

OVER DE BEWEGING EN DEN PHYSISCHEN TOESTAND DER VASTE STERREN

DOOR

Dr. E. VAN DER VEN.

“Op geen gebied van menschelijk weten ging onze eeuw met meer zekeren tred en sneller vaart voorwaarts dan op dat der natuurwetenschappen.”

Zoovelen mijner lezers deze of eene dergelijke opmerking maakten werden zij zeker meestentijds tot haar gedrongen door het aanschouwen van de groote dingen, als in eene spanne tijds rondom hen te weeg gebracht. Bergen zijn doorboord, zeeën vereenigd, afstanden te niet gedaan; zelfs in de naaste omgeving rust het oog, waar het straks nog over kale heide of kille plassen dwaalde, met welgevallen op de vruchtbare landouwen, die eene voor het vuur des hemels beschermde hoeve omgeven.

En zij ook al hier, evenals zoo dikwijls in andere opzichten, wat men niet ziet in wetenschappelijk opzicht van meer gewicht dan hetgeen men ziet, zoodat van den zekeren tred der wetenschap het stille studeervertrek of het eenvoudig laboratorium meer weet te getuigen dan de woelige en schitterende buitenwereld; toch zijn de resultaten, door schei- en natuurkunde verkregen, er ieder, en met recht, borg voor, dat deze wetenschappen, zij het dan ook slechts schijnbaar met

reuzenschreden, als het ware hand aan hand op den goeden weg voortgaan.

Maar ook slechts deze twee; zoodat men niet zonder eenig recht zou kunnen vragen of wel de beschouwing van al het groote en nieuwe, dat dagelijks wordt tot stand gebracht, voldoende grond oplevert voor eene ontboezeming, zoo ruim van zin als de boven nagesprokene. Menig vurig bewonderaar van de vindingen onzer eeuw zou allicht, bij eenig nadenken, van de noodzakelijkheid eener meer beperkte uitspraak zijn te overtuigen.

Slaan wij, bij voorbeeld, het oog op de sterrekunde.

Overal op aarde, waar beschaafde volken wonen, bespieden met onverdrotten ijver en volharding bekwame mannen jaar in jaar uit het sterrenheir. Waar de hulpmiddelen blijken onvoldoende te zijn voor het doel, dat zij beoogen, daar staan straks vaardige werktuigkundigen hun ter zijde om naar hunne aanwijzing in die leemten te voorzien. Waar hunne eigene krachten te kort schieten om de geheimen te ontsluiten, die in de resultaten hunner waarneming liggen opgesloten, daar leent de wiskundige zijne onschatbare diensten; niet zelden ook wijst hij hun, op grond zijner beschouwingen, den weg aan, die rechtstreeks tot nieuwe ontdekkingen leiden moet. De mildheid van gouvernementen of de eerezucht van partikulieren doet overal sterrewachten verrijzen, voorziet ze van kostbare instrumenten, bezoldigt het noodige personeel.

En toch, bij al die opofferingen, bij al dat talentvolle samenwerken, wat is er van de vorderingen, die de sterrekunde maakt? Nauwelijks beleefden wij het eerste eeuwfeest van de geboorte der eigentlijke scheikunde, en geen oogenblik gaat er voorbij, dat niet herinnert aan haar krachtig leven; wat daarentegen dwingt aandacht te schenken aan hare eens zoo trotsche zuster, nu er reeds bijna drie eeuwen verstreken zijn sedert het oogenblik, waarop de eerste kijker naar den hemel gericht werd? Waarlijk, wie den lof der natuurwetenschappen bezingende daartoe alleen aanleiding neemt uit de wijze waarop zij in het dagelijksch leven optreden, zijn lied geldt de sterrekunde niet. Zij laat zich weinig zien onder de menschen; wie haar wil leeren kennen moet zich de moeite getroosten zich te huis aan haar te laten voorstellen. Maar daar zal het dan ook blijken dat, waar die andere vooruitgingen, zij niet heeft stilgestaan; dat zij, vooral in den loop dezer eeuw en meer bepaaldelijk in het nu bijna afgelopen derde vierendeel, zich even krachtig als onverwacht heeft ontwikkeld in eene

richting, die zelfs een der besten harer vereeiders, eenige jaren geleden voor haar gesloten waande ¹.

I.

De oudheid en de middeleeuwen hadden voor de kennis van den hemel, hoewel betrekkelijk veel, toch inderdaad slechts weinig verricht. De ligging van de banen van zon en maan met betrekking tot den evenaar, de verplaatsing van het nachtevenings-punt langs deze en de omloopstijden der voornaamste planeten waren vrij nauwkeurig bepaald. Omtrent de inrichting van het zonnestelsel daarentegen was eene hypothese gemaakt zoo omslachtig, dat zij die haar het best doorzagen aan hare waarde het meest twijfelden. Reeds was die twijfel in de laatste helft der zestiende eeuw luide uitgesproken, reeds had COPERNICUS (1473—1543) in zijn boek "*de revolutionibus orbium coelestium*" aangetoond hoe hoogst waarschijnlijk het was dat de aarde zich om hare as zou wentelen en daarenboven met de planeten zich om de zon zou bewegen, toen eene op den eersten aanblik hoogst eenvoudige vinding voor de sterrekunde een schoone toekomst opende.

Sedert toch, in 1609, GALILEI den hier te lande uitgevonden kijker voor het eerst naar den hemel richtte, had zij zich van de hulp eener machtige bondgenoot, de natuurkunde, verzekerd. Dat bondgenootschap leverde reeds dadelijk deze vrucht dat het, door de ontdekking van Jupiter's manen en van de phasen van Venus, twee der tegen het stelsel van COPERNICUS ingebrachte bezwaren uit den weg ruimde. Het verschafte daarenboven in de waarnemingen van TYCHO BRAHÉ (1546—1601) den grondslag waarop KEPLER (1571—1630) zijne wetten, den loop der planeten betreffende, zou vestigen.

Het is bekend hoeveel moeite het gekost heeft de aarde algemeen als planeet te doen erkennen; een direkt bewijs voor haar bestaan als zoodanig te leveren was dan ook het ernstig streven van de sterrekundigen in de zeventiende en achttiende eeuw. Omtrent de richting waarin men het had te zoeken waren voor- en tegenstanders het eens;

¹ Het is zeker niet meer dan vijftien jaar geleden, dat onze onsterfelijke KAISER in partikuliere gesprekken zijn leedwezen te kennen gaf over 'de, zijns inziens, voor 's hands tot onvruchtbaarheid veroordeelde nasporingen, betreffende de physische gesteldheid der hemellichamen.

en naarmate de eersten het met meer aandrang vorderden verdubbelde de ijver der laatstgenoemden. Het lag, om zoo te zeggen, zoo voor de hand. Immers, wanneer de aarde jaarlijks een zoo uitgestrekte baan om de zon had te beschrijven, dan kon het wel niet anders of de vaste sterren moesten deze verandering in de standplaats des waarnemers verraden. Uit zoo van elkander verwijderde punten van het heelal beschouwd wordende moesten zij, schoon steeds dezelfde plaats in de ruimte innemende, zich schijnen te bewegen en in hare schijnbare beweging een getrouwe afbeelding van die der aarde vertoonen. Zij moesten dit... tenzij haar afstand van de aarde onmetelijk groot ware, zelfs in verhouding tot de afmetingen van de aardbaan.

BRADLEY (1692—1742) zocht te vergeefs deze zoogenoemde *jaarlijkse parallaxis* der vaste sterren uit zijne waarnemingen af te leiden. En mocht hij al gelukkig genoeg zijn om door haar tot een bewijs voor de beweging der aarde te geraken, even overtuigend als het vergeefs gezochte, het raadsel waarom de vaste sterren niet onmiddellijk door een schijnbare verandering in stand de wezentlijke verplaatsing der aarde nabootsen, bleef onopgelost. De ontdekking van de *jaarlijkse aberratie* van het licht der vaste sterren wierp echter allen twijfel aan de beweging der aarde om de zon omver; ook werd de zienswijze omtrent de afmetingen van het heelal door BRADLEY's waarnemingen verruimd. Maar tevens spoorden zij aan tot nieuwe onderzoekingen omtrent de wezentlijke grootte dier afmetingen.

