q. 8° 1160

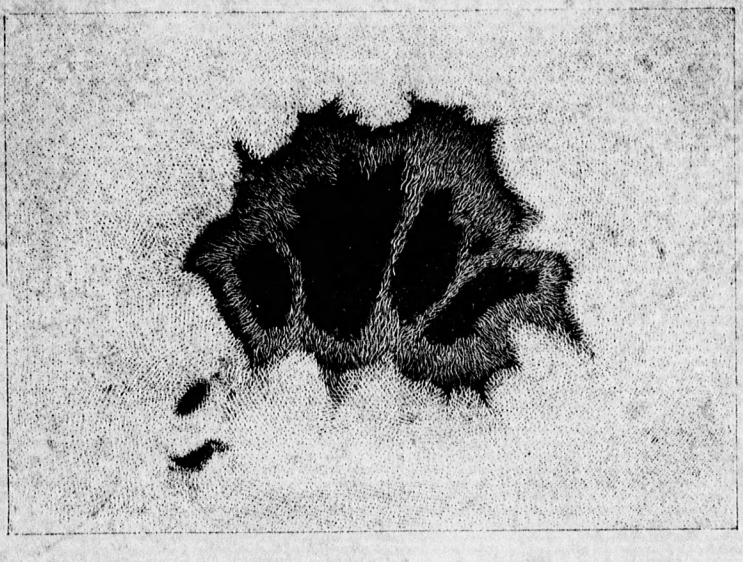
DE

PHYSISCHE TOESTAND DER ZON,

DOOR

DR. E. VAN DER VEN.

MET AFBEELDINGEN.



HAARLEM — KRUSEMAN & TJEENK WILLINK.
1876.

Q. oct.
1160

DE PHYSISCHE TOESTAND DER ZON.

8° 1160.

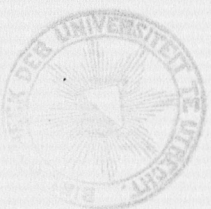
DE

PHYSISCHE TOESTAND DER ZON,

DOOR

DR. E. VAN DER VEN.

Met Afbeeldingen.



HAARLEM,
KRUSEMAN & TJEENK WILLINK.
1876.

Gedrukt bij Gebr. van Asperen van der Velde, te Haarlem.

INHOUD.

I. De zon en hare vlekken ..... Blz. 3

II. De spectraal-analyse ..... „ 31

III. De zon, bij eene totale verduistering ..... „ 55

IV. De chromospheer ..... „ 83

V. De corona ..... „ 109

VI. De bewegingen in het omhulsel der zon, naar waarnemingen met den spectroskoop ..... „ 125

VII. De photospheer ..... „ 168 151

(6.7184)

OVER DEN PHYSISCHEN TOESTAND DER HEMELLICHAMEN.

DOOR

DR. E. VAN DER VEN.

DE ZON EN HARE VLEKKEN.

Wanneer wij in onze kindsheid hoorden verhalen, dat onze voorouders onder anderen de zon aanbaden als een godheid, dan trokken wij zeer pedant onze neusjes op voor zooveel domheid, voor zooveel gebrek aan hoogere ontwikkeling. Maar sedert heeft het leven ons wijzer gemaakt. Wij hebben zoovele godheden zien aanbidden, misschien zelf wel aangebeden, die oneindig lager staan, dat in dit opzicht zeker het *nil mirari* in ruimen zin door ons wordt toegepast. En daartegenover heeft dat leven ons zooveel geleerd omtrent de zegenrijke werking van den vorst des daags, dat onze minachting voor zooveel bekrompenheid haast in bewondering van zooveel goed inzicht werd veranderd. Wij leerden begrijpen, dat die kinderen der natuur, in het schepsel, dat het meest zijn werk hun toonde, den Schepper eerend, voor de zon de knieën bogen.

Zij is de bron van alle leven en beweging; zonder haar overal dood en rust; rust als van het graf. Terwijl hare stralen, door hunne scheikundige werking, de groene plantendeelen het alle hooger dierlijk leven vernietigend koolzuurgas doen ontleden, bewaren zij ons, die het even als de dieren voortdurend uitademen, voor een wissen ondergang; geven zij aan den dampkring de daaraan door de ademhaling onttrokken levenslucht terug en bouwen gelijktijdig, uit hetgeen waarmede wij die verontreinigden, het lichaam der plant op. Door hare warmte smelt zij sneeuw en ijs en doet ze van de bergen door de vlakten stroomen; en wanneer de rivieren het water in den schoot van den Oceaan hebben uitgestort, dan is het weder hare warmte,

die het doet opstijgen in den dampkring, waaruit het als regen over de velden zich uitstort of wederom als sneeuw en ijs zich afzet op de toppen der bergen. Zoo voedt en onderhoudt de zon alles wat leeft op aarde.

Maar niet alleen aan de meest noodzakelijke voorwaarden voor ons bestaan wordt door haar voldaan. Er is geen kracht, waarover wij bij onzen arbeid beschikken, die wij niet aan haar verschuldigd zijn. Van onze spierkracht zagen wij dit reeds; ook van de kracht, waardoor het stroomend water het molenrad ronddrijft. Om voortdurend, bij zijn afdalen van de hoogten, door de drukking van zijn gewicht, beweging te kunnen veroorzaken, moet dat water telkens op nieuw naar de toppen der bergen en naar de hoogvlakten worden opgevoerd. En de kracht, die de zeilen spant, tot voor korten tijd de eenige waardoor werelddeelen, die de zee gescheiden had, werden hereenigd, aan wie anders danken wij haar dan aan de zon? Zonder haar zou geen windje door de bladeren ruischen; alleen doordien zij de verschillende deelen van den dampkring ongelijkmatig verwarmt, zoodat hier uitzetting, elders inkrimping ontstaan en elkander afwisselen, brengt zij dien dampkring in voortdurende beweging. Ja zelfs in de spankracht van den stoom zien wij een hulp ons door de zon verschaft. Want van welke brandstoffen wij, ter verhitting van het water, ons bedienen, daar is er geene, die niet zelf aan haar het bestaan ontleent. Denken wij, van die brandstoffen sprekend, het eerst en meest aan de steenkool, dan treft ons alweder de waarheid, dat dit diep in de aarde bewaarde overblijfsel eener voorwereldlijke plantengroei daar voor ons door de zon werd opgelegd. Elke steenkolenbedding is ons als het ware een magazijn van zonnestralen, die de aarde in hare kindsheid koesterden.

Aan deze bekendheid met den zegenrijken invloed, dien de zon op aarde uitoefent, is onze kennis van hare eigene gesteldheid op verre na niet evenredig. Eerst in de laatste jaren is een tip opgelicht van den sluier, waarmede alles, wat die gesteldheid betrof, overdekt was. Doch ook niet meer dan dat. Omtrent de wijze, bij voorbeeld, waarop zij jaar in jaar uit, de eeuwen door, eene schier onveranderlijke bron van licht en warmte kan zijn, kunnen wij slechts gissingen maken. Voor ons, die het verspreiden van licht en warmte in meest alle gevallen gepaard zien met eene snelle vernietiging der

lichtbron als zoodanig, voor ons is het haast een raadsel, hoe de zon aan dien algemeenen regel tot nog toe ontkomen is. Een raadsel, dat te luider om oplossing vraagt, naarmate wij, met het oog op die na ons zullen komen, er meer prijs op stellen dat dit altijd zoo blijven moge.

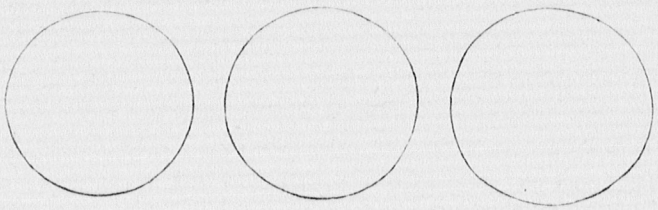
Onder de weinige gegevens, waarvan men bij het zoeken eener oplossing kan uitgaan, zijn de zoogenaamde zonnevlekken de oudste en bekleeden zij ook een eerste plaats. Maar alvorens die vlekken in haar wezen en beteekenis ons voor oogen te stellen, willen wij nagaan wat hare aanwezigheid zelve op de zon ons omtrent deze met zekerheid heeft leeren kennen. In de allereerste plaats echter slaan wij een blik op de grootte, den afstand, de densiteit der zon. Daarbij vreeze men niet voor een opsomming van groote getallen; van de afmetingen, welke zij bepalen moeten, doen zij ons toch geen voorstelling vormen en, zoo wij ze mochten onthouden, bezwaren zij het geheugen met een ballast van cijfers, die, zoo zij ons soms te pas mochten komen, in elk handboek met veel grootere nauwkeurigheid zijn terug te vinden.

Over de grootte van een hemellichaam kan men in tweederlei zin spreken. Men kan daarbij doelen op de grootte, waaronder het ons voorkomt, of op de werkelijke grootte zijner afmetingen. In het eerste geval kan men moeielijk in een vergelijking treden met andere, aardsche voorwerpen; men zou daarbij dan moeten opgeven op welken afstand zij van het oog moeten gehouden worden om ons even groot als de zon toe te schijnen. Men kan immers de zon even goed met een dubbeltje als met een gulden bedekken, wanneer men het eerste maar zooveel korter bij het oog houdt. Eene zoodanige opgave van de schijnbare grootte wordt dan ook steeds uitgedrukt door de graden, minuten, enz., die de hoek bevat, tusschen de lijnen naar twee diametraal tegenover elkander gelegene punten van den zonnerand getrokken. Deze hoek nu bedraagt bij de zon gemiddeld 32 minuten.

Wij zeggen: gemiddeld; want daar de aarde in een langwerpig ronde of elliptische baan zich om de zon beweegt, is deze niet altijd even ver van ons verwijderd en kan zij ons dus niet altijd even groot toeschijnen. Onder den grootsten hoek zien wij haar in het begin van Januari, wanneer die 32 minuten 36 sekonden, — onder

den kleinsten in het begin van Juli, wanneer die 31 minuten 30 sekonden bedraagt. De gemiddelde waarde bereikt de schijnbare grootte der zonneschijf in het begin van October. Wij hebben de verhouding tusschen de beide uiterste en de gemiddelde waarde op de drie genoemde tijdstippen in fig. 1 voorgesteld.

Fig. 1.



Kenden wij nu slechts den afstand, waarop de zon gemiddeld van de aarde verwijderd is, met nauwkeurigheid, dan zouden wij een even nauwkeurige opgave kunnen verstrekken van de eigenlijke grootte harer afmetingen. Niets toch is eenvoudiger dan uit den bekenden afstand, waarop een lichaam zich van den waarnemer bevindt, en uit den hoek, waaronder hij daarvan de afmetingen ziet, de ware grootte dezer laatste te berekenen. Maar, zooals wij te kennen gaven, aan onze kennis van dien afstand ontbreekt nog al iets; zoo ongeveer 150 000 duitsche mijlen, dat is te zeggen, ongeveer $^{7}/_{1000}$ deelen van zijn gansche bedrag, zijn wij omtrent de grootte van dien afstand in het onzekere. Alleen de waarneming van de overgangen der planeet Venus voorbij de zon kan de gegevens leveren die tot grootere zekerheid kunnen leiden. En ongelukkiglijk hebben in $113^{1}/_{2}$ jaar slechts twee van die overgangen plaats, waarvan twee elkander in den vrij korten tijd van acht jaren opvolgen. Mochten dus onverhoopt de eerstvolgenden, die den 8n December van dit jaar en den 6n December van het jaar 1882 zullen plaats hebben, de onzekerheid niet opheffen, dan zal men weder meer dan een eeuw hebben te wachten, eer de kans, om die te zien verdwijnen, weder wordt aangeboden.

Wil men nu, bij de onzekerheid, die, ten gevolge van de zoo even genoemde, ook omtrent de afmetingen der zon bestaat, zich met eene gemiddelde opgave te vreden stellen, dan zeggen wij, dat de straal der zon ongeveer zoo lang is als 108 aardstralen. Stelt men

den gemiddelden afstand van de maan tot de aarde op 60 aardstralen, dan is de straal van de zon bijna dubbel zoo groot als die afstand. Daar nu de inhouden van bollen zich verhouden als de derde machten hunner stralen, zou het gewicht van de zon ook 108³ of ruim $1\frac{1}{4}$ millioen maal het gewicht van de aarde moeten bedragen, indien beide bestonden uit stof van dezelfde soort. Het gewicht van de zon is echter maar 360 000 maal zoo groot, zoodat zij uit een stof moet bestaan, wier gemiddelde dichtheid slechts $\frac{1}{4}$ van die der aarde is, dat wil zeggen, nog niet anderhalf maal die van zuiver gedisteleerd water. Waaruit wij dan tot het besluit moeten komen, dat òf de zon over haar geheel uit eene zeer lichte stof moet bestaan, ongeveer zoo licht als steenkool, òf dat zij rondom een kern van grootere dichtheid een gasvormig omhulsel moet hebben, dat ons haar onder zoo groote afmetingen vertoont.

En zoo zijn wij dan weder tot de constitutie der zon, en met deze tot hare vlekken teruggekeerd.

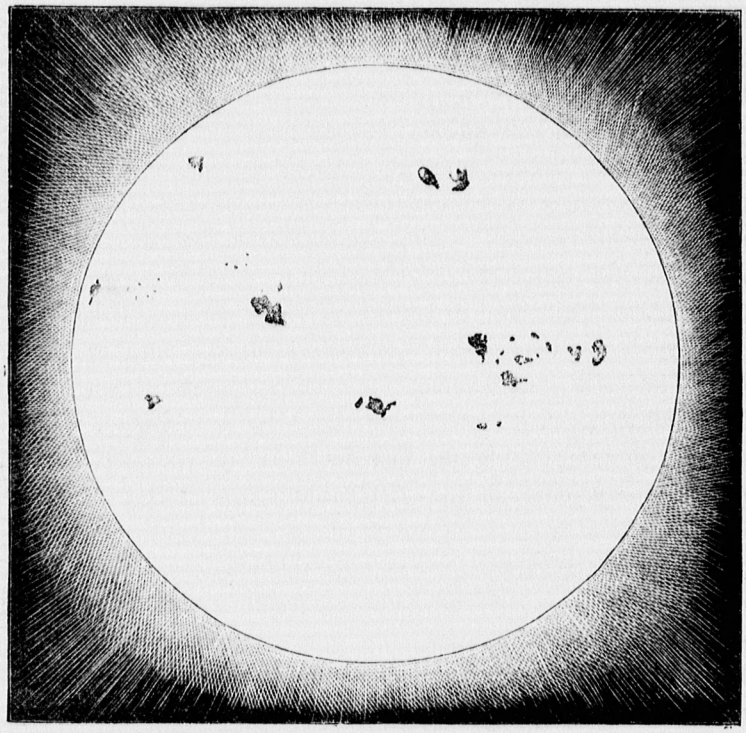
Toch willen wij ook nu nog niet aan die vlekken onze aandacht wijden om haar zelve. Wat wij aanvankelijk omtrent haar mededeelen zullen, dient alleen om te komen tot de kennis van de snelheid, waarmede de zon, even als de aarde om de hare, om een as draait. En voor dat doel is het volgende voldoende.

Vóór de ontdekking der verrekijkers wist men reeds dat zelfs de zon hare vlekken heeft. Met het bloote oog had men er reeds in 807 en in 1588 waargenomen, ten minste wanneer men het oog, als het alleen tegen de sterke inwerking der zonnestralen wordt beschermd, in tegenstelling met het door een kijker ziende, bloot mag noemen. Zoo volgde ook in 1610 FABRICIUS, een Hollander, en de eerste van wien regelmatige waarnemingen van zonnevlekken bekend zijn, gedurende eenigen tijd den loop van een groote vlek; hij deed dit met zooveel zorg, dat hij haren omwentelings-duur tamelijk nauwkeurig heeft kunnen bepalen. Bij zijne waarnemingen liet hij door eene zeer kleine opening in het vensterluik eener donkere kamer een bundel lichtstralen dringen en teekende daarmede op een wit scherm een beeldje van de zon, dat, voor zijn doel ten minste nauwkeurig genoeg, haar aan hem voorstelde en kon worden waargenomen, zonder dat daarbij het oog vermoeid werd. Zelfs thans nog, nu de hulpmiddelen in hooge mate zijn vermeerderd en verbeterd, handelt men

in vele gevallen in de hoofdzaak niet anders. Men brengt het objectief van den kijker door eene opening in het vensterluik van eene donkere kamer, richt hem op de zon en trekt de oculair-buis zoover uit, dat op een daarvoor geplaatst en aan den kijker bevestigd wit scherm, welks vlak loodrecht op de as des kijkers staat, een scherp beeldje van de zon zich vertoont. En wanneer het er op aankomt eene photographische afbeelding van de zon te vervaardigen, vervangt het matte glas der op het oculair vastgeschroefde camara obscura het witte scherm.

Zulk een photographisch beeld van de zon kunnen wij onzen lezers hier niet aanbieden. Wel kunnen wij hem echter door de hierbij gevoegde

Fig. 2.

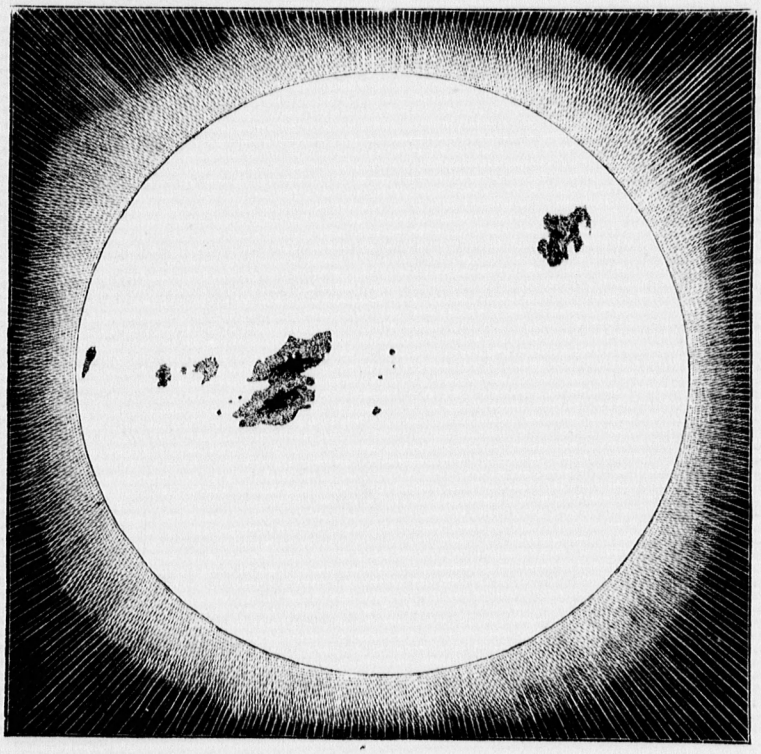


afbeeldingen zich een denkbeeld doen vormen van de verhouding, die er is tusschen de afmetingen van de vlekken en de zon zelve.

Van deze afbeeldingen stelt de eerste (fig. 2.) zonnevlekken van

de gewone grootte voor. Uit de tweede, die ons zonnevlekken van buitengewone grootte doet zien (fig. 3), blijkt daarenboven reeds duidelijk, dat zulk een vlek in haar midden veel donkerder is dan aan de randen. Op deze détails echter, die met ons doel op dit oogenblik niet in verband staan, zullen wij later uitvoeriger moeten terugko-

Fig. 3.



men. Het komt er thans slechts op aan om door de beweging der vlekken te komen tot de bepaling van de wijze, waarop de zon zich wentelt om hare as.

En dit schijnt nu op den eersten aanblik een veel gemakkelijker taak dan het inderdaad is. Die vlekken toch zijn geen blijvende verschijnsels; ook nemen zij geen blijvende plaats in op de oppervlakte der zon. Zij komen en verdwijnen. Mogen er al soms zijn, die ééne, twee, ja zelfs drie omwentelingen medemaken, in den regel is dit niet het geval. En welke gedaanteveranderingen ondergaan zij dan

nog in dien tusschentijd! Dit is zeker, dat allen, hoe kortstondig haar bestaan ook zij, zich gedurende dat bestaan over de zonneschijf schijnen te bewegen van het oosten naar het westen, en dus eene wenteling der zon in dezen zin buiten allen twijfel stellen. Of behooren misschien deze vlekken, zoo als men vroeger wel eens heeft gemeend, niet tot de zon zelve; zijn zij misschien donkere lichamen, planeten bij voorbeeld, die op korten afstand van haar zijn verwijderd? Zeker niet. In de eerste plaats zou het al zeer onwaarschijnlijk zijn, dat al die lichamen met dezelfde snelheid in bijna evenwijdige banen rondom de zon zouden loopen, en dus op denzelfden afstand van haar zouden verwijderd zijn. Maar er zijn, in de tweede plaats, verschijnselen, die met eene zoodanige vooronderstelling rechtstreeks in strijd zijn.

Die vlekken toch worden, naarmate zij den rand der zon naderen, voortdurend smaller. Behooren zij nu tot hare oppervlakte, dan vindt dit verschijnsel zijn natuurlijke verklaring daarin, dat, als de zon bolvormig is, de stand van een vlek met betrekking tot ons oog des te schuinscher wordt, naarmate zij nader bij den rand komt; zij zal dan in de lengte wel dezelfde afmetingen behouden, maar in de breedte voortdurend moeten afnemen. Slechts als een vlek het middelpunt inneemt van de zonneschijf, kan zij zich in hare ware gedaante aan ons oog voordoen. Waren daarentegen die vlekken lichamen, die rondom de zon zich bewegen, dan zou men, om hetzelfde verschijnsel te verklaren, aan die lichamen eene zeer platte gedaante moeten toekennen; dat wil zeggen een gedaante, die in alle opzichten afwijkt van die der andere om de zon zich bewegende hemellichamen.

Ook bewegen de vlekken zich, als zij in het midden van de zonneschijf zijn gekomen, schijnbaar veel sneller dan nabij den rand. Tegen dit bewijs zou men kunnen aanvoeren, dat zulks even goed het geval zal moeten zijn als de vlek om de zon een cirkel beschrijft, als wanneer zij dit doet met de zon. Immers, wie een lichaam met onveranderlijke snelheid ziet gaan langs een cirkel, in wiens vlak zijn oog ligt, zal het steeds van rechts naar links sneller zien vorderen als het op den boog is die naar het oog is toegekeerd, dan wanneer het zich bevindt in punten waar het zich van het oog verwijdert. Deze tegenwerping verliest echter hare kracht, zoodra men

bedenkt, dat bij de berekening, waardoor men de schijnbare verplaatsing langs een rechte lijn uit de ware op den cirkel wil afleiden, men den straal van dezen cirkel kennen moet, en dat met die vooruit berekende verplaatsing de waargenomene altijd, maar ook dan alleen overeenkomt, wanneer men de grootte van dien straal ontleent aan de afmetingen der zon zelve.

Wij kunnen dus veilig aannemen, dat de vlekken zich bevinden op de oppervlakte van de zon, en dat zij door haar bij hare omwenteling van het oosten naar het westen worden meêgevoerd.

In hoeveel tijd nu de zon eene omwenteling om hare as volbrengt? Bij het beantwoorden dezer vraag stuiten wij op een groote moeielijkheid. Bewogen de vlekken gedurende haar vrij kortstondig bestaan zich minstens zelve niet over de oppervlakte der zon, dan zou de oplossing tamelijk eenvoudig uitvallen. De vele gedaanteveranderingen, die een vlek ondergaat bij een omwenteling, gedurende wier halven duur ongeveer zij daarenboven onzichtbaar is, zouden het dan wel moeielijk maken op een punt te richten, waarvan men de zekerheid had, dat het steeds hetzelfde punt was: maar deze zwarigheid zou door het vermenigvuldigen der waarnemingen wel te overwinnen zijn. Zoo doende zou men dan, ziende in hoeveel tijd een vlek in het middelpunt der zonneschijf terugkeerde, en daarbij in rekening brengende hoeveel men zelf zich in dien tijd met de aarde om de zon had bewogen, tot eene vrij nauwkeurige bepaling kunnen geraken. Nu echter die vlekken zelve zich bewegen, wordt de zaak meer ingewikkeld.

Wat deze eigene beweging aangaat kunnen wij mededeelen, dat zij hoogst onregelmatig is. Ontleden wij die in hare samenstellende deelen, ééne beweging evenwijdig aan, en ééne loodrecht op den evenaar der zon, dan vertoont de eerste ten minste nog deze regelmaat, dat telkens, wanneer een nieuwe vlek ontstaat of een oude door eene of andere van de zon uitgaande kracht als het ware weder schijnt te herleven, deze plotseling een eind weegs schijnt te worden voortgedreven in de richting, waarin de zon zich wentelt. De tweede echter is uiterst grillig. Op een grooteren afstand dan 50° aan weerszijde van den evenaar heeft men, op eene of twee uitzonderingen na, nog nooit een vlek waargenomen; evenzoo werden zij zeer zelden gezien op een afstand van die lijn kleiner dan 5°.

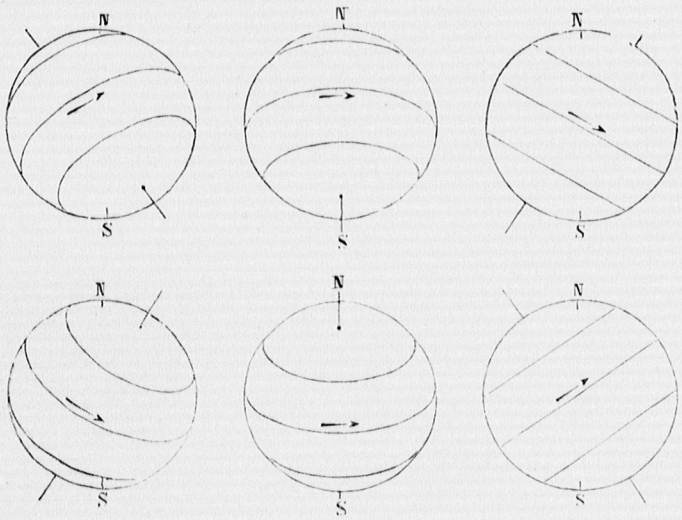
Intusschen schijnen alle, die minder dan 20° aan weerszijde van den evenaar zijn verwijderd, eene neiging te hebben om zich naar den evenaar te bewegen, terwijl de verder afgelegene meer bepaaldelijk de polen schijnen te naderen. Toch is er, wanneer men de resultaten nagaat, die voor elken breedtegraad afzonderlijk zijn verkregen, zooveel willekeurigs in deze verplaatsingen van en naar den evenaar, dat het niet overtollig kan geacht worden dat wij ons bij hare bespreking zeer voorzichtig hebben uitgedrukt. Gaat men eene en dezelfde vlek bij haar gang van den eenen rand naar den andere nauwkeurig na, dan blijkt het maar al te dikwijls dat hare baan eene zeer samengestelde kromme lijn is, waarop zij zich nu eens naar den evenaar keert en dan weder zich daarvan afwendt; zoodat wij dan met recht mogen zeggen, dat de oppervlakte der zon den waarnemer geen punt aanbiedt, waarop hij, als op een vast punt, ter bepaling van den omwentelingsduur der zon zijne aandacht uitsluitend kan vestigen. Slechts langdurig voortgezette waarneming van een groot aantal vlekken maakt het mogelijk materiaal te verzamelen, uit welks bewerking met eenige zekerheid een resultaat kan worden afgeleid.

Aan den ijver en de volharding van vele sterrekundigen, en daaronder in de eerste plaats van CARRINGTON, SPÖRER en SECCHI, zijn wij het verschuldigd, dat in een betrekkelijk klein aantal jaren een zoodanig materiaal is verkregen. Uit hunne waarnemingen blijkt ten duidelijkste, dat niet alle deelen der zon dezelfde omwentelings-snelheid hebben; dat deze aan den evenaar hare grootste waarde bereikt en, ten minste tot daar waar vlekken zijn gezien, afneemt naarmate men zich van den evenaar verwijdert. Zoo bedraagt, bij voorbeeld, volgens CARRINGTON, de boog, dien een punt op een dag doorloopt, aan den evenaar 14° 27′, en op eenen afstand van 20° aan weerszijde van den evenaar slechts 14°. Op dit allergewichtigst resultaat, waaruit ongetwijfeld volgt dat de oppervlakte der zon, zooals die door ons wordt gezien, niet de oppervlakte van een vast lichaam zijn kan, komen wij later nog terug. Thans zij nog slechts opgemerkt, dat uit CARRINGTON'S waarnemingen een gemiddelde omwentelingsduur der zon van 25,38 dag volgt. Volgens SPÖRER en SECCHI daarentegen zou een omwenteling slechts 25,234 dag duren. Dit verschil, dat te groot is dan dat het aan fouten in de waarnemingen kan worden toegeschreven, kan alleen verklaard worden uit de omstandigheid dat die van CAR-

RINGTON gedurende de jaren 1856 en 1857, die der laatste sterrekundigen daarentegen in 1862—1865 zijn gedaan. Het toont dan dat de omwentelingsduur der zon niet standvastig is, dat hij in het tusschenliggend tijdperk is afgenomen.

De as, waarom de zon deze hare omwenteling volbrengt, staat niet loodrecht op het vlak, waarin de aarde om de zon loopt. Ook dit leert ons de weg, dien de vlekken over de slechts schijnbaar platte zonneschijf afleggen. Deze heeft niet in alle jaargetijden dezelfde gedaante; nu eens is zij een kromme lijn die hare bolle zijde naar boven, dan weder eene die hare bolle zijde naar beneden gekeerd heeft; slechts op twee tijdstippen gedurende het jaar is zij een rechte lijn. De hierbij gevoegde teekening (fig. 4) doet ons zien dat de weg

Fig. 4



van een vlek zich inderdaad in die verschillende gedaanten moet voordoen, wanneer zij zich bevindt op de oppervlakte van een bol, wiens as van omwenteling niet loodrecht staat op het vlak, waarin zich het oog rondom hem beweegt.

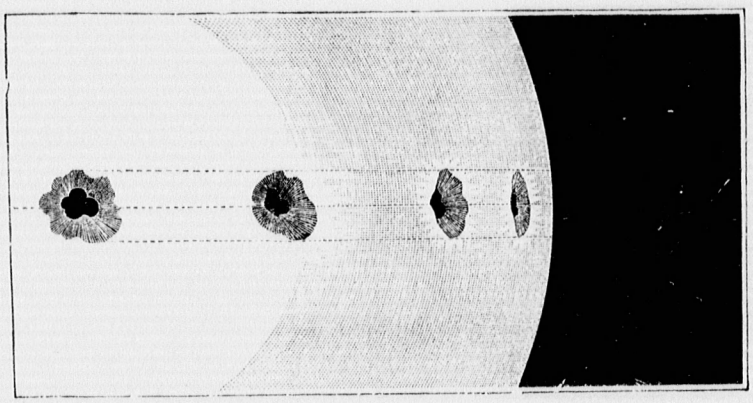
In de maand Juni ziet het de zon in den derden stand; de banen der vlekken doen zich nu voor als rechte lijnen, en de polen der zon liggen beide in den rand der schijf; hetgeen ons tevens een bewijs is dat de lijn, van ons oog naar het middelpunt der zon getrokken,

door haren evenaar gaat. Hetzelfde verschijnsel neemt men een half jaar later, in de maand December, weder waar; doch dan van de andere zijde. Bij het doorloopen van die helft onzer baan hebben wij haar in de verschillende standen kunnen zien, waarin de bolle zijde der vlekken-banen naar de noordpool gekeerd lag: daarentegen ligt de holle zijde daarheen gekeerd, wanneer wij haar uit de verschillende punten van de andere helft onzer baan, in Februari en Maart, beschouwen.

Wij zien, dat de schuinsche richting der rechte lijnen, die de vlekken in de standen 3 en 6 beschrijven, ons een juiste voorstelling geeft van den hoek, dien de as der zon maakt met een loodlijn, op het vlak onzer loopbaan uit haar middelpunt opgericht. Deze hoek bedraagt volgens de waarnemingen van CARRINGTON 7° 15′, volgens die van SPÖRER en SECCHI slechts 6° 57′, zoodat wij hier wederom een dergelijk verschil aantreffen als boven in beider bepaling voor den omwentelings-duur.

Schenken wij thans, nu zij ons omtrent de eigen beweging der zon zooveel mogelijk hebben ingelicht, aan de zonnevlekken, om haarszelfs wil, al onze aandacht en wel in de eerste plaats naar aanleiding

Fig. 5.



van fig. 5, die tevens eene schematische voorstelling geeft van de algemeene gedaante van zulk een vlek, zooals die zich bij hare schijnbare beweging over de zonneschijf voordoet.

De meest naar de linkerzijde geplaatste afbeelding vertoont ons

haar, zoo als zij zich nabij het midden der schijf voordoet. Wij zien haar dan en face en merken op dat zij bestaat uit twee duidelijk van elkander onderscheiden deelen, die men de kern en de halfschaduw noemt. De eerste, die, zoo als haar naam dan ook te recht aanduidt, het midden der vlek inneemt, is van een veel donkerder tint dan de laatste en door deze als van een concentrieken rand omgeven. Deze halfschaduw steekt hier zeer scherp af bij den gelijkmatig verlichten achtergrond, waarop zij gezien wordt. Nadert de vlek echter den rand der zon, die, schoon in mindere mate dan door de figuur wordt voorgesteld, in helderheid van het midden verschilt, dan zien wij, dat in den onmiddellijken omtrek van de halfschaduw de lichtsterkte in den achtergrond niet zoo gelijkmatig is. Het blijkt dan dat de vlek omringd is door een krans van meer heldere stralen, die als uit het midden der vlek schijnen voort te komen of daarheen samenvloeien. Aan deze meer verlichte deelen heeft men den naam van fakkels gegeven. Men vindt ze overal op de oppervlakte der zon, ook buiten de onmiddellijke omgeving der vlekken, ja zelfs in die deelen harer oppervlakte, waar nooit vlekken worden waargenomen; maar hare waarneming kost veel inspanning, daar het oog, alleen wanneer volstrekt geen vreemd licht het treft, gevoelig genoeg is om ze op de sterk verlichte zonneschijf te onderscheiden.

Naarmate de vlek den rand nadert wordt zij smaller, terwijl hare afmetingen in de richting loodrecht op den evenaar dezelfde blijven. Bij de bolvormige gedaante der zon kon men dit niet anders verwachten. Maar wat daarbij merkwaardig is en door de figuur ook duidelijk wordt uitgedrukt, is de omstandigheid dat bij dit naderen van den rand de kern niet het midden der vlek blijft innemen. Zij schijnt daarbij langzamerhand de oostzijde der vlek te naderen, en ten laatste verdwijnt zij geheel op een oogenblik dat de halfschaduw nog zeer goed is waar te nemen. Dezelfde opeenvolging van verschijnselen nu wordt, maar in omgekeerde volgorde, waargenomen als een vlek aan den oostelijken rand der zonneschijf te voorschijn komt en door de wenteling der zon naar den waarnemer wordt toegekeerd. Zij doet ons zien, dat deze vlekken niet in hare geheele uitgebreidheid samenvallen met de buitenste oppervlakte der zon, terwijl wij later zullen zien, dat zij evenmin daarboven zich verheffen. Eene schijnbare gedaantever-

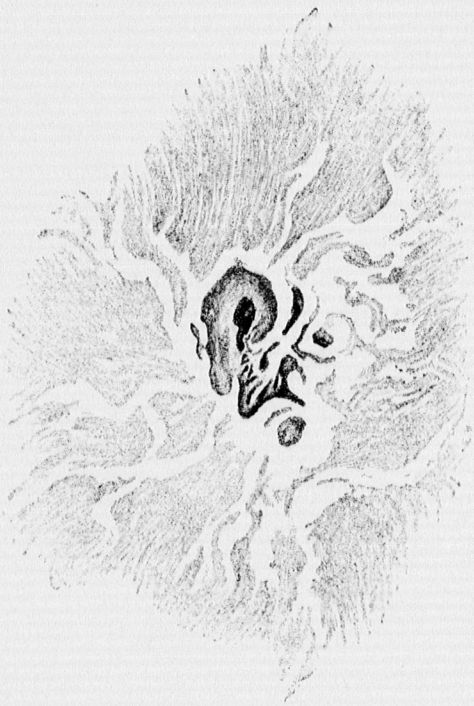
andering, als die zich hier aan ons voordoet, kan worden veroorzaakt door diepten in die oppervlakte, die den blik tot meer inwendig gelegene, minder lichtgevende lagen der zon doen doordringen. En men zou in de halfschaduw eene afteekening van de hellende wanden dezer diepten kunnen zien, indien niet de mate harer verlichting met eene zoo eenvoudige verklaring in tegenspraak was. Deze toch bedraagt slechts ongeveer de helft van de gemiddelde lichtsterkte der overige deelen van de oppervlakte; voor eene vlakte die alleen van buitenaf verlicht werd is zij daarom reeds te gering, veel meer dan nog voor eene die zelf ook lichtgevend is.

Men heeft getracht de diepte dezer holten in de photospheer — zoo noemt men gewoonlijk het omhulsel der zon — te bepalen. Volgens de metingen van WILSON zou die 6377 kilometers, d. i. minder dan een aardstraal bedragen; en deze uitkomsten worden door al de van latere sterrekundigen verkregene niet weêrsproken. Het zou echter verkeerd zijn hieruit het besluit te willen trekken, dat die diepte de eigenlijke dikte der photospheer voorstelt. Die metingen toch bepalen niets meer dan het verschil in niveau tusschen den buitensten en den binnensten rand der halfschaduw. Nam men aan, zooals dat vroeger algemeen geschiedde, dat het oog in de kern der vlek de donkere kern der zon zelve aanschouwde, dan zou dit verschil inderdaad aan de dikte der photospheer gelijk zijn. Zijn echter, zooals wij later zien zullen, die zwarte vlekken niet anders dan ophoopingen van minder lichtgevende dampen, die deze holten in de oppervlakte der zon aanvullen, dan leert dat niveau-verschil niets meer kennen dan de diepte waarop het licht der photospheer niet meer door die gassen dringt.

Ook is de stralenkrans, die de halfschaduw omgeeft en die, zooals wij boven reeds opmerkten en in fig. 5. schematisch voorstelden, aan den rand der zon eerst recht zichtbaar wordt, verheven boven de haar omringende oppervlakte. In fig. 6 geven wij eene afbeelding van een groep vlekken en de haar omringende fakkels, zooals die den 14den Februari 1865 door CHACORNAC is gezien. Even als de wanden van een krater uitsteken boven den mond, zoo verheft zich die krans van fakkels boven de halfschaduw. Zoo nam ook gedurende het jaar 1866 SECCHI twee vlekken waar, omgeven van fakkels, die, zeer nabij den rand der zon gekomen, ongeveer een sekonde boogs boven

het niveau der halfschaduw uitstaken. Dat daarentegen de halfschaduwen zelve de voorstellingen zijn van uitgestrekte verdiepingen in de oppervlakte der zon, toonde denzelfden sterrekundige onder anderen de beschouwing van een groote vlek, die den 30^{en} Juli 1865, 's morgens, tusschen 9 en 11 uur, bij haar verdwijnen aan den westelijken rand der zon werd waargenomen. Uit zijne afbeeldingen zoowel, als uit de door TACCHINI gelijktijdig vervaardigde, blijkt ten duidelijkste, dat de onmiddellijke omgeving der kern lager ligt dan de gemiddelde oppervlakte der photospheer. De cirkelboog, die, ter plaatse waar de vlek zich bevindt, de voortzetting vormt van den eigenlijken omtrek der zonneschijf, verheft zich zelfs nog boven de zoo even genoemde, door de fakkels gevormde, wanden. En zulk eene verdieping of verhooging, als die door ons onder een hoek wordt gezien van een sekonde, heeft in de werkelijkheid nog eene afmeting van 720 kilometers.

Fig. 6.



