aan het omvattende en dit alles bepalende. Als men dan aanneemt, dat de aarde zich niet in het middelpunt der wereld bevindt maar op een afstand daarvan, niet groot genoeg om aan de hemelbol der vaste sterren gemeten te worden, maar wel merkbaar aan de banen der planeten, dan zou daarin de oorzaak van de onregelmatig schijnende beweging der planeten aan te geven zijn.

De oude filosofen namen de aarde in het midden in rust aan, ten eerste omdat al wat zwaar is naar het middelpunt der wereld streeft en daar blijft rusten. Volgens ARISTOTELES bewegen aarde en water naar beneden, lucht en vuur naar boven, terwijl de hemellichamen in cirkels rondlopen. Een draaiing van de aarde, zegt PTOLEMAEUS, zou daarmee in strijd zijn, en bij zo heftige zijdelingse snelheid zou alles uit elkaar gerukt worden. De recht omlaagvallende voorwerpen zouden dan niet op hun goede plaats aankomen, daar deze al met grote snelheid onder hen weggevoerd zou zijn, en wolken en al wat zweeft zou steeds naar het Westen bewegen.

Maar als iemand een draaiing van de aarde aanneemt, is hij zeker van oordeel, dat dit een natuurlijke en niet een gewelddadige beweging is, en bij wat van nature gebeurt, niet door geweld van buiten, blijft alles in de beste samenhang. Waarom vreest PTOLEMAEUS dan niet hetzelfde bij de hemel, die bij hem met nog veel reusachtiger snelheid moet ronddraaien? De aarde is een tussen haar polen ingesloten bol; waarom zullen wij haar dan niet de aan een bol toekomende beweging toestaan, in plaats van aan te nemen, dat de gehele wereld, waarvan de grenzen onkenbaar zijn, zich beweegt? Met de aarde, door haar meegesleept, beweegt een groot deel van de lucht, waarin de wolken zweven, die dus aan ons in rust schijnt; terwijl de verste gebieden van de lucht, waarin de kometen gezien worden, daarvan vrij zijn. De

beweging van vallende en stijgende dingen is ten opzichte van het heelal steeds een dubbele, uit rechtlijnige en cirkelbewegingen samengesteld. Aan een eenvoudig lichaam komt, als het op zijn plaats is, een eenvoudige beweging toe, en dat is de cirkelbeweging, waardoor het is alsof het in rust is. Worden ze van hun natuurlijke plaats verwijderd, dan weerstreeft dit de orde van de wereld en dan treedt de rechtlijnige beweging op, die van langzaam in het begin steeds sneller wordt. Er komt nog bij, dat de toestand van onbewegelijkheid voor edeler en goddelijker wordt gehouden dan de verandering en onbestendigheid en dus eer aan de gehele wereld dan aan de aarde toekomt.



Het zonnestelsel naar COPERNICUS.

Daar dus aan de bewegelijkheid van de aarde niets in de weg staat, moet nu onderzocht worden of haar meer bewegingen toekomen, zodat men haar voor een planeet zou kunnen houden. Dat zij niet het middelpunt van alle cirkelbewegingen is, bewijzen de onregelmatigheden der planeten en hun veranderlijke afstanden tot de aarde, die uit concentrische cirkels om de aarde als middelpunt niet te verklaren zijn. Er zijn nog andere middelpunten dan die van de aardse zwaarte; zwaarte is de neiging van de bijeenbehorende

delen om zich tot een bol samen te voegen; en men moet aannemen, dat deze neiging evenzeer in de delen van de zon, van de maan, en van de planeten woont, waardoor ze hun ronde vorm hebben, en toch in cirkelbanen rondlopen. Neemt men de onbewegelijkheid van de zon aan en draagt men de jaarlijkse omloop op de aarde over, dan komen de op- en ondergangen der sterren, waardoor ze morgen- en avondsterren worden, op dezelfde wijze uit; en de stilstanden en heen- en weergangen der planeten blijken bewegingen van de aarde te zijn, die deze aan hen leent. De zon neemt dan het midden van de wereld in.

De volgorde van de planeten werd reeds van ouds naar hun omloopstijd aangenomen, van buiten naar binnen Saturnus, Jupiter, Mars. De oude strijd of Mercurius en Venus boven of beneden de zon moeten geplaatst worden, vindt nu daarin zijn oplossing dat beide, zoals reeds MARTIANUS CAPELLA in de Oudheid schreef, om de zon als middelpunt rondlopen. Voor de drie anderen moet ook de zon het middelpunt zijn, omdat zij in oppositie, blijkens hun grote helderheid alsdan, dicht tot ons naderen, en in conjunctie het verst en het zwakst zijn. Tussen deze beide groepen ligt dan de baan van de aarde, van wie de maan niet is te scheiden, met alles wat zich onder de maan bevindt. Er buitenomheen, als hoogste en verste, is de sfeer der vaste sterren, zo groot, dat de afmeting van de aardbaan daarbij verdwijnt, en onbewegelijk. Sommigen menen, dat deze sfeer nog een eigen kleine beweging heeft, maar wij zullen daarvoor een betere verklaring geven. Daarop volgen Saturnus, Jupiter, Mars, die hun banen in 30, in 12, in 2 jaar voltooien, dan de aarde, met 1 jaar omloopstijd, dan Venus en Mercurius met 7 maanden en met 80 dagen. In het midden van allen staat de zon. „Wie zou in deze schoonste „tempel deze lamp op een betere plaats willen zetten dan vanwaar zij het „geheel tegelijk verlichten kan?.... Zo leidt de zon, als het ware op de „koninklijke troon zetelend, de haar omgevende familie van gesternten".

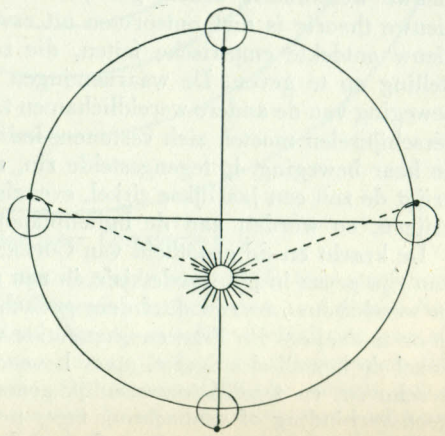
Dit zijn, zoveel mogelijk met zijn eigen woorden maar verkort weergegeven, de argumenten, die COPERNICUS voor zijn nieuwe stelsel aanvoert. Het zijn filosofische redenen, die hij tegenover die van PTOLEMAEUS stelt; ze liggen geheel binnen de uit de Oudheid overgeleverde denkwijzen. Wat aan het nieuwe wereldbeeld kracht geeft, is de grotere eenvoud en harmonie. De nieuwe theorie is niet ontsproten uit ervaring en waarneming; er zijn geen nieuw ontdekte empirische feiten, die zouden dwingen om de oude voorstelling op te geven. De waarnemingen immers kunnen alleen de relatieve beweging van de andere wereldlichamen t.o.v. de aarde tonen. Precies dezelfde verschijnselen moeten zich vertonen, indien de aarde weer in rust ondersteld en haar beweging, in tegengestelde zin, aan alle andere gegeven wordt: dan krijgt de zon een jaarlijkse cirkel, evenals Mercurius en Venus bij hun banen krijgen, en worden aan de buitenplaneten jaarlijkse epicykels toegevoegd.

De kracht en de grootheid van COPERNICUS liggen in de onafhankelijkheid van zijn geest, in zijn brede visie, in zijn gevoel voor harmonie en schoonheid in wereldbouw, in zijn durf deze gedachtengangen tot zuivere consequenties door te denken. En deze consequenties waren geweldig. Want nu werd niet enkel de hemelbol stilgezet, maar bovendien tot een onafzienbare verte weggeschoven, en tegelijk onwezenlijk gemaakt, daar nu de stilstaande sterren geen verbinding of aanhechting meer nodig hadden — de peilloze oneindigheid van de ruimte ging voor de mensheid open. En wat een nog zwaardere

eis aan het voorstellingsvermogen stelde: de meest vaste grondslag onder haar voeten, de vaste aarde, werd in een wervelende draaiing en een razend voortvliegende snelheid meegesleept, onaannemelijk voor het directe menselijke gevoel, in strijd met de ontwijfelbaarste ervaringen. Het was een algehele ommekeer in de wereldbeschouwing, wat COPERNICUS bracht, een ommekeer die, naarmate de waarheid van zijn stelsel zou doordringen, steeds meer het moderne denken der mensheid zou bepalen.

Deze vernieuwing zou denkbaar geweest zijn als een enkele omvorming van PTOLEMAEUS' stelsel, met behoud van al zijn maten en getallen, maar nu onder nieuwe namen beschreven; wat bij hem de leidcirkel van een buitenplaneet heette, werd nu de ware planetenbaan. Maar COPERNICUS gaf tegelijk, en dat is de tweede zijde van zijn werk, een vernieuwing van PTOLEMAEUS in maat en getal. Door van nieuwe, meest eigen waarnemingen uit te gaan en daaruit de baan voor zijn eigen tijd en betere omloopstijden af te leiden, bracht hij een nieuw handboek der sterrekunde tot stand, dat PTOLEMAEUS ook in getallenwaarden verbeterde en kon vervangen.

Ook in de weergave van de wisselende snelheid van de planeten in hun baan kon de theorie van PTOLEMAEUS hem niet bevredigen. Zijn grondgedachte is, dat alle bewegingen van de hemellichamen samengesteld zijn uit volkomen eenparig doorlopen cirkels. Hij acht het ongeoorloofd om met dit beginsel de hand te lichten, zoals met de invoering van een gelijkheidspunt, een equant, feitelijk geschiedt. „Het staat wel vast dat de gelijkmatige be„weging van de epicykel moet plaats vinden ten opzichte van het middelpunt „van zijn leidcirkel, en de beweging van de planeet ten opzichte van de „straal naar dat middelpunt. Men laat dus toe" aldus tegen de equanttheorie „dat hier een gelijkmatige omloop, om een vreemd, niet eigen middel„punt zou kunnen plaatsvinden.... Dit en soortgelijks heeft ons er toe ge„bracht een ander soort afleidingen aan te nemen, bij welke de gelijkmatig„heid en de grondslagen der wetenschap bewaard blijven...." Dat is de derde wijziging, die zijn wereldstelsel tegenover PTOLEMAEUS vertoont: een ander vernuftig mechanisme om de equant te vervangen. Hij laat de planeet in een omloop een klein epicykeltje doorlopen, waarvan het middelpunt gelijkmatig een excentrische cirkel beschrijft met een excentriciteit 3 maal zo groot als de straal van de epicykel. Op deze wijze wordt van perihelium tot aphelium (beneden en boven) de verandering in afstand bepaald door de excentriciteit verminderd met de epicykelstraal, terwijl 90° daarvan verwijderd (op zij) in de zijdelingse verplaatsing de som van beide optreedt, dus een dubbel zo groot effect. Hetzelfde wat PTOLEMAEUS bereikte met een gelijkheidspunt op de afstand e aan de andere kant van het middelpunt gelegen, bereikt COPERNICUS door de zon



$1\frac{1}{2}e$ buiten het middelpunt te plaatsen en de planeet een epicykeltje met een straal van $\frac{1}{2}e$ te laten doorlopen.

Volgens dit beginsel worden nu de gegevens van PTOLEMAEUS opnieuw bewerkt, evenals ook de waarnemingen van de drie opposities van elk der drie buitenplaneten, die hij zelf tussen 1612 en 1629 verrichtte. Evenals PTOLEMAEUS neemt hij als oppositie de tegenoverstand niet tot de werkelijke maar tot de middelbare zon. Bij het oude stelsel was dat onvermijdelijk; hier was het dat niet. Het doet vreemd aan, na de krachtige verkondiging van het koningschap van de zon in het eerste hoofdstuk, nu te zien, dat niet de lichamelijke zon, maar het middelpunt van de aardbaan voor COPERNICUS het centrum van het zonnestelsel is, ten opzichte waarvan de planetenbanen beschouwd worden. De berekening vindt op dezelfde wijze plaats als bij PTOLEMAEUS; het is hetzelfde probleem en het moet ook door opeenvolgende benaderingen opgelost worden, door eerst het epicykeltje weg te laten, en dan te berekenen hoeveel verschil het in de waargenomen lengten brengt. Voor de oude waarnemingen krijgt hij natuurlijk de oude uitkomsten, maar in de nieuwe vorm, dat de vroegere totale excentriciteit $2e$ hier gesplitst is in $1\frac{1}{2}e$ en $\frac{1}{2}e$. Voor de nieuwe vindt hij voor Saturnus de excentriciteit 0,0854, dus de epicykel 0,0285, samen 0,1139, precies overeenstemmend, zoals hij zelf constateert, met PTOLEMAEUS' totale excentriciteit $6\frac{5}{6}$ zestigsten = 0,1139. De lengte van het aphelium, 240°21′, was echter sinds PTOLEMAEUS 14° vooruitgelopen. Bij Jupiter neemt hij, door een rekenfout uit de koers gebracht, PTOLEMAEUS' totale waarde 0,0917 over, en vindt het aphelium op 159°, dus $4\frac{1}{2}$° vooruitgelopen in 1400 jaar. Voor Mars vindt hij de excentriciteit 0.1460 in plaats van de 0,1500, die bij PTOLEMAEUS' waarde past, en het aphelium 10°50′ vooruitgelopen, en zegt dan: „de afstand der „middelpunten hebben wij 0,0040 kleiner bevonden; niet dat PTOLEMAEUS „of wijzelf een fout gemaakt hebben, maar als duidelijk bewijs dat het middel„punt van de aardbaan dichter bij dat van de Marsbaan is gekomen, terwijl „de zon op haar plaats bleef". Als men bedenkt dat dit verschil op een verschil van slechts 14′ in de lengte van de planeet neerkomt, is het zeer de vraag of hij niet te veel vertrouwen in de realiteit van zulke kleine grootheden had.

Bij Mercurius en Venus, nu als binnenplaneten van de andere te onderscheiden, had het nieuwe wereldsysteem van vele moeilijkheden bij PTOLEMAEUS kunnen afhelpen, door ze binnen de aardbaan eenvoudig een excentrische cirkel te laten doorlopen. Maar uit een centrische epicykel was moeilijk een excentrische planetenbaan te maken, zoals hier nodig zou zijn. En door vast te houden aan het denkbeeld, dat niet de zon zelf maar het middelpunt van de aardbaan het bepalende centrum is, heeft hij zich zijn taak veel moeilijker en zijn stelsel veel ingewikkelder gemaakt, dan nodig was. Hij sluit zich in zijn uiteenzetting van de loop van deze beide planeten ten nauwste bij PTOLEMAEUS aan; alle redeneringen en getallenuitkomsten neemt hij, in iets andere vorm omschreven, van zijn grote voorganger over. Hij laat het middelpunt van de Venusbaan in een half jaar een klein cirkeltje doorlopen, waar het dus bepaald wordt door de stand van de aarde in haar baan; en ook de baan van Mercurius hangt van de aarde af. Het doet vreemd aan, dat deze andere planeten in hun werkelijke loop van de aarde afhankelijk zouden zijn; waarin dus nog iets van de oude geocentrische gedachtengang

is overgebleven; maar bij zijn grondstelling was daaraan niet te ontkomen.

Om de plaats in deze latere tijd en de omloopstijd nauwkeurig te vinden, waren naast gegevens uit de Oudheid ook moderne waarnemingen nodig. Voor Venus kon hij die zelf verrichten; maar bij Mercurius gelukte dat niet. „Deze weg voorwaar om de loop van deze planeet te onderzoeken hebben de „Ouden ons voorgetekend, maar begunstigd door een helderder hemel, want „de Nijl verwekt daar niet zulke dampen als bij ons de Weichsel. Ons echter, „die in een ruwere landstreek wonen, ontzegde de natuur dit gemak, daar „de lucht zelden rustig is, en bovendien, door de schuinere stand van de „hemelbol, de gelegenheid om Mercurius te zien, zeldzamer is.... Daardoor „heeft deze planeet ons veel moeite en arbeid bezorgd, om zijn ongelijk- „heden te onderzoeken. Tot dit doel hebben wij drie waarnemingen ontleend „aan die, welke in Nürnberg zorgvuldig gedaan zijn." Dit zijn waarnemingen, die in 1491 en 1504 door WALTHER en SCHONER waren verricht.

Voor de hellingen der planetenbanen, die in een volgend hoofdstuk behandeld worden, was COPERNICUS er gunstiger aan toe dan PTOLEMAEUS, daar hij voor elke planeet maar één helling had te bepalen. Maar hij maakt daarvan geen gebruik. Hij neemt de gegevens van PTOLEMAEUS eenvoudig over, en daar er maar één helling is, moet hij die veranderlijk aannemen. „Daaraan „erkent men, dat de hellingen der banen niet vast zijn, maar door schom- „melende, met de beweging van de aarde samengaande bewegingen ver- „anderen". Bij Venus en Mercurius is dit alles, evenals trouwens bij PTOLEMAEUS, nog ingewikkelder. In zijn theorie van de breedten der planeten, evenals bij de lengten der binnenplaneten, heeft COPERNICUS de theorie van PTOLEMAEUS met al haar gebrekkigheden bijna letterlijk overgenomen, alleen hier en daar wat anders omschreven, omdat hij de aarde om de zon liet lopen. En dit is grotendeels het gevolg daarvan, dat hij, in zijn eerbied voor zijn grote voorganger, diens waarnemingsuitkomsten en de consequenties daaruit ten onrechte als goede betrouwbare gegevens beschouwt.

Voor de maan echter kon hij door zijn systeem van cirkelbewegingen de theorie van PTOLEMAEUS van de misstand bevrijden, dat de maan in de kwartierstanden tweemaal dichterbij zou zijn dan bij volle maan. Waar PTOLEMAEUS ter verklaring van de door hem ontdekte tweede ongelijkheid (de evectie) de gehele epicykel liet naderen en zich verwijderen, liet COPERNICUS het middelpunt van de maanbaan elke halve maand op een klein cirkeltje rondlopen, waardoor de afstand van de maan niet meer dan $^1/_{10}$ veranderde.

Er waren echter nog meer ingewikkeldheden in de wereldstructuur. PTOLEMAEUS had voor de praecessie, uit het verloop der sterlengten sinds HIPPARCHUS, 1° per 100 jaar afgeleid; in de latere jaren was steeds een sneller verloop gebleken; en evenals de Arabische astronomen nam COPERNICUS een „trepidatio", een beurtelings sneller en langzamer gang van de praecessie aan. Hij bracht evenals THABIT deze heen- en weergang in verband met de geleidelijke afname van de helling van de ecliptica, die de metingen sinds de Oudheid duidelijk toonden (23°51$^1/_3$′ bij PTOLEMAEUS, 23°34′ bij ARZACHEL in 1069, 23°28½′ volgens eigen metingen in 1625), en waaruit hij zelfs een veranderlijke snelheid van afname meende te mogen afleiden. Hij verbond ze samen tot een in een kring schommelende beweging van de aardas. Bevangen in de oude voorstelling, dat bij een omloopsbeweging van een lichaam van nature steeds moet gedacht worden aan een soort vaste verbinding met het

middelpunt, meende hij dat een standvastige richting van de aardas in de ruimte alleen te verklaren was als er een derde beweging van de aarde bij kwam, waarbij haar as jaarlijks een tolbeweging of kegelbeweging volbrengt. De praecessie, die een zeer langzame richtingsverandering van de aardas is, was dan heel eenvoudig zo te verklaren, dat de kegelbeweging van de aardas in iets minder dan een jaar voltooid wordt, dus haar richting elk jaar dit overschotje verschuift. Hier komt dan nu, voor de wisselingen in praecessie en helling, een heen- en weer- en op- en neerschommeling van de aardas in een kleine kringloop in een periode van 3400 jaar bij. Het gevolg is, dat nu ook de lengte van het tropische jaar onregelmatig veranderlijk wordt. En ten tweede, dat COPERNICUS het onregelmatige lentepunt nu niet meer als nulpunt van telling voor de lengten kan gebruiken, en in zijn (aan PTOLEMAEUS ontleende) stercatalogus alle lengten vanaf de eerste ster in de Ram rekent.