De weg, dien men daarbij had te bewandelen, was aangewezen. Nu het zeker was dat de aarde jaarlijks een uitgestrekte baan in het heelal beschreef, behoefde men slechts met verdubbelden ijver en nauwkeurigheid naar de grootte van de jaarlijksche schijnbare verplaatsing eener vaste ster te zoeken; mocht men er in slagen haar bedrag te bepalen, dan zou ook tegelijk de afstand dier ster bekend worden. Immers uit waarnemingen op aarde, die ieder in staat is bijna dagelijks te doen, is het bekend dat de schijnbare verplaatsing van eenig verwijderd voorwerp, behalve van het bedrag onzer eigene verplaatsing, rechtstreeks afhangt van den afstand van dat voorwerp zelf; dat het toch schijnbaar minder verplaatst wordt naarmate het verder is verwijderd, en omgekeerd. Uit de grootte van de middellijn der aardbaan en uit het verschil der richtingen, waarin men uit hare beide uiteinden een ster waarneemt, was dus haar afstand onmiddellijk af te leiden.

Toch moesten de pogingen, om op deze wijze den afstand der vaste sterren te leeren kennen, nog langen tijd vruchteloos blijven.

Twee wegen stonden ter bepaling van de jaarlijksche parallaxis open.

Men kon vooreerst, zooals BRADLEY gedaan had, door gedurende eenigen tijd (1725—1728) getrouw de plaats eener vaste ster aan den hemel te bepalen, trachten onmiddellijk kennis te krijgen van hare plaatsverandering. Maar in dit geval moest, wilde men slagen, alles wat overigens nog kon maken dat de waargenomen plaats niet de ware plaats was, bekend zijn en in rekening gebracht worden. Hoe kleiner de gezochte verplaatsing was, des te eerder kon zij onder fouten van dezen aard worden bedolven. Bedenkt men nu dat de aberratie van het licht der vaste sterren en de nutatie of schudding der aardas eerst door BRADLEY zelf werden ontdekt en dat de invloed van de straalbreking, die het licht bij het gaan door den dampkring ondervindt, eerst op grond van LAPLACE'S (1749—1827) bespiegelingen met juistheid kon worden berekend, dan is het niet te verwonderen dat het den sterrekundigen in de achttiende eeuw niet heeft mogen gelukken langs dezen weg tot de oplossing van het vraagstuk te geraken.

Maar men kon ook in de tweede plaats, daarbij een raad opvolgende reeds door GALILEI gegeven, ter bepaling van de jaarlijksche parallaxis, gebruik maken van de zoogenaamde *optische dubbelsterren*; dat wil zeggen van sterren, die uit de aarde gezien wel naast elkander schijnen te staan, maar van welke het waarschijnlijk is, dat de eene op veel grooteren afstand van haar verwijderd is dan de andere. Is dit zoo, dan zal deze eene veel grootere schijnbare plaatsverandering ondergaan dan gene; dan kan zelfs, als gene onmetelijk veel verder staat en daarom geene schijnbare plaatsverandering aantoont, zij als vast punt dienen ten opzichte waarvan men de plaats der schijnbaar bewegelijke nabuur bepaalt. En bij deze bepaling heeft men den invloed van fouten als de bovengenoemden niet te duchten; aberratie en straalbreking hebben op de richting, waarin hare stralen het oog bereiken, denzelfden invloed; zij verplaatsen haar gezamentlijk en wijzigen haren stand ten opzichte van elkander niet. Bedenkt men echter, dat deze soort van waarnemingen het aanbrengen in den kijker vordert van een werktuig, dat geschikt is om zulke kleine plaatsveranderingen en afstanden te meten en dat eerst in 1824 in den mikrometer van FRAUNHOFER den sterrekundigen zulk een werktuig werd aangeboden, dan heeft men de verklaring waarom GALILEI'S raad tot op het tweede vierendeel onzer eeuw niet

kon worden opgevolgd, veel minder nog tot een gunstig resultaat kon leiden.

Het is dan ook minder dan een menschen-leeftijd geleden, dat men omtrent den afstand der vaste sterren in volkomen onzekerheid verkeerde; men wist daarvan niets anders te zeggen dan dat het licht minstens $3\frac{1}{3}$ jaar zou behoeven om van eenige ster tot ons te komen; of en in hoeverre de afstand der verschillende vaste sterren verschillend was, daaromtrent was niets met zekerheid bekend.

Langs den tweeden der boven aangewezen wegen nu gelukte het aan BESSEL de parallaxis van een kleine ster in *de Zwaan* te bepalen. Als resultaat van de metingen, door hem met eenen in vele opzichten verbeterden mikrometer gedaan, stelde hij in 1840 haar bedrag op 0.37 sekonden boogs. Een hoek van nog geen halve sekonde maken dus met elkander de lijnen, uit twee diametraal tegenover elkander gelegen punten van de aardbaan naar deze ster getrokken, en onder dezen zelfden kleinen hoek wordt uit die ster de meer dan 300 millioen kilometers lange groote as dier baan gezien. Om haar onder dien hoek te zien moet een waarnemer op een afstand geplaatst zijn, die door het licht in tien jaren wordt afgelegd; en het licht doorloopt den afstand van de zon tot de aarde in minder dan acht en een halve minuut!

Nog van zeven andere vaste sterren kennen wij thans met meerdere of mindere zekerheid den afstand. Daaronder bedraagt die van de poolster meer dan het dubbele van den afstand der genoemde ster in *de Zwaan*, en is die van de helderste ster in *Centaurus*, de kleinste der thans bekende afstanden, toch nog altijd zoo groot dat het licht niet minder dan ongeveer vier jaren tijds behoeft om dien te doorloopen.

Volgens de eerste der bovengenoemde methoden is o. STRUVE, de tegenwoordige directeur van het Keizerlijk Russisch Observatorium op de Pultawa, tot resultaten gekomen, die van de reeds medegedeelde eenigszins afwijken. Zoo staat de afstand door hem in 1854 voor de ster van BESSEL gevonden tot de genoemde als 37:52, en vond hij voor den afstand van de helderste ster in *de Lier* ongeveer de helft van het bedrag, daarvoor door zijnen vader en voorganger W. STRUVE (1793—1864) uit waarnemingen met den mikrometer in 1839 afgeleid.

Hoe dit zij, omtrent den afstand der vaste sterren kunnen wij, ten gevolge van de onderzoekingen van mannen, die wij grootendeels onze tijdgenooten mogen noemen, ons ten minste een denkbeeld vormen. Wij durven niet zeggen: een bepaald denkbeeld. Wie toch duizelt niet

bij de gedachte aan afstanden zóó groot, dat een bliksemstraal dien eerst in jaren doorloopen zoude. Zoo groot dat, om eene vergelijking van KAISER te gebruiken, de middellijn der aardbaan, op dien afstand gezien, aan den hemel een boogje beslaat 76 malen korter dan de dikte van een hoofdhaar, gehouden op den afstand van duidelijk zien.

Wat strekte hun, die deze kleine boogjes trachtten uit te meten, tot leiddraad bij het kiezen van eenige uit de duizenden vaste sterren, waarmede de hemel als bezaaid is? Waar toch het er op aan kwam eene plaatsverandering te bepalen van wier gering bedrag men van te voren overtuigd was, daar was het van belang bij het onderzoek zich van sterren te bedienen, die haar zoo duidelijk mogelijk vertoonden. En, daar die verplaatsing eener ster des te grooter moest schijnen, naarmate zij minder ver van de aarde was verwijderd, moest de kouze vallen op de meest nabij ons gelegene. Bedenkt men nu echter, dat de afstand eerst uit de grootte der plaatsverandering zelve kon worden afgeleid, dan is het duidelijk dat men bij het kiezen als in het duister zou hebben rondgetast, als niet eene ontdekking uit het midden der vorige eeuw omtrent het verschil in afstand eenige inlichting had verstrekt.

Reeds toen toch hadden eenige sterrekundigen opgemerkt dat de plaatsen, die sommige sterren innamen, niet overeenkwamen met die waar hunne voorgangers deze zagen; van omtrent ongeveer een honderdtal bewezen zij dat dit inderdaad het geval was. Deze beweging der vaste sterren nu had met de zoogenaamde jaarlijksche parallaxis niets gemeen. In plaats van door hare gedaante de beweging der aarde na te bootsen geschiedde zij steeds in dezelfde richting. Wat in een tal van achtereenvolgende jaren een ster jaarlijks was vooruitgegaan, daarvan nam men aan het einde van dien tijd de som waar; al was dus het jaarlijksch bedrag van deze eigene beweging niet grooter geweest dan dat der jaarlijksche parallaxis, zoo kon zij toch in den loop der tijden den sterrekundigen niet verborgen blijven.