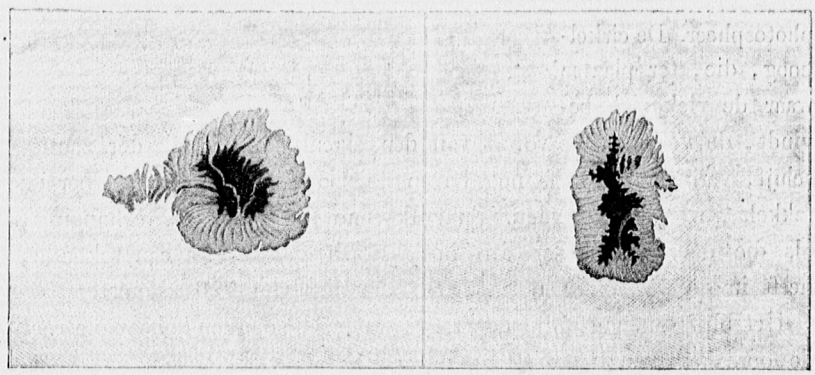
Het blijft nu nog altijd de vraag, wat wij te denken hebben omtrent de oorzaken van het ontstaan dezer zich als vlekken aan ons voordoende diepten in de oppervlakte der zon. Ten einde tot een antwoord te geraken, dat zoo voldoende als mogelijk is rekenschap geeft van de waargenomen verschijnselen, willen wij in de eerste plaats dat ontstaan zelf beschrijven. Daarbij geven wij liefst het woord aan den man, onder wiens oogen als het ware gedurende een reeks van

jaren al de veranderingen hebben plaats gehad die op de oppervlakte der zon zijn voorgevallen, aan den directeur van het observatorium te Rome, den reeds meermalen door ons genoemden pater SECCHI.

"De tijd," zoo zegt hij, "die noodig is voor het ontstaan en het zich geheel ontwikkelen van een vlek, is buitengewoon verschillend; daarin bestaat volstrekt geen regelmaat, aangezien sommige vlekken zeer langzaam zich vormen, andere daarentegen bijna plotseling ontstaan. Toch merkt men, als men dagelijks de zon met aandacht waarneemt, op, dat, hoe snel ook soms de ontwikkeling eener vlek moge plaats hebben, zij toch nooit in een oogenblik afloopt.

Altijd wordt het optreden eener vlek eenige dagen te voren aangekondigd; men bespeurt dan in de photospheer een grootere beweging, die zich kenbaar maakt door het smaller worden van de lichtgevende lagen, die tusschen de kleine, poriën genaamde, vlekken zijn gelegen. Deze poriën zelve schuiven in den beginne met groote snelheid heên en weêr, tot er een onder haar is, die de overhand schijnt te krijgen en in een wijde opening overgaat. In het eerste oogenblik van deze ontwikkeling vertoont zich nog geen begrensde halfschaduw; die komt eerst langzamerhand en voortdurend duidelijker te voorschijn

Fig. 7.



en wordt regelmatiger naarmate de vlek zelve meer en meer de rondachtige gedaante aanneemt (Fig. 7.).

Zoo rustig en vreedzaam grijpt echter dit verschijnsel slechts dan plaats, als er rust schijnt te heerschen in de atmospheer der zon; in den regel geschiedt de vorming van een vlek op een veel meer storm-

achtige en ingewikkelde wijze. Als voorbeeld noemen wij een vlek, die den 30^{en} Juli 1865 verscheen. Den 28^{en} zag men op de plaats waar zij ontstaan is niets bijzonders, noch poriën, noch fakkels; den 29^{en} vertoonden zich slechts drie zwarte punten. Den 30^{en} echter, 's morgens om half elf, zag men rondom het middelpunt der zonneschijf een geweldig groote vlek. De middellijn van de omgewoelde massa vertoonde zich onder een hoek van 76 sekonden en was dus ongeveer vier-en-een-half maal zoo groot als de middellijn der aarde. In het midden zag men eene opeenhooping van lichtgevende stof, die zich in een draaiende beweging scheen te bevinden en omgeven

Fig. 8.

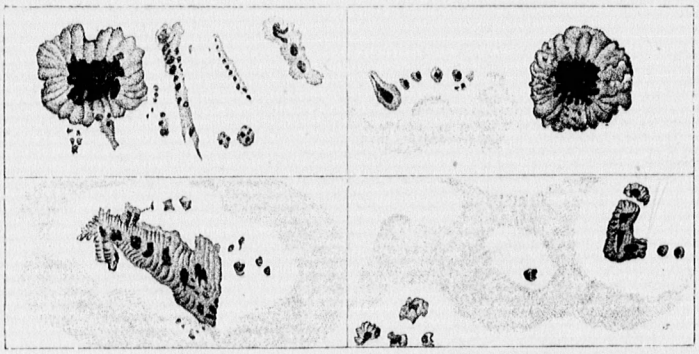


was van talrijke spleten. Alles in de vlek bevond zich in stormachtige en snelle beweging; hare afbeelding werd zoo spoedig mogelijk ver-

vaardigd, en toch was zij nog niet geheel gereed toen het uiterlijk van het eerst afgeteekende gedeelte reeds geheel was veranderd."

Fig. 8 geeft, naar de waarnemingen door DAWES op den 27en, 29en en 31en October en den 2en November 1859 gedaan, eene voorstelling van de gedaanteverandering, die eene vlek in dien korten tijd onderging; terwijl fig. 9, naar waarnemingen van PASTORFF, eene afbeelding levert van de gedaanteveranderingen door twee ver-

Fig. 9.



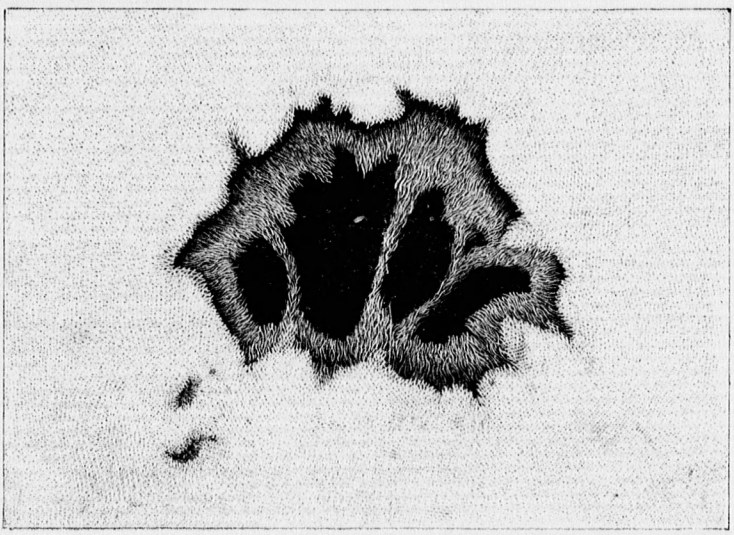
schillende, gelijktijdig op de zonneschijf voorkomende groepen van vlekken gedurende eene omwenteling ondergaan.

Deze gedaanteveranderingen worden in den regel, wanneer een vlek eenigen tijd heeft bestaan, daardoor veroorzaakt, dat de lichtgevende stof, die uit de omgevende photospheer naar de kern der vlek schijnt toe te stroomen, deze geheel overbrugt en zoodoende haar de ronde gedaante doet verliezen, die hare normale schijnt te zijn. Zoodanige bruggen ziet men ook reeds in onze figuur 7; zij schijnen soms in den vorm van staande bogen boven de kern der vlek te zweven. In fig. 10 zien wij zeer duidelijk hoe deze zoogenaamde bruggen uit de halfschaduw voortkomen.

Deze figuur, die vervaardigd is naar waarnemingen door NASMYTH gedaan met een kijker van groot vermogen, leert ons in verband met de vorige die halfschaduw eerder beschouwen als eene samenvoeging van lichtbundels of vlammen dan als de helling van de wanden der de kern omgevende photospheer. In den aanvang zich als ombuigende naar den bodem der vlek, schijnen die lichtbundels, op het oogenblik

dat de vlek zich gaat oplossen, over de gapende opening heen te schieten. De beste afbeeldingen, naar waarnemingen met sterk vergrootende kijkers vervaardigd, steunen deze opvatting. Als de vlek nog geheel die regelmatige gedaante heeft, die in figuur 7 is voorgesteld, bezit de inwendige omtrek van de halfschaduw, die de kern onmiddellijk omgeeft, grootere lichtsterkte dan hare meer uitwendig gelegen deelen; ja zelfs overtreft zij daar dikwijls in dit opzicht de

Fig. 10.

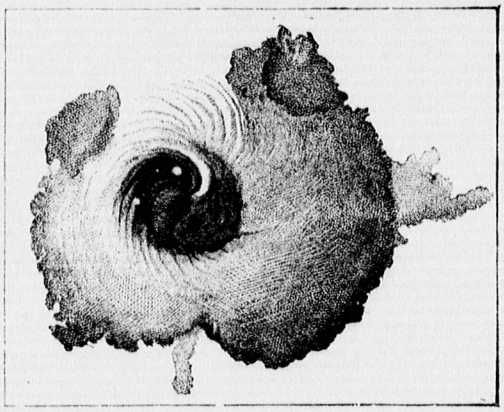


eigenlijke photospheer. Dit verschil schijnt ons daardoor te ontstaan, dat de uiteinden dier lichtbundels naar het midden aan elkander sluiten, terwijl zij daarentegen aan den rand nog ver genoeg van elkander zijn verwijderd om, door de tusschenruimten heen, den blik te doen doordringen in de donkere holte.

Evenzoo zijn de resultaten van de nieuwere waarnemingen in strijd met de vroegere opvatting omtrent het volkomen gemis aan lichtsterkte der kernen. Wanneer Mercurius voorbij de zon gaat, dan schijnt de kern zelfs helder in vergelijking met het zwarte schijfje onder welks gedaante zich de planeet projecteert op de zonneschijf. En bij den aanvang eener zonsverduistering, als de maan achtereenvolgens de zonnevlekken bedekt, is de lichtsterkte der kernen betrekkelijk veel

grooter dan die van het naar ons gekeerde halfrond der maan, dat dan toch nog teruggekaatst zonnelicht ontvangt van dat groot gedeelte van de halve oppervlakte der aarde, voor hetwelk de zon niet verduisterd is. Ook is het inwendige eener vlek niet zoo gelijkmatig donker als men vroeger meende. Men ontdekt daarin bij nadere beschouwing zoowel punten die donkerder zijn dan het geheel, als dunne lichtsluiers, die soms kleurloos, veelal echter rooskleurig zijn. "Op den 23sten Juni 1866 onderzochten wij," zoo beschrijft SECCHI een zijner waarnemingen, "eene ∞ vormige vlek; twee uitstortingen van helder blinkende tongen golfden van het eene deel over naar het andere en schenen de vlek door een brug te willen deelen. Vijftig minuten later waren de uiteinden der vurige tongen toegespitst, en nog tien minuten later zag men door den kijker, hoe zij in roode sluiers werden veranderd. Eindelijk verdwenen ook deze, en er bleef niets meer over dan een enkele vlammen-bundel, die lager was dan in het begin. Het lijdt alzoo geen twijfel dat de lichtgevende massa der photospheer werkelijk omgezet en opgelost wordt in deze roode sluiers."

Fig. 11.



Van dit toestroomen der haar omgevende photospherische stof in de holte, door de kern voorgesteld, geeft ook de vlek een treffend voorbeeld, die door SECCHI te Rome en FEARNLY te Christiania gelijktijdig op den 5en Mei 1854 werd waargenomen (fig. 11).

In haar midden vertoonde zich alles in een snelle, ronddraaiende beweging; tallooze spiraalswijze gevormde vlammen woelden in hare kern rond, en twee uren later was zij volkomen opgelost.

Voegen wij hier nu nog bij, dat zeer vele vlekken voorzien zijn van een staart, zooals die bij eene der in fig. 7. afgebeelde vlekken duidelijk wordt waargenomen, welke staart zich steeds bevindt aan

de oostzijde der vlek, dat is aan de zijde afgewend van die waarheen de zon zich wentelt: dat daarenboven in 584 van de 1137 door WARREN DE LA RUE photographisch opgenomen gevallen de fakkels rondom de vlek aan de westzijde meer samengedrongen en helderder zijn, aan de oostzijde daarentegen meer verspreid liggen, dan zien wij ons door de verschijnselen gedrongen tot het besluit, dat de photospheer uit eene opeenhooping van dikke, in gloeienden toestand verkeerende nevels moet zijn samengesteld. Reeds boven zagen wij dat de vlekken steeds in de richting, waarin de zon zich wentelt, eene eigene beweging hebben. Die opeenhooping van fakkels aan hare voorzijde en die vorming van een staart aan de achterzijde wijzen er op, dat zij in die beweging door een wederstand biedende middenstof worden belemmerd.

Zooals de zon met hare oneffene, rimpelige oppervlakte door ons gezien wordt, zoo zou ook de aarde, als zij rondom van wolken omgeven was, die, niet zooals nu uit waterdamp, maar uit gloeiend gas bestonden, zich moeten voordoen aan iemand op grooten afstand buiten haar geplaatst. Hetzij door heftige beroeringen in het binnenste der zon, die maken dat de photospheer op sommige plaatsen verscheurd wordt, hetzij door draaikolken en cyclonen, die in de photospheer zelve ontstaan, worden daarin holten gevormd, waarin de omgevende stof zoolang met kracht zich nederstort, tot het evenwicht is hersteld. De buitengewone snelheid, waarmede de vlekken dikwijls van vorm veranderen, behoeft bij deze onderstelling, evenmin als de gedaanteveranderingen in onze atmospheer, uitsluitend toegeschreven te worden aan eene eigene beweging der stof. Evenals door plotselinge temperatuursveranderingen en daardoor ontstane condensatie of oplossing van waterdamp een heldere hemel plotseling bewolkt kan worden, of een bewolkte in korten tijd kan opklaren, zoo kan ook, zonder dat in eigenlijken zin eenig deel van de photospherische stof zich van zijne plaats heeft bewogen, door soortgelijke oorzaken deze aan een buiten haar geplaatsten waarnemer het schouwspel van de meest heftige en snelle bewegingen aanbieden.

Zoo zien wij ons dan weder op eens verplaatst op zuiver speculatief gebied. Want, hoezeer ook, vooral ten gevolge van de waarnemingen der laatste jaren, onze bekendheid met de verschijnselen moge vermeerderd zijn, zij is nog verre van toereikend, om zonder

aarzeling uitspraak toe te laten over hare oorzaken. Zooveel staat vast, dat de vlekken holten zijn in een gas- of liever dampvormige photospheer; elke theorie dus, die de redenen waarom wij haar op de zon waarnemen verklaren wil door ophoopingen van stof buiten die photospheer, komt met dit resultaat der jongste onderzoekingen in onmiddellijke tegenspraak. Niet slechts toch de boven door ons vermelde en in fig. 5 voorgestelde regelmatige gedaante-verandering der vlekken bij het naderen van den rand der zon toont ons dit. Deze verplaatsing der kern met betrekking tot den omtrek der halfschaduw leert slechts dat die vlekken holten zijn, wier schijnbare diepte WILSON heeft gemeten; of zij juist holten zijn *in* de photospheer, daaromtrent vertelt zij ons echter niets bepaalds. Een trechtervormige opening *boven* die oppervlakte zwevende en gevuld met minder lichtgevende dampen of met licht absorbeerende gassen zou een zoodanige schijnbare gedaanteverandering ook vertoonen. Maar de metingen van CARRINGTON en van SECCHI zijn daar om te bewijzen dat dit laatste het geval niet zijn kan; dat de bodem eener vlek beneden het niveau der photospheer is gelegen, dat hare opening daarentegen in de oppervlakte ligt.

Op deze omstandigheid nu hebben, bij het opbouwen hunner theoriën, KIRCHHOFF, ZÖLLNER, REIJE en al diegenen niet voldoende acht geslagen, die de oorzaken der vlekken stellen in streken hooger dan de oppervlakte der photospheer gelegen. Als KIRCHHOFF het verschijnsel veroorzaakt acht door wolken, die in een uitgestrekten dampkring der zon worden gevormd door de verkoeling en verdichting van opstijgende dampen; als ZÖLLNER het verklaren wil door uitgestrekte eilanden, die als de slakken op een gesmolten erts in de photospheer drijven, eilanden waarboven, door de geringere mate van verwarming, de gassen verdicht worden en door hunne inkrimping een voortdurend toestroomen van de omgevende photospheer te voorschijn roepen; als REIJE in den dampkring der zon, door de overmaat van warmte waar hij met een fakkel in aanraking is, hoozen en cyclonen laat ontstaan, waarin dampen als worden opgezogen, die in hoogere streken gekomen afkoelen en ondoorschijnend worden, dan houden al deze natuuronderzoekers bij hunne beschouwingen geen voldoende rekenschap met het algemeen erkende feit, dat de photospheer op de plaats, waar vlekken worden gezien, in plaats van verhevenheden

diepten vertoont. Reeds de omstandigheid dat, waar een vlek aan den westelijken rand der zon verdwijnt, evenzoo in plaats van een verhevenheid boven den omtrek eene inzinking daar beneden wordt gezien, moet voor de onhoudbaarheid hunner theoriën pleiten.

Wat daarenboven onder de genoemde theoriën vooral die van ZÖLLNER ons onaannemelijk doet schijnen, is de in haar vervatte hypothese, dat de photospheer een vloeibare massa zou zijn, waarin bij hare temperatuur niet smeltbare stoffen als slakken zouden rondrijven. In de eerste plaats, wanneer die vlekken werkelijk dergelijke door verkoeling ontstane stoffen verbeeldden, zou men mogen verwachten, dat zij bij voorkeur in de koudere streken der zon werden aangetroffen. In strijd hiermede neemt men haar bijna uitsluitend waar in de nabijheid van den evenaar, waar de temperatuur der photospheer haar hoogste punt schijnt te bereiken. In de tweede plaats, als men de zon moet beschouwen als een lichaam dat ten gevolge van de warmte niet meer dan vloeibaar is, dan is het niet te begrijpen hoe zij zoo lang in dien toestand kan blijven bestaan. Die vlekkenvorming is dan reeds gedurende eeuwen een voorbode geweest van de treurige omstandigheid, dat de zon weldra met een ondoorschijnende korst zou moeten bedekt worden. Dat een lichaam, aan welks temperatuur die vlekken weken, ja soms maanden weêrstand bieden, tegelijk dagelijks eene zoo groote hoeveelheid warmte zou kunnen uitstralen, zonder daardoor merkbaar in uitstralend vermogen af te nemen, zijn twee tegenstrijdige zaken, die wij niet met elkander weten in overeenstemming te brengen. Wie bedenkt, in hoe korten tijd een gloeiend of zelfs een gesmolten lichaam afkoelt, als men het niet voortdurend de warmte teruggeeft die het uitstraalt, zal zich de photospheer alleen in den gasvormigen toestand kunnen denken. Bij dien toestand alleen is het mogelijk dat stroomen, die uit het binnenste der zon opstijgen, aan haar oppervlakte in ruil voor de uitgestraalde warmte die teruggeven, welke in dat binnenste door de langzame inkrimping van hare geheele massa vrij wordt.

Dit denkbeeld, dat de zon in haar geheel een gasvormig lichaam moet zijn, is bijna gelijktijdig geopperd door SECCHI en door FAIJE. Beiden hebben daarvan uitgaande eene theorie opgebouwd, die behalve in dit opzicht nog daarin onderling overeenstemmen, dat door beiden de vorming der vlekken wordt geplaatst *beneden* de oppervlakte der

photospheer. Verder echter gaat de overeenkomst niet; want terwijl de eerstgenoemde sterrekundige aanneemt dat de inhoud der holten van een hooger temperatuur is dan die der omgeving, schrijft de laatste daaraan een lagere temperatuur toe.

SECCHI meent dat de vlekken ontstaan door uitbarstingen van gassen, die van het inwendige der zon zich met geweld een uitgang banen naar hare oppervlakte. Zoodra deze gassen buiten de photospheer komen en dus een minder groote drukking ondervinden, zetten zij zich uit. Daar nu deze uitzetting gepaard gaat met afkoeling en verdichting der omringende atmospheer, ontstaat er een ijl, dat door toestrooming van de photospherische stof wordt aangevuld. Op deze wijze verklaart men op zeer voldoende wijze de gedaante der halfschaduw, de in vele gevallen opgemerkte spiraalwijze winding van den inhoud der vlekken en de wijze waarop deze langzamerhand worden opgelost en verdwijnen. Ook het weinig lichtgevend vermogen der kern verklaart SECCHI, en wel door er op te wijzen hoe bij al onze lichtbronnen dit vermogen daarvan afhangt, of er veel dan weinig in gloeienden toestand verkeerende vaste stofdeeltjes in de vlam aanwezig zijn. Wanneer de omringende photospheer, waarin, zooals wij later gelegenheid zullen hebben optemerken, gloeiende metaaldampen in min of meer verdichten toestand voorkomen, en die aan deze hare lichtkracht ontleent, stroomt in die holten, waar een veel hoogere temperatuur heerscht, worden deze dampen weder in ware gassen veranderd van een veel minder lichtgevend vermogen, die nog daarenboven een groot gedeelte van het licht absorbeeren, dat van de dieper liggende deelen der photospheer uitgaat.

Voor eene eenigszins voldoende verklaring van de eigen beweging der vlekken is echter in de theorie van SECCHI geen voldoende plaats. Hij tracht haar daardoor te geven, dat hij, schoon onder voorbehoud, aan de inwendige massa der zon eene grootere rotatie-snelheid toekent dan aan hare photospheer; de uitbarstingen, die de vlekken veroorzaken, zouden de gassen met deze snelheid aan de oppervlakte brengen, waar zij die nog gedurende een korten tijd behouden en dus met betrekking tot hare omgeving zich in den zin der wenteling voortbewegen zouden. Ook zou men kunnen aannemen, dat de lager gelegen deelen der zon alle dezelfde omwentelings-snelheid hebben als die de photospheer heeft aan den evenaar; eene snelheid dus die,

zooals wij boven zagen, grooter is dan onder eenigszins verwijderde parallel-cirkels. Daar aan den evenaar zelf weinig vlekken met nauwkeurigheid zijn waargenomen, is deze laatste onderstelling ten minste met geene bekende verschijnselen in tegenspraak.

In dit opzicht zeker boven die van SECCHI te verkiezen is de theorie van FAIJE, waarin het verschijnen van vlekken op de zon wordt toegeschreven aan cyclonen, die worden gevormd in de photospheer der zon zelve. Doordien in haar naast elkander stroomen gaan, die met verschillende snelheid zich voortbewegen, voldoet deze aan alle voorwaarden voor de vorming en het gedurende geruimen tijd voortbestaan dier draaikolken.

Als men aan een klein gedeelte van een vloeistof, die in rust is of zich in haar geheel voortbeweegt volgens een rechte lijn, een draaiende beweging geeft om een vertikale as, dan vormt zich in hare oppervlakte een kegelvormige verdieping, die echter spoedig weder verdwijnt als men de draaiende beweging niet door eene of andere oorzaak voortdurend onderhoudt of telkens weder opwekt. Zulk een oorzaak nu is voorhanden, zoodra de verschillende naast elkander gelegen waterdeeltjes niet met dezelfde snelheid vooruitgaan. In dat geval wordt de draaiende beweging veroorzaakt en onderhouden ten koste van dit verschil in snelheid, en de kegelvormige holte strekt zich hoe langer zoo meer naar beneden uit, naarmate de omringende waterdeeltjes in de richting van de as schuins toevloeien. Reeds in een stroomend water ziet men, ten gevolge van deze oorzaak, tal van zulke kegelvormige verdiepingen ontstaan. In onzen dampkring, waar onmetelijke stroomen luchts zich met eene van parallel tot parallel veranderende snelheid naast elkander voortbewegen, nemen zij die geweldige afmetingen aan, waaronder zij daar als cyclonen zich aan ons vertoonen. De verdichting van den waterdamp, die de van boven in de trechtervormige opening toestroomende lucht door hare lagere temperatuur in de meer benedenwaarts gelegene luchtlagen te weeg brengt, maakt hem daar zichtbaar.

Op deze wijze dacht zich nu FAIJE het ontstaan van dergelijke draaikolken in de photospheer der zon, waar, zooals wij boven reeds zagen, in de verschillende snelheid van de naast elkander gelegene stroomen evenzoo de oorzaken van dat ontstaan zijn gelegen. De halfschaduwen worden volgens hem veroorzaakt door de temperatuurs-

verlaging, die de draaikolken rondom zich te weeg brengen, en wel zóó, dat de lage temperatuur van de buitenste laag, waar de verdichting der lichtgevende dampen plaats heeft, tot eene zekere diepte doordringt en de photospheer rondom de vlekken beneden het gemiddelde niveau zinken doet.

Wat vooral pleit voor FAYE'S theorie is, dat in vlekken, wier halfschaduw een spiraalvormige structuur hebben, volgens de beste engelsche waarnemingen de winding dezer spiralen zoo is, als zij volgens die theorie moet zijn, dat wil zeggen overeenkomstig met de richting waarin de zon om hare as zich wentelt. Immers, indien het verschil in de snelheid der verschillende stroomen draaikolken in hare oppervlakte veroorzaakt en onderhoudt, dan zal, daar die snelheid aan den evenaar haar maximum bereikt en naar de polen afneemt, in het noordelijk halfrond die winding steeds moeten worden gezien in den zin tegenovergesteld aan dien, waarin zich de wijzers van een uurwerk bewegen. Wie zijne theorie bestrijden, worden dan ook steeds door hem uitgedaagd tot het mededeelen van gevallen, waarin de winding tegenovergesteld is. Met goed geconstateerde waarnemingen van eenige zoodanige gevallen valt, ook volgens hem, zijne theorie; hij zou, had hij zoodanige gekend, er zelfs niet aan gedacht hebben haar op te stellen.

Wij zullen later, als andere met de vlekken in verband staande verschijnselen door ons zijn onderzocht en besproken, overvloedige gelegenheid hebben om de mate van waarschijnlijkheid der beide theoriën te beoordeelen.

Voorshands merken wij met eenige bevreemding op, dat in geen der theoriën rekening wordt gehouden met een toch met groote nauwkeurigheid geconstateerd feit: het feit namelijk, dat er een bepaalde periode is op te merken in de terugkeer der vlekken wat hare menigvuldigheid betreft. Ook in dit opzicht zijn er vette en magere jaren; en aan den Anhaltschen Hofrath SCHWABE, die van het jaar 1826 tot het jaar 1868 zooveel mogelijk dag aan dag de zon waarnam, danken wij een lijst van zonnevlekken zóó volledig, dat zij ons de afwisseling dier jaren als in een oogopslag vertoont. Wie die lijst doorziet bemerkt ten duidelijkste, dat telkens in een tijdruimte van ongeveer tien jaren maxima en minima in het aantal der vlekken afwisselend elkander opvolgen.

Wij laten hier eene opgave volgen, die het resultaat is van eene vergelijking door WARREN DE LA RUE gemaakt tusschen de opgaven door SCHWABE, CARRINGTON en het observatorium te *Kew* verstrekt.

	Dagen waarop is waargenomen.	Aantal vlekken.		Dagen waarop is waargenomen.	Aantal vlekken.
1826	277	118	1848	278	**330**
7	273	261	9	285	238
8	282	**225**	50	308	186
9	244	199	1	308	141
30	277	190	2	337	125
1	239	149	3	299	91
2	270	84	4	334	67
3	267	**33**	5	313	38
4	273	51	6	321	**34**
5	244	173	7	324	98
6	200	272	8	335	202
7	168	**333**	9	343	205
8	202	282	60	332	**211**
9	205	162	1	322	204
40	263	152	2	317	160
1	283	102	3	330	124
2	307	68	4	325	130
3	312	**34**	5	307	93
4	321	52	6	349	45
5	332	114	7	312	**25**
6	314	157	8	301	101
7	276	257			

WOLF, die met groote volharding alle waarnemingen uit vroegeren en lateren tijd heeft verzameld en daaruit zoo nauwkeurig mogelijk de tijdstippen der maxima en minima afleidde, geeft voor het tijdsverloop dat deze tabel omvat de volgende aan:

Maximum	1829,5.	Minimum	1833,8.
"	1837,2.	"	1844,0.
"	1848,6.	"	1856,2.
"	1860,2.	"	1867,1.

met een waarschijnlijke fout in *plus* of *min.*, die tusschen 0.1 en 0.5 jaar begrepen is.

Uit deze opgave blijkt, dat het tijdsverloop

tusschen	het	1e	en	2e	maximum	bedraagt:	8.7	jaren.
„	„	2e	„	3e	„	„	11.4	„
„	„	3e	„	4e	„	„	11.6	„
„	„	1e	„	2e	minimum	„	10.2	„
„	„	2e	„	3e	„	„	12.2	„
„	„	3e	„	4e	„	„	10.9	„

en dat ieder maximum nader bij het voorgaande dan bij het volgende minimum ligt.

De waarnemingen van het laatste vijfentwintigtal jaren leveren een periode van ruim 11 jaar, en dit resultaat is daarom meer te vertrouwen, dat het aantal dagen in het jaar waarop de zon in dit tijdperk werd waargenomen, wegens het grooter aantal sterrekundigen, die zich op verscheidene plaatsen daarmede bezig hielden, ook grooter is dan in het tijdperk 1826—1842. Toch is het verschil te groot, dan dat het niet aan eene veranderlijkheid in de periode zou moeten toegeschreven worden; terwijl men daarbij niet moet uit het oog verliezen dat, nu de waarnemingen over langeren tijd loopen, het meer en meer blijkt hoe er eigenlijk twee perioden, de genoemde en eene die meer dan een halve eeuw omvat, gelijktijdig in te herkennen zijn. Voortgezette waarneming zal ons hieromtrent echter nog volkomen zekerheid moeten verschaffen.

DE SPECTRAAL-ANALYSE.

Toen wij in een vorige verhandeling omtrent den physischen toestand der zon datgene mededeelden wat hare vlekken ons daaromtrent leeren konden, stelden wij het, bijna aan het einde onzer beschouwingen gekomen, in het vooruitzicht, dat waarnemingen van gansch anderen aard ons, in verband met die beschouwingen, nadere inlichting zouden verschaffen. Thans, voornemens die waarnemingen te bespreken, gevoelen wij voor onze lezers en voor ons er behoefte aan vooraf een uitstapje te maken op een gebied, grenzende aan dat waarop wij tot dusverre ons bewogen. Om haar recht te kunnen begrijpen is toch een helder inzicht in de beteekenis van de jongste, door de natuurkunde verkregene resultaten volstrekt onmisbaar. Wij betreuren dit echter evenmin als wij er ons over verontschuldigen; waar die resultaten, ook buiten verband beschouwd met ons eigenlijk onderwerp, zoo belangrijk zijn als de hier bedoelde, daar grijpen wij die noodzakelijkheid aan als een ongezochte gelegenheid om ook langs dezen weg in wijderen kring bekendheid te verschaffen aan feiten, wier belangrijkheid misschien alleen geevenaard wordt door de snelheid, waarmede zij achtereenvolgens werden aan het licht gebracht. De spectraal-analyse toch, schoon nog geen vijftien jaren als zoodanig bekend en opzettelijk beoefend, heeft ons in dien korten tijd meer geheimen geopenbaard dan eeuwen van nauwlettend onderzoek bij het gebruik van andere hulpmiddelen in staat waren aan de natuur te ontwringen.

Zooals haar naam zelf reeds te kennen geeft is zij eene methode van onderzoek of, liever nog, van ontleding, die de beschouwing van het spectrum of kleurenbeeld tot grondslag heeft.

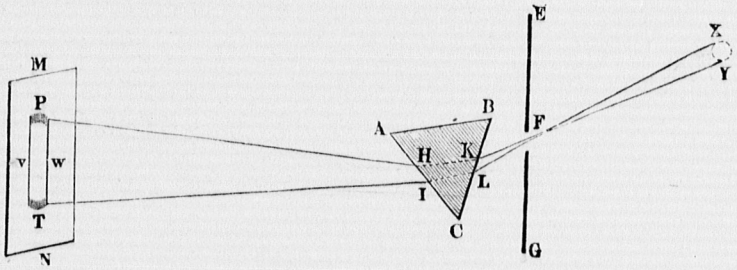
Omtrent dit laatste kunnen wij kort zijn. Iedereen toch weet, en wij behoeven het daarom hier slechts te herinneren, dat een bundel lichtstralen in het algemeen bij zijnen overgang van de eene middenstof in de andere gebroken wordt, dat wil zeggen, afwijken gaat van den rechten weg, dien hij tot zooverre in de ruimte volgde. Is het vlak, waar de lichtstralen het brekend lichaam treffen, evenwijdig aan dat waar zij het verlaten, dan heeft de doorgang geen ander gevolg dan dat de gansche bundel evenwijdig aan zich zelf eenigszins verschoven wordt. De richting waarin de stralen, als zij het lichaam hebben verlaten, dan voortgaan, zal niet afwijken van de oorspronkelijke, daar zij bij het uittreden evenveel van de loodlijn wordt afgeworpen als zij bij het intreden daarheen wordt gebogen. Door een spiegelruit met volkomen evenwijdige oppervlakken ziet men de voorwerpen in de richting, waarin zij werkelijk zich bevinden, omdat hun licht, het oog treffende, nog dezelfde richting heeft als waarin het op die ruit viel. Gansch anders is dit wanneer de beide vlakken met elkander een hoek maken, wanneer zij bij voorbeeld de aangrenzende zijvlakken zijn van een glazen prisma. De afwijking, die de stralen dan ondervinden bij het intreden, wordt in het algemeene geval nog vermeerderd bij het uittreden; het oog, dat zij treffen, ziet de voorwerpen, die ze uitzond, aanmerkelijk verplaatst naar den kant, waar de beide vlakken elkander snijden, en het ziet ze daarenboven van kleurige randen omgeven.

De bekendheid met dit laatste feit moet uit den aard der zaak reeds zoo oud zijn als het menschengeslacht; wanneer niet toevallige omstandigheden hun in de gelegenheid stelden het waar te nemen, dan stelde de natuur zelve in elken dauwdruppel het den mensch voor oogen. Zijne belangrijkheid voor de wetenschap heeft het echter eerst verkregen sedert, in het midden der zeventiende eeuw, NEWTON het maakte tot een voorwerp van opzettelijk onderzoek.

Door eene kleine opening F in het vensterluik EG (Fig. 12) eener geheel donkere kamer liet hij op een prisma ABC, wiens brekende kant loodrecht was op de richting der invallende lichtstralen, deze zóó invallen, dat de hoek, waaronder zij in KL het zijvlak BC trof-

fen, gelijk was aan dien, welken de uittredende stralen in HI met het zijvlak AC maakten. Hij verkreeg zoodoende op een wit scherm

Fig. 12.

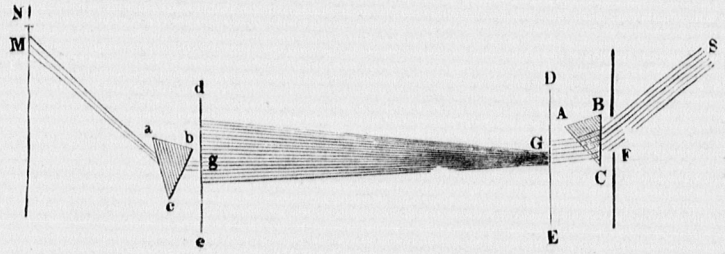


MN een beeld PT, dat in de lengte uitgerekt en aan de beide zijden door rechte lijnen scherp begrensd was. Aan de beide uiteinden daarentegen waren de ongeveer cirkelvormige grenzen onduidelijk; het scheen alsof het licht daar langzamerhand en tot verdwijnens toe in intensiteit afnam. Dit spectrum nu was over zijn geheele uitgestrektheid gekleurd: het was rood aan het uiteinde dat het minst, en violet aan dat hetwelk het meest buiten de oorspronkelijke richting der stralen lag; op de daartusschen gelegen plaatsen was het achtereenvolgens oranje, geel, groen, blauw en indigo gekleurd. NEWTON nu bewees in de eerste plaats, dat het verschijnsel veroorzaakt werd doordien het zonnelicht is samengesteld uit verschillend gekleurde stralen, die niet allen even breekbaar zijn en daarom door breking zich van elkander laten scheiden. Hiermede echter niet tevreden leverde hij ook het tegenbewijs; uit de verschillend gekleurde stralen van het kleurenbeeld stelde hij weder het witte licht samen, en om daarbij de zekerheid te erlangen dat gene inderdaad de *enkelvoudige* bestanddeelen van dit laatste zijn, overtuigde hij er zich van, dat zij noch door breking, noch door terugkaatsing verder te ontleden zijn.

In het scherm DE, (Fig. 13), waarop het spectrum was geworpen, maakte hij een opening G, die een bundel lichtstralen van een bepaalde kleur doorliet. Deze werd opgevangen op een tweede scherm *d e*, dat door een opening *g* weder slechts een deel doorliet van het licht, dat door de eerste daarop was gevallen. Voor deze opening nu plaatste hij een tweede prisma *abc*, waarin de stralen, die hij had doorgelaten, zóó werden gebroken dat zij op een derde scherm een beeld MN vormden. Bij deze tweede breking werd de kleur nooit

eenigszins veranderd, van welk gedeelte van het spectrum op het scherm D E het ook afkomstig was. Werd een deel van het roode licht ge-

Fig. 13.



broken, dan behield het volkomen dezelfde roode kleur; noch oranje noch geel, noch groen, noch blauw waren dan in het spectrum MN waar te nemen. Daar nu ditzelfde plaats had wanneer het eerste scherm uitsluitend licht doorliet van een andere kleur, welke ook, besloot NEWTON dat die kleuren, waarin door het prisma het witte zonlicht ontleed werd, inderdaad de *enkelvoudige* bestanddeelen van dat licht uitmaakten.

Bij al deze proeven bediende NEWTON zich van een bundel lichtstralen, die door eene ronde opening van betrekkelijk groote afmetingen in de kamer viel. Zoodoende verkreeg hij in plaats van een zuiver spectrum er een, waarin onderscheidene kleurenbeelden, die de lichtstralen van verschillende boven elkander gelegene punten der opening elk afzonderlijk vormen, over elkander waren gelegd; en het is aan deze omstandigheid toe te schrijven dat het spectrum hem steeds volkomen onafgebroken toescheen. Had hij, zooals WOLLASTON het eerst deed, het licht toegang verschaft door een zeer nauwe, met den brekenden kant van het prisma evenwijdige spleet, dan zou hij daarin, even als deze, die menigte van fijne zwarte strepen hebben opgemerkt, welke, sedert FRAUNHOFER omtrent haar, in 1814, zijne schoone onderzoekingen in het licht gaf, algemeen onder den naam van *Fraunhofersche strepen* bekend zijn. Die strepen toonen aan, dat het witte zonlicht niet uit een volkomen onafgebroken opeenvolging van ongelijksoortige enkelvoudige lichtstralen is samengesteld; dat daarentegen in dit licht sommige stralen van bepaalde breekbaarheid worden gemist.

Onwillekeurig rijst bij deze bevinding de vraag op naar het meer

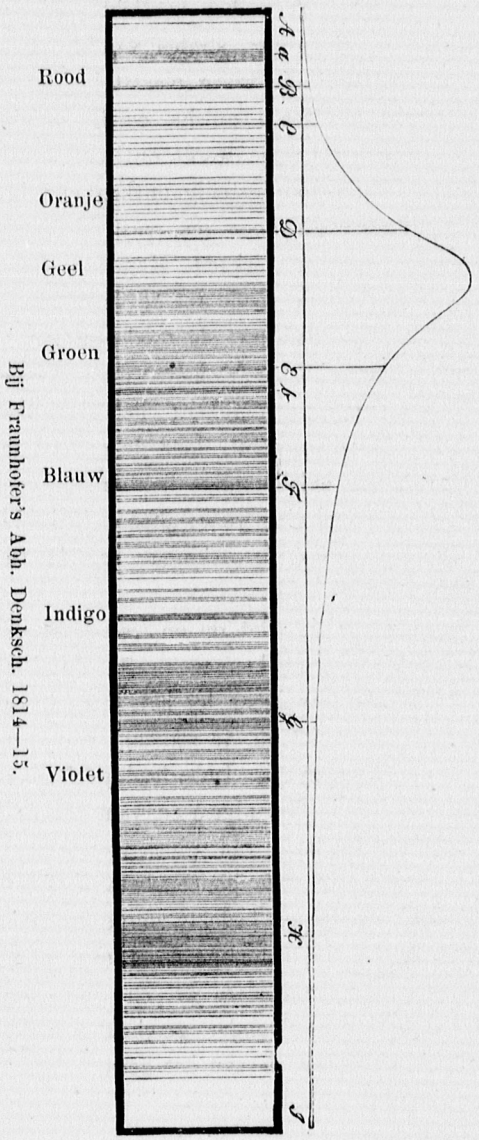
of minder algemeene dezer eigenschap; de vraag, of in de samenstelling van het witte licht, dat de verschillende lichamen in gloeienden toestand uitstralen, evenals in die van het zonlicht, schoon misschien in eenigszins gewijzigde verhouding, stralen van bepaalde breekbaarheid niet voorkomen. En naast die vraag plaatst zich deze andere, in hoeverre licht, waarin wij reeds op het eerste gezicht een bepaalde kleur opmerken, door het prisma wordt ontleed.

