

DE OVERGANG VAN VENUS VOORBIJ  
DE ZON  
EN HARE BETEEKENIS VOOR ONZE KENNIS VAN DE AFME-  
TINGEN VAN HET ZONNESTELSEL,

DOOR

H. G. van de SANDE BAKHUYZEN.

---

De uitkomsten der sterrenkundige onderzoekingen en berekeningen staan, wat hunne nauwkeurigheid betreft, hoog aangeschreven en niet zonder reden. De plaats, waar een planct of komeet zich op een gegeven oogenblik zal bevinden, de tijdstippen van bijzondere verschijnsels, zooals zons- en maansverduisteringen, worden voorspeld met zulk eene juistheid dat hij, die niet met zeer nauwkeurige werktuigen is toegerust, geene afwijking kan bespeuren.

Die nauwkeurigheid blijkt ook uit hetgeen wij omtrent ons zonnestelsel kennen. De omloopstijden van de meeste grootere planeten kennen wij tot op één honderdmillioenste van hun bedrag, en hunne afstanden tot de zon uitgedrukt in de maat, die men gewoonlijk hierbij gebruikt, namelijk de gemiddelde afstand van de zon tot de aarde, kennen wij betrekkelijk veel juister dan eenige lengte op aarde; de fout, welke nog in die metingen kan zijn overgebleven, stemt overeen met eene fout van  $\frac{1}{3}$  millimeter in den afstand van Leiden of Utrecht tot Amsterdam.

Met deze getallen voor oogen zou men meenen dat de afstand, welke ons in de sterrenkunde het meeste belang inboezemt, die waarop de aarde van de zon verwijderd is, al met eene verbazende juistheid in

de gebruikelijke maten b. v. in kilometers bekend is. Zeer zou men zich echter hierin vergissen; want de waarde, welke er thans als de meest waarschijnlijke voor wordt aangenomen, kan nog een tweehonderdste deel onjuist zijn. Diczelfde onzekerheid heerscht ten aanzien van de afstanden der planeten tot de zon, zoo wij die insgelijks in kilometers willen uitdrukken.

Van waar dit groote verschil in de nauwkeurigheid van de afmetingen van ons planetenstelsel, al naar mate wij daarbij als maat gebruiken den afstand van de aarde tot de zon of den kilometer?

De reden is vrij eenvoudig. De schitterende ontdekkingen van KEPLER en NEWTON hebben ons geleerd dat al de planeten zich ten gevolge van eene zelfde kracht, de aantrekkingskracht, om de zon bewegen, en een noodzakelijk gevolg van de wetten, welke deze kracht volgt, is dat er eene zeer eenvoudige betrekking bestaat tusschen de tijden, waarin de planeten hunnen omloop om de zon volbrengen en hunne gemiddelde afstanden tot dat hemellicht

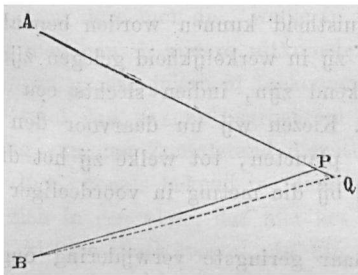
Door langdurige waarnemingen kennen wij de omloopstijden van onze aarde en de overige planeten met hooge juistheid, en de genoemde betrekking (de zoogenaamde 3<sup>e</sup> wet van KEPLER) stelt ons in staat uit die tijden de verhouding tusschen de afstanden van de aarde en de overige planeten tot de zon te berekenen.

Eene dergelijke wet, welke het verband aangeeft tusschen die afstanden en den kilometer of de middellijn van de aarde, waarvan de lengte ook in kilometers bekend is, bestaat echter niet, en hierdoor wordt het vraagstuk, hoever de zon van de aarde verwijderd is, tot een der zwaarste die de sterrenkundigen ter oplossing zijn voorgelegd. Zij stuiten daarbij op volkomen dezelfde bezwaren als iemand, die, staande op den omgang van den Utrechtschen dom, vandaar een der torenspitsen van Amsterdam ziet en nu wil bepalen hoever hij daarvan verwijderd is, terwijl hij gedwongen wordt altijd te blijven binnen een cirkeltje van anderhalf meter straal.

Men kan zich hierdoor een denkbeeld vormen van de vele moeilijkheden, welke aan de beantwoording der gestelde vraag verbonden zijn, en wel verre van zich te verbazen dat de afstand van de aarde tot de zon zooveel minder juist bekend is dan andere grootheden in de sterrenkunde, zal men zich veeleer verwonderen dat het gelukt is onder zulke hoogst ongunstige omstandigheden die grootheid nog op een half percent na te meten.