Deze eigen beweging der sterren nu ziet men in zeer bijzondere gevallen in haar waar bedrag. Beweegt zich bijv. een ster rechtstreeks naar of van de plaats, waar ons zonnestelsel in het heelal gelegen is, dan zal men van die eigen beweging niets kunnen merken. Alleen wanneer hare richting loodrecht is op de lijn, van haar naar het middelpunt der aarde getrokken, doet zich die beweging in hare ware grootte aan ons voor; in elk ander geval zien wij slechts hare projectie

op een vlak, waarop de genoemde lijn loodrecht staat. Toch is het duidelijk dat hoe grooter de verplaatsing is die wij bij eene ster waarnemen, ook des te grooter de kans zal zijn dat zij betrekkelijk weinig van ons verwijderd is; op kleinen afstand gelegen zal toch de afgelegde baan, of hare projectie, zich grooter voordoen dan wanneer zij uit een meer verwijderd oogpunt wordt beschouwd.

Deze overweging nu strekte tot leiddraad bij de keuze van de vaste sterren, door wier waarneming men de parallaxis wilde leeren kennen. Zij vestigde die van BESSEL op N°. 61 van *de Zwaan*, omdat deze jaarlijks een boogje van iets meer dan 5 sekonden aan den hemel vordert. Daar hare eigen beweging door ons zoo betrekkelijk groot wordt gezien moet zij naderbij ons staan dan andere sterren, en indien dit het geval is zal zij ook ten gevolge van de beweging der aarde jaarlijks een grooter kringetje schijnen te doorloopen dan die andere. Zoo ongeveer redeneerde BESSEL, en wij hebben gezien dat zijne keuze hem tot het beoogde doel voerde; dat het dien sterrekundige gelukte uit zijne waarnemingen de jaarlijksche parallaxis en uit deze weder den afstand der genoemde ster af te leiden.

Nu wij laatstgenoemde kennen, weten wij ook dat dit boogje van 5 sekonden de grootte is, waaronder zich aan ons de weg van ongeveer 2500 millioen kilometers vertoont, dien de genoemde ster jaarlijks in de richting loodrecht op de gezichtslijn vordert in de ruimte.

Zoo leidden ook hier onderzoekingen, met een bepaald doel ingesteld, tot andere, die, slechts zijdelings met dat doel in verband staande, den weg openden tot een rijken schat van kennis. Niet slechts dat wij thans omtrent de eigen beweging van ongeveer 6000 sterren met zekerheid zijn ingelicht: ook omtrent de zon weten wij, door hare tuschenkomst, dat zij, daarbij de aarde en de overige planeten met zich voerende, met eene snelheid van 444 kilometers in het jaar in eene bepaalde richting vooruitschiet in de ruimte.

De overtuiging dat eene zoodanige eigene beweging der zon werkelijk bestaan moest, werd reeds in 1730 door BIEDENBURG en in 1761 door LAMBERT uitgesproken; zij berustte op de meening dat de zon zelve in natuur met de vaste sterren zou overeenkomen en aan de beweging van hare natuurgenoeten zou deelnemen. WILLIAM HERSCHELL (1738—1822) bracht reeds in 1783 door zijne waarnemingen dit vermoeden tot zekerheid; hij wees eene kleine ster in *Hercules* aan als het punt aan den hemel waarheen de beweging van het zonnestelsel

gericht is. Toch komt aan onze tijdgenooten, aan GAUSS (1777—1855), aan ARGELANDER, den nog in leven zijnde hoogleeraar in de sterrekunde te Bonn, en aan AIRY, den Royal Astronomer van Engeland, de eer toe, tot de juiste kennis van de richting en de snelheid der beweging meest te hebben bijgedragen.

Hoeveel scherpzinnigheid er vereischt werd bij het beoordeelen van hetgeen de waarneming der vaste sterren aangaande de gezochte eigen beweging van het zonnestelsel kon leeren, is lichtelijk in te zien. Waar alles rondom ons zich beweegt op zijne eigene wijze, daar zal, indien wij zelve niet stilstaan, de onmiddellijke waarneming slechts een moeielijk te ontwarren samenstel van beiderlei verplaatsing opleveren. Stonden de sterren rondom ons stil, dan werd de zaak eenvoudig. De rechts en links van ons geplaatste zouden schijnbaar zich achterwaarts bewegen; die achter ons lagen zouden naderbij, die voor ons lagen verder van elkander schijnen te rukken. Nu aan die vooronderstelling niet is voldaan, kan alleen de overtuiging, dat in het onderstelde geval de zaak zich zóó zou toedragen, het oordeel leiden bij het scheiden van het objectieve en subjectieve; deze doet inzien in welken zin de beweging der in verschillende richting rondom de aardbaan geplaatste sterren van de in waarheid plaats grijpende zal moeten afwijken, indien de zon die baan zelve in de ruimte met zich medevoert.

Wij behoeven niet te zeggen dat absolute zekerheid moeielijk te verkrijgen is, wanneer zij moet worden opgedolven uit waarnemingen die van onze eigene beweging een zoo duister en verward beeld leveren; zelfs is het bedrag van de beweging der vaste sterren, zooals die zich aan ons voordoet, nog altijd met een betrekkelijk groote waarschijnlijkke fout behebt. Terwijl dan ook anderen het punt trachtten aan te wijzen waarheen wij ons bewegen, vergenoegde GAUSS zich met de bepaling van het vierhoekje aan den hemel, binnen wiens omtrek dat punt zeker moet gelegen zijn. Zooveel is zeker dat er nog vele jaren, misschien eeuwen, zullen moeten voorbijgaan eer het met voldoende zekerheid zal zijn uit te maken of dit punt zich in eene bepaalde richting verplaatst; m. a. w. of de weg, dien het zwaartepunt van het zonnestelsel volgt, eene rechte dan wel eene kromme lijn is. Mocht dit laatste het geval zijn en mocht het daarbij blijken, dat de snelheid der beweging naar de tweede wet van KEPLER was geregeld, dan zouden deze feiten wijzen op het bestaan van een centraallichaam, waaromheen zonnestelsels zich zouden bewegen als de planeten om de zon. Eene kromlijnige gelijkmatige be-

weging daarentegen zou pleiten voor eene wenteling van het gansche heelal om zijn zwaartepunt. Op het tegenwoordig standpunt der wetenschap echter achten wij het minstens voorbarig zich in beschouwingen van dezen aard te verdiepen; zelfs al wilden wij daarbij niet zoover gaan als MÄDLER¹, toen hij, reeds in 1845, meende een punt in *de Pleiaden* te kunnen aanwijzen als de plaats waar het centraal-lichaam zou te vinden zijn.

Niet alleen een meer gezette studie van de eigen beweging der vaste sterren en van ons zonnestelsel was het gevolg van de onderzoekingen, omtrent de parallaxis der vaste sterren ingesteld. Aan deze knoopt zich ook die meer opzettelijke beoefening vast van de *dubbele en veelvoudige sterren*, waardoor wij haar als zoovele stelsels van om elkander wentelende zonnen hebben leeren kennen.

Dat men reeds sedert lange jaren eenige zeer nabij elkander geplaatste sterren kende, behoeft geen verzekering; reeds bij eene eenigzins aandachtige beschouwing des hemels ziet het bloote oog er eenige, en haar aantal vermeerderd reeds zeer zoodra het oog met een zwakken kijker is gewapend.

Men had echter tot in het laatst der vorige eeuw op haar niet bepaaldelijk de aandacht gevestigd, omdat men meende, dat haar onderlinge afstand slechts schijnbaar zoo klein was; men hield het er algemeen voor dat zij inderdaad op zeer verschillenden afstand van ons zich bevonden, terwijl alleen de toevallige omstandigheid, dat de plaats, door ons in de ruimte ingenomen, bijna op de rechte lijn lag, die hare plaatsen verbond, ons haar naast elkander deed zien. En mochten ook al sommigen, bijv. MAYER te *Manheim*, de meening uiten dat de kleinste van zulk een paar wel eens een trawant van de grootste zijn kon, op de wijze waarop de maan dit is van de aarde, hunne bewering werd of bespot of wederlegd op gronden, die zeker niet aan de natuurwetenschappen ontleend waren.