Op de eerste dezer vragen is het antwoord stellig ontkennend ingeval het witte licht wordt uitgestraald door een vast of vloeibaar lichaam, dat in gloeienden toestand verkeert. Mogen al eerst achtereenvolgens bij den overgang van de roode tot de witte gloeihitte de verschillende stralen, te beginnen met de roode en eindigende met de violette, te voorschijn komen, zoodra deze laatste hitte is bereikt wordt het spectrum onafgebroken; het vertoont geen enkele donkere streep. In het witte licht, door de genoemde lichamen uitgezonden, komen dus alle enkelvoudige lichtstralen van verschillende breekbaarheid zonder uitzondering voor; alleen gloeiende erbium-aarde maakt hierop, volgens de onderzoekingen van Bahr en Bunsen, eene uitzondering.

In dit antwoord op de eerste vraag ligt dat op de tweede reeds gedeeltelijk opgesloten, in zooverre het te kennen geeft, dat het vermogen om, zij het dan ook achtereenvolgens bij het stijgen der temperatuur, stralen van elke breekbaarheid uit te zenden, van den aggregatie-toestand der lichamen afhankelijk is. Inderdaad geeft dan ook het licht van gloeiende gassen en in het algemeen van elk enkelvoudig lichaam als het in den toestand van gloeienden damp verkeert, een spectrum, dat van het zoo even genoemde onafgebrokene, zoowel als van het met donkere strepen bedekte zonnespectrum in alle opzichten verschilt. Het bestaat bij sommige dezer elementen uit enkele, bij andere uit vele geïsoleerde heldere strepen, die door betrekkelijk breede donkere banden van elkander gescheiden zijn. Daar deze strepen over de verschillende deelen van het gewone spectrum verspreid liggen, toont dit verschijnsel aan, dat het licht van gloeiende dampen slechts uit eenige weinige of uit meerdere enkelvoudige bestanddeelen van zeer verschillende breekbaarheid bestaat.

In het spectrum van het zonlicht heeft men de voornaamste der Fraunhofersche strepen door letters aangeduid. Om bij het spreken

over licht van eene bepaalde breekbaarheid zijne meening voor iedereen verstaanbaar uit te drukken, refereert men zich aan deze strepen als aan vaste punten van uitgang; en de wetenschap heeft zeker van FRAUNHOFER's ontdekking daardoor het meeste nut gehad, dat zij als het ware een groot aantal mijlpalen heeft gezet op den te voren niet afgebakenden weg van het uiterste rood tot het uiterste violet. Zoo ligt streep A in het rood, B tusschen rood en oranje, C in het oranje, D in het geel, E in het groen, F op de grens tusschen groen en blauw, G op die tusschen indigo en violet en H in het uiterste violet. Fig. 14 geeft een voorstelling van de ligging dezer hoofdstrepen, zooals die door FRAUNHOFER zelf is aangeduid; de verhouding tusschen de lengten der loodlijnen, uit de daarboven geplaatste kromme lijn in verschillende punten op eene horizontale neêrgelaten, geeft daarbij aan, hoe van het eene einde tot het andere de lichtsterkte van het zonnespectrum verandert.



Bij Fraunhofer's Abh. Denksch. 1814—15.

Fig. 14.

Bepalen wij ons nu voorloopig tot de kleurenbeelden van de grondstoffen der meest algemeen en langst bekende loogzouten en aarden, dan blijkt het, dat het spectrum van gloeienden damp van sodium, het karakteristiek bestanddeel van de soda en het keukenzout, uit één heldere streep bestaat van de breekbaarheid D; dat van potassium, het karakteristiek bestanddeel der potasch, uit drie strepen, te weten: twee in het rood overeenkomende met A en B en één in het violet nabij H; dat van calcium, het karakteristiek bestanddeel der kalk, uit zeven strepen tusschen C en E en eene violette nabij G, enz.

Dat de aanwezigheid van sommige dezer stoffen in de vlam aan haar een kleur geeft, die het reeds zou doen vermoeden dat zij de daarmede overeenkomstige partijen in het kleurenbeeld boven de andere in lichtsterkte zou doen uitsteken, was reeds lang bekend. Men wist sedert tal van jaren, dat potasch een violette, keukenzout een gele, kalk een roode, koperzouten een groene kleur geven aan de zelf zeer lichtzwakke en kleurlooze alkoholvlam. Ook maakte men in de scheikundige laboratoria van deze eigenschappen zeer dikwijls gebruik ter herkenning dezer zouten in een mengsel van onbekende samenstelling. Het was zelfs de kleur der vlam, die ter laatster instantie mede uitspraak deed, wanneer er alleen twijfel overbleef of men in zulk een mengsel met soda dan wel met potasch te doen had.

Maar wat men niet kende was de overgroote gevoeligheid, die het spectrum heeft voor de tegenwoordigheid dezer stoffen. Op deze vestigden eerst omstreeks het jaar 1860 KIRCHHOFF en BUNSEN de aandacht; sedert werd zij, voornamelijk ook ten gevolge van de belangrijke onderzoekingen dezer natuurkundigen, de grondslag van die geheel nieuwe methode van ontleden, waaraan men den naam *spectraal-analyse* gegeven heeft.

Om van deze gevoeligheid een denkbeeld te geven, laten wij hier volgen, wat zij bij de eerste uitvoerige mededeeling hunner bevindingen omtrent de gevoeligheid der vlam over de tegenwoordigheid van sodium-verbindingen zeggen.

Wij lieten, zoo heet het daar, in den meest verwijderden hoek der kamer, waar wij onze proeven namen, een kamer die 60 kubieke meters inhoud heeft, een mengsel van 3 milligram chloorzure soda

met melksuiker ontploffen, terwijl het kleurenbeeld der zwak lichtgevende vlam werd waargenomen. Reeds na eenige minuten gaf de langzamerhand bleekgeel gekleurde vlam een sterke heldere sodiumstreep (D), die eerst tien minuten later weder geheel verdwenen was. Uit het gewicht van de ontplofte chloorzure soda en van de lucht in de kamer, kan men gemakkelijk afleiden, dat in één gewichtseenheid van deze nog geen $^1/_{20\,000\,000}$ gewichtseenheid sodazout kon begrepen zijn. Daar men nu met alle gemak in een seconde de werking kan waarnemen, en in dezen tijd slechts ongeveer 50 kubieke centimeters of 0.0647 gram lucht, waarin minder dan $^1/_{20\,000\,000}$ deel van het sodazout begrepen zijn, in de vlam aan het gloeien deelnemen, wordt aan het oog, langs dezen weg, met groote duidelijkheid de tegenwoordigheid van minder dan $^1/_{3\,000\,000}$ milligram sodazout verraden.

Bij eene zoo groote gevoeligheid is het te begrijpen, dat maar zeer zelden in gloeiende dampkringslucht de sodiumreactie ontbreekt. De aarde is voor ruim twee derden van hare oppervlakte bedekt met eene oplossing van keukenzout, dat zelf een sodazout is, en deze oplossing wordt onophoudelijk bij het schuimen der golven in uiterst fijne droppeltjes verdeeld. De stofjes zeewater, die zoodoende in den dampkring komen, verdampen en laten stofjes keukenzout achter, die een maar zelden ontbrekend bestanddeel van de dampkringslucht uitmaken, en bestemd schijnen om aan de kleinere organismen het keukenzout toe te voeren, dat de grootere uit den grond opnemen. Nog in een ander opzicht verdient deze alomtegenwoordigheid van het keukenzout in den dampkring onze belangstelling. Als namelijk door middel van in de lucht aanwezige miasma's de ziekten zich verspreiden, zal eene bederfwerende zelfstandigheid als het keukenzout, al is zij maar in geringe hoeveelheid aanwezig, daarbij onmogelijk geheel zonder invloed kunnen blijven. Uit dagelijksche en langen tijd voortgezette waarnemingen van het spectrum zal het dan lichtelijk kunnen blijken, of de verandering in de intensiteit van de gele sodiumstreep in eenig verband staat met het verschijnen van epidemische ziekten en met de richting waarin zij zich verspreiden.

Het is deze groote gevoeligheid van het spectrum, die, gevoegd bij de evenzoo door KIRCHHOFF en BUNSEN aan het licht gebrachte omstandigheid, dat elk element strepen geeft die hem en hem alleen

toebehooren, de spectraal-analyse maakt tot een hulpmiddel bij het ontleden, dat ook dan nog helpt als alle andere falen. De kennis van vier nieuwe elementen hebben wij dan ook aan haar reeds te danken.

Twee daarvan, het *caesium* en het *rubidium*, werden door BUNSEN ontdekt. Het eerste kenmerkt zich door een dubbele blauwe streep, het tweede door een paar strepen in het uiterste rood, en een paar van groote intensiteit in het violet. Een waterdroppel, die vier milligram weegt en nog geen 0,0002 milligram chloorrubidium bevat, maakt de beide violette strepen nog duidelijk zichtbaar, terwijl zelfs slechts 0,00005 milligram chloorcaesium voldoende zijn om de karakteristieke blauwe strepen van het caesium te voorschijn te roepen. De minerale bestanddeelen van het Dürkheimer water deden, in de vlam gebracht, BUNSEN het eerst deze strepen opmerken, die in het spectrum van geen der tot toen bekende loogzouten of aarden voorkwamen. Uit haar verschijnen nam hij aanleiding, eene groote hoeveelheid, 44 000 liter, van dit water door verdamping sterk te concentreeren, en het mocht hem gelukken daaruit een mengsel van de zouten der beide nieuwe elementen af te zonderen, dat 16,5 gram woog.

Op aanwijzing van het spectrum als gids zonderde in 1861 CROOKES te Londen een derde element af, uit het slik, dat achterblijft bij de fabriekmatige bereiding van zwavelzuur. Hij noemde het *thallium*, naar de heldere groene streep, waaruit zijn spectrum bestaat, en die in ligging nagenoeg overeenkomt met de donkere streep E van FRAUNHOFER. Het vierde element eindelijk, wiens spectrum twee heldere strepen vertoont in het indigo en in het blauw, en aan deze omstandigheid den naam *indium* te danken heeft, werd in 1864, alweder op aanwijzing van deze karakteristieke strepen, door REICH en RICHTER te Freiburg uit zink-erts afgescheiden.

Spraken wij tot nog toe uitsluitend over de heldere strepen, die het spectrum van de gloeiende dampen der zoogenaamde lichte metalen vormen, voor de zware metalen geldt hetzelfde. Ook hunne dampen geven kleurenbeelden van dezelfde soort, die zich van elkander door de hoeveelheid en de ligging der heldere strepen onderscheiden. Het eerst kwam dit aan het licht door de beschouwing van het spectrum der elektrieke vonk. Daar, zooals FARADAIJ aantoonde, bij het overspringen dezer vonk stof van de eene pool naar de andere

wordt overgevoerd, bezitten wij in haar een uitstekend middel ter vervluchtiging der zware metalen. Reeds in 1835 vestigde dan ook WHEATSTONE er de aandacht op, dat de vonk een verschillend spectrum leverde, al naarmate de polen uit verschillende metalen waren vervaardigd; hij vond het onderscheid zoo opvallend, dat hijzelf daarin den grondslag vermoedde eener methode, waardoor men verschillende metalen in een mengsel gemakkelijker zou kunnen opsporen dan door gewone chemische reagentia. Zoo vertoonde hem kwik een zeer heldere streep in het indigo, zink in het roode, cadmium in het blauwe, lood in het violette gedeelte van het spectrum, en deze strepen waren elk in het bijzonder, wat hare ligging betreft, zoo standvastig en tevens bij de verschillende metalen zoo duidelijk onderscheiden, dat zij als het ware door een blik op het kleurenbeeld der vonk de tegenwoordigheid van een dezer metalen aan het oog konden verraden.

De ligging dezer strepen is later door KIRCHHOFF en door HUGGINS nauwkeurig bepaald; hunne onderzoekingen, die zich over alle bekende metalen uitstrekken, bevestigden wel de geldigheid van de algemeene gevolgtrekking door WHEATSTONE uit zijne waarnemingen afgeleid, maar zij deden tevens zien dat sommige metalen, bij voorbeeld het ijzer, een aantal strepen geven, groot genoeg om hunne herkenning in een mengsel langs dezen weg de gewenschte zekerheid te ontnemen. Daarenboven zou uit eene mededeeling van ROSCOE en CLIFTON nog blijken, dat het spectrum van de dampen der zware metalen verandert met de temperatuur waarop zij gloeien: eene veranderlijkheid, die zij in de kleurbeelden van sodium en potassium niet opmerkten.

Vonden wij dus dat de verschillende metalen, van het aan de lucht bij de gewone temperatuur zich onmiddellijk oxydeerende sodium tot de meest onveranderlijke edele, wanneer zij in den toestand van gloeienden damp verkeeren een spectrum geven van dezelfde soort, ook bij al de overige elementen treffen wij een gelijk verschijnsel aan.

Van degene, die geene eigenlijke gassen zijn, willen wij hier alleen de koolstof vermelden; omdat het onderzoek van het spectrum van dit element heeft geleid tot eene toepassing die voor de ijzerindustrie van het grootste gewicht is. Bij deze industrie wordt ter omzetting van gietijzer in gietstaal eene methode aangewend, naar

haren uitvinder de BESSEMER methode genaamd, die daarin bestaat dat een krachtige luchtstroom door de vloeibare ijzermassa wordt gedreven. Het gietstaal toch verschilt van het gietijzer alleen daarin, dat het eerste minder koolstof bevat dan het laatste. Deze koolstof, die afkomstig is van de wijze waarop de ertsen in de hoogovens tot metaal worden gereduceerd, moet bij de omzetting daaruit verwijderd worden, en dit geschiedt, bij toepassing der evengenoemde methode daardoor, dat zij zich met de zuurstof van de doorgevoerde lucht verbindt, m. a. w. door haar te verbranden. Nu mag echter de bewerking niet langer voortgezet worden dan tot alle koolstof verbrand is, omdat anders de massa te taai is om uitgegoten te kunnen worden. En zij mag evenmin voor dit tijdstip ophouden, omdat in dit geval het staal te broos is om gesmeed te kunnen worden. Het komt dus op het juiste oogenblik aan. En ofschoon nu het spectrum der koolstof juist niet dat is, waaromtrent men in zijn geheel het best is ingelicht, zoo vertoonen toch de verschillende koolstof-verbindingen genoeg strepen die voor het element karakteristiek zijn, om bij het nauwkeurig achtgeven op het spectrum der BESSEMER-vlam uit haar verdwijnen te besluiten, dat dit oogenblik gekomen is.

Vestigen wij nu ten laatste nog onze aandacht op de eigenlijke gassen, dan vinden wij dat in de hoofdzaak ook voor deze dezelfde regel geldt. Zoowel het spectrum van gloeiend stikstofgas met zijn menigvuldige strepen van allerlei breekbaarheid, als dat van het waterstofgas, dat slechts uit drie heldere strepen bestaat, vertoonen bij gewone luchtdrukking het onderscheid, dat wij tot nog toe gelegenheid hadden tusschen de kleurenbeelden der vaste en vloeibare lichamen en die der in gasvormigen toestand verkeerende op te merken. Omtrent dat der waterstof willen wij daarbij er reeds nu de aandacht op vestigen, dat van de drie strepen, eene zeer heldere roode, eene groene en eene violette, de twee eerstgenoemden volkomen samenvallen met donkere strepen C en F en de laatste bijna met de donkere streep G van het zonnespectrum. Later zal het blijken van welk belang deze omstandigheid is voor onze kennis van de natuur der in het omhulsel van de zon voorkomende stoffen.

Toch heeft, zooals wij dan ook uitdrukkelijk vermeldden, deze overeenkomst niet onder alle omstandigheden plaats. Evenals dit bij de dampen der zware metalen reeds uit de proefnemingen van Ros-

COE en CLIFTON gebleken was, hebben ook PLÜCKER en HITTORF in de kleurenbeelden der gassen eene veranderlijkheid opgemerkt, die afhankelijk schijnt van de temperatuur waarop en van de spanning waaronder zij gloeien. Maakt men de spanning, waaronder het gas gloeit, in de zoogenaamde GEISSLER'sche buizen uiterst klein, dan verdwijnt, volgens laatstgenoemde natuurkundigen, de heldere roode streep van de waterstof langzamerhand geheel, terwijl daarentegen, naar FRANCKLAND'S en LOCKYER'S bevinding, bij verhoogde drukking de beide andere strepen breeder worden dan de spleet, die het licht doorlaat, en dus niet langer door enkelvoudig licht schijnen te zijn voortgebracht. Zelfs kan men door vermeerdering der drukking, volgens hen, de heldere strepen in een onafgebroken spectrum doen overgaan.

Aan de algemeenheid van den regel: dat alle lichamen, als zij in den toestand van gloeiend gas verkeeren, een uit heldere strepen bestaand spectrum geven, doet het laatstgenoemde feit wel eenige afbreuk. Wil men de waarnemingen der laatste jaren mede in rekening brengen, dan zal een alle verschijnselen omvattende regel dus moeten luiden:

als een vast of vloeibaar lichaam op de gewone wijze gloeit, geeft het een onafgebroken spectrum, dat noch heldere, noch donkere strepen vertoont;

wordt echter de temperatuur zoozeer verhoogd dat het verdampt, en verkeert het daarbij onder de gewone drukking van den dampkring, dan geeft het een spectrum, dat uit eene of meerdere heldere strepen bestaat, die door donkere banden van elkander zijn gescheiden;

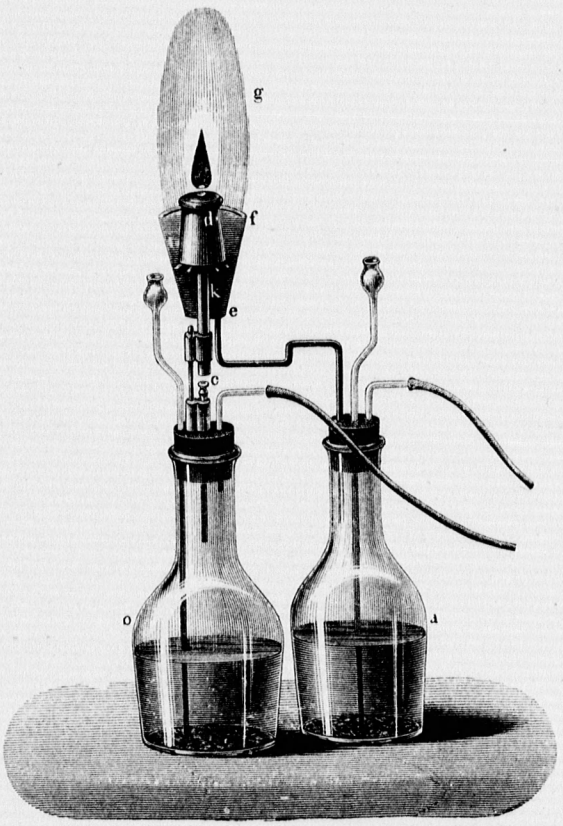
en dit zelfde is nog het geval, wanneer het spectrum wordt voortgebracht door het licht van gloeiend gas, dat onder geringe drukking gloeit.

Er blijft ons nu nog over een derde soort van kleurenbeelden te bespreken, die noch onafgebroken zijn, noch uit heldere door donkere banden van elkander gescheidene strepen van enkelvoudig licht bestaan, een soort, die ons een spectrum vertoont, dat, als het spectrum van het zonnelicht, door tal van zeer smalle donkere lijnen is afgebroken. Terwijl in licht dat de eerstgenoemden voortbrengt tusschen zekere grenzen stralen van elke breekbaarheid zijn begrepen en de in de tweede plaats genoemde slechts stralen van zeer verschillende, soms zelfs slechts van eene enkele breekbaarheid bevatten,

neemt tusschen die beiden het laatstgenoemde zijn plaats in. Daaraan ontbreken toch, al is het aantal strepen op zich zelf genomen nog talrijk genoeg, betrekkelijk weinig lichtstralen, en deze van allerlei breekbaarheid.

Alvorens evenwel aangaande dit onderwerp in meer uitvoerige beschouwing te treden, is het noodig dat wij eene ontdekking vermelden, waarvan de eer aan den reeds meermalen genoemden Duitschen natuurkundige KIRCHHOFF toekomt; eene ontdekking, die voor de natuurwetenschap in het algemeen zeker van veel grootere gevolgen is geweest, en waarschijnlijk nog worden zal, dan de tot nog toe beschrevene. Zij leert ons dat elk gas, zoowel als elk lichaam in dampvormigen toestand, in staat is uitsluitend lichtstralen te absorbeeren van dezelfde breekbaarheid als die het, zelf gloeiende, in staat is uit te stralen.

Fig. 15.



Om de gedachten te bepalen willen wij de meening dier wet door een voorbeeld ophelderen. Zij *g*, fig. 15, een sodiumvlam van groote intensiteit, vóór welke, boven den kleinen brander, een zwak sodiumvlammetje zweeft, dan schijnt dit, als het gezien wordt tegen den helder verlichten achtergrond, pikzwart. Het kleine vlammetje, dat,

als het zelf lichtbron was, uitsluitend stralen van dezelfde breekbaarheid als de streep D van FRAUNHOFER zou uitzenden, houdt nu diezelfde stralen, die van een meer intensieve lichtbron komende daardoor heên strijken, volkomen tegen. De inrichting der in de figuur voorgestelde toestel is van BUNSEN en wordt door hemzelf beschreven. De flesschen *a* en *b*, door wier bovenste ruimte gewoon lichtgas strijkt, zijn gedeeltelijk gevuld met een oplossing van keukenzout, waarbij wat zink en zwavelzuur gevoegd zijn. Door de werking van het zwavelzuur op het zink ontwikkelt zich waterstofgas, en de lichte opbruising, waarmede deze ontwikkeling gepaard gaat, maakt dat het gas in de bovenste ruimte gemengd wordt met fijn verdeelde droppeltjes der oplossing van keukenzout. Zoodoende wordt dan het gas sodiumhoudend en zoowel de breede gasvlam *g*, die door de flesch *a*, als de spitse, die door de flesch *b* gevoed wordt, een sodiumvlam. Om te maken dat beide vlammen zoo weinig lichtgevend mogelijk zijn, wordt het gas, alvorens het tot verbranding overgaat, zooveel mogelijk met lucht gemengd. Wat de groote vlam betreft geschiedt dit in den afgeknotten kegel *f*; het gas, dat den kleinen brander voedt, stroomt bij *c* uit de flesch, vermengt zich daar met lucht en komt zoo door de aan beide zijden opene buis *k* in den hollen afgeknotten kegel *d*, waar het zeer onvolkomen verbrandt. De producten dezer onvolkomene verbranding eindelijk treden door eene opening in het bovenvlak van dien kegel naar buiten en geven daar door hunne verdere verbranding het kleine vlammetje. Op deze wijze is, bij geringe lichtsterkte van beide, de groote vlam zoo heet, de kleine zoo koud mogelijk, en dit is een vereischte, als men wil dat deze laatste pikzwart schijne.

Deze absorbtie der stralen van het sodiumlicht door de gloeiende dampen van sodium zelf is niet slechts schijnbaar; zij kan niet toegeschreven worden aan het contrast tusschen de lichtsterkte van de groote en die der kleine vlam. Want als men in de flesch *b*, die de vlam boven den voorsten brander voedt, in plaats van een oplossing van keukenzout er eene doet van een lithium-zout, gaan de stralen van de groote sodiumvlam ongehinderd door. De eerste projecteert zich dan in geenen deele als een donker lichaam op een helderen achtergrond. Een lithium-vlam nu geeft, als zij zelve lichtbron is, een spectrum, dat uit ééne intensief roode streep bestaat.

Daarom is gloeiende lithium-damp dan ook niet in staat stralen van eene zoo groote breekbaarheid als die van het sodium-licht tegen te houden; alleen voor stralen van zijne eigene breekbaarheid is die damp ondoorschijnend. Vult men de beide flesschen *a* en *b* met een oplossing van een lithium-zout, dan vertoont zich het verschijnsel dadelijk weder; op den prachtig rood verlichten achtergrond doet zich dan weder de kleine vlam voor als of zij een donker ondoorschijnend lichaam ware.

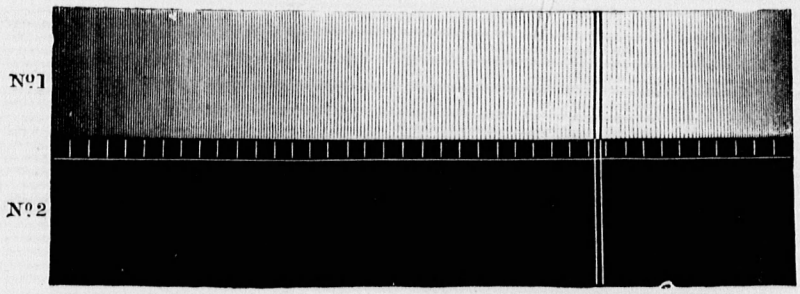
In elk geval dus en hoe men de proeven ook afwisselen moge, vertoont zich hetzelfde verschijnsel en levert een nieuw bewijs voor de waarheid der door KIRCHHOFF gevonden wet. Niet voldaan echter met deze hare bevestiging door tal van waarnemingen, door deze bewijzen *a posteriori*, heeft dezelfde natuurkundige hare noodzakelijkheid aangetoond op grond van theoretische beschouwingen. *Wanneer de beide vlammen dezelfde temperatuur hebben*, dan moet het vermogen om licht van eene bepaalde breekbaarheid uit te stralen bij de een even groot zijn als bij de andere het vermogen om die te absorbeeren. Waar later afwijkingen van die wet schijnen te zijn opgemerkt, daar zijn deze altijd toe te schrijven aan de omstandigheid, dat aan de uitdrukkelijke voorwaarden, gelijkheid van temperatuur bij beiden, niet was voldaan. Waar aan deze wel voldaan is, daar is de wederkeerigheid volkomen; hetgeen echter niet wegneemt, dat van gedeeltelijke ondoorschijnendheid ook bij groote temperatuurs-verschillen blijkt. Een glazen buis, waarin men met afsluiting van de lucht, omdat het anders dadelijk verbranden zou, sodium verhit en die zoodoende met sodium-damp gevuld wordt, laat het zonnelicht door alsof hij ledig was; ziet men echter door de buis naar een heldere sodium-vlam, dan schijnt zij als met zwarten rook gevuld.

Het vermoeden is niet ongegrond dat menigeen uit de laatste beschouwingen reeds bij zich zelven eene gevolgtrekking heeft afgeleid betreffende het ontstaan van spectra, die, als dat van het zonnelicht, met donkere strepen bezet zijn. Vooronderstel toch dat van een vast of vloeibaar lichaam in gloeienden toestand, bij voorbeeld van de koolspitsen in de electrische lamp, een licht uitgaat waarin, in gestadige opeenvolging, stralen van elke breekbaarheid voorkomen, maar dat dit licht, alvorens het prisma te bereiken, strijkt door

een vlam, waarin een of ander lichaam deelneemt aan de verbranding. Laat ons eenvoudigheidshalve eens aannemen dat die vlam de kleine sodium-vlam uit onze figuur is. Dat om zoo te zeggen op volkomen wijze samengestelde licht zal dan niet ongehinderd dien doorgang volbrengen; het zal lichtstralen verliezen, die in breekbaarheid met die van het sodiumlicht overeenkomen, en het zal, na door het prisma te zijn gebroken, een dubbele donkere streep vertoonen op dezelfde plaats, waar de dubbele gele streep valt als de sodium-vlam zelve lichtbron is.

De hulpmiddelen waarover men thans kan beschikken laten toe dat feiten als het laatstgenoemde op voldoende wijze kunnen geconstateerd worden. Wanneer men een spectrum vormt, waarvan, even als van het in figuur 16 voorgestelde, het bovenste gedeelte wordt ge-

Fig. 16.



vormd door het licht van de elektrische lamp dat door sodiumdamp is gegaan, en het onderste door dat van sodiumlicht zelf, dan vallen de donkere strepen in het eerstgenoemde juist in het verlengde van de heldere in het laatste. En wat in dit bijzonder geval geldt, neemt men waar in 't algemeen. Door in het scherm van gloeienden damp verschillende lichamen te brengen, kan men het doorgaande licht zóó berooven van al de stralen, die hun licht eigen zijn, dat het eene der beide langs elkander gelegde kleurenbeelden juist het omgekeerde is van het andere; dat het eene heldere strepen vertoont, die in het verlengde liggen van de donkere in het andere. Deze omkeering van het spectrum nu moet, de scherpzinnige lezer zal in dit opzicht onze redeneering reeds zijn vooruitgeloopen, van groot gewicht zijn voor onderzoekingen omtrent den aard ván het zonnelicht, dat zelf

in een zoodanig met fijne donkere strepen als bezaaid spectrum door het prisma ontleed wordt.

In eene volgende afdeeling zullen wij dieper in dit onderwerp trachten door te dringen, om zoodoende deze te laten voor hetgeen zij volgens onze bedoeling zijn moet: eene zuivere voorstudie bij onze beschouwingen omtrent den physischen toestand van de zon. Deze zou echter niet volledig zijn, als wij haar niet aanvulden met de bespreking van de hulpmiddelen, die ons in staat stellen om er over te oordeelen, of wel de heldere strepen in het spectrum van eenigen damp of eenig gas nauwkeurig met donkere in een afgebroken kleurenbeeld overeenkomen. Reeds om, zooals onze figuur dit voorstelt, de eene streep te zien in het verlengde van de andere, zijn bepaalde hulpmiddelen noodig. Toch konden wij daar nog, over de tweederlei soort van lichtbronnen beschikkende, naar willekeur en met volkomen voorkennis van de oorzaak van haar ontstaan, donkere strepen in een onafgebroken spectrum te voorschijn roepen en hare ligging met die van heldere, van evenzoo bekenden oorsprong, vergelijken. Waar echter, zooals door het zonnelicht, een zeker door duizenden van donkere strepen afgebroken spectrum gegeven is, daar kan het oordeel over het al of niet nauwkeurig samenvallen met de heldere in het kleurenbeeld van bekende gassen of dampen in de meeste gevallen slechts worden gegrond op gegevens, geleverd door een instrument, dat, terwijl het een zuiver en uitgebreid spectrum geeft, tevens een uitmuntend meetwerktuig is.

Zulk een instrument nu bezit men in den *spektroskoop*. Zal de spektroskoop aan de twee eersten der genoemde voorwaarden voldoen, dan moet de spleet, die het licht doorlaat, zeer nauw en door volkomen rechte lijnen scherp begrensd zijn; de lichtstralen moeten dan in volkomen evenwijdige richting op een prisma vallen, dat zelf door zijn sterk brekend vermogen in staat is de stralen van verschillende breekbaarheid ver van elkander te scheiden. Is aan de eerste voorwaarde niet voldaan, dan zijn de strepen óf zwak, óf zij verdwijnen geheel. Men kan zich dit gevolg het best duidelijk maken door zich de spleet voor te stellen als verdeeld in twee andere, die half zoo breed zijn en ieder in het bijzonder haar eigen spectrum vormen. Het spectrum van de eene helft ligt nu eenigszins verschoven ten opzichte van het andere; zoodat, als de halve breedte

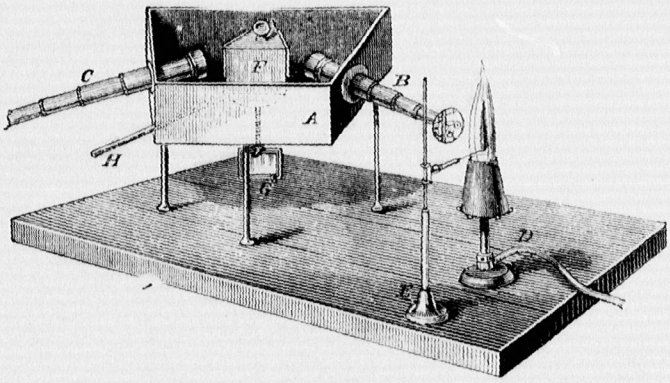
van de spleet de dikte van een donkere streep overtreft, er reeds gekleurd licht van het spectrum der eene helft valt over de donkere strepen van het andere.

Het niet evenwijdig zijn der invallende lichtstralen levert hetzelfde bezwaar. Om zich dit duidelijk voor te stellen behoeft men zich het invallend licht slechts voor te stellen als reeds verdeeld in zijne enkelvoudige bestanddeelen en deze bij hunnen loop door het prisma na te gaan. Nemen wij, bij voorbeeld, een bundel, die bestaat uit twee soorten van roode stralen, die zoo weinig in breekbaarheid verschillen dat, bij evenwijdigheid der stralen, tusschen beider spectrum een donkere streep ligt. Die bundel, wiens gedaante die van een cilinder is, verandert echter in een kegel, zoodra de stralen niet evenwijdig loopen; de stralen, die het naast bij en het verst van den brekenden kant van het prisma invallen, maken dus met het zijvlak waarop zij vallen, niet meer denzelfden hoek. Maar als dit zoo is, dan worden die uiterste stralen ook niet meer even sterk gebroken; de straal die het naast bij den brekenden kant invalt het meest. Het kan dus nu gebeuren dat deze straal van minder breekbaar rood, omdat hij sterker gebroken wordt, in het spectrum valt op den minst afgewekene van het meer breekbaar rood, en dat op deze wijze de donkere tusschenruimte, die bij evenwijdigheid der invallende stralen tusschen beide soorten zou zijn overgebleven, nu bedekt wordt. Vallen daarentegen de stralen in evenwijdige richting op het eerste zijvlak, dan zijn zij nog evenwijdig als zij het tweede treffen, en verlaten zij dus ook in evenwijdige richting het prisma. Heeft dit nu een voldoend kleurschiftend vermogen en is daarbij de spleet nauw genoeg, dan zullen de spectra van twee enkelvoudige kleuren, tusschen wier breekbaarheid een zeer klein verschil bestaat, naast elkander en gescheiden door een donkere streep op het scherm vallen.

In den spektroskoop, door fig. 17 voorgesteld, is aan de drie voorwaarden aanvankelijk reeds voldaan. De stralen van de vlam D vallen door de buis B op het holle prisma F, dat met een vloeistof van sterk brekend vermogen (zwavelkoolstof) is gevuld. In de plaat, die men aan het naar de vlam gekeerd uiteinde van de buis B opmerkt, is de spleet aangebracht; men kan die nauwer en wijder maken naar believen. In die buis bevindt zich een convergeerende

lens, wier voornaam brandpunt in de spleet ligt, en die de stralen dus in evenwijdige richting verlaten. Zoo vallen zij op het prisma en, na hierin gebroken te zijn, op het objectief van den kijker C,

Fig. 17.



waarin zij een beeld vormen, dat met behulp van het oculair als door een loupe kan worden bekeken.

De hier afgebeelde spektroskoop is echter op verre na niet een der meest volkomen ingerichte. Wij geven zijn afbeelding hoofdzakelijk wegens de historische waarde van het instrument; het is dat waarmede KIRCHHOFF en BUNSEN bij hunne eerste onderzoekingen hebben gewerkt.

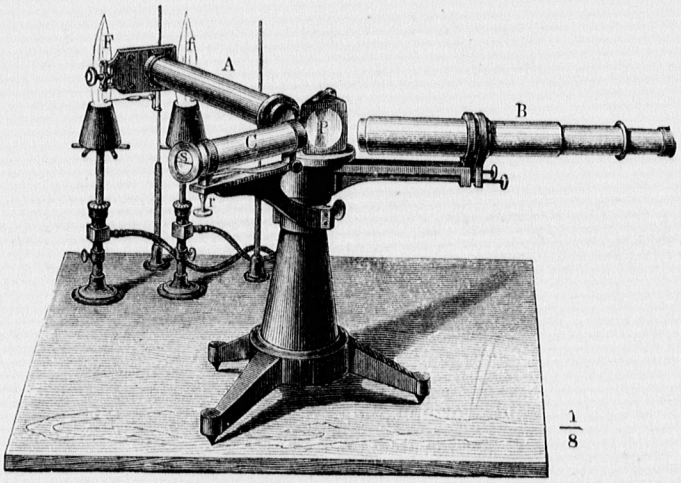
Van veel volkomener constructie is de spektroskoop (fig. 18), later door STEINHEIL te *Munchen* voor de genoemde natuurkundigen vervaardigd.

B is weder een kijker, in wiens veld men achtereenvolgens de verschillende deelen van het spectrum kan brengen, dat door het prisma P gevormd wordt. In de derde buis C, die men hier aangebracht ziet, bevindt zich aan het naar den toeschouwer gekeerde uiteinde S een photographische afbeelding van een millimeterschaal, die op $^1/_{15}$ van de ware grootte is vervaardigd op een glasplaat. Alleen de plaats waar de deelstrepen zich bevinden is doorschijnend; het overige is bedekt met bladtin. Voor deze schaal wordt een kaars gezet. De lichtstralen doorloopen de buis C en vallen, na door een lens aan het andere uiteinde der buis evenwijdig te zijn gemaakt, op het prisma, wiens zijvlak P hen terugkaatst in de richting van de

as des kijkers B. Zóó vormt zich in het veld van dien kijker een beeld van de schaal.

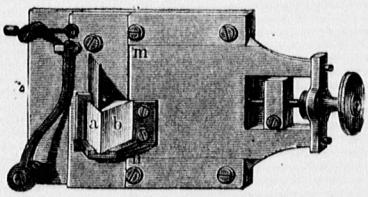
Gelijktijdig ontstaat daar ook het spectrum van de vlam F of, als men dit verlangt, de spectra der beide vlammen F en *f* naast

Fig. 18.



elkander gelegd op de wijze, die boven in onze figuur 16 is voorgesteld. Om dit doel te bereiken draagt de buis A aan haar uiteinde eene spleetinrichting, waarvan fig. 19 eene afzonderlijke afbeelding levert. Door de bovenste helft der spleet *mn* treedt het licht van de vlam F rechtstreeks in de buis. Het licht van de andere vlam, die op zijde staat, valt op het zijvlak *a* van een gelijkzijdig prisma, dat de onderste helft van de spleet bedekt; hare stralen zetten, na totale terugkaatsing in dit prisma, in de richting van de buis A hunnen weg voort.

Fig. 19.

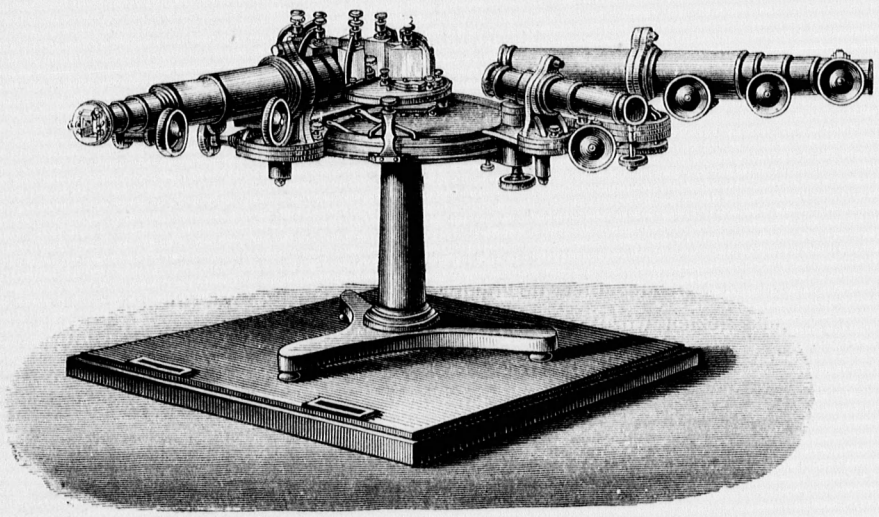


Deze spektroskoop laat dus zoowel toe, dat men de donkere of heldere strepen in het spectrum van eenig licht dadelijk vergelijkt met de strepen eener vlam van bekende samenstelling, als hij de gelegenheid geeft om de ligging van strepen, die in het spectrum van deze laatste hare overeenkomstige missen, door meting te bepalen.

