

DE JONGSTE ONDERZOEKINGEN

OMTRENT DE

AFMETINGEN VAN HET ZONNESTELSEL;

BESCHREVEN

DOOR

F. K A I S E R.

De moeilijkheden des levens, die door de stichting van de sterrewacht te Leiden voor mij aanmerkelijk zijn vergroot, hebben mij sedert jaren lust en gelegenheid onthouden om vrienden der wetenschap door het schrijven van populaire bijdragen eenige dienst te bewijzen. Niet dan met weêrzin en leedwezen kon ik weigeren mijne *Geschiedenis der ontdekkingen van planeten* voort te zetten of, in weerwil van herhaalden vriendelijken aandrang, iets te leveren voor het *Album der Natuur*, en waarlijk, wat de omstandigheden mij dwongen van mij zelven af te vergen, was toch reeds te veel voor menschelijke krachten. Hoezeer mij volstrekt geen uitzigt op eene betere toekomst is geopend, wil ik toch zoo menige vereerende opwekking niet langer onbeantwoord laten. Ik waag het alzoo mij weder op een veld te vertoonen, waar ik vroeger bij voorkeur werkzaam was en moge de verwoestende invloed van jaren en bezwaren zich, ook in mijn hernieuwd optreden, verraden, ik hoop toch, dat oude vrienden mij met eenig welgevallen weder op den ouden grond zullen ontmoeten.

Er is naauwelijks een onderdeel der sterrekunde, dat ik in mijne talrijke populaire geschriften niet reeds heb aangeroerd, maar er is ook naauwelijks een onderdeel dier wetenschap, waaromtrent haar belangstellende vriend niet gaarne meer zal vernemen, dan ik tot nu toe kon mededeelen. Heeft men de stoffe voor eene populaire bijdrage aan de sterrekunde te ontleenen, zoo wordt de keuze bemoeijelijkt door de talrijkheid der belangrijke onderwerpen, die zich gelijktijdig opdringen

en die talrijk blijven, ook dan, wanneer alle nieuwigheden worden uitgesloten, waarvan zich geene duurzame vruchten laten verwachten. Eene wetenschap als de sterrekunde, die sedert twee duizend jaren aanhoudend, ook door groote vernuften, werd beoefend; voor wier bevordering niets werd ontzien, wier onwrikbare grondslagen reeds voor een paar eeuwen werden gelegd, kan niet meer met snelheid vooruitgaan of dikwijls, door schitterende ontdekkingen, de algemeene aandacht tot zich trekken. De sterrekunde wordt thans meer algemeen en met meer ernst beoefend, dan ooit te voren. Wij zien de uitstekendste wiskundigen van den tegenwoordigen tijd hunne krachten, bij voorkeur, aan de volmaking der theoretische sterrekunde wijden en onder de talrijke sterrewachten, die nu op de aarde bestaan, zijn er eenige, waar met eenen ijver wordt gearbeid, die bijen en mieren zoude kunnen beschamen. In weerwil van die gunsten, kunnen de groote doeleinden, waarnaar de tegenwoordige sterrekunde moet streven, alleenlijk worden bereikt door veler vereenigde pogingen, gedurende tientallen van jaren of eeuwen voortgezet; maar die pogingen doen toch den menschelijken geest aanhoudend eene schrede tot de volkomenheid naderen en zij zijn waardig om door elken beschaafde te worden gade geslagen, ook dan, wanneer hare vruchten nog niet tot de gewenschte rijpheid gekomen zijn. Ik wil de lezers van het *Album der Natuur* op eenige dier pogingen wijzen, en kies voor deze bijdrage: *de onderzoekingen omtrent de afmetingen des zonnestelsels*, die in de laatste jaren de sterrekundigen zeer in beweging hebben gebracht en onlangs tot eene verrassende beslissing leidden. Om bij de beschouwing van dit onderwerp algemeen te worden verstaan, zal ik mij eenige uitweidingen moeten veroorloven over zijne beteekenis en over de pogingen, die ook in vroegeren tijd voor hetzelfde doel zijn aangewend. Mag deze bijdrage eenigen bijval vinden, zoo zal ik haar gaarne door andere van denzelfden aard doen opvolgen, in zoo ver als tijd en omstandigheden dit zullen gedoogen.

Wij weten, dat onze aarde tot een bijzonder stelsel in de schepping behoort, waarvan de zon het hoofdigchaam is en dat op onmetelijke afstanden is gescheiden van de ontelbare sterren, die wij aan den nachtelijken hemel ontwaren. In dat zoogenaamde *zonnestelsel* kennen wij nu omtrent een honderdtal lichamen, waarvan echter slechts vijf voor het ongewapend oog zichtbaar zijn, en die, wegens hunne aanhoudende en

schijnbaar onregelmatige beweging, den naam van *planeten* of *dwaalsterren* dragen. De planeten, waartoe ook onze aarde behoort, bewegen zich om de zon in kringen van zeer verschillende grootten, maar die weinig van de cirkelvormige gedaante afwijken en nagenoeg in dezelfde vlakke zamenvallen en sommige van die planeten zijn omgeven van kleinere lichamen, die hare *wachters* genoemd worden. Het zonnestelsel wordt nu en dan door *kometen* bezocht, die van groote afstanden komen en zich weder tot op groote afstanden verwijderen en waarvan eenige weinige, als door de planeten opgevangen, gedwongen worden zich in engere kringen te bewegen, die de grenzen van het stelsel niet te buiten gaan. Nog tot op het einde der verledene eeuw moesten alle bespiegelingen der sterrekundigen zich bij het zonnestelsel bepalen, hoezeer men reeds sedert lang had geweten, dat het niet meer dan een stipje van de voor ons zichtbare schepping inneemt, en zijn de sterrekundigen nu opgestegen tot de eindeloze ruimte, die door de ontelbare zoogenaamde *vaste sterren* wordt ingenomen, het zonnestelsel is door hen nog geenszins uitgeput. De menschelijke geest heeft zijne krachten welligt nergens zoo luisterrijk ten toon gespreid, als in de onthulling der diepzinnige geheimenissen, waaronder dat stelsel bedolven was, maar hoeveel het nog ter onderzoek overlaat, kan ook hieruit worden afgeleid, dat de bepaling van zijne eigenlijke grootte nog in de laatste jaren tot eene buitengewone krachtsinspanning aanleiding heeft gegeven.

De vrienden der sterrekunde wijzen elkander niet zelden op de bepaling van den afstand der hemellichten, als op een blijk van de voortreffelijkheid dier wetenschap, en zij doen dit gedeeltelijk teregt, gedeeltelijk ten onregte. Er is geen onderzoek in de sterrekunde, dat op een eenvoudiger beginsel dan de bepaling van den afstand der hemellichten rust, en er is in de sterrekunde tevens geen beginsel, welks toepassing aan grootere zwarigheden verbonden is. Dit beginsel bestaat eenvoudiglijk hierin, dat elk voorwerp zich in verschillende rigtingen moet vertoonen, als het uit verschillende oogpunten wordt waargenomen, en men maakt daarvan ook gebruik bij de bepaling van den afstand van voorwerpen op de aarde, wier afstand niet regtstreeks kan worden uitgemeten. Meet men ergens eene lijn van behoorlijke lengte, aan ieder van wier uiteinden het voorwerp kan worden gezien, welks afstand bepaald moet worden, en meet men daarbij de twee hoeken, die de gemeten lijn met de twee lijnen maakt, uit hare uiteinden naar

het bedoelde voorwerp getrokken, zoo worden, in eenen regtlijnigen driehoek, ééne zijde met de aangrenzende hoeken bekend en daaruit laten zich de twee andere zijden berekenen, die de afstanden zijn van het voorwerp tot de uiteinden der lijn, die men gemeten heeft. Het verschil tusschen de twee gemeten hoeken drukt het verschil uit tusschen de rigtingen, met betrekking tot de gemeten lijn, waarin het voorwerp aan hare uiteinden wordt waargenomen, en dat verschil, in de sterrekunde *verschilzigt* of *parallaxis* genoemd, is de hoek, waaronder de gemeten lijn uit het voorwerp wordt gezien. Op dezelfde wijze als die van een aardsch voorwerp, wordt ook de afstand van een hemellicht bepaald. Men neemt de rigtingen waar, waarin het hemellicht zich op hetzelfde oogenblik vertoont, aan twee ver van elkander verwijderde plaatsen der aarde, of doet dit aan dezelfde plaats der aarde, op twee tijdstippen, waartusschen deze door de wenteling der aarde om hare as haren stand in de ruimte aanmerkelijk verandert; maar in het eene geval, zoowel als in het andere, heeft men veel te berekenen, alvorens men tot de kennis van eene zijde en twee hoeken van den evengenoemden driehoek komen kan. De plaatsen op de aarde moeten zoo ver mogelijk uit elkander liggen, en daarbij laat de eene plaats zich niet uit de andere waarnemen, zoodat niet onmiddellijk de rigting bepaald kan worden van het hemellicht met betrekking tot de lijn, die beide plaatsen aan elkander verbindt. Uit twee van elkander verwijderde plaatsen kan een hemellicht niet volkomen op hetzelfde oogenblik worden waargenomen en in den tusschentijd heeft het zich, zoowel als de plaatsen, voortbewogen. Heeft men het hemellicht uit dezelfde plaats waargenomen, gebruik makende van de beweging der aarde om hare as, dan moet die beweging natuurlijkerwijze voor den tusschentijd tusschen de waarnemingen met juistheid worden bepaald en ook de beweging van het hemellicht worden in aanmerking genomen. Het eenvoudige beginsel wordt dus zeer zamengesteld bij zijne toepassing op de hemellichten, maar daarin is het eigenlijk bezwaar tegen de bepaling van den afstand der hemellichten niet gelegen. Het eigenlijk bezwaar vloeit daaruit voort, dat alle hemellichten, met uitzondering van de maan alleen, in vergelijking van de grootte der aarde, zeer ver van ons verwijderd zijn. Daardoor wordt het verschilzigt, ook voor de meest verwijderde plaatsen der aarde, uitermate klein, en nog voor een paar eeuwen waren de onvermijdelijke fouten der waarnemingen veel grooter dan zijn geheele bedrag, terwijl die fouten, bij de nauwelijks geloof-