Onder degenen nu, die aan het einde der vorige eeuw de parallaxis der vaste sterren trachtten te bepalen, behoorde in de eerste plaats de sterrekundige, dien wij zoo even reeds als den grondlegger onzer kennis van de eigen beweging dier hemellichamen hebben vermeld. Ook HERSHELL volgde daarbij de methode door GALILEI aan de hand gedaan, maar de meetwerktuigen, waarover hij te beschikken

¹ In den tijd, tusschen het stellen en afdrucken dezer regels verlopen, ontviel deze groote sterrekundige aan de wetenschap.

had, waren niet nauwkeurig genoeg om te maken dat zijn schoone onderzoekingen de gewenschte vrucht droegen. Verder dan tot de bepaling van eene waarde, beneden welke de parallaxis moest gelegen zijn, bracht zij hem niet.

Daar evenwel het volgen van de gevonden methode juist de waarneming vordert van zulke slechts schijnbaar naast elkander geplaatste of *optische* dubbelsterren, doorzocht HERSCHELL den hemel om de zoodanige op te sporen, die door een groot verschil in eigen beweging een groot verschil in afstand van onze aarde mochten verraden en zodoende ter bepaling van de parallaxis der meest verwijderde meest geschikt mochten geacht worden. Dit onderzoek leerde hem, dat van verreweg de meeste dubbelsterren de eigen beweging volkomen dezelfde was; een resultaat, dat hem weinig kon verbazen, die tijdens het onderzoek met de krachtige hem ten dienste staande hulpmiddelen, een zoo groot aantal dubbelsterren had leeren kennen, dat hij die allen onmogelijk kon houden voor slechts in schijn, als het ware toevallig, naast elkander staande. In 1782 zond hij reeds aan de Royal Society een catalogus van 269 dubbelsterren; in 1784 bracht hij in een supplement op dien catalogus het getal tot 703, verdeeld in zes klassen, te weten:

1e klasse.	Onderlinge afstand te klein om te bepalen	97
2e	„ „ „ minder dan 5 sek. boogs	102
3e	„ „ „ van 5 tot 15 „ „	114
4e	„ „ „ „ 15 „ 30 „ „	132
5e	„ „ „ „ 30 „ 60 „ „	137
6e	„ „ „ „ 1 „ 2 min. „	121

en daaraan werden later nog 143 paren door hem toegevoegd.

STRUVE bracht in 1852 het getal der stelsels, wier afzonderlijke sterren minder dan 32 sek. boogs van elkander verwijderd zijn, op 3057; onder deze vindt men 64 stelsels die uit *drie*, 3 die uit *vier*, ja zelfs één dat uit *zes* sterren bestaat. Sedert is, vooral ook door den arbeid van JOHN HERSCHELL (1792—1871), die met dit doel aan de Kaap de Goede Hoop den zuidelijken hemel onderzocht, het getal der ons bekende dubbelsterren tot ongeveer tienduizend gestegen.

Dat, waar zoovele dubbelsterren aan den hemel voorkomen, het ongewapend oog er zoo weinige ontdekt, is licht te verklaren, als men bedenkt dat dit orgaan niet in staat is, de indrukken van twee zoo

nabij elkander gelegene lichtgevende punten te scheiden. Al de paren die in STRUVE's catalogus zijn vermeld; ziet het ongewapend oog als enkelvoudige sterren; die het als dubbelsterren ziet zijn reeds eenige minuten boogs aan den hemel van elkander verwijderd. Nog dagelijks worden aan het getal paren van bekende dubbelsterren nieuwe toegevoegd, en haar getal zal steeds toenemen naarmate kijkers met krachtiger vermogen op den hemel worden gericht. Ja, wanneer de verbetering onzer hulpmiddelen in dit opzicht haar uiterste grens zal bereikt hebben, zal het aantal ons bekende dubbelsterren nog ver beneden het getal der werkelijk bestaande zijn. Die boogjes toch van weinige sekonden lengte zijn de afmetingen waaronder wij afstanden van eenige duizenden millioenen kilometers zien; en het zou dwaas zijn te verwachten dat, waar de grenzen onzer hulpmiddelen gelegen zijn ook tevens de grenzen zouden liggen, die de natuur zich, om zoo te zeggen, bij het regelen dezer op zich zelve nog zoo groote afmetingen zou gesteld hebben.

De merkwaardigheid van de dubbele en veelvoudige sterren ligt daarenboven niet zoozeer in haar aantal als wel in de bijzondere verhouding, waarin hare onderdeelen staan tot elkander. Neemt men een van deze als een vast punt aan en teekent men nauwkeurig de plaatsen aan, die de andere achtereenvolgens ten haren opzichte inneemt, dan blijkt het dat elk dezer sterren rondom de andere een ellips schijnt te beschrijven.

Reeds aan HERSCHELL was deze betrekkelijke beweging der veelvoudige sterren niet onbekend gebleven. Om haar te kunnen waarnemen, indien zij, zooals hij vermoedde, bestond, had hij steeds de plaats van de zwakste der twee bepaald ten opzichte van de meest heldere; zoo doende gelukte het hem omtrent eenige ten minste de zekerheid te verkrijgen, dat zij met betrekking tot elkander van stand veranderden. De reuzenarbeid van STRUVE voerde reeds een stap verder. De plaatsveranderingen van eenige der door hem waargenomen dubbelsterren leverden reeds voldoende materiaal om, uitgaande van de onderstelling dat de aantrekkingskracht den betrekkelijken loop der haar samenstellende deelen regelt, de banen te berekenen.

Het is hier de plaats niet in bijzonderheden te treden omtrent den gang der berekening. Alleen dit zij opgemerkt, dat ENKE (1791—1865) eene rekenwijze heeft aan de hand gedaan, waardoor men, uit vier juist gekozone bepalingen van de plaats der eene ster ten opzichte van de andere, tot

de kennis kon geraken van de baan, die gene om deze schijnt te beschrijven. En niet alleen van de baan zooals wij haar zien, die in de meeste gevallen slechts een projectie is van de in werkelijkheid doorloopene, ook van deze doet ons die rekenwijze ligging en gedaante kennen; zij geeft daarbij volkomen inlichting omtrent den omlooptijd zoowel als omtrent het tijdstip, waarop de eene ster van de andere minst ver verwijderd zal zijn.

Aan deze rekenwijze ligt het denkbeeld tot grondslag, dat het de onderlinge aantrekking der beide sterren is, die haren betrekkelijken loop regelt; dat dus de eene een ellips zal beschrijven, in wier brandpunt de andere geplaatst is. Heeft eenmaal de berekening geleid tot de kennis van de ellips, die door de vier uit de waarneming afgeleide plaatsen gaat, dan zal verder voortgezette waarneming moeten leeren in hoeverre de ster werkelijk deze baan doorloopt. Zij zal, zoo doende, den twijfel moeten opheffen of het beginsel, bij de berekening vooropgezet, al dan niet met de waarheid in strijd is.

Nu is de onderlinge plaatsverandering der dubbelsterren eene zeer langzame; weinige besteden tot het volbrengen van een ganschen omloop minder dan een eeuw. Daarenboven is de waarneming van afmetingen van zoo klein bedrag als de hier bedoelde aan fouten onderhevig, die, hoe klein ook op zich zelve, groote onzekerheid doen ontstaan omtrent de afmetingen van de gansche daaruit te berekenen baan. Jaren van gezet en nauwkeurig onderzoek zullen er dus moeten voorbijgaan, eer men van haar een gedeelte kent, groot genoeg om onbepaald vertrouwen te kunnen stellen in het daaruit afgeleid geheel. Daaruit is het dan ook te verklaren dat, terwijl ENKE uit waarnemingen van HERSHELL, STRUVE en anderen voor een ster in het beeld *Ophiucus* een omlooptijd vond van ongeveer 74 jaren, MÄDLER, door bij zijne berekeningen de waarnemingen van vóór 1823 te verwerpen en de tusschen 1825 en 1847 verzamelde te gebruiken, dien tijd op 92 jaren moest bepalen, en dat, terwijl YVON-VILLARCEAU, sterrekundige aan het observatorium te Parijs, in 1852 den omlooptijd eener ster in de *Noorderkroon* op ruim 67 jaren stelde, WINNECKE te Berlijn in 1856, door toevoeging van nieuwe waarnemingen, tot een omlooptijd kwam, die 14 jaren korter is.