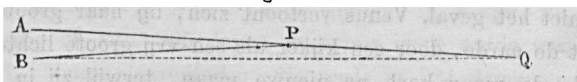
Het is duidelijk dat bij de begeerte van den mensch om alles te weten, deze meting al reeds in de vroegste tijden de belangstelling van velen opwekte, en deze zeer werd verhoogd toen KEPLER had aange- toond dat daaruit de afmetingen van ons gansche zonnestelsel gemak- kelijk kunnen worden afgeleid. Eene bepaling, die vertrouwen verdiende, kon. evenwel met de gebrekkige hulpmiddelen vóór het begin der 17de eeuw niet worden volbracht; eerst daarna was door het gebruik der verrekijsers de waarnemingskunst zoover gevorderd dat betrekke- lijk goed geslaagde pogingen konden worden in het werk gesteld. De handelwijze, welke men toen en na dien tijd bijna altijd heeft gevolgd, is dezelfde, die ook wordt gebruikt zoodra men den afstand van een ver- wijderd ongenaakbaar voorwerp P (Fig 1 en 2) op aarde wil bepalen; men meet namelijk de richting, waarin het zich van uit twee verschillende punten A en B vertoont; is dan de lengte van de lijn AB bekend, dan volgt hieruit door berekening de afstand AP of BP. Deze methode eischt, bij de onvolkomenheid aan alle metingen eigen, dat het verschil in de richting dier lijnen niet te klein is. Was toch de rich-

Fig. 1.



ting van AP juist gemeten doch in de bepaling van BP eene fout ingeslopen, waardoor in plaats van BP BQ was gevonden, dan volgt hieruit voor den onbekenden afstand, in plaats van AP, AQ en de fout PQ, is betrekkelijk gering, Fig. 1 waar AP en BP een vrij grooten

Fig. 2.



hoek maken, maar wordt daarentegen zeer groot in Fig 2, waar die hoek veel kleiner is.

Bij de afstandsbepaling van de zon zijn de omstandigheden al zeer ongunstig; voor twee waarnemers, op aarde zoo ver mogelijk van elkander verwijderd, zal de plaats, welke het middelpunt van de zon aan den hemel schijnt in te nemen, op zijn meest ongeveer 19 seconden verschillen, eene grootheid ruim 5 maal kleiner dan de ruimte welke de dikte van een hoofdhaar aan den hemel bedekt, als het op den gewonen afstand van duidelijk zien van het oog wordt gehouden. De bepaling van dit kleine verschil in den stand van het middelpunt der zon is uiterst bezwaarlijk, daar dit punt niet door eenig bijzonder teeken is aangegeven, maar uit de altijd onzekere waarnemingen der zonsranden moet worden afgeleid; daarenboven zijn in de nabijheid van de zon geen sterren te zien, ten opzichte waarvan men hare plaats zou kunnen bepalen. Men kan dus laugs dezen weg geen groote nauwkeurigheid verwachten; eene andere toepassing der vermelde methode voert echter gelukkig tot betere uitkomsten.

Men kont, zooals boven is medegedeeld, de verhoudingen tusschen de afstanden van de planeten en van de aarde tot de zon, zoodat in eene afbeelding van ons zonnestelsel op verkleinde schaal de betrekkelijke afstanden van al de daarin voorkomende lichamen met zeer hooge juistheid kunnen worden bepaald. De onderlinge afstanden, op welke zij in werkelijkheid gelegen zijn, zullen dus ook met hooge juistheid bekend zijn, indien slechts een er van, onverschillig welke, gemeten is. Kiezen wij nu daarvoor den afstand tusschen de aarde en een der planeten, tot welke zij het dichtste kan naderen, dan verkeeren wij bij die meting in voordeeliger omstandigheden dan zoo straks.

Venus is bij haar geringste verwijdering ongeveer 4 maal, Mars ruim 2 maal dichtër bij ons dan de zon; op zeer ver verwijderde punten op aarde zal het verschil tusschen de waargenomen richtingen, in plaats van 19 seconden zooals bij de zon, bij Venus tot ongeveer 70 seconden, bij Mars tot ruim 40 seconden kunnen opklimmen. Hieruit schijnt te volgen, dat de afmetingen van ons zonnestelsel het best uit de waarnemingen van Venus kunnen worden afgeleid; dit is echter niet het geval. Venus vertoont zich, bij haar grootste toenadering tot de aarde, door een kijker als een vrij gróote lichtende sikkël, even als de maan kort na nieuwe maan, terwijl zij in dezen stand daarenboven alleen over dag kan worden waargenomen, waardoor men het gróote voordeel mist van vaste sterren in de onmiddellijke nabij-

heid van Venus als vergelijkingspunten bij de plaatsbepaling te kunnen gebruiken. Door een en ander worden de waarnemingen van Venus vrij onnauwkeurig, en het voordeel, dat deze planeet door hare grootere nabijheid oplevert, gaat hierdoor geheel verloren.

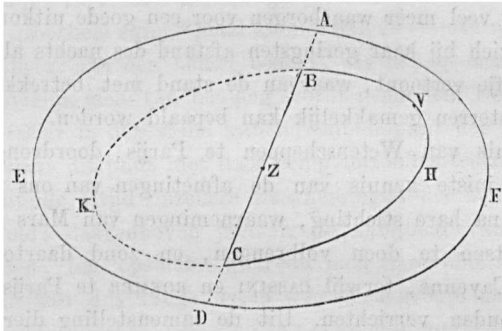
Mars levert veel meer waarborgen voor een goede uitkomst op, daar deze planeet zich bij haar geringsten afstand des nachts als een scherp begrensde schijffe vertoont, waarvan de stand met betrekking tot naburige vaste sterren gemakkelijk kan bepaald worden.