lijke naauwkeurigheid der tegenwoordige sterrekundige waarnemingen, toch nog tot een belangrijk deel van dat kleine verschilzigt opklimmen. De grootste grondlijn, die men op de aarde nemen kan, is nog veel te klein voor de bepaling van den ontzettenden afstand der hemellichten en wilde men, om eene grootere grondlijn te verkrijgen, de beweging der aarde om de zon te baat nemen, dan zoude men vooraf de grootte van de loopbaan der aarde bepaald moeten hebben en alzoo het groote vraagstuk omtrent de bepaling van den afstand der aarde tot de zon reeds moeten hebben opgelost.

Met de beoefening van het zonnestelsel, die nog voor eene eeuw de geheele sterrekunde uitmaakte, moest men natuurlijkerwijze, het naast, de naauwkeurige kennis van zijnen bouw bedoelen. Tot dien bouw behoort de grootte, gedaante en ligging van de loopbanen der planeten en van hare wachters en de grootte der lichamen zelf, die het zonnestelsel uitmaken. Bij de lichamen, die zich om hetzelfde hoofdigchaam bewegen, bestaat een naauw verband tusschen hunne afstanden tot dat hoofdigchaam en hunne omloopstijden, en dit stelt ons in staat met naauwkeurigheid de verhouding te bepalen tusschen de grootten van de loopbanen der planeten en ook van die der wachters, welke zich om dezelfde hoofdplanect bewegen. Men kan, met behulp van die kennis, ook bepalen, hoe groot de loopbanen der wachters en de lichamen des zonnestelsels zelf met betrekking tot de loopbanen der planeten zijn, maar de beweging der lichamen des zonnestelsels kan ons niets anders dan verhoudingen tusschen afmetingen en afstanden doen kennen. Door die verhoudingen wordt het zonnestelsel met eenen ons volstrekt onbekenden maatstaf uitgemeten en zij laten ons omtrent de eigenlijke grootte der voorwerpen, die wij kennen willen, geheel in het onzekere. De afmetingen van het zonnestelsel zullen ons dan eerst in volstrekten zin bekend zijn, als wij die in ons bekende maatstaven, zooals ellen, mijlen of uren gaans, weten uit te drukken en daar onze aarde met die maatstaven uitgemeten is, kan ook haar straal of hare middellijn als een bekende maatstaf worden aangenomen. De volstreckte afmetingen van het zonnestelsel, de afmetingen in eenen ons bekenden maatstaf uitgedrukt kunnen niet, zooals de verhoudingen of betrekkelijke afmetingen, uit bewegingen worden afgeleid. Voor hare bepaling moet men tot de vermelde driehoeksmeting zijne toevlugt nemen en dit is de reden, waarom deze ook in de laatste tijden zoovele zorgen baarde, terwijl de betrekkelijke afmetingen des

zonnestelsels reeds voor lang met eene verwonderlijke juistheid waren bepaald geworden.

In de oudheid, toen men volstrekt geen verband tusschen bewegingen en afstanden bij de lichamen des zonnestelsels kende, had men van die afstanden ook niet het minste begrip. Men zag, dat de zon en de maan hare schijnbare grootte weinig veranderden en leidde daaruit af, dat ieder dier lichamen bestendig op nagenoeg denzelfden afstand van ons verwijderd bleef, maar ook in de verhouding tusschen de afstanden van beide lichamen tot de aarde hebben de ouden geweldig misgetast. PYTHAGORAS, in de zesde eeuw voor het begin van onze jaartelling, die de aarde, zoowel als de zon en de maan teregt voor een kogelvormig ligchaam hield, stelde de zon op eenen afstand van ons driemaal zoo groot als dien der maan en wist ter naauwernood, of die lichamen grooter of kleiner dan de aarde waren. ARISTARCHUS, die in de derde eeuw voor het begin van onze jaartelling leefde, kwam op het vernuftig denkbeeld om de verhouding tusschen de ware afstanden van zon en maan af te leiden uit den schijnbaren afstand dier lichamen, als de maan zich juist in hare kwartiersgestalte vertoont, maar dat tijdstip was met geene naauwkeurigheid te bepalen en ARISTARCHUS plaatste de zon 20 malen verder van ons dan de maan, terwijl wij nu weten, dat zij omtrent 400 malen verder dan de maan van ons verwijderd is. Eene eeuw later volbragt HIPPARCHUS, voor het eerst, eene wezenlijke bepaling van den afstand der maan, uitgedrukt in middellijnen der aarde, en werd daardoor die afstand vrij naauwkeurig bekend, zijne poging mislukte ten eenenmale, om, door de grootte van de schaduw der aarde bij maansverduisteringen, van daar tot den afstand der zon op te klimmen. PTOLOMEUS, omtrent eene eeuw na het begin van onze jaartelling, wilde, naar de handelwijze van HIPPARCHUS, den afstand der zon uit dien der maan afleiden, maar ook hij plaatste de zon twintig malen digter bij ons, dan zij werkelijk is. Gedurende de middeleeuwen heeft men dit onderzoek geheel laten rusten en het verdient onze opmerking, dat zelfs de groote hervormers der sterrekunde, TYCHO en KEPLER, op het einde van de zestiende eeuw in de kennis van den afstand der zon naauwelijks eenen stap verder dan de ouden gekomen zijn.

Reeds vroegtijdig heeft men pogingen aangewend om de onregelmatige schijnbare beweging der planeten uit de ware toedragt dier beweging te verklaren en algemeen bekend is de hypothese, bedacht door EUDOXUS,

in de vierde eeuw voor het begin van onze jaartelling, waaraan men den naam van stelsel van PTOLOMEUS heeft gegeven. Door dat stelsel, volgens hetwelk de planeten zich in zamengestelde kringen om de aarde bewogen, werd zelfs de verhouding tussehen de onderlinge afstanden der planeten geheel valsch voorgesteld en dat stelsel zoude spoedig gevallen zijn, indien men in vroegere eeuwen middelen had gekend om de schijnbare grootten der planeten te bepalen en uit hare veranderingen, al ware het slechts ten ruwste, de verandering van de afstanden der planeten tot de aarde af te leiden. Men kwam nader aan de waarheid, toen het betoog van COPERNICUS, dat alle planeten zich, met de aarde, in gesloten kringen om de zon bewegen, ingang gevonden had, maar eene naauwkeurige bepaling van den bouw des zonnestelsels werd door de toenmalige waarnemingen nog geenszins toegelaten. Eerst TYCHO, op het einde der zestiende eeuw, bepaalde, gedurende eene lange reeks van jaren, bijna dagelijks, de schijnbare plaatsen van de zon en de planeten, met eene naauwkeurigheid, zoo groot als dit vóór de uitvinding der verrekijkers mogelijk was en het was een groot geluk voor de wetenschap, dat die waarnemingen spoedig in KEPLER eenen bearbeider mogten vinden. Op eene hoogst vernuftige wijze en zonder eenige willekeurige veronderstelling leidde KEPLER uit de waarnemingen van TYCHO de betrekkelijke grootte, de gedaante en de ligging van de loopbanen der planeten af en dit onderzoek voerde hem tot de onsterfelijke ontdekking der wetten, volgens welke de planeten zich bewegen. KEPLER bepaalde de verhoudingen tussehen de afmetingen van de loopbanen der planeten met eene toen volstrekt ongekende naauwkeurigheid, maar de maatstaf, waarmede hij het zonnestelsel had uitgemeten, de afstand der aarde tot de zon, bleef hem onbekend en de eigenlijke grootte van het stelsel en zijne bijzondere deelen bleef voor hem nog eene geheimenis.