De in figuur 18 voorgestelde spektroskoop is maar van één prisma

voorzien. Ter volkomene scheiding van lichtstralen, wier breekbaarheid slechts zeer weinig verschilt, is het echter dikwijls noodig de kleuren sterker te schiften dan door één prisma mogelijk is. Men heeft dan ook in den laatsten tijd spektroskopen vervaardigd, waarbij de bundel stralen, eer zij in den kijker valt, achtereenvolgens verschillende, in den spektroskoop door BROWNING voor GASSIOT vervaardigd (fig. 20) *negen*, prisma's doorloopt. Een schets van zijn weg en van de uitbreiding die, bij het gaan door de verschillende

Fig. 20.



prisma's, zijn spectrum langzamerhand verkrijgt, is in fig. 21 afgebeeld.

Het is duidelijk dat door eene zoodanige buitensporige uitbreiding een onafgebroken kleurenbeeld zoowel als zulk een, waarin de verschillende kleuren slechts door smalle donkere strepen zijn gescheiden, uitermate zwak verlicht wordt. De donkere strepen zouden, zoo voortgaande, op den zwak verlichten achtergrond ten laatste niet meer zichtbaar zijn. Waar het echter de waarneming geldt van de heldere strepen, die de gloeiende gassen voortbrengen, daar vervalt dit bezwaar; wij zullen zelfs zien dat het in dit geval, bij sommige waarnemingen van groot belang, in een voordeel verandert. Zonder, wat deze laatste opmerking betreft, voorloopig in nadere bijzonderheden te treden, willen wij, om van de eerste de waarheid te doen

gevoelen, de aandacht er nogmaals op vestigen, dat het licht dier gassen uit weinige enkelvoudige, dat wil zeggen zelf niet verder te ontleden bestanddeelen is samengesteld. Schoon dus, bij het doorloopen van de verschillende prisma's, de verschillende heldere strepen hoe langer zoo verder van elkander verwijderd worden, wordt toch elke streep op zich zelf niet breeder en daarom ook niet minder in intensiteit.

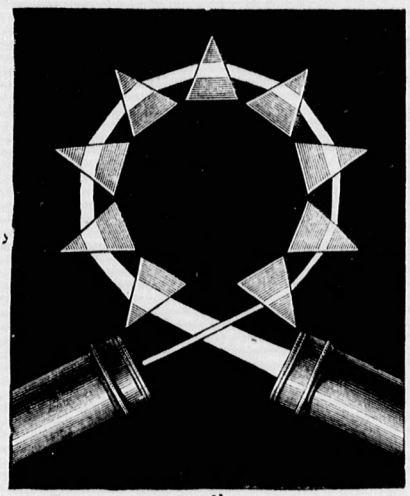
Het zal wel geen lang betoog behoeven, dat door deze eigenschap een spektroskoop met een sterk kleurschiftend vermogen op klaarlichten dag bij het onderzoeken voor het licht der hemellichamen kan gebruikt worden; ten minste wanneer dit licht afkomstig is van gassen, die in gloeienden toestand verkeeren. Wat ons toch bij dag verhindert de sterren te zien, is niets anders dan het zoogenaamd diffuse licht van den dampkring; de deeltjes van deze, door de zon beschenen wordende, kaatsen haar licht terug en breken het naar alle richtingen. Bezaten die deeltjes dat vermogen niet, of liever, was de aarde niet van een dampkring omgeven, dan zou voor ons de hemel niet de blauwe tint hebben, waarin hij thans door ons gezien wordt; de zon en de sterren zouden dan gelijktijdig aan den hemel schitteren, als heldere lichten op een stikdonkeren grond. Het is dit naar alle zijden onregelmatig verstrooid licht, dat thans sterk genoeg is om alles te overschijnen behalve de zon, waarvan het afkomstig is.

Maar het is in elk geval zonnelicht, en daar het als zoodanig bestaat uit eene hier en daar slechts afgebrokene opeenvolging van stralen van verschillende breekbaarheid, wordt het door een spektroskoop van groot kleurschiftend vermogen ontleed tot een spectrum van wel is waar groote uitgebreidheid, maar daarom ook van geringe lichtsterkte. Op dit zoo lichtzwakke spectrum als achtergrond zullen de heldere strepen van het niet verder te ontleden licht der gloeiende gassen duidelijk zichtbaar zijn.

Het is er mede als met het bij klaarlichten dag waarnemen van vaste sterren door een kijker van middelmatig vermogen. Slechts van een zeer klein deel van den hemel dringt diffuus licht in den kijker door, en in dezelfde verhouding als waarin dit deel door den kijker vergroot wordt, zal ook zijn lichtsterkte verzwakt worden, omdat dezelfde hoeveelheid licht over eene zooveel grootere opper-

vlakte verspreid is. De vaste ster daarentegen is een lichtgevend punt en blijft dat, ook als zij in den kijker wordt waargenomen. Haar licht ondergaat dus eene dergelijke verspreiding niet; en als een helder lichtgevend punt zal zij op den flauw verlichten grond duidelijk zichtbaar zijn.

Fig. 21.



Wij willen hier ten slotte nog opmerken, dat bij het waarnemen van het spectrum der hemellichamen een spektroskoop als de laatst beschrevene dit bezwaar heeft, dat hij moeielijk zich laat instellen op het juiste punt; de richting, waarin de kijker moet geplaatst worden, wijkt daartoe van die der buis, waarin de stralen vallen, te veel af. Men verkiest dan ook in al die gevallen, waar sterke kleurschifting geen hoofdvereischte is, den door JANSSEN in zwang gebrachten en door SECCHI voor onderzoekingen op de spectra der vaste sterren ingerichten *rechtzienden* spektroskoop. De inrichting van dit instrument berust op hetzelfde beginsel als de constructie der achromatische lenzen; op het beginsel namelijk, dat bij verschillende soorten van glas het kleurschiftend vermogen niet altijd evenredig is met het brekend vermogen. Veronderstel bij voorbeeld, dat men vijf prisma's, waarvan twee uit flint- en drie uit crownglas bestaan, zoo met hunne zijvlakken aaneenvoegt dat de brekende kanten der eerstgenoemden naar boven en die der laatstgenoemden naar beneden zijn gekeerd, en dat de beide uiterste prisma's en het middelste van dezelfde soort zijn. Gaat nu een lichtstraal door dit samenstel van prisma's, dan kan men het zoo inrichten dat de afwijking, die de drie van de eene soort teweegbrengen, wordt opgeheven door de afwijking in tegenovergestelde richting door de beide andere veroorzaakt. De straal heeft dan, als hij treedt uit het samenstel van prisma's, nog dezelfde richting als toen hij daarin trad; en als nu het kleurschiftend vermogen evenredig was aan het brekend ver-

mogen, dan zou hij ook onontleed weder te voorschijn komen. De kleurschifting is in de beide prisma's van crownglas echter grooter dan die in de drie van flintglas, en dit heeft ten gevolge dat bij het uittreden nog altijd eene kleurschifting overblijft gelijk aan het verschil der uitwerkingen van de beide stelsels van prisma's afzonderlijk.

Waar het bij de behandeling van ons eigenlijk onderwerp pas geeft zullen wij er op doen letten, welke van de genoemde spektroskopen bij het bepaalde onderzoek, dat men op het oog heeft, de voorkeur verdient.

DE ZON, BIJ EENE TOTALE VERDUISTERING.

Bij het neêrschrijven van de woorden, aan 't hoofd van dit blad geplaatst, stellen wij ons in de verbeelding den lezer voor, zooals hij, half verwonderd, half teleurgesteld, van deze regelen opziet. "Hoe nu", zoo vraagt hij, "in een vorige afdeeling werd mij de spectraal-analyse voorgesteld als een kostelijk hulpmiddel tot het verkrijgen van meer licht omtrent den aard der zon. En ofschoon ik haar ook om haarzelfs wil heb leeren waardeeren, kan ik toch niet ontveinzen, dat bij hare beoefening de gedachte aan de geheimen, die zij weldra zou ontsluieren, mij steeds voor den geest zweefde. Inderdaad, het gaat niet aan; het is te veel gevergd van het geduld eens lezers, als men zoo voortdurend van den hak op den tak springt."

Verschoon mij, waarde lezer, als ik u zeg, dat ik zelf lang, zeer lang, heb nagedacht over de wijze, waarop dit derde opstel 't best zou zijn in te richten. De spectraal-analyse moge een uitstekend hulpmiddel zijn bij het opsporen van den eigenlijken zin der waargenomen feiten; maar dan eischt zij ook materiaal, waarop met vertrouwen haar ontledend vermogen kan worden toegepast. Nu liggen er twee wegen open. Men kan òf het gansche materiaal, door waarneming geleverd, u in zijn geheel voor oogen stellen, en uit dat geheel zijne besluiten trekken, òf, de resultaten der waarneming naar hunnen aard scheidende, feiten en gevolgtrekkingen stukswijze en dooreen onder de aandacht brengen. Den eersten weg wil ik inslaan, daarbij de hoop koesterende, dat gij mij daarop zult willen volgen.

Wij verzamelen dus in deze afdeeling stof ter ontleding, want die ontbreekt ons nog.

"Toch niet geheel", waarschuwt gij nu? en gij zijt daarbij geneigd te gelooven, dat mij ontging, wat aangaande de strepen van FRAUNHOFER ik zelf gezegd heb? — Ik heb ze niet vergeten; juist voor haar alleen zal ik in deze beschouwing eene uitzondering maken, als ik er op wijzen zal wat zij, door de spectraal-analyse aan het spreken gebracht, ons omtrent de natuur der zon schijnen te vertellen.

In onze vorige werden door waarneming drie feiten vastgesteld, die het goed zal zijn kortelijk in het geheugen terug te roepen:

1° vaste of vloeibare lichamen, bijv. de koolspitsen in de electrische lamp, stralen in gloeienden toestand licht uit, dat een onafgebroken spectrum geeft; een spectrum waarin noch heldere, noch donkere strepen voorkomen;

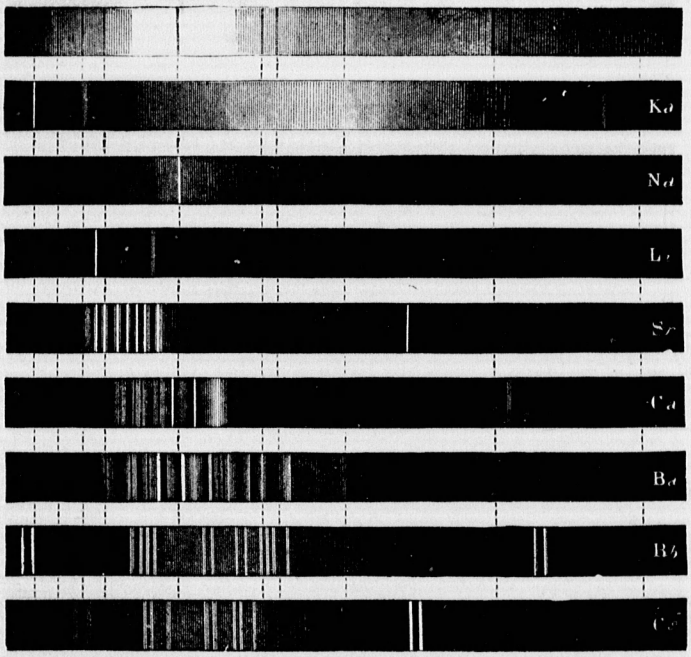
2° wanneer een lichaam zoover verhit wordt, dat het in gloeienden damp overgaat, of wanneer een gas aan het gloeien wordt gebracht, dan straalt die damp of dat gas bij gewone of minder dan gewone drukking een licht uit, welks spectrum bestaat uit eenige, door breede banden van elkander gescheiden strepen; en zoowel de ligging als de breedte dezer strepen blijft dezelfde, zoolang de temperatuur en de drukking onveranderd blijven;

3° omgekeerd absorbeert bij eene lage temperatuur ieder gas en elke damp juist dezelfde lichtstralen, die het in gloeienden toestand bij voorkeur uitzendt en is het voor alle andere volkomen doorschijnend.

Wanneer men deze drie waarheden zoo achtereenvolgens leest en daarbij denkt aan het door tal van donkere strepen doorsneden zonnespectrum, dan ligt het besluit voor de hand, dat de zon een lichaam moet zijn, waarvan licht van allerlei breekbaarheid uitgaat en dat omgeven is van een dampkring, waarin tal van dampen en gassen voorkomen, die bij lagere temperatuur gloeien dan die kern. Eene nadere vergelijking van de verschillende spectra met dat van het zonnelicht dwingt niet alleen met kracht tot dit besluit, maar doet zelfs met hooge mate van waarschijnlijkheid de lichamen kennen, die in zulk een atmosfeer moeten voorkomen. Zulk eene vergelijking wordt mogelijk gemaakt door de aandachtige beschouwing der hiernevens afgebeelde spectra. Van de negen in fig. 22 voorkomende is het bovenste het spectrum van het zonnelicht met de voornaamste daarin

aanwezige strepen; de zeven overige zijn achtereenvolgens die van de gloeiende dampen der metalen Kalium, Natrium, Lithium, Strontium, Calcium, Barium, Rutidium en Caesium. De gestippelde lijnen, die van het eene naar het andere spectrum zijn getrokken, maken de vergelijking gemakkelijk en toonen aan, dat met verreweg de meeste donkere strepen in dat van het zonnelicht een of meer heldere in die der genoemde metaaldampen overeenkomen.

Fig. 22.

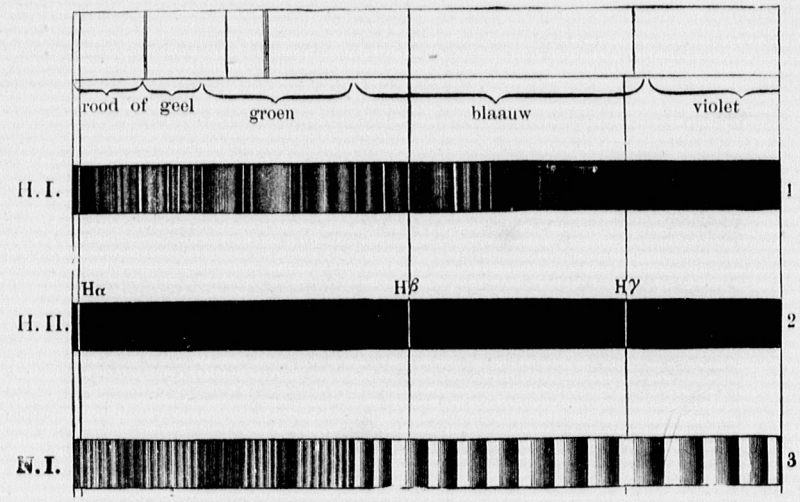


Evenzoo toont fig. 23 de nauwkeurige overeenstemming aan tusschen drie donkere strepen in het zonnespectrum, eene in het rood, eene in het blauw en eene in het violet, met de drie heldere strepen $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, van gloeiend waterstofgas; eene overeenstemming, die wijst op de aanwezigheid van dit gas in de atmosfeer der zon.

Reeds FRAUNHOFER zelf wees met nadruk en herhaaldelijk op de groote overeenkomst in ligging tusschen de twee gele strepen in het spectrum van natrium-licht en de dubbele donkere streep D in dat van de zon; eene overeenkomst waarvan men zich met behulp van den in fig. 8 der vorige verhandeling afgebeelden spektroskoop

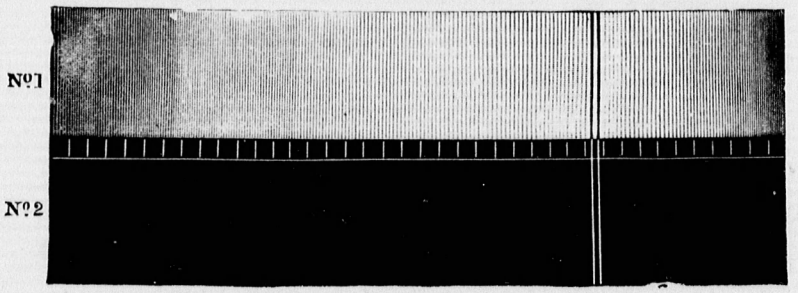
ten duidelijkste kan overtuigen. Laat men door het bovenste gedeelte der spleet zonnelicht en door het onderste natriumlicht vallen, dan

Fig. 23.



vertoonen zich (Fig. 24) de donkere strepen in het eerste als de nauwkeurig verlengden van de heldere in het tweede.

Fig. 24.



ANGSTRÖM, STOKES en WILLIAM THOMSON vonden voor dit verschijnsel eene verklaring, die van de ware niet ver was verwijderd; doch eerst in 1859 gelukte het aan KIRCHHOFF het feit uit zijne oorzaken af te leiden. Om zich van het volkomen samenvallen ten zekerste te overtuigen, wierp hij op een scherm een *zwak verlicht* zonnespectrum en plaatste voor de spleet een heldere, sterk verhitte, natrium-vlam. Oogenblikkelijk werden dan de donkere strepen D in

heldere veranderd. Liet hij daarop *het volle zonnelicht* door de spleet op het prisma vallen, dan zag hij, hoe in plaats van de heldere strepen weder de donkere traden, maar nu veel donkerder en veel scherper begrensd, dan met de gewone streep D het geval is. Inderdaad werd dan ook nu het alkleurig licht van de kern der zon als het ware twee malen door natriumdamp gezift: eerst door dien van de atmosfeer der zon, daarna door dien van de vlam. Het werd zoodoende op meer volkomen wijze gezuiverd van de stralen, wier breekbaarheid met streep D overeenkomt. Op dezelfde wijze onderzocht KIRCHHOFF het zonnespectrum met het oog op de andere daarin voorkomende strepen.

Meer belangwekkend is daarbij zijn onderzoek omtrent het samenvallen van de heldere strepen, die het spectrum van gloeienden ijzerdamp vormen, met donkere in dat van het zonlicht. Niet minder dan 460 van deze ijzerstrepen zijn door KIRCHHOFF en ANGSTRÖM uitgemeten, en ieder van deze heeft in het zonnespectrum haar donkere plaatsbekleedster; is gene zeer helder, dan is deze zeer donker, is gene scherp begrensd, dan is het ook deze. En dat men hier niet kan te doen hebben met een bloot toeval, stelde KIRCHHOFF duidelijk in het licht door te berekenen, dat, wanneer slechts *zestig* van de waargenomen coïncidentiën werkelijk plaats hebben, de waarschijnlijkheid van een werkelijke overeenkomst tot die van een toevallige zich verhoudt als 1 000 000 000 000 000 000 tot 1. Met andere woorden, men moet die zestig strepen van verschillende intensiteit *een trillioen malen* zoo toevallig daar neerwerpen om *eenmaal* de kans te hebben dat zij naar hunnen afstand en graad van helderheid zoo zullen gerangschikt zijn, als dit bij die zestig strepen in het ijzerspectrum het geval is. Evenveel kans heeft men om uit een hoeveelheid van een trillioen boonen met ééne greep de eenige witte te halen, die daaronder voorhanden is!

"Nadat ik aldus", zoo schrijft hij, "de tegenwoordigheid van een der op aarde meest voorkomende metalen in de atmosfeer der zon buiten twijfel had gesteld, was het licht te vermoeden, dat ook andere aardsche stoffen zich daarin bevinden en door de absorbtie, die zij uitoefenen, ook andere strepen van FRAUNHOFER voortbrengen zouden. Het is toch waarschijnlijk dat stoffen, die hier op aarde in groote hoeveelheid aanwezig zijn en die door de buitengewoon hel-

dere strepen van hunne spectra zich onderscheiden, op volkomen dezelfde wijze hunne tegenwoordigheid in de atmosfeer der zon zullen verraden als het ijzer. Dit is inderdaad het geval met calcium, magnesium en natrium. Wel is het aantal heldere strepen van elk dezer metalen slechts klein; maar deze strepen zijn, evenals die in het zonnespectrum waarmede zij samenvallen, zoo buitengewoon duidelijk, dat men dit samenvallen met groote scherpte waarnemen kan. De omstandigheid, dat deze strepen in groepen voorkomen, bevordert nog de nauwkeurigheid der waarneming; want het samenvallen van zulke groepen kan scherper worden gezien dan dat van enkele strepen. Zoo vormen de strepen van het chromium eene zeer in het oog loopende groep, die met eene niet minder duidelijke groep van donkere strepen in het zonnespectrum overeenkomt. Daarom geloof ik ook de aanwezigheid van chromium in de atmosfeer der zon voor zeker te mogen houden.

"Het scheen van belang na te gaan of nikkel en kobalt, die twee vaste begeleiders van het ijzer in de meteoorsteenen, ook op de zon voorhanden zijn. De spectra van deze beide metalen bestaan, even als dat van het ijzer, uit een groot aantal heldere strepen; maar die van het nikkel, en nog meer die van de kobalt, zijn zwakker dan die van het ijzer; zoodat ik dan ook hunne ligging op verre na niet met die nauwkeurigheid heb kunnen bepalen, die de helderheid der ijzerstrepen toeliet. Toch schijnen de helderste nikkelstrepen allen met donkere strepen van FRAUNHOFER samen te vallen; met eenige kobaltstrepen is dit eveneens het geval, met andere, die minder helder zijn, evenwel niet. Ik geloof dan ook uit mijne waarnemingen te mogen besluiten, dat er nikkel is in de atmosfeer der zon; of er kobalt in is, daarover durf ik geen oordeel uitspreken.

"Barium, koper en zink schijnen, ofschoon slechts in geringe hoeveelheid, op de zon voorhanden; want hunne helderste strepen komen met donkere in het zonnespectrum overeen, hunne zwakkere niet."

Wij zien dus dat KIRCHHOFF, bij de beoordeeling van het al of niet aanwezig zijn van eenig element in de atmosfeer der zon, zich alleen inliet met de helderste strepen. Hadden deze onder de donkere Fraunhofersche strepen hare plaatsvervangsters, dan was hem dit voldoende om tot die aanwezigheid te besluiten. THALEN en

ANGSTRÖM waren in dit opzicht minder gemakkelijk. Zoo stelt b.v. de laatstgenoemde zink, barium en aluminium onder de twijfelachtige bestanddeelen, omdat zoo weinige donkere strepen in het zonnespectrum met de vele heldere van deze metalen overeenkwamen, en verbant de eerstgenoemde deze zelfs geheel van de lijst. De belangrijke onderzoekingen door LOCKIJER en FRANKLAND in het werk gesteld hebben echter bewezen, dat de strepen, die in het zonnespectrum als donkere voorkomen, steeds alleen diegene zijn, die in het spectrum van de gloeiende metaaldampen de langste onder de heldere zijn. En wanneer wij hier voor het eerst van langere en korte heldere strepen spreken, dan doelen wij hiermede op het verschijnsel dat, zoo men spektroskopisch de elektrieke vonk onderzoekt, die bijv. tusschen twee polen van magnesium overspringt, het spectrum van dien damp nabij de pool uit meer strepen blijkt te bestaan dan op eenigen afstand van haar; dat twee dier strepen zich tot op een grooteren afstand van die polen verwijderen dan de derde en dus de lange strepen van het spectrum van dien damp mogen genoemd worden. Van ijlere gloeiende dampen schijnt dus het spectrum minder samengesteld dan van meer verdichte; en het is op deze bijzonderheid, dat wij nog later de aandacht zullen hebben te vestigen.

Vat men alles samen wat vroegere en latere nasporingen opleverden, dan is het hoogst waarschijnlijk dat de elementen natrium, calcium, barium, magnesium, ijzer, chromium, nikkel, zink, strontium, cadmium, kobalt, waterstof, mangaan, aluminium en titanium op de zon voorkomen. De edele metalen echter en het lood zijn daar onder anderen niet voorhanden. De volgende tafel leert het aantal coïncidentiën kennen voor deze verschillende stoffen.

	Getal samenvallende strepen.
Waterstof	4.
Natrium	2.
Barium	11 van de 26.
Calcium	75.
Magnesium	7.
IJzer	460.
Mangaan.	57.
Chromium	18.
Kobalt	19.

	Getal samenvallende strepen.
Nikkel	33.
Zink	2 van de 27.
Aluminium	2 van de 14.
Titanium.	200.

Naar aanleiding van de boven door ons op den voorgrond geplaatste waarschijnlijkheid, dat het samenvallen van zoovele donkere strepen in het zonnespectrum met heldere in dat van het ijzer de aanwezigheid van dit metaal op de zon verraadt, willen wij nog eene opmerking van KIRCHHOFF mededeelen.

"Het waargenomen feit", zoo zegt hij, "wordt verklaard wanneer de lichtstralen, die het zonnespectrum vormen, door ijzerdampen zijn gegaan, en daarbij de absorbtie ondergaan hebben, die zulke dampen moeten uitoefenen. Tevens is dit *de eenige oorzaak*, die met eenigen grond voor het plaatshebben der genoemde coïncidentiën kan worden aangevoerd; daarom schijnt het ons noodzakelijk haar als *de ware oorzaak* aan te nemen. De ijzerdampen zouden nu nog òf in de atmosfeer der zon òf in die van de aarde kunnen voorkomen. Maar men kan onmogelijk aannemen, dat in onzen dampkring zoodanige dampen in voldoende hoeveelheid voorhanden zijn, om zoo in het oog vallende absorbtie-strepen in het zonnespectrum te voorschijn te roepen, en dit te minder nu deze strepen geene merkbare verandering ondergaan als de zon den horizon nadert."

Deze opmerking nu geeft ons eene gereede aanleiding om eene andere te gemoet te komen, die wij van de zijde eens aandachtigen lezers wel eenigszins verwachten. Onze aarde zelf toch is van een dampkring omgeven, waarin verschillende gassen als stikstof, zuurstof en koolzuur in bijna standvastige, en daarenboven waterdamp in eene zeer veranderlijke hoeveelheid, voorkomen. Als nu de lichtstralen, bij hun strijken door gassen en dampen van lage temperatuur voor een gedeelte geabsorbeerd worden, moet dan ook, zoo vraagt men lichtelijk, niet de aanwezigheid van dien dampkring door strepen in het spectrum worden verraden? Inderdaad is dit het geval. In fig. 25 zijn van deze zoogenaamde *atmosferische strepen* de voornaamste, nevens de met de letters A, B, enz. geteekende hoofdstrepen van FRAUNHOFER aangegeven.

Onder deze vertoont zich een streep in het oranje, in de figuur

met C6 geteekend, reeds dadelijk als de zon tot ondergaan neigt, en zij wordt zeer scherp begrensd, wanneer dat hemellichaam den horizon nadert. Zoo is het met de meeste dezer strepen: als de zon op den middag haren hoogsten stand bereikt, verbleeken zij bijna allen, doordien alsdan de lichtstralen, loodrecht op den dampkring invallende, een zoo veel dunnere laag lucht hebben te doorloopen dan des avonds, wanneer zij langs de aarde strijken. In fig. 26, waar het bovenste spectrum geldt voor het geval dat de zon haren hoogsten stand heeft bereikt en het onderste als zij nabij den horizon staat, is dit verschil duidelijk zichtbaar.

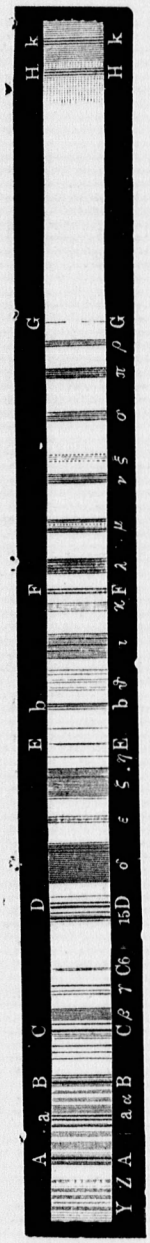


Fig. 25.

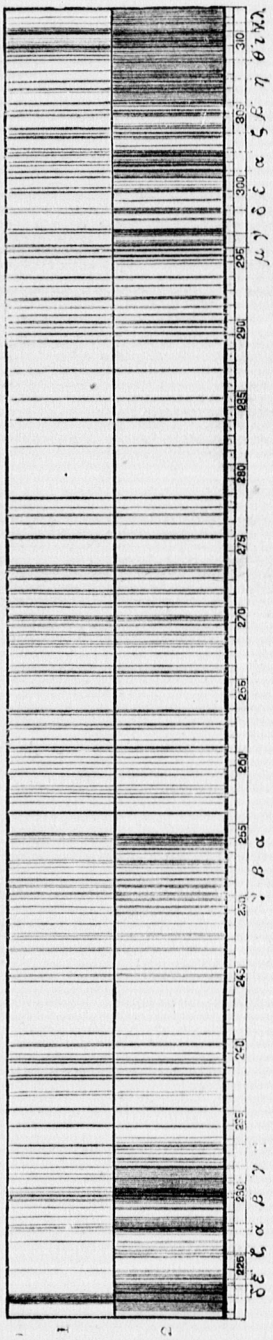
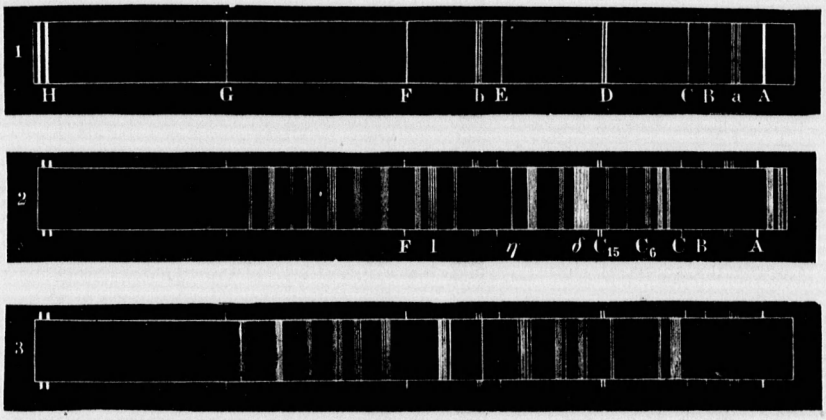


Fig. 26.

Dat deze strepen inderdaad door het absorbeerend vermogen van de bovengenoemde bestanddeelen der atmosfeer ontstaan, bewijst eene vergelijking van de drie in fig. 27 voor-

komende spectra. Van deze drie is het bovenste het gewone zonnespectrum met de voornaamste daarin voorkomende strepen van FRAUNHOFER, het tweede dat waarin de atmosferische strepen voorhanden zijn, die bij

Fig. 27.



het ondergaan der zon te voorschijn treden, terwijl het derde de heldere strepen vertoont, die het spectrum vormen van de elektrieke vonk in dampkringslucht. Zooals zij hier onder elkander zijn geplaatst valt de overeenkomst tusschen een groot aantal van de donkere strepen in het tweede met heldere in het derde dadelijk in het oog. De groepen van strepen in het groen, tusschen E en F. gelegen, die in het tweede en derde spectrum meer dan in het eerste voorkomen, zijn die van de stikstof en, onder anderen, vooral de in het rood en geel, dat is de tusschen A en D gelegene, die van den waterdamp. Als de lucht zeer vochtig en als het ware verzadigd van waterdamp is, treden deze strepen reeds 1 à $1\frac{1}{2}$ uur voor zons-ondergang duidelijk te voorschijn; op droge dagen en bij noordewind daarentegen zijn zij een half uur voor zons-ondergang nauwelijks zichtbaar. JANSSEN, wien het vooral er om te doen was te weten welke atmosferische strepen aan de absorbtie door de eigenlijke dampkringslucht en welke aan die door waterdamp moesten toegeschreven worden, heeft omtrent dit punt belangrijke onderzoekingen in het werk gesteld. Zoo onderzocht hij in 1866 te Parijs het licht van de vereenigde vlam van zestien gasbranders, zoowel wanneer haar licht onmiddellijk door de lucht ging, als wanneer het op zijn weg een 37 meter langen

cilinder moest doorloopen, die met zeer dichten waterdamp was gevuld. Ging het licht door den in den cilinder bevatten waterdamp, dan vertoonden zich oogenblikkelijk tusschen de strepen A en D een groep donkere strepen, in alle opzichten overeenstemmende met de strepen, die bij het ondergaan der zon in haar spectrum optraden en die volstrekt niet werden gezien als het licht de lucht alleen doorliep. Bij de luchtvaart, door CROCÉ-SPINELLI den 22sten Maart 1874 ondernomen, werden deze strepen zwakker naarmate men steeg, en op eene hoogte van 7000 meters waren zij geheel uit het spectrum verdwenen, ofschoon het licht zeer sterk was en de naburige strepen van het eigenlijk zonnespectrum zeer duidelijk te zien waren.

Ten gevolge nu van al deze onderzoekingen is men volkomen in staat uit te maken, welke van de FRAUNHOFERsche strepen aan de absorbtie in onzen dampkring, en welke aan den invloed van de zon moeten toegeschreven worden. Toch kon de wetenschap met de aldus verkregene hooge waarschijnlijkheid betreffende de oorzaak dezer laatsten geen vrede hebben, zoolang daaromtrent geen uitspraak was gedaan door waarnemingen, waarvan men wist dat zij, indien slechts de hulpmiddelen voldoende waren, volkomen in staat zouden zijn die te geven.

Inderdaad, zoo redeneerde men, indien de zon omgeven is van een gasvormig omhulsel, dat wel op lagere temperatuur gloeit dan hare inwendige deelen, maar dan toch zelf ook lichtgevend is, dan zal dit omhulsel zelf een spectrum kunnen leveren. En dit spectrum zal op de juistheid der beschouwingen op de meest volkomene wijze kritiek kunnen uitoefenen, omdat het — volgens den gevonden regel: dat elk gas ondoorschijnend is van de lichtstralen, die het zelf bij uitzondering van alle anderen uitstraalt — heldere strepen zal moeten vertoonen op dezelfde plaatsen, waar donkere absorbtie-strepen zijn in het spectrum van de zon. Van het eigen licht van dit omhulsel nu bemerken wij in de gewone omstandigheden wel niets, zelfs niet aan den rand der zonneschijf. Evenwel kan dit een zeer eenvoudig gevolg daarvan zijn, dat in de onmiddellijke nabijheid van de zon het diffuse licht van onzen, door haar zoo sterk verlichten dampkring dat van haar zwak lichtgevend omhulsel overschijnt. Maar dit bezwaar moet wegvallen, als onze dampkring in die nabijheid niet meer door het zonlicht wordt getroffen; met andere woorden, als de zon verduisterd is. Zoo ooit, dan zal men bij eene totale zonsver-

duistering de theorie aan de bovengenoemde proef kunnen onderwerpen.

Door die redeneering zijn wij dan thans tot het eigenlijk onderwerp van deze verhandeling gevorderd en in de eerste plaats verplicht tot vermelding van al hetgeen, reeds lang voor daarbij de spektroskoop werd aangewend, nauwkeurige waarneming van totale zonsverduisteringen merkwaardigs had doen kennen.

Zooals bekend is wordt de aarde bij haren loop om de zon vergezeld door haren wachter, de maan, die zelve om haar eene bijna cirkelvormige baan beschrijft. Lag deze baan in hetzelfde vlak als waarin de weg van de aarde om de zon is gelegen, dan kon het niet anders of bij elken vollen omloop, dien de maan met betrekking tot de zon om de aarde volbrengt, zou zij éénmaal tusschen beide lichamen komen te staan en zoo doende ten minste voor een deel der aardbewoners het licht der zon moeten onderscheppen. Maar de maanbaan ligt niet met de aardbaan in hetzelfde vlak; en nu dit zoo is, moeten er vele omstandigheden samenkomen eer de maan op voldoende wijze als een scherm tusschen ons en de zon komt te staan. Daartoe moet een van de punten, waar de maanbaan het vlak snijdt waarin de aardbaan ligt, — men noemt die punten *knoopen* — met de middelpunten van zon en aarde in eene rechte lijn komen te liggen, terwijl dan nog wel op het oogenblik waarop dit geschiedt, de maan zich juist in dien knoop moet bevinden.

Maar al geschiedt dit, dan wordt toch nog nooit de zon voor alle aardbewoners geheel verduisterd; zelfs niet op dat halfrond, hetwelk op het gegeven oogenblik naar haar is toegewend. Natuurlijk voert elk uit zich zelf donker lichaam, dat van de zon zijn licht ontvangt, dus ook de maan, in de ruimte zijn schaduwkegel met zich mede, eenen kegel, die tot grondvlak de doorsnede van dat lichaam heeft en op grooten afstand daarvan in een punt uitloopt. En op den afstand waarop de aarde van de maan is verwijderd, is, zelfs onder de gunstigste omstandigheden, die kegel reeds veel te nauw, dan dat de aarde daarin geheel kan worden opgenomen. Die schaduw vormt dan op een gegeven oogenblik op aarde een donkeren cirkel; voor alles wat binnen zijn omtrek ligt is de zon *totaal verduisterd*, voor alles wat daar buiten ligt is zij het òf slechts gedeeltelijk òf op grooten afstand zelfs in het geheel niet. Om kort te

gaan, de maan is een te klein scherm om, bij den afstand waarop zij van de aarde blijft, ooit over de gansche oppervlakte van deze de zon achter zich te kunnen verbergen.

En onder minder gunstige omstandigheden kan zij dit voor niet één punt op aarde. Zooals men weet beweegt deze zich om de zon langs den omtrek van eene geslotene kromme lijn, ellips, genaamd, staat de zon in een van de brandpunten dezer ellips, en is zij dus van de verschillende punten dezer kromme lijn op zeer verschillende afstanden verwijderd. Uit de aarde gezien schijnt daarom de zon niet altijd even groot; de grootste waarde bereikt hare schijnbare middellijn in den winter, de kleinste in den zomer. Nu is wel de maan in de werkelijkheid veel kleiner dan de zon, maar zij is daarentegen ook veel korter bij de aarde geplaatst; daarbij loopt ook zij langs den omtrek van een ellips, die wel niet zooveel van een cirkel afwijkt als de baan der aarde, maar toch genoeg om te maken dat de schijnbare middellijn der maan aan eene merkbare verandering onderhevig is. Beide omstandigheden samengevoegd maken, dat soms de zon ons grooter toeschijnt dan de maan, en dat dan weder deze grooter schijnt dan gene. Heeft nu het eerste plaats, dan kan de maan, al liggen ook de middelpunten der drie lichamen juist in eene rechte lijn, onmogelijk voor het oog van eenig aardbewoner de zon volkomen bedekken. Rondom de maan zal dan nog een ring om de zon zichtbaar blijven; men zal een *ringvormige zonsverduistering* zien. Met den schaduwkegel der maan zal het in dit geval zoo gesteld zijn, dat zijn punt de oppervlakte der aarde niet bereikt.

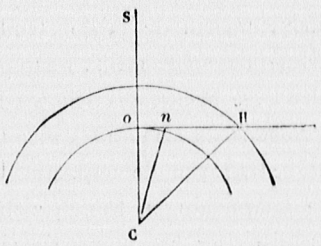
Het voorname doel nu, waarmede men in vroegere jaren de zonsverduisteringen waarnam, was een gansch ander dan tegenwoordig. Toen had men in deze verschijnselen een uitstekend middel om de maantafels, dat wil zeggen de tafels, waarin de juiste stand der maan werd opgegeven, te verbeteren. Het juiste oogenblik, waarop de beide uit- en inwendige aanrakingen der twee hemellichamen werd gezien, vergelijkende met dat waarop dit volgens de maantafels moest plaats hebben, had men gelegenheid het bedrag van de onjuistheid dier tafels te constateeren. En voor zulke waarnemingen leende zich een ringvormige en een gedeeltelijke verduistering haast even goed als eene totale; reden te meer, waarom men geen groote reizen ondernam naar de plaatsen, waar eene totale zonsverduistering op een

gegeven oogenblik zou plaats hebben met eene waarschijnlijkheid, die juist afhing van de meer of mindere nauwkeurigheid der tafels, wier verbetering men beoogde.