Op dezelfde wijze geleid door een te groot vertrouwen in de waarnemingen en de opgaven uit de Oudheid, neemt hij voor de aardbaan niet enkel een voortlopen van de apsidenlijn aan, maar een veranderlijk voortlopen, gepaard met een verandering van de excentriciteit, aangezien PTOLEMAEUS daarvoor $^1/_{24}$ opgeeft, terwijl de latere astronomen $^1/_{30}$ vonden. Om dit weer te geven neemt hij aan, dat het middelpunt van de aardbaan ten opzichte van de zon nog een klein kringetje met een straal 0,0048 in diezelfde 3400 jaren beschrijft — òf de zon t.o.v. dat middelpunt: „Maar als iemand zou „menen, dat het middelpunt van de jaarlijkse omloop vaststaat als middel- „punt van de wereld, en de zon bewegelijk is, en wel volgens de twee beweging- „gen, die wij voor het middelpunt van de excentrische cirkel afleidden, dan „zou alles, dezelfde getallen en dezelfde berekening nog juist zo uitkomen.... „Er blijft dus nog twijfel over het middelpunt van de wereld bestaan, wes- „halve wij ons daarover van begin af onzeker hebben uitgedrukt, of het in of buiten de zon ligt".

Zo was dan, ondanks de in grote trekken zoveel eenvoudiger bouw van het planetenstelsel, de detailuitvoering nog een uiterst ingewikkeld samenstel. Daardoor maakt het boek *„De Revolutionibus"* bij een eerste beschouwing een vreemd-tweeslachtige indruk. Enerzijds, in de eerste hoofdstukken, de verkondiging en uiteenzetting van een nieuw wereldstelsel, dat de gehele grondslag der astronomie omkeerde, dat een revolutie in wetenschap en wereldbeschouwing met zich bracht, en in vele volgende eeuwen de naam COPERNICUS tot een strijdroep, een veldteken in de worsteling voor verlichting en geestesvrijheid zou maken. En verdiept men zich dan in de verdere hoofdstukken, dan voelt men zich geheel in de sfeer van de Oudheid verplaatst; in elk onderdeel sluit zich de behandeling haast angstig nauw aan het voorbeeld van PTOLEMAEUS aan. Nergens voelt men hier iets van de adem van een nieuwe tijd, nergens iets van de fiere durf van een vernieuwer, nergens iets van het optreden van een nieuwe geest van wetenschappelijk onderzoek.

In werkelijkheid is de tegenstelling niet zo heel groot. Ook de eerste hoofdstukken ademen de geest der Oudheid. Wij zagen het reeds in de argumenten, die tegen de stilstand van de aarde werden aangevoerd en geheel op de grondslag van de oude wijsbegeerte staan. COPERNICUS voelt dan ook zijn werk geenszins als een breuk met de klassieke wereldopvatting, maar als een voortzetting; en hij beroept zich op voorgangers in de Oudheid. Bij de behoefte

om op eerwaardige autoriteiten te steunen worden dan ook in de volgende jaren in de strijd over het wereldsysteem de „pythogoraeische" en de „ptolemaeische" stelsels tegenover elkaar geplaatst. Het lag alles binnen het gebied van de wetenschap der Ouden; COPERNICUS was geheel en al een kind van de Renaissance.

De sterrekundigen in de 16de eeuw zagen in de toevoeging van de vele cirkelbewegingen om veranderlijkheden weer te geven, een verfijning van de oude theorie. COPERNICUS was bij allen hoog geacht als een der eersten onder de sterrekundigen, als de man die PTOLEMAEUS verbeterde en verving. Maar alleen wegens deze details en de nieuwe getallenwaarden; zijn heliocentrisch systeem gold wel als een vernuftige theorie, maar werd niet als waarheid aanvaard. Zijn getallenwaarden vormden de basis van nieuwe sterrekundige tafels, door de Wittenberger wiskundige ERASMUS REINHOLD, naaste collega van RHETICUS, berekend. Deze tafels, die REINHOLD ter ere van zijn patroon, de hertog van Pruisen, de „*Prutenische*" noemde, verdrongen weldra de oude Alfonsische tafels in het gebruik.

19. STERREKUNDIG REKENEN

De groei van een wetenschap bestaat enerzijds in de ontwikkeling van de ideeën en theoretische verklaringen, anderzijds in de verbetering van de practische werkmethoden. Het practische werk van de sterrekundigen is van tweeërlei aard, waarnemen en berekenen. Uit de getallen, die men als onmiddellijke waarnemingsuitkomsten aan de instrumenten afleest, moeten door berekening de gezochte sterrekundige grootheden worden afgeleid. Zo vormt in de 15de en 16de eeuw de opbouw van de wiskundige apparatuur een even belangrijk deel van de vooruitgang, als de opbouw van de technische apparatuur, de instrumenten.

De Griekse meetkunde had reeds geleerd, hoe men uit gegeven lijnen en hoeken andere lijnen en hoeken kan berekenen. Voor het practisch gebruik had PTOLEMAEUS in zijn grote werk een koordentafel gegeven. Voor alle hoeken van 0° tot 180°, opklimmend met $\frac{1}{2}°$ werd de lengte van de koorde opgegeven; daar de thans gebruikelijke sinus van een hoek de helft is van de bij de dubbele hoek behorende koorde, komt dit neer op een sinustafel van 0° tot 90° voor de $\frac{1}{4}°$ opklimmende hoeken. De Arabische sterrekundigen hebben daarna de betrekkingen tussen de zijden van de driehoeken en de sinussen van de hoeken een handelbare vorm gegeven, die wij als formules van de driehoeksmeting kennen.

Berekening betekent practisch rekenen met getallen en cijfers. En daarvoor was het Griekse getallenstelsel wel zeer ongeschikt. Boven, in § 11, werd reeds vermeld, dat getallen tot een millioen konden neergeschreven worden, maar voor het rekenen boden zij geen enkele hulp. Decimalen kende men natuurlijk niet; onderdelen van de eenheid werden door eenvoudige gewone breuken aangegeven; $^1/_2$, $^1/_3$, $^2/_3$, $^3/_4$ kwamen vaak voor en hadden hun bijzondere tekens; men vindt ze dikwijls in sterrekundige getallen-

opgaven. Veel doeltreffender was het Babylonische sexagesimale getallenstelsel; waar de getallen, elk hoogstens 59, naast elkaar staan, stelt elk vorig getal zestig maal grotere eenheden, elk volgend getal 60 maal kleinere eenheden voor. Vandaar ook, dat PTOLEMAEUS zijn koorden in sexagesimale onderdelen van de straal opgeeft; en wel in drie getallen, dus met een nauwkeurigheid van $^1/_{60^3} = {}^1/_{216000}$.

In de middeleeuwen kende men in West-Europa eerst alleen de Romeinse cijfers, die voor practisch rekenen zo weinig doelmatig waren, dat in de handel steeds telraam en abacus gebruikt moesten worden. Langzamerhand drong uit de Arabische wereld het Indische cijferstelsel, met de door de plaats bepaalde waarde en de nul voor de open plaatsen, in Europa door. De Italiaanse kooplieden leerden in hun handel met het Oosten de voordelen van dit cijferstelsel kennen, al werd het in het begin door de minder ervaren handelaars als een oneerlijke geheime kunst met wantrouwen bejegend. In het begin van de 13de eeuw verscheen het leerboek van FIBONACCI, dat het rekenen met Arabische cijfers onderwees en vele eeuwen in gebruik bleef. De sterrekundigen, die de Arabische werken vertaalden, namen daaruit natuurlijk de tafels ook in Arabische cijfers over. Nog in de vijftiende eeuw gingen Duitse handelsklerken naar Venetië om daar het nieuwe rekenen en het boekhouden te leren. En in de zestiende eeuw was het op elkaar delen van getallen nog zo'n moeilijke kunst, dat MELANCHTON daarover aan de universiteit te Wittenberg afzonderlijk college moest geven. In het werk van COPERNICUS worden in de planetenberekeningen nog alle getallen in de tekst in Romeinse cijfers gegeven.

Bij de eerste opkomst van de sterrekunde in West-Europa begon PEURBACH daarmee, dat hij een uitvoeriger en nauwkeuriger sinustafel berekende, voor hoeken die met 10′ opklimmen; de sinussen worden als getallen van 7 cijfers gegeven, waarbij de straal op 6 millioen is gesteld. REGIOMONTANUS breidde deze door interpolatie uit tot een tafel, waarin de hoeken met 1′ opklimmen, dus waaruit voor elke gemeten (in graden en minuten uitgedrukte) hoek de sinus direct was over te nemen. Ook maakt hij gebruik van de tangens als goniometrische grootheid, daar deze voor metingen met de Jakobsstaf direct nodig was; maar slechts van graad tot graad. In een werk over vlakke en bol-driehoeksmeting, dat eerst in 1561, lang na zijn dood, gedrukt werd, leidt hij tal van formules af voor de berekening van lijnen en hoeken.

Hoewel de nauwkeurigheid en uitvoerigheid van deze tafels voor de toenmalige sterrekundige practijk al voldoende was, zijn de wiskundigen voortgegaan met ze tot een hogere trap op te voeren, daarmee vooruitlopend op toekomstig gebruik. In 1540 begon RHETICUS (1514—1576) met de berekening van tafels voor de sinus, de tangens en de secans van alle met 10″ opklimmende hoeken, in 15 cijfers berekend, doch bij publicatie op 10 cijfers afgerond. Ze waren bij zijn dood nog niet geheel gereed, en zijn leerling L. V. OTHO, heeft ze moeten afmaken en gaf ze in 1596 uit. Deze hebben als grondslag voor vele latere tafels gediend, waarbij latere rekenaars soms nog overgebleven fouten door nieuwe berekeningen verbeterden.

Tegelijk werd de theorie uitgewerkt, d.w.z. werd het samenstel van betrekkingen tussen de goniometrische functies en van formules ter berekening van de driehoeken opgebouwd tot een volledige leer van de driehoeksmeting, de trigonometrie. Dit werd reeds door RHETICUS gedaan; maar nog vollediger

door de scherpzinnige wiskundige VIETA (1540—1603). Zo werd de trigonometrie tot een handig en bruikbaar werkapparaat voor de sterrekundigen. Het ging hier voornamelijk om de meer ingewikkelde formules van de boldriehoeken, die dienen om de grootheden, de bogen en hoeken, aan de hemelbol uit elkaar af te leiden. Te voren had men zich meestal beholpen door een willekeurige driehoek in rechthoekige driehoeken te verdelen, en de daarvoor geldende eenvoudige formules meerdere malen toe te passen. Nu werden de algemene formules voor scheefhoekige driehoeken uitgewerkt en voor het gebruik aangeboden.

Noodzakelijk waren deze in de eerste plaats voor de oude practijk en het oude probleem, uit de gemeten hoogte van de zon de tijd af te leiden. SACROBOSCO had in de vroegere Middeleeuwen een aan de Arabieren ontleende methode aangegeven, nl. door middel van op de achterzijde van het astrolabium in het koper gegraveerde lijnen en cirkels de gevraagde grootheid af te lezen; maar deze manier was niet exact, en dus enkel bruikbaar wegens de geringe eisen die gesteld werden. Later heeft WALTHER herhaaldelijk het preciese ogenblik van een verschijnsel of een waarneming vastgelegd door de hoogte van de zon te meten. Daarvoor waren dan preciese formules nodig.

Maar er waren nog andere toepassingen van de driehoeksmeting. De plaatsen van de planeten, en ook die der vaste sterren in de catalogi werden steeds als lengte en breedte, dus t.o.v. de ecliptica opgegeven. Deze waren alleen af te lezen aan de armilla's, de ringensferen, ingewikkelde bouwsels van in elkaar draaiende ringen, die eerst omslachtig gesteld moesten worden. Daardoor waren de uitkomsten onnauwkeuriger dan bij een eenvoudiger soort metingen het geval zou zijn. Door middel van trigonometrische formules echter konden lengte en breedte berekend worden als men de coördinaten t.o.v. de equator, dus rechte klimming en declinatie kende. Deze lieten zich eenvoudiger, directer, dus ook nauwkeuriger meten. Zo leidde de trigonometrie er toe om steeds meer de sterrekundige practijk te volgen van die grootheden te meten, die het meest direct, dus ook het nauwkeurigst, op eenvoudig gebouwde instrumenten waren af te lezen; en alle andere daaruit dan door berekening af te leiden.

De eenvoudigste manier om de plaats van een planeet te vinden was het meten van haar afstand tot enige bekende sterren; b.v. met de Jakobsstaf, zoals REGIOMONTANUS, WALTHER, waarschijnlijk ook COPERNICUS en tal van anderen reeds hadden gedaan. Twee zulke afstanden leggen de planeet vast. Het vraagstuk om uit twee zulke afstanden en de bekende lengte en breedte van de twee sterren, lengte en breedte van de planeet uit te rekenen, is een zuiver trigonometrisch vraagstuk. Deze berekening werd in de zestiende eeuw dagelijkse practijk van de sterrekundigen. Een andere toepassing van de formules was het afleiden van het verschil in rechte klimming van twee sterren. Dit was toen moeilijk te meten; daarentegen was de declinatie van een ster eenvoudig te vinden door haar grootste hoogte in het Zuiden te meten en daarvan de equatorhoogte af te trekken. Wordt nu van twee sterren, waarvan de declinatie op deze wijze bekend is, ook nog de afstand gemeten, dan laat zich uit die drie gegevens het verschil in rechte klimming berekenen. Zo was de driehoeksmeting, tesamen met de goniometrische tafels, in de 16de eeuw het belangrijkste hulpapparaat in het practische werk van de sterrekundige geworden.

En nu komt ook tenslotte in de zestiende eeuw, als sluitstuk van het nieuwe rekenen met cijfers, als de beslissende stap, die het rekenen tot een volmaakte voor alle doeleinden bruikbare kunstvaardigheid zou maken, het gebruik van tiendelige breuken op. Een grote stoot ging daarbij uit van SIMON STEVIN uit Brugge, die dan ook veelal als de uitvinder van de tiendelige breuken bekend staat. In zijn in het Hollands geschreven boek „De Thiende", dat in 1585 verscheen, zet hij uiteen hoe alle berekeningen gemakkelijk uit te voeren zijn „door heele ghetalen sonder ghebrokenen"; dus hij beschouwt de cijfers, die wij achter de komma zetten, als aantallen van telkens 10 maal kleinere eenheden. Daarmee was de weg geopend niet enkel voor alle soort sterrekundig en ander rekenen, maar ook voor het practisch werken met irrationele en benaderde getallenwaarden.

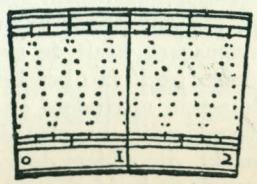
Natuurlijk eiste de practijk van de sterrekundige herleidingsformules heel wat lang en eentonig rekenwerk. Een belangrijke besparing van dit werk bracht in het begin van de volgende eeuw de uitvinding van de logarithmen. Het beginsel is bekend: voegt men aan getallen in een meetkundige reeks een corresponderende rekenkundige reeks toe (dus naast b.v. 10, 100, 1000.... of naast 2, 4, 8, 16.... plaatst men 1, 2, 3, 4...., die dan hun logarithmen heten) dan kan elke vermenigvuldiging tot een optelling, elke deling tot een aftrekking vereenvoudigd worden ($16 \times 8 = 128$ wordt tot $4 + 3 = 7$). Het vraagstuk is dan, eerst vast te stellen welke waarden als logarithmen naast 11, 12, 13.... moeten staan. Reeds omstreeks 1580 is JOOST BÜRGI, assistent op de sterrewacht te Kassel, op die gedachte gekomen; maar hij heeft er blijkbaar het grote belang niet van ingezien, en eerst in veel later tijd is een door hem berekende logarithmentafel bekend geworden. De verdienste ze in de wetenschap te hebben ingevoerd komt toe aan de Schotse geleerde JOHN NAPIER, of NEPER, zoals hij zich in het Latijn schreef. Zijn in 1614 gepubliceerde tafels hadden nog niet de nodige practische bruikbaarheid, vooral omdat ze niet aan het tientallig stelsel waren aangepast. Die werd er aan gegeven door H. BRIGGS, mathematicus in Oxford, die hem dadelijk bezocht voor verdere uitwerking van zijn vinding, en die in 1618 zijn eerste op het grondtal 10 gebaseerde tafel, in 8 decimalen publiceerde. Deze nog onvolledige tafels werden in 1628 aangevuld, voltooid en uitgegeven door ADRIAAN VLACQ, boekverkoper te Gouda, in het rekenwerk geholpen door zijn vriend EZECHIEL DE DECKER. Deze tafels, die de logarithmen in 10 decimalen gaven, hebben als bron voor vele latere logarithmentafels gediend. Al dadelijk zijn er door NEPER, en later door alle anderen, de logarithmen van de goniometrische functies sinus en tangens in opgenomen. In latere tijden zijn door rekenaars en rekenbureaux in verschillende landen nog weer nieuwe, en nog nauwkeuriger berekeningen op touw gezet, bij de eenvoudigste ondeelbare grondgetallen tot 64 decimalen toe.

Het logarithmisch rekenen is in alle takken van practisch natuuronderzoek als een onmisbaar hulpmiddel doorgedrongen. Maar meer dan enige andere wetenschap heeft de sterrekunde er van geprofiteerd. Door het lange eentonige werk van berekening der logarithmentafels op zich te nemen hebben de eerste uitvinders en berekenaars als het ware het leven van alle latere sterrekundigen verlengd. Daardoor hebben zij onderzoekingen mogelijk gemaakt, die anders door de onmetelijkheid van de te verrichten rekenarbeid ongedaan hadden moeten blijven.