Eene halve eeuw nadat KEPLER zijne wetten had ontdekt, werd hare noodzakelijkheid door NEWTON uit de eigenschappen der door hem ontdekte algemeene aantrekkingskracht afgeleid. De ontdekking der kracht, die de beweging der planeten bestuurt en regelt, gaf aan de sterrekunde een geheel ander aanzien dan te voren en verhieft de voorname harer uitspraken tot eene wiskundige zekerheid. Door haar leerde men de werkingen kennen, die de lichamen des zonnestelsels op elkander uitoefenen en bleek het, dat de beweging der planeten veel zamengestelder is, dan die aan KEPLER was toegeschenen. In de alg-

meene aantrekkingskracht vond men eene volkomene verklaring van geheimzinnige verschijnselen, die reeds door de ouden waren opgemerkt, en zij loste alle onregelmatigheden op, die de verhoogde kunst van waarnemen bij de beweging der lichamen des zonnestelsels deed ontdekken. De theorie en de praktijk werden door elkander voortgedreven en alles, wat op de beweging van de lichamen des zonnestelsels betrekking heeft, is nu met eene naauwkeurigheid bekend, waarvan men zich in het dagelijksch leven nauwelijks een denkbeeld zoude kunnen vormen. Met eene verbazende naauwkeurigheid kennen wij nu niet slechts de grootte, gedaante en ligging van de loopbanen der planeten, maar ook de veranderingen, die zij weleer ondergingen en in de toekomstige eeuwen zullen ondergaan en met dezelfde naauwkeurigheid kunnen wij nu berekenen, welke punten in de ruimte des zonnestelsels door iedere der planeten, op een gegeven tijdstip, worden ingenomen en dus ook, op welke afstanden zij dan van elkander verwijderd zijn. Ook na de ontdekking van de algemeene aantrekkingskracht konden echter de bewegingen der planeten onmiddellijk niet dan verhoudingen tusschen afmetingen en afstanden geven, maar reeds voor eene eeuw kende men die verhoudingen zoo volledig en zoo naauwkeurig, dat het volstrekt bedrag van alle afmetingen en afstanden in het zonnestelsel bekend moest worden, indien men slechts éénen afstand van twee zijner lichamen voor één enkel tijdstip wist te bepalen. Hierdoor was voor de oplossing van het vraagstuk zeer veel gewonnen en bij alle latere onderzoekingen omtrent de afmetingen van het zonnestelsel ging men ook van de veronderstelling uit, dat die verhoudingen als naauwkeurig bekend konden worden aangenomen.

Ik zal niet uitweiden over de talrijke mislukte pogingen om de volstrekte afmetingen van het zonnestelsel te bepalen, die ten tijde van KEPLER en NEWTON en nog lang daarna zijn aangewend, terwijl de waarnemingen nog niet naauwkeurig genoeg waren om een gelukkig slagen mogelijk te maken; maar ik mag niet nalaten de handelwijzen te vermelden, waardoor men eindelijk zijn doel bereikte. Om daarbij algemeen te kunnen worden verstaan, moet ik mij eene nadere bepaling van de reeds herhaaldelijk gebezigde uitdrukking *verschilzigt* of *parallaxis* veroorloven. Met de *parallaxis* van een hemellicht bedoelt men altijd het verschil tusschen de rigtingen, waarin het, op hetzelfde oogenblik, uit het middelpunt der aarde en eene plaats aan hare oppervlakte zoude worden waargenomen. De *parallaxis* is alzoo

de hoek, waaronder het middelpunt der aarde en de plaats uit het hemellicht zouden worden gezien en die hoek verkrijgt zijn grootst mogelijk bedrag, als de lijn van de plaats naar het middelpunt der aarde getrokken, d. i. de straal der aarde voor de plaats, loodregt staat op de lijn, die het hemellicht met de plaats verbindt. Het hemellicht vertoont zich dan in den horizon der plaats en zijne parallaxis, die daarbij zoo groot mogelijk wordt, draagt dan den naam van *horizontale parallaxis*. Nu is de aarde niet volkomen kogelvormig en ten gevolge daarvan zijn hare stralen voor de verschillende punten van hare oppervlakte niet allen even lang. Die stralen zijn het langst voor de plaatsen gelegen onder den aequator der aarde en ik zal de horizontale parallaxis voor die plaatsen, die de *horizontale aequatoriale parallaxis* van het hemellicht genoemd wordt, in het vervolg altijd bedoelen, als ik mij van het woord *parallaxis* alleen bedienen zal. Het is klaar, dat die parallaxis van een hemellicht de hoek moet zijn, waaronder de halve middellijn der aarde zich uit dat hemellicht zoude vertoonen; dat zij de schijnbare grootte van de aarde, uit het hemellicht gezien, uitdrukt en door de eenvoudigste regelen der driehoeksmeting doet bepalen, hoeveel malen de straal der aarde in den afstand van het hemellicht is begrepen. De eenheid of de maat, waarmede het zonnestelsel wordt uitgemeten, is het gemiddeld bedrag van den afstand der aarde tot de zon. Kent men de parallaxis der zon voor dien afstand, zoo weet men ook, hoeveel stralen der aarde, hoevele mijlen en hoevele ellen de genoemde eenheid bedraagt en daarmede zijn alle afmetingen en afstanden in het zonnestelsel, wegens hunne bekende verhoudingen, in volstrekten zin bepaald. De parallaxis der zon was alzoo de grootheid, die men te bepalen had, maar ongelukkiglijk moest zij zeer lang de steen der wijzen blijven.

Wil men beseffen, waarom de bepaling van de parallaxis der zon steeds aan zoo groote bezwaren verbonden was, zoo behoeft men slechts zijne aandacht op hare grootte te vestigen. De parallaxis der zon bedraagt nog niet ten volle negen boogseconden en die grootheid komt met de schijnbare dikte van een rasje uit een spinnennest overeen, als dit op eenen afstand wordt gehouden, waarbij een goed oog het scherpst ziet. Eene fout in de waarneming der zon begaan, tien malen kleiner dan de dikte van een spinrasje, moet dus bij de bepaling van hare parallaxis en van haren volstrekten afstand eene fout te weeg brengen, zoo groot als een

tiende deel van het geheel, terwijl men reeds voor lang, in weerswil van veel grootere fouten, de getallen, die verhoudingen tusschen afstanden uitdrukken, tot op een honderdduizendste van hun geheel met zekerheid kende. - Wegens haar licht en hare warmte is de waarneming der zon minder naauwkeurig dan die van andere hemellichten, en kon men hare parallaxis alleenlijk uit de bepaling van hare eigene plaatsen aan den hemel afleiden, zoo zoude men welligt nimmer tot een goed einde komen. Gelukkiglijk kon de parallaxis der zon sedert lang ook door de waarneming van andere lichamen des zonnestelsels worden bepaald, en er zijn twee planeten, die zich bij uitstek daartoe leenen. De planeten Mars en Venus komen nu en dan drie malen digter bij ons dan de zon. Hare parallaxen zijn dan drie malen grooter; dezelfde fout in de waarnemingen heeft dan een drie malen kleineren invloed op de parallaxis der zon, daaruit afgeleid, en bij hare waarneming heeft men geene hindernis van licht of warmte. TYCHO begreep het reeds, dat men, om de parallaxis der zon te bepalen, de planeten Mars en Venus op gunstige tijdstippen waar moest nemen, maar de parallaxen dier planeten klimmen nimmer op tot eene halve minuut, en het is natuurlijk, dat men geene uitkomst vinden kon, zoo lang de fouten der waarnemingen volle minuten bedroegen. De schijnbare plaatsen van hemellichten en hare verschillen worden door metingen bepaald, en hoezeer reeds CASSINI op het einde der zeventiende eeuw een' handgreep aanwies om de naauwkeurigheid der metingen, als zij slechts kleine verschillen betreffen, te verhoogen, had men toch redenen om te vreezen, dat zij, ook voor de bepaling van de parallaxen der planeten Mars en Venus, nimmer de gewenschte naauwkeurigheid zouden verkrijgen. Groote toejuiching alzoo moest HALLEY zich verwerven, toen hij, in het jaar 1667, op de gedachte kwam, dat de planeet Venus enkele malen de gelegenheid aanbiedt om zonder metingen de parallaxis der zon te doen bepalen, met eene hoogere naauwkeurigheid, dan die men vermoedelijk ooit door metingen zoude kunnen bereiken. Enkele malen namelijk moet de planeet Venus, voor ons oog, de zonnescijf voorbijgaan. Zij is dan het digtst bij ons geplaatst en hare parallaxis is dan het grootst. Het verschil tusschen hare parallaxis en die der zon moet zich dan daaraan openbaren, dat zij niet voor alle plaatsen der aarde op hetzelfde oogenblik de zonnescijf bereikt of die weder verlaat en dat verschil moet zich laten bepalen, als men eenvoudiglijk aan ver van elkander verwijderde plaatsen der aarde de juiste oogenblikken dier verschijnselen waarneemt. De verhouding tusschen die parallaxen was met

die tusschen de afstanden bekend en het was ligt, uit de verhouding en het verschil de parallaxis zoowel van Venus als van de zon af te leiden ¹⁾. Ongelukkiglijk kunnen de overgangen van Venus voorbij de zonnescijf slechts zestien malen in duizend jaren plaats hebben, en mogt HALLEY zulk een verschijnsel niet beleven. De eenige overgangen van Venus, die men tot nu toe waarnemen kon, zijn die van de jaren 1761 en 1769, en de eerstvolgende zullen niet voor de jaren 1874 en 1882 plaats hebben, waarna het verschijnsel zich eerst weder in het jaar 2004 zal openbaren.