Thans is dit anders. Omtrent den physischen toestand der zon kan eene gedeeltelijke zonsverduistering ons niets meer leeren, dan de onverduisterde zon zelve. Een zeer klein gedeelte van hare schijf toch deelt nog aan onzen dampkring genoeg licht mede om te maken dat van het eigen licht van haar omhulsel niets is te zien; ten minste niet voor hen, wien een zeer gevoelige spektroskoop niet ten dienste staat. Maar dan ook behoeft men, weêr en luchtgesteldheid niet medegerekend, niet meer te vreezen een verre reis te vergeefs te zullen ondernemen ter waarneming eener totale verduistering; met groote nauwkeurigheid toch laat zich het tijdstip bepalen, waarop in een willekeurige plaats op aarde zulk eene verduistering zal intreden. En dit was reeds lang het geval vóór de spectraal-analyse haar eerste woord gesproken had.

De meesten onzer zijn zeker eens of meermalen in de gelegenheid geweest om, zonder daarvoor onze woonplaats te verlaten, eene totale verduistering der zon waar te nemen; en menigeen heeft zich wellicht in dit geval teleurgesteld gezien, doordien de duisternis rondom hem minder diep was, dan hij zich had voorgesteld. Een avondschemering, en niets meer; slechts bij groote opmerkzaamheid een der meest heldere sterren. En toch was er redelijkerwijze niets anders te verwachten; want meer nog dan bij een avondschemering moest, wat deze veroorzaakt, hier in de gevolgen zichtbaar zijn. Zij in fig. 28 de binnenste cirkel de oppervlakte der aarde, de buitenste die van den dampkring,

Fig. 28.



en *o* H een raaklijn in het punt, waar zich de waarnemer op aarde bevindt, aan deze getrokken. Zij verder *o n* van de doorsnede, die de schaduwkegel heeft waar zij de aarde bereikt, de straal, en laat den top van dien kegel in C vallen. Een waarnemer, die in *o* is geplaatst, ontvangt dan nog licht van dat gedeelte des dampkrings, dat boven *o* H en buiten dien kegel gelegen is, en dat zelf, naarmate het verder van dien kegel is verwijderd, door grooter gedeelte van de zon wordt beschenen;

en dit zal rondom hem evenzoo zijn als het hier in ééne richting is voorgesteld. De graad van de duisternis hangt dus veel van den toestand der lucht en van de zuiverheid des hemels af; en deze laat in de meeste gevallen bij ons nog al iets te wenschen over. Alleen het plotselinge en het ongewone tijdstip der schemering, gepaard aan de oogenblikkelijke daling der temperatuur, maken dan ook in ons klimaat den indruk van het verschijnsel meer dan gewoon.

Gansch anders is het onder den helderen hemel van zuidelijker landen; waarnemers, daarheen gereisd om op het gewichtige oogenblik door het doen van belangrijke waarnemingen de wetenschap te verrijken, mannen, die zich volkomen hadden voorbereid op den geweldigen indruk, dien de natuur in haar plotseling omgehangen rouwkleed naar de ondervinding hunner voorgangers maakt op alles wat leeft, moesten zich op dat oogenblik met inspanning van hunne gansche wilskracht aan dien indruk ontworstelen, indien zij niet wilden dat alle moeite en kosten, voor de wetenschap ten minste, nutteloos waren besteed. Anderen, bijv. DE LA RUE, namen zich voor bij de eerste gelegenheid die nogmaals ten beste te geven; maar dan om in stille aandacht den overweldigenden indruk te genieten, waaraan zij zich zoo noode konden onttrekken.

SECCHI, die in *Spanje* te *Desierto de los Palmos* op den top van den berg *St. Miguel*, van waar men — 725 meter boven den spiegel der zee — een uitgestrekten horizon heeft, de totale verduistering van 1860 waarnam, zegt omtrent den indruk, dien het verschijnsel op hem maakte, dat, ofschoon hij zelf beter dan ooit iemand daarop voorbereid was, hij daardoor met geweld werd aangegrepen en verschrikt. Zijn gansche wilskracht had hij noodig om bij het zien van het ontzettend schouwspel zijne zinnen meester te blijven. Wanneer de waarnemer eene gunstige standplaats heeft gekozen, kan hij zonder veel inspanning de schaduw van de maan als een donkere, dreigende onweerslucht over de aarde zien voortijlen. Van de hoogte van den berg *St. Miguel* zag hij dezen zwarten kegel veel sneller dan een onweêr opkomen en als een lokomotief in volle vaart over de vlakte jagen. En BAILY zegt omtrent de door hem waargenomen verduistering van 1842: "ik was geheel bezig met het tellen van de tikken mijns chronometers, ten einde nauwkeurig het oogenblik van het verdwijnen der zon te kunnen aangeven, in de diepste stilte midden

onder eene volksmenigte, die de straten, de pleinen en de vensters der huizen vulde en wier aandacht geheel geboeid werd door het schouwspel dat zich vertoonde. Op hetzelfde oogenblik, dat de laatste straal verdween, werd ik verdoofd door een donderend bravo! dat zich uit die menigte verhief. Een rilling gaat over mijn lichaam en sidderend richt ik mijn blik naar de zon; ik sta voor het ontzettendst schouwspel dat men zich denken kan. Zon en maan, die beide groote gesternten, hangen over elkander tusschen aarde en hemel als een pikzwarte vlek, omgeven van een helder lichtgevenden stralenkrans (Fig. 29).

Fig. 29.



Maar laat ons, even als BAILY later wijselijk deed, ons spoedig herstellen van onzen schrik en opmerkzaam nagaan, wat, nu de totale verduistering is ingetreden, de omgeving der maan ons te aanschouwen geeft. Aan hem vertoonde zij zich zooals de figuur haar te zien geeft: een stralenkrans, die op drie plaatsen was afgebroken door zeer groote purperkleurige vlammen, die bijna twee minuten boogs boven den rand der maan zich verhieven.

Zoo is het bij elke totale zonsverduistering. Men ziet om de maan een vreemden lichtkrans, een aureool van paarlkleurig wit licht, die men de *corona* heeft genoemd, en nader bij haren rand vreemde, roode, op vlammen gelijkende uitsteeksels, waaraan men den naam van *roode protuberansen* heeft gegeven.

Van deze twee verschijnselen is de corona verreweg de langst bekende. Reeds de oudste waarnemers maken van haar gewag. Zoo vindt men haar reeds bij PLUTARCHUS vermeld als een reden, waarom de duisternis tijdens eene zonsverduistering niet volkomen is, "omdat

men een groote hoeveelheid licht rondom haar waarneemt, die een sterke en diepe duisternis belet."

Hare stralen gaan uit van een zeer helderen ring van zilver- of paarlemoerwit licht, die de schijf der maan omgeeft en eene van den toestand onzer atmosfeer afhankelijke breedte heeft. Haar lichtkracht is zeker niet geringer dan die van de volle maan; want van de sterren, die men bij volle maan met het bloote oog duidelijk ziet, zijn slechts de helderste zichtbaar als de zon totaal is verduisterd. Toch kan men zich reeds eenige minuten voor de totaliteit, dus eer de beide schijven elkander aanraken, van hare tegenwoordigheid overtuigen; werpt men dan een beeld van de zon op een scherm, dan ziet men op eenigen afstand van haar reeds duidelijk de schaduw der maan naderen, die dan, reeds voor de aureool zich bevindende, haar licht van het scherm afhoudt.

De witte lichtring heeft eene gemiddelde dikte van 3 à 4 minuten boogs; hem omgeeft een tweede gordel van licht, die naar buiten zeer snel in lichtsterkte afneemt en langzamerhand in het diffuse licht van den dampkring opgaat. Van den ring gaan verschillende stralenbundels uit, die volgens sommige waarnemers zich wel tot op een afstand grooter dan de dubbele middellijn der maan uitstrekken, door andere evenwel of in het geheel niet of slechts flauw in hunne afbeeldingen zijn aangegeven. Deze afbeeldingen zijn dan ook zeer verschillend. Zoo geeft fig. 30 er eene van de zonsverduistering van 1860, zooals die door SECCHI in Spanje werd ontworpen, terwijl in fig. 31 die is teruggegeven, welke CAPELLETTI van dezelfde verduistering naar zijne waarnemingen vervaardigde.

De lichtgevende boog EGAF, die in deze laatste de zon aan eene zijde op eenigen afstand omgeeft, is in soort den regenboog gelijk; aan CAPELLETTI vertoonde hij zich bij het naderen der totaliteit in levendige kleuren, het rood naar buiten, het blauw naar de zon gekeerd.

Wij kunnen ons niet ophouden met eene beschouwing van alle afbeeldingen van zonsverduisteringen, die ons ten dienste staan. Zooveel is zeker, dat de gedaante der corona tijdens dezelfde verduistering aan groote veranderingen onderworpen is en door verschillende waarnemers, zelfs als zij op kleinen afstand van elkander waren geplaatst, op zeer verschillende wijze werd gezien. Veel hangt hierbij zeker van

den toestand der atmosfeer, veel ook van den persoon des waarnemers af; het lijdt geen twijfel dat deze bij dit werk met verschillende bezwaren van objectieven en subjectieven aard heeft te kampen. Onder den geweldigen indruk van het gansche natuurtooneel, met het bewustzijn dat slechts weinige minuten ten dienste staan, na wier

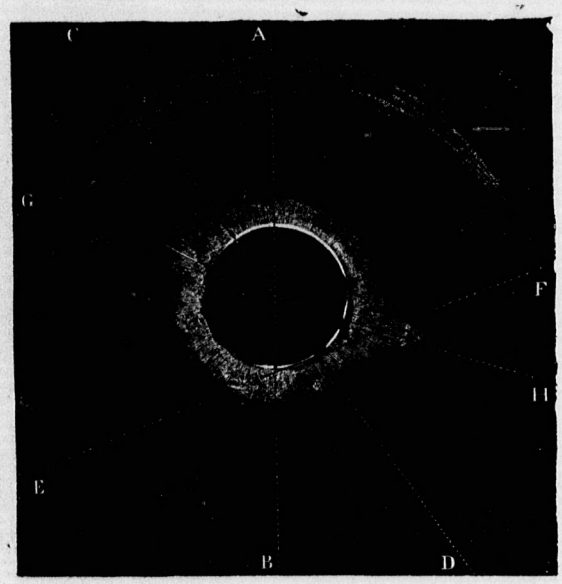
Fig. 30.



verloop de gelegenheid van nieuwe waarneming voor jaren is afgesneden, eene nauwkeurige afbeelding te vervaardigen van een verschijnsel, dat bij al zijn samengesteldheid nog ieder oogenblik wordt gewijzigd, is zeker een van de zwaarste eischen die men een waarnemer stellen kan. Men heeft dan ook bij dien arbeid de photographie te hulp geroepen. Maar, ofschoon zij omtrent den witten ring en

den hem omgevenden lichtgordel de vrij zekere overtuiging heeft gevestigd, dat die om de polen der zon smaller is dan nader bij den evenaar, zoo is toch de lichtkracht der stralenbundels te gering, dan dat die, zelfs bij eene expositie van 40 sekonden, in het lichtbeeld voorkomen. Het voornemen is nu om bij toekomstige verduisteringen zich te bedienen van een mat glas, dat, met de ruwe zijde naar den waarnemer gekeerd, in een sponning kan worden voortbewogen en waarop, als op het matte glas in de camera abscura, een beeld van het objectief zal worden geprojecteerd. Wanneer men vooraf op dit

Fig. 31.

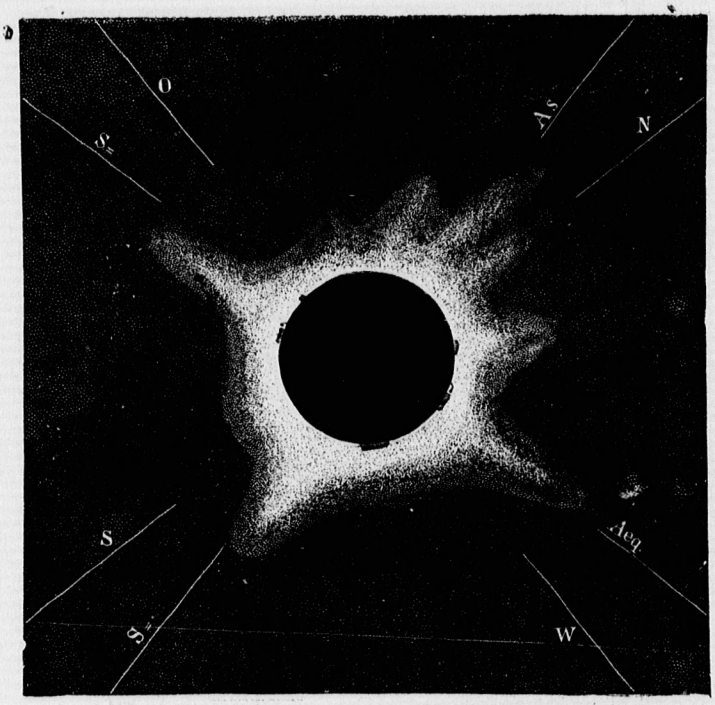


glas eenige achtereenvolgende afbeeldingen teekent van de schijf der maan en den haar omgevenden lichtring, wier afmetingen overeenkomen met de evenzoo vooraf berekende afmetingen van het te projecteeren beeld, dan kan men met potlood de stralenbundels daaromheên schetsen en zoodoende gedurende ééne verduistering een of meer afbeeldingen verkrijgen, bij wier vervaardiging de subjectiviteit van den teekenaar zoo min mogelijk in het spel komt.

Omtrent de oorzaak van het gansche verschijnsel waren de gedachten in den loop der tijden zeer verdeeld. HALLEY zocht die, anderhalve eeuw geleden, in een dampkring, die de maan omgaf. Van dit denk-

beeld echter is men geheel teruggekomen; de op verschillende oogenblikken vervaardigde photographische afbeeldingen van dezelfde eklips doen duidelijk zien, dat noch de corona, noch de protuberansen, zich tijdens haar met de maan voortbewegen; dat zij daarentegen in dezelfde mate aan den eenen rand der maan te voorschijn treden als zij aan den anderen gedurende het verloop der verduistering verdwijnen.

Fig. 32.



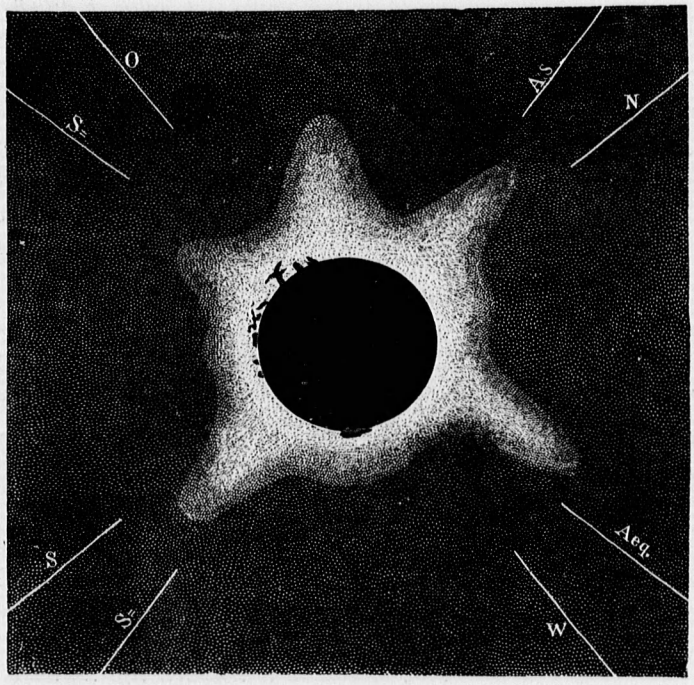
Gedurende langen tijd daarna meende men vrij algemeen, dat de corona in haar geheel niets anders was dan een zich ver uitstrekkende dampkring van de zon, waarin de protuberansen, als wolken, dreven. Tegen dit denkbeeld verzette zich echter, ten minste wat den ganschen omvang van het verschijnsel betreft, LOCKYER ten sterkste; en, hoewel in den loop der laatste tien jaren zijne zienswijze hieromtrent nog al wijziging heeft ondergaan, helde hij toch, naar zijne eerste beschouwingen te oordeelen, zeer over tot de meening, dat wij hier aan niets anders hebben te denken dan aan een verschijnsel, dat

aan het gaan van de zonnestralen door onzen eigenen dampkring moet worden toegeschreven.

Zooals veelal elders ligt ook hier de waarheid in het midden.

Voor een groot deel is zeker de corona zooals wij haar zien niet de corona zooals zij is. Om de juistheid van deze opmerking nog beter in het licht te stellen, willen wij de beide reeds aangehaalde voorbeelden van verschil in de waarneming met nog eenige vermeerderen.

Fig. 33.



In fig. 32, eene afbeelding van de zonsverduistering van 1869, zooals die in *Amerika* te *Des Moines* door EASTMANN werd gezien, en evenzoo in fig. 33, die door GOULD naar dezelfde verduistering te *Burlington* werd vervaardigd, heeft de corona eene vierhoekige gedaante; en diezelfde gedaante heeft zij in teekeningen van PLANTAMOUR naar de verduistering van 1860, van anderen naar die van 1870, ja zelfs in eenige photographieën van de laatstgenoemde. Zoo verhaalt ook RUMKER omtrent het verloop van het verschijnsel in 1860, dat, toen de oostelijke randen in aanraking kwamen, heldere

stralen aan die zijde zichtbaar werden, dat deze, toen de totale verduistering haar einde naderde, verdwenen en op het oogenblik, dat de westelijke randen in aanraking kwamen, vervangen werden door heldere stralen aan deze zijde. Evenzoo zag GILLMANN die van 1870 in *Spanje* als een D in het begin en als een omgekeerde D (Ɑ) aan het einde. Maar hier tegenover staan weder afbeeldingen, naar dezelfde verduistering op *Sicilië* geschetst, waarin de corona op elk tijdstip of een volkomen ronde of een stervormige gedaante heeft. Zelfs aan boord van hetzelfde engelsche oorlogschip, de *Lord Warden*, dat tijdens deze verduistering op de reede van *Catania* lag, vervaardigden verschillende officieren afbeeldingen, die in allerlei opzichten van elkander afweken; maar in geen van die afbeeldingen komt de overdreven lange straal voor, dien men ziet in eene andere, door een Amerikaan op zee nabij de reede van *Catania* ontworpen. Voor sommige waarnemers is het alsof de gansche corona eene draaiende beweging heeft. Ziehier als curieus bewijs daarvoor een gesprek dat LOCKYER had met een officier van een der andere schepen op de reede van *Catania*. L. vroeg hem of hij een teekening had gemaakt naar de corona. "Neen." "Hebt gij ook stralen gezien?" "Ja." "Wel, waarom maaktet gij daar dan in het geheel geen afbeelding van?" En het antwoord was: "Hoe in de wereld is het mogelijk een ding na te teekenen, dat voortdurend ronddraait als een vuurwerk?"

Even weinig licht werd gedurende de laatste verduisteringen over het onderwerp verspreid door aanwending van den polariskoop, dat is van een inrichting, die een oordeel doet vellen omtrent het meer of minder gepolariseerd zijn van het licht.

Wij willen hier niet in eene uitgebreide verklaring treden van hetgeen men te verstaan heeft door gepolariseerd licht. Veeleer willen wij een van de verschijnselen noemen, die het karakteriseeren, en deze eigenschap de plaats doen innemen van eene algemeene bepaling. Wanneer een lichtstraal valt op een plaatje van zeker mineraal, toermalijn genaamd, waarvan de zijvlakken evenwijdig zijn aan de as van het kristal waaruit het is gesneden, dan laat dit plaatje het licht slechts gedeeltelijk door. En het blijkt dan, bij nader onderzoek, dat dit doorgelaten licht eene zeer bijzondere eigenschap bezit; want, beziet men het door een dergelijk plaatje en draait men dit bij het zien langzaam om, dan is dit tweede in éénen stand bijna volkomen

doorschijnend voor het licht dat het eerste doorliet en in éénen stand in het geheel niet. Het licht nu, dat door het eerste plaatje gaande die bijzondere eigenschap aannam, noemt men gepolariseerd; het tweede, dat ons die eigenschap kenbaar maakte, kan men een polaroskoop noemen.

Dezelfde eigenschap bezit in meerdere of mindere mate alle licht, dat door terugkaatsing tot ons wordt gebracht; zelfs het diffuse licht van den dampkring, dat wil zeggen het door zijne deeltjes op onregelmatige wijze teruggekaatst zonnelicht, bezit haar in zekere mate. En het is deze omstandigheid die er aanleiding toe gaf de uitspraak van den polariskoop in te roepen bij het oordeel over den aard der corona. Want, zoo redeneerde men, daar het zonlicht, om op eenigszins voldoende wijze gepolariseerd te worden, onder een vrij grooten hoek moet invallen op de oppervlakte der deeltjes, die het naar ons oog terugkaatsen, zal het licht der corona sterk gepolariseerd moeten zijn als de oorzaak der polarisatie in den dampkring der zon is gelegen, en zwak in het tegenovergesteld geval; de hoek toch, waaronder de stralen der zon, die na terugkaatsing tot ons komen, de deeltjes van haren eigen dampkring treffen, is zeer vele malen grooter dan die, waaronder zij vallen op deeltjes van onze zoo ver van de zon verwijderde atmosfeer.

Maar ook de polariskoop heeft voor het beoogde doel niet ten volle aan de verwachting beantwoord; ook zijn uitspraak bleef twijfelachtig. Vroegere waarnemingen, onder anderen die van LIAIS in 1858, hadden wel doen zien dat het licht der corona gepolariseerd was; maar in 1869 meldden de meesten der Amerikaansche waarnemers, waaronder in de eerste plaats PICKERING, het tegendeel. Toch was ook weder deze bevinding niet algemeen, daar YOUNG van sterke polarisatie gewag maakt. De eklips van 1870 leverde een even twijfelachtig resultaat; op *Sicilië* werd door allen polarisatie waargenomen, in *Spanje* door eenigen niet. Alleen de verduistering van 1871, in de Indische zee zichtbaar, schijnt de zaak in zooverre te hebben uitgemaakt, dat zij voldoenden grond heeft geleverd om te denken aan een dubbele oorzaak van de gedaante, waaronder de corona zich aan ons voordoet, en wel doordien men tijdens haar bijzonder acht heeft geslagen op den aard der waargenomen polarisatie. Te *Bekul* toch nam THOMSON verschijnselen van polarisatie waar zoowel in de

omgeving van de verduisterde zon als over de oppervlakte der haar bedekkende maan. Daar nu deze laatste alleen uit eene verspreiding van gepolariseerd licht tusschen ons en de maan kunnen verklaard worden, is hun oorsprong alleen in de onregelmatige terugkaatsing van het licht door de deeltjes onzer atmosfeer te zoeken. LEWIS en LOCKYER zelf bevestigden die waarneming; maar daarenboven zagen zij, de eerste zelfs op eenen afstand van 6 a 7 minuten van den rand der maan, het licht gepolariseerd op eene wijze, die alleen door eene terugkaatsing van het licht der zon in haren eigen dampkring kan worden veroorzaakt.

Zooals wij reeds boven zeiden, even als dikwijls elders ligt dus ook hier blijkbaar de waarheid in het midden Kunnen wij al niet de corona, zooals zich die aan ons voordoet als eenen in dien vorm de zon omgevenden dampkring beschouwen, wij kunnen evenmin haar objectief bestaan als zoodanig rondweg loochenen. Dat in 1870 BRETT een zwakken lichtring zag om het nog niet verduisterd gedeelte der zon, een verschijnsel reeds door AIRY in 1842 vermeld, strekt ons evenzeer als het reeds vermelde feit, dat men reeds vóór de aanraking der beide lichamen soms de schaduw der maan de zon ziet naderen, tot een bewijs, dat ook hare omgeving eigen licht uitstraalt, en de onderzoekingen met den polaroskoop weêrspreken, schoon zij tevens den subjectieven aard van het verschijnsel buiten twijfel stellen, deze zienswijze niet. Wanneer wij in een volgend hoofdstuk de hulp der spektraal-analyse inroepen, zullen wij zien dat zij inderdaad de ware is.

Omtrent de wijze van ontstaan der lange stralenbundels zal echter de spektroskoop ons, evenmin als de vroeger aangevoerde hulpmiddelen, niets naders leeren. Het is onze overtuiging dat zij van de eigen omgeving der zon geen wezenlijk deel uitmaken, en wij stemmen dan ook volkomen in met de opmerking van SECCHI, dat men zich zeer zou bedriegen als men alleen uit de buitengewone lengte der waargenomen stralenbundels besluiten wilde tot eene daarmede overeenkomende uitgestrektheid der lichtgevende stof. Een lichtgevende massa, die zelfs maar weinige sekonden boogs buiten den rand der maan uitsteekt, kan naar den graad van hare lichtsterkte den dampkring der aarde tot op eene grootere of kleinere diepte verlichten, en *met deze diepte komt de schijnbare lengte der stralenbundels*

overeen. Ook zal onze dampkring niet in alle punten even diep door de zonnestralen verlicht worden, daar zij op de eene plaats zeer doorschijnend, op de andere met dampen verzadigd kan zijn. Misschien moet men in deze omstandigheid de oorzaak zoeken van die zonderlinge, geheel onregelmatige vormen, die eenige stralen der corona soms aannemen.

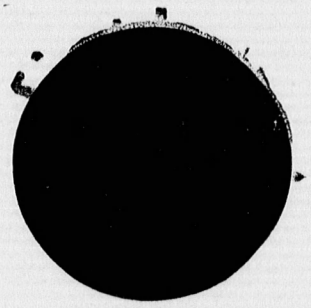
En hiermede wenden wij onze aandacht af van de corona, om die nog kortelijk te vestigen op de purperkleurige uitsteeksels of protuberansen, die wij in den aanvang reeds noemden, maar tot nog toe buiten opzettelijke beschouwing lieten.

Leest men in den tegenwoordigen tijd, nu men van het bestaan dezer verschijnselen door menige zonsverduistering kennis draagt, de beschrijving van vroegere verduisteringen, dan blijkt het uit meer dan eene uitdrukking, dat zij door vroegere waarnemers meermalen zijn opgemerkt. Zoo meldde in 1706 STUNNYAN, die de totale eklips van dat jaar te *Bern* waarnam, aan FLAMSTEED, dat kort voor het einde van de eklips de westelijke rand overdekt was door een bloedroode laag, die niet langer dan zes of zeven sekonden bleef bestaan. Hunne opzettelijke beschouwing dagteekent echter eerst van het jaar 1842. Gedurende de totale verduistering, die in dat jaar op den 8sten Juli over gansch Midden-Europa zichtbaar was, werden zij door ervaren waarnemers, mannen als AIRY, ARAGO en STRUVE gezien en, voor zoover dit bij het onvoorziene van het geval in den korten beschikbaren tijd mogelijk was, in teekening gebracht. Die afbeeldingen verschilden echter in vele opzichten van elkander; zooveel zelfs, dat sterrekundigen van naam een wezenlijk bestaan aan de op vlammen gelijkende aanhangsels aan den rand der maan niet willende toekennen, aan luchtspiegeling of aan andere lichtverschijnselen de oorzaak van hun verschijnen toeschreven. En wie aan hun werkelijk bestaan als zoodanig niet twijfelden waren nog deels de meening toegedaan, dat zij in de omgeving der maan, deels dat zij in die der zon te huis behoorden.

Over al deze vragen en tusschen al dat verschil van meening wachtte men echter de uitspraak af van de totale verduistering, die de zon in den zomer van 1851 voor de bewoners van Noord-Europa zou ondergaan. En zij stelde die verwachting niet te leur. Wanneer wij een blik slaan op de in fig. 34 teruggegeven afbeelding naar AIRY

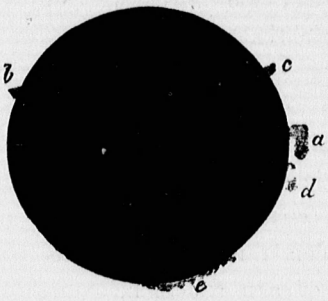
en haar vergelijken met de door fig. 35 voorgestelde gedaante, waaronder op het oogenblik der totaliteit de onmiddellijke omgeving der zon zich voordeed aan HIND, wiens standplaats tijdens de waarneming vele mijlen van die van AIRY was verwijderd, dan is het te begrijpen, dat de twijfel aan de realiteit der protuberansen door de waarnemingen van 1851 grootendeels werd te niet gedaan. En ook omtrent hare aanhoorigheid gaven deze voldoende inlichting, in zooverre het uit de waarnemingen van STRUVE bleek, dat de hoogte van een protuberans in dezelfde verhouding verandert, als door de snelheid van de beweging der maan over de zonneschijf wordt gevorderd.

Fig. 34.



En alle volgende verduisteringen dienden slechts om deze zienswijze als de ware te doen erkennen. Zij leerden niet alleen, dat hier en daar boven de oppervlakte der zon ophoopingen van gloeiend gas voorhanden zijn, maar ook, dat hare gansche oppervlakte door een laag van dit gas overdekt is op de wijze, waarop dit in de fig. 36 over een groot gedeelte om den omtrek der zonneschijf zichtbaar is. Men heeft aan dat omhulsel den naam *Chromosfeer*, dat is kleurensfeer, gegeven, om het te onderscheiden van de *Photosfeer*, dat is lichtsfeer, die er door omgeven wordt, en van welke het eigenlijke zonnelicht uitgaat.

Fig. 35.



Dat men de protuberansen als *gas*massa's heeft leeren kennen, dat men de soort van gas heeft kunnen bepalen, waaruit zij bestaan, dat men zelfs verschil in spanning, in de verschillende lagen dier opeenhoopingen heeft kunnen opmerken, dat alles zijn wij aan de spectraal-analyse verschuldigd. Wij behouden ons voor deze in een volgend opstel nader te bespreken, en zullen dan tevens zien, dat men, den spektroskoop bij zijne waarneming te baat nemende, bij een onverduisterde zon de haar omgevende chromosfeer met hare protu-

beransen op elk willekeurig oogenblik van den dag tot het voorwerp zijner studie maken kan.

Thans willen wij nog slechts vermelden, dat, eer de spectraal-analyse op de omgeving der zon werd toegepast, men door het vervaardigen van photographische afbeeldingen gedurende hare totale verduistering zich omtrent het werkelijk bestaan dier voorwerpen zekerheid heeft willen verschaffen. En evenzoo niet zonder vrucht. Het bleek daarbij, dat het licht der protuberansen, om eene uitdrukking der photographie te bezigen, eene sterke aktinische kracht bezit, dat wil zeggen: dat het in zijne samenstelling vele stralen bevat, die, zonder sterk lichtgevend te zijn, toch bijzonder sterk op de geprepareerde plaat inwerken. Zoo sterk zelfs, dat bijzonderheden, die door de beste kijkers niet zichtbaar waren, in de photographische afbeeldingen dui-

Fig. 36.



delijk te voorschijn traden. Voor het werkelijk bestaan dezer voorwerpen, en in elk geval tegen de bewering dat haar verschijnen slechts een gevolg van optisch bedrog zou zijn, was deze bevinding wel het sterkste bewijs dat men kon verlangen. Omtrent deze photographische afbeeldingen ten slotte nog ééne opmerking. In fig. 36, naar een van de best geslaagde afbeeldingen der zonsverduistering van 18 Juli

1860 vervaardigd, is het, bij eene aandachtige beschouwing, alsof aan den eenen rand der maan de protuberansen zich eenigszins binnen dien rand uitstrekken. Ook deze bijzonderheid is alleen daaraan toe te schrijven, dat het licht der protuberansen eene grootere aktinische kracht bezit dan dat der corona. In de weinige sekonden, gedurende welke de geprepareerde plaat aan hun licht is blootgesteld, beweegt de maan zich over de zonneschijf en bedekt zij zoodoende aan den eenen rand der zon langzamerhand de protuberansen. Maar de werking van het licht dezer voorwerpen geschiedt bijna oogenblikkelijk, terwijl dat van de corona, waardoor de omtrek der donkere maan moet worden bepaald, meer tijd vordert; en zoo verschijnt dan een protuberans in de photographische afbeelding met hare basis ongeveer zoover binnen den rand der maan, als overeenkomt met de vordering, die deze gedurende den tijd der expositie aan den hemel gemaakt heeft.

Wij hebben nu overvloedige stof ter verdere bewerking. De strepen van FRAUNHOFER gaven ons, naar aanleiding van de belangwekkende onderzoekingen van KIRCHHOFF en BUNSEN, het recht om te vooronderstellen, dat eene massa gas, bij lagere temperatuur gloeiende dan de kern der zon, deze omgaf. De zonsverduisteringen moesten ons leeren in hoeverre die hypothese juist was; bij eene verduisterde zon toch kon zulk een omhulsel lichtelijk buiten den rand der maan liggen, het kon ons zijn eigen licht toezenden, en de spectraal-analyse zou in dat geval ons kunnen leeren, of dat eigen licht nu inderdaad heldere strepen vertoonde, waar donkere liggen in het spectrum van de zon. En onze verwachting is reeds in zooverre niet teleurgesteld, dat de zonsverduisteringen ons werkelijk hebben leeren zien, hoe de zon een van hare eigenlijke lichtsfeer zich onderscheidend lichtgevend omhulsel heeft. Wij leerden de corona en de protuberansen kennen, en de laatsten vooral maakten het, door hare eigenaardige gedaante en meer nog door de veranderingen die deze in korten tijd ondergaat, waarschijnlijk, dat die omgeving gasvormig is. Omtrent den aard en de samenstelling van dat omhulsel zekerheid te erlangen, blijft nu nog slechts over. Deze zal in een volgend opstel de spektraal-analyse ons verschaffen.

DE CHROMOSPHEER.

In onze laatste verhandeling volgden wij, wat de rangschikking der onderwerpen betreft, den gang der gebeurtenissen. Wij spraken eerst over de corona, daarna over de protuberansen; want, ofschoon wij zagen dat ook deze reeds in 1706 duidelijk waren gezien — door STANNIJAN te *Bern* — maakten zij toch niet voor 1842 een voorwerp van gezet onderzoek uit, terwijl daarentegen de corona, wegens haren grooteren glans, bij elke zonsverduistering de aandacht der waarnemers tot zich trok.

Ook nu, bij de voortzetting der behandeling van ons onderwerp, zullen wij den gang der gebeurtenissen volgen. Maar dan komen de protuberansen het eerst aan de beurt. Want, waar het de toepassing der spectraal-analyse geldt, waren zij het, die vóór de corona aan een onderzoek werden onderworpen. Men stelle zich echter het tijdsverschil niet te groot voor. Sedert de eklips van 1868 kan men de protuberansen, zonder dat men daarvoor een voet buiten het observatorium behoeft te zetten, tot de voorwerpen van een dagelijks voortgezet onderzoek maken; natuurlijk wanneer dat observatorium voorzien is van de hulpmiddelen, die aan onzen tijd passen en wanneer het klimaat, meer dan hier te lande, tot dagelijks voortgezette waarneming gelegenheid geeft. Verre reizen naar de streken, waar een totale zonsverduistering zal zijn waar te nemen, worden thans hoofdzakelijk ondernomen met het doel, om ook van de corona het laatste woord omtrent haren physischen toestand te ontwringen; de

protuberansen staan daarbij betrekkelijk op den achtergrond. Hoe het komt, dat het onderzoek dezen loop heeft genomen, moge bij de nadere ontwikkeling van ons onderwerp den aandachtigen lezer blijken.

Al wat de teleskoop en de camera obscura omtrent de protuberansen konden leeren, hadden zij geleerd bij de verduistering van 1860. Na deze was het aan geen twijfel meer onderhevig of men zag in haar verhevenheden boven de eigenlijke oppervlakte der zon zelve, die van deze een deel uitmaakten, zich eenige duizenden geographische mijlen boven haar verhieven en een licht uitstraalden, waarvan de scheikundige werking de intensiteit verre overtrof. Maar daarmede scheen dan ook alles gezegd; zelfs de flauwste hoop, ooit iets naders omtrent haar te zullen weten, verdween voor de overweging, dat met alle beschikbare hulpmiddelen het mogelijke was gedaan, dat geene andere ten dienste stonden! In dezen stand van zaken kwam echter hulp van eene zijde, vanwaar men die niet had verwacht. Eene zusterwetenschap, die tot nog toe der sterrekunde bij hare onderzoekingen de hand niet had gereikt, de scheikunde, doet haar ter rechter tijd opdagen; het laboratorium kwam het observatorium te hulp. En de natuurkunde, die andere zuster, aan wie wij reeds alles danken, waarmede in de laatste drie eeuwen onze kennis van het heelal is verrijkt, maakte ook thans die hulp tot eene haast alvermogende. Het was toch in 1861, dat KIRCHHOFF en BUNSEN, van onderzoekingen van bepaald scheikundige strekking uitgaande, uit hetgeen zij in het laboratorium zagen, besloten tot hetgeen aan de oppervlakte der zon moest plaats hebben; dat zij langs den weg, waarop wij in de tweede dezer afdeelingen hen nagingen, er toe kwamen om den spektroskoop te maken tot een werktuig, dat als het ware een nieuwen band legde tusschen hemel en aarde. Bij de eerstvolgende zonsverduistering zou over de natuur der protuberansen dit werktuig uitspraak doen. Het zou, indien het een spectrum deed zien, dat een onafgebroken geheel vormde, het bewijs leveren dat zij uit vaste of vloeibare materie waren gevormd; bestond daarentegen dit spectrum alleen uit heldere strepen, dan zou hun gasvormige toestand buiten allen redelijken twijfel zijn gesteld. Daarenboven was het te verwachten, dat in dit laatste geval de ligging der strepen, schoon nog wel niet met volle zekerheid dan toch ongeveer, omtrent de samenstelling der protuberansen uitsluitsel geven

zou. En mocht het zijn, dat die uitspraak zoo uitviel, dat die heldere strepen in hun spectrum samenvielen met de donkere in het spectrum van FRAUNHOFER, dan was meteen omtrent de theorie van KIRCHHOFF de proef op de som geleverd, waaromtrent wij aan het einde onzer vorige beschouwing zeiden dat de wetenschap haar met volle recht eischen kon.

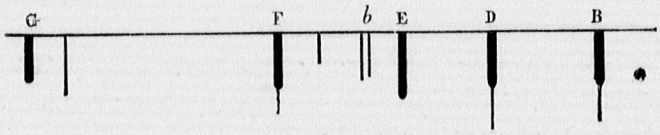
De totale zonsverduistering, die in 1868 in Indie zichtbaar zou zijn, werd aangewezen om het raadsel op te lossen. Bijna alle wetenschappelijke genootschappen in Europa stelden levendig belang in de zaak en zorgden voor het uitrusten van expeditiën, die, voorzien van werktuigen van de grootst mogelijke volkomenheid, het verschijnsel in de verre streken zouden gaan waarnemen. De beide groote geleerde lichamen in Engeland, de *Royal Society* en de *Royal Astronomical Society*, bezorgden ieder eene expeditie, en zoo deden het in Frankrijk de *Académie des Sciences* en het *Bureau des longitudes*. Door beide landen werden de plaatsen der waarneming in Britsch-Indie gekozen, terwijl daarenboven Duitschland eene expeditie naar *Aden* zond.

In grootere spanning, dan waarmede nu onlangs zij, die te huis waren gebleven, de berichten van de verre vrienden te gemoet zagen omtrent den overgang van *Venus*, wachtte men in het najaar van 1868 op tijdingen omtrent den uitslag der spectroskopische waarnemingen. In grootere spanning, omdat de met hare woorden spaarzame telegraaf aangaande deze in twee woorden alles kon vertellen; terwijl zij omtrent gene alleen ons de zekerheid kon geven, dat lucht en wolken gunstig genoeg waren geweest om het verzamelen toe te laten van waarnemingen, waaromtrent het echter bij het ontvangen der tijding nog steeds onzeker is of zij tot het gewenschte resultaat zullen leiden. En de telegraaf sprak de twee woorden: in het sein "heldere strepen" lag gelijktijdig de verzekering opgesloten, dat de waarneming gelukt en het wezen der protuberansen doorgrond was. Men wist nu, dat zij gloeiende gasmassa's waren, die tot op ontzachelijke hoogten zich boven de oppervlakte der zon verhieven.