20. TYCHO BRAHE

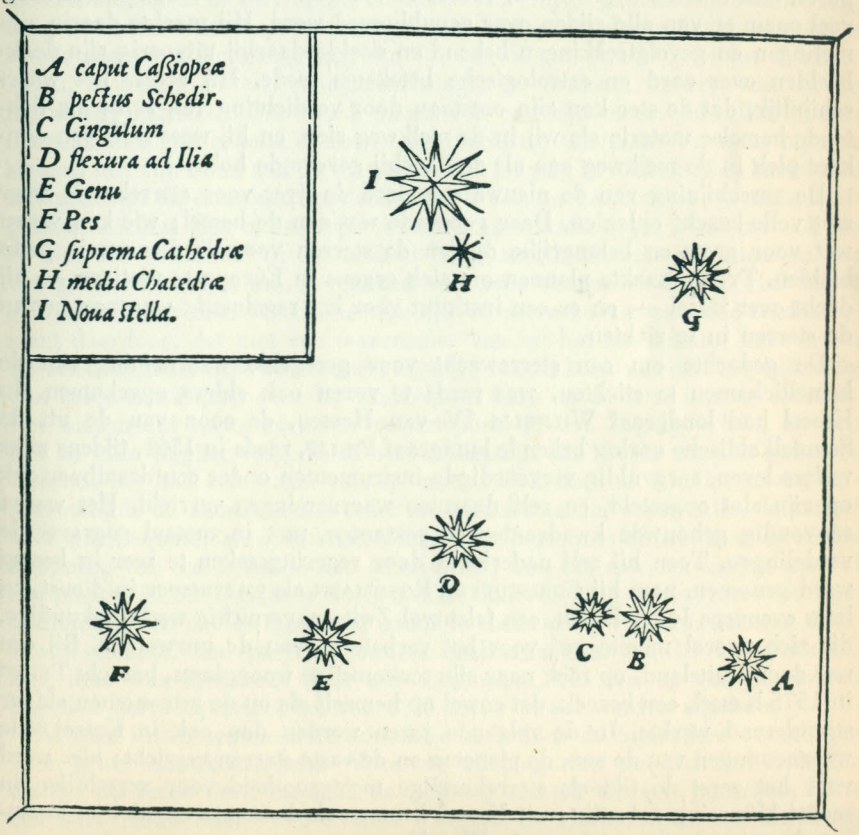
Tot de velen, die zich in de 16de eeuw met ijver aan de nieuwe studie der natuur overgaven, behoorde ook de Deense edelman TYGE (verlatijnst tot TYCHO) BRAHE (1546—1602). Reeds in zijn jonge jaren, toen hij voor juridische studie naar Leipzig was gezonden, openbaarde zich in geheime nachtelijke studiën en waarnemingen zijn hartstocht voor sterrekunde. Hij was als al zijn tijdgenoten diep doordrongen van de waarheid van de astrologische leer, en heeft zelf ook herhaaldelijk horoscopen opgesteld. Maar deze leer betekende voor hem nog wat anders dan alleen maar het doen van voorspellingen. De ontwikkeldste geesten van die tijd zochten, in de verwarrende chaos van maatschappelijke en politieke strijd en de zware onzekerheid over de toekomst, steun en redding in het bewustzijn van een diepe samenhang en harmonie van de gehele wereld. De sterren beheersen de aarde, en de loop der sterren geschiedt naar vaste eeuwige wetten. Maar onze kennis zowel van deze samenhang als van der sterren loop is nog onvoldoende. De overtuiging van de onverbrekelijke band tussen de wisselvallige gebeurtenissen op aarde en de regelmaat der sterren gaf een leiddraad aan hun zoeken. Er is een betere astrologie dan die der ongeluksprognosen; maar deze is nog in haar begin, en alleen door zorgvuldige studie kan zij uit dit primitieve stadium tot een betrouwbare wetenschap opklimmen. Deze wetenschap, als kennis van de innerlijke samenhang der wereld, zal de mens macht over het noodlot geven. Dit was ook de opvatting die zich bij TYCHO BRAHE ontwikkelde; en zo werd deze overtuiging van de eenheid van het heelal als een te bereiken inzicht een sterke prikkel tot wetenschappelijk onderzoek.

Hij had bij het waarnemen van de conjunctie van Jupiter en Saturnus in 1563 opgemerkt, dat uit de Alfonsische tafels het tijdstip een maand, en uit de Prutenische tafels enige dagen verkeerd volgde. Hoe was dan een betrouwbare verbinding met aardse gebeurtenissen mogelijk? Dus was in de eerste plaats een betere kennis van de beweging van de planeten noodzakelijk; en die kon slechts uit nieuwe en betere waarnemingen verkregen worden. Daarvoor waren betere instrumenten nodig. Bij een bezoek in Augsburg in 1569 liet hij voor de gebroeders HAINZEL, raadsheren van de stad en liefhebbers van sterrekunde, volgens zijn ontwerp een verticaal opgesteld houten kwadrant maken van 6 meter straal, dat tot 10″ was af te lezen. Het is door hen naderhand voor nuttige metingen gebruikt, maar was op den duur te onhandig voor regelmatige waarnemingen. Voor zichzelf liet hij, om op reis mee te nemen, een z.g. sextant maken, een cirkelboog van 30°, met een vaste en een draaibare vizierlijn; het diende om de afstand van twee sterren te meten door gelijktijdig vanuit het middelpunt langs beide vizierlijnen te kijken. Om de verdeling tot in minuten te kunnen aflezen paste hij de methode der transversalen toe, op- en neergaande rijen punten op gelijke afstand op de cirkelrand aangebracht, een methode die hij ook later bij vele grotere instrumenten heeft gebruikt. Na zijn terugkeer in Denemarken hield hij zich op het landgoed van zijn oom, die hem had opgevoed, voornamelijk met scheikundige proeven bezig.



Toen was het, op 11 Nov. 1572, toen hij 's avonds

uit het laboratorium kwam, dat zijn oog op een schitterende ster viel, recht boven zijn hoofd, in het sterrebeeld Cassiopeja, die hij daar vroeger nooit had gezien. Het was een nieuwe ster, een „nova", die zoals bleek, daar zeker eerst na 1 Nov. verschenen was; ze was helderder dan enige andere ster, evenaarde Venus in glans en was zelfs overdag zichtbaar. Deze verschijning bracht de gehele wereld, van de geleerden in de eerste plaats, maar ook ver daarbuiten, in beweging. Wat betekende zij? dat was de vraag die ieder zich stelde. BEZA, de vriend van CALVIJN, meende er als een tweede ster van Bethlehem, de aankondiging van een tweede komst van Christus op aarde in te mogen zien; anderen disputeerden over de rampen, die ze kon brengen, over haar natuur en over haar plaats in de wereld. Behoorde zij tot de wereld der gesternten? ARISTOTELES had vastgesteld, dat in die wereld alles ten eeuwigen dage blijvend en onvergankelijk was. Of behoorde ze dan tot het ondermaanse, de aan veranderingen onderhevige wereld van aardse elementen; was ze misschien een merkwaardige komeet, uit vurige dampen gecondenseerd?



De nieuwe ster in Cassiopeja (naar Tycho Brahe, De nova stella).

TYCHO, van dezelfde kwesties vervuld, begon dadelijk de ster waar te nemen door haar afstand tot de naburige bekende sterren van Cassiopeja en

tot de poolster herhaaldelijk te meten; zowel wanneer dit beeld hoog nabij het zenith stond, als 12 uren later als het laag in het Noorden beneden de pool stond. Was de nieuwe ster even ver van ons verwijderd als de maan, had zij dus een parallaxe van een graad, dan zou zij in de tweede stand nagenoeg een graad lager moeten staan vergeleken met de andere sterren van Cassopeja. Maar hij vond al deze afstanden altijd, in hoge of in lage stand, precies dezelfde, met slechts enkele minuten onzekerheid. Dit bewees, dat de nieuwe ster geen merkbare parallaxe had, dus veel en veel verder dan de maan verwijderd was. Dit bewees dat, in strijd met ARISTOTELES' leer, ook in de wereld van de aether, in de sterrenwereld, veranderingen plaatsgrijpen. Weldra, en in het volgend jaar steeds meer, nam de ster in helderheid af, werd daarbij eerst geel, toen rood, naderhand dof kleurloos, en verdween in 1574, de mensheid in verwondering latend en geschokt in het geloof aan de filosofische dogma's. TYCHO liet in Mei 1573 een geschrift over de nieuwe ster drukken, waarbij hij eerst zijn schroom, dat zoiets niet voor een edelman paste, had moeten overwinnen, vooral er toe gedreven doordat hij zag hoeveel onzin er van alle zijden over gepubliceerd werd. Hij maakte daarin zijn metingen en gevolgtrekkingen bekend en deelde daarbij uitvoerig zijn denkbeelden over aard en astrologische betekenis mede. Hij achtte het waarschijnlijk, dat de ster kon zijn ontstaan door verdichting van zulke ijle lichtende hemelse materie als wij in de melkweg zien, en hij wees zelfs een donkere plek in de melkweg aan als de daarbij gevormde holte.

De verschijning van de nieuwe ster deed de ijver voor sterrekunde weer met volle kracht oplaaien. Daar gebeurde wat aan de hemel; wie kon weten wat voor grote en belangrijke dingen de sterren voor de mensen in petto hielden. TYCHO maakte plannen om zich ergens in Europa te vestigen — hij dacht over Basel —, en er een instituut voor het regelmatig waarnemen van de sterren in te richten.

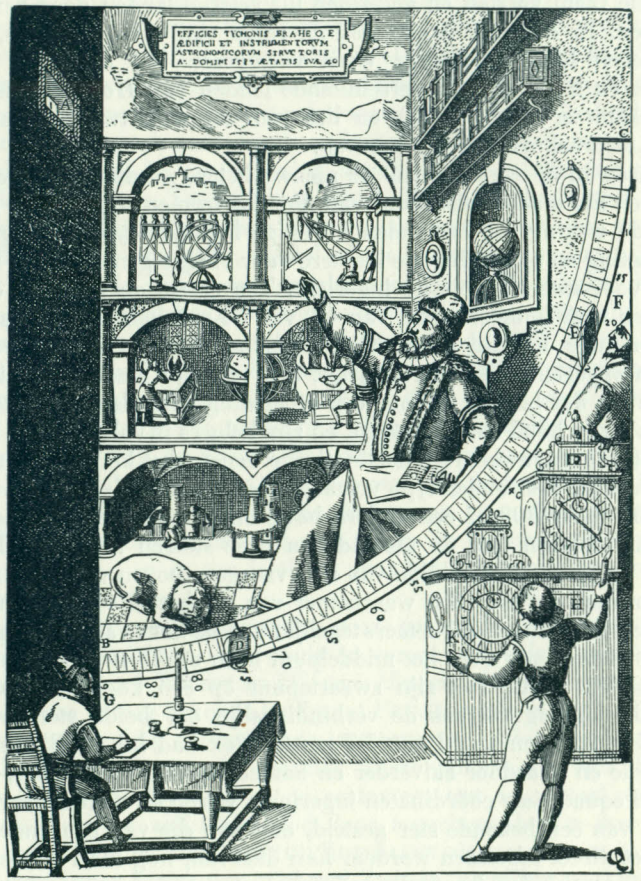
De gedachte om een sterrewacht voor geregelde waarneming van de hemellichamen te stichten, was reeds te voren ook elders opgekomen. In Kassel had landgraaf WILHELM IV van Hessen, de zoon van de uit de Schmalkaldische oorlog bekende landgraaf PHILIP, reeds in 1561, tijdens zijns vaders leven, zorgvuldig vervaardigde instrumenten onder een draaibaar dak op zijn slot opgesteld, en zelf daarmee waarnemingen verricht. Het waren eenvoudig gebouwde kwadranten en sextanten, met in metaal gegraveerde verdelingen. Toen hij zelf naderhand door regeringszaken te zeer in beslag werd genomen, nam hij CHRISTOFFEL ROTHMANN als waarnemer in dienst, en later eveneens JOOST BÜRGI, een talentvol Zwitser, vernuftig werktuigkundige, die zich vooral moeite gaf voor het verbeteren van de uurwerken. Bij een reis door Duitsland, op zoek naar zijn toekomstige woonplaats, bezocht TYCHO in 1575 Kassel, een bezoek, dat zowel op hemzelf als op de astronomen aldaar stimulerend werkte. In de volgende jaren werden dan ook in Kassel vele waarnemingen van de zon, de planeten en de vaste sterren verricht; hier werd voor het eerst de tijd als sterrekundige meetgrootheid voor verschillen in rechte klimming gebruikt; uit Kassel kwam ook de eerste op nieuwe metingen berustende stercatalogus in West-Europa.

Van nog meer blijvende waarde voor de sterrekunde was het dat de landgraaf koning FREDERIK van Denemarken er op opmerkzaam maakte, welk een belangrijke en beroemde persoonlijkheid onder zijn onderdanen aldus voor

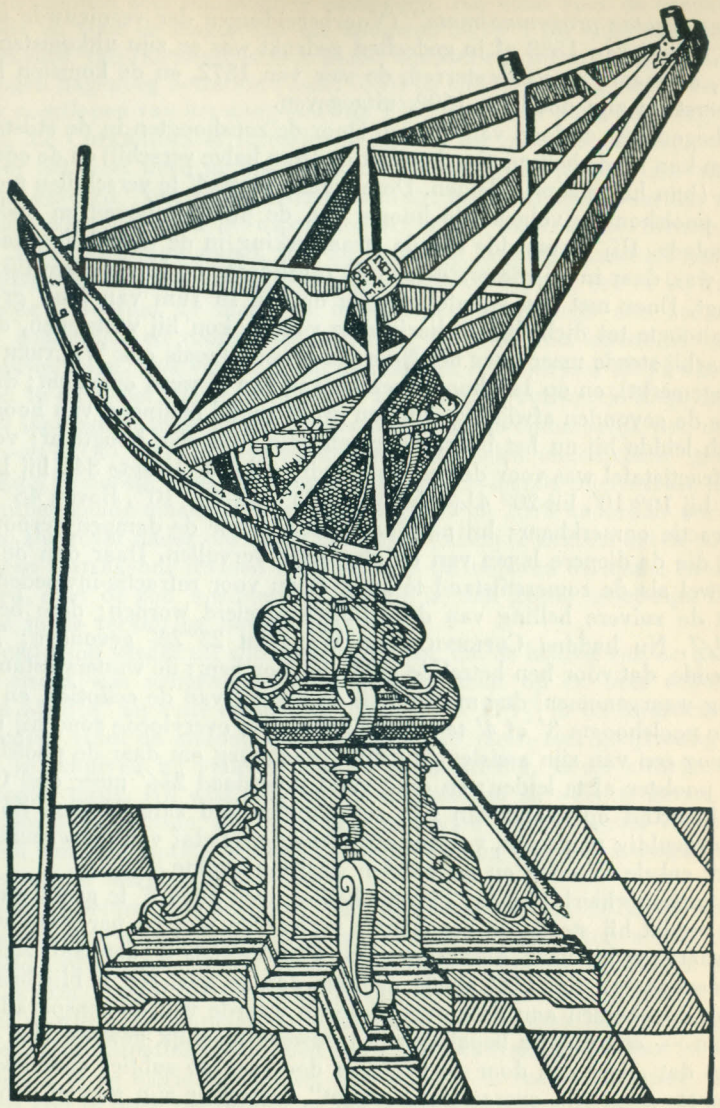
de eer en de roem van zijn rijk dreigde verloren te gaan. De koning bood nu TYCHO het eilandje Hveen dicht bij Kopenhagen in de Sont als leengoed aan, met alle inkomsten en nog bovendien opbrengsten uit andere bronnen, teneinde aldaar een sterrewacht te bouwen en deze met de beste instrumenten toe te rusten. Hier vestigde zich TYCHO; in 1576 begon de bouw van „Uranienborg", een paleis voor sterrekunde, waar in de volgende jaren van toenemende faam vorsten en geleerden uit velerlei landen door hem ontvangen werden. In dat jaar begon ook de reeks van waarnemingen, die daar twintig jaren lang regelmatig werd voortgezet. Hij omringde zich met assistenten en leerlingen uit verschillende landen (uit Holland was WILLEM JANSZ BLAEUW er 1588—1590), en liet voor hen een tweede waarnemingsgebouw „Stjerneborg" er bij bouwen.

Het waren in de eerste plaats de nieuwe betere meetinstrumenten, die hij ontwierp en liet maken, waardoor van hier de vernieuwing van de practische sterrekunde uitging. Zij bestonden uit enige bepaalde typen, elk in verschillende afmeting en uitvoering, de kleinere voor vlugge gemakkelijke hantering, de grote voor uiterste precisie ingericht. Ten eerste de verticaal opgestelde kwadranten voor hoogtemeting, van 42, van 64 cm, van $1^2/_3$ en van 2 meter straal, sommige in alle azimuthrichtingen te draaien, andere vast in de meridiaan opgesteld. Dat van 2 meter, een van zijn meest gebruikte hoofdinstrumenten, dat bekend is door een afbeelding (zie plaat V), waar hij ook zichzelf met zijn hond aan de voeten, en zijn helpers in vol bedrijf op heeft laten zetten, diende om nauwkeurige declinaties te meten; het kon tot $^1/_6$ minuut afgelezen worden. Een ander type vormden de sextanten (zo genoemd ook als ze niet 60° maar 30° of een andere boog omvatten), met een vaste en een bewegelijke richtlijn, om de afstand van twee sterren te meten. Het meest gebruikte onder deze verschilde van zijn vroegere boven vermelde reisinstrument daardoor, dat niet één waarnemer van uit het middelpunt naar beide sterren keek, maar twee waarnemers tegelijk, van de kant van de boog kijkende, hun beide vizierlijnen over het middelpunt heen op de twee sterren richtten. Het instrument rustte met zijn zwaartepunt op een kogelgewricht, en kon dus in elke ligging volgens de verbindingslijn der beide sterren gebracht worden; het had een straal van 1,7 meter. Ook had hij armillaren van vereenvoudigde en daardoor zuiverder en hanteerbaarder constructie, de meeste voor enkel equatoriale coördinaten ingericht; waren de cirkels naar de rechte klimming van een bekende ster gesteld, dan kon die van een andere ster of een planeet direct afgelezen worden. Eén daarvan, nog meer vereenvoudigd, bestond uit een poolas, boven en onder in metselwerk rustend, met een daaraan bevestigde, van vizieren voorziene declinatiecirkel van 2,9 meter middellijn; deze was draaibaar door alle uurhoeken, die dan op een daarachter liggende halve equatorcirkel van 3,75 meter straal werden afgelezen.

Al deze instrumenten onderscheidden zich door de bijzondere voorzorgen voor grote nauwkeurigheid. Voor de aflezing van de kleinste eenheden diende, als reeds werd vermeld, de methode van transversale puntrijen. Eerst een halve eeuw later vond PIERRE VERNIER de methode van een hulpboog uit — bij ons ten onrechte naar de Portugese astronoom NONIUS (P. NUÑEZ) genoemd — waarop b.v. 9′ in 10 gelijke delen zijn verdeeld, een constructie, die in volgende eeuwen bij alle instrumenten is gevolgd. Voor het instellen op de sterren had TYCHO een bijzonder soort vizieren bedacht en aan alle



TYCHO BRAHE met het grote kwadrant



Groot sextant van TYCHO.

instrumenten aangebracht. Bij het grote kwadrant b.v. was in het middelpunt een cylindrische stift geplaatst. Het vizier bestond uit een plaatje met twee nauwe spleten boven elkaar, precies de dikte van de stift van elkaar verwijderd. Zag het oog, beurtelings door beide spleten kijkend, evenveel van het sterlicht boven en beneden de stift uitsteken, dan was de ster zuiver ingesteld. TYCHO heeft al deze instrumenten uitvoerig beschreven en afgebeeld in een boekwerk „*Astronomiae instauratae mechanica*" (Werktuigleer der vernieuwde sterrekunde), dat in 1598 werd uitgegeven. Zijn *Astrono-*

miae instauratae progymnasmata" (Voorbereidingen der vernieuwde sterrekunde), dat al van 1588 af in gedeelten gedrukt was en zijn uitkomsten over de zon, de maan, de vaste sterren, de ster van 1572, en de kometen bevat, werd eerst na zijn dood, in 1602, uitgegeven.