Nog zeer onlangs deed zich een dergelijk geval voor als het boven omtrent de ster in *Ophiucus* vermelde. FLAMMARION deelde in de Vergadering der Académie des Sciences van den 24^{en} Nov. 1.1. mede, dat

de omloopstijd en de afmetingen van de baan eener dubbelster in de *Groote Beer* door hem waren berekend en dat hij voor den eerstgenoemde een duur had gevonden van 60,6 jaar. Tot deze uitkomst was hij echter slechts geraakt door al de waarnemingen, voor 1821 gedaan, buiten rekening te laten. Bracht hij die wel in rekening dan was de baan niet meer een gesloten kromme lijn: men zou dan moeten besluiten tot eene beweging langs een spiraal. Klaarblijkelijk zijn het de fouten in de vroegere waarnemingen die deze afwijking veroorzaken; twee plaatsen, ééne in 1782 door HERSCHELL en ééne in 1819 door STRUVE bepaald, toonen dan ook afwijkingen aan die aan geen andere oorzaak zijn toe te schrijven; de eerstgenoemde, bij voorbeeld, stelt den afstand tusschen de beide sterren anderhalf maal zoo groot als de halve lengte van de groote as der baan door FLAMMARION berekend.

Maar hoe dit zij, aan de waarheid van het beginsel, waarop de berekeningen rusten, doen deze verschillen, wier oorzaak men kent, geen afbreuk. Een dubbelster in het beeld *Hercules*, wier omloopstijd van ruim $36\frac{1}{3}$ jaar de kortste is der ons bekende, heeft reeds meer dan eenen omloop onder de oogen der sterrekundigen volbracht en daarbij van die waarheid getuigenis afgelegd. Door analogie mogen wij op grond dier getuigenis besluiten, dat ook bij haar zusterental die waarheid geldt, en, zoo doende, de overtuiging uitspreken dat dezelfde kracht, die in ons stelsel de beweging der planeten om de zon regelt, in de verst verwijderde streken van het heelal zonnen om zonnen wentelen doet.

Wij weten dat van alle stof aantrekkingskracht uitgaat, zoodat waar meer dan twee hemellichamen van ongeveer gelijke massa, en tusschen wier onderlinge afstanden geen al te groot verschil bestaat, een stelsel vormen, het eene op de beweging van het andere een krachtigen storenden invloed moet uitoefenen. Hoe samengesteld zal dan niet de relatieve beweging moeten zijn der veelvoudige sterren, maar tevens hoe leerrijk als voortgezette studie ons met al hare bijzonderheden zal hebben bekend gemaakt. Van die *drievoudige* ster in *Casiopeia* bijv. waarin eene ster om de andere loopende de derde met zich schijnt mede te voeren; van die *viervoudige* in de *Lier* die met een dubbelster in dat zelfde beeld, waarvan zij slechts $3\frac{1}{2}$ minuut boogs verwijderd is, een stelsel schijnt uit te maken; van die *zesvoudige*, of volgens SECCHI (1857) *zevenvoudige*, in *Orion*, van wier helderste, die in de vier hoekpunten eens trapeziums staan, twee door een wachter vergezeld zijn.

Toen HERSCHELL, wien wij met recht den vader der nieuwere sterrekunde mogen noemen, de vaste sterren maakte tot de voorwerpen van een opzettelijk onderzoek, opende hij aan die wetenschap een baan, waarop wij wel is waar nog slechts betrekkelijk weinig zijn gevorderd, maar toch ver genoeg om te weten dat aan haren eindpaal voor die wetenschap een onschatbare vermeerdering van kennis als kroon is weggelegd. Waar wij nevens het groot aantal dubbel- en veelvoudige sterren in STRUVE's catalogus vijf paren der eerstgenoemden door een cirkel zien omvat, wiens straal nog geen 9 minuten boogs bedraagt, daar wijst ons alles op een onderling verband tusschen groepen van die zelfde hemellichamen, aan wier onderlinge onafhankelijkheid een eeuw geleden niemand twijfelde; een verband, dat wij slechts vermoeden kunnen, dat echter, als wij op den ingeslagen weg voortgaan, door de toekomstige eeuwen tot klaarheid zal worden gebracht. Op dien weg wachten haar ontdekkingen van hemellichamen, die nooit een menschelijk oog zien zal, omdat zij of in het heldere licht van sterren der eerste grootte bedolven of zelf te zwak van licht zijn, dan dat het tot ons doordringen kan; ontdekkingen als die van PETERS (1851) en AUWERS (1862), die, de eerste voor *Sirius*, de helderste ster in *de Grootte Hond*, de tweede voor *Procyon*, de helderste in *de kleine Hond*, uit de waarnemingen eene beweging afleiden om een punt waar geen ster wordt gezien en waar de aanwezigheid van een aantrekkelijk lichaam van groote uitgebreidheid alleen door de elliptische baan wordt verraden.¹

HERSCHELL zocht naar den afstand der vaste sterren; hij wilde dien uit hare parallaxis afleiden. En ofschoon hij langs dien weg zijn doel niet mocht bereiken, opende hij zelf een nieuwen weg, die wellicht eenmaal daartoe leiden zal. Want als een ster een dubbelster is en zoover van de aarde verwijderd, dat de aardbaan, uit haar gezien, maar een punt schijnt, wanneer zij dus van geen parallaxis kan doen blijken, dan zal men haren afstand nog kunnen afleiden uit de vergelijking van de werkelijke afmetingen harer baan met de grootte waarop zij op dien afstand worden gezien. En die werkelijke afmetin-

¹ Op den 31sten Januarij 1862 heeft CLARK te Boston, op een afstand van 10 sekonboogs van *Sirius* een kleine ster ontdekt, die, volgens de berekening van AUWERS, de oorzaak van de beweging der groote ster zijn kan, wanneer hare massa gelijk is aan de helft van deze.

gen zullen bekend worden zoodra het gelukken mag de snelheid te bepalen waarmede zich de eene ster beweegt om de andere. Inderdaad *meent* men een middel te hebben gevonden waardoor men tot deze bepaling kan geraken; maar op welke gronden deze meening berust, en dan ook in hoeverre zij juist kan zijn, bespreken wij later.

Misschien ook wel komt men eenmaal tot de kennis dier afmetingen door waar te nemen, hoeveel tijd het licht behoeft om de middellijn te doorloopen van de baan, die de eene dubbelster beschrijft om de andere. Beschouwen wij toch een van de beide sterren, die een dubbelster vormen, als de hoofdster, om welke de andere zich als een wachter beweegt, dan zal deze bij elken omloop eenmaal aan deze en eenmaal aan gene zijde voorbij de hoofdster gaan. Staat zij op dit oogenblik tusschen ons en de hoofdster, dan zal er een omloopstijd verstrijken *en nog de tijd*, die dit licht behoeft om de schijnbare middellijn der baan te doorloopen, eer zij in het tegenovergestelde punt gezien wordt. Van dat oogenblik af daarentegen duurt het slechts *dezen tijd minder* dan een omloopstijd, eer zij weder tusschen ons en de hoofdster komt te staan. Het verschil dus in den tijd, waarin de satelliet deze twee helften van zijn eigen baan schijnt te doorloopen, zal het dubbel zijn van dien, waarin het licht een afstand aflegt gelijk aan de schijnbare middellijn dier baan; en de lengte van den weg, dien het licht in eene sekonde doorloopt, is met voldoende zekerheid bekend.

II.

Bij hetgeen wij tot nog toe omtrent de vaste sterren bespraken, hadden wij uitsluitend het oog op haren afstand, hare voortgaande beweging en op de banen, die daarenboven sommige van haar om elkander beschrijven. Op haren eigen physischen toestand vestigden wij de aandacht niet; wij willen dien thans beschouwen.

Nog geen twintig jaren is het geleden dat wij omtrent dezen toestand in volstrekte onwetenschap verkeerden; en moge ook thans onze kennis zich nog slechts zoover uitstrekken, dat wij met vrij voldoende zekerheid eenige der scheikundige elementen kunnen opnoemen, die in hare samenstelling voorkomen, op het genoemde tijdstip zou juist de meest ingewijde in de wetenschap de eerste geweest zijn om zelfs den wensch naar dit weinige als eene ijdele, den ernstigen natuuronder-

zoeker onwaardige hersenschim te veroordeelen. Om het merkwaardig feit dier plotselinge ommekeer te kunnen verklaren, moeten wij voor een wyl den blik afwenden van de sterren, om dien te vestigen op eenige belangrijke resultaten, waartoe de onderzoekingen in het chemisch en physisch laboratorium in den laatsten tijd hebben geleid.