De Akademie van Wetenschappen te Parijs, doordrongen van het belang eener juiste kennis van de afmetingen van ons zonnestelsel, besloot, kort na hare stichting, waarnemingen van Mars op ver verwijderde plaatsen te doen volbrengen, en zond daartoe, in 1672, RICHER naar Cayenne, terwijl CASSINI en ROEMER te Parijs de noodige observaties zouden verrichten. Uit de samenstelling dier goed overeenstemmende waarnemingen werd afgeleid, dat de afstand van de aarde tot de zon ongeveer 22000 maal grooter was dan de straal van den aequator der aarde. Het bleek echter spoedig, dat die waarde nog vrij onzeker was; niet alleen in Parijs, maar ook op andere plaatsen in Europa had men zich met de plaatsbepalingen van Mars bezig gehouden, en, verbond men deze met die, welke in Cayenne volbracht waren, dan verkreeg men gansch andere uitkomsten. Men durfde dus aan deze resultaten geen groote juistheid toekennen, en met vreugde werd in 1691 het voorstel van HALLEY begroet om de overgangen van Venus aan de bepaling van den Zonsafstand dienstbaar te maken.

De planeet Venus ligt, zooals bekend is, dichter dan de aarde bij de zon en beweegt zich in een vlak, dat met het vlak van de loopbaan der aarde een kleinen hoek vormt. In Fig. 3 stelt  $Z$  de zon,  $A E D F$  de loopbaan van de aarde,  $H B K C$ , die van Venus voor, terwijl hunne vlakken elkander volgens  $B C$  snijden. Bij hare beweging om de zon zal de aarde elk jaar eenmaal door de punten  $A$  en  $D$  gaan, die in de lijn  $B C$  liggen en wel ongeveer 6 Juni door  $A$ , ongeveer 8 December door  $D$ . Beschouwen wij de standen van de beide planeten op een dezer datums, b. v. op 6 Juni van het jaar 1700, dan zal, terwijl de aarde in  $A$  is, Venus wellicht in  $V$  zijn; na verloop van een jaar, of van 365 dagen en 6 uur is de aarde weder in  $A$  teruggekeerd, Venus daarentegen, die reeds in 224 dagen en 16 uur haar omloop volbracht heeft, zal dan eene andere plaats in haar baan innemen. Elke volgende 6<sup>de</sup> Juni bevindt Venus zich in het algemeen

in een ander punt, doch onder al de standen welke zij op dien datum in verschillende jaren kan innemen komt zij ook eenmaal in *B*.

Fig. 3.



In dit geval liggen, van uit de aarde gezien, Venus en de zon in dezelfde richting, en men zal dan de planeet als een gitzwart schijfje, ongeveer 30 maal kleiner dan de zon, zich over de oppervlakte van dit hemellicht zien voortbewegen. De weg, welchen zij over de zonnenschijf aflegt, is afhankelijk van haar stand en maakt een kleinere of grootere koorde; de snelheid is zoo groot, dat zij ongeveer 8 uur zou noodig hebben om de geheele schijnbare zonsmiddellijn te doorloopen. Hetzelfde wat hier gezegd is met betrekking tot den stand van de aarde en Venus op 6 Juni, geldt ook voor de standen dezer hemellichten op 8 December, en wij kunnen hieruit dadelijk het besluit afleiden, dat de overgangen van Venus voorbij de zon alleen mogelijk zijn omstreeks die beide datums; weet men daarenboven in welk jaar een overgang is waargenomen, dan is uit de medegedeelde omloopstijden gemakkelijk af te leiden, wanneer zij weder zullen plaats grijpen. Men vindt dan voor die tijdstippen:

6 Juni	1761
3 Juni	1769
9 December	1874
6 December	1882
9 Juni	2004
6 Juni	2012
12 December	2117
8 December	2125.

Uit dit tafeltje blijkt dat de overgangen vrij zeldzaam zijn, twee er van volgen elkander altijd na 8 jaar op, doch men moet dan 105 of 122 jaar wachten eer zich het verschijnsel op nieuw zal voordoen.

Waarin ligt nu het groote belang van dien overgang voor onze kennis van den zonsafstand?

Boven werd reeds medegedeeld dat eene vrij juiste bepaling van die grootheid zou verkregen worden, indien men van verwijderde plaatsen op aarde de richtingen waarnam, waarin zich Venus bij haar geringsten afstand vertoont, doch er werd tevens bijgevoegd dat in de gewone gevallen aan de nauwkeurige waarneming van die richting niet te denken valt. Bij den overgang van Venus zijn daarentegen de omstandigheden voor de metingen zeer gunstig. Zij vertoont zich dan als een gitzwart schijfje op een helderen achtergrond, en, mist men ook al de vaste sterren in hare nabijheid om ten opzichte van deze hare plaats te bepalen, zoo heeft men op zeer geringen afstand de zonsranden, welke voor ditzelfde doel kunnen gebruikt worden. Daarenboven blijft Venus vrij geruimen tijd (dit jaar ongeveer 4 uur) voor de zonschijf, zoodat de metingen van zijn afstand tot de zonsranden zeer dikwijls kunnen worden herhaald.

Deze in het kort medegedeelde handelwijze werd echter niet door HALLEY voorgeslagen; een anderen meer eenvoudigen weg wees hij aan, die tot hetzelfde einddoel leidde.