Eerst omstreeks het midden der verleden eeuw verkregen de sterrekundige waarnemingen eene naauwkeurigheid, vergelijkbaar bij die der waarnemingen van den tegenwoordigen tijd, en de pogingen, om de parallaxis der zon door de tusschenkomst der planeet Mars te bepalen, leidden ook toen eerst tot eenige uitkomsten, die niet geheel van de waarheid afweken. De parallaxis der zon werd veel kleiner en, alzoo de afstand van dat ligchaam tot ons veel grooter bevonden, dan men vroeger had kunnen vermoeden, maar de verkregene uitkomsten liepen nog derwijze uit elkander, dat de genoemde grootheden zelfs niet geacht konden worden op een vijfde deel van hun bedrag na bepaald te zijn. Die kennis kon nog geenszins bevredigen, en alle hoop werd toen gevestigd op den overgang van de planeet Venus voorbij de zonnescijf, die in het jaar 1761 plaats zoude hebben, maar dat verschijnsel zoude dan voor de bepaling van de parallaxis der zon niet bijzonder gunstig zijn en men nam ook niet de beste maatregelen om van de omstandigheden partij te trekken. Er werden ter waarneming van het verschijnsel sterrekundigen naar het hooge noorden van Europa, naar Indië, naar de Kaap de Goede Hoop en naar andere verwijderde streken der aarde gezonden, doch de pogingen van sommigen werden door eene betrokkene lucht verijdeld, en men verkreeg slechts weinige waarnemingen, geschikt voor het doel, waartoe zij waren volbragt geworden. In weerwil van die teleurstellingen, gaf de overgang van Venus de parallaxis der zon met eene veel hoogere naauwkeurigheid, dan men die vroeger had kunnen bepalen, en toen men de waarde van het verschijnsel had leeren kennen, werden groote toebereidselen gemaakt om het bij zijne meer gunstige herhaling in het jaar 1769 zoo volledig mogelijk waar te nemen. Aan de sterrewachten in Europa werd niets verzuimd, wat de

¹⁾ In mijn werk: *de Sterrenhemel*, tweede deel, tweede druk, bladz. 243, heb ik met uitvoerigheid verklaard, hoe de parallaxis der zon uit de waargenomen overgangen van Venus voorbij de zonnescijf kan worden afgeleid.

zekerheid der waarneming aldaar kon vergrooten, en de mogendheden ontzagen geene kosten om die waarnemingen in andere werelddeelen te bevorderen. Frankrijk verordende waarnemingen in Indië, op het eiland Martinique, en bij eene reis rondom de aarde, die onder het bevel zoude staan van DE BOUGAINVILLE. Engeland zond sterrekundigen naar Noord-Amerika, naar de Zuidzee en naar Madras. Spanje zond sterrekundigen naar Californië en Rusland naar eenige der noordelijkste streken van zijn gebied. Het laatste geschiedde ook door Zweden, en de koning van Denemarken bezoldigde eenen Oostenrijkschen sterrekundige, den abt HELL, om aan een der noordelijkste punten van Europa, het eiland Wardhus, de waarneming van het verschijnsel te volbrengen. Behalve de sterrekundigen, die opzettelijk werden uitgezonden, waren er nog onderscheidene buiten Europa gevestigd, door wie het verschijnsel werd waargenomen, en onder deze moet vooral met grooten lof de Nederlandsche predikant MOHR te Batavia worden genoemd, die zich jegens de sterrekunde zeer verdienstelijk maakte. Wil men zich een denkbeeld vormen van de opschudding, die de overgangen van Venus voorbij de zonneshijf in de verledene eeuw te weeg bragten, zoo verneme men slechts, dat in de sterrekundige bibliotheek van de groote sterrewacht op den Pulkowa 187 verhandelingen voorkomen over de waarneming dier verschijnselen en 42 verhandelingen over de uitkomsten, daaruit afgeleid.

Ik zoude vervelend worden, indien ik een verslag, hoe kort het wезen mogt, wilde geven van de berigten en bespiegelingen, die door de overgangen van Venus in de jaren 1761 en 1769 zijn uitgelokt en ik zal mij daarom bepalen bij het eindonderzoek omtrent de parallaxis der zon, op die overgangen gevestigd. Nadat hij reeds door velen daarin was voorafgegaan, gaf ENCKE twee verhandelingen, de eene in het jaar 1822, de andere in het jaar 1824, waarin uit de waarnemingen bij de overgangen van Venus, in de jaren 1761 en 1769 volbragt, de parallaxis der zon werd afgeleid, zoo naauwkeurig als dit toen mogelijk was. De overgang van het jaar 1761 was van geene groote waarde, zoodat de einduitkomst bijna geheel op die van het jaar 1769 moest rusten, maar daarbij was eene kleine onzekerheid overgebleven, gelegen in de waarnemingen van den abt HELL, die van groot gewigt waren, omdat hij onder alle waarnemers het meest noordelijke punt had ingenomen. In het jaar 1835 was LITROW zoo gelukkig van het oorspronkelijk dagboek van den abt HELL terug te vinden, en daardoor werd de genoemde onzekerheid opgeheven, hetgeen ENCKE aanleiding

gaf om eene kleine wijziging aan zijne vroegere uitkomst toe te brengen. Naar de verbeterde einduitkomst, door ENCKE verkregen, bedroeg de parallaxis der zon $8'',571$, terwijl de overblijvende onzekerheid dier einduitkomst door hem op $0'',037$ werd geschat. Uit die parallaxis der zon leidt men af, dat de gemiddelde afstand van dat hemellicht tot ons 24,065 malen grooter is dan de straal van den acuator der aarde en alzoo een bedrag moet hebben van 20,682,329 Duitsche geographische mijlen. De vermoedelijke onzekerheid dier uitkomst bedroeg 90,000 D. G. mijlen en alzoo $\frac{1}{338}$ van het geheel, zoodat zij nog ten minste duizend malen minder naauwkeurig was dan de getallen, die de verhouding tusschen de afmetingen van de loopbanen der planeten uitdrukken. Deze uitkomst voor den afstand der zon werd, als de meest naauwkeurige, algemeen aangenomen, en alle getallen, die men in de latere werken voor de volstreckte afmetingen der planeten en hare loopbanen aantreft, zijn op haar gevestigd. Een soortgelijk onderzoek als dat van ENCKE, leidende tot bijna volkomen dezelfde einduitkomst, was reeds in het jaar 1815 door FERRER volbragt, maar het bleef onbekend, daar het eerst in het jaar 1832 werd uitgegeven.

Ik heb, door middel van een spinragje, een denkbeeld trachten te geven van de uiterst geringe ruimte, die eene grootheid van 8 seconden, zooals de parallaxis der zon, voor ons oog aan den hemel inneemt en men kan daaruit afleiden, met welk eene verbazende scherpte die grootheid bepaald moet zijn, als men hare vermoedelijke fout op niet meer dan eenige honderdste deelen eener secunde behoeft te stellen. Zelfs op dit oogenblik is geene enkele grootheid in de sterrekunde met eene zekerheid van weinige honderdste deelen eener secunde door meting bepaald, en het was niet te verwachten, dat de parallaxis der zon, door meting, ooit met eene hoogere naauwkeurigheid bepaald zoude worden, dan die de overgangen van Venus hadden doen bereiken. Aan de Kaap de Goede Hoop en te Greenwich werden echter de metingen omtrent de planeet Mars bij hare meest gunstige standen voortgezet, evenals of Venus nimmer voor de zon ware waargenomen, en men trad nu en dan te voorschijn met uitkomsten, uit die metingen afgeleid, waaraan niet de minste waarde kon worden toegekend. Men had, althans aanvankelijk, volstreckt geene reden om met de uitkomst, door ENCKE verkregen, ontevreden te zijn, maar terwijl in de sterrekunde eene bestendige jagt wordt gemaakt op eene verhoogde naauwkeurigheid, vond men het te hard, met eene verbetering van de uitkomst voor de