Reeds sedert lang wist men dat sommige metaal-verbindingen aan de vlam, waarin zij gebracht worden, een eigendommelijke kleur geven. Zoo kleuren de natrium-verbindingen, waartoe bijv. het keukenzout behoort, een vlam geel, de kalium-verbindingen, bijv. de salpeter, violet, de calcium-verbindingen, bijv. het krijt, rood, de borium-verbindingen, bijv. de borax, groen, enz.; en deze reactie is zoo eigendommelijk en zoo standvastig, dat een van de middelen om de tegenwoordigheid van deze lichamen in een mengsel op te sporen daarin bestond, dat men een weinig daarvan bracht in de vlam eener alcohol-lamp en opmerkte welke kleur deze aannam. Vooral natrium- en kalium-verbindingen konden op deze wijze scherp van elkander worden onderscheiden.

Toch had men van de groote gevoeligheid van de kleur eener vlam voor de tegenwoordigheid van zulke verbindingen nog slechts een flauw begrip, totdat in 1859 BUNSEN en KIRCHHOFF, uit de mededeeling van eenige op zich zelf staande feiten, door vroegere natuurkundigen waargenomen, aanleiding namen tot eene opzettelijke en uitgebreide studie van de spectra der gloeiende gassen. Het bleek dien natuuronderzoekers niet alleen dat het spectrum van het licht, door de verschillende scheikundige elementen in gloeienden gasvormigen toestand uitgestraald, uit een of meer geïsoleerde heldere strepen bestaat, maar tevens dat het ontstaan dezer strepen in het spectrum van zulk een gloeiend gas uitsluitend afhangt van zijne scheikundige bestanddeelen. De kleinste hoeveelheid van eenig bestanddeel, bijv. $\frac{1}{30000}$ milligram van eene natrium-verbinding, wordt in het spectrum eener vlam door die eigendommelijke strepen verraden. Zoo ontbreekt daarin de geele streep van het natrium bijna nooit, omdat, vooral hier te lande, de lucht, die de verbranding onderhoudt, van keukenzout zelden geheel vrij is. Geleid door dezen zekeren gids vond men dan ook al spoedig vier nieuwe elementen, het caesium, het rubidium, het thallium, en het indium; elementen van wier bestaan men bij gewone scheikundige onderzoekingen niets bemerkte, die men echter heeft afgescheiden uit groote hoeveelheden van de stoffen, waarin hunne aanwezigheid was verraden door

strepen in het spectrum, door geen der bekende elementen daarin voortgebracht.

Niet slechts de lichamen, die alleen op hooge temperatuur in den gasvormigen toestand overgaan, stralen een licht uit, dat door het prisma in zoo weinige bestanddeelen van zeer verschillende breekbaarheid wordt ontleed. Ook de eigentlijke gassen, bijv. waterstof, zuurstof, stikstof, kooloxydegas, vertoonen, als zij bij gewone of verminderde dampkringsdrukking door de elektrische vonk tot lichtgevens toe worden verhit, hetzelfde verschijnsel. Zoo bestaat, bij voorbeeld, het spectrum van gloeiend waterstofgas, onder deze omstandigheden, uit drie heldere strepen, een roode, een blauw-groene en een violette.

Aan de waarneming van deze feiten nu knoopt zich deze andere vast, dat elk gloeiend gas uitsluitend ondoorschijnend is voor de lichtstralen, die het zelf in staat is uit te stralen. Plaatst men, bij voorbeeld, voor een groote geele natrium-vlam eene zwakkere, dan zal deze zich op dien verlichten achtergrond voordoen als ware zij roetzwart, doordien de stralen der eerstgenoemde, die eer zij het oog bereiken door de tweede gaan, daarbij geheel geabsorbeerd worden. Kleurt men daarentegen de vlam, die den achtergrond vormt, door middel van eene andere scheikundige verbinding rood, dan neemt de daarvoor geplaatste vlam onmiddellijk schijnbaar dezelfde kleur aan; voor de roode stralen, die zij zelve niet uitstraalt, is zij volkomen doorschijnend.

In zoo algemeene termen, als waarin wij haar boven uitdrukten, kon deze eigenschap der gloeiende gassen eerst geformuleerd worden door KIRCHHOFF, die de noodzakelijkheid van haar bestaan theoretisch aantoonde, en uit haar aanleiding nam tot eene volledige verklaring van de donkere strepen, die in het spectrum van het zonnelicht worden waargenomen. In volkomen tegenstelling toch met de gloeiende gassen, wier licht een spectrum geeft dat uit een of meer, dikwijls zeer ver van elkander verwijderde, heldere strepen bestaat, wordt door het licht, dat gloeiende vaste lichamen en vloeistoffen uitstralen, een spectrum gevormd, waarin de verschillende kleuren in onafgebroken opeenvolging voorkomen en waarin zelfs bij de sterkste vergrooing geen donkere strepen zijn te bespeuren.

Tusschen deze beiden in staat het spectrum van het zonnelicht, dat, zooals reeds FRAUNHOFER in 1814 ontdekte, in al zijne deelen van talloze donkere strepen is doorsneden. In het licht der zon ontbreken dus

stralen van bepaalde breekbaarheid, en deze zouden daarin niet ontbreken als zij een gloeiend, vast of vloeibaar lichaam was; evenmin echter kon zij, naar het spectrum te oordeelen, een gloeiend gas zijn, daar dit alsdan uit geïsoleerde heldere strepen zou moeten bestaan.

Nu was echter reeds in 1814 door FRAUNHOFER zelve eene merkwaardige overeenkomst opgemerkt tusschen de breekbaarheid van het natrium-licht en die van lichtstralen, welke in het zonnespectrum ontbreken. Juist toch op de plaats, waar dit laatste een donkere streep vertoont, die, door aanwending van de krachtigste in den laatsten tijd uitgevonden hulpmiddelen, in twee zeer fijne nabij elkander liggende strepen kan worden gescheiden, valt, als het door hetzelfde prisma wordt gebroken, de door diezelfde hulpmiddelen op gelijke wijze scheidbare heldere streep van het natrium-licht. En dit samenvallen geschiedt zoo nauwkeurig dat, als men door het bovenste gedeelte eener nauwe spleet zonnelicht en door het benedenste natriumlicht laat vallen, de donkere strepen in het eene spectrum de verlengden zijn van de heldere in het andere. Proeven, met andere gloeiende gassen in dezelfde richting gedaan, leverden KIRCHHOFF een volkomen overeenkomstig resultaat; zij leidden hem, onder toepassing der door hem bewezen, boven meêgedeelde wet, tot de overtuiging dat het licht van de zon door een vaste kern wordt uitgestraald, die omgeven is door een dampkring van gloeiend gas. Die vaste kern straalt licht uit, dat een spectrum zonder strepen zou opleveren, indien niet, bij het gaan door dien dampkring, eenige stralen werden geabsorbeerd. En juist die geabsorbeerde lichtstralen toonen aan dat in dien dampkring elementen voorkomen, die, als zij zelve het zonnelicht voortbrachten, een spectrum zouden geven dat uit evenveel en eveneens geplaatste heldere strepen zou bestaan, als er nu donkere in het zonnespectrum voorkomen. Dat in het omhulsel der zon de elementen, *natrium*, *calcium*, *barium*, *magnesium*, *ijzer*, *chromium*, *nikkel*, *koper*, *zink* en vooral ook *waterstofgas* voorkomen, is langs dien weg boven allen redelijken twijfel gesteld.

Eene volkomen bevrediging is daarenboven te erlangen door waarnemingen, als die door LOGEMAN in dit tijdschrift ¹ zijn meêgedeeld. Omtrent de juistheid toch van de meening, dat de strepen in het spectrum van het licht der zon ontstaan doordien zij omgeven wordt

¹ *Album der Natuur*. Jaargang 1872.

door een mengsel van gloeiende gassen, waarvan elk bestanddeel uitsluitend dat licht absorbeert, wat het zelf in staat is uit te stralen, zal het spectrum van dit gasmengsel uitspraak kunnen doen. Het zal dan voor elke donkere streep van FRAUNHOFER eene heldere moeten vertoonen; ten minste in zooverre niet de eersten door absorbtie van licht in onzen eigen dampkring wordt veroorzaakt.