Op het eerste oogenblik dat Venus geheel voor de zon is getreden, zal de rand van het gitzwarte schijfje den zonsrand inwendig in een enkel punt raken, terwijl een oogenblik later zich een uiterst fijn lichtlijntje tusschen beide zal vertoonen. Het oogenblik dier eerste inwendige aanraking en ook dat van de tweede, als Venus de zon verlaat, kan men dus schijnbaar uiterst nauwkeurig waarnemen, terwijl daarenboven door de geringe snelheid, met welke Venus zich beweegt, eene kleine fout in de schatting van het oogenblik slechts een zeer geringen invloed heeft. Bij deze inwendige aanrakingen is de afstand tusschen de middelpunten van de zon en van Venus juist gelijk aan het verschil hunner stralen, en men heeft derhalve door de waarneming daarvan, zonder gebruik te maken van eenig meetwerktuig, eene uiterst nauwkeurige bepaling van den afstand der middelpunten van beide hemellichten.

Twee personen op verwijderde punten der aardoppervlakte zullen in het algemeen die inwendige aanrakingen op verschillende oogenblikken zien, en uit het tijdsverloop tusschen beide kan gemakkelijk

berekend worden hoe groot op hetzelfde oogenblik het verschil in de schijnbare plaats van Venus voor de beide waarnemers zou geweest zijn.

De hoofdzaak waarop het dus aankomt is de bepaling van dit tijdsverschil; het is daartoe niet voldoende dat men de aanwijzing kent van de uurwerken op het oogenblik dat het verschijnsel op de beide waarnemingsplaatsen gezien werd, ook het lengteverschil dezer laatsten moet even nauwkeurig bekend zijn, en de bepaling van die grootheid is vaak met zeer groote moeijelikheden verbonden. In vroeger tijd, toen men de elektrische telegraphen nog niet kende, waren die bezwaren nog veel grooter dan nu, en HALLEY vond deze zoo overwegend dat hij de boven beschreven waarnemings-methode verwierp en eene geheel andere voorloeg, waarbij men van de lengte der waarnemingsplaatsen onafhankelijk was.

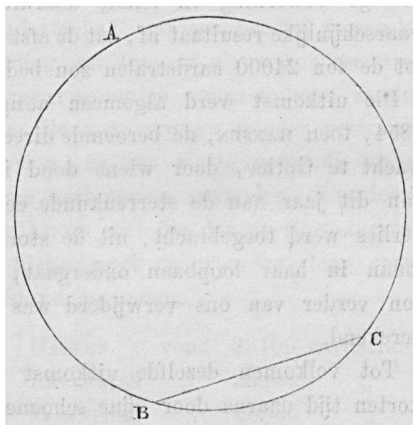
Hij stelde voor om niet den onderlingen stand der middelpunten van Zon en Venus op een gegeven oogenblik te observeeren, maar den kleinsten afstand te bepalen, waarop die middelpunten gedurende den overgang tot elkander zullen naderen. Metingen worden daartoe niet vereischt, daar deze afstand met hooge nauwkeurigheid kan bepaald worden door middel van den tijd, welken Venus noodig heeft om haar schijnbaren weg over de zon af te leggen. Uit dit tijdsverloop toch kan gemakkelijk de lengte van dien weg (eene koorde van de zonneschijf) worden berekend, en met deze hangt de kleinste schijnbare afstand der middelpunten op het nauwste samen, zoodat men vrij gemakkelijk die laatste grootheid uit de eerste afleidt. Deze methode van HALLEY vordert dus slechts dat men nauwkeurig den duur van den overgang waarneemt, en de verschillende waarden, welke daarvoor op verwijderde plaatsen zijn verkregen, stellen ons wederom in staat om te bepalen hoever Venus van ons verwijderd is.

Het is wel duidelijk dat, zoo deze handelwijze den gewenschten graad van nauwkeurigheid zal opleveren, de koorde die Venus doorloopt niet te dicht bij het middelpunt van de zon mag vallen, daar anders eene fout in de bepaling van den duur van den overgang en dus ook in de lengte van de koorde eene vrij groote fout in den daaruit afgeleiden kortsten afstand zal te weeg brengen. Bij den overgang die nu aanstaande is, verkeeren wij in tamelijk gunstige omstandigheden, zooals uit fig. 4 blijkt, welke den weg voorstelt, die, van uit het middelpunt der aarde gezien, Venus over de zon aflegt. Voor een waarnemer in het Noordelijk halfrond zal Venus iets dichterbij het zonsmiddelpunt komen, en dus de afgelegde weg



iets grooter zijn dan in de figuur, terwijl voor een waarnemer in het Zuiden het tegengestelde het geval zal zijn. In Yokohama b. v. zal

Fig. 4.

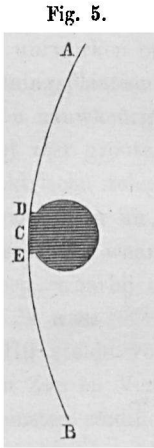


de tijd tusschen de twee inwendige rakingen ongeveer 3 uur 55 min., in St. Denis de la Réunion (de waarnemingsplaats der Hollandsche expeditie) 3 uur 32 min. bedragen, hetgeen dus een verschil van 23 m. oplevert. Eene fout van één sekonde in de schatting van elk dier beide tijdsverloopen zal dus in het eindresultaat hoogstens eene fout van  $\frac{1}{700}$  kunnen te weeg brengen.

De toepassing der hier geschetste methode in de jaren 1761 en 1769 werd door de sterrenkundigen met ongeduld verbeid en een groot aantal van hen begaven zich naar onderling ver verwijderde plaatsen om het verschijnsel waar te nemen; doch het eindresultaat van al deze pogingen was niet zeer bevredigend.