parallaxis der zon verkregen, tot toekomstige overgangen van Venus te moeten wachten en dit te meer, daar de eerstvolgende van de jaren 1874 en 1882 voor dat doel niet veel beloofden. Vooral de hoogleeraar GERLING te Marburg wilde, dat de regtstreeksche metingen weder met kracht en ernst zouden worden opgevat, en hij deed in het jaar 1847 het voorstel, dat de planeet Venus, bij hare zoogenaamde stilstanden, aan ver van elkander verwijderde plaatsen der aarde, bij dezelfde vaste sterren zoude worden vergeleken, hetgeen hare parallaxis en daarmede ook die der zon zoude moeten doen kennen. Hoezeer in dat voorstel naauwelijks iets nieuws was te vinden en zijne opvolging geene groote uitkomsten kon doen verwachten, werd het door warme Noord-Amerikanen met groote warmte opgenomen en spoedig was door hen eene zending naar Chili voorbereid, opdat aldaar, in overeenstemming met noordelijke streken der aarde, de door GERLING verlangde waarnemingen volbragt zouden worden. De aanzienlijke geldsommen, voor de zending noodig, werden zonder eenige bezwaren van den staat verworven en in de maand Augustus des jaars 1849 vertrok de luitenant ter zee J. M. GILLIS, die zich in de sterrekunde reeds een grooten naam had verworven, met twee medearbeiders en toegerust met eenen meridiaan-cirkel, een groot en een klein aequatoriaal, eenige uurwerken en eene draagbare sterrewacht, naar Chili, van waar hij met de zijnen in het jaar 1852 terugkeerde. Men had besloten niet slechts de planeet Venus, maar ook de planeet Mars stelselmatig waar te nemen, en de sterrekundigen in en buiten Amerika werden tot het volbrengen van overeenstemmende waarnemingen uitgenoodigd. De vrees, die ik bij eene vroegere gelegenheid openbaarde, dat de zending haar eigenlijk doel zoude missen, heeft zich maar al te gegrond betoond en men moet verklaren, dat zij niet het minste heeft bijgedragen om de reeds verkregene kennis van de parallaxis der zon te verbeteren. In het jaar 1856 verscheen een werk in vier quarto-deelen, de uitkomsten vermeldende, die de zending had opgeleverd. Drie dier deelen zijn geschreven door de natuuronderzoekers, die de sterrekundigen vergezelden, en bevatten afbeeldingen van oudheden, van vogels en visschen, in kleurendruk van eene voorbeeldeloze schoonheid, maar de sterrekunde blijft in die deelen onaangeroerd. Het vierde deel bevat de dagboeken der volbragte sterrekundige waarnemingen, met de daarop gevestigde berekeningen, die door den, hoezeer uit zijne sterrewacht verjaagden, niettemin hoogstverdienstelijken GOULD waren ondernomen. GOULD heeft geenen arbeid ontzien om al het mo-

gelijke uit de volbragte waarnemingen af te leiden, maar hij verkreeg uiteenloopende uitkomsten, wier meerendeel hij zelf voor verwerpelijk moest verklaren en de beste zijner uitkomsten stond in naauwkeurigheid nog ver ten achter bij die, welke ENCKE vroeger verkregen had. Men had weinig medewerking gevonden en verkreeg slechts weinige waarnemingen uit de noordelijke deelen der aarde, welke zich met die van Chili lieten verbinden, doch mij komt het twijfelachtig voor, of men zijn doel bereikt zoude hebben, indien men in dit opzigt gelukkiger ware geweest. Hoezeer de parallaxis der zon door GOULD iets kleiner dan door ENCKE werd gevonden, heeft men het toch niet raadzaam geacht aan de laatstgenoemde, naar aanleiding van dat verschil, eenige wijziging toe te brengen. Heeft alzoo de zending der Noord-Amerikanen haar eigenlijk doel gemist, zij was toch voor de sterrekunde geenszins nutteloos, want zij heeft de liefde voor die wetenschap opgewekt in eene landstreek, waar zij vroeger werd verwaarloosd en waar, meer dan elders, aan hare bevordering kon worden toegebracht. Het staatsbestuur van Chili heeft, bij het vertrek der Noord-Amerikanen, al de door hen aangevoerde werktuigen overgenomen en daarmede eene duurzame sterrewacht toegerust, die het stichten liet op den heuvel Santa Lucia, binnen Santiago, alwaar de Noord-Amerikanen hunne tijdelijke waarnemingen onder eene houten sterrewacht volbragten. Terwijl de sterrewachten in Europa zijn bijeengehoopt, was het van wezenlijk belang, dat eene nieuwe werd gesticht, onder eene heerlijke luchtstreek, aan het zuidelijk halfrond der aarde. De nieuwe nationale sterrewacht van Santiago werd onder het bestuur gesteld van eenen verdienstelijken Duitser, met name K. W. MOESTA, en zij heeft haar groot gewigt voor de wetenschap reeds door de uitgaven harer jaarboeken aan den dag gelegd.

Toen de Noord-Amerikanen hunne zending naar Chili ontwierpen, had men geene bepaalde aanleiding om te vreezen, dat de parallaxis der zon de door ENCKE aangewezen grenzen zoude te buiten gaan en zich voor eene hernieuwde bepaling van die grootheid ongewone opofferingen te getroosten. Niet lang daarna werden echter uit beschouwingen, van welke men niet zoude vermoeden, dat zij eenigermate met haar zamenhangen, nieuwe bepalingen van de parallaxis der zon afgeleid, die veel vertrouwen schenen te verdienen, maar die zoo kennelijk en zoo eenstemmig van de uitkomst, door ENCKE verkregen, afweken, dat daardoor de zuiverheid der theorie of der waarnemingen

in verdenking komen moest. Het eerst scheen de maan zich door hare beweging tegen de aangenomene parallaxis der zon te verzetten. Door de derde wet van KEPLER kan men uit de omloopstijden der planeten de verhouding tusschen hare gemiddelde afstanden tot de zon en uit de omloopstijden van de wachters eener planeet de verhouding tusschen hunne afstanden tot die planeet afleiden, maar die wet geldt alleenlijk voor lichamen, die zich om hetzelfde hoofdlichaam bewegen en door haar kunnen voor de bepaling van verhoudingen tusschen afstanden geene bewegingen van wachters en hoofdplaneten met elkander in verband worden gebragt. De oude PLINIUS meende, dat de zon 12 malen verder dan de maan van ons verwijderd moest wezen, omdat zij 12 malen meer tijds behoefde om haren loop om de aarde te volbrengen, maar nu wij zoo veel wijzer zijn geworden, kunnen wij uit de omloopstijden van zon en maan onmiddellijk niets omtrent de verhouding tusschen hare afstanden afleiden, want wij weten nu, dat die omloopstijden hoofdzakelijk afhangen van de hoeveelheden stofs, die de zon en de aarde bevatten. De parallaxis der maan is, wegens hare grootte, met eene betrekkelijk zeer hooge naauwkeurigheid bekend en nog naauwkeuriger kennen wij de omloopstijden van de maan en de aarde. Konden wij van die omloopstijden op dezelfde wijze als bij de planeten tot de verhouding tusschen de afstanden van zon en maan opklimmen, dan zoude de parallaxis der zon reeds voor eene eeuw op minder dan een honderdste deel eener secunde na met zekerheid zijn bepaald geworden. Op eene hoogst merkwaardige wijze laat zich echter, hoezeer met eene mindere naauwkeurigheid, uit de beweging der maan de verhouding tusschen hare parallaxis en die der zon afleiden. Het is bekend, dat door de aantrekking der zon aan de beweging der maan om de aarde zeer aanzienlijke storingen worden toegebragt, waarvan de voornaamste zich zelfs voor de ouden niet konden verbergen. De loopbaan der maan om de aarde wordt door de aantrekking der zon uitgerekt, hetgeen eene aanzienlijke verandering in de beweging der maan veroorzaakt, maar aan de zijde naar de zon toegekeerd is die uitrekking iets grooter dan aan de tegenovergestelde zijde, omdat zij digter bij de zon gelegen is. Uit dat verschil vloeit eene niet groote, bijzondere onregelmatigheid voort in de beweging der maan, die van de verhouding tusschen de afstanden van zon en maan en dus ook van de verhouding tusschen hare parallaxen afhangt en daarom ook de *parallactische* vereffening der