Hij begon met de loop van de zon. Door de zonshoogten in de stilstanden te meten kon hij de helling van de ecliptica (hun halve verschil) en de equatorhoogte (hun halve som) afleiden. Deze laatste bleek 4′ te verschillen met wat uit de poolshoogte, volgens de hoogte van de poolster boven en onder de pool, volgde. Hij vermoedde dat de straalbreking in de dampkring daaraan schuld was, daar in de winterstilstand de zonshoogte op Hveen nauwlijks 11° bedraagt. Door met zijn equator-armilla de zon in Juni van haar grootste middaghoogte tot dicht bij de horizon te volgen, kon hij vaststellen, dat de zon daarbij steeds meer naar het Noorden afweek (zoals ook WALTHER reeds had opgemerkt), en op 11° hoogte een bedrag van 9′ werd opgelicht; dit verklaarde de gevonden afwijking. Uit een groot aantal metingen van hoogte en azimuth leidde hij nu het bedrag der refractie voor elke hoogte af; volgens zijn refractietafel was voor de zon de opheffing bij 0° hoogte 34′, bij 1° was ze 26′, bij 10° 10′, bij 20° 4½′, bij 30° 1′25″, bij 40° 10″. Boven 45° werd de refractie onmerkbaar; hij nam aan, dat ze door de dampen veroorzaakt wordt, die de diepere lagen van de atmosfeer vervullen. Daar dan de poolster zowel als de zomerstilstand te hoog staan voor refractie-invloeden, kon hieruit de zuivere helling van de ecliptica afgeleid worden; deze bedroeg 23°31½′. Nu hadden COPERNICUS en WALTHER 23°28′ gevonden; TYCHO vermoedde, dat voor hen hetzelfde gold als voor hem: de winterstilstand was te hoog waargenomen, dus moesten zij de helling van de ecliptica, en eveneens de poolshoogte 3′ of 4′ te klein vinden. Ten overvloede zond hij naderhand nog een van zijn assistenten naar Frauenburg om daar de poolshoogte uit de poolster af te leiden; en deze vond inderdaad 2¾′ meer dan COPERNICUS indertijd op grond van zijn zonshoogten had aangenomen. Zo werd alles zorgvuldig nagegaan, volgens een nieuwe maatstaf van nauwkeurigheid, die met enkele minuten en onderdelen daarvan werkte.

Het curieuze hierbij is, dat TYCHO's helling toch bijna 2′ te groot was. Dat kwam omdat hij steeds de zonshoogte verbeterde wegens parallaxe van de zon, waarvoor hij naar ARISTARCHUS en PTOLEMAEUS 3′ aannam, zodat hij de zomerhoogte ruim 1½′ groter aannam dan ze was. Het is blijkbaar niet bij hem opgekomen aan deze overgeleverde waarde van de zonsparallaxe te twijfelen — een nieuwe bepaling zou trouwens moeilijk geweest zijn —, en hij zegt dat „deze ons door de Ouderen door een zo subtiel onderzoek wel „met grote zekerheid overgeleverd schijnt". Daardoor zijn allerlei door hem bepaalde grootheden enkele minuten verkeerd. Daardoor misschien kwam het ook, dat hij voor de sterren een kleinere refractie vond dan voor de zon, en een tabel van ster-refracties geeft waarin ze alle 4½′ kleiner zijn dan bij de zon, en dus boven 20° hoogte onmerkbaar worden.

Om de excentriciteit van de zonsbaan te vinden gebruikte hij de nachteveningspunten en, in plaats van het onbepaalde ogenblik van zomerstilstand, de tijdstippen waarop de zon volgens de declinatiemetingen juist midden tussen deze stilstand en de beide nachteveningen in stond. Niet alleen door de grotere nauwkeurigheid van zijn hoogtemetingen, maar ook doordat hij de waarnemingen vele jaren achter elkaar voortzette, kon hij in het gemiddelde

de tijdsverlopen zeer nauwkeurig vastleggen. Hij vond voor de excentriciteit 0,03584 en voor de lengte van het apogeum 95½°; hij wijst aan waardoor de uitkomst van COPERNICUS fout moest zijn, terwijl hij uit WALTHER's waarnemingen nagenoeg hetzelfde vindt: 0,03548 en 94⅓°. Hij neemt een regelmatig voortlopen van het apogeum van 1°15′ per eeuw aan; de onregelmatigheden, die COPERNICUS er in onderstelde, laat hij geheel en al weg.

Voor het eerst werd nu ook de plaats van de maan jaar in jaar uit voortdurend gevolgd. Niet alleen leverde hem dit nauwkeuriger waarden voor de bekende wisselingen in de excentriciteit: 4°58′ bij volle en nieuwe maan, 7°28′ in de kwartierstanden, wat hij door een kunstig samenstel van epicykels wist weer te geven. Maar bovendien ontdekte hij nog een er bij komende „variatie", doordat de maan in de octanten beurtelings een bedrag van 40½′ achterbleef en vooruitliep, het eerste 45° vóór, het laatste 45° na volle en nieuwe maan. Ook vond hij, dat de maan in het voorjaar altijd wat achterraakte, in de herfst vóór raakte (ruim 11′) t.o.v. de berekende loop, dus in de winter langzamer, in de zomer sneller loopt. Het is opmerkelijk dat, onafhankelijk van TYCHO, KEPLER deze zelfde thans „jaarlijkse ongelijkheid" genoemde afwijking bemerkte, toen een door hem in de provinciale Stiermarkse almanak vooruitberekende maaneclips in het voorjaar van 1598 anderhalf uur te laat kwam. Daarover nader om uitleg gevraagd, gaf hij te kennen dat de zon blijkbaar een vertragende invloed uitoefende op de loop van de maan, en dat deze invloed, daar de zon 's winters dichter bij is, dan groter moet zijn. Dus een geheel juiste verklaring bovendien!

TYCHO vond verder uit zijn waarnemingen, dat de helling van de baan niet, zoals steeds was aangenomen, 5° bedroeg, maar op en neer schommelde tussen 4°58½′ bij volle en nieuwe maan, en 5°17½′ in de kwartierstanden. Bovendien vindt de omloop der knopen in 19 jaren niet gelijkmatig plaats, maar ze schuiven bij volle en nieuwe maan sneller, in de kwartierstanden langzamer terug. Hij wist deze onregelmatigheden zo weer te geven, dat de pool van de maanbaan, die in 19 jaar een cirkel met een straal van 5°8′ om de pool van de ecliptica beschrijft, bovendien nog elke halve maand een cirkeltje van 19′ middellijn doorloopt.

Bij het afleiden van de plaats van de nieuwe ster in 1572 uit afstanden tot de bekende Cassiopeja-sterren had TYCHO bemerkt, hoe weinig door de ruwheid van de sterplaatsen de nauwkeurigheid van zijn afstanden tot haar recht kwam. Nauwkeurige plaatsen van de sterren had hij nodig; ook al omdat voortdurend de maan en de planeten aan de vaste sterren aangesloten werden. De declinaties kon hij met zijn grote kwadrant direct door middel van de hoogte in de meridiaan meten. Het verschil in rechte-klimming van twee sterren kon òf door instelling met een armilla afgelezen worden, òf wel door met een sextant hun afstand te meten en uit deze en de twee declinaties het rechte-klimmingsverschil te berekenen, met behulp van trigonometrische formules. Voor de rechte klimming zelf, die vanaf het lentepunt telt, was de zon nodig. Uit elke declinatiemeting in de buurt van de nachteveningen was haar afstand tot het lentepunt te berekenen; als dan tegelijk het verschil in rechte-klimming tussen de zon en een ster is gemeten, is daaruit de rechte klimming van de ster af te leiden. Nu zijn de sterren overdag, tegelijk met de zon, niet te zien; de Ouden gebruikten de maan als tussenstation, maar TYCHO maakte daartoe gebruik van Venus, die zoveel langzamer van plaats verandert, op

tijden, dat ze overdag goed te zien was. Zo werden in de jaren 1582 tot 1588 een groot aantal metingen verricht: overdag van de afstand van Venus tot de reeds laag staande zon, 's nachts van de afstand van de ster tot Venus. Om de invloed van de refractie onschadelijk te maken werden bij de afleiding der uitkomsten steeds een avond- en een morgenwaarneming met gelijke zonshoogte gecombineerd. En deze voorzorgen troffen doel; de zo gevonden 15 waarden voor de rechte klimming van de ster van uitgang liepen niet meer dan 40″ uiteen, minder dan men bij zelfs zo zorgvuldige waarnemingen vooruit had kunnen verwachten. Door middel van een groot aantal steeds weer herhaalde metingen werd van een 21-tal hoofdsterren rechte klimming en declinatie met even grote nauwkeurigheid bepaald; hun gemiddelde fout volgens vergelijking met moderne gegevens, is nog beneden 40″. Om te controleren of de verdeelde bogen van de sextanten de juiste lengte hadden, berekende hij of de aldus gemeten rechte klimmingsverschillen de gehele hemelomtrek rond precies 360° gaven; de sommen bleken daarvan niet meer dan een matig aantal seconden af te wijken. Dit was natuurlijk toeval; of wel, de best uitkomende waarden waren als blijkbaar de beste uitgezocht; in de som van een aantal afstanden, die elk meerdere tientallen van seconden onzeker zijn, kon best een fout van b.v. 1′ optreden. Natuurlijk waren de plaatsen van de andere minder vaak gemeten sterren, totaal 778 in aantal, minder nauwkeurig; vergelijking met moderne metingen toont een nauwkeurigheid van ongeveer 1′.

Als de eerste volledige moderne stercatalogus, die in plaats van de oude van HIPPARCHUS en PTOLEMAEUS treedt en deze in nauwkeurigheid verre overtreft, als het beste wat zorgvuldige inspanning van vele jaren kon leveren, staat TYCHO's werk aan het begin van de nieuwe tijd; en langer dan een eeuw blijft het de steeds geraadpleegde bron van kennis der sterplaatsen. Hoewel de equator-coördinaten rechte klimming en declinatie direct gemeten zijn, geeft de catalogus, zich aan het oude gebruik houdend, lengte en breedte. De sterren zelf worden evenals bij PTOLEMAEUS door de onderdelen of lichaamsdelen van de sterrebeelden aangegeven. Eerst later, in 1603, zou BAYER, toen hij onder de naam „Uranometria" een hemelatlas met alle sterren van TYCHO uitgaf, bij de sterren Griekse letters plaatsen, die sindsdien tot de algemeen gebruikte gemakkelijke aanduidingen der sterren zijn geworden.

Uit de vergelijking van zijn lengten der sterren met die uit de Oudheid en uit de laatste eeuw leidde TYCHO een nauwkeurige waarde voor de praecessie af, 51″ per jaar. Hij nam die als volkomen gelijkmatig aan, en spreekt niet over de „trepidatie". die aan COPERNICUS zoveel moeilijkheid had bezorgd; en daarmee was dat spooksel voorgoed uit de sterrekunde verdwenen. Maar hij vond wat anders: door zijn breedten met die van de Oudheid te vergelijken kon hij vaststellen, dat ze in de streek van de Tweelingen 15′—20′ groter, en in de streek van de Arend even zoveel kleiner waren geworden. Nu was de helling van de ecliptica in dezelfde tijd juist zoveel verminderd. Zijn uitkomsten bewezen dus, dat ten opzichte van de sterren de ecliptica evenveel veranderd was als t.o.v. de equator; dat derhalve de afname van die helling niet aan de equator maar aan de ecliptica moet worden toegeschreven.

Daarmede waren nieuwe grondslagen van een te voren ongekende nauwkeurigheid voor de practische sterrekunde gelegd.

Van niet minder belang waren de op Uranienborg verrichte waarnemingen van kometen. Zo vaak mogelijk werden de plaatsen van de verschillende kometen, die in deze jaren verschenen, gemeten, meest door afstanden tot bekende sterren. Bij de komeet van 1577, die gedeeltelijk met de Jakobsstaf gemeten werd, toont een moderne baanberekening een middelbare fout van 4′ in de coördinaten. Bij de met betere instrumenten gemeten komeet van 1585 was deze fout niet meer dan 1′. Telkens trachtte TYCHO bij zulke kometen de parallaxe te bepalen door de plaats tussen de sterren, als ze op geringe hoogte boven de horizon stond, met die op grote hoogte te vergelijken. Was de komeet even dicht als de maan bij de aarde geweest, dan hadden zich daarbij zeer duidelijk grote verschillen moeten vertonen. Maar geen spoor van een parallaxe was merkbaar; minstens zesmaal zover als de maan, zo was zijn voorzichtige conclusie, moest de komeet verwijderd zijn geweest. Maar dit was al voldoende om in zijn geschrift over de komeet van 1577 de oude leer van ARISTOTELES volkomen omver te werpen, de leer nl. dat kometen uit aardse dampen ontstane vurige verschijnselen in het ondermaanse, in de hogere dampkringslagen zijn. TYCHO heeft de kometen tot de rang van hemellichamen verheven; zij behoren tot het rijk der sterren en hun banen in de ruimte moeten door de sterrekundigen bepaald worden. Dat hijzelf met vermoedens over scheefliggende cirkelbanen de bal geheel missloeg, kan natuurlijk geen verwondering wekken.

Veel omvattender dan deze sporadische kometenwaarnemingen waren op Uranienborg de plaatsbepalingen der planeten. Zij waren van meet af aan het hoofddoel van TYCHO's astrologisch gerichte gedachten geweest; zij vormen de belangrijkste hoofdmassa van het werk op Hveen. Het bewerken van dit grote materiaal, de afleiding van nauwkeurige banen voor de planeten, wachtte nog altijd als de voornaamste taak, waarvoor al het andere „progymnasmata", vooroefeningen waren. Hier kwamen echter de uiterlijke levensomstandigheden belemmerend tussenbeide. In 1588 was zijn begunstiger koning FREDERIK gestorven; de regering kwam in handen eerst van een voogdijraad van hoge heren, en daarna van zijn meerderjarig geworden zoon. Deze waren hem niet zo welgezind. TYCHO was reeds herhaaldelijk, doordat hij zoveel mogelijk opbrengst uit de hem verleende goederen alleen maar voor zijn sterrekundig werk wilde gebruiken, in conflict gekomen met pachters en anderen en daarbij dikwijls door hogere instanties in het ongelijk gesteld. Door zijn zelfbewust en hooghartig optreden had hij zich onder zijn standgenoten en de ambtenaren vele vijanden gemaakt. Dit leidde er toe, dat hem inkomsten onttrokken werden, en dat hij gegriefd in 1596 Denemarken verliet. Na enige omzwervingen vond hij in keizer RUDOLF een nieuwe begunstiger, die echter steeds in financiële moeilijkheden verkeerde. In Praag zette hij met zijn assistent LONGOMONTANUS, met behulp van zijn voor een deel meegebrachte instrumenten de waarnemingen nog wat voort; maar zijn kracht was gebroken. In 1602 stierf hij, en liet al zijn waarnemingen in de handen van zijn helper in de laatste jaren, JOHANNES KEPLER, achter,

21. DE KALENDERHERVORMING

De kalender dient om het maatschappelijk leven in de tijd te ordenen. Zij was van ouds een godsdienstige aangelegenheid geweest. Met de opkomst van het Christendom in het Romeinse rijk, als wereldgodsdienst uitdrukking van een nieuw en dieper maatschappelijk wezen dan de oude stam- en staatsgodsdiensten, verkregen ook de religieuze feesten een nieuw karakter. Ze verloren hun onmiddellijke nauwe verbondenheid met de practijk van het arbeidsproces in zijn jaarlijkse wisselingen. Als regeling van de Christelijke feestdagen was nu de kalender een zaak van de kerk; en daartoe behoorde in de eerste plaats de vaststelling van het Paasfeest, met de daarmee verbonden andere bewegelijke feesten. Bij de Christenen was het Paasfeest niet meer een lente-offerfeest van de nieuwe oogst, maar een jaarlijkse herdenking van de Opstanding van Christus.

Volgens de Evangeliën had deze Opstanding plaatsgevonden op een Zondag, de dag volgende op de Joodse Sabbath, na het Joodse Paasfeest, dat op de volle maan, de vijftiende van de eerste maand Nisan viel. De herdenking moest dus plaatsvinden op de eerste Zondag volgende op de eerste Volle Maan in de lente, d.w.z. na de dag- en nachtevening, 21 Maart. Hier was dus hulp van de sterrekunde nodig. Als algemeen feest, dat in alle kerken in West en Oost gelijktijdig moest worden gevierd, kon het niet wachten tot de waarneming een volle maan toonde; het moest lang van te voren vastgesteld worden door kennis van de theorie. En ook stond het van begin af aan vast, dat de regels voor het vaststellen hanteerbaar moesten zijn door wel onderlegde priesters, door middel van cyklen en perioden, zonder dat sterrekundige berekening van elk afzonderlijk geval met alle onregelmatigheden van de maan nodig zou zijn.

Het sterke onregelmatige verspringen van de Paasdatum komt daarvandaan, dat de loop van de maan ingevat moet worden in de Romeinse zonne-kalender. Niet ten onrechte drukte een modern tijdrekenkundige (W. E. VAN WIJK) het aldus uit „dat niet het Paasfeest bewegelijk is — het „is immers een vaste Zondag in de eerste maand van het maanjaar — maar „dat onze telling der dagen bewegelijk is ten opzichte van het Paasfeest". In een maankalender zou de Paaszondag wel niet een vaste datum hebben — want de zevendaagse weektelling rolt sinds het begin der tijden onverstoorbaar voort, onafhankelijk van zon en maan —; maar de datum kon toch niet méér wisselen dan tussen 1 dag en 7 dagen na die van volle maan. De inpassing echter in onze zonskalender brengt de onregelmatigheden en moeilijkheden. Natuurlijk moest getracht worden ze door de 19-jarige periode, het gemene veelvoud van jaar en maand, weer te geven, als vaste basis van een voor eenvoudige zielen begrijpelijk rekenvoorschrift. Bedenkt men daarbij dat de afwisseling van maanden van 29 en 30 dagen al na een paar jaar mis loopt, en dat de inschakeling van een extradag in elk vierde jaar bovendien de regelmaat verstoort, dan wordt het duidelijk met hoe grote moeilijkheden, blijkend uit velerlei strijd in de eerste eeuwen van haar bestaan, de Christelijke kerk bij het vaststellen van de Paasdatum had te kampen.

De gelukkige oplossing, die zij vond, was het werk van DIONYSIUS, een archivaris in pauselijke dienst, omstreeks 520. In een stuk, waarin tegelijk

de telling der jaren vanaf Christus' geboorte in plaats van de Romeinse keizer-era's wordt ingevoerd, paste hij de in het Oosten in gebruik gekomen regelingen in de Romeinse kalender in. Afgezien van enige complicaties in detail komt het hierop neer. Telkens na een jaar zijn 12 maanmaanden, beurtelings van 29 en 30 dagen, samen 354 dagen verlopen; maar inderdaad is hun duur 354,367 dagen, dus in 19 jaar komt men $19 \times 0{,}367$, d.i. 7 dagen te kort. Deze konden worden weggewerkt doordat 7 keer in de cyclus van 19 jaar een 13de maanperiode ingeschakeld moest worden; en deze ingeschoven lunaties kregen nu alle 30 dagen, dus gemiddeld $\frac{1}{2}$ dag te veel; en bovendien worden er door de Juliaanse schrikkeljaren in 19 jaar gemiddeld nog $4\frac{3}{4}$ dagen bij ingevoegd. Daarmee is het tekort dus ruim aangevuld; $19 \times 354 + 7 \times 30 + 4\frac{3}{4} = 6940\frac{3}{4}$ dagen, terwijl 19 jaren van $365\frac{1}{4}$ dag $6939\frac{3}{4}$ dagen tellen. Daarbij behouden dan de gewone lunaties hun beurtelingse, door de maandnaam bepaalde lengte van 29 of 30 dagen, alsof zij er alleen zijn; de 7 ingeschoven maanden krijgen 30 dagen, en de schrikkeljaren kunnen dan genegeerd worden. Er blijft echter nog een verschil van één dag; die wordt aan het eind van de cyclus weggemoffeld; en het is de gehele Middeleeuwen door een punt van verwondering geweest — doordat deze oud-eerwaardige menselijke regeling voor een gegeven en geheiligd natuurfeit werd aangezien — waar die dag was gebleven, en waarom de maan na 19 jaren een „sprong" maakte.