Men had gemeend dat, door een vermogenden kijker gezien, Venus op het oogenblik der inwendige aanraking slechts in een enkel punt met den zonsrand zou verbonden zijn; bij de waarneming bleek zulks echter volstrekt niet het geval te zijn, het verschijnsel vertoonde zich gansch anders. Omstreeks het oogenblik der eerste inwendige aanraking zag men Venus en den zonsrand door een vrij breeden zwarten band verbonden, zooals in fig. 5; deze band werd smaller en minder donker, en eindelijk werd hij geheel verbroken, doch op dat oogenblik bleek het dat Venus reeds tamelijk ver op de zonnescijf was getreden. Wat was nu het oogenblik der ware aanraking geweest? Verschillende

meeningen werden hierover geuit, en men trachtte uit het voorhanden zijnde waarnemingsmateriaal nog zoo goed mogelijk eenige uitkomsten af te leiden. ENCKE gaf daarvan de meest uitvoerige bewerking en leidde daaruit als het meest waarschijnlijke resultaat af, dat de afstand van de aarde tot de zon 24000 aardstralen zou bedragen.



Die uitkomst werd algemeen aangenomen tot in 1854, toen HANSEN, de beroemde directeur der sterrenwacht te Gotha, door wiens dood in den aanvang van dit jaar aan de sterrenkunde een onherstelbaar verlies werd toegebracht, uit de storingen, welke de maan in haar loopbaan ondergaat, afleidde dat de zon verder van ons verwijderd was dan ENCKE had berekend.

Tot volkomen dezelfde uitkomst werd LEVERRIER korten tijd daarna door zijne schoone onderzoekingen omtrent de beweging van de zon geleid.

Tot het jaar 1874 te wachten om met behulp van den nu aanstaanden overgang te beslissen of deze meeningen juist waren, viel de sterrenkundigen te zwaar. Andere handelwijzen werden voorgeslagen om spoediger tot dit doel te geraken en wel in de voornaamste plaats die, welke de Fransche sterrenkundigen op het einde der 17<sup>e</sup> eeuw hadden gevolgd, door middel van de planeet Mars. WINNECKE, toenmaals onder-directeur aan de sterrenwacht te Pulkowa, thans werkzaam aan de universiteit te Straatsburg, waar onder zijne leiding eene prachtige sterrenwacht zal worden gesticht, deed het voorstel om deze waarnemingen te volbrengen in 1862, in welk jaar Mars zeer dicht bij de aarde stond. Op verschillende plaatsen in en buiten Europa werd aan dit voorstel gevolg gegeven, en de slotsom dier waarnemingen gaf hetzelfde resultaat als HANSEN en LEVERRIER hadden gevonden.

Deze uitkomst werd bevestigd van eene zijde, van welke men zulks niet verwacht had. Het was namelijk aan FOUCAULT<sup>1</sup> gelukt om door natuurkundige proefnemingen de snelheid van het licht te meten, en daar bekend was hoeveel tijd het licht noodig heeft om van de zon tot de aarde te komen, volgt hieruit van zelf de afstand van beide

<sup>1</sup> Men zie hierover de verhandeling van den heer GRONEMAN in dit Album, Jaargang 1874, bl. 139 en volg.

lichamen; ook deze uitkomst sluit op merkwaardige wijze met die van WINNECKE.

Het groote verschil tusschen al de waarden in later tijd verkregen met die, welke ENCKE uit de waarnemingen van de overgangen van 1761 en 1769 had afgeleid, gaf een tweetal sterrenkundigen, POWALKY en STONE, aanleiding om deze op nieuw aan een streng kritisch onderzoek te onderwerpen; sommige waarnemingen werden verworpen, andere daarentegen, die men vroeger minder vertrouwd had, in de berekening opgenomen, en ten slotte voor de uitkomst van ENCKE's berekeningen eene verbetering gevonden, waardoor ook deze goed in overeenstemming kwam met die der overige sterrenkundigen.

Nevensgaand lijstje geeft de waarden door verschillende geleerden voor den zonsafstand gevonden.

HANSEN	vond	23100	aardstralen.
LEVERRIER	„	23000	„
WINNECKE	„	23000	„
FOUCAULT	„	23100	„
POWALKY	„	23300	„
STONE	„	23100	„

Zoo men de zekerheid dezer verschillende waarden in aanmerking neemt, volgt hieruit voor den afstand van de aarde tot de zon 23200 aardstralen<sup>1</sup>.

Is nu deze uitkomst juist? Zonder aarzelen kunnen wij hierop een ontkennend antwoord geven. Elk resultaat van waarnemingen is onjuist, daar èn instrumenten èn waarnemers onvolmaakt zijn. Wij trachten slechts meer en meer tot de waarheid te naderen, en de vraag, die wij ons dus moeten stellen, is: hoe groot kan nog de fout zijn welke deze uitkomst aankleeft. Moeilijk is zulks met zekerheid te zeggen, en de ervaring van vroeger mag ons wel ter waarschuwing strekken, om de nauwkeurigheid der einduitkomst niet te overschatten. ENCKE toch, die den zonsafstand op 24000 aardstralen stelde, meende dat dit getal geen 100 aardstralen fout kon zijn, en evenwel neemt men thans eene waarde aan die er acht maal meer van verschilt.