Wanneer men nagaat wat in dien tijd geschreven is en ook zijne eigene herinnering raadpleegt, dan was de nadere uitvoerige mededeeling van hetgeen de waarnemers gezien hadden niet volkomen overeenkomstig met de hooggespannen verwachting. Men was al te

sanguinisch geweest; men had gemeend nu ook van een gansche omkeering van het spectrum van FRAUNHOFER te zullen hooren, van een spectrum, even kwistig bezaaid met heldere strepen als dat van het zonnelicht het is met donkere. En de best geslaagde waarnemingen, door RAIJET, van de fransche expeditie, te *Malacca* gedaan, leverden slechts een zevental. In fig. 37 wordt, naar de teekening

Fig. 37.



van den waarnemer zelf, hunne betrekkelijke ligging teruggegeven. Toch komen de daarbij geplaatste letters niet volkomen overeen met de door FRAUNHOFER (zie fig. 14) bij de voornaamste donkere strepen geplaatste. Zoo leerden, bij voorbeeld, alle latere waarnemingen dat de roode streep, die RAIJET door de letter B aanduidt, de streep C van FRAUNHOFER is; dat de gele streep niet nauwkeurig met de streep D van FRAUNHOFER samenvalt, maar iets naar E is verschoven, dat de blauwe streep F juist is aangegeven maar daarentegen de even zoo blauwe streep G niet.

JANSSEN, van de fransche expeditie, die te *Guntoor* zich had gestationeerd, en HERSCHELL van de Engelsche, die terzelfde plaatse waarnam, stelden de door RAIJET verkeerdelijk in B geplaatste streep op hare ware plaats, d. i. als met C samenvallende, voor. Over het algemeen echter zijn de mededeelingen omtrent de ware plaats der heldere strepen zeer onzeker; van nauwkeurige uitmeting was eigenlijk bij geen hunner sprake. Wanneer wij echter in aanmerking nemen in welke groote spanning zij moeten verkeerd hebben, wien het opgedragen was om in een tijdsverloop van weinige sekonden als onder de oogen van de gansche wetenschappelijke wereld eene zending te vervullen, hun door hunne lastgevers met opoffering van groote kosten opgedragen; wanneer wij daarbij denken aan de ongewone omgeving, aan het indrukwekkende van het natuurverschijnsel zelf, maar vooral ook aan de gemoedsstemming waarin deze mannen die heldere strepen moeten aanschouwd hebben, wier verschijning hun de volkomen slaging van het hoofddoel hunner zending aankondigde,

dan gevoelen wij hoezeer de voor nauwkeurige plaatsbepaling vereischte kalmte hun ten eenemaale moet hebben ontbroken. Zooveel was dus toch uitgemaakt, dat waterstofgas allerwaarschijnlijkst het hoofdbestanddeel dier roode vlammen was; de door niemand betwijfelde overeenstemming van de groenblauwe streep F met de streep Hβ in het spectrum van gloeiend waterstofgas, het daarboven door JANSSEN geconstateerde samenvallen van eene heldere roode streep C met de streep Hα in datzelfde spectrum, zoowel als de overeenkomst tusschen de kleur van het licht der protuberansen met die van gloeiend waterstofgas in de *Geissler'sche* buizen, rechtvaardigde deze conclusie.

Meer echter dan hooge waarschijnlijkheid leverde de zonsverduistering van 1868 direkt niet; en men zou verplicht zijn geweest op eene volgende te wachten, als men haar in zekerheid wenschte te zien overgaan, indien niet juist indirekt deze verduistering er toe geleid had, dat sedert haar de waarneming der protuberansen voor den natuurkundige eene dagelijksche bezigheid is geworden, waarvoor hij het observatorium geen oogenblik behoeft te verlaten, veel minder nog reizen behoeft te ondernemen naar verwijderde streken.

Om duidelijk te doen inzien langs welken weg deze belangrijke uitkomst, deze gewichtige ommekeer, is verkregen, moeten wij den lezer verzoeken zijne aandacht nogmaals te vestigen op het slot van onze tweede afdeeling, "*de spectraal-analyse*" getiteld, en waarop wij hier slechts wat de hoofdzaak betreft kunnen terugkomen. Daar toch werd uiteengezet hoe het mogelijk is, bij helderen zonneschijn deze opeenhoopingen van gloeiend gas aan den rand der zon zelve waar te nemen; hoe die mogelijkheid juist een gevolg is van de omstandigheid, dat hun licht door een gas wordt uitgestraald, dat het daarom slechts een mengsel is van een klein getal soorten van verschillend gekleurd licht, die elk op zich zelve door het prisma in eene zeer smalle heldere streep worden geconcentreerd. Gaat dit licht, te gelijk met dat van de athmospheer, waardoor het voor het bloote oog overstraald wordt, door een spectroskoop van sterk kleurschiftend vermogen, dan wordt het laatste tot een spectrum van groote uitgestrektheid en daarom geringe lichtkracht uitgerekt, het eerste daarentegen tot ééne of eenige heldere strepen verzameld. En hoe grooter het kleurschiftend vermogen van den spectroskoop is, des te sterker wordt

het kontrast, omdat dit vermogen, terwijl het volstrekt zonder invloed is op de breedte der heldere strepen, het weinigje daglicht, dat door de nauwe spleet dringt, over eene hoe langer zoo uitgestrekter oppervlakte kan verspreiden.

Het was juist die overweging, die tijdens de waarneming der verduistering in 1868 bij JANSSEN opkwam en hem, toen de eerste zonnestraal weder te voorschijn kwam en de heldere strepen verdwenen, deed uitroepen: "*Je reverrai ces lignes là!* Wolken beletten hem dadelijk aan zijn voornemen gevolg te geven; maar den volgenden morgen vond de opgaande zon hem gereed het ten uitvoer te brengen. En zoodra was zij niet uit een bank van dampen opgestegen, of zijn voorzegging werd vervuld: hij zag ze terug die strepen, maar nu terwijl de zon zelve in al haren glans aan den hemel prijkte. Zeventien achtereenvolgende dagen zette hij zijn metingen voort; en zij gaven hem, door het samenvallen van twee heldere strepen met de donkere C en F van FRAUNHOFER, en dus ook met de heldere Hα en Hβ van gloeiend waterstofgas, de volkomen zekerheid, dat de zon door eene ontzachelijke hoeveelheid van dit gas moet zijn omgeven.

Het is hier de plaats een merkwaardig feit te vermelden, dat met betrekking tot deze waarneming van de protuberansen bij volle zonlicht zich in de wetenschap heeft voorgedaan. Wij doen dit te eerder, omdat daardoor niets meer dan recht geschiedt aan een man, wiens onderzoekingen op het gebied, waarop wij thans ons bewegen, eenen eersten rang innemen, wiens aanspraak op de volle erkenning van het aandeel, dat hij aan de bevordering onzer kennis van den physischen toestand der zon heeft gehad, door de geschiedenis behoort bewaard te blijven. En toch zou eene toevallige omstandigheid een zijner voornaamste aanspraken lichtelijk onder JANSSEN's niet minder gewettigde volkomen hebben bedolven. Waar het de inwijding van eene gansch nieuwe methode van waarnemen geldt, die de onderzoekingen betreffende de zon aan de grilligheid van lucht en wolken tijdens een zelden en dan nog meest ver van huis plaats grijpend verschijnsel heeft onttrokken, moet naast den naam van JANSSEN die van den engelschen natuurkundige LOCKIJER niet vergeten worden.

Reeds in 1866 had NORMAN LOCKIJER zich met volkomen klaar-

heid de mogelijkheid voor den geest gesteld, het spectrum der protuberansen bij volle daglicht zichtbaar te maken. Hij ging daarbij uit van dezelfde beschouwing als die wij aan het einde van ons tweede hoofdstuk mededeelden en waarop wij zoo even weder de aandacht vestigden. En het niet bij beschouwingen alleen willende laten, begon hij dadelijk, van dat beginsel uitgaande, te werken. Maar het kleurschiftend vermogen van den spectroskoop, die hem ten dienste stond, was niet groot genoeg, de achtergrond, het uitgerekte kleurenbeeld van het licht des dampkrings, was niet donker genoeg, de oppervlakte van dit kleurenbeeld niet uitgestrekt genoeg, om de heldere strepen daarop te kunnen onderscheiden. En ofschoon hij herhaaldelijk, dagen achtereen, den rand der zon rondging, om te zien of hij ook eenige protuberans van groote helderheid mocht opsporen, hij vond er niet. Zijn denkbeeld en den tegenspoed, dien hij bij de toepassing er van had ondervonden, meldde hij, met de klaarblijkelijke oorzaak van zijn niet slagen, zoowel aan de *Royal Society* als aan het goevernement, met dit gunstig gevolg, dat in den aanvang van het jaar 1867 naar zijne opgave een spectroskoop werd besteld, die echter door een samenloop van omstandigheden eerst den 16den October 1868 gereed en in zijn handen kwam. Vier dagen daarna, op den 20sten October, had hij de voldoening, voor het eerst, terwijl de zon aan den hemel stond, het spectrum van hare protuberansen waar te nemen, en van deze zijne bevinding gaf hij onmiddellijk kennis aan de *Royal Society*. Maar ziet, juist op dien zelfden dag kwam te Parijs het bericht aan, gedateerd uit *Koronada* den 19den September, waarin JANSSEN zijne ontdekking aan de *Académie des Sciences* meldde. Inderdaad dus komt de prioriteit in deze aan JANSSEN toe; ten minste wanneer wij ook hier den aangenomen regel volgen dat hij, die het eerst zijne waarnemingen of overwegingen tot publiek domein maakt, daarop alleen aanspraak heeft. Werkelijk ook zou het alleen de toevallige omstandigheid geweest zijn, dat JANSSEN tijdens zijne waarnemingen in Indië zich bevond, die hem de prioriteit voor LOCKIJER bijna had doen verliezen. Toch mogen wij niet vergeten, dat het denkbeeld zelf reeds twee jaren vroeger door dezen was publiek gemaakt en, schoon zonder gunstig gevolg, was in praktijk gebracht; en het kan ons niet dan verwonderen dat een man als JANSSEN, toen hij zich voor eene waarneming, zoo

belangrijk als de hem door het *Bureau des longitudes* opgedragene, had voor te bereiden, van het denkbeeld van LOCKIJER zoo weinig kennis heeft genomen, dat het hem tijdens de eklips zelve als het ware moest worden ingegeven. Hij had toch bij het doen eener proeve, in hoeverre dit denkbeeld was te verwezenlijken, partij kunnen trekken van de omstandigheid, dat de eklips hem zou hebben doen zien welke protuberansen de meeste intensiteit bezaten en dus de grootste kans aanboden dat ook na den afloop van het verschijnsel hare heldere strepen in den spektroskoop zouden zichtbaar zijn.

Zoodra LOCKIJER in het bezit was van den voor hem vervaardigden spectroskoop, van gelijke constructie als de in onze tweede afdeeling in de figuren 20 en 21 voorgestelde, bleek het ook hem, dat de heldere strepen in het spectrum der protuberansen op ééne na met die van het waterstofgas volkomen overeenkwamen, en dat die eene, hoe na ook bij de dubbele streep D van het sodiumlicht gelegen, daarmede niet volkomen samenvalt. Maar daarenboven leidden zijne eerste waarnemingen hem tot de ontdekking, dat die protuberansen niets anders zijn dan plaatselijke ophoopingen van een gasvormig omhulsel, dat de gansche zon omgeeft. Het is aan dit omhulsel, dat hij den naam gaf, dien wij boven dit hoofdstuk plaatsten; bij al zijne verdere waarnemingen bleek het dat geen enkel deel van den zonnerand het miste, en dat, telkenmale wanneer hij daarop zijne aandacht vestigde, zich het spectrum dier chromospheer in het veld van den spectroskoop vertoonde. Toen hij, met deze kennis toegerust, de photographiën van WARREN DE LA RUE bezag, bleek het hem, dat ditzelfde feit door alle op ondubbelzinnige wijze werd weêr gegeven; terwijl eene latere kennismaking met eene zinsnede uit GRANT'S "*History of Physical Astronomy*" hem leerde, hoe ook deze op de mogelijkheid had gewezen, dat de protuberansen niets anders zouden zijn dan deelen van één onafgebroken omhulsel; maar, ofschoon hij zelf, bescheiden genoeg, deze opmerkingen aan zijne latere waarnemingen toevoegt, zij verkleinen de belangrijkheid zijner ontdekking in geenen deele. Te recht betwistte dan ook niemand hem, die het eerst zag wat sommigen over het hoofd hadden gezien en waarvan anderen het bestaan slechts veronderstelden, de eer als doopvader te staan over het omhulsel, dat thans onder den naam van Chromospheer reeds het burgerrecht heeft verkregen in de wetenschap.

Het behoeft nauwelijks te worden gezegd dat, sedert de ervaring had geleerd, hoe door dagelijksche waarneming onze kennis van den physischen toestand der zon kon worden vermeerderd, alle natuuronderzoekers, die in het bezit van eenen daartoe geschikten spectroskoop zich mochten verheugen, zich beijverden de nieuwe methode dagelijks ook meer en meer toe te passen. Onder hen vinden wij weder in de voorste rij den reeds meermalen door ons genoemden sterrekundige SECCHI. En boven allen zijn wij aan hem verplicht voor zijne heldere uiteenzetting van de methode der waarneming, waarmede het dáárom van belang is kennis te maken, dat zij ook bij het beschouwen van de resultaten der waarneming veel duidelijk doet zijn, wat zonder haar slechts ten deele zou worden ingezien; eene uiteenzetting, waarmede wij dan ook thans in de eerste plaats onze lezers willen bekend maken.

Wij onderstellen dan dat van den kijker het oculair (oogglas) is weggenomen en vervangen door den spectroskoop, die met groote nauwkeurigheid zóó is gesteld, dat het beeldje van de zon, door het objectief (voorwerpglas) des kijkers gevormd, juist valt in het vlak waarin de spleet (zie fig. 18) is gelegen. Of deze instelling juist is kan men lichtelijk daaraan bemerken, dat de zijkanten van het spectrum in den spectroskoop zich voordoen als scherp begrensde rechte lijnen. Vervolgens gaat men na of het occulair van den spectroskoop zelf juist is gesteld, hetgeen gemakkelijk geschiedt door op te letten of de donkere strepen in het zonnespectrum duidelijk worden gezien, of, bij voorbeeld, de twee strepen D_1 en D_2 duidelijk van elkander zijn gescheiden. Is nu het licht te fel voor het oog, dan kan men het temperen door van een gekleurd glas gebruik te maken, maar het spreekt van zelf, dat men bij de keuze van dit glas zeer nauwlettend moet te werk gaan. Men weet nu eenmaal vooraf, dat het licht van de protuberansen hoofdzakelijk uit vier soorten van enkelvoudig licht is samengesteld; met andere woorden, dat alleen uit strepen van dit vierderlei licht het spectrum bestaan zal. Men zal dus het glas zóó moeten kiezen, dat het voor een dezer vier soorten volkomen doorschijnend is. Kiest men er een, dat voor rood licht van de breekbaarheid C doorschijnend is — en dit is verreweg het verkieselijkst, omdat deze streep de meest lichtsterke is — dan zal men de prisma's van den spectroskoop zóó moeten stellen, dat het

gedeelte van het zonnespectrum, waar de donkere streep C zich bevindt, in zijn gezichtsveld is gelegen. Want men moet niet vergeten dat bij spectroskopen met een kleurschiftend vermogen, zoo groot als de bij deze waarnemingen alleen bruikbare, het gansche zonnespectrum zeer lang is, en dat er dus een zeer groote afstand is tusschen de streep C en de daaropvolgende streep D_3 van het protuberansen-licht.

Nu kan men, al naarmate de waarneming dit vordert, de spleet door omdraaiing van de buis van den spectroskoop op tweederlei wijze stellen: *tangentiaal*, dat wil zeggen zóó dat de spleet raaklijn is aan de zonneschijf, of *radiaal*, dat wil zeggen zóó dat zij loodrecht op den rand dier schijf staat en dus met haren straal (radius) samenvalt. Om hem, bij de schijnbaar voortgaande beweging der zon aan den hemel en bij de wentelende beweging der aarde, al wordt ook de kijker door een uurwerk in tegenovergestelde richting als deze gedreven, voortdurend dien stand te doen behouden, daartoe is groote geoefendheid en, in den aanvang althans, groot geduld noodig.

Wij willen nu in de eerste plaats aannemen, dat men voornemens is de spleet tangentiaal te stellen; de figuren 38, 39 en 40 mogen dan achtereenvolgens voorstellen én hoe men heeft te handelen én wat men in het veld van den spektroskoop zien zal. In al deze figuren is R R de rand van de zon, de onregelmatige kromme lijn buiten dien rand de grens eener protuberans, *s s* de spleet, wier breedte hier zeer overdreven is voorgesteld.

Zoo lang nu nog de spleet in hare gansche lengte *s s* op de zonneschijf ligt, zal het even breede spectrum zich voordoen als in fig. 38 het gedeelte *c e d f*; een gewoon zonnespektrum met scherp begrensde donkere strepen B en C. Zoodra komt echter de spleet niet zoo te staan als in fig. 38 is voorgesteld, zoodat een gedeelte *a b* nog door de zonneschijf zelve en door de protuberans wordt bedekt en door hare uiteinden alleen licht van den dampkring dringt, of het eigenlijke spectrum *c d e f* wordt smaller; het wordt aan beide zijden omzoomd door zeer flauw verlichte randen, waarin alleen sporen van de donkere strepen zichtbaar zijn.

Verwijdert men nu de spleet nog verder van het middelpunt der zon (fig. 39), dan wordt het spectrum van het direkte zonnelicht voortdurend smaller en dat van het licht des dampkrings voortdurend

breeder; daarentegen komen de donkere strepen in de zwak verlichte randen duidelijk uit, doordien de hoeveelheid zonnelicht, die binnendringt, op dat van den dampkring niet zoo sterk meer de bovenhand heeft. Het middelste gedeelte van het spectrum wordt nu gevormd door licht, dat voor een deel van den dampkring komt, voor een deel door de protuberans, en voor een klein gedeelte door de zonne-

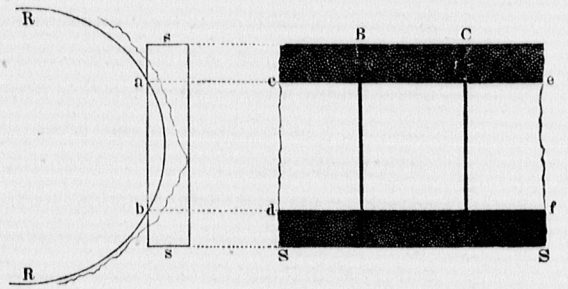


Fig. 38.

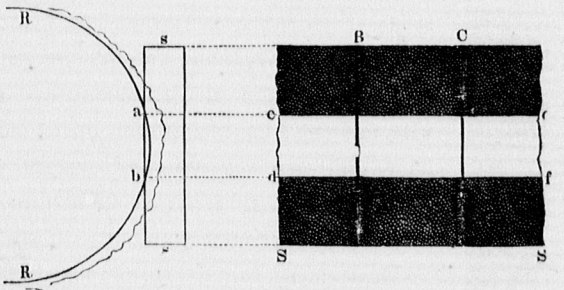


Fig. 39.

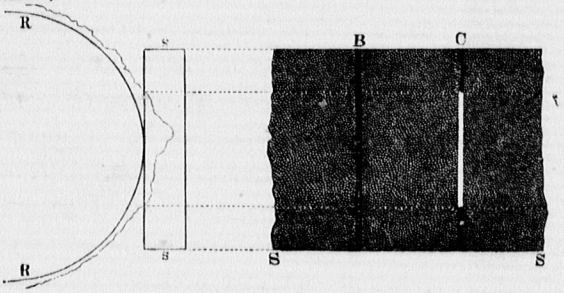
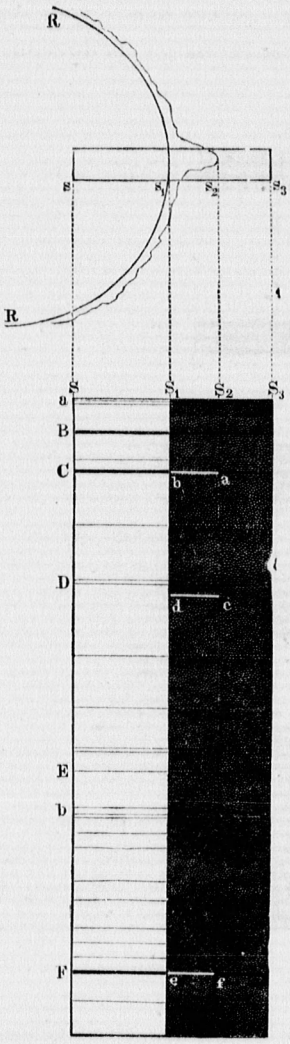


Fig. 40.

schijf zelve wordt uitgestraald; maar dit laatste is nog sterk genoeg om de heldere strepen van het protuberansen-licht geheel te overschijnen. In fig. 40 is dit echter niet meer zoo; de binnenste grenslijn der spleet is nu raaklijn aan de zonneschijf geworden, en alleen licht van den dampkring dringt nevens dat van de protuberans in den spec-

troskoop door. Maar ook in het gezichtsveld is nu alles veranderd. Over zijn gansche uitgestrektheid is het flauw verlicht met een tint van dat gedeelte van het spectrum des dampkrings, waarin de donkere strepen B en C liggen; de eerste dier strepen teekent zich over hare geheele uitgestrektheid nog duidelijk af op dien achtergrond. De laatstgenoemde echter is in haar midden helder rood gekleurd, en wel over een gedeelte, wiens lengte overeenkomt met het gedeelte van de spleet, dat door de protuberans zelve wordt bedekt.

Fig. 41.



Het is uit zich zelf duidelijk, dat als men de prisma's van den spectroskoop zoo had gesteld, dat of de streep D_3, of de streep F in het gezichtsveld had gelegen, men achtereenvolgens dezelfde verschijnselen zou hebben waargenomen, met deze uitzondering, dat men alsdan op het laatste oogenblik een der donkere strepen over haar midden in een gele of blauwe zou hebben zien veranderen.

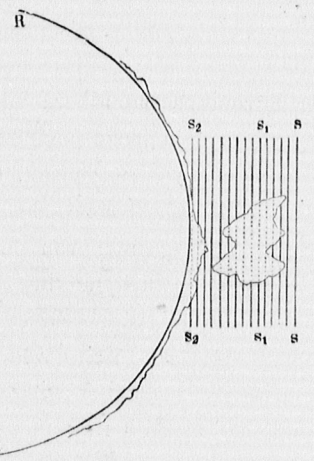
Maar men kan de spleet ook radiaal, dat is in de richting van de middellijn der zon en dus loodrecht op haren rand stellen. Zóó wordt zij voorgesteld in Fig. 41. In dat geval bestaat het kleurenbeeld, dat hier over zijne gansche uitgestrektheid is afgebeeld, en niet, als in de overige figuren, voor zooverre het in het gezichtsveld ligt, uit twee deelen.

Het links gelegene is het gewone zonnespectrum met zijn donkere strepen; het rechts gelegene daarentegen het zeer flauw verlichte spectrum van het licht der athmospheer, waarop, als op een donkeren achtergrond, het verder niet te ontleden licht der protuberans in drie strepen, eene roode in het verlengde van C, eene

gele nabij D, en eene groen-blauwe in het verlengde van F, zich duidelijk afteekent. Men ziet, hoe nauwkeurig men, bij dezen stand van de spleet, kan bepalen met welke donkere strepen in het spectrum van het zonnelicht een heldere in dat van het protuberansenlicht overeenkomt; zij liggen, bij volkomen overeenkomst, juist in elkanders verlengde. Bij den stand, in onze vorige figuren voorgesteld, is dit ook wel het geval, maar daar zijn de donkere strepen, doordien zij ook op den lichtzwakken achtergrond vallen, op verre na niet zoo duidelijk te onderscheiden.

Ook blijkt nog uit fig. 40, dat de heldere strepen bij tangentiale spleet nooit langer kunnen zijn dan het beeld der protuberans breed is, en bij radiale spleet (fig. 41) nooit langer dan het hoog is. Beweegt men dus, tijdens de waarneming, de spleet evenwijdig aan zich zelve, dan zal men, uit de verandering die de lengte der strepen ondergaat, bij tangentiale spleet eene doorsnede van de geheele protuberans door de breedte (fig. 42), en bij radiale spleet evenzoo eene doorsnede door de hoogte harer deelen stukswijze kunnen in teekening brengen. Zweeft, zooals ook in de figuur is aangewezen, een gedeelte boven den rand der zon, dan zal men, als de spleet tangentiaal is gesteld, dit daaruit kunnen opmaken, dat bij hare verwijdering van dien rand de heldere strepen eerst verdwijnen, om daarna weder te voorschijn te komen. Bij radiaal gestelde spleet ontdekt men dit echter dadelijk daaraan, dat de heldere streep alsdan op eenigen afstand van den zonnerand is afgebroken.

Fig 42.



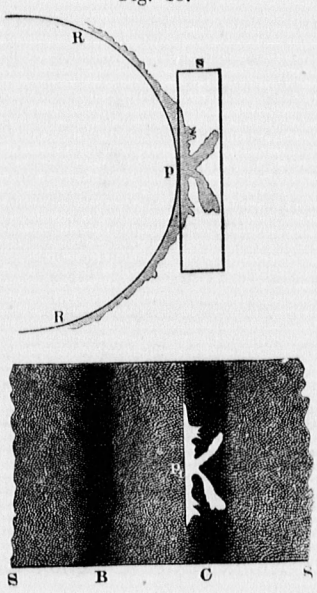
Onderzoekt men nu volgens deze methode den ganschen rand der zon en stelt men daarbij de spleet radiaal, dan ziet men dat de loodrecht op dien rand staande roode streep wel in lengte zeer verandert, al naarmate men een protuberans in het gezichtsveld heeft of niet, maar dat zij nergens geheel verdwijnt. Overal is de oppervlakte van de zon bedekt met een laag van dit gloeiend gas, die,

evenals die heldere streep, uit de aarde gezien wordt onder een hoek van 10 à 15 sekonden, en dus in werkelijkheid een dikte heeft van 1000 à 1500 geographische mijlen. Deze laag is de Chromospheer, van wier bestaan LOCKIJER het eerst heeft kennis gedragen.

Wat verder de lokale ophoopingen van gas in verschillende punten van den zonnerand betreft, wij zagen zoo even dat men hunne configuratie stukswijze kan in teekening brengen. Maar deze wijze van handelen is zeer vermoeiend door haren omslag; daarbij leidt zij slechts tot eene vrij onnauwkeurige afbeelding van het geheel, en kan men uit haar nooit aanleiding nemen tot het bestudeeren van de structuur der protuberansen. En dit laatste achtte men spoedig zeer wenschelijk; omdat men uit de plotselinge veranderingen in de lengte der strepen had opgemerkt, dat geweldige bewegingen in deze brandende gasmassa's plaats vonden. Geen wonder dus, dat men met verlangen uitzag naar het oogenblik, waarop men eens een geheele protuberans in al hare bijzonderheden zou te zien krijgen. Verschillende vruchtelooze pogingen om tot de vervulling van dien wensch te geraken, werden gedaan. Onder anderen beproefde ZÖLLNER dit door aan de spleet eene zeer snelle trillende of draaiende beweging te geven. Uitgaande van het feit, dat een lichtindruk eenige oogenblikken op het netvlies van ons oog blijft nawerken, van het feit dus, dat bij voorbeeld een zeer snel langs een cirkel bewogen lichtpunt ons een lichtgevende cirkel schijnt, wilde hij aan de spleet eene zoo snelle beweging mededeelen, dat de indruk van een streep op het netvlies nog niet was uitgewischt, als de spleet reeds weder teruggekeerd was in den stand, waarin die indruk werd voortgebracht. Met andere woorden, hij meende al de afmetingen van een protuberans gelijktijdig naast elkander op ons netvlies te kunnen afbeelden. In theorie was deze meening zeer juist en de kwestie van al of niet slagen alleen afhankelijk van de meer of mindere snelheid, die men aan de spleet kon mededeelen. In de praktijk echter en bij de groote geoefendheid, handigheid zouden wij haast gezegd hebben, die er reeds toe noodig is om aan de zich bewegende zon de stilstaande spleet tangentiaal of radiaal te houden, verwachtte men van haar niet veel; en het bleek ook spoedig dat zij onmogelijk in toepassing was te brengen. Toch werd het doel niet uit het oog verloren en door de uitvoering van een gelukkig denk-

beeld ten volle bereikt. HUGGINS, en ook iets later dan hij, maar daarom toch onafhankelijk van hem, ZÖLLNER en LOCKIJER overwogen te recht dat de heldere strepen in den spectroskoop zoo lang zichtbaar zullen zijn als het kontrast tusschen hare lichtkracht en die van den achtergrond groot genoeg blijft. Het was dus de vraag, hoeveel licht van den dampkring men door de spleet kon toelaten, zonder de intensiteit van dien achtergrond, die, zooals wij weten, niets anders is dan het kleurenbeeld van dat licht, te veel te doen stijgen. En kon men ongestraft de spleet zoo breed nemen als de protuberansen hoog zijn, dan moest men deze in hare ware gedaante in den spectroskoop zich zien vertoonen. Het roode licht toch dat zij uitstralen is enkelvoudig, en het spectrum, dat het geeft moet, aangezien — onder één voorwaarde, waaraan bij de inrichting van den spectroskoop altijd voldaan is, — een beeld dat enkelvoudig licht uitstraalt bij zijn gaan door een prisma niet wordt vervormd, in grootte en gedaante volkomen overeenkomen met het verlichte deel der spleet zelve. Zoo zal men dan door de geopende spleet, die licht van den dampkring en van een protuberans te gelijk doorlaat, met behulp van den spectroskoop, deze laatste ongeveer zoo zien, als zij zich aan het bloote oog zou voordoen, indien de spleet door de protuberans alleen werd beschenen.

Fig. 43.



De proef gelukte volkomen; de fig. 43, wiens bovenste deel doet zien, hoe de tangentiaal gestelde spleet een protuberans bedekt, vertoont in het daaronder geplaatste deel haar beeld, zooals het zich op het spectrum van het licht des dampkrings projecteert. Dit laatste is nu sterker verlicht dan in de figuren 38—40; maar toch niet zoo sterk, of het kontrast is groot genoeg om het beeld van de protuberans duidelijk te doen uitkomen. De breedte der spleet kan, volgens SECCHI, al naar de grootte van het beeld, dat in den kijker

wordt gevormd, naar het kleurschiftend vermogen van den spectroskoop en de zuiverheid der lucht, zonder nadeel tot $^1/_4$ à $^1/_2$ millimeter worden opgevoerd. Met een kijker, waarin dat beeld een middellijn heeft van 15 à 20 millimeters, kan men dan den vorm van protuberansen, die uit de aarde onder een hoek van $1\,^1/_2$ minuut worden gezien en dus eene reëele hoogte van 9000 geographische mijlen hebben, nog duidelijk overzien. Bij zeer heldere lucht kan men de spleet nog breeder maken en tot op twee minuten afstands van den zonnerand de details waarnemen; maakt men haar echter wijder, dan valt er zooveel licht van den dampkring in den spectroskoop, dat het kontrast tusschen zijn spectrum en dat van de protuberans te klein wordt, om van deze de structuur met voldoende nauwkeurigheid te kunnen onderscheiden.

Wij kunnen hier niet treden in eene uitvoerige beschrijving van al het schoone en wonderbaarlijk groote, dat de daareven uiteengezette methode voor het oog der waarnemers heeft blootgelegd. Van de vele afbeeldingen van merkwaardige protuberansen, die SECCHI heeft vervaardigd, en die nog dagelijks door zijne onvermoeide vlijt en volharding met nieuwe worden vermeerderd, geven wij alleen de volgende zeer merkwaardige onzen lezers ten beste. Wij merken daarbij op, dat zij slechts eene flauwe afspiegeling zijn van hetgeen de spectroskoop te aanschouwen geeft; te meer daar deze de protuberansen vertoont in al den glans van het roode licht, dat een van de drie enkelvoudige bestanddeelen is, waaruit, zooals wij boven opmerkten, hun licht is samengesteld.

Aldus gekleurd stellen haar ook steeds de chromolithographiën voor. Niet omdat zij zich alleen in deze kleur aan het oog kunnen vertoonen; men zou ze ook geel of blauw kunnen zien, indien men maar de prisma's zóó stelde, dat een dezer gedeelten van het spectrum in het gezichtsveld van den spectroskoop viel. Maar deze bestanddeelen van haar licht bezitten eene te geringe intensiteit, dan dat men de bijzonderheden van hare structuur in de zoo gekleurde beelden nauwkeurig zou kunnen waarnemen. Waar het er echter op aankomt een protuberans photographisch op te nemen, stelt men de prisma's zóó, dat het blauwe gedeelte van het spectrum in het gezichtsveld valt en dus ook de protuberans die kleur heeft, omdat het licht van dit gedeelte op de geprepareerde plaat het sterkst inwerkt.

Figuur 44 is eene afbeelding van een groote protuberans, op den 9den Juli 1871 onder zeer gunstige omstandigheden waargenomen. Zij vertoont ons twee bijzonderheden. Ten eerste, dat op aanzienlijke afstanden van den rand der zon lucht- of liever gasstroomingen bestaan, van wier geweldige vaart wij ons naar aanleiding van overeenkomstige verschijnselen op aarde geen denkbeeld kunnen vormen. De aan den voet der gaskolommen nabij elkander staande opstijgende stroomen worden op eenigen afstand van den rand naar verschillende zijden omgebogen en als het ware uit elkander gejaagd, zoodat zij op grootere hoogte in nevelachtige wolken worden opgelost en als in het niet verdwijnen. In de tweede plaats doet deze afbeelding ons zien, dat die gasstroomen niet volkomen doorschijnend

Fig. 44.

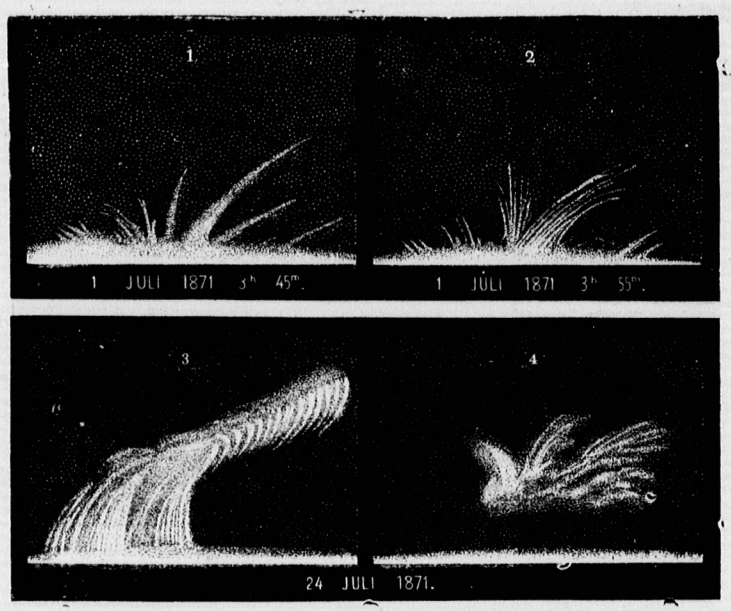


zijn; waar zich eene naar links gejaagde gaszuil ombuigt voor eene andere, die naar rechts is gericht, daar bedekt zij deze over een gedeelte van haren loop voor het oog, om op hare beurt weder evenzoo te verdwijnen achter eene andere, die op grootere hoogte voorbij haar heen stormt.

Maar niet altijd vertoont zich de massa zoo passief, zoo als alleen door oorzaken buiten haar, als onze wolken, door een krachtigen luchtstroom voortgedreven. In fig. 45, N° 1 zien wij een protuberans afgebeeld, door SECCHI den 1sten Juli 1871 waargenomen. De langste der in deze figuur zichtbare stralen schoot onder het oog van den waarnemer met een snelheid van 150 kilometers per sekonde in de hoogte; tien minuten later had de protuberans den in

N° 2 voorgestelden vorm aangenomen, en in wederom tien minuten was zij, na zich geheel in wolken te hebben opgelost, verdwenen. De figuren N° 3 en 4 vertoonen een minder woelig schouwspel; toch zien wij in de eene de zuil van gloeiend gas, als de rookkolom uit een reusachtigen schoorsteen, onder den invloed van een hevigen storm het hoofd naar links ombuigen, terwijl de lichtgevende wolk, die in de andere is afgebeeld, best vergeleken wordt bij een dier

Fig. 45.



losse wolken, die bij stormachtig weder in snelle vaart langs den horizon drijven.

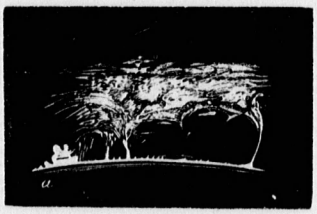
Als een buitengewoon voorbeeld van een protuberans, die als het ware met geweld uit de oppervlakte der zon voortbrak, noemen wij alleen nog de op den 7den September 1871 door YOUNG waargenomene. "Op dien dag," zoo schrijft hij, "tusschen 12½ en 2 uur had er "op de zon een ware explosie plaats, merkwaardig zoowel om hare "hevigheid als om haar plotseling optreden. Juist op den middag "had de waarnemer met den spectroskoop een ontzachelijke protube- "rans onderzocht aan den oostelijken rand van de zon. Zij was daar

"zonder veel te veranderen gebleven sedert den vorigen middag, als "een lange, lage, er zeer bedaard uitziende wolk, die in geen op- "zicht merkwaardig was dan wegens hare groote uitgebreidheid. Zij "bestond grootendeels uit bijna horizontale draden en dreef met hare "benedenvlakte op ongeveer 15000 (engelsche) mijlen [1] boven de "chromospheer; toch was zij ook, zooals dit meest het geval is, "door drie of vier zuilen, die helderder en meer in beweging waren "dan zij zelve, met de chromospheer verbonden.

"Om $12^1/_2$ uur, nadat ik voor een minuut of wat af was geroe- "pen, was er volstrekt niets te zien wat voorspelde hetgeen weldra "zou gebeuren, behalve dat een van die verbindings-zuilen aan het "zuidelijk uiteinde van de wolk aanmerkelijk glansrijker was gewor- "den en op een wonderlijke wijze naar de eene zijde was omgebogen, "en dat bij den voet van een andere, aan de noordelijke grens, "zich een kleine schitterende vuurklomp had ontwikkeld, die er uit- "zag als een donderwolk in den zomer."

Figuur 46 stelt de protuberans voor, zooals zij er op dit tijdstip uitzag.

Fig. 46.



"Hoe groot was mijn verbazing, toen "ik, binnen het half uur (om $12^u\ 55^m$) "terugkomende vond, dat in dien tijd het "geheele ding letterlijk in stukken was ge- "scheurd door een onbegrijpelijk hevige "uitbarsting, die daaronder had plaats "gehad. In plaats van de rustige wolk, die ik had verlaten, was de "lucht, als ik deze uitdrukking mag bezigen, vol vliegende stukken; "eene massa met elkander niet samenhangende vertikale pijlvormige "draden, ieder van 10″ tot 30″ lang en 2″ à 3″ breed, schitte- "render en nader aan elkander verbonden aan den voet, waar eerst "de zuilen gestaan hadden." Een denkbeeld van het verschijnsel zoo- als het zich voordeed toen deze vurige pijlen hunne grootste hoogte hadden bereikt geeft fig. 47.

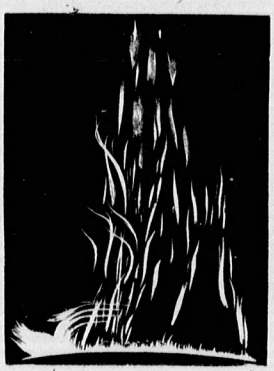
De snelheid waarmede de stukken van de protuberans naar boven stegen wordt door YOUNG geschat op 166 (engelsche) mijlen per

[1] 15 Engelsche mijlen = 3,2 Geographische of ruim $4^1/_4$ uur gaans.

sekonde. Toch moet men bij het beoordeelen dezer snelheden voorzichtig zijn. Want het kan zijn dat hetgeen ons toeschijnt eene plaatsverandering te zijn met groote snelheid, niets anders is dan de snelheid, waarmede zich in de gasmassa eene ontbranding voortplant; en wij weten dat deze zeker niet minder is dan de zoo even genoemde, bij het uit elkander barsten van de protuberans waargenomene.