Zulk een spectrum nu zal men kunnen vormen tijdens elke zonsverduistering. Want als het gasvormig omhulsel zich tot op eene waarneembare hoogte uitstrekte boven de oppervlakte der zon, dan zal het, op het oogenblik waarop de schijnbare omtrekken van zon en maan elkander bij het begin en het einde der totale verduistering inwendig raken, buiten den rand der maan uitsteken. En moge het licht van dat gasmengsel zelfs bij eene totale zonsverduistering een geringere intensiteit hebben dan dat van den dampkring, bij het gebruik van een krachtigen *spectroscoop* levert dit geen bezwaar. Dit werktuig toch, dat in de hoofdzaak uit eene reeks van sterk brekende prisma's bestaat, levert van het diffuse licht des dampkrings een spectrum, dat zeer lang uitgerekte en daardoor zeer zwak van licht is. Het licht van een gloeiend gas echter bestaat slechts uit eenige weinige enkelvoudige lichtstralen, die elk in het bijzonder door geen prisma, hoe sterk zijn brekend vermogen ook zij, verder kunnen gescheiden worden. Op het zwak verlichte eerstgenoemde spectrum als achtergrond dus moeten zich, indien de theorie de feiten verklaart, in den spectroscop de heldere strepen, door het gloeiend omhulsel gevormd, duidelijk vertoonen.

Deze proef op de som nu werd, ten minste gedeeltelijk, door JANSSEN geleverd, tijdens de totale verduistering van 18 Augustus 1868. Hij zag dat de karakteristieke roode, op vlammen gelijkende verhevenheden, die men reeds bij vroegere zonsverduisteringen langs den rand der maan had opgemerkt, een spectrum gaven, waarin de roode en groene streep van het gloeiend waterstofgas duidelijk zichtbaar waren. Latere waarnemingen, op het voorbeeld en volgens de methode van LOCKYER gedaan, ook tijdens de zon in haren vollen glans aan den hemel staat, bevestigden de zoo even genoemde in alle opzichten en vulden haar in zooverre aan, dat het hem gelukte ook de violette streep van het waterstofgas te zien. Daarenboven leerden zij dat de zon over hare geheele oppervlakte met een laag gloeiend waterstofgas bedekt is, waarvan die roode vlammen slechts kolossale ophoopingën zijn. In de

wetenschap wordt dit omhulsel sedert met den naam *chromosphere* aangeduid, ter onderscheiding van de het eigentlijke witte zonnelicht uitstralende *photospheer*.

Was de juistheid der theorie op deze wijze, ten minste wat de waterstof betreft, voldoende aangetoond, de zonsverduisteringen van 1870 en 1874 leverden voor haar een nog schitterender bewijs. Reeds tijdens de eerstgenoemde had YOUNG, die haar in Spanje waarnam, opgemerkt dat juist op het oogenblik dat de maan de eigentlijke zonnescijf bedekte, alle donkere strepen van FRAUNHOFER in heldere strepen werden veranderd. Het is niet te verwonderen dat in het jaar 1871 allen, die in Indië de zonsverduistering waarnamen, in de eerste plaats er zich op toelegden YOUNG's bevinding door eigen ervaring te controleeren en zoo mogelijk aan te vullen. Van hen, die met behulp van den spectroscop den rand der zon onderzochten op de oogenblikken dat de verduistering aanving en ophield totaal te zijn, zijn de mededeelingen alle zoo vele bevestigingen van het door YOUNG vermelde feit. Op het oogenblik waarop de verduistering totaal werd was het — MACLEAR drukt dit met zoovele woorden uit — alsof de donkere strepen in het zonnenspectrum allen in heldere werden veranderd. Eenige minuten te voren reeds hadden zich, behalve de waterstofstrepen, die van het natrium, barium en ijzer vertoond. Bij het gansch verdwijnen van den zonnerand verdwenen die strepen in snelle opeenvolging; te snel dan dat men daaruit kon opmaken op welke wijze de verschillende elementen gerangschikt zijn in het absorbeerend omhulsel van betrekkelijk geringe dikte, dat de photospheer der zon scheidt van de uit gloeiend waterstofgas bestaande chromosphere.

Wij kunnen thans omtrent de bijzonderheden, die men tijdens de zonsverduisteringen ook in de meer van de zon verwijderde deelen harer omgeving heeft opgemerkt, niet nader in bijzonderheden treden. Door de belangrijkheid van het onderwerp medegesleept verwijlden wij daarbij misschien reeds langer dan volstrekt noodzakelijk was; en in elk geval lang genoeg om den lezer te doen vermoeden, langs welken weg onze kennis van den physischen toestand der vaste sterren in korten tijd op zoo onverwachte wijze de vorderingen heeft gemaakt, waarop wij in den aanvang van dit gedeelte onzer beschouwingen doolden. Hij zal het HUGGINS nazeggen dat: KIRCHHOFF's ontdekking ons in staat stelt symbolen te verklaren, die in het licht zelf verborgen zijn en een getrouw bericht geven van den physischen toestand der buitengewoon

ver van ons verwijderde hemellichamen, die dat licht uitstralen."

HUGGINS zelf heeft tot het verklaren dier symbolen door een gedurende vier jaren onafgebroken voortgezette studie meest bijgedragen. Zij leerde hem dat in de samenstelling van *Aldebaran*, de helderste ster in *de Stier*, de elementen: waterstof, natrium, magnesium, calcium, ijzer, bismuth, tellurium, antimonium en kwikzilver voorkomen. Het spectrum dezer ster toch vertoont donkere strepen, die overeenkomen niet slechts met ééne, maar met meerdere van de heldere strepen waaruit het spectrum van deze elementen bestaat. Terwijl alzoo de gesteldheid dezer ster met die van de zon veel overeenkomst schijnt te hebben en zij, als deze, met een omhulsel van gloeiend waterstof schijnt omgeven, is de samenstelling van *Betelgeuze*, de helderste ster in *Orion*, van die der zon in dit gewichtig punt onderscheiden. De donkere strepen in haar spectrum toch vallen wel samen met de heldere van natrium, magnesium, calcium, ijzer en bismuth; daarentegen vertoont zich daarin geen van de drie donkere strepen, wier tegenwoordigheid de aanwezigheid van het waterstofgas in haar omhulsel zou verraden. Van de ongeveer zestig sterren, die door HUGGINS onderzocht zijn, behooren verreweg de meeste tot het type *Aldebaran*; slechts in de samenstelling van weinige ontbreekt, als in die van *Betelgeuze*, de waterstof. Het is er echter ver van af dat de overige elementen, zelfs bij sterren van dezelfde type, steeds en in constante verhouding zouden voorkomen. Reeds het verschil in de kleur der onderscheidene sterren wijst in dit opzicht op eene merkwaardige verscheidenheid. Zoo wordt, bij voorbeeld, het oranje-kleurig licht eener dubbelster van de eerste grootte in *Hercules* daardoor veroorzaakt, dat in het spectrum van de helderste der twee de donkere strepen hoofdzakelijk in het blauw, het groen en het rood liggen en dus deze kleuren zoo verzwakken dat zij, die het midden van het spectrum vormen, een bepaald overwicht erlangen. Daarentegen zijn de strepen over het spectrum van sterren met wit licht, van *Sirius* bij voorbeeld, gelijkmatig verdeeld; daar zij op deze wijze alle kleuren nagenoeg in dezelfde verhouding verzwakken, heeft haar licht, even als dat der zon, geen overwegende tint.

In scherpe tegenstelling met de spectra van sterren, die zich als enkele lichamen of als dubbelsterren aan het bloote of het gewapende oog voordoen, zijn die der zwak verlichte, in den kijker als phosphoresceerend wolkjes zich voordoende *nevelvlekken*. Terwijl gene, door hunne slechts van donkere strepen verbrokene continuïteit, ons wijzen op vaste of

vloeibare photospheeren, door gasvormige dampkringen omgeven, doen zij, die uit slechts weinige heldere strepen bestaan, meest ons denken aan lichtbronnen van gasvormigen aard. HUGGINS onderzocht een groot aantal dezer nevelvlekken met den spectroscop. Twee strepen, ééne van het stikstofgas en ééne van het waterstofgas, werden door hem bij de meesten aangetroffen; toch vertoonden sommige de strepen van het stikstofgas alleen. Bij de meeste nevelvlekken ziet men die heldere strepen vergezeld van een zwak onafgebroken spectrum, dat de tegenwoordigheid van een gloeiende vaste of vloeibare kern schijnt te verraden of in elk geval aantoont dat zoodanige stof in den gasvormigen nevel verspreid is.