<sup>1</sup> Voor eene meer uitvoerige behandeling der verschillende handelwijzen ter bepaling van den afstand van de aarde tot de zon verwijzen wij den lezer naar de boeiende verhandeling van KAISER: "De jongste onderzoekingen omtrent de afmetingen van het zonnestelsel", in het Album der Natuur voor 1866.

Een vrij goeden grondslag ter beoordeeling van de juistheid vindt men in de verschillen tusschen de uitkomsten langs gansch verschillende wegen verkregen; hieruit mag worden afgeleid dat het getal van 23200 aardstralen niet veel meer dan 100 aardstralen of ongeveer  $\frac{1}{2}$  percent fout kan zijn.

Deze mogelijke afwijking van de waarheid is, bij hetgeen men in de sterrenkunde gewoon is, nog verbazend groot en van te meer belang omdat die onzekerheid in al de afmetingen van ons planetenstelsel overgaat; steeds moet dus worden voortgearbeid om die hoofdmaat met meer nauwkeurigheid te bepalen. De overgang van Venus levert daartoe het beste materiaal op, en, bij de zeldzaamheid van het verschijnsel, moeten dus de beste krachten, waarover de sterrenkunde te beschikken heeft, daaraan worden dienstbaar gemaakt.

Reeds sedert vele jaren zijn dan ook met het oog op de aanstaande overgangen in 1874 en 1882 belangrijke onderzoekingen volbracht en uitgebreide voorbereidende maatregelen genomen, ten einde zoowel de nauwkeurigheid als het aantal der waarnemingen zooveel mogelijk te vergrooten.

In de eerste plaats heeft men zich bezig gehouden met den zwarten band, die de waarneming van de inwendige aanraking zoo zeer bemoeilijkt. Men heeft modellen vervaardigd, welke, op grooten afstand door een kijker beschouwd, de verschijnsels gedurende de eerste oogenblikken van den overgang zoo getrouw mogelijk nabootsten, terwijl ook theoretische onderzoekingen werden in het werk gesteld om de vorming van dien band te verklaren. Uit een en ander meen ik met zekerheid te hebben aangetoond dat de hoofdoorzaak van het verschijnsel ligt in de diffractie van het licht langs de randen van het voorwerp glas des kijkers, en, hoewel deze oorzaak niet kan worden opgeheven, kan men toch, door gebruik te maken van groote kijkers en door behoorlijk acht te geven op het voorkomen dat de zwarte band op het oogenblik der inwendige raking moet vertoonen, zijn nadeeligen invloed grootendeels ontgaan.

Men zal zich bij den overgang echter niet alleen tot de waarneming der inwendige aanrakingen beperken, die door een enkel wolkje bij het begin of het einde van het verschijnsel kunnen worden verijdeld, maar tevens gedurende den geheelen tijd dat Venus zich voor de zonneschijf vertoont bepalingen verrichten van de afstanden hunner middelpunten, en wel eensdeels door onmiddellijke metingen, anderdeels door photographische afbeeldingen.

Voor de onmiddellijke metingen zal men zich bedienen van den heliometer, welk werktuig boven de gewone mikrometers de voordeelen vereenigt van zonder bezwaar gebruikt te kunnen worden voor de betrekkelijk vrij groote afstanden waarop de randen van Venus en van de zon van elkander verwijderd zijn, en van geen aanleiding te geven tot de fouten, die men bij het meten van schijven altijd begaat, als men zich daartoe bedient van een beweegbaren spinragdraad, welke met de randen dier schijven moet worden in aanraking gebracht.

Bij de toepassing der photographische methode zullen op bepaalde tijdstippen gedurende den overgang afbeeldingen worden vervaardigd van de zonneschijf met de zich daarvoor bevindende planeet. De toestellen, photoheliographen, die hiervoor gebruikt worden, stemmen in hoofdzak overeen met die, waarvan men zich bij het gewone photografeeren van portretten en landschappen bedient; alleen zijn zij veel nauwkeuriger bewerkt, zoodat de daarmede vervaardigde photographieën vrij zijn van de misvormingen die men in meerdere of mindere mate altijd bij laatstgenoemden aantreft. Later, na weken of maanden, kunnen op deze afbeeldingen de afstanden tusschen de randen van Zon en Venus met de uiterste zorg worden uitgemeten, en zoo de onderlinge stand der middelpunten van beide hemellichamen op het oogenblik dat de photographie vervaardigd is worden bepaald.

Men zou zeer onjuist oordeelen, zoo men uit de eenvoudigheid der beginsels, die aan beide handelwijzen ten grondslag liggen, wilde afleiden dat de uitvoering dier beginsels even eenvoudig is. Niets is minder waar. De best vervaardigde sterrenkundige instrumenten toch zijn alle onvolkomen. Lijnen, die recht moeten zijn, zijn gebogen; van de verdeelingen, die er op voorkomen, zijn de afstanden der deelstreepjes te groot of te klein enz., en daarenboven behouden die lijnen niet altijd haar zelfde onderlinge afstanden die zij eenmaal hadden. Zoodra de temperatuur stijgt of daalt, of het werktuig in een anderen stand komt, wordt alles wederom in meerdere of mindere mate gewijzigd. Het is natuurlijk onmogelijk om langs mechanischen weg al die onvolkomenheden op te heffen; door nauwgezet onderzoek kan men echter de grootte dier afwijkingen bepalen en hieruit door berekening afleiden hoe groot hun invloed is op de metingen, die met zulke onvolkomen werktuigen volbracht zijn. Het zijn deze onderzoekingen welke den meesten tijd en inspanning van de sterrenkundigen vorderen, doch waardoor dan ook zijn uitkomsten hun eigenlijke waarde verkrijgen.