maan genoemd wordt¹⁾. Zij kan de maan, voor ons oog, zooveel aan den hemel verplaatsen als dertigmalen de parallaxis der zon bedraagt, maar zij laat zich niet dan moeijelijk van de overige storingen in de beweging der maan schiften. Reeds voor meer dan eene eeuw heeft men pogingen aangewend om, door de genoemde onregelmatigheid in de beweging der maan, van hare parallaxis tot die der zon op te klimmen, maar de verkregene uitkomsten waren blijkbaar minder naauwkeurig dan de regtstreeksche bepalingen en werden daarom geheel ter zijde gesteld. Bij de volmaking der theorie en der waarnemingen werd de genoemde onregelmatigheid in de beweging der maan veel naauwkeuriger dan te voren bepaald en in onderscheidene leerboeken, die omstreeks den tijd verschenen, waarop de Noord-Amerikanen hunne zending voorbereidden, wordt zelfs op de schoone overeenstemming gewezen tusschen de parallaxis der zon, uit haar afgeleid, en die welke door ENCKE was verkregen. De theorie van de beweging der maan was, in de allerlaatste jaren, een voorwerp van onderzoek, en helaas ook van twist, bij de grootste wiskundigen der aarde. HANSEN, die aan de volmaking dier theorie het meest heeft toegebragt, wilde zijne onderzoekingen, vooral ten nutte der zeevaart, aan de verbetering der maan-tafelen dienstbaar maken en bragt daartoe zijne theorie in verband met de veeljarige waarnemingen omtrent de beweging der maan, die aan de sterrewachten te Greenwich en te Dorpat waren volbragt geworden. Tot de talrijke uitkomsten, die uit de vergelijking van de theorie van HANSEN bij de waarnemingen werden afgeleid, behoorde eene nieuwe bepaling van de parallaxis der zon. Reeds in het jaar 1854 kondigde HANSEN aan, dat de parallaxis der zon, door de beweging der maan, kennelijk grooter werd bevonden, dan zij naar de overgangen van Venus wezen moest. In het jaar 1857 bepaalde hij die parallaxis voorloopig op $8''.97$, waarvoor, in het jaar 1859 door POWALKY, door hetzelfde onderzoek, $8''.73$ werd verkregen. In het jaar 1863 ondernam HANSEN eene nieuwe en zeer strenge bepaling van de parallaxis der zon, op de beweging der maan gevestigd, en naar de door hem verkregene einduitkomst, waaraan men geen hoogen graad van naauwkeurigheid kan ontzeggen, moest de parallaxis der zon $8''.92$ bedragen.

¹⁾ *De sterrenhemel*, eerste deel, derde druk, bladz. 294.

Een wonderbaarlijke zamenhang tusschen de verschijnselen des hemels heeft, in de allerlaatste jaren, nog andere bepalingen van de parallaxis der zon uitgelokt, die eenstemmig de getuigenis schijnen af te leggen, dat die grootheid door de overgangen van Venus inderdaad te klein gevonden is. LEVERRIER, die sedert vele jaren de reuzenkrachten van zijnen geest heeft toegewijd aan de theorie der storingen, die de lichamen des zonnestelsels op elkander uitoefenen, bragt de kennis van de uiterst zamengestelde beweging van de voornaamste dier lichamen tot eene bewonderenswaardige hoogte. Door de vergelijking van zijne theorie met de waarnemingen bepaalde hij zeer naauwkeurig eene kleine storing, die de aarde in hare beweging door de maan ondergaat, en die met de massa der maan en de verhouding tusschen de parallaxen van zon en maan zamenhangt ¹⁾. De verplaatsingen der nachteveningspunten, die den naam van praecessie en nutatie dragen en die voortvloeijen uit de werkingen van zon en maan op de afgeplatte gedaante der aarde, geven eene betrekking tusschen de massa's van zon en maan en de parallaxis van de eerstgenoemde. De massa der aarde liet zich uit de snelheid van vallende lichamen aan hare oppervlakte, verbonden met hare eigene snelheid, affeiden, en de parallaxis der maan kon als bekend worden aangenomen. Uit de genoemde betrekkingen leidde LEVERRIER in het jaar 1858 de massa's van zon en maan en de parallaxis der zon af, voor welke laatste door hem een bedrag van $8''.95$ werd gevonden. Mag men het met regt betwijfelen, of de parallaxis der zon zich, op die wijze, met eene zekerheid van een paar tiende deelen eener secunde laat bepalen, het moest toch zeer de aandacht tot zich trekken, dat zij weder grooter werd bevonden, dan zij naar het onderzoek van ENCKE wezen moest. In het jaar 1861 maakte LEVERRIER zijne theorie der planeten Venus en Mars, met hare vergelijking bij de waarnemingen, bekend, en de eene planeet zoowel als de andere toonde aan, dat de parallaxis der zon, naar ENCKE, te klein was aangenomen. Men had namelijk uit die aangenomen waarde van de parallaxis der zon haren afstand tot de aarde en de snelheid van de laatstgenoemde afgeleid en daarop de bepaling van de massa der aarde gevestigd, waarvan de storende invloed afhangt, dien zij op de overige planeten uitoefent. De werking der aarde op de planeten Venus en Mars is veel grooter dan die op de overige planeten en zij liet zich, door de teedere onderzoekingen van LEVERRIER, met scherpste bepalen. Bij beide planeten werd eene werking der aarde gevonden,

¹⁾ *De sterrenhemel*, oers'e deel, derde druk, bladz. 302.

grooter dan die naar hare bekende massa wezen kon, en met veel scherpzinnigheid werd door LEVERRIER aangetoond, dat dit verschil alleenlijk kon worden uit den weg geruimd door aan de aangenomene waarde voor de parallaxis der zon zulk eene vergrooting toe te brengen, als reeds door de theorie der aarde was aangewezen. De theorie was toen eerst zoo ver gekomen, dat zij eene scherpe afleiding van de parallaxis der zon uit de uiterst zamengestelde beweging der planeten gedoogde, en het kon den sterrekundigen niet dan hoogst onaangenaam zijn, dat de ingewikkelde bespiegelingen omtrent de beweging van drie planeten eenstemmig eene uitkomst gaven, kennelijk van die onderscheiden, welke uit de eenvoudigste waarnemingen en berekeningen was afgeleid.

Alsof de sterrekundigen niet genoeg te lijden hadden door hunne eigene wetenschap, die, na zoo menig verschil tusschen theorie en waarneming te hebben opgelost, nu weder voor zoodanig een verschil moest blijven staan, kwam de natuurkunde hunne onrust nog aanmerkelijk vergrooten. Wij weten, dat het licht der hemellichten zich met eene verbazende snelheid door de ruimte der schepping voortplant, en dat die voortplanting, verbonden met de beweging der aarde om de zon, alle vaste sterren zich, voor ons oog, jaarlijks in een' kleinen kring aan den hemel doet bewegen ¹⁾. Het bedrag van die zoogenaamde aberratie der hemellichten, dat thans met eene zeer hooge nauwkeurigheid uit de waarnemingen is afgeleid, bepaalt de verhouding tusschen de snelheid van het licht en die der aarde. De snelheid der aarde wordt afgeleid uit de eigenlijke grootte van hare loopbaan, die zij in den tijd van juist een jaar doorloopt, en deze weder wordt bepaald door de parallaxis der zon; weshalve de snelheid van het licht (308 millioenen ellen in eene secunde), zooals die in de leerboeken voorkomt, wederom geheel en al rust op de waarde, die, naar ENCKE, voor de parallaxis der zon wordt aangenomen. De snelheid van het licht werd, reeds in het jaar 1675, door ROËMER uit de verduisteringen der wachters van Jupiter afgeleid en hebben die verschijnselen later tot hare vrij nauwkeurige bepaling aanleiding gegeven, ook dit onderzoek rustte weder op denzelfden grondslag. In het begin van deze eeuw zoude men de bepaling van de verbazende snelheid des lichts, zonder de tusschenkomst der hemellichten, zekerlijk voor een droombeeld hebben gehouden, maar ook in dit opzigt is nu het schijnbaar onmogelijke

¹⁾ *De Sterrenhemel*, eerste deel, derde druk, bladz. 51.

ten uitvoer gebragt. Kort nadat WHEATSTONE, in het jaar 1834, met zijnen snelronddraaijenden spiegel, voor het bepalen van zeer kleine tijdsverloopen, was te voorschijn getreden, kwam ARAGO op het denkbeeld om, met eenen toestel van denzelfden aard, de snelheid van het licht regtstreeks te bepalen, door zijne voortplanting over eene der enge ruimten, die wij op de aarde kunnen overzien. FIZEAU werd daardoor tot de uitvinding van den toestel geleid, waarmede hij, in in het jaar 1849, inderdaad de snelheid van het licht op aardsche voorwerpen bepaalde en die weldra, onder medewerking van ARAGO, op kosten van den staat, in het groot werd ten uitvoer gebragt. ARAGO werd door de zwakte van zijn gezigt verhinderd waarnemingen met dien toestel te volbrengen en FIZEAU liet hem tot heden, zonder bekende redenen, ongebruikt liggen. Inmiddels vervaardigde zich FOUCAULT een nog meer volkomen werktuig voor hetzelfde doel en de reeks daarmede volbrachte waarnemingen, die door hem in het jaar 1862 werd bekend gemaakt, kan inderdaad niet genoeg bewonderd worden. FOUCAULT bepaalde regtstreeks het naauwelijks uitspreekbaar klein gedeelte eener secunde, dat het licht behoeft om eene ruimte te doorloopen van niet meer dan 20 ellen. Naar aanleiding hiervan bevond hij dat het licht, in ééne secunde, eene ruimte van 298 milioenen ellen doorloopt, en, door de bekende aberratie der hemellichten, liet zich hieruit de snelheid der aarde in hare loopbaan, haren afstand tot de zon en de parallaxis der laatstgenoemde afleiden. Naar de einduitkomst, door FOUCAULT verkregen, moet de parallaxis der zon $8''.86$ bedragen ¹⁾. Die einduitkomst rust op 20 afzonderlijke bepalingen, welke veel beter met elkander overeenstemden, dan dit ooit met bepalingen van de parallaxis der zon het geval was geweest en als men mag aannemen, dat in zijne handelwijze geene bron van standvastige fouten lag, zoo moet men aan de parallaxis der zon, door hem bepaald, wel een' zeer hoogen graad van zekerheid toekennen. Zij was in eene schoone overeenstemming met de theoriën van HANSEN en LEVERRIER en verschilde, even als deze, kennelijk van de regtstreeksche bepaling, die de hoogste waarde hebben moest.