In de uitgebreide middeleeuwse literatuur en de moeizame practijk van deze „computus", kalenderrekening, zijn allerlei kunsttermen in gebruik gekomen, die thans nog onze almanakken begriploos versieren. De „epacta" van een jaar heet het aantal dagen, dat de ouderdom van de maan groter is dan op de overeenkomstige dag van het eerste jaar van de 19-jarige cyclus. Ze neemt elk jaar 11 toe (365,24—354,37) of 19 af; door de aftrek van telkens 30 komt ze niet boven de 30 uit; dus voor de eerste cyclusjaren is ze 0, 11, 22, 3, 14, 25, 6 enz. Het niet precies zijn der getallen 11 en 30 compenseert elkaar op ten slotte 1 dag na, dezelfde van straks, die dan voor den dag komt, of liever: weggestopt is doordat de lijst met 0 begint en met het 19de jaar, epacta 18 sluit, en men daar niet ziet dat $18 + 11 = 29$ ons niet op de 0 zou brengen. De epacta wordt dus bepaald door het rangnummer van het jaar in de 19-jarige cyclus, het zogenaamde „guldengetal" (1 meer dan de rest bij deling van het jaartal door 19, want het 1ste jaar heeft rest 0). In het jaar 1 van elke cyclus valt de nieuwe maan op 22 Maart, dus in elk jaar geeft de epacta de ouderdom van de maan op 22 Maart aan; volle maan, met ouderdom 14, dus in het eerste jaar op 5 April, valt dan elk volgend jaar 11 dagen vroeger of 19 dagen later.

Om te weten op welke weekdag zulk een datum valt, wordt de „zonnecirkel", een cyclus van $4 \times 7 = 28$ jaar gebruikt, waarin zij op dezelfde wijze terugkeren; na elk gewoon jaar van 365 dagen gaat de weekdag 1 vooruit, na een schrikkeljaar 2 dagen. Geeft men, bij 1 Januari = A beginnend, aan alle opeenvolgende datums van het gewone jaar de steeds herhaalde 7 letters A, B, C,.... G, dan heet de letter, waarop Zondag valt, de „Zondagsletter". Deze springt dus elk jaar één achteruit, en in een schrikkeljaar na Februari is ze 2 achteruitgegaan. Heeft men eenmaal een lijstje gemaakt, dan is voor de datum van de Paas-vollemaan de weekdag af te lezen, dus Paaszondag te vinden.

Hier mag wel de opmerking ingeschoven worden — als een teken van moderne vooruitgang in abstract-wiskundige beheersing van de wereld — hoe deze gehele Paasberekening in het begin van de 19de eeuw door GAUSS werd samengevat in een formule, die met enige minuten rekenens het vraagstuk geheel oplost. Trek van het jaartal zovaak mogelijk 19 af, 4 af, 7 af, laat de resten a. b. c heten; elk volgend jaar nemen ze 1 toe, tot ze weer op 0 vallen. De volle-maan-datum gaat elk jaar 19 vooruit (of 11 achteruit) met aftrek van 30-tallen; de vroegst mogelijke Paasdatum (de dag na volle maan), die voor $a = 0$ op 6 April = 22 Maart + 15 valt, is dan voor andere jaren 22 Maart + d als $d = 19a + 15$ is, na weer de volle 30-tallen te hebben afgetrokken (dus d is de rest bij deling van $19a + 15$ door 30). Hier komt nu het tijdsverloop bij (hoogstens 6 dagen) van deze eerst-mogelijke datum tot de eerstvolgende Zondag. Elk volgend jaar, dus b en c 1 toenemend, gaat de Zondagsdatum 1 terug, of m.a.w. 6 vooruit (want 7-tallen mogen hier steeds bij- of afgedaan worden); bij een schrikkeljaar, als b van 3 op 0 terugvalt, is deze vooruitgang maar 5; daaraan wordt voldaan door de vooruitgang $2b + 4c$ te nemen, want bij een gewoon jaar is $2 + 4 = 6$ en bij een schrikkeljaar $-6 + 4 = -2$, gelijkwaardig met $+5$. Het interval, dat bij de eerstmogelijke datum moet gevoegd worden, is dus $2b + 4c - d$, of wat daarvan na aftrek van het nodige aantal malen 7 overblijft. Daarvoor kan men evengoed $2b + 4c + 6d$ schrijven, en omdat in een jaar met $b = 0$ en $c = 0$ Zondag op 28 Maart valt, d.i. op 22 Maart $+6$, wordt het bij te voegen bedrag $2b + 4c + 6d + 6 = e$, d.w.z. wat daarvan overblijft als rest na deling door 7. De gevraagde datum is dan 22 Maart $+ d + e$.

Omgekeerd kunnen wij cultuur en denkwijze der Middeleeuwen daaraan afmeten, dat zulk een eenvoudige rekensom door inkleding in een tafreel van zelfgeschapen gestalten zich aan de mensen vertoonde als een geheimzinnige eigen wereld met wonderbare, de kerkelijke ritus en het menselijk leven beheersende regels. Maar met deze grootheden en hun rekenregels heeft de Kerk zich door al die moeilijke eeuwen van diep verval der wetenschap heen weten te redden en haar taak, de vaststelling der feestdagen, formeel weten te vervullen.

Toen echter in de latere Middeleeuwen de wetenschap weer omhoog kwam, trad al spoedig aan het licht, dat kalender en rekenvoorschriften niet meer met de werkelijkheid overeenstemden. Het Juliaanse jaar van 365¼ dag was 0,00780 te groot; dit verschil liep elke 128 jaar tot een dag op, en zo viel omstreeks 1300 de lente-nachtevening in plaats van op 21 Maart reeds op 13 Maart. De 235 maanperioden van de 19-jarige cyclus, die op 6939¾ dag waren gesteld, waren in werkelijkheid 6939,69 dagen, en dit verschil maakte, dat na 950 jaren de volle maan 3 dagen vroeger kwam dan volgens de berekening. Daarmee was dan ook de Paasberekening geheel fout en werd op verkeerde dagen Pasen gehouden. ROGER BACON had er reeds op gewezen hoe schandelijk zulk een toestand, dat er vlees werd gegeten op dagen waarop gevast behoorde te worden, voor de Kerk was, en een reden tot bespotting was vanwege Joden en Mohammedanen. Maar in de eerstvolgende eeuwen verhinderen de inwendige twisten van de Kerk, dat er iets aan gedaan werd.

Wij hebben reeds vermeld, hoe in de vijftiende eeuw paus SIXTUS IV voor dit doel REGIOMONTANUS naar Rome ontbood, maar hoe door diens spoedige

dood de zaak weer bleef rusten. Voor het Lateraans concilie (1512—17) was aan COPERNICUS advies gevraagd door PAULUS VAN MIDDELBURG, bisschop van Fossombrone, die een groot werk over kalenderhervorming schreef; maar COPERNICUS antwoordde hem, dat de getallengegevens nog niet voldoende waren om het nu goed te doen. Door zijn eigen werk echter werd dit tekort weldra opgeheven; de nieuwe getallenwaarden in „De Revolutionibus" en in de tafels van REINHOLD deden nu weldra de hervorming haar beslag krijgen. Op het concilie in Trente (1545—63) werd de regeling aan de paus opgedragen, en in 1582, onder GREGORIUS XIII is ze tot stand gekomen.

Men wist dat de voorjaarsnachtevening nu op 11 Maart viel, dus 10 dagen vroeger dan de oorspronkelijk aangenomen 21 Maart; men wist ook dat de volle en nieuwe manen 3 dagen vroeger kwamen dan volgens de geldende cyclen. Deze opgelopen verschuivingen moesten dus eerst ongedaan gemaakt worden door een verspringen ineens. Ook had men nu de gegevens om het voor latere tijden goed te houden. Men wist, dat de ware lengte van het tropische jaar $^1/_{128}$ dag minder was dan de in de Juliaanse tijdrekening onderstelde 365¼ dag. Men wist ook, dat in de 19-jarige cyclus, die aan alle Paasrekening in de Middeleeuwen ten grondslag lag, de 235 maanden tesamen nagenoeg $^1/_{17}$ dag korter zijn dan 19 jaren, zodat telkens na 317 jaren de Nieuwe Maan een dag vroeger moet worden genomen.

De betrekkelijk eenvoudige wijziging in de kalenderregeling, zoals ze nu tot stand kwam, was een vernuftige vinding van de bibliothecaris ALOYSIUS LILIUS (GIGLIO). Deze regeling was na zijn dood door zijn broer aan de voor dit doel benoemde kerkelijke commissie aangeboden, door de astronomische deskundigen algemeen geprezen, en door de commissie aanvaard. Zij bestond ten eerste in het laten uitvallen van 3 schrikkeljaren in 400 jaar (dus de fout van de Juliaanse kalender werd op $^1/_{133}$ in plaats van op $^1/_{128}$ dag aangenomen), en wel de niet door 400 deelbare eeuwjaren. Ten tweede zou onder behoud van de 19-jarige cyclus 8 maal in 2500 jaar de Nieuwe Maan een dag teruggeschoven worden, en wel in de jaren 1800, 2100.... telkens om de 300 jaren, tot 3900, dan in 4300 en verder weer om de 300 jaar. Telkens met de eeuwjaren komen er nu sprongen in de kalendergrootheden, en veranderen ook de constanten in de formule van GAUSS. De epakta gaat in 1700, 1900, 2200, 2300, 2500 één achteruit, in 2400 één vooruit; en de bij de zonnecirkel 1 behorende zondagsletter springt in de uitgevallen schrikkeljaren maar één terug. Maar met de gewijzigde constanten loopt dan alles een gehele eeuw weer gewoon.

Was deze kalenderhervorming vóór de „Hervorming", d.i. de kerkscheuring, gekomen, dan had niets haar algemene invoering in de weg gestaan. Nu was zij in een tijd van scherpe geloofsverdeeldheid door de paus en een commissie van katholieke personen vastgesteld; en deze hadden geen gezag in de afgescheiden landen. Erger nog, in de bul waarin ze afgekondigd werd, „beval" de paus de vorsten en republieken de nieuwe kalender in te voeren. Terwijl dit in de katholieke landen Spanje, Frankrijk, Polen dadelijk geschiedde, weigerden nu de protestantse landen en vorsten allen. KEPLER heeft later nog zijn best gedaan om in een zeer bekwaam gesteld pleidooi, in de vorm van een samenspraak, zijn geloofsgenoten voor een algemene invoering van de nieuwe kalender in Duitsland te winnen; maar zijn zuiverheid in de leer werd toch al verdacht. Toen in 1700 de kwestie urgent was geworden, is

in Duitsland een uitweg gezocht door de kalender op iets andere manier te vernieuwen, zó, dat de eigen onafhankelijkheid toch zou blijken; door nl. wel de hoofdzaak over te nemen, maar te bepalen dat Pasen naar de werkelijke volle maan gerekend werd in plaats van naar de cyclus; en zo kwam het voor, dat katholieke en protestantse landen een week verschillend hun Pasen vierden. Maar tenslotte is de Gregoriaanse kalender in de loop van de 18de eeuw (in 1701 in Nederland, in 1752 in Engeland) onder de Protestanten algemeen ingevoerd.

In de twintigste eeuw volgde ook Rusland, en kreeg, hoewel locale en nationale tijdrekeningen voor rituele behoeften in gebruik bleven, de Gregoriaanse kalender internationale geldigheid over de gehele wereld. Wel is er ook nu een actie gaande voor nieuwe kalenderhervorming, uitgaande van de mening, dat in het tijdperk der machine bij een gemechaniseerde wereld ook een gemechaniseerde kalender behoort. Maar bij de waarde, die in de leidende maatschappelijke kringen aan velerlei oud-eerwaardige gebruiken gehecht wordt, lijkt het niet waarschijnlijk, dat het in afzienbare tijd tot wijziging zal komen.

22. DE STRIJD OVER HET WERELDSTELSEL

Hoezeer ook COPERNICUS geëerd werd onder de sterrekundigen wegens de vernieuwing van de getallenwaarden der planetenbanen, zijn heliocentrisch stelsel met de bewegende aarde vond weinig bijval. Tweeërlei waren de bezwaren, die de aanvaarding in de weg stonden, theologische en natuurkundige, het gezag van de Bijbel, en het gezag van de natuurleer van ARISTOTELES, die gesteund werd door de ervaring van alle dag.

Het theologisch bezwaar woog zwaarder bij de Protestanten dan bij de Katholieken. Terwijl kardinalen en bisschoppen COPERNICUS hadden aangemoedigd en gesteund, de uitleg van de nieuwe theorie door de paus met welgevallen werd aangehoord, en het werk aan hem werd opgedragen, wezen LUTHER en MELANCHTON ze dadelijk scherp af. LUTHER had reeds in een van zijn Tafeltoespraken in 1539 gezegd: „die dwaas wil de gehele kunst der „astronomie omkeren; maar naar de Heilige Schrift aangeeft heeft Jozua de „zon geboden stil te staan en niet de aarde". En MELANCHTON citeerde in 1550 de Psalmen en de Prediker: „de aarde staat eeuwig, de zon gaat op en „onder....: door deze goddelijke getuigenissen gesterkt willen wij aan de „waarheid vasthouden". Voor het Protestantisme was de letterlijke geldigheid van het bijbelwoord de grondslag van het geloof: terwijl de Katholieke kerk zich steeds het recht van interpretatie kon voorbehouden. Onder PAULUS III scheen de algemene weg van de Kerk nog aarzelend, tot verzoening en overbrugging van de tegenstellingen, tot herstel van de kerk-eenheid door tegemoetkoming aan nieuwere gedachten geneigd. Maar dit werd anders. In de tweede helft van de eeuw worden de tegenstellingen vaster, wordt de strijd feller en onverzoenlijker, wordt de wereld harder. De zonnige levensvreugde van de Renaissance gaat onder in de strenge leeropbouw door de Jezuïeten-

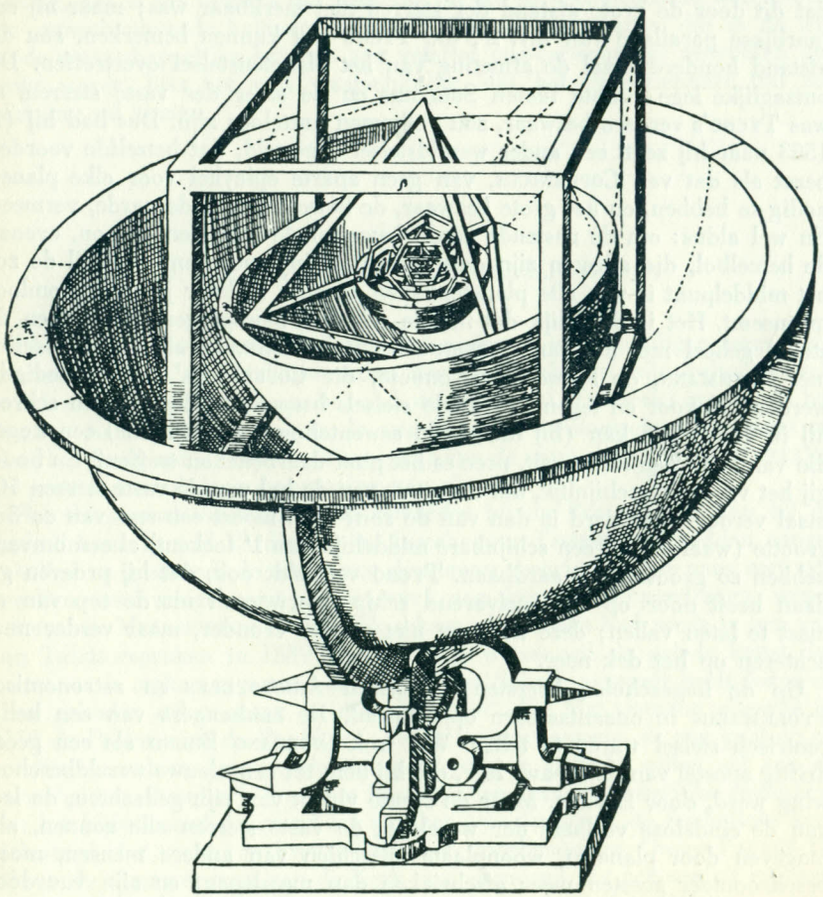
orde. Op het concilie van Trente organiseerde zich de Kerk tot een vaste strijdende macht, scherp toeziende op elke afwijking van de nu vastgestelde leer; en nu herwon zij steeds meer het vroeger verloren terrein.

Ook voor TYCHO BRAHE was het theologische gezichtspunt van belang. Een leer, die in tegenstelling tot de Bijbel stond, kon voor hem in het Protestante Denemarken, daar ze zijn belangrijke werk van practische opbouw der sterrekunde door onaangename strijd zou kunnen storen, weinig aanlokkelijks hebben. Maar het physisch bezwaar gaf toch de doorslag; de logge materiële aarde kon niet een snelbewegend hemellichaam zijn. Bovendien, als de aarde jaarlijks een cirkel beschrijft, zou deze zich bij de vaste sterren evenals bij de planeten in een schijnbare cirkelbeweging, een bij hen stilstaande epicykel, een jaarlijkse parallaxe moeten weerspiegelen. COPERNICUS had wel gezegd dat dit door de grote afstand der sterren niet merkbaar was; maar bij een jaarlijkse parallaxe van b.v. 2′, die TYCHO zou kunnen bemerken, zou die afstand honderd maal de afmeting van het planetenstelsel overtreffen. Die ontzaglijke lege ruimte tussen Saturnus en de sfeer der vaste sterren, zo was TYCHO's verdere bezwaar, zou volkomen nutteloos zijn. Dus had hij (in 1583 naar hij zegt) een ander wereldstelsel opgesteld, dat hetzelfde voordeel bezat als dat van COPERNICUS, van geen aparte epicykel voor elke planeet nodig te hebben, en het grote bezwaar, de beweging van de aarde, vermeed. En wel aldus: om de rustende aarde bewegen de maan en de zon, evenals de hemelbol, die alles in zijn dagelijkse draaiing meeneemt, terwijl de zon het middelpunt is van alle planetenbanen en deze in haar jaarlijkse omloop meeneemt. Het is duidelijk dat in alle relatieve bewegingen en plaatsen dit stelsel geheel met dat van COPERNICUS overeenkomt. In zijn briefwisseling met ROTHMANN, de Kasseler astronoom, die COPERNICUS' leer verdedigde, werden het voor en tegen van beide stelsels besproken. Zeg mij, zo schreef hij in 1589: hoe kan (bij die snelle aswenteling van de aarde) een kogel, die van een hoge toren valt, precies het punt daarbeneden treffen? En houdt gij het voor waarschijnlijk, dat Saturnus van de bol van de vaste sterren 700 maal verder verwijderd is dan van de zon? Dan moest een ster van de 3de grootte (waaraan hij een schijnbare middellijn van 1′ toekent) al een omvang hebben zo groot als de aardbaan. TYCHO vermeldt ook, dat hij proeven gedaan heeft door op een snelvarend schip voorwerpen uit de top van de mast te laten vallen; deze kwamen niet precies eronder, maar verder naar achteren op het dek neer.