Ten einde een denkbeeld te geven van de hooge eischen, die men aan deze onderzoekingen moet stellen, kan strekken dat de onzekerheid van de thans als waarschijnlijkst aangenomen waarde voor den zonsafstand overeenstemt met eene fout van  $\frac{1}{15,10}$  millimeter in de meting met den heliometer, en  $\frac{1}{15,0}$  millimeter in de uitmeting der photographiën. Blijven de fouten die men in de werkelijkheid begaat niet beneden dit bedrag, dan zijn de millioenen, die men voor de verschillende expeditiën heeft uitgegeven, voor onze kennis van de afmetingen van het zonnestelsel nutteloos weggeworpen.

Waar zulke hooge wetenschappelijke eischen gesteld worden, mag de uitvoering niet aan enkele personen worden overgelaten.

Reeds voor vele jaren hebben zich in Engeland, Duitschland, Rusland, Frankrijk, Amerika en Nederland commissiën gevormd om de waarnemingen voor te bereiden, te beslissen van welke werktuigen en van welke handelwijzen men zich zou bedienen, en de meest geschikte waarnemingsplaatsen op te sporen; de schatten van tijd, hiervoor door mannen als AIRY, AUWERS, NEWCOMB en anderen, ten koste gelegd, zijn niet gering te schatten.

Ten gevolge van de bemoeiingen dezer commissiën, waarvan verschillende afgevaardigden, ter nadere regeling der werkzaamheden, in het vorig jaar te Hanover bijeenkwamen, zijn door de genoemde landen een groot aantal sterrenkundigen en photographen uitgezonden om op den aanstaanden 9 December het verschijnsel waar te nemen.

Voor de bepaling van de oogenblikken der inwendige aanrakingen, waaruit naar mijne meening de nauwkeurigste uitkomsten zullen worden afgeleid, en die het gemakkelijkst kunnen worden volbracht, zijn alle expeditiën voorzien van een of meer kijkers, sommige van vrij groot vermogen, van uurwerken en van instrumenten ter bepaling van den tijd. Met het vervaardigen der photographische afbeeldingen zullen zich eenige der Russische, 4 Duitsche, 5 Engelsche, de meerderheid der Amerikaansche, enkele der Fransche en de Hollandsche expeditie bezig houden, terwijl de heliometer-metingen alleen zullen volbracht worden op 4 der Duitsche, 8 der Russische, een der Engelsche stations, en ook op het station dat door onze Hollandsche astronomen bezet is.

Hieruit blijkt, dat de Hollandsche expeditie volledig voorzien is van de instrumenten, die voor al de verschillende soorten van waarnemingen noodig zijn; de heliometer stemt overeen met die der Duitschers,

de photographische toestel met die der Russen en Engelschen. Wij danken deze volledigheid in de eerste plaats aan de vrijgevigheid onzer regeering, welke op aanzoek van de Akademie van Wetenschappen ruime middelen heeft beschikbaar gesteld, en verder aan een viertal onzer genootschappen: Teylers genootschap, de Hollandsche maatschappij van wetenschappen te Haarlem, het Bataafsche genootschap en het Utrechtsch genootschap van kunsten en wetenschappen. Daarenboven zijn wij zoo gelukkig geweest om van enkele particulieren en van eenige wetenschappelijke inrichtingen, boekwerken en instrumenten ter leen te ontvangen, onder welke in de voornaamste plaats moet genoemd worden een uitmuntende kijker van FRAUNHOFER, ons door den heer Mr. DE BEAUFORT welwillend afgestaan.

Het personeel bestaat uit 4 wetenschappelijke personen, Prof. J. A. C. OUDEMANS, Dr. P. J. KAISER, de heer SOETERS, ingenieur van den geographischen dienst in Indië, en mijn broeder E. F. VAN DE SANDE BAKHUYZEN, observator aan de Leidsche sterrenwacht, verder uit 2 assistenten, de heeren BLANKEN en ROST VAN TONNINGEN. Wij hebben in een en ander den zekeren waarborg dat, zoo geen onvoorziene omstandigheden de waarnemingen verhinderen, deze zullen gerekend worden onder de beste, die op 9 December 1874 volbracht zijn.

Van niet minder gewicht dan goede instrumenten en waarnemers is een gunstig gelegen waarnemingsplaats. Niet op de geheele aarde zal de overgang zichtbaar zijn, daar voor vele plaatsen de zon tijdens de 4 uur, dat de overgang duurt, niet boven den horizon staat. Alleen in een groot deel van Azië (de Zuid-oostelijke helft), in Australië, in de Indische zee en in de Zuidelijke Poolstreken zal het geheele verschijnsel kunnen gezien worden; en daar het voor de verkrijging van eene juiste uitkomst noodig is, dat de waarnemingsplaatsen ver van elkander verwijderd liggen, heeft men deze gekozen zooveel mogelijk in het Noorden, in Japan, China en Siberië; zooveel mogelijk in het Zuiden op enkele eilanden in den Indischen Oceaan, Kerguelen, Crozet-eiland en andere; zooveel mogelijk in het Oosten op verschil-

<sup>1</sup> Ter verbetering van eene onnauwkeurigheid in een vrij algemeen verbreid courantenbericht, streekte dat er op de sterrenwacht te Leiden nooit aan gedacht is aldaar de sterbedekkingen waar te nemen die te Réunion kunnen gezien worden. De sterren toch die voor een waarnemer op Réunion door de maan worden bedekt, blijven te Leiden altijd op eenigen afstand buiten den maansrand.

lende eilanden van Australië, en in het Westen in Alexandrië, op Réunion, Mauritius en Rodriguez.