¹⁾ De ruimte laat mij hier volstrékt niet toe omtrent deze schoone onderzoekingen van ARAGO, FIZEAU en FOUCAULT in eenige bijzonderheden te treden. Met groote uitvoerigheid wordt daarover gehandeld in de *Notice sur la vitesse de la lumière*, par M. DELAUNAY, opgenomen in het *Annuaire pour l'an 1865*, publié par le Bureau des Longitudes.

Nog vóór dat de uitkomst, door FOUCAULT verkregen, de onrust der sterrekundigen had kunnen vergrooten, waren sommigen van hen reeds ijverig bezig om het bestaand ergerlijk verschil, zoo mogelijk, uit den weg te ruimen. KEPLER had, naar zijne eigene verklaring, eenmaal de planeet Mars gevangen en niet losgelaten, voordat zij hem alles had medegedeeld, wat hij van haar omtrent het zonnestelsel wilde vernemen. Men wilde haar, met een soortgelijk doel, op nieuw gevangen nemen, en zij zoude daartoe, op het einde des jaars 1862, de beste gelegenheid aanbieden, omdat haar afstand tot de aarde dan zoo klein zoude wezen, als die slechts eenmaal in vijftien jaren worden kan. Er werden twee aanvallen op de planeet Mars gelijktijdig beraamd, waarvan de eene zoude staan onder de leiding van GILLIS, den bestuurder van de sterrewacht te Washington, de andere onder die van WINNECKE, den vice-bestuurder der sterrewacht op den Pulkowa. Men had geene nieuwe handelwijze of nieuwe werktuigen uitgevonden en kon dus alleenlijk herhalen, wat sedert eene eeuw bijna aanhoudend was geschied, maar de aanval zoude nu meer algemeen en beter beraden zijn dan te voren en zoo men de waarnemingen aan ver van elkander verwijderde plaatsen der aarde naauwkeurig naar de voorschriften van GILLIS en WINNECKE volbragt, kon men althans op eene roegterlijke uitspraak hopen bij het geschil, dat tusschen theorie en waarnemingen was opgerezen. Weinigen hebben aan de uitnoodiging tot medewerking aan de waarnemingen beantwoord, hetgeen aan de strengheid der eischen kan worden toegeschreven; maar het is allerzonderlingst, dat de weinige waarnemingen, die de maatregel heeft opgeleverd, tot heden grootendeels ongebruikt zijn blijven liggen. Men heeft nog niets vernomen van eenige uitkomst uit de waarnemingen, naar het plan van GILLIS volbragt, afgeleid en daar GILLIS in het voorjaar van dit jaar overleed, zal men die waarnemingen welligt geheel en al laten rusten. WINNECKE was aanvankelijk zoo ongeduldig, dat hij, reeds in Maart 1863, met een voorloopig bericht van een voorloopig onderzoek te verschijn trad, maar hij is niet verder dan tot dat voorloopige gekomen, en daar hem bij den aanvang van dit jaar eene ernstige en misschien onherstelbare ziekte trof, heeft men vooreerst geen nader onderzoek van hem te wachten. WINNECKE ontving zeer vroegtijdig de waarnemingen, volbragt aan de Kaap de Goede Hoop, waarvan 13 reeksen op dagen vielen, waarop de planeet ook op den Pulkowa was waargenomen. Dit gaf hem 13 bepalingen van de parallaxis der zon, wier

middental $8''.96$ bedroeg. Te Greenwich ontving men zeer spoedig de waarnemingen, volbragt aan de sterrewacht te Williamstown in Australië, die op 22 verschillende dagen met die van Greenwich zamenvielen. Reeds in April 1863 maakte STONE 22 bepalingen van de parallaxis der zon bekend, uit die waarnemingen afgeleid, die het bedrag van $8''.93$, tot einduitkomst gaven. Wijders heeft men de geheele zaak tot nu toe laten rusten en van de uitgebreide reeksen van waarnemingen aan het zuidelijk halfroond der aarde, te Santiago en te Madras volbragt en de niet minder gewigtige aan het noordelijk halfroond, volbragt te Washington, Leiden en Berlijn, is nog volstrekt geen gebruik gemaakt. De voorloopige uitkomsten vielen in den zin, waarin men die verlangde, maar ik kan volstrekt niet instemmen met het oordeel van hen, die vermeenen, dat de zaak daardoor is beslist geworden. De uitkomsten, door WINNECKE verkregen, loopen meer dan zes tiende deelen eener secunde en die, verkregen door STONE, loopen zelfs meer dan eene volle secunde uit elkander. Niemand zal mij doen gelooven, dat een middental uit zulke uitkomsten, op een paar tiende deelen eener secunde na, zeker is en naar mijne overtuiging zoude zulk eene zekerheid in geen geval verkregen kunnen worden, zonder eene zeer strenge bepaling van de fouten der werktuigen, waarmede de waarnemingen zijn volbragt geworden. De schoone overeenstemming van de uitkomsten door WINNECKE en STONE verkregen met elkander en met die, welke HANSEN en LEVERRIER uit hunne theoriën hebben afgeleid, is in mijn oog niet dan toeval. Men zoude misschien eene merkbaar andere uitkomst verkrijgen, indien al de waarnemingen, die in het jaar 1862 omtrent de planct Mars werden volbragt, aan een streng onderzoek werden onderworpen en het is, alsof de vrees voor zulk eene onaangename verrassing heeft medegewerkt om de talrijke overige waarnemingen te laten rusten.

Terwijl men, in weerwil van de onderzoekingen door WINNECKE en STONE volbragt, nog geenszins kon beslissen, welke waarde eigenlijk voor de parallaxis der zon moest worden aangenomen en het raadsel nog volstrekt niet was opgelost, waarom de bepaling van ENCKE, die boven alle overigen vertrouwen moest inboezemen, op eene kennelijke wijze van alle overigen afweek, verscheen in het verledene jaar eene kleine verhandeling, uitgegeven door de hoogeschool te Kiel, die ik nergens heb vermeld gevonden, waarvan men nauwelijks eenige kennis schijnt te hebben genomen, waarvan ik zelfs geheel onkundig zoude zijn ge-

bleven, indien ik haar niet van haren schrijver had ontvangen en die een grooter gewigt in de schaal legt dan de ontelbare waarnemingen, die in deze eeuw voor de bepaling van de parallaxis der zon ondernomen zijn. Die kleine verhandeling heeft tot opschrift: *Neue Untersuchung des Venus Durchganges von 1769, zur Bestimmung der Sonnenparallaxe, von dr. c. r. POWALKY*. De verdienstelijke schrijver van dat stuk vestigt de aandacht op hetgeen ENCKE zelf omtrent de onvermijdelijke onvolkomenheid van zijnen arbeid heeft aangevoerd, en erkennende, dat ENCKE, in het jaar 1824, alles uit de waarnemingen heeft afgeleid, wat zich toen uit de waarnemingen trekken liet, vroeg hij zich zelve af, of de uitkomst, door ENCKE verkregen, ten eeuwigen dage als de meest naauwkeurige beschouwd moest worden, die zich uit den overgang van Venus in het jaar 1769 liet afleiden. Op die vraag moest hij zich wel een ontkennend antwoord geven. Men had de cijfers, door ENCKE verkregen, overal gebruikt en overal overgenomen, zonder aan zijn berigt te denken, dat hij van vele waarnemingen of in het geheel geen, of slechts gedeeltelijk gebruik had kunnen maken, eensdeels omdat de waarnemingen zelve hier en daar twijfel hadden laten bestaan, anderdeels omdat de geographische ligging van eenige zeer belangrijke plaatsen nog hoogst onzeker was gebleven. Omtrent sommige waarnemingen is een licht opgegaan, dat in 1824 nog ontbrak en van talrijke plaatsen is, vooral door de kustopneming in Noord-Amerika, de geographische ligging, na dien tijd, naauwkeurig bepaald geworden en nadat de parallaxis der zon de sterrekundigen herhaaldelijk in rep en roer had gebracht, kwam, eerst in het verleden jaar, POWALKY op het denkbeeld om de nieuwe gegevens te gebruiken voor eene hernieuwde bepaling van de parallaxis der zon, uit het verschijnsel, dat op zijnen tijd zoo veel opschudding had gemaakt en daarna zoo vele zorgen baarde. POWALKY, die de op zich genomen taak op eene meesterlijke wijze ten uitvoer bragt, verkreeg, als de meest naauwkeurige einduitkomst, die nu uit den overgang van Venus in het jaar 1769 kon worden afgeleid, voor de parallaxis der zon een bedrag van $8''.86$, en hij verklaarde uitdrukkelijk, dat eene strenge bearbeiding van beide doorgangen van Venus, die in de jaren 1761 en 1769 zijn waargenomen, vooral bij eene naauwkeurige kennis der gegevens, tot eene nog meer naauwkeurige kennis van de parallaxis der zon zoude leiden.