Op de hogescholen heersten filosofisch ARISTOTELES en astronomisch PTOLEMAEUS in onaantastbare oppermacht. De aanhangers van een heliocentrisch stelsel waren te tellen. Wel trok GIORDANO BRUNO als een geestdriftig apostel van de nieuwe leer, die bij hem tot een nieuwe wereldbeschouwing werd, door Europa. Maar de stoute vlucht van zijn gedachten, de leer van de eindeloze veelheid der werelden, de vaste sterren alle zonnen, alle omgeven door planeten, woonplaats misschien van andere mensen, moest beschroomder geesten meer afschrikken dan meeslepen; en zijn vuurdood als ketter, te Rome in 1600, was een waarschuwing. Mannen als BENEDETTI, die de eerste belangrijke stappen deed om de bewegingsleer van ARISTOTELES door moderner inzicht te vervangen (1585), en GILBERT, die als eerste moderne experimentator de leer der magneetkracht op poten zette (1600), werden door geen vooroordeel verhinderd om de beweging van de aarde te

aanvaarden. In zijn in 1905 te Leiden uitgegeven „*Wisconstighe Ghedachtenissen*" koos SIMON STEVIN beslist partij voor COPERNICUS, en hij verbeterde hem zelfs door de derde aardbeweging, de jaarlijkse kegelbeweging van de aardas, overbodig te verklaren, daar hij door zijn moderner inzicht in de mechanica inzag, dat de as van een snel wentelend lichaam als de aarde van nature zijn richting in de ruimte behield. Evenzo was MICHAEL MAESTLIN, die in Tübingen professor in de wiskunde was, een overtuigd Copernicaan, en door hem werd zijn leerling JOHANNES KEPLER (1571—1630) een vurig aanhanger van de nieuwe leer.

KEPLER, aangesteld als Stiermarks land-mathematicus en in Graz docerend, trad in zijn eerste geschrift, het „*Mysterium Cosmographicum*", in 1595 dadelijk op als een krachtig verdediger, die met nieuwe bewijsgronden kwam.



De regelmatige veelvlakken tussen de planetensferen.

Hij gaf daarin voor de bouw van het planetenstelsel, voor het feit waarom er juist zes planeten waren, en waarom ze op die bepaalde afstanden van de zon stonden, een verklaring door middel van de vijf regelmatige lichamen

van PLATO. Wanneer men op de cirkelbanen van de opeenvolgende planeten om elkaar gelegen bollen construeert, dan past tussen elke twee opeenvolgende bollen een der regelmatige lichamen, zodanig dat zijn vlakken de binnenste bol raken en zijn hoekpunten op de buitenste bol liggen. Bij twintigvlak en twaalfvlak is de verhouding van buitenbol en binnenbol 1,24, bij achtvlak en zesvlak 1,73, en bij het viervlak 3. En nu zijn er bij de verhoudingen in afstand tot de zon ook juist twee kleinere waarden, nl. bij Aarde-Venus en Mars-Aarde 1,4 tot 1,5, twee wat grotere, nl. bij Venus-Mercurius en Saturnus-Jupiter 1,8 à 1,9, en één zeer grote, nl. bij Jupiter-Mars 3,4. Er is geen preciese gelijkheid, want de middelpunten der banen liggen niet in de zon, dus de excentriciteiten spelen een rol. Maar de overeenkomst is toch te treffend om toeval te zijn; en zo plaatst KEPLER, van binnen naar buiten gaande, de 5 lichamen in de volgorde 8-vlak, 20-vlak, 12-vlak, 4-vlak, 6-vlak tussen de zes planetensferen. Een in zijn boek afgebeeld model illustreert dit. Met de onthulling van dit geheim van de wereldbouw werd het stelsel van COPERNICUS ver boven elke twijfelachtige empirische uitkomst verheven, en geproclameerd tot een hogere filosofische of fundamentele waarheid.

Het is de vermelding waard, dat een poging om de afstand der vaste sterren door meting van de jaarlijkse parallaxe te vinden, waardoor dan tegelijk de juistheid van het heliocentrische systeem zou zijn bewezen, reeds toen in de 16de eeuw is gedaan. Wel is waar met onvoldoende middelen, maar volgens een juiste gedachtengang. Bij KEPLER had de gedachte postgevat, dat evenals de Saturnusbaan tienmaal groter was dan de aardbaan, de sfeer der vaste sterren tienmaal groter moest zijn dan de Saturnusbaan. Dan moest de jaarlijkse parallaxe van een ster een halve graad zijn. KEPLER probeerde nu met een vernuftig maar primitief toestel, een aan de rechte hoek opgehangen rechthoekige driehoek, de verandering door hoogtemetingen van de Poolster vast te stellen. Hij slaagde er niet in iets te vinden, en leidde er uit af, dat de parallaxe niet meer dan 8′ kon zijn, dus de afstand van de ster groter was dan 400 maal de afstand aarde-zon.

KEPLER zond zijn kosmografisch geschrift o.a. ook aan GALILEÏ, die sinds 1592 in Padua wiskunde en sterrekunde doceerde. In zijn bedankbrief schreef deze (1597), dat hij reeds sinds vele jaren de leer van COPERNICUS aanhing en vele bewijsgronden tegen de heersende opvattingen had neergeschreven, maar ze niet durfde publiceren, om niet evenals onze leermeester COPERNICUS door de grote massa bespot te worden. Schep moed, antwoordde KEPLER hem, en kom er mee voor den dag; met vereende krachten moeten wij de wagen voortstuwen; met uw bewijzen kunt gij de medestanders steunen, die nu onder een onbillijk oordeel lijden; en dan vermoed ik, dat maar weinigen onder de beroemde mathematici van Europa tegen ons zullen zijn; want groot is de macht van de waarheid.

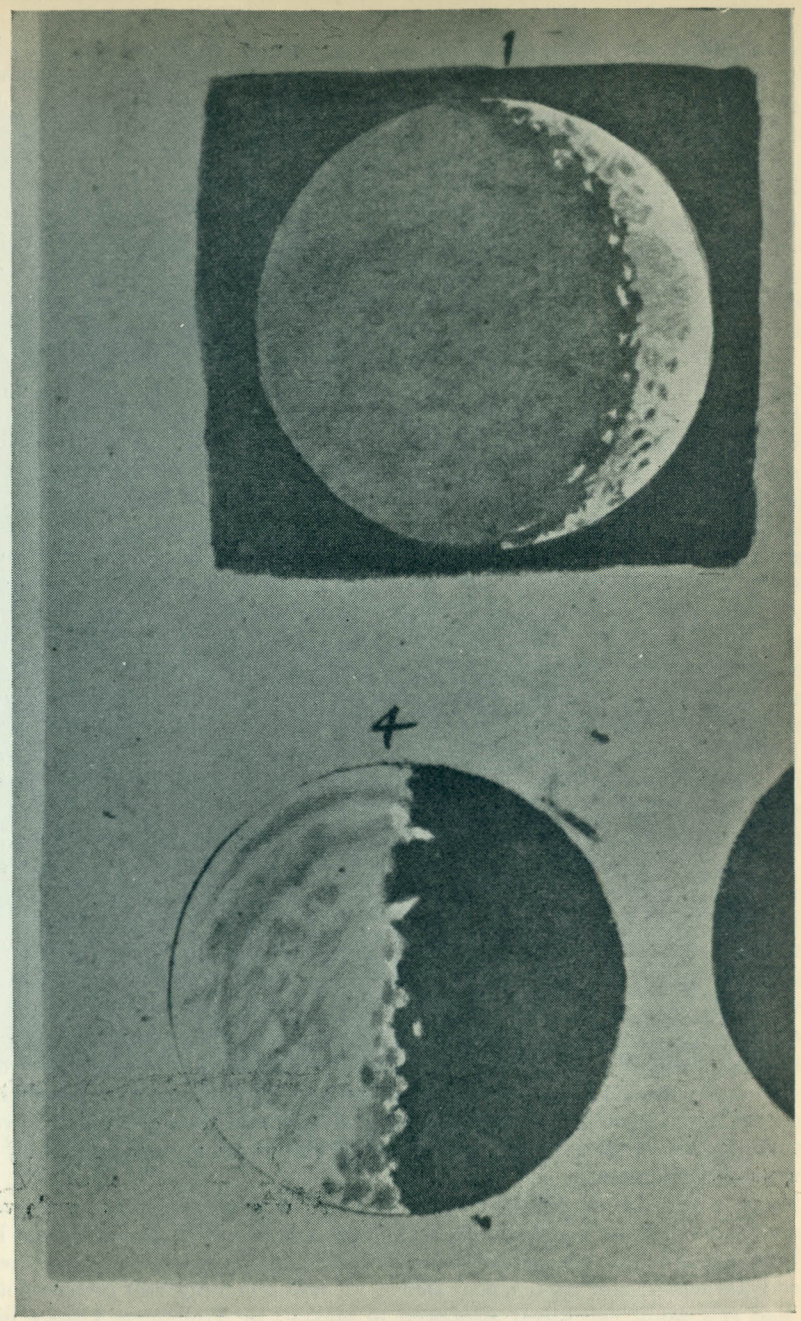
GALILEO GALILEÏ (1564—1642) was reeds, op het voetspoor van BENEDETTI en DEL MONTE, tot juistere inzichten over de bewegingswetten gekomen, die bij val en worp en draaiing een rol spelen, nu en dan logische redeneringen door experimenten. b.v. van de slingerbeweging aanvullend. Daardoor kon hij de nietigheid van de bezwaren tegen een snelle beweging van het aardoppervlak onderkennen. In zijn academische lessen bleek dit echter nog niet; die gaven volgens voorschrift alleen de leer van de hemelbol en de theorie

van PTOLEMAEUS, met daarbij ingesloten diens argumenten tegen de beweging van de aarde. Maar toen in 1602 TYCHO's Progymnasmata in druk verscheen, met de uitkomsten over de ster van 1572, en toen in 1604 een even schitterende nieuwe ster laag in het Zuiden in Ophiuchus verscheen, kon hij toch niet nalaten in enige druk bezochte voordrachten er op te wijzen, hoe ARISTOTELES' leer van de onveranderlijkheid van de bovenmaanse sterrenwereld daardoor geheel weerlegd werd.

Toen gebeurde het, dat in 1608 de eerste verrekijkers over Europa bekend werden. Naar het schijnt — men kent de geschiedenis van de uitvinding der verrekijkers niet precies — heeft ZACHARIAS JANSSEN te Middelburg er in 1604 een nagemaakt naar een exemplaar in het bezit van een onbekend Italiaan — over de mogelijkheid van een lenzencombinatie waren te voren al hier en daar vermoedens of zinspelingen opgedoken. JANSSEN heeft ze als kramer op jaarmarkten in Duitsland, wellicht ook elders, vertoond en er enige verkocht. In 1608 bood LIPPERSHEY, ook een Middelburgs brillenslijper, uit Wezel afkomstig, een verrekijker aan prins Maurits en aan de Staten aan, en vroeg er octrooi op, evenals kort daarop ook METIUS in Alkmaar. Weldra verbreidde zich de mare, en GALILEÏ, die er van hoorde, construeerde er nu zelf een en vertoonde deze in 1609 in Venetië. Weldra richtte hij zijn voortdurend door sterker vergroting verbeterde kijkers op de maan en op de sterren; en nu volgden snel na elkaar een reeks van wonderbare ontdekkingen, die de leer van COPERNICUS in het middelpunt van alle belangstelling plaatsten. Eerst deelde hij ze in brieven, die dan in afschrift verder gingen, aan bekenden en vakgenoten mede; maar daarna publiceerde hij ze in een geschrift, de „*Sidereus Nuncius*" (Sterrenbode), dat in Maart 1610 verscheen, en in de kringen der geleerden grote beroering bracht.

Op de maan zag hij de grens van licht en donker verbrokkeld; lichtvlekjes bij wassende maan in het donkere deel vlak bij de grens, die al groter werden en eindelijk met het verlichte deel samenvloeiden, wezen op door de zon verlichte bergtoppen (zie bladz. 185). De maan was dus geen kristal, maar evenals de aarde een door bergen en dalen ongelijk oppervlak; de ringvormige wallen toonden echter toch een verschil in structuur. De planeten waren in de kijker verschillend van de sterren: bleke schijfjes met duidelijk vergroot oppervlak, in tegenstelling tot de fel-fonkelende lichtpunten, die niet zozeer groter dan wel veel helderder waren dan met het blote oog. Nevelvlekken en het melkweglicht bleken uit kleine sterretjes te bestaan, en overal tussen de bekende werden kleinere voor het blote oog onzichtbare sterren gezien. Op 7 Jan. 1610 bemerkte hij ter weerszijden van Jupiter, in een lijn volgens de ecliptica, 3 sterretjes, en op 13 Jan. nog een vierde; ze begeleidden Jupiter, elke volgende avond in een andere formatie, dus heen- en weerschuivend. In een brief van 30 Jan. duidde hij ze aan als nieuwe planeten, die om een grotere planeet lopen, en ter ere van de groothertog van Toscane noemde hij ze „Mediceïsche sterren". Deze blijkbaar in banen om Jupiter als middelpunt lopende hemellichamen toonden, dat de aarde niet het middelpunt van alle cirkelbewegingen was, en gaven dus steun aan de leer van COPERNICUS.

Ongehoord opzien wekte het bekend worden van deze ontdekkingen; bewondering en vreugde bij vrienden en medestanders, geleerden en leken; maar weldra nog veel meer twijfel en tegenstand. De professoren der wijsbegeerte, die zich in hun eigen rijk aangetast voelden — de hogeschool te

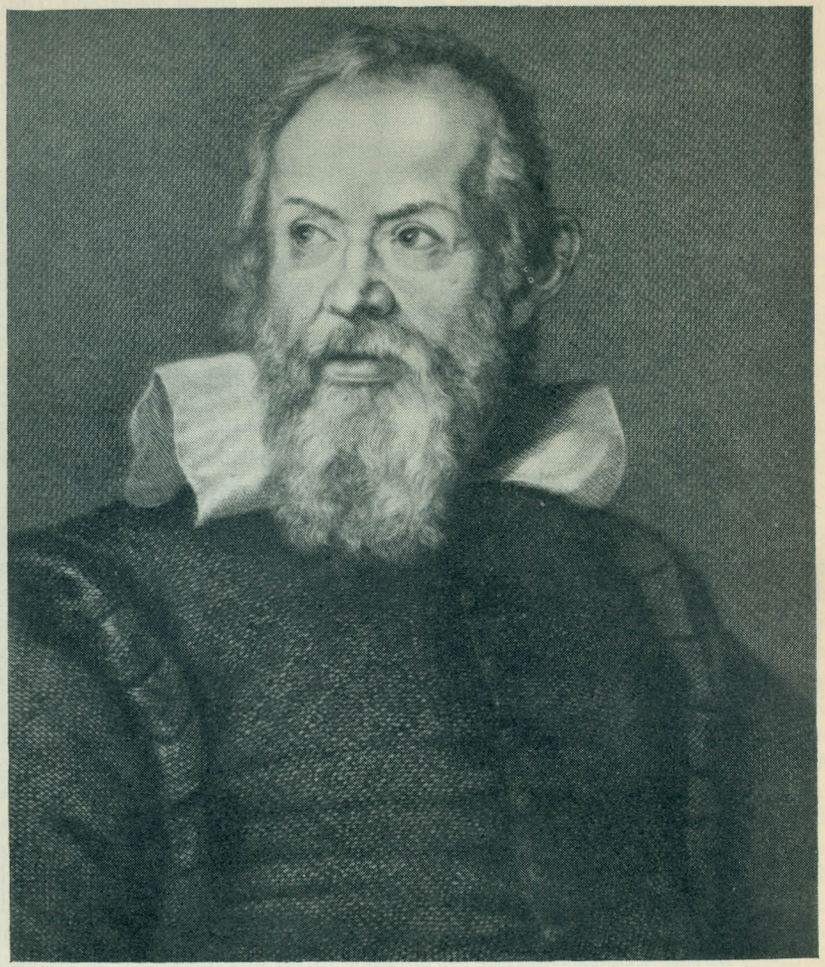


Twee tekeningen van de maan
uit het dagboek van GALILEÏ

Padua gold als een sterke burcht voor de leer van ARISTOTELES — kondigden scherpe bestrijding aan. In tal van geschriften werd logisch het bestaan van deze nieuwe dwaalsterren weerlegd; er stond niets van in ARISTOTELES, dus kon het onmogelijk waar zijn. Als GALILEÏ trachtte in openbaar dispuut zijn Paduaanse collega's door de feiten te overtuigen, weigerden ze door zijn kijker te zien; het was tòch gezichtsbedrog en schijn. Van de beide meestgezaghebbende sterrekundigen in Italië maakte de een, de oude pater CLAVIUS, zich er met een afwijzend grapje van af, terwijl de ander, MAGINI in Bologna, geacht correspondent van TYCHO en KEPLER, jaloers op de nieuwe roem van zijn jongere collega, in brieven overal heen twijfel uitsprak en de waarnemingen tot bedrog en zelfbedrog verklaarde. Toen GALILEÏ in Maart in Bologna aan een aantal bij MAGINI verenigde professoren Jupiter en zijn begeleiders door de kijker vertoonde, verklaarden deze bijna allen, dat zij er niets van zagen; en aan dit gemis aan succes werd grote ruchtbaarheid gegeven. Dat was niet enkel onwil; het was ook de feitelijke moeilijkheid, voor wie het niet gewend is, om door een kijker te kunnen waarnemen. En de kijkers waren nog uiterst primitief, de beelden met gekleurde randen en slecht van vorm, niet te vergelijken zelfs met een hedendaagse toneelkijker. De ontdekkingen, die de weg voor het nieuwe wereldstelsel baanden, waren geen overrijpe vrucht, waarvoor de boom slechts licht geschud behoefde te worden, om ze moeiteloos op te rapen. Ze waren de vruchten van uiterste inspanning en zorg bij het waarnemen en vaststellen van wat men zag, van moeizame vaak enerverende strijd tegen eigen twijfel eerst, en dan tegen hardnekkige en vaak perfide verdediging van een verouderde maar nog machtige de geesten beheersende leer.

KEPLER in Praag steunde GALILEÏ vol geestdrift. Dadelijk na het ontvangen van de *Nuncius* uitte hij zijn denkbeelden in een gedrukte open brief. Daarin zegt hij, dat het maken van een kijker voor het bestuderen van de hemellichten daarom nooit bij hem was opgekomen, omdat hij meende dat de dikke blauwe lucht toch zou verhinderen de details van verre sterren te zien; maar nu had GALILEÏ getoond, dat slechts uiterst fijne onschadelijke substantie de ruimte vulde. Hij wijst er ook op, dat, zoals zijn vriend PISTORIUS reeds vroeger had beweerd, aldus veel nauwkeuriger meten met instrumenten mogelijk zal zijn. Dan bespreekt hij de consequenties van de nieuwe ontdekkingen, fantaseert over eventuele bewoners van de maan, en over de verschijnselen op Jupiter met zijn vier manen. Hij was steeds teruggeschrokken voor BRUNO's „ontzettende filosofie" van de oneindigheid der wereld met talloze andere zonnestelsels; nu zag hij in GALILEÏ's ontdekking van ontelbare kleine sterretjes een bewijs, dat de zon toch een unicum was, dat alle sterren verre overtrof in lichtkracht. Dat waren zijn gedachten bij de nieuwe ontdekkingen.