De Hollandsche expeditie, op Réunion gevestigd, is aldaar volgens berichten, die ik voor eenigen tijd ontving, den 30<sup>sten</sup> Augustus met hare goederen aangekomen en heeft zich, na de noodige inlichtingen te hebben ingewonnen en een reis door een groot deel van het eiland te hebben gemaakt, gevestigd in de onmiddellijke nabijheid van St. Denis, waar de vooruitzichten op goed weder zeer gunstig zijn.

De instrumenten waren, op eene kleinigheid na, die gemakkelijk kon hersteld worden, allen goed overgekomen, doch bij het uitpakken is het objectief van den grootsten der kijkers gebroken. De waarneming van de oogenblikken der inwendige aanrakingen, waarvoor deze kijker voornamelijk bestemd was, behoeven echter niet te worden opgegeven, daar de expeditie voor ditzelfde doel kan beschikken over den reeds genoemden kijker van FRAUNHOFER en over den heliometer.

De tijd vóór 9 December zal besteed worden aan de oprichting en het gedeeltelijk onderzoek der instrumenten, aan de noodige oefeningen der waarnemers, en verder aan de bepaling van de lengte der waarnemingsplaats, waartoe voornamelijk van sterbedekkingen zal worden gebruik gemaakt.

De stations, waar zich de overige expeditiën zullen vestigen of gevestigd hebben, zijn volgens de meest betrouwbare opgaven aldus gekozen. Rusland bezet 26 punten in Japan, China, Aziatisch Rusland, Perzië en Europeesch Rusland. Het Engelsch gouvernement heeft op tien verschillende plaatsen expedities gezonden, en wel drie naar Egypte, een naar Rodriguez, twee naar Kerguelen, een naar Nieuw-Zeeland en drie naar de Sandwichs eilanden. Behalve deze heeft Lord LINDSAY, een zeer vermogend beoefenaar der sterrenkunde uit Schotland, eene expeditie georganiseerd, welke zich op Mauritius heeft gevestigd.

De Amerikanen hebben 8 expedities uitgerust met uitmuntende kijkers en photographische toestellen; een naar Siberië, een naar Japan, een naar China, een naar Kerguelen, een naar Crozet-eiland, een naar Tasmanie, een naar Nieuw-Zeeland en een naar de Chatham-eilanden. De Franschen zullen hunne waarnemingen verrichten in Yokohama, Peking, Tientsin, Saigon, Noemea, Noekahiva, het eiland Nieuw Amsterdam en het Campbell-eiland.

De Duitschers hebben expedities gezonden naar Tsjifoe, naar Perzië, naar de Macdonald-eilanden, naar Auckland en naar Mauritius.



Behalve op deze plaatsen zullen op verschillende andere punten, waar sterrewachten zijn gevestigd, zooals in Madras, Sydney, Melbourne en aan de Kaap de goede Hoop, waarnemingen volbracht worden, terwijl ook het Britsch Indisch gouvernement een paar photographische expedities heeft uitgezonden; zonder twijfel zullen ook in onze bezittingen op verschillende punten contact-waarnemingen volbracht worden.

Uit een en ander volgt, dat zeker op 70 tot 80 verschillende punten de overgang op streng wetenschappelijke wijze zal worden waargenomen.

Schatten zijn hiervoor besteed, wellicht drie millioen guldens, en een honderdtal sterrenkundigen zijn gedurende geruimen tijd uit hunne werkzaamheden gerukt. Menigeen zal vragen: is hetgeen men door die zendingen tracht te bereiken al die opofferingen waard? Zonder aarzelen kan men hierop een bevestigend antwoord geven. Waar zoo zelden de gelegenheid bestaat om een stap nader te komen tot de oplossing van een belangrijk wetenschappelijk vraagstuk, mag zij niet verwaarloosd worden. Daarenboven zijn door de voorbereiding der expedities belangrijke wetenschappelijke beschouwingen uitgelokt, die ook op den voortgang van andere deelen der sterrenkunde grooten invloed zullen hebben.

Doch niet alleen de sterrenkunde, ook de andere natuurwetenschappen zullen rijke vruchten plukken van de vele moeite en kosten aan deze onderneming besteed. Verschillende expeditiën, vooral naar weinig bezochte streken, zijn vergezeld van botanici, zoölogen en geologen, die ruimschoots gelegenheid zullen vinden voor belangrijke onderzoekingen, terwijl eindelijk de nauwkeurige bepalingen van de lengte en breedte van een groot aantal plaatsen voor de aardrijkskunde eene gewichtige bijdrage zijn zal.

Vatton wij dit alles te samen, dan kunnen wij den wensch niet onderdrukken dat zich nog menigmaal de gelegenheid moge voordoen, waarbij Nederland even als nu kan toonen dat het op ruime schaal de pogingen wil ondersteunen, die strekken kunnen om onzen wetenschappelijken rijkdom belangrijk te vermeerderen.