De uitkomst, door POWALKY voor de parallaxis der zon verkregen, komt mij eene der merkwaardigste voor, die de sterrekunde in deze eeuw heeft geleverd. Zij leert wederom, hoezeer de naauwkeurigheid

van sterrekundige bepalingen wordt overschat door de thans algemeen, gebruikelijke onjuiste toepassing der waarschijnlijkheidsrekening, en zij heeft een verschil, dat tusschen uitkomsten, voor dezelfde grootheid, op verschillende wijzen verkregen, scheen te bestaan, volkomen opgeheven. Men zal niet in ernst kunnen beweren, dat eene der talrijke bepalingen van de parallaxis der zon, op een tiende deel eener secunde na, zeker is, en binnen die grenzen komen de voornaamste dier bepalingen nu alle met elkander overeen. Het vermeend verschil tusschen theorie en waarnemingen is alzoo andermaal volkomen opgelost, en de sterrekunde heeft zich weder den lof waardig betoond, die haar wordt toegebracht.

De meest nauwkeurige waarde van de parallaxis der zon, die nu moet worden aangenomen, kan op $8''.90$ gesteld worden. Op minder dan een half tiende deel eener secunde na komt die waarde overeen met de uitkomst door HANSEN uit de theorie der maan, door LEVERRIER uit de theorie der planeten, door FOUCAULT uit de snelheid van het licht, door WINNECKE en STONE uit de regtstreeksche waarneming der planeet Mars, en door POWALKY uit den overgang van Venus afgeleid. Als men in aanmerking neemt, dat dit half tiende deeltje eener secunde 160 malen in de dikte van een spinragje en meer dan duizend malen in de dikte van een hoofdhaar is begrepen, als die voorwerpen op eenen afstand van het oog worden gehouden, waarop zij zich het scherpst vertoonen, zoo heeft men overvloedige redenen om met de tegenwoordige sterrekunde ingenomen te zijn, al moge zij, tegenover de almacht van den Schepper, een getuigenis blijven van menschelijk onvermogen.

Stelt men de parallaxis der zon op $8''.90$, zoo vindt men, voor haren gemiddelden afstand tot de aarde, een bedrag van 19,918,240 D. G. mijlen. Het half, tiende deeltje van eene secunde, waarvan zoo even sprake was, zou dien afstand niet minder dan 112,000 D. G. mijlen veranderen. Neemt men de genoemde waarde als de meest nauwkeurige aan, zoo moet de parallaxis der zon, door ENCKE bepaald, de grootheid, waarop thans alle bepalingen van afmetingen in het zonnestelsel rusten, met $0''.33$ en dus met $\frac{1}{3}$ van haar bedrag worden vergroot. In dezelfde verhouding moeten alle grootheden worden verkleind, die in de tegenwoordige leerboeken voorkomen en op volstrekte afmetingen in het zonnestelsel betrekking hebben. Dit geldt voor de afstanden der planeten tot de zon, tot elkander en tot hare wachters, zoo als ook voor hare middellijnen, in middellijnen der aarde of in mijlen uitgedrukt. Natuurlijkerwijze moet, naar aanleiding daarvan, eene wijziging ook aan

de aangenomene getallen voor de inhouden der planeten en voor hare daaruit afgeleide dichtheden eene wijziging worden toegebracht.

De waarnemingen omtrent de overgangen van Venus in de jaren 1761 en 1769 verdienen nog eens met ernst onder handen te worden genomen en de waarnemingen omtrent de planeet Mars, in het jaar 1862 volbragt, verdienen eene bearbeiding, die haar nog niet ten deel mogt vallen. Daardoor kan nog eene kleine wijziging van de hier aangenomene waarde van de parallaxis der zon wenschelijk voorkomen, maar het laat zich aanzien, dat wijders eene veel naauwkeuriger bepaling van die groothed voorcerst niet mogelijk zal zijn. De planeet Mars zal zich in de eerstvolgende jaren daartoe in het geheel niet leenen en van den overgang van Venus in het jaar 1874 laat zich weinig verwachten, omdat hij over het grootste gedeelte van Europa in het geheel niet zal kunnen worden waargenomen. Iets gunstiger is de daarop eerstvolgende overgang van den 6den December 1882, die in Europa althans ten deele zal zichtbaar zijn, maar die, naar een opzettelijk onderzoek door AIRY in het jaar 1857 volbragt, zonder groote maatregelen ook niet veel belooft. Hoezeer men de werktuigen volmake, het meten zal altijd door de onrust der lucht worden bezwaard, en wil men dit ontgaan, zoo zal men vermoedelijk op eene meer volmaakte kennis van de parallaxis der zon tot den overgang van Venus in het jaar 2004 moeten wachten, tenzij door de natuurkunde worde ter hulp gekomen.

VIRGILIUS verklaarde, dat het moeite had gekost een volk als de Romeinen te stichten, maar ik geloof toch, dat dit veel gemakkelijker viel dan de bepaling van den afstand der zon, dien wij nu, in weerwil van de gestadige inspanning der sterrekundigen, na eene bemoeijing van tweeduizend jaren, nog niet eens op een honderdste deel van zijn bedrag na met zekerheid kennen. Ik beschreef, zoo kort als het mij mogelijk was, de voornaamste pogingen, die men heeft aangewend om die groothed te bepalen, en ontwaarde met schrik, dat mijne bijdrage eene uitgebreidheid had verkregen, misschien veel te groot voor het geduld harer lezers en veel te groot voor het tijdschrift, waarin zij zoude worden opgenomen. Ik wilde haar, door het uitschrappen van eenige bladzijden, bekorten, maar ik moet verklaren, dat ik geene vinden kon, die zich lieten wegnemen, zonder eene samenhangende keten te verbreken of zonder de verstaanbaarheid van het geheel te schaden. Omtrent het gekozen onderwerp had ik nog zeer veel kunnen mededeelen, dat door vrienden der sterrekunde vermoedelijk met belangstelling zoude

zijn vernomen, en deed ik een lang verhaal, in weerwil van mijne neiging om het te bekorten, het was onvermijdelijk, wegens de naauwelijks gelooflijke bezwaren, waaraan de sterrekundige onderzoekingen van den tegenwoordigen tijd verbonden zijn. Ik hoop, dat het althans eenigen mijner lezers niet ongevallig zal zijn geweest met mij de gangen der wetenschap te bespieden naar een doel, welks bereiking het gebied der menschelijke kennis aanmerkelijk moet vergrooten.

N A S C H R I F T.

Eenige weken nadat dit opstel der redactie van het Album der Natuur ter plaatsing was aangeboden, namelijk op den 6den Januarij 1866, ontving ik het *Annuaire pour l'an 1866*, *publié par le bureau des Longitudes* en het veraste mij niet weinig daarin eene uitgebreide verhandeling te vinden, onder het opschrift: *Notice sur la distance du soleil à la terre par M. DELAUNAY*. Ik heb de redactie van het Album der Natuur onmiddellijk gewezen op het verschijnen van dit uitgebreid stuk, over hetzelfde onderwerp als dat van mijne bijdrage en het aan haar overgelaten te beslissen, of de laatstgenoemde daarna nog in haar tijdschrift kon worden opgenomen. De redactie heeft tot het plaatsen van mijne bijdrage besloten en ik geloof, dat zij, ook voor hen, die het stuk van DELAUNAY hebben gelezen, niet geheel overtollig wezen zal. Zoo als men verwachten kan, komen de aangevoerde feiten in beide stukken nagenoeg met elkander overeen, maar er bestaat een aanmerkelijk verschil tusschen de wijzen, waarop het onderwerp door DELAUNAY en mij behandeld is. Het stuk van DELAUNAY neemt 123 bladzijden van het *Annuaire* in, en is het alzoo veel uitvoeriger dan het mijne, doch die grootere uitvoerigheid betreft uitsluitend de vroegere pogingen om den afstand der zon te bepalen, terwijl de pogingen van de laatste jaren door mij met eene grootere uitvoerigheid en volledigheid behandeld zijn. Ofschoon de zienswijze van DELAUNAY niet overal met de mijne overeenkomt, heb ik in zijn opstel geene aanleiding gevonden, om eenige verandering aan mijne bijdrage toe te brengen en waar zijne opgaven omtrent de jongste onderzoekingen van de mijne verschillen, is het regt aan mijne zijde.