In al deze figuren is de slechts weinig boven den rand der zon zich uitstrekkende lichtgevende boog, waarin al die vlammen, stralen en zuilen geworteld schijnen, het beeld van de chrosmospheer. Uit haar komen zij allen voort; als door uitbarstingen, wier karakter bij de verschillende protuberansen zeer verschillend, maar bij de schijnbaar meest rustige nog altijd onbegrijpelijk heftig is, worden die gloeiende gasmassa's in de hoogte geworpen, waar zij afkoelen, een nevelachtige gedaante aannemen en langzamerhand verdwijnen; en door de plotselinge temperatuursveranderingen, waarmede deze uitbarstingen gepaard gaan, ontstaan in de geheele de chromospheer bedekkende gasmassa stroomen, die de omhoog gedreven gassen zelve het voorkomen geven als door de geweldigste orkanen en cyclonen uit- en door elkander gedreven wolken.

Fig. 47.



Wenden wij thans van de gedaante der protuberansen onze aandacht meer bepaaldelijk naar hare samenstelling, dan wordt het, uit hetgeen wij tot nog toe zagen, hoogstwaarschijnlijk dat zij hoofdzakelijk bestaan uit waterstofgas. En deze waarschijnlijkheid werd zekerheid, toen het LOCKIJER mocht gelukken niet alleen de heldere roode streep C en de groen-blauwe streep F, maar ook de violette, met streep G van FRAUNHOFER overeenstemmende $H\gamma$ van het waterstofgas, in het protuberansenlicht te ontdekken. De proef op de som was dus, wat dit gas betreft, geleverd, de theorie van KIRCHHOFF, schoon gewijzigd wat de temperatuur van het absorbeerend omhulsel aangaat, principieel bevestigd. De donkere strepen in het zonnespectrum moesten volgens die theorie veroorzaakt worden door absorbtie van licht in een

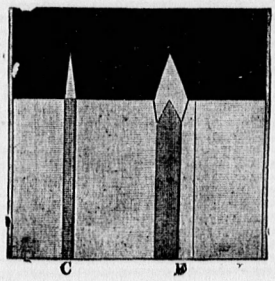
omhulsel, dat op lagere temperatuur gloeide dan de bron van het zonnelicht zelve; en de drie heldere, met C, F en G samenvallende strepen in het spectrum der chromospheer bewezen dat dit omhulsel inderdaad, zooals die donkere strepen hadden doen verwachten, hoofdzakelijk uit waterstofgas bestond.

Maar wat te denken van de gele streep, die bijna standvastig de drie zoo even genoemde vergezelt? In niet één spectrum van bekende aardsche zelfstandigheden werd zij tot nog toe waargenomen. Haar gelijktijdig optreden met die van het waterstofgas deed aanvankelijk vermoeden, dat men hier te doen had met het reeds vroeger, door PLÜCKER, opgemerkt geval, dat de spectra van gloeiende gassen, bij vermeerdering van de drukking waaronder en verhooging van de temperatuur waarop zij gloeien, niet volkomen onveranderd blijven. Maar zelfs de ijverigste onderzoekingen, door LOCKIJER in vereeniging met FRANKLAND in deze richting gedaan, mochten niet slagen; onder welke omstandigheden zij het gas ook deden gloeien, de gele, van de dubbele sodiumstreep naar de zijde van het groen slechts weinig verwijderde, hebben zij nooit te zien gekregen. Voor zooverre onze tegenwoordige kennis gaat hebben wij dus hier te denken aan een op aarde niet voorkomend gas, dat van de chromospheer een standvastig bestanddeel is; dat, daar het even als dit gas tot in de hoogste toppen der protuberansen opstijgt, daarvan in specifiek gewicht niet veel verschilt, maar daarmede overigens in geen verband staat. Wat evenwel nog zonderlinger is, deze heldere streep heeft in het zonnespectrum hare donkere plaatsvervangster *niet*; eene omstandigheid, die, zoo oppervlakkig beschouwd, ons vertrouwen op de absorbtie-theorie diep zou moeten schokken, waarop wij echter ter gelegener plaatse nader terugkomen.

Uit het zoo even genoemde feit, dat onder verschillende omstandigheden gassen een verschillend spectrum vertoonen, heeft men een belangrijk besluit afgeleid omtrent het verschil in drukking in de hoogere en lagere deelen eener protuberans. Van de beide helderste strepen, waaruit haar spectrum bestaat, levert de fig. 48 eene schematische afbeelding; dat zij niet naar de natuur is genomen doet ons de geringe afstand van beide strepen zien; toch is zij wat de gedaante der strepen betreft natuurgetrouw. Beide deze strepen, maar vooral de blauwe, zijn naar boven toegespitst; aan hare basis, waar

de streep op den zonnerand rust, verbreedt zij zich. Ook schijnt zij daar een eindweegs binnen dien rand door te dringen. Dit verschijnsel werd het eerst waargenomen door LOCKIJER, daarna — in 1869 — door RAIJET, en gedurende de zonsverduistering van 1871 door YOUNG. Zijn optreden werd aanvankelijk door SECCHI toegeschreven aan gezichtsbedrog. "S'il y a une dilatation à la base, elle peut provenir de deux causes," schreef hij in 1869 aan de *Académie des Sciences*. "1° d'une irradiation, due à la vivacité de la lumière, qui y produit une expansion *apparente*; 2° d'un différence de réfrangibilité, qui, ajoutant de nouveaux rayons à droite et à gauche de la raie, l'élargit ainsi." Maar in Maart 1871 constateerde hij zelf het feit door eigene waarneming; en de hiernevens gegevene schetsen zijn naar teekeningen van zijne hand. De verklaring er van zijn wij, ten minste voor een deel, aan LOCKIJER verschuldigd; door zijne, reeds bovenvermelde, gezamentlijk met FRANKLAND genomen proeven, kwam hij tot de overtuiging dat de veranderlijkheid in de breedte der strepen, die het spectrum van waterstof vormen, afhankelijk is van de drukking, waaronder het gas gloeit. Bij toenemende spanning neemt daarenboven de streep F aanmerkelijk meer in breedte toe dan de streep C. Daar nu in een protuberans de roode en blauwe streep ongeveer dezelfde dikte hebben, terwijl in de chromospheer de laatstgenoemde de eerste in dit opzicht overtreft, zou men door vergelijkende proeven bij benadering het verschil in drukking in de onderscheidene deelen van de protuberans kunnen bepalen. Zooveel is echter zeker dat de drukking in hoogere lagen uiterst gering is en dat zij in de chromospheer hare grootste waarde bereikt.

Fig. 48.



Dat in onze figuur de heldere streep binnen den rand der zon dringt, moet toegeschreven worden aan de groote intensiteit van het licht der protuberans, die haar vormde. De lichtgevende kracht van het gas, de intensiteit waarmede het gloeit, overtreft in dit geval haar absorbeerend vermogen. Op dit feit hopen wij later, waar het de spectraal-analyse van sommige deelen der zonneschijf zelve gelden

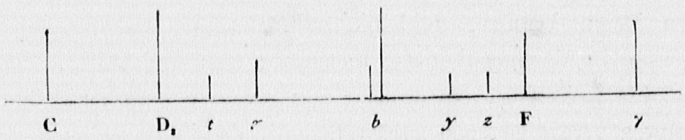
zal, uitvoeriger terug te komen. Het zij hier alleen vermeld als een nieuw bewijs dat KIRCHHOFF's theorie faalde, waar zij de temperatuur van het absorbeerend omhulsel zeer laag stelde.

Maar het zal misschien menigeen bevreemden, dat hij tot dusver alleen hoorde spreken over *vier* heldere strepen, terwijl er toch in het zonnespectrum zulk een groot aantal donkere voorkomen, van welke allen, zal de genoemde theorie voldoende bevestiging vinden, de chromospheer rekenschap zal moeten geven. Door die vier strepen wees zij ons nog slechts aan, dat één der ons bekende elementen, het waterstofgas, op de zon in groote hoeveelheid voorkomt; omtrent de andere zelfstandigheden, wier aanwezigheid in het omhulsel der zon KIRCHHOFF meende als zeker te kunnen stellen (zie bladz. 61), leerde zij ons tot nog toe niets. Inderdaad is dit zoo: de protuberansen kunnen ons omtrent vele dezer stoffen weinig mededeelen, omdat die in haar slechts bij uitzondering worden aangetroffen. Toch geeft reeds fig. 37, die wij in den aanvang dezer afdeeling als het resultaat van RAIJET's observatiën tijdens de eklips van 1868 hebben leeren kennen, duidelijk aan, dat niet waterstofgas alleen voorkwam in de protuberans, toen door hem onderzocht. Want al moge zijne teekening, om de daar opgegevene redenen, niet ten volle vertrouwen verdienen, zoo wijzen toch de daarin opgenomen strepen minstens op meer stoffen, en hoogst waarschijnlijk de met E en *b* geteekende op ijzer en magnesium.

De zaak is eigenlijk deze, dat andere stoffen dan waterstofgas alleen in die protuberansen voorkomen, die als het ware door krachtige uitbarstingen uit de chromospheer opwaarts zijn geworpen. Het specifiek gewicht van de dampen der overige lichamen schijnt te groot, dan dat zij alleen door de aan temperatuurs-veranderingen toe te schrijven opgaande stroomingen hoog boven de oppervlakte der zon kunnen opgevoerd worden. Men zal ze dus alleen door een nauwkeurig onderzoek van de chromospheer zelve kunnen ontdekken; en daar het te verwachten is dat van vele dezer stoffen, wier sprectrum uit een groot aantal heldere strepen bestaat, elke streep in het bijzonder niet de noodige lichtskracht zal bezitten om op den niet volkomen donkeren achtergrond zichtbaar te zijn, zal men bij dit onderzoek òf de spleet van den spectroskoop zeer nauw moeten nemen, òf, wat nog beteren uitslag belooft, het begin en het einde van

eene zonsverduistering hebben te baat te nemen. Op de eerstgenoemde wijze nam SECCHI op den 20sten Mei 1869 een protuberans waar, wier kleurenbeeld bleek te bestaan uit de in fig. 49 in hunnen betrekkelijken stand nauwkeurig voorgestelde strepen. In deze zijn de met C, D_3, F en γ geteekende onze oude bekenden van het waterstofgas, terwijl de strepen *b* en *x* bijna zonder twijfel ijzerstrepen zijn. Nog beter slaagde LOCKIJER op den 28sten Nov. 1868, toen het hem niet slechts gelukte de strepen van magnesium, natrium en barium waar te nemen, maar hij daarenboven het spectrum zoo met heldere strepen bezet zag, dat hij moeielijk alle aan deze drie stoffen alleen kon toeschrijven. De protuberans was niet hoog; maar de waterstof-strepen staken toch boven alle andere uit. De hoogte van de magnesium-strepen was niet meer dan een derde van de hare, dan kwamen de natrium-strepen en het laatst die van barium. Op den 14de Maart 1869 gelukte het den genoemden

Fig. 49.



ijverigen natuuronderzoeker nogmaals een protuberans te zien, die blijkbaar met geweld omhoog werd gedreven en in wier spectrum de aanwezigheid van barium, magnesium en van ijzer of nikkel duidelijk door strepen dier gloeiende metaaldampen werd verraden. En deze waarnemingen werden zoowel door hem zelf als door anderen met nieuwe bevestigd; meer zelfstandigheden dan de tot nog toe genoemde: waterstof, magnesium, natrium, barium, nikkel en ijzer vertoonden zich echter in de protuberansen niet. Daarbij wees echter steeds het verschil in de lengte der strepen er telkens op, dat deze stoffen, ten gevolge van het verschil in specifiek gewicht harer gloeiende dampen misschien, niet even hoog boven de oppervlakte worden opgeworpen.

In deze laatste overweging ligt al weder een wenk opgesloten, dat wij de overige stoffen moeten opzoeken in de chromospheer zelve. Met gunstig gevolg geschiedde dit bij het begin van de zonsver-

duistering in 1870 en 1871 door YOUNG en JANSSEN; op het oogenblik, dat de rand der maan dien van de zon juist bedekte en de nog buiten gene uitstekende chromospheer haar licht in den spectroskoop wierp zonder daarbij door licht van den dampkring vergezeld te zijn, zagen zij plotseling het gansche spectrum omgekeerd; ten minste tallooze heldere strepen namen toen onmiddellijk de plaats der donkere in. Onder gewone omstandigheden werkende, gelukte dit omkeeren van het spectrum slechts aan zeer weinigen der zelfs van de best ingerichte spectroskopen voorziene waarnemers. LOCKIJER vermeldt het slechts eenmaal; op den 17den April 1870 met de tangentiaal gestelde spleet langs den zonnerand gaande, vond hij in de plaats van *honderden* strepen van FRAUNHOFER aan den voet eener protuberans evenzoovele heldere. Ook weten wij nog van SECCHI, dat hij hetzelfde verschijnsel den 6den Mei 1871 heeft waargenomen. Deze waarnemingen waren echter om zoo te zeggen te veel kinderen van het toeval, zij kwamen al te onverwacht den onvoorbereiden waarnemer voor oogen en zij duurden daarbij te kort, om nauwkeurige plaatsbepaling der strepen toe te laten.

YOUNG, nadat hij zich een 8300 voet boven de oppervlakte der zee gelegen punt van het Rotsgebergte in Noord-Amerika tot standplaats had gekozen, verkreeg onder deze gunstige athmospherische omstandigheden resultaten van meer gewicht. In 1872 zag hij zich in staat gesteld een lijst van 273 heldere strepen in het licht te geven, die met strepen in de spektra van waterstofgas, magnesium, natrium, barium, ijzer, calcium, kobalt, nikkel, titanium, lithium, strontium, cesium, zwavel, zink, koper, chromium en lantanium overeenkomen.

Toen hij deze lijst in het licht gaf vergezelde ook hij haar van de opmerking, dat hij nooit volkomen in staat was geweest de hoop te verwezenlijken dat hij alle strepen van FRAUNHOFER omgekeerd zou zien, tenzij een- of tweemalen, gedurende ongewone beroeringen in de oppervlakte der zon. "Maar", zegt hij, "toch versterkte alles wat ik zag mij in de overtuiging, dat de oorsprong dier donkere strepen ligt in het grondvlak der chromospheer, en dat het vermogen om ze eens alle omgekeerd te zien alleen afhangt van het kleurschiftend vermogen van het instrument en van den toestand des dampkrings."

Op dit gezag mogen wij zeker met vertrouwen het aan de toekomst en aan de volharding der natuuronderzoekers overlaten, de betrekkelijk zeer kleine, nog overgebleven leemte in de overeenstemming tusschen de theorie en de feiten door nieuwe waarnemingen aan te vullen. Als wij daarbij zien, hoe de reeds verzamelde betreffende de corona zich aan de reeds medegedeelde betreffende de chromospheer aansluiten, zullen wij in dat vertrouwen ongetwijfeld versterkt worden.

DE CORONA.

Wanneer wij nog niet — in het derde dezer hoofdstukken — van elders hadden gemerkt, dat ver buiten de chromospheer en de protuberansen een gasvormig omhulsel de zon omgeeft, dan zou de gedaante dezer laatste er ons op gewezen, er ons van overtuigd hebben. Vooral een zoodanige als in fig. 45 N°. 3 is afgebeeld. Het is daar alsof wij rookwolken uit een schoorsteen zien opstijgen en wegvloeien in den dampkring; die zelfde zachte ronding in de oppervlakte der deelen, datzelfde wollige voorkomen van het geheel. En wij weten uit scherpzinnige beschouwingen, ook van landgenooten, dat deze en geene andere de gedaante zijn *moet* van een dampmassa, als die uitstroomt in eene omgeving die op haar, als onze dampkring, van alle zijden eene gelijkmatige drukking uitoefent. Zoo is ons dus reeds de gedaante alleen van de protuberansen een sprekend bewijs voor het werkelijk bestaan der corona: de toepassing der nieuwe methode, waarbij men met de geopende spleet van den spectroskoop een protuberans in haar geheel overziet, leerde in weinige dagen hieromtrent meer, dan jaren lange bespiegelingen van hetgeen een totale zonsverduistering te aanschouwen gaf hoogstens waarschijnlijk hadden gemaakt. De twijfel aan de realiteit der corona, een twijfel, die vooral door LOCKYER lang werd gekoesterd, moest wijken voor hetgeen de spectraal-analyse, ook langs anderen weg, omtrent haar aan het licht bracht. Moge ook al een groot gedeelte van datgene, wat haar tijdens een totale verduistering tot een zoo indrukwekkend verschijnsel maakt, bij voortduring en met recht aan

den invloed van onzen dampkring worden toegeschreven, haar eigen bestaan als zoodanig is een feit, dat niet meer valt te loochenen *sedert het door haar eigen spectrum gedurende de laatste zonsverduisteringen op ondubbelzinnige wijze geconstateerd is.*

In de eerste plaats hebben wij hier, als de eerste waarbij de spectroskoop met vrucht werd aangewend, de eklips te vermelden, die in 1868 in Indië zichtbaar was. In fig. 37 gaven wij de teekening terug, die de heldere strepen voorstelde, door RAYET destijds waargenomen en waaraan wij eene, ons later eerst bekend gewordene, maar met de medegedeelde bijna volkomen overeenkomende, van POGSON hadden kunnen toevoegen. Voor ons tegenwoordig onderwerp is in RAYET'S observatie het meest van belang eene opmerking, waarvan hij haar doet vergezeld gaan. "Al deze strepen", zegt hij, "vingen aan op dezelfde hoogte naar den kant van dat gedeelte van het gezichtsveld, dat door de maan was ingenomen; maar aan den kant, die met het hoogste gedeelte van den dampkring der zon overeenkwam, of aan den top der protuberans, eindigden zij op verschillende hoogte; *eenige van haar* (D, E en F) *waren zelfs boven de gemiddelde hoogte der protuberans verlengd met een zeer zwakke lichtstreep.*"

Wij hebben hier ongetwijfeld te doen met eene eerste, schoon nog weinig bepaalde aanwijzing van het eigen spectrum der corona. Eenigszins meer bepaald is reeds POGSON in zijne uitdrukkingen:

"Ik richtte den zoeker van den spectroskoop op een deel der corona aan den zuidelijken rand der zon, dat zoo vrij mogelijk was van eenige zichtbare protuberans. Een flauw licht werd gezien, dat bijna ongekleurd en zeker vrij was van elke streep, donkere zoowel als heldere. Terwijl ik verwonderd was over dat nare ledig en er mij diep over teleurgesteld gevoelde, kwamen er achtereenvolgens eenige strepen in het gezicht, bereikten eene vrij aanzienlijke helderheid en verdwenen weder. Vijf dezer strepen waren zichtbaar, maar twee van haar bepaaldelijk beter dan de overige, en van deze twee was de meest heldere gelegen op 1743, de andere op 1763." [1]

"Eene andere streep, wat den graad van zuiverheid betreft de derde,

[1] Daar deze getallen overeenkomen met 1465 en 1485 van de schaal van KIRCHHOFF, vallen beide heldere strepen in het groen en liggen zij daar aan de zijde van het rood, even voorbij de donkere streep E van FRAUNHOFER.

moet òf samengevallen zijn met òf weinig verwijderd geweest zijn van de sodiumstreep D, terwijl de vierde en vijfde zeer flauw waren; deze laatste schatte ik ongeveer de plaats in te nemen van de donkere streep F in het spectrum van de zon." Het behoeft haast niet opgemerkt te worden dat de in de tweede plaats genoemde streep de bekende D_3 zal geweest zijn, die ook voorkomt in het spectrum der protuberansen. Alleen daarop zij de aandacht bepaald gevestigd, dat beide waarnemers alleen de strepen D, E en F vermelden, RAYET als merkbaar langer dan de overige, POGSON als nog zichtbaar waar de protuberansen reeds uit het gezichtsveld verdwenen waren, en dat zij beiden daarbij van de streep C geen gewag maken; op deze bijzonderheid toch moeten wij later nog terugkomen.

Maar wat nog maar onbepaald werd aangegeven in 1868, werd duidelijk en klaar door de waarneming van de eklips van 1869, de Amerikaansche genaamd. Zoo op den eersten aanblik schenen de resultaten dier waarneming de zaak eer duisterder dan helderder te maken. PICKERING zag met een gewonen, voor chemische analyses ingerichten spektroskoop, dien hij gericht had op een punt nabij de zon, een *continu spectrum* met twee of drie heldere strepen, waarvan *ééne nabij* E. YOUNG daarentegen, uitgerust met een voor het doel bijzonder geschikten spectroskoop, zag een streep — 1474 van KIRCHHOFF'S schaal, en klaarblijkelijk één van de beide door RAYET opgemerkte — die zeer helder was, maar toch op verre na niet zoo helder als C en D_3 in het spectrum der protuberansen. Deze streep onderscheidde zich echter voornamelijk daarin van die zoo even genoemde, dat zij het geheele spectrum in zijn breedte doorliep; als de spleet zoover van den zonnerand verwijderd werd, dat D_3 aan de eene grenslijn van het gezichtsveld verdween, bleef de groene streep nog bestaan. Zij nu wordt ongetwijfeld alleen door het licht der corona veroorzaakt; dat PICKERING haar beter nog dan die van de protuberansen zag, is alleen daaraan toe te schrijven, dat gene wegens hare grootere uitgestrektheid veel meer licht in zijn instrument wierp dan deze.

Maar behalve haar zag YOUNG, evenals PICKERING, een *continu spectrum*, en het is de vraag, waaraan dit moet worden toegeschreven. Inderdaad een moeielijk te verklaren verschijnsel! Immers een zoodanig spectrum wordt alleen veroorzaakt door licht van gloeiende

vaste of vloeibare stoffen; en de zoodanige kan men wel niet op dien afstand boven de oppervlakte der zon verwachten. Mocht dus al de eklips van 1869 het eigen bestaan der corona tot een feit maken, omtrent de samenstelling van dat omhulsel bracht zij nieuwe zwarigheden in het midden.

In tijdsopvolging naast aan deze, kwam de eklips van 1870, die in de landen aan de Middellandsche zee gelegen zichtbaar was; de eklips, om welke waar te nemen JANSSEN per luchtballon het belegerde *Parijs* ontvluchtte, aan zijn vaderland het verdriet besparende dat de Fransche wetenschap bij een zoo belangrijk verschijnsel, in een Fransche kolonie, Algiers, bij uitnemendheid zichtbaar, niet zou zijn vertegenwoordigd; de eklips ook, die in zooverre de meeste teleurstelling baarde, dat op den dag waarop zij plaats had, het was den 22^{en} December, bijna geheel *Europa* door een van hagel en sneeuw vergezelde stormbui werd geteisterd. "Cloud in Sicily, cloud in Spain, cloud in Africa", zoo vangt LOCKYER zijn eerste mededeeling aan, gedateerd uit *Venetië*, waar hij voor twee dagen vastgesneeuwd zat!

Maar voor zooverre lucht en wolken het dan toch toelieten, bevestigde ook deze eklips wat de beide vorige hadden doen zien. PERRY, die in *Spanje* waarnam, meldt dat heldere strepen bij C, D, *b* (of E) en F werden waargenomen op een afstand van 8′ van den rand der zon; en HARKNESS, te *Syracuse* gestationneerd, vond de *groene* streep (E) tot op een afstand van wel 10′, of ongeveer 5200 D. G. mijlen van de zon, in alle deelen der corona. Tegelijk echter zag hij op dien afstand een volkomen spectrum van waterstofgas, hetgeen hem in den waan bracht dat een protuberans in het gezichtsveld was, ofschoon, volgens de verklaring van den adsistent, die den kijker richtte, er zich geen protuberans nabij de spleet van den spectroskoop bevond. Daar de dampkringslucht tusschen de aarde en de maan volkomen hetzelfde spectrum gaf, kon men niets anders waarnemen dan dat bij deze gelegenheid de dampkring zooveel protuberansen-licht terugkaatste, dat zoowel in *Spanje* de streep C als te *Syracuse* de overige strepen van het waterstofgas daardoor alleen tegelijk met de groene streep E van het corona-licht zich vertoonden. Maar was op deze wijze niet het geheele verschijnsel te verklaren uit eene terugkaatsing van protuberansen-licht?

Dit uit te maken was een groot deel van de taak, zich opgelegd door de natuuronderzoekers, die in 1871 naar verschillende plaatsen in *Voor-Indië* stevenden, om de verduistering waar te nemen, die daar in hare totaliteit moest gezien worden. Onder hen vermelden wij in de eerste plaats JANSSEN, nu gelukkiger dan een jaar te voren in *Algiers*. "J'ai été favorisé par un ciel d'une pureté presque absolue" zoo vangt hij zijn verslag aan. "Deze omstandigheid en vooral de gansch nieuwe optische arrangementen door mij gemaakt, hebben mij veroorloofd aangaande de corona eenige bijzonderheden vast te stellen, die bewijzen dat zij inderdaad bij de zon behoort (voor het grootste gedeelte ten minste).

"In mijn spectroskoop heeft zich het spectrum der corona niet continu vertoond, maar wel aanmerkelijk samengesteld. Ik heb met zekerheid gezien:

"De heldere strepen van het waterstofgas, dat het voorname bestanddeel uitmaakt van de protuberansen en de chromospheer.

"De heldere groene streep, die reeds was bekend geworden door de eklipsen van 1869 en 1870, en eenige andere, zwakkere.

"Donkere strepen van het gewone zonnespectrum, in het bijzonder D. Deze strepen zijn veel moeielijker te zien.

"Mijne waarnemingen bewijzen, dat, onafhankelijk van de kosmische stof, die in de nabuurschap der zon bestaan moet, dat hemellichaam omringd is van eene zeer uitgestrekte atmospheer, die uiterst ijl is, en voornamelijk bestaat uit waterstofgas."

In de hoofdzaak zien wij dus hier overeenkomst met hetgeen vroegere waarnemers vermeldden; ook hier, boven de door verschillende heldere strepen zich aankondigende chromospheer en zelfs boven de protuberansen, waterstofgas en de door eene enkele groene streep gekarakteriseerde stof, die alleen in de corona schijnt voor te komen. Maar ook hier aanwijzing van de omstandigheid, dat teruggekaatst zonnelicht in den kijker drong; en dit nu in plaats van door een continu spectrum, zooals PICKERING'S spectroskoop van gering kleurschiftend vermogen leverde, door de donkere strepen van dat der zon, die in JANSSEN'S bijzondere sterke telespectroskoop alleen nog het niet volkomen donker zijn van den achtergrond verraadden.

Onbeantwoord blijft echter, ook na waarnemingen als die van JANSSEN,

de vraag, of niet evenzoo de heldere strepen van het waterstofgas en de heldere groene streep 1474 K aan terugkaatsing, maar nu van protuberansenlicht, moeten worden toegeschreven? Om dit uit te maken, beproefden tijdens dezelfde eklips LOCKYER en RESPIGHI eene methode van waarnemen, die, ofschoon zij het gewenschte resultaat niet opleverde, vernuftig genoeg was gevonden om hier eene vermelding te verdienen. In de hoofdzaak komt zij hier op neêr, dat beide natuuronderzoekers werkten met een spectroskoop, waarvan de spleet was weggenomen; met andere woorden dus, het licht lieten zij direkt vallen op het eerste van de reeks prisma's, die in den spectroskoop de kleuren van elkander scheiden. Bij LOCKYER was dit inderdaad aldus; RESPIGHI had eenvoudig een enkel prisma voor het objectief des kijkers opgesteld.

De toepassing van zulk eene methode zou tot niets leiden, als het licht van de corona zoo samengesteld was als bijvoorbeeld dat van de zon. Verbeeld u eens dat men in het vensterluik van een donkere kamer een cirkelvormige spleet maakte en door een prisma daarnaar zag, of het spectrum van het door die spleet vallend zonnelicht op een wit scherm opving; wat zou men zien? Natuurlijk een zeer verward spectrum, of liever, in den eigenlijken zin des woords in het geheel geen spectrum; een langen band zou men zien, zoo breed als de middellijn des cirkels, rechts en links begrensd door rechte lijnen, van boven en van onderen door een cirkelboog. Die band zou aan de bovenzijde een rooden en aan de benedenzijde een violetten rand hebben; maar even onder genen en even boven dezen rand zou hij al niet meer zuiver een der kleuren van het spectrum vertoonen. Immers, hij is ontstaan doordien een onnoemelijk aantal ringen, die ieder in het bijzonder in een van de enkelvoudige kleuren zouden prijken, zóó op elkander gelegd zijn, dat elke meer breekbare iets lager ligt dan zijn voorganger.

Is daarentegen het licht dat door de spleet dringt enkelvoudig, is het bij voorbeeld sodiumlicht, dan gaat het onveranderd door het prisma heen, en het oog zal, als het daardoor ziet, even goed een gelen ring zien als wanneer het rechtstreeks zag naar de spleet.

Nu is het licht der corona, als het ten minste haar eigen licht was wat de waarnemers in 1868, 1869 en 1870 zagen, wel niet enkelvoudig zooals het sodiumlicht, maar toch ook op verre na niet

zoo samengesteld als het zonnelicht. Het bestaat hoogstens uit vier of vijf enkelvoudige kleuren, en men zal dus, als men door een prisma naar de corona ziet, die bij een totale zonsverduistering de cirkelvormige spleet in het vensterluik uit ons voorbeeld vervangt, hoogstens vier of vijf ringen moeten zien. Of die als de schakels van een gestrekte keten op elkander zullen liggen of geheel van elkander afgescheiden zullen zijn, hangt alleen af van het kleiner of grooter kleurschiftend vermogen van het prisma en van het kleinere of grootere verschil in de breekbaarheid der samenstellende kleuren.

Eene zoodanige nu was de overweging die bovengenoemde sterrekundigen er toe leidde, het volle licht der corona te laten vallen op het kleurschiftend medium. En het doel dat zij met het dus inrichten hunner waarnemingen beoogden ligt voor de hand. Bestaat de corona alleen uit gereflecteerd protuberansenlicht, zoo redeneerden zij, dan moeten alle ringen van verschillende kleur even breed zijn. Is daarentegen de zon tot verschillende hoogten omgeven door stoffen die verschillend licht uitstralen, bestaan bijv. de onderste lagen nog uit waterstofgas en daarentegen de bovenste alleen uit de stof, die het groene licht 1474 K. uitstraalt, dan zullen de ringen die het eerstgenoemd gas karakteriseeren smaller zijn dan de groene ring.

De waarneming zelve gelukte volkomen. Bij den aanvang der totaliteit, toen nog aan de eene zijde van de zon een gedeelte van de chromospheer met de daar gelegen protuberansen buiten den rand der maan uitstak, zag RESPIGHI de vier cirkelbogen met buitenwaarts gekeerde uitsteeksels, die in de hierbij gevoegde plaat in de eerste plaats zijn afgebeeld: een rooden (C), een gelen (D_3), een groenblauwen (F) en een violetten (G). In het midden der totaliteit zag hij drie volle ringen: een rooden (C), een groenen (1474 K) en een groenblauwen (F); terwijl LOCKYER omstreeks 80 sekonden na het begin der verduistering deze zelfde ringen en daarbij nog den violetten ring (G) waarnam.

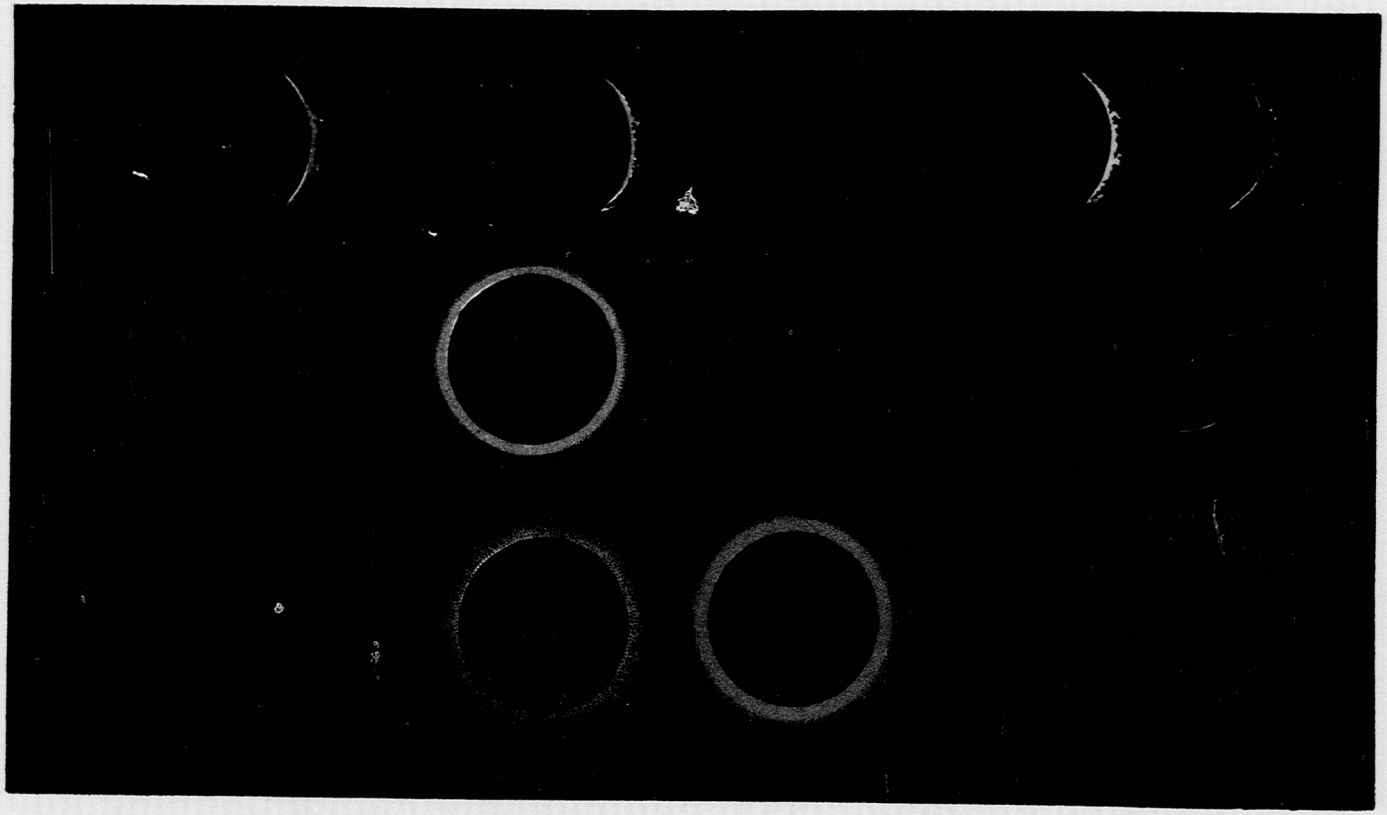
Dat RESPIGHI bij zijn eerste waarneming den groenen en bij zijn laatste den violetten ring niet onderscheiden kon en LOCKYER wel, is alleen daaraan toe te schrijven, dat eerstgenoemde slechts één prisma gebruikte, terwijl bij laatstgenoemden het licht door al de prisma's van zijnen slechts van de spleet ontdanen spectroskoop ging.

Het continu spectrum van het zonnelicht was daarom bij RESPIGHI over veel kleiner oppervlakte verspreid dan bij LOCKYER; met andere woorden, bij genen was de achtergrond te sterk verlicht dan dat hij er de minst sterk verlichte ringen op onderscheiden kon.

Deze waarnemingen nu leeren in de eerste plaats dat de streep D_3 van het spectrum van waterstofgas geen noodzakelijk deel is; haar licht is helder genoeg om steeds te worden waargenomen, veel helderder in elk geval dan dat van de violette streep (G). Toch zagen beide waarnemers haar niet meer, toen alleen licht van de corona op de prisma's viel en het volkomen spectrum van waterstofgas, benevens de groene ring, duidelijk te voorschijn trad. Dit resultaat is op zich zelf belangrijk genoeg om ons dankbaar te doen zijn voor het vinden en toepassen der nieuwe methode; want het maakt een einde aan den nog niet volkomen opgeheven twijfel of de streep D_3 slechts op eene modificatie van het waterstofgas dan wel op een ons onbekend element wees. Het beslist het pleit in laatstgenoemden zin.

In de tweede plaats wijst de dikte van den ring er op, dat de atmospheer van waterstofgas zich meer dan 7′ boven de oppervlakte der zon verheft. En schoon het nu zeer wel denkbaar is, dat op nog grooteren afstand de lichtgevende stof, ten gevolge van hare ijlheid, te weinig licht uitstraalt dan dat het op de bij deze waarnemingen volstrekt niet volkomen donkeren achtergrond zichtbaar zou zijn; schoon, zooals wij vroeger reeds zagen, de stof die de groene streep geeft, zich inderdaad veel verder uitstrekt dan het waterstofgas; schoon ook de photographieën, in 1871 in *Indië* op honderden kilometers afstand van elkander vervaardigd, door hunne gelijkvormigheid op eene zich verder uitstrekkende atmospheer der zon wijzen, zoo moet toch wat wij van vroegere waarnemers omtrent eene zich wel twee of meer maanstralen buiten den zonnerand uitstrekkende corona vernamen, aan verschijnselen worden toegeschreven, die hun ontstaan aan het strijken van het licht door onzen dampkring te danken hebben.

Maar omtrent het eigenlijke doel dezer waarnemingen, het beantwoorden namelijk van de vraag in hoeverre het licht, dat de waterstof-strepen voortbrengt, eigen of teruggekaatst protuberansen-licht is, besliste onzes inziens de uitkomst niets. Zooals wij boven reeds



Lith. v. Emrik & Binger.

DE CORONA VAN DE VERDUISTERDE ZON. 1871.

zooals die gezien werd (1) door Respighi bij het begin der totaliteit met een prisma voor het objectief eener teleskoop en zonder spleet, (2) door Lockyer 80 sekunden na het begin der verduistering door eene eenvoudige reeks van 5 prisma's en (3) door Respighi op het midden der eklips.

aanmerkten, zou de verschillende dikte der ringen hier uitspraak moeten doen. Maar de te groote helderheid van den achtergrond, waarin het licht der ringen geleidelijk wegvloeit, heeft belet dat men omtrent deze hunne betrekkelijke breedte eenige voldoende gegevens kon verzamelen; het aan de waarnemers van latere eklipsen overlatende om, gewapend met een rij prisma's van nog grooter kleurschiftend vermogen dan de tot nog toe gebruikte, langs den aangewezen goeden weg de oplossing dezer vraag te beproeven.

Maar is nu ten minste, door het in het spectrum van gloeiend waterstofgas *niet*, in het licht van de hoogere streken der zonneatmospheer *wel* voorkomende groene bestanddeel, de realiteit der corona genoegzaam vastgesteld, de vraag blijft nu nog te beantwoorden: op welke stof die streep 1474 K wijst?

Reeds dadelijk na hare ontdekking, in 1869, vestigde men de aandacht er op, dat van drie heldere strepen die zichtbaar bleven, nadat het beeld van een protuberans uit het gezichtsveld was verdwenen, één met zekerheid samenviel met één van de strepen, door WINLOCK in het spectrum van het noorderlicht opgemerkt; dat waarschijnlijk de beide andere ook in dat spectrum hare plaatsvervangsters hadden. Had men dus hier te denken aan een verschijnsel, overeenkomstig met ons noorderlicht, maar dat in den dampkring der zon voortdurend zich zou vertoonen? Velen betwijfelden het, onder anderen YOUNG; vooral omdat hij zeer te recht meende dat een instrument als het door PICKERING gebruikte — en op de metingen van dezen berustte de vermeende overeenstemming — geen voldoende waarborgen aanbood voor eene juiste bepaling van de plaats der strepen. Toch meende hij daarom eene hypothese nog niet geheel te moeten laten varen, die veel grond van waarschijnlijkheid putte, niet alleen uit het noodzakelijk ontstaan van hevige elektrische stoornissen in een atmospheer zoo bewogen als die der zon, maar ook uit de opmerkelijke gevoeligheid van aardsche magneten voor groote bewegingen in die atmospheer.