Maar, zozeer hij de juistheid van GALILEÏ's waarnemingen ten volle vertrouwde: hij had de begeleiders van Jupiter zelf nog niet gezien, en de berichten uit Bologna verontrustten de vrienden in Praag. KEPLER was geen goed waarnemer, zijn ogen waren slecht, hij was onhandig met instrumenten en had zelf nooit een kijker proberen te maken. De Hollandse kijkers hier en daar in Duitsland vertoonden de Mediceïsche sterren niet; hun vergroting was te gering; twintig of dertig maal was volgens GALILEÏ nodig, en goede lenzen te slijpen was toen nog een kunst. Eerst in September slaagde KEPLER



GALILEO GALILEI.

er in ze te zien door de betere kijker van een bezoeker. Maar het vinden van de wetten van hun beweging leek hem uiterst moeilijk, haast onmogelijk. In de volgende maanden zijn ze ook in Frankrijk en in Engeland (door HARRIOT) waargenomen. En voor het jaar ten einde liep was men ook in het Jezuïetencollege te Rome er in geslaagd, de kijkers te verbeteren en de sterren te zien; nu eindelijk, in December, schreef CLAVIUS aan GALILEÏ, dat hij en zijn collega's van het bestaan van de nieuwe planeten overtuigd waren.

Intussen waren nu ook verdere ontdekkingen gevolgd. Verborgen in een letterraadsel, dat later opgelost werd — om zijn ontdekkersrecht te verzekeren — berichtte GALILEÏ in Juli 1610, dat Saturnus drievoudig was, ter weerszijden door twee kleinere stilstaande planeten begeleid. Aan dit beeld van wat later de brede oren van de ring zouden blijken te zijn, kan men de gebrekkigheid van zijn kijkers afmeten. En op dezelfde wijze verkondigde hij in December — hij was in de tussentijd in dienst van de groothertog van Toscane getreden en naar Florence verhuisd — dat Venus de schijngestalten van de maan vertoont. Sommige aanhangers van COPERNICUS hadden dit verwacht en voorspeld; anderen, ook KEPLER, meenden, dat de planeten gedeeltelijk eigen licht uitstralen; in zijn brieven wees GALILEÏ er met nadruk op, hoezeer deze uitkomst van de donkerheid der planeten de juistheid van COPERNICUS' wereldstelsel bevestigde.

In een rapport aan kardinaal BELLARMINI van het Heilig Officium had CLAVIUS de juistheid van GALILEÏ's ontdekkingen bevestigd; waarbij hij echter de verschijnselen bij de maan aldus verklaarde, dat er in het kristallen maanlichaam donkere en lichtere delen en ook holten waren — aan de leden van de orde was door hun generaal bevolen, de leer van ARISTOTELES zover mogelijk te volgen en te verdedigen. De bevestiging gold alleen de waargenomen verschijnselen; op de verklaring door het heliocentrisch systeem, die GALILEÏ het meest aan het hart lag, gingen CLAVIUS en zijn ordegenoten niet in. Bij alle huldiging van zijn verdiensten als ontdekker bleven ze daarin afwijzend. En inderdaad: een strikt bewijs, dat de aarde zich beweegt, konden noch de maanbergen, noch de manen van Jupiter, noch de sikkelvorm van Venus leveren.

Wat de nieuw ontdekte verschijnselen aangaat had GALILEÏ dus gezegevierd. Maar nu concentreerde zich de strijd op de beweging zelf van de aarde. Hij meende een direct bewijs daarvoor gevonden te hebben in de verschijnselen van ebbe en vloed. Terwijl KEPLER deze als een werking van de maan opvatte, zocht GALILEÏ de oorzaak in de ongelijkheden in de snelheid van het aardoppervlak: doordat de dagelijkse en de jaarlijkse omwenteling zich samenvoegen, moet van de zon af, 's nachts, de snelheid groter, en naar de zon toe, overdag de snelheid kleiner zijn; daardoor moet het water in de oceanen gaan schommelen. Doordat hij de blijkbare afhankelijkheid der getijden van de maan buiten beschouwing liet, zag hij hierin een bewijs voor de beweging van de aarde. Dit kon niet overtuigend zijn, want dan zou ebbe en vloed maar eens per dag moeten optreden.

De eigenlijke strijd vond plaats op theologisch gebied. Onwetende monniken predikten in de kerken tegen de nieuwe theorie als een ketterse leer in strijd met de bijbel, en geheime aanklachten tegen GALILEÏ werden bij het Heilig Officium ingediend. Daartegenover behandelde hij in enige veelvuldig verbreide brieven deze bijbelplaatsen en interpreteerde ze volgens de nieuwe

leer. Wel vond hij medestanders ook onder geestelijken; maar bij zijn bezoeken in Rome gelukte het hem niet de invloedrijke personen aldaar en de gezaghebbende kardinalen te overtuigen. Hij betoogde, dat er geen tegenspraak kan bestaan tussen de geopenbaarde en de natuurlijke waarheid, dus dat, als de laatste duidelijk gebleken was — en daaraan kon dan geen nog zo vastgelegde interpretatie wat veranderen — de eerste, de interpretatie van de Schrift, zich had aan te passen. Maar, zo logisch dit betoog leek, het had geen invloed op de geestelijken, rotsvast in de kerkleer, voor wie de uitkomsten der natuuronderzoekers geen overtuigende waarheid waren. Voor hen lag de zaak zo, dat als de Kerk niet door een duidelijke uitspraak ingreep, een ongebreidelde discussie over de uitleg van bijbelteksten zou ontstaan onder geestelijken en leken; en dit was geheel onverenigbaar met de strenge leerdiscipline, die zij overigens had doorgevoerd. Dus was de uitslag niet twijfelachtig; de Kerk moest zich uitspreken tegen de beweging van de aarde. Tekenend is daarbij de slordige en onnauwkeurige weergave van COPERNICUS' leer in de stellingen, die tot geloofsdwaling of ketterij werden verklaard: een bewijs voor de onwetendheid of het gemis aan zorgvuldigheid bij de rechters. Op grond van deze verklaringen besloot de Congregatie van de Index op 5 Maart 1616, dat de boeken van COPERNICUS, en alle andere die hetzelfde leren, gesuspendeerd en verboden worden, tot ze verbeterd zullen zijn.

In deze dramatische ontwikkeling stond GALILEÏ in het centrum als de kampioen van het heliocentrisch wereldstelsel. Maar hij was niet de enige, die met het nieuwe hulpmiddel de hemel bestudeerde en ontdekkingen deed. Verrekijkers waren en kwamen in vele handen, werden op de hemel gericht en brachten een algemene overtuiging van de werkelijkheid der nieuwe verschijnselen. Maar zo ontstond ook vaak felle strijd over de prioriteit van ontdekkingen en over hun interpretatie. Begrijpelijkerwijze beschouwde GALILEÏ zich als de uitverkorene en dit terrein als het hem toekomend gebied, terwijl anderen, evenzeer begrijpelijk, met gelijke ijver voor de wetenschap naar een aandeel in de roem trachtten. In 1614 verscheen een werk van SIMON MARIUS (MAYER) te Anspach over de Jupiterwereld (*Mundus Jovialis*); daarin stond, dat hij in 1609 met Hollandse kijkers bekend werd en ze op de hemel richtte, daarbij eerst gaandeweg zich de belangrijkheid bewust werd van wat hij zag, aldus de begeleiders van Jupiter zelf ontdekte en ze kort na GALILEÏ regelmatig begon waar te nemen. Deze is later heftig tegen hem uitgevaren, beschuldigde hem van plagiaat en duidde aan, dat hij de nieuwe sterren helemaal niet gezien had. In werkelijkheid was MAYER er in geslaagd voor de omloopstijden en verdere gegevens omtrent de banen betere waarden af te leiden den GALILEÏ zelf.

Een andere ontdekking uit dezelfde tijd is die van de zonnevlekken. Al waren te voren nu en dan enkele zeer grote met het blote oog opgemerkt of in een door een kleine opening geprojecteerd zonsbeeld gezien, nu eerst was hun waarneming als regelmatig verschijnsel mogelijk. Het begon met toevallige ontdekking, als een kijker op de door nevel of ochtenddamp sterk verzwakte zon werd gericht. De eerste, die ze als zodanig openlijk aankondigde, was JOHAN FABRICIUS in Emden, de zoon van KEPLER's vriend DAVID FABRICIUS, in de zomer van 1611. GALILEÏ had ze in het voorjaar reeds in Rome vertoond; en begin 1612 werden uit dezelfde tijd onderzoekingen van CHR. SCHEINER S.J. te Ingolstadt bekend gemaakt. Deze laatste was al door

zijn overste vermaand zijn waarnemingen niet te vertrouwen, want er stond niets van in ARISTOTELES; hij mocht zijn werk alleen anoniem uitgeven, en om niet met ARISTOTELES in conflict te komen verklaarde hij ze voor om de zon lopende donkere lichamen. Evenals FABRICIUS schreef GALILEÏ ze echter aan de zon zelf toe, en leidde uit hun beweging de aswenteling van de zon af. Achter deze strijd met SCHEINER stond aldoor zijn tegenstelling tot de gehele leer van ARISTOTELES.

Tegen deze onhoudbaar geworden natuurleer van ARISTOTELES richtten zich nu alle geschriften en onderzoekingen van GALILEÏ, nu hij COPERNICUS niet meer openlijk mocht verdedigen. Hij trachtte nog herhaaldelijk bij een volgende bevriende paus herziening van het verbod te bewerken, maar tevergeefs. Ten slotte werd het hem te machtig en wist hij aan zijn inzichten een vorm te geven, die aan de bezwaren, naar hij meende, tegemoet kwam: die van een gesprek, waarin formeel steeds de oude door de Kerk geboden leer gelijk krijgt, maar de argumenten voor het nieuwe wereldstelsel toch hun volle werking kunnen uitoefenen. Zijn literaire voordrachtkunst en dramatische begaafdheid maakten deze in 1632 in het Italiaans verschenen *„Gesprekken over de voornaamste wereldstelsels"* tot een voortreffelijk populair werk, waarin de natuurleer van ARISTOTELES volkomen afgemaakt werd. De Kerk liet zich door de uiterlijke vorm — hoewel eerst het verlof tot drukken was gegeven — niet misleiden in het doorzien van de werkelijke bedoeling; de ironie lag er vaak te dik op; en na een proces voor de Inquisitie moest GALILEÏ in 1633 plechtig de heliocentrische leer afzweren. Een modern katholiek sterrekundige, Professor J. PLASSMANN te Munster, noemde dit (1898) „nog steeds de noodlottigste misgreep, die het kerkbestuur ooit tegen de wetenschap heeft begaan".

In de 17de eeuw verschijnen nog talrijke geschriften voor en tegen de leer van COPERNICUS, de laatsten dan meestal het stelsel van TYCHO aanvaardend; maar onder de natuuronderzoekers worden twijfel en tegenstand steeds zeldzamer. Het kerkelijk verbod kon natuurlijk de ontwikkeling van de wetenschap niet tegenhouden. Wel maakte het de onderzoekers in katholieke landen trager in het inzien en belemmerde ze in het uitspreken van nieuwe denkbeelden. Zo werd nog in 1762 een uitgave van NEWTON's hoofdwerk door twee vakkundige paters-minorieten voorafgegaan door een verklaring, dat zij de daarin vervatte beweging der aarde als hypothese beschouwden en zich aan het kerkgebod hielden. Maar in de 18de eeuw houdt toch de werkelijke tegenstand op en dringt de nieuwe wereldleer in de brede volkskringen door. Na herhaalde pogingen werd ook eindelijk in 1822 het verbod opgeheven, en op de Index van verboden boeken komen vanaf 1835 COPERNICUS, KEPLER en GALILEÏ niet meer voor. Zo was de poging van de Kerk, de ontwikkeling van de wetenschap door het gezag van haar leer te willen tegenhouden, op een erkende nederlaag uitgelopen.

23. KEPLER

Door zijn eerste geschrift, het *„Mysterium Cosmographicum"* had KEPLER de aandacht van TYCHO BRAHE getrokken, door de daaruit blijkende zelfstandigheid in denken, astronomische kennis, en bekwaamheid en volharding in het rekenen. TYCHO nodigde hem bij zich; maar dit werd eerst mogelijk toen TYCHO zich in Praag had gevestigd, en KEPLER door de uitwijzing van alle Protestanten uit Stiermarken gedwongen werd, elders een levensonderhoud te zoeken. TYCHO bewerkte, dat hij in 1601 als „keizerlijk mathematicus" in dienst bij RUDOLF II kwam, met de opdracht om bij de verdere bewerking van de planetenwaarnemingen en de vervaardiging van nieuwe planetentafels te helpen. Door de dood van TYCHO in 1602, toen er pas een eerste begin mee was gemaakt, kwamen, na enige moeilijkheden met de erfgenamen van TYCHO, zowel de waarnemingen aan hem als ook de te vervullen taak.

In KEPLER als een man van een nieuwere generatie treden de karaktertrekken van een nieuwere tijd te voorschijn. Sterk leeft nog in hem het geloof in de astrologie als besef van de eenheid der wereld; maar niet meer als een angstig opzien naar de hemel, welk lot de sterren aan de mensheid beschoren hebben, doch veeleer als de hartstochtelijk wens die eenheid te doorgronden. Als in velen zijner tijdgenoten leefde in hem de geest van onderzoek, de sterke nieuwsgierigheid, de begeerte om de geheimen van de wereld te ontraadselen. Niet in de nuchtere zin van moderne natuurstudie, maar in de zin van wat wij mystiek plegen te noemen: het intuïtieve gevoel van de gehele kosmos als een wonder, stoffelijk en geestelijk diep samenhangend met de al even geheimzinnige menselijke scheppingen, met getallenleer, met meetkunde, met muziek. Dat trad reeds in zijn eerste geschrift te voorschijn. Zijn astrologie is ook van een moderner soort. Hij spot met het geloof, dat de namen, die in de oudheid aan sterren en hun beelden zijn gegeven, oorzaken van nu optredende verschijnselen kunnen zijn. Maar hij neemt wel aan, dat conjuncties van planeten invloed op de aardse gebeurtenissen kunnen hebben, evengoed als ieder ziet, dat zon en maan die hebben. Hij is bovenal een physisch denker; hij zoekt bij alle verschijnselen naar natuurlijke oorzaken en samenhang, soms verrassend door modern inzicht, soms geheel mistastend. De vorige generatie vroeg bij een nieuw verschijnsel: wat betekent het? Deze generatie vraagt al veel meer: wat is het, en waardoor ontstond het?

In een geschrift over de sterrekundige optica (*Astronomiae pars optica*) in 1604 verklaarde hij de straalbreking, anders dan TYCHO, uit de overgang van het licht uit de ijle aether in de dampkringslucht zelf, en hij leidt er uit af, dat ze al vanaf het zenith moet beginnen toe te nemen, en voor alle hemellichten gelijk is. Hij slaagde er niet in door proeven de wet der straalbreking te vinden; dit bleef (in 1620) aan SNELLIUS voorbehouden; maar zijn grondstellingen leverden reeds een goede tafel voor het verloop met de hoogte van een ster. Hier spreekt hij ook over de bijschaduw bij een maaneclips, en verklaart het rossige licht van de totaal verduisterde maan uit de breking van het zonlicht in de aardse dampkring. Hij verdedigt hier MAESTLIN's verklaring van het maanschijnsel naast de jonge maansikkel uit door de aarde teruggekaatst zonlicht. Over de schitterende nieuwe ster, die in October 1604 na een voorafgaande conjunctie van Jupiter en Saturnus, waar zich Mars

daarna bijvoegde, juist in de buurt van die planeten in het „vurige" teken van de Schutter verscheen, gaf hij in 1606, nadat ze eerst verbleekt en toen verdwenen was, een geschrift uit, dat zich zowel met het physische wezen als met de astrologische betekenis bezighield. In dit geschrift vergelijkt hij het flikkeren (scintilleren) der sterren met het flonkeren van een diamant die gedraaid wordt; de betere verklaring door de golvende bewegingen in de lucht was reeds door SCALIGER aangeduid.

Dit alles waren bijkomstige werkzaamheden, waaruit de richting van zijn denken over de hemellichamen kan blijken. Zijn hoofdwerk bestond in de berekening van TYCHO's waarnemingen der planeten. Sinds 1601 was hij bezig met de planeet Mars, waarin vóór zijn komst in Praag LONGOMONTANUS grote moeilijkheid had gevonden. KEPLER begon met uit de waarnemingen een volledige lijst van tijdstip, lengte en breedte voor elk der opposities van de planeet sinds 1580 af te leiden. Daarbij ging hij dadelijk een eigen weg. COPERNICUS had, daarin PTOLEMAEUS volgend, het middelpunt van de aardbaan als het ware centrum voor alle planeten beschouwd, en TYCHO, zich daarbij aansluitend, had eveneens als oppositie de stand van de planeet tegenover dit punt, dus t.o.v. de middelbare zonslengte genomen. KEPLER had reeds in zijn eerste werk de zon zelf als het natuurlijke middelpunt van het stelsel aangewezen, en hij was van oordeel dat als oppositie de stand tegenover de werkelijke zon moest genomen worden. Dit was de eerste belangrijke wijziging en vereenvoudiging van vroegere behandelingswijzen.

De opposities leverden hem 12 over de gehele baan regelmatig verdeelde waarden voor de vanuit de zon geziene lengte in de ecliptica, voor precies aangegeven tijdstippen. De wisseling in snelheid was daaruit dadelijk te zien: aan de zijde van de Waterman zeer groot, aan de overzijde in de Leeuw veel kleiner, een direct gevolg van een totale excentriciteit van ongeveer 0,18. Het kwam er nu op aan om deze ongelijkmatige voortgang precies weer te geven. Lange steeds herhaalde berekeningen met telkens nieuwe onderstellingen en benaderingen waren daarvoor nodig. De nauwkeurigheid van TYCHO's gegevens (met geen groter onzekerheid dan van omstreeks 2′) was zo groot, dat het een duidelijk verschil maakte, hoe de totale excentriciteit, de afstand tussen zon en gelijkheidspunt, door het baanmiddelpunt verdeeld werd. Nam men, als PTOLEMAEUS, het middelpunt van de cirkelbaan halfweg aan, dan bleven er duidelijke fouten over. Alleen als het middelpunt de excentriciteit in twee ongelijke helften verdeelde, met de zon 0,11332 en het gelijkheidspunt 0,07232 keer de straal van het middelpunt verwijderd, met het aphelium op 148°48′55″, werden alle waarden goed weergegeven. Berekening volgens moderne theorie leert, dat die beide waarden $^{9}/_{16}$ en $^{7}/_{16}$ van de totale excentriciteit moeten zijn.

En dan begint het volgende hoofdstuk van het boek, waarin hij zijn onderzoekingen beschrijft: „Wie zou het voor mogelijk houden! Deze hypothese, die met de oppositiewaarnemingen zo goed overeenstemt, is toch fout". Wat PTOLEMAEUS al vastgesteld had uit de verandering in schijnbare grootte van de epicykel, dat nl. het cirkelmiddelpunt de totale excentriciteit in twee gelijke helften verdeelt, dat vond KEPLER bevestigd, zodra hij werkelijke afstanden tot de zon ging berekenen. Men moet dus toch de verdeling in twee gelijke helften als juist aannemen; en berekent men daarmee de lengten in opposities, dan komen ze in perihelium en aphelium goed uit, en ook waar

JOHANNES KEPLER.

de planeet omstreeks 90° van beide afstaat; maar daartussen in, in de octanten, lopen de afwijkingen, (b.v. bij de oppositie van 1582, 138° van het perihelium verwijderd) tot ruim 8′ op. „Uit deze geringe afwijking van 8′ „blijkt, waarom PTOLEMAEUS bij zijn halvering kon blijven staan.... want „hij ging niet buiten de nauwkeurigheidsgrens van $^1/_6{}^\circ$ of 10′.. Aan ons, „aan wie door Gods goedheid in TYCHO BRAHE een zo zorgvuldig waarnemer „is gegeven, in wiens waarnemingen een fout van 8′ in de ptolemaeische bere„kening zich verraadt, past het om met dankbare zin deze weldaad te erken„nen en te benutten. En wel door ons moeite te geven, eindelijk de ware „vorm der hemelbewegingen op te sporen.... Zo wezen enkel deze 8′ de „weg naar de vernieuwing van de gehele astronomie; zij zijn de bouwstof „voor een groot deel van dit werk geworden."