Tot nog toe was steeds voor de meening plaats, dat tusschen *nevelvlekken* en *sterrehoopen* geen scherpe grenslijn was te trekken; dat met de beperktheid onzer hulpmiddelen ook het aantal der eerstgenoemden zou afnemen, zoodat haar al of niet oplosbaar zijn in afzonderlijke sterren slechts zou afhangen van de meerdere of mindere sterkte der telescopen. Omtrent de juistheid dezer meening, die, op grond van de bijzondere, als het ware eene eigenaardige structuur vertoonende gedaante van eenige nevelvlekken, door velen werd weersproken, kan de spectroscop uitspraak doen. En hij deed dit reeds in zooverre, dat van de nevelvlekken die door den teleskoop van lord ROSSE oplosbaar zijn, niet ééne een spectrum vertoont dat uit heldere strepen bestaat, terwijl daarentegen van allen, die wel zulk een spectrum vertoonen, geene met zekerheid is opgelost. Dat dus tusschen nevelvlekken en sterrehoopen een karakteristiek onderscheid bestaat, dat gene van deze niet alleen slechts ten gevolge harer grooteren afstand *schijnen* te verschillen, is op deze wijze meer dan waarschijnlijk gemaakt.

In vele opzichten overeenkomende met de spectra der nevelvlekken, wier heldere strepen van een zwak onafgebroken spectrum vergezeld zijn, was dat van een merkwaardige ster van de tweede grootte, die op den 12^{den} Mei 1866 plotseling in het sterrebeeld *de Noorder Kroon* zich vertoonde en kort daarop weder verdween. Reeds meermalen te voren had men dergelijke voor een korten tijd slechts helder lichtgevende sterren waargenomen; volgens HUGGINS, indien men ook de oudere chineesche waarnemingen kan vertrouwen, in de laatste tien eeuwen een twintigtal. Verschillende theoriën, waaruit men den aard dezer snel voorbijgaande hemellichten trachtte te verklaren, werden opgebouwd en omvergeworpen, tot eindelijk ook hier de spectroscop

uitspraak deed. Van den 15^{ten} Mei, toen hij het eerst kennis kreeg van haar verschijnen, tot het oogenblik waarop haar licht te zwak werd om verdere waarneming toe te laten, onderzocht HUGGINS het spectrum van de ster uit *de Kroon* en vond, dat het uit twee verschillende over elkander geplaatste spectra bestond. Het eene continu, van donkere strepen doorsneden, wijst, even als dat van het zonnelicht, op een vaste of vloeibare photosfeer door een absorbeerend gasvormig hulsel omgeven: het andere, uit heldere strepen bestaande, waaronder twee van de drie waterstof-strepen de helderste waren, deed vermoeden dat het gasvormig omhulsel met genoegzame intensiteit gloeide om zijn eigen spectrum, nevens dat van de photosfeer zichtbaar te doen zijn. Daarenboven verzwakte met het afnemen van de helderheid dezer strepen ook het onafgebroken spectrum, totdat beide onzichtbaar werden. Alles dwingt hier om aan te nemen, dat het verschijnsel ons getuigen heeft doen zijn van een geweldig verbrandingsproces van waterstofgas op een hemellichaam, welks afstand van ons door het licht slechts in vele jaren wordt afgelegd, voor even zoovele jaren voorgevallen en in twaalf dagen doorloopen. De groote hitte, door de verbranding veroorzaakt, deed ook de vaste of vloeibare kern met grootere intensiteit gloeien en maakte zodoende haar onder gewone omstandigheden te lichtzwak spectrum zichtbaar.

Maar wat te denken van de zoogenaamde *veranderlijke sterren*, dat is van de zoodanige wier licht periodiek tot een zeker maximum klimt en tot een zeker minimum daalt, en waarvan er meer dan honderd, en daaronder vele voor het bloote oog zichtbare, aan den hemel worden gevonden. Hier kan van geen oorzaak als de zoo even genoemde sprake zijn; hoe toch te denken aan eene verbranding van gassen, die jaar in jaar uit op volkomen periodieke wijze zou terugkeeren om in volkomen dezelfde tijden af te loopen.

De waarnemingen met den spektroskoop duiden dan ook hier een dergelijke oorzaak niet aan. Eigentlijk hebben zij omtrent den physischen toestand der veranderlijke sterren tot nog toe weinig inlichting verschaft, daar het eenige, wat daarvan vermelding waard is, bestaat in het door HUGGINS geconstateerde feit, dat een groep donkere strepen, wier ligging twee jaren te voren met zorg was bepaald, tijdens het maximum van 1866 in het spectrum van *Betelgeuze* niet was terug te vinden. Wellicht is dit een aanwijzing dat tijdens de gedeeltelijke verduistering dezer sterren tusschen haar en ons een lichaam zich be-

vindt, dat door een dampkring is omgeven; de donkere strepen zouden dan door absorbtie van sommige lichtstralen in dien dampkring worden veroorzaakt. Het zou echter zeer voorbarig zijn op grond van dit ééne feit eene uitspraak te willen doen ten gunste van eene der vele theoriën, omtrent de oorzaken der veranderlijkheid opgebouwd. Veeleer wachte men of ook hier bij een zorgvuldig voortgezet onderzoek de spectroscopie nadere uitkomst geven zal; de omstandigheid, dat van de tien veranderlijken negen eene roode of geele kleur vertoonen, geeft eenigen grond om te hopen, dat ook in haar licht symbolen zijn verborgen, die het der spectraal-analyse zal gelukken te verklaren.

Of aan deze haren jongsten en toch reeds zoo veel vrucht dragenden tak in de naaste toekomst eene nog grootere vruchtbaarheid is weggelegd, is een vraag, die de aandacht van de beoefenaars der natuurwetenschap in den tegenwoordigen tijd ten zeerste boeit. In hoeverre het antwoord daarop al of niet bevestigend moet uitvallen hangt af van deze principieele kwestie: of de breking, die het licht in een prisma ondergaat, al of niet gewijzigd wordt door de omstandigheid dat prisma en lichtbron elkander naderen of zich van elkander verwijderen. Is dit wel het geval, dan zal, ten minste wanneer de snelheid der relatieve beweging in verhouding tot die van het licht groot genoeg is, het spectrum die beweging kunnen verraden.

Ondersteld toch, om door een voorbeeld de gedachten te bepalen, dat het licht van een natrium-vlam door een prisma wordt gebroken, dat zich in de richting dier vlam beweegt of dat omgekeerd die vlam het prisma nadert, dan zal, als door deze omstandigheid eene sterkere breking ontstaat, de heldere streep, aan dat licht eigen, meer naar het violette uiteinde van het spectrum moeten vallen dan het geval is, wanneer vlam en prisma ten opzichte van elkander in rust zijn. En hetzelfde zal het geval zijn met de donkere streep, die ontstaat als een gedeelte van het witte licht door natrium-damp geabsorbeerd wordt. Is dus de eigen beweging eener vaste ster in de richting onzer aarde snel genoeg of beweegt zich een dubbelster in hare baan met genoegzame snelheid in die richting, dan zal dit aan het spectrum van haar licht zichtbaar zijn. Beweegt zij zich naar ons toe, dan zullen alle strepen meer naar het violette uiteinde liggen dan gewoonlijk het geval is; en zij zullen naar het roode uiteinde verplaatst zijn in het tegenovergesteld geval. Ja, wat meer is, indien men langs andere wegen van slechts ééne ster de snelheid in de richting van de aarde

heeft bepaald en de met haar overeenkomende verplaatsing der strepen heeft uitgemeten, dan zal men bij elke andere omgekeerd uit de grootte dezer verplaatsing tot het bedrag dier snelheid kunnen besluiten. En zoo zou dan op deze wijze de spectraal-analyse, die omtrent den physischen toestand der hemellichamen ons een schat van kennis deed vergaären, onze nog gebrekkige bekendheid met hunne beweging op even onverwachte wijze tot een hoogen graad van volkomenheid opvoeren.

Maar bewegen wij ons op dit veld niet verder. Want afgezien daarvan dat het vrij onzeker is of wel de eigen beweging der vaste sterren snel genoeg zal zijn om eene verplaatsing der strepen te veroorzaken, groot genoeg om die met de ons ten dienste staande hulpmiddelen waar te nemen en nog veel minder uit te meten, afgezien dus van de praktische bezwaren, is ook de juistheid der beschouwingen, waaruit de mogelijkheid van het verschijnsel wordt afgeleid, aan grooten twijfel onderhevig. En zoo lang deze niet is opgeheven, zoo lang dus, om zoo te zeggen, de zaak nog voor den rechter is, ligt eene beschouwing die haar betreft, buiten het domein der populaire wetenschap.