Dat was dus het raadsel, dat hij moest oplossen: de ongelijke verdeling van de excentriciteit kon niet goed zijn, maar gaf alle lengten voortreffelijk weer — onder de naam van „plaatsvervangende hypothese" gebruikte hij haar om voor elk geval waar het nodig was de lengte van Mars, gezien vanuit de zon, te berekenen —; en de gelijke verdeling liet in de lengten onaannemelijk grote fouten over. Hier past hij nu een machtig hulpmiddel toe, dat de ruggegraat van al zijn werk is geworden, de afstandbepaling door middel van de formules van de driehoeksmeting. Aan de grote overvloed van TYCHO's waarnemingen kon hij voor elk gewenst tijdstip de richting van de aarde tot Mars ontlenen. De „plaatsvervangende hypothese" leverde hem de richting van Mars vanuit de zon gezien. Uit de waarnemingen en de daaruit afgeleide theorie van de zon kende hij voor elk tijdstip de richting aarde-zon. In de driehoek gevormd door de zon, de aarde en Mars waren zo de richtingen van de drie zijden bekend, dus ook de hoeken die ze met elkaar maakten; daaruit was dan de vorm van de driehoek, de verhouding van de drie zijden d.i. van de drie afstanden te berekenen. Zocht hij nu waarnemingen bijeen, die telkens een volle omloopstijd van Mars uiteen lagen, dan was de afstand zon-Mars steeds dezelfde, en kon uit de veranderingen van de afstand aarde-zon de vorm van de aardbaan gevonden worden. Zocht hij waarnemingen bijeen, die telkens een vol aantal jaren verschilden, dan was de afstand aarde-zon telkens dezelfde, en werden de veranderingen in de afstand zon-Mars uit de driehoeksberekening gevonden.

Zo kon hij, en verder ging ook zijn bedoeling niet, nauwkeuriger getallenwaarden in de plaats stellen van de vroegere onnauwkeurige, die voor de toenmalige tafels gediend hadden. Eerst voor de aardbaan. TYCHO had uit de wisseling in snelheid van de zon langs de ecliptica 0,03584 voor de excentriciteit gevonden; uit de afstanden vindt KEPLER nu dat de zon 0,0180 buiten het middelpunt staat, juist de helft. Daaruit blijkt, dat ook de aarde een gelijkheidspunt heeft, dat evenver als de zon buiten het middelpunt staat. Uit waarnemingen van de zon alleen was dat nooit te vinden geweest; TYCHO had daaruit alleen de totale excentriciteit kunnen afleiden, en daarbij dus, als de vroegere astronomen, een eenparige snelheid in de baan aangenomen. Voor hem en voor COPERNICUS was er in dit opzicht dus een karakteristiek verschil tussen de aarde en de andere planeten. KEPLER, als consequent Copernicaan, had dat reeds gewantrouwd; en nu bleek door de feiten dat het niet bestond.

Nu aldus alle afstanden van de aarde tot de zon bekend en precies te berekenen waren, konden ook die van Mars nauwkeurig uit de driehoeken

afgeleid worden. Voor de grootste afstand, in het aphelium, werd 1,6678, voor de kleinste, in het perihelium, werd 1,3850 aardbaanstralen gevonden; de straal van de Marsbaan is de halve som 1,5264; en de zon staat het halve verschil 0,1414 aardbaanstralen buiten het middelpunt. De excentriciteit van de Marsbaan in haar eigen straal uitgedrukt is dan 0,1414:1,5264 = 0,0926, ook weer practisch precies de helft van de uit de beweging afgeleide totale excentriciteit 0,18564.

Zo was uit de waarnemingen vastgesteld, dat bij de planeten de totale excentriciteit tussen zon en gelijkheidspunt door het middelpunt in twee gelijke helften wordt verdeeld. Maar KEPLER als physisch denker kon zich niet met de gedachte verzoenen, dat een leeg punt, waar zich niets bevond, de beweging van de planeet zou besturen. In het aphelium loopt de planeet langzamer, in het perihelium sneller, naar de oude opvatting omdat hij in het eerste geval dichter bij, in het tweede verder van het gelijkheidspunt af is. Maar in dezelfde verhouding is hij in het eerste geval verder af van de zon, in het tweede er dichter bij. Dit wijst op de zon als regelaar van de snelheid; en dan ziet men direct de logica: zoals een gewicht aan een lange hefboomsarm zwaarder te tillen is, zo is de planeet op grote afstand moeilijker door de van de zon uitgaande werking voort te bewegen dan op kleine afstand. Nu stijgt de zon tot een nog hogere rang dan ze al bij COPERNICUS had; zij is niet enkel de bron van licht en warmte voor het gehele stelsel der planeten; zij is ook de bron van de kracht die hen beweegt. Maar er is verschil. Terwijl het licht zich alzijdig uitbreidt, naar boven en beneden evengoed als naar links en rechts, en dus volgens het kwadrant van de afstand zwakker wordt, stuwt de zonnekracht de planeten alleen zijdelings langs de dierenriem en neemt haar effect omgekeerd met de afstand zelf af. Vraagt men waar ze vandaan komt, dan wijst KEPLER op een wenteling van de zon om haar as; en hij acht ze vergelijkbaar met de magneetkracht, die niet een aantrekkende maar een richtende kracht is. Trouwens de aarde, waar de maan evenzo omheenloopt, was al door GILBERT magnetisch bevonden.

Bij deze nieuwe opvatting behoorde een nieuwe wijze van berekening. De tijd, die de planeet over hetzelfde kleine boogje van de baan doet, is evenredig met de afstand tot de zon; de totale tijd voor een grote boog wordt dus gevonden door alle afstanden in dit verloop samen te tellen. Om de berekening te vereenvoudigen verving hij deze som door het totale bestreken oppervlak; dit bleek dan steeds de goede uitkomsten te geven, en werd nu geformuleerd tot wat later de perkenwet of 2de wet van KEPLER is genoemd: in gelijke tijden worden door de voerstraal gelijke oppervlakken of perken beschreven. Zo was het oude gelijkheidspunt van PTOLEMAEUS eindelijk overbodig geworden en door wat beters vervangen.

Nu waren alle grootheden van de baan alsook de manier van berekening nauwkeurig bekend. Maar daarmee was de zaak niet in orde. Want nog steeds zat hij met het feit, dat de lengten van uit de zon gezien goed weergegeven werden door een ongelijke verdeling van de excentriciteit, welke zeker niet goed was; en dat de goede theorie ze niet goed weergaf. De grote fouten zaten in de octanten, op ongeveer 45° voor en na aphelium en perihelium; daar waren de afwijkingen 8′, veel groter dan als waarnemingsfout bij TYCHO mogelijk was. Maar KEPLER had nu een middel om de oorzaak op te sporen: de berekening van de afstanden met de driehoeksmethode. En

nu bleken de afstanden tot de zon die hij vond, buiten de apsidenlijn, ver van aphelium en perihelium steeds kleiner te zijn dan uit de cirkelbaan zou volgen. „De zaak is eenvoudig deze: de planetenbaan is geen cirkel, zij gaat „aan de beide zijkanten wat naar binnen, en dan weer naar buiten tot aan „de cirkel. Zulk een baanvorm noemt men een ovaal".

Daarmee was voor het eerst en voorgoed het beginsel gevallen, dat van de oudste tijden de sterrekunde beheerst had en als een dogma door alle generaties van sterrekundigen aanvaard was: de leer, dat de cirkel de natuurlijke en ware baan van een hemellichaam moest zijn. Uit de waarneming was nu de onjuistheid daarvan bewezen, door middel van de nauwkeurigheid van TYCHO's metingen. Als een eerste triomf van de empirische methode der natuurwetenschap staat KEPLER's uitkomst aan het begin van het moderne tijdperk van natuuronderzoek.

Maar zijn moeilijkheden waren nog niet ten einde. Door zijn pogen om deze baan op een physisch begrijpelijke manier te verklaren uit de met de afstand wisselende stuwende kracht van de zon en de eigen gang van de planeet, werd hij op zijwegen gevoerd, die hem een jaar vruchteloze rekenarbeid kostten. DAVID FABRICIUS, de Emdense predikant, met wie hij voortdurend over deze dingen correspondeerde, en die hij als de beste waarnemer sinds TYCHO's dood prees, waarschuwde hem al, dat zijn berekening niet met de waarneming klopte. Tot hij eindelijk opmerkte, dat de zijdelingse samendrukking van de baan, 0,00429 keer de straal, juist gelijk was aan het halve kwadraat van de excentriciteit. Toen was het hem, zoals hij schreef, alsof hij uit een slaap ontwaakte. Dan moest de baan een ellips zijn met de zon in een der brandpunten; want in een bijna ronde ellips is de afplatting gelijk aan het halve kwadraat van de excentriciteit. In deze, meest als 1ste wet van KEPLER betitelde uitkomst was voor het eerst de ware gedaante der planetenbanen onthuld.

Er bleef nu alleen nog over om de breedten van de planeet te behandelen. Hij vond dat door een baanvlak, dat door de werkelijke zon gaat en met de ecliptica een hoek van $1°50'25''$ maakt, bij een klimmende knoop op $46°46^1/_3'$, alle waargenomen breedten behoorlijk weergegeven werden. Door de onzekerheid der refracties bleven hier soms groter fouten over dan bij de lengten, vaak meerdere minuten. Van alle bijkomstige schommelingen, die COPERNICUS nog had aangenomen, bleef niets over. Ook van een parallaxe van Mars was hierbij niets te bespeuren; deze kon hoogstens een paar minuten zijn, en dan was de parallaxe van de verder verwijderde zon zeker minder dan $1'$.

Het meeste van dit werk was reeds in de eerste Prager jaren gedaan, onder de druk van financiële en andere zorgen, van steeds wankele gezondheid, van voortdurende strijd over het recht tot het gebruiken van de waarnemingen, en telkens door andere plichten onderbroken. In 1604 waren al zijn uitkomsten gereed, in 1605 kon hij het manuscript aan keizer RUDOLF aanbieden; maar door de strijd met TYCHO's erfgenamen en door geldgebrek van de keizer duurde het tot 1609 voor het kon verschijnen. Uit de titel „*Astronomia nova, seu physica coelestis*" voorafgaand aan de nadere inhoudsaanduiding „*Over de beweging van de ster van Mars*" blijkt, hoezeer Kepler zich er van bewust was, dat hiermee de sterrekunde op een nieuwe basis was gesteld.

Niet enkel door de uitkomsten maar ook door de methode. In TYCHO BRAHE en KEPLER is de nieuwe methode van natuuronderzoek belichaamd, die de grondslag vormt van de nu volgende snelle ononderbroken opbloei der wetenschap: het verzamelen van gegevens uit waarneming en experiment, en het afleiden daaruit van regels en wetten, de inhoud der wetenschap. Zij waren niet de enigen; op alle gebieden treden reeds in de 16de eeuw zulke onderzoekers op: BENEDETTI, SIMON STEVIN, en GALILEÏ bestudeerden de bewegingsleer en de mechanica, GILBERT de magneetkracht, VESALIUS de anatomie, VAN HELMONT de scheikunde, CLUSIUS de planten; in allen — het waren nog slechts enkelen — brak zich een nieuwe geest baan, een breken met overgeleverd autoriteitsgeloof, zich uitend in eigen proefondervindelijk onderzoek. Doordat de sterrekunde toen de verst ontwikkelde, breedst uitgegroeide van alle wetenschappen was, vulde dat, wat zich elders in verstrooide proeven en eerste conclusies uitte, hier het complete levenswerk van twee eminente persoonlijkheden.

Voor KEPLER was met zijn Mars-werk de taak niet afgelopen, maar pas begonnen. Zijn taak, erfenis van TYCHO, was de samenstelling en publicatie van de „*Rudolfijnse tafels*". Zijn Mars-onderzoek had hem de sleutel verschaft, de kennis van de algemene wet en de nu zo eenvoudig gebleken structuur der planetenbeweging. Deze moest hij nu eerst toepassen op de waarnemingen van alle andere planeten. In 1618 gaf hij in Linz, waar hij weer een baantje als provinciaal mathematicus had moeten aannemen, zijn „*Epitome astronomiae copernicanae*" (Kort overzicht van de copernicaanse sterrekunde) uit, waarin voor het eerst de bouw van het zonnestelsel naar waarheid wordt weergegeven. Want hier voor het eerst treedt nu de ware beweging van Mercurius en Venus op, in ellipsen om de zon, met hun numerieke gegevens: excentriciteit 0,210 resp. 0,00604, met aphelium op 255° resp. 302°. Verdwenen zijn nu alle complicaties waar PTOLEMAEUS niet buiten kon en die COPERNICUS van hem had overgenomen. Evenals ook bij de andere planeten hadden deze banen een vaste ligging en constante helling t.o.v. de ecliptica, zonder enige verdere schommeling. Op welke wijze dit uit de waarnemingen, en uit welke, is afgeleid, staat nergens beschreven. In een brief aan zijn vroegere leermeester MAESTLIN van 5 Mei 1616 zegt hij eenvoudigweg: „In de zomer van 1614 volgde de theorie van Venus, in de winter van „1615 die van Mercurius; ze hebben niets bijzonders ten opzichte van Satur„nus, Jupiter en Mars; ik doe alles met een grote baan van de aarde en „een eenvoudige excentrische baan, evenals die van Mars".

Deze *Epitome* is tegelijk het eerste volledige leerboek der sterrekunde naar de nieuwe beginselen. Het behandelt uitvoerig eerst de sferische sterrekunde, de vorm en grootte van de aarde, haar plaats in de wereld; dan de sterren — waarvan het onzeker is of ze op gelijke of ongelijke afstand staan; maar hun gebied schijnt oneindig te zijn, en de zon is een van hen, die door de grote nabijheid zo helder schijnt —; dan de lucht, met de refractie, de schemering en het fonkelen der sterren; de dagelijkse aswenteling van de aarde — de natuur kiest om iets te bereiken steeds de eenvoudigste weg — en de opkomst en ondergang der hemellichten, de jaren, dagen, jaargetijden en klimaten. Daarna komt als 2de deel (in 1620—21 uitgegeven) de theoretische leer, de „physica coelestis", de beweging der planeten ontwikkeld uit dezelfde physische grondbegrippen als in zijn Mars-boek. Deze physische verklarin-

gen zijn voor hem even belangrijk als de getallenwaarden der banen, eigenlijk nog veel wezenlijker, daar ze de oorzaken onthullen. Alles wordt gegeven in de vorm van vragen en antwoorden, niet, als bij GALILEÏ om de dramatische kracht van de gesprekvorm, maar op de wijze van een catechismus, waar de vraag als een soort opschrift de inhoud omlijnt van wat het antwoord behandelt. In een brief aan de Stenden van Opper-Oostenrijk betitelt hij dit boek als een verklaring van de Rudolfijnse tafels, waar hij mee bezig is.

Het waren vele jaren, die hij er nog mee bezig zou zijn, vooral door gebrek aan rekenhulp, een gevolg van geldgebrek in de keizerlijke kassen, die hem niet betaalden; tenslotte kreeg hij in BARTSCH, die later zijn schoonzoon werd, een toegewijde helper in de berekeningen. Eerst in 1627 verschenen de tafels; voor het drukken had hij zelf met zijn bezit moeten bijspringen. Door hun voortreffelijke grondslag hebben deze tafels alle vroegere, en ook de op minder goede gegevens berustende gelijktijdige (b.v. die van de Middelburgse predikant PHILIP LANSBERGEN) verdrongen; en ze hebben gedurende de gehele zeventiende eeuw de practische sterrekunde beheerst. Daarentegen drong zijn theoretische werk slechts langzaam door; ondanks hun vriendschappelijke correspondentie bleef, merkwaardiger wijze, GALILEÏ onkundig van de door hem ontdekte wetten en schreef nog in 1633 in zijn *Gesprekken* dat de ware vorm der planetenbanen nog onbekend was.

In al deze jaren had KEPLER echter, tussen de practische berekeningen dóór, gewerkt aan een tweede taak, die hem niet door erfenis of ambt, maar door zijn eigen drang naar kennis en inzicht was opgelegd. Wat hem in zijn jeugdwerk had aangevuurd, waarvoor hij naar TYCHO was gegaan, bleef steeds als diepste streven in hem leven: het geheim van de wereldbouw te onthullen, de gedachten van de Schepper te doorgronden, die bij de Schepping gevolgd waren. In zijn in 1620 verschenen werk „*Harmonices Mundi*" (De Wereldharmonieën) zoekt hij verband tussen de planetenbewegingen en alle gebieden van abstractie en harmonie: de meetkundige figuren, de getallenleer, de muzikale verhoudingen. Tussen al deze fantastische betrekkingen bevindt zich één kostbare vondst, later steeds als de derde wet van KEPLER aangehaald: dat voor alle planeten de tweede machten van de omloopstijden zich verhouden als de derde machten van de halve grote assen der ellipsbanen; ook in de „*Epitome*" werd dit kort vermeld. Maar voor hemzelf was dit alles de vervulling van wat zijn leven lang het lichtende doel van al zijn moeiten en streven was geweest. „Ik heb mijn boek geschreven en „het zal gelezen worden, nu of in later tijden — wat doet het er toe? Heeft „God niet zesduizend jaren moeten wachten op degene die zijn werk door„grondde?"

Met een bewonderende glimlach leest men deze trotse verklaring, wetende, dat de latere wetenschap uit dit alles slechts die éne bladzij met de derde wet heeft aanvaard en bewaard. Was al dit andere werk van KEPLER dan een betreurenswaardige tijdverspilling geweest? Om grote dingen te volbrengen moet de mens zich nog grotere doeleinden stellen. De blijvende kleine vrucht kan slechts groeien in een groter eerst levend, maar dan vaak tot dor stro wordend geheel. De sterke impulsen tot werk en strijd, die de mens uit zijn wereld ontvangt, vormen zich in hem tot doelstellingen en taken, grotelijks bepaald door de wereldbeschouwing van zijn tijd. Door zijn levenswerk loopt dan, als de vervulling van in jongere jaren opgezogen

indrukken, een eenheid van gedachte, die het tot een harmonisch geheel maakt. Maar de volgende generaties, door de veranderde wereld andere nieuwe mensen met andere nieuwe doelstellingen, nemen daaruit datgene over, wat hun voor de verdere opbouw der wetenschap in hun kader dienen kan, en laten de omlijsting vallen. Zo lijkt dan later vaak een overbodige dwaalweg, wat in de vroegere voorgangers de bezielende kracht en de triomf was. Mag dit in latere tijden, als de beoefening der wetenschap meer nuchtere routine wordt, niet meer zo duidelijk gelden: in deze overgangstijd toont KEPLER's werk beter dan enig ander deze betrekking tussen het algemene en het persoonlijke in de groei der wetenschap.