Op grond van latere metingen is men echter aan de hypothese langzamerhand minder waarde gaan hechten. De meer nauwkeurige overeenkomst der groene streep met eene in het spectrum van ijzerdamp, en wel met die welke hij gewoonlijk waarnam als die damp boven de chromospheer werd geworpen, deed LOCKYER lang geneigd

zijn de aanwezigheid van dien damp ook in de buitenste lagen van de atmospheer der zon aan te nemen. Eene hypothese, die dadelijk veel tegenkanting ontmoette van hen, wien het onwaarschijnlijk voorkwam dat damp van zoo groot specifiek gewicht zich boven de eigenlijke atmospheer van waterstofgas zou verheffen, en die ook later door LOCKYER zelf werd losgelaten. Een van de gronden toch waarop hij zijn vooronderstelling gevestigd had, was deze, dat in het spectrum van het zonnelicht onder de Fraunhofersche strepen eene met 1474 K samenvallende vrij donkere streep voorkomt, eene omstandigheid, die, even sterk als het voorkomen van eene heldere streep te dier plaatse in het eigen spectrum van het omhulsel der zon, voor de aanwezigheid van ijzerdamp in dat omhulsel pleiten zou. Inderdaad was het eene omstandigheid die maar niet zoo toevallig kon geacht worden, dat men terzelfder plaatse waar eene heldere streep in het spectrum der corona en in dat van ijzerdamp voorkwam, een even duidelijke absorbtie-streep waarnam in het spectrum van het zonnelicht. Nadere onderzoekingen echter leerden hem, dat de heldere strepen van een spectrum van gloeiend gas, die als donkere in het zonnespectrum te voorschijn treden, uitsluitend de langste zijn; en de streep, die in het spectrum van gloeienden ijzerdamp met 1474 K overeenkomt, is een van de kortste in dat spectrum. Ook YOUNG en VOGEL betwijfelden of de donkere streep 1474 K in het zonnespectrum wel door absorbtie in ijzerdamp zou worden veroorzaakt; de eerste omdat deze een van de minst standvastige strepen is in het spectrum van dien damp, de laatste omdat gene met deze, bij nauwkeurige meting, niet eens volkomen samenvalt.

Men is thans meest geneigd die groene streep te houden voor het spectrum van een in zeer verdunden toestand gloeiend gas, omdat het bekend is dat de kleurenbeelden der gassen des te minder samengesteld worden, naarmate de spanning waarbij zij gloeien geringer is. SECCHI gaf reeds in 1869 het vermoeden te kennen, dat zij bij het spectrum van waterstofgas zelf zou behooren, wanneer dit op lage temperatuur gloeit; omdat hij haar in de *Geissler'sche* buizen had waargenomen in den bol, die de positieve pool omgeeft. Een proef, door LOCKYER gedaan, toen hij in 1871 in *the Royal Institution of Great Brittain* een voorlezing hield, wijst op iets dergelijks. Hij zeide daar: "... in dezen bol, waarover ik nu ga spreken, hebt

gij het gas (waterstofgas) onder de laagste drukking waarbij de elektrieke vonk nog wil overgaan; en ik verzoek u uwe aandacht te willen vestigen op hetgeen nu gebeuren zal. Nu zenden wij de vonk er door. Ik zou professor TYNDALL wel willen vragen of hij zoo goed zou willen zijn, het spectrum van het waterstofgas in den bol waar te nemen. (Prof. TYNDALL deed het). Gij zult misschien zien, dat daarin een heldere streep is? (Prof. T. Ja.). En een continu spectrum? (Prof. T. En een continu spectrum). Ge ziet dus, waterstofgas op lage temperatuur, geeft ons alleen de heldere streep F en daarbij een continu spectrum, en velen uwer zullen weten hoe buitengewoon belangrijk dit verschijnsel is. Het geeft er rekenschap van hoe de streep F in 1868 en 1870 kon worden waargenomen, *niet vergezeld van de streep* C, en ook van het continu spectrum dat men tijdens de eklips in *Indië* waarnam."

Nu is wel is waar de streep F niet de streep 1474 van KIRCHHOFF's schaal; en sprekende over de stof, die in de corona tot op een afstand van wel 10′ en meer boven hare eigenlijke oppervlakte voorkomt, spreekt men dan ook niet van hoogst verdund waterstofgas, maar van *de onbekende stof*, *die de groene streep voortbrengt*. Toch hebben wij hier te doen met een analoog verschijnsel. Waterstofgas vertoont, als het in uitermate verdunden toestand gloeit, slechts een van zijn strepen en daarenboven een continu spectrum; en zulk een spectrum vergezelt ook die enkele groene streep. Wij hebben hier dus alle reden om te denken aan een zeer verdund gasvormig lichaam; en welk ander zou men wel op een zoo grooten afstand boven de oppervlakte der zon, in de buitenste lagen der ons zichtbare corona, verwachten? — Maar al is onze kennis in dit opzicht nog gering, al kunnen wij omtrent het wezen dezer stof nog slechts zoo weinig eene gissing wagen, dat wij haar bij voorkeur aanduiden als de onbekende, die door een bepaald spectrum van hare aanwezigheid kondschap geeft, omtrent den aard van het gansche omhulsel der zon heeft een tiental jaren van onverpoosden arbeid in een nieuwe richting volslagen onkunde in wetenschap veranderd. Om de gedachten te bepalen, willen wij den inhoud dier wetenschap hier nog kortelijk voor oogen stellen, door de resultaten der onderzoekingen, maar nu geheel los van de wijze waarop zij zijn verkregen, in herinnering brengen.

De zon dan is omgeven van een omhulsel van gloeiende gassen, wier hoofdbestanddeel het waterstofgas is; waterstofgas, gloeiende bij verschillende temperatuur en drukkingen; in de onderste lagen zoo sterk gloeiende, dat zelfs bij een niet verduisterde zon met geopende spleet de roode en groenblauwe streep van zijn spectrum tot op een afstand van ongeveer 2′ van den rand der zon zichtbaar blijven. En hooger boven hare eigenlijke oppervlakte, tot op een hoogte van 8′ ongeveer, wederom waterstofgas, maar nu slechts zoo zwak gloeiend, dat alleen bij een geheel verduisterde zon zijn licht sterk genoeg is om waarneembaar te zijn en dan een spectrum te leveren, dat door het verdwijnen van de roode streep C en het te voorschijn treden van de violette streep G de geringe drukking verraadt, waaraan hier dit gas is blootgesteld.

Naar buiten, en wel waarneembaar tot op een hoogte van 12′ boven de oppervlakte der zon, bestaat de voortzetting van dit omhulsel uit een stof, wier gelijke wij onder de op aarde voorkomende zelfstandigheden niet kennen, maar wier eenvoudig uit een enkele groene streep bestaand spectrum ons wijst op een gas, dat bij zeer lage drukking gloeit. In de diepst gelegen lagen is het waterstofgas daarentegen steeds vergezeld van een ander gas, dat ons evenzeer geheel onbekend is, daar zijn spectrum uit eene enkele gele streep bestaat, die in geen van de kleurenbeelden der ons bekende aardsche stoffen wordt aangetroffen. En dit gas is van het bij hooge temperatuur gloeiend waterstofgas een zoo standvastig begeleider, dat men zoowel in het spectrum van de gloeiende laag, die de oppervlakte der zon, waar die in rust is, gelijkmatig overdekt, als in dat van de tijdelijke verheffingen of protuberansen, die op plaatsen waar geweldige beroering heerscht boven die laag ontstaan, de strepen van het waterstofgas steeds van de gele streep vergezeld ziet. Ja, dat gelijktijdig voorkomen van die strepen is in die laag van grootere drukking zoo standvastig, dat men geneigd zou zijn het spectrum, waarin de gele streep voorkomt, voor eene modificatie van het gewone kleurenbeeld van waterstofgas te verklaren, indien maar niet proefnemingen, in het laboratorium met onder hooge drukking gloeiend gas ingesteld, zoowel als de op bladz. 115 vermelde waarnemingen, steeds een in dit opzicht negatief resultaat hadden opgeleverd.

Maar in die diepste lagen van het omhulsel der zon ontmoeten

wij ook ten laatste gloeiende dampen van grooter specifiek gewicht. In de eerste plaats die van sodium en magnesium, van wier tegenwoordigheid wij daarom zooveel zekerder zijn dan van die der andere, dat zij dikwijls tot op een groote hoogte in de protuberansen worden opgeworpen en dien ten gevolge dikwijls worden waargenomen bij het volle zonnelicht. De overige stoffen, die wij in eene vorige studie (bladz. 107) noemden, verraden in den regel hare tegenwoordigheid slechts tijdens totale zonsverduisteringen. Toch zijn onder zeer gunstige atmospherische omstandigheden de strepen, waaraan men haar herkent, aan den rand der niet verduisterde zon gezien; en, daar dit met de strepen van barium, ijzer en nikkel meest het geval is, mogen wij ook deze elementen als bestanddeelen van de diepst gelegen lagen van het omhulsel der zon beschouwen.

Beproeven wij deze resultaten aan de absorbtie-theorie van KIRCHHOFF, die, zooals wij weten, het eerst de waarnemingen deze richting heeft doen nemen, dan blijkt het dat al de strepen, die het licht van de bovenste lagen der zonne-atmospheer kenmerken, hare donkere plaatsvervangsters hebben in het spectrum van het eigenlijke zonnelicht; zoowel de strepen C, F en G als de streep 1474 K komen onder de donkere strepen van FRAUNHOFER voor en behooren onder deze tot de meest duidelijk in het oog vallende. En hetzelfde geldt van de donkere strepen, die samenvallen met de meeste heldere, bij groote stoornissen in de oppervlakte der zon tot hoog in de protuberansen, bij meerdere kalmte tot in de diepste lagen der chromospheer waargenomen. Alleen aangaande de streep D_3 kunnen wij eene zoodanige overeenkomst niet constateeren; in het zonnespectrum komt te harer plaatse volstrekt geene donkere streep voor, ten minste niet eene zoodanige, die onder alle omstandigheden daarin wordt waargenomen. Wel hebben TIETJEN te Berlijn en VOGEL gevonden dat des avonds, als de zon een zeer lagen stand heeft, onder de donkere strepen, die rondom de streep D optreden, eene der donkerste met D_3 samenvalt. Maar eene zoodanige waarneming, voorondersteld zelfs dat zij door alle latere werd geconstateerd, is niet geschikt om hare afwezigheid bij hoogeren stand der zon met KIRCHHOFF'S theorie te doen overeenstemmen. In elk geval zou daardoor slechts bewezen zijn, dat met de heldere streep D_3 van het protuberansenlicht een donkere atmospherische overeenkomt. Maar

niet in onze atmospheer, in die der zon zelve moet de absorbtie geschieden, indien ook op dit geval die theorie van toepassing zijn zal. LOCKYER is, voor zooverre wij weten, de eenige die beweert in hare plaats in het spectrum een zeer fijne donkere streep te hebben gezien, die evenwel niet constant schijnt te zijn; terwijl daarentegen SECCHI meent op diezelfde plaats een heldere streep te hebben gezien. Deze twee laatste beweringen, hoewel schijnbaar met elkander in lijnrechte tegenspraak, kunnen tot elkanders bevestiging strekken en wellicht zelfs tot eene voldoende oplossing van het raadsel aanleiding geven. Want het zou kunnen zijn dat deze heldere streep D_3, die tot de diepere lagen van de atmospheer der zon behoort en in de hooger gelegene hare overeenkomstige niet heeft, herkomstig is van eene zelfstandigheid, die bij zeer hooge temperatuur gloeit en in den regel door geen koelere, absorbeerende laag van dezelfde stof overdekt is. Wij zullen later zien dat zelfs op de oppervlakte der eigenlijke zonneschijf, en wel over de donkere vlekken, zulke heldere strepen, van sterk gloeiend gas getuigende, zichtbaar zijn; wij zullen dit zien, zoodra wij met behulp van den spectroskoop ook in deze diepste deelen van de oppervlakte der zon zullen trachten doortedringen.

Omtrent haar omhulsel thans nog slechts dit eene. Reeds boven zagen wij dat in de eigenlijke photospheer, vooral waar die door protuberansen-uitbarstingen wordt beroerd, eene zekere structuur zichtbaar is, die in de figuren 44—46 zoo getrouw mogelijk werd afgebeeld. Dat ook de corona geen gelijkmatig gasomhulsel vormt, maar daarentegen in dit opzicht met de dieper gelegen lagen eene merkwaardige overeenkomst vertoont, is eene van de meest belangrijke resultaten bij de waarneming van de eklips van 1871 verkregen. In het verhaal door LOCKYER gegeven, van hetgeen in de 120 sekonden voorviel, die den waarnemers te Bekul ten dienste stonden, een verhaal dat door zijne kortheid en levendigheid ons als het ware ooggetuigen maakt van hunnen arbeid, komen de volgende zinsneden voor: "Gij hebt nog maar dertig sekonden," riep kapitein BAILEY. "In een oogwenk verwisselden MACLEAR en ik van instrument — ik om de structuur der corona na te gaan, hij om het spectrum waar te nemen van die harer deelen, die ik in het gezichtsveld mocht brengen van een spectroskoop met groot kleurschiftend vermogen, waarmede mijn kijker was gewapend."

" "Bepaalde structuur op vijf minuten afstand van de zon." — "Geen spectrum" — "Structuur als die van de groote nevelvlek in Orion" — "Geen spectrum," riepen nu in snelle opeenvolging ik zelf en MACLEAR elkander als het ware toe, en spoedig was voor de overigen de eklips, schijnbaar voor den bepaalden tijd, verstreken. "Structuur nog zichtbaar," — "nog zichtbaar," — "nog zichtbaar," zoo ging het nu voort gedurende ongeveer drie minuten, en toen verdween langzaam de corona in de lucht."

Wij zien hier dus een merkwaardige overeenkomst. Als er geen buitengewone beroering plaats heeft, nemen de protuberansen in plaats van den eruptieven vorm (fig. 47) eene nevelachtige gedaante (fig. 45, N°. 3 en 4) aan; zoodat het gansche verschijnsel der corona kan omschreven worden als te bestaan uit weinig intens gloeiende protuberansen. Tusschen de inwendige en de uitwendige lagen van de atmospheer der zon kent men sedert de laatste waarnemingen geen enkel verschil waardoor men belet wordt aan te nemen, dat beide deelen zijn van een onafgebroken geheel.

Zoo hebben wij dan nu omtrent het omhulsel van het hoofdlichaam uit ons planetenstelsel alles medegedeeld, wat de onderzoekingen der laatste jaren daaromtrent hebben leeren kennen. Hoe weinig bepaald deze kennis in sommige opzichten ook wezen moge, een blik in het tot nog toe behandelde zal ongetwijfeld de overtuiging vestigen, dat in die weinige jaren aan de astronomische wetenschap als het ware een gansch nieuw hoofdstuk is toegevoegd. Wat daarin onomstootelijk waars staat geschreven, — wat daarin nog slechts op meerder of minder waarschijnlijkheid aanspraak maken mag, hebben wij getracht zoo scherp mogelijk vaneen te scheiden, door telkens na te gaan waar het domein van het eerste aan dat van de laatste grenst; daarbij, door het zoo nauwkeurig mogelijk mededeelen van de resultaten der waarneming zelve, het aan het oordeel van den lezer overlatende, welken grond van waarschijnlijkheid hij wil toekennen aan de besluiten op die waarnemingen gegrond.

Eene zoodanige opmerking achten wij geenszins overbodig, nu wij een stap verder moeten gaan en onze aandacht hebben te vestigen, niet alleen op die dieper gelegen lagen der zon, waartoe hare vlekken

ons oog toegang verschaffen, maar ook op de snelheid der bewegingen, die over de verschillende gedeelten van de zonneschijf worden waargenomen. Vooral bij het volgen van de mannen der wetenschap op den weg, door hen ter bepaling dezer snelheden ingeslagen, moet voorzichtigheid in de eerste plaats de pen besturen. Wie een wijderen kring tracht deelgenoot te maken van hetgeen in het kamp dier mannen sommigen voor geheel, sommigen slechts voor ten deele op goede gronden gevestigd achten, heeft zelf scherp toe te zien aan welke zijde zij zich schaart, opdat hij niet, door gemakkelijk voor waar te houden wat hij hoopt waar te zijn, aan het crediet der wetenschap in dien wijderen kring groote schade toebrenge, als later wellicht de eene hand zou moeten terugnemen wat de andere gaf.

De welwillende lezer zal het na deze gemoedelijke overweging zeker ten beste duiden, wanneer hij in een volgend hoofdstuk nevens de resultaten van het onderwerp ook iets mocht vinden dat op eene meer dorre kritiek der methode geleek, volgens welke zij zijn verkregen.

DE BEWEGINGEN IN HET OMHULSEL DER ZON, NAAR WAARNEMINGEN MET DEN SPECTROSKOOP.

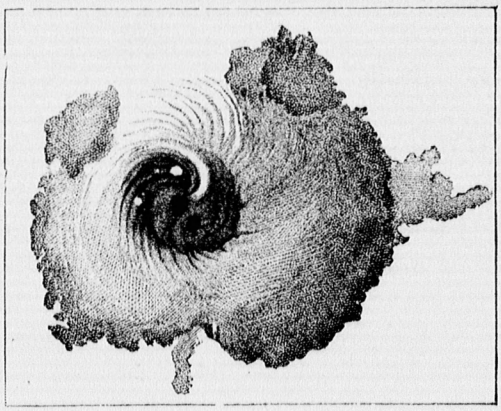
Nauwelijks waren de laatste regels van ons vorig opstel in druk verschenen, de regels, die ons voornemen te kennen gaven om het onderwerp te behandelen, dat aan het hoofd van het tegenwoordige geschreven staat, toen uit officiële bron mij onder de oogen kwam, wat door den telegraaf reeds velen was bekend gemaakt. En wanneer wij hier spreken willen van hetgeen de veelvuldige waarnemingen van den overgang der planeet *Venus* over de zonneschijf leeren, dan is het niet om resultaten te vermelden, die onmiddellijk beantwoorden aan het doel der verschillende wetenschappelijke expeditiën. Dezulke zijn nog slechts te zeer ten deele bekend, dan dat over het al of niet slagen der inderdaad reusachtige pogingen een oordeel kan geveld worden; slechts een algemeen overzicht van alles wat zij leverden kan op zulk een oordeel recht geven. Ook zou het niet passen in deze bladen en op deze plaats.

Neen, wanneer wij een stap achterwaarts doen in den loop onzer beschouwingen, wanneer wij ons pleidooi voor het reëel bestaan der corona nogmaals voor een oogenblik opvatten, dan is het omdat die waarnemingen onverwacht een nieuw argument leverden, dat daarin past. Zoo ooit feitelijk het bewijs is geleverd, dat op wetenschappelijk gebied onderzoekingen, in bepaalden zin ondernomen, licht hebben verspreid op een gebied, waar men dit niet had verwacht of minstens niet onmiddellijk bedoeld had, dan geschiedde

dit door het feit, vermeld in de volgende mededeeling. JANSSEN, die te *Nangasaki* den overgang van *Venus* over de zon waarnam, zag reeds eenigen tijd vóór de eerste aanraking, en wel op twee à drie minuten boogs van den rand der zon verwijderd, het donkere lichaam der planeet geprojecteerd op den verlichten achtergrond der corona. Deze bevinding werd door de *Académie des Sciences* te *Parijs* in haar zittingsverslag van 15 Februari publiek gemaakt. Ze levert een nieuw en schitterend bewijs voor de waarheid der stelling, dat tot op grooten afstand de zon omringd is van een athmospheer, helder genoeg om te maken, dat bij vollen dag het licht grooter intensiteit bezit dan het diffuse licht van den tusschen haar en ons oog zich bevindenden dampkring der aarde. Wij ten minste achtten het belangrijk genoeg om ter wille daarvan liever den draad onzer redeneering een wijl te laten vallen, dan geheel onvermeld te laten, wat in reeds afgesloten beschouwingen eigentlijk te huis behoorde. Te meer daar wij dien thans dadelijk weder opvatten.

Over bewegingen op de oppervlakte der zon spraken wij reeds uitvoerig in ons eerste opstel. Wij zagen daar dat hare vlekken niet slechts aan de omwenteling der zon deelnemen, maar dat zij nog daarenboven eene eigene beweging bezitten, waardoor de baan, die zulk een vlek bij haren gang van den eenen rand der zon tot den anderen over deze schijnt te beschrijven, eene zeer onregelmatige kromme lijn is, waarop zij zich nu eens naar den evenaar, dan weder naar de pool schijnt te wenden. Ook gaven wij reeds in eene in dit opstel voorkomende, en hier gereproduceerde, figuur (fig. 50) eene voorstelling van hetgeen twee van elkander op grooten afstand verwijderde waarnemers onafhankelijk van elkander waarnamen omtrent een cyclonische beweging in het omhulsel der zon. En de volgende

Fig. 50.



opstellen, vooral dat over de chromospheer, gaven ons gelegenheid kennis te maken met de geweldige bewegingen, waarvan de protuberansen, als zij met de betrekkelijk wijd geopende spleet van den spectroskoop worden waargenomen, ons het schouwspel leveren.

Omtrent de snelheid waarmede deze verschillende stroomingen en uitbarstingen in het omhulsel der zon zich bewegen, spraken wij echter nog niet. En toch is men er niet ver van af te vertrouwen, dat ons hieromtrent datzelfde instrument reeds de eerste inlichtingen gegeven heeft en nog nadere geven zal. Onbetwiste zekerheid heerscht hier nog niet; van daar opzettelijk de zoo even gebezigde voorzichtige uitdrukking. Wat men heeft waargenomen en zelfs getracht heeft te meten, is eene grootheid van zóó uiterst kleine afmetingen, en als oorzaken, die het te voorschijn kunnen roepen, worden, buiten en behalve de genoemde bewegingen in het omhulsel der zon, zóóvele andere aangevoerd, die in het instrument zelf zijn gelegen, dat het minstens voorbarig zijn zou over hetgeen daaruit is afgeleid te spreken als over een door de wetenschap veroverd en langer onbetwist eigendom. Ja, de beschouwing zelve, waardoor men uit hetgeen werd waargenomen tot de oorzaak opklimt, de weg, waar langs men bij de afleiding zich bewoog, wordt door allen nog geenszins als de rechte erkend. Veiliger achten wij het in deze omstandigheden weêr te geven wat vóór en tegen kan worden aangevoerd; en om den gang der redeneering meest geleidelijk te maken, willen wij daarbij met de bloote vermelding der verschijnselen aanvangen, wier waarneming ten minste een door niemand betwist feit is. Waaraan zij kunnen worden toegeschreven kan dan later blijken.

Lockyer was de eerste, die bij het waarnemen van protuberansen opmerkte, dat zekere strepen van het spectrum onregelmatig waren gekromd; dat zij er uitzagen alsof de spleet van den spectroskoop niet volkomen recht was. In fig. 51, die het blauwgroene deel van het zonnespectrum vertoont, dat rechts en links van de streep F is gelegen, zien wij zulk eene ombuiging en tevens van boven een gedeeltelijke omkeering, die Lockyer waarnam bij de streep F, toen hij op de onmiddellijke omgeving van een vlek de spleet van den spectroskoop richtte. Ook Young nam later dergelijke verschijnselen waar op de wijze, die door de figuren 52 en 53 wordt voorgesteld. De eerste doet de kromming en verbrokkeling zien van

de streep F, de tweede die van de streep C, zooals die den 22^{en} September 1870 op de daaronder aangegeven tijdstippen gezien werd.

Fig. 51.

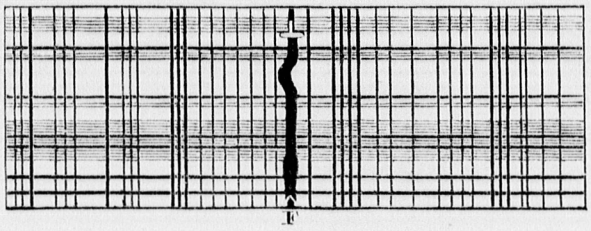


Fig. 52.

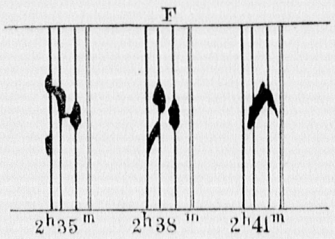
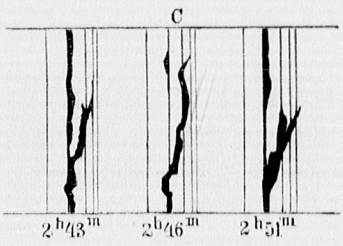


Fig. 53.



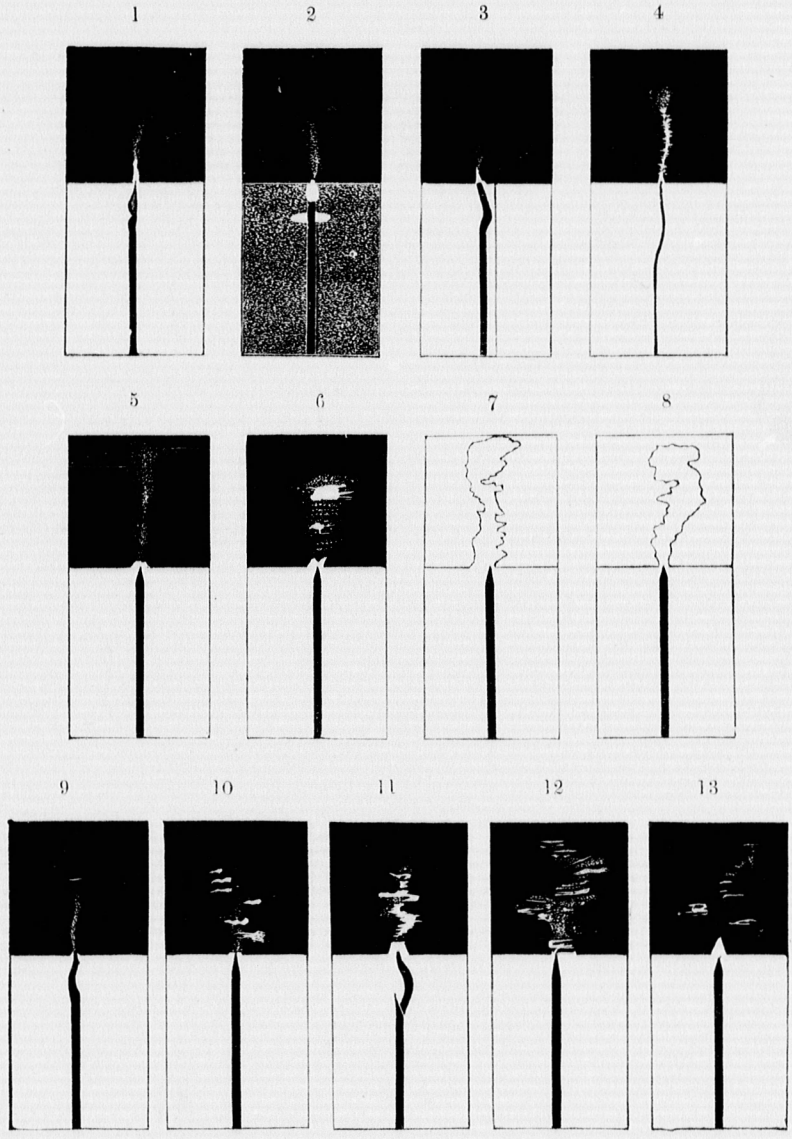
Nog meer in het oog vallend zijn deze verschijnselen buiten den zonnerand, als men de spleet op een protuberans richt. Men ziet dan dikwijls de streep C een gekromde gedaante aannemen. In de hierbij gevoegde figuren (fig. 54. N. 1—13) ziet men zulke krommingen zooals zij zich aan LOCKIJER voordeden, als hij de protuberans in hare ware gedaante boven de chromospheer en tegelijk de met haar overeenkomende donkere streep C of F in 't zonnespectrum waarnam.

Wij zouden deze waarnemingen van kromming en verbrokkeling der strepen met nog vele van RESPIGHI, RAIJET, VOGEL en anderen kunnen vermeerderen; maar wij achten voorloopig voor het recht begrip van de verschijnselen, wier mogelijke oorzaken wij te beschouwen hebben, eene opsomming als de hier van SECCHI overgenomene voldoende, en willen thans tot die beschouwing overgaan.

Daartoe is het noodig dat wij eerst den blik wenden naar de wijze waarop het licht zich voortplant in de ruimte; en om deze wijze van voortplanting zich duidelijk voor te stellen is het meest geschikte middel dit, dat men uitga van de voortplanting van het geluid. De

wijze toch waarop het geluid ontstaat valt niet slechts meer onder het direkt bereik onzer zintuigen, maar ook de stof, door wier be-

Fig. 54.



middeling het zich voortplant in de ruimte, de lucht, kan door de zintuigen worden waargenomen. Daarenboven valt deze gang der

redeneering samen met den weg, door de wetenschap afgelegd; ook zij is, van de voortplantingswijze van het geluid uitgaande, tot het rechte begrip van die van het licht opgeklommen.

Geluid dan, of liever, een toon van zekere bepaalde hoogte, wordt door ons vernomen telkens wanneer ons trommelvlies getroffen wordt door eene reeks elkander zeer snel maar in volkomen rythmus opvolgende luchtstooten. Deze zoogenaamde luchtstooten zijn eigenlijk niets anders dan achtereenvolgende verdikkingen en verdunningen van de lucht, die met het trommelvlies in aanraking is. En gaan wij na waar de oorzaak dezer stooten is te zoeken, dan vinden wij steeds in onze omgeving een lichaam, de geluidsbron, dat trillingen volbrengt, die even snel elkander opvolgen als die stooten en met volkomen rythmus. Een vioolsnaar, een stemvork, een klok bijv. zijn alle zulke geluidsbronnen. Als zij gestreken worden of aangeslagen, beginnen hunne deeltjes om den toestand van rust te trillen, en dat voortdurend heen en weêr gaan veroorzaakt aan hunne oppervlakte bij elk vooruitspringen, als ik het zoo noemen mag, verdikking, bij elk wijken verdunning van de onmiddellijk daaraan grenzende lucht. Met andere woorden, er ontstaat aan de oppervlakte van de geluidsbron eene beweging der lucht, volkomen overeenkomende met die, wier bestaan aan de oppervlakte van het trommelvlies den toon doet vernemen. Nu zou zoo een enkele snaar op eenigen afstand van ons oor moeielijk hoorbare tonen voortbrengen; daartoe is de oppervlakte, waarover de lucht met haar in aanraking is te klein, terwijl nog daarenboven, bij de niet volkomene elasticiteit der lucht, de trillingen kleiner worden, naarmate zij verder van de geluidsbron zijn verwijderd. Wel is zulk een toon op verren afstand hoorbaar, wanneer de snaar is gespannen op een klankbodem, zooals dit bijv. bij een viool plaats heeft. Dan brengen hare trillingen dien klankbodem in dezelfde rythmische beweging; en deze is over een vrij wat aanzienlijker oppervlakte met de omringende lucht in aanraking. Nu vraagt men allicht hoe de trilling van eene zoo kleine hoeveelheid stof, als waaruit een vioolsnaar bestaat, een ganschen klankbodem in beweging kan brengen, waarop hij met beide uiteinden bevestigd is? Wij antwoorden met de wedervraag, hoe het mogelijk is dat iemand zonder het uitoefenen van bovenmatige krachtsinspanning een zware klok kan luiden? En op deze zal het antwoord zijn: als hij maar

telkens op het juiste oogenblik het touw naar zich toetrekt en weêr vieren laat. Eerst een klein rukje, en de klok wijkt bijna onmerkbaar af van haren evenwichts-stand; nu het touw gevierd, opdat het eigen gewicht der klok haar in dien stand terug en daardoor heên kan voeren. Dit is het oogenblik, waarop men weêr trekken moet. Doet men dit niet, dan zal de klok door haar eigen gewicht zich toch nog naar beneden bewegen, maar deze tweede schommeling zal reeds kleiner zijn dan de eerste, omdat de wrijving in de tappen en de weerstand van de lucht hare beweging tegenwerken. Doet men het wel, en doet men het maar met zooveel krachtinspanning dat dit verlies ruim vergoed wordt, dan is de tweede schommeling wijder dan de eerste; en het is duidelijk dat men, op deze wijze voortgaande, de klok ten laatste luiden zal. Maar dan ook opgepast dat alles in de vereischte maat geschiede. Trekt men, in plaats van te vieren, op 't oogenblik dat de klok door haar eigen gewicht naar beneden zal gaan, dan zal men alleen maar onnoodig zich vermoeien; maar trekt men als zij reeds naar beneden gaat, of, na door den stand van evenwicht te zijn gegaan, als van zelf stijgt, dan werkt men in een volgende periode tegen wat men in een vorige heeft teweeggebracht, en men zal de klok niet aan het luiden krijgen. Het ergste zou nog zijn indien men, als zij juist beneden was, zeer sterk trok; dan zou het kunnen zijn dat op eens aan elke schommelende beweging een einde werd gemaakt.

Op volkomen dezelfde wijze nu brengt de snaar een klankbodem in trillingen van volkomen denzelfden rythmus als hare eigene; het eenige onderscheid is maar, dat de snaar, die hier in de plaats van den klokkeluider treedt, altijd van zelf in de maat is, en dat, in plaats van het gewicht bij de klok, het bij den klankbodem de elasticiteit van het hout is, die hem na elke uitwijking in den ouden stand tracht terug te brengen en hem zoo doende daardoor heênvoert.

Het punt, waar de snaar is bevestigd, wijkt uit naar boven en blijft zijn bijna onmerkbare beweging mededeelen aan dat punt, tot op het oogenblik dat dit zijn grootste uitwijking heeft verkregen en de elasticiteit van het hout het weder benedenwaarts gaat voeren. De snaar geeft dan toe, en blijft toegeven, tot op het oogenblik waarop de bodem in dat punt als het ware weder vlak is en met de snelheid, die hij in

dien stand van evenwicht heeft, daar door heên wil gaan. Van dit oogenblik af helpt de snaar hem naar beneden zakken; zij voegt daardoor nieuwe snelheid bij de reeds verkregene, en deze tweede doorslag zal reeds iets grooter zijn dan de eerste. En zoo gaat het door, bij de meeste tonen honderde malen in de sekonde; de op zich zelf nietige krachten brengen, door altijd met elkaâr mede te werken, een arbeid teweeg, die met betrekking tot haar zelve reuzenwerk kan genoemd worden; zij brengen den ganschen klankbodem in rythmische trilling.

Door zoo in diezelfde maat voortdurend vooruit te dringen en terug te wijken, veroorzaakt de klankbodem over zijn gansche oppervlakte verdikkingen en verdunningen der met hem in aanraking zijnde lucht, die evenzoo diezelfde maat houden; en wederom volkomen daarmede maathoudende luchtstooten tegen het trommelvlies brengen in ons gehoorwerktuig bewegingen voort, die, door de gehoor-zenuwen naar de hersenen overgeseind, ons doen waarnemen wat wij een toon noemen. Waren gevoels-zenuwen gevoelig genoeg om de werking dier luchtstooten tot het bewustzijn te brengen, dan zou trilling, en niets anders dan deze, door ons met haar behulp worden waargenomen.

Hier maakt echter de aandachtige lezer allerwaarschijnlijkst deze gegronde opmerking, dat hij nu wel in zijne verbeelding een trillenden klankbodem en een daarmede volkomen overeenkomstig trillend trommelvlies ziet, maar dat hij tusschen beide deze trillende oppervlakten volstrekt geen verband kan opmerken. Toch is er eenig verband; immers tusschen beide bevindt zich de lucht, die, onder den invloed van de drukking der hooger gelegen lagen van den dampkring, in zekere spanning verkeert en wier voortleidend vermogen daarom, al is zij een minder goede en minder tastbare geleider dan de metalen staaf, die de aan haar uiteinde gegeven tikken schier onverzwakt overbrengt naar het oor, toch, zoo maar niet voor niets mag worden gerekend. Maar hoe geschiedt dan door de lucht die voortplanting?

Zie, de lucht is wel geen vloeistof zoo tastbaar als water, maar in dit opzicht mogen wij haar toch bij water vergelijken; en dat water een trillende beweging schier onverhinderd kan voortplanten, hebben wij allen meer dan eens kunnen opmerken. Als, bij voorbeeld, in eene effene watervlakte, volkomen in de maat en voortdu-

rend op dezelfde plaats, een droppel valt, dan komt het water rondom dat punt in een golvende beweging; en elk golfje houdt maat met den vallenden droppel; ook de golfjes aan den walkant. Deze laatste toch gaan evenzoo op en neêr, alsof de droppel in de onmiddellijke nabijheid viel; die walkant krijgt schokjes, die geen andere maat zouden houden al viel de droppel er rechtstreeks tegen aan. Elk deeltje der oppervlakte is daarbij nu eens in de hoogte, dan weder in de laagte, nu eens op den top van een berg, dan weder in het diepst van een dal; is het eene zoo hoog mogelijk gerezen, dan zijn de beide daar van weerszijden aan grenzende zoo diep mogelijk gezonken. En dit gaat zoo regelmatig, dat er heel wat opmerkzaamheid voor noodig is om niet te meenen, dat bergen en dalen zich regelmatig voortwaarts spoeden. Welnu, stel nu in de plaats van een golfberg eene waar de lucht is verdicht, en in de plaats van een dal, eene waar die is verdund, en het voorstellings-vermogen zal voldoende zijn geholpen om zich een denkbeeld te kunnen vormen van de mogelijkheid, niet alleen dat de lucht trillingen kan overbrengen van het eene lichaam naar het andere, maar ook van de wijze, waarop zij dit doet.

Maar ook hier worde niet uit het oog verloren, dat van deze regelmatige voortplanting niets komt, wanneer men den rythmus, waarmede de droppel valt, willekeurig gaat veranderen. Als in die verandering zoo weinig regelmaat heerscht, dat bij voorbeeld op dezelfde plek, waar nu een berg zou worden te voorschijn geroepen, op hetzelfde oogenblik een dal noodzakelijk werd, dan moge de oppervlakte in beweging geraken, in regelmatig voortgeleide golvende beweging geraakt zij dan zeker nooit. Daarom is het noodig, dat telkens, wanneer op een plek, ten gevolge van de vroegere bewegingen, een bijzondere toestand noodzakelijk wordt, de nieuwe, uit de bron der beweging daar op datzelfde oogenblik aankomende impulsie medewerkt om dien toestand in 't leven te roepen en, op zijn minst genomen, dien niet tegenwerkt.

Wat wij nu omtrent de voortplanting van het geluid door de ruimte hebben gezegd, kan, *mutatis mutandis*, ook op die van het licht worden toegepast. Dat met deze de lucht niets te maken heeft, daarvoor spreken de feiten. Het licht der sterren doorloopt, eer het in den dampkring komt, onuitsprekelijke millioentallen van kilome-

ters in een ruimte, waar geen door de zintuigen waarneembare stof voorhanden is; en het licht van een kaars, die achter een glazen klok is geplaatst, gaat er niet minder onverhinderd door als die luchtledig is gemaakt, dan vóór dit is geschied. Als drager van de lichttrillingen neemt de wetenschap, uitgaande van de wet, dat er geen gevolg is zonder oorzaak, iets aan, dat zij licht-aether noemde; iets waaraan zij, wegens de snelheid der voorplanting van het licht, een van de algemeene eigenschappen der lichamen, de veerkracht, in oneindige mate heeft moeten toekennen, waaraan zij daarentegen, aangezien die aether zich niet in de nabijheid der hemellichamen ophoopt, eene andere, de zwaarte, heeft moeten ontzeggen. Van dien aether kan geen zintuig ons dus kondschap geven; ook het oog niet. Want evenmin als de lucht, die het geluid voortplant, het geluid zelf is, evenmin kan de aether zelf door luchtindruk zijne aanwezigheid verraden. Het is zijne rythmische trilling, die, aan de gezichts-zenuw medegedeeld en door deze tot ons bewustzijn gebracht, ons iets doet ondervinden wat wij licht noemen. Alleen van de komeet van ENCKE wil men, dat zij het bestaan van den aether verraadt. Aan dit lichaam, met zijn uiterst geringe massa bij uiterst groote uitgebreidheid, moet zeker, wanneer aan zijne snelle beweging om de zon maar een weerstand hoe gering ook wordt geboden, die weerstand merkbaar zijn. En inderdaad komt die komeet in het punt van haar baan, dat van de zon het minst verwijderd is, telkenmale iets vroeger aan, dan volgens een berekening, die elken weerstand uitsluit, zou moeten geschieden. Nu komt het, als wij dit zeggen, misschien velen vreemd voor dat een komeet ten gevolge van een ondervonden en niet in rekening gebrachten weêrstand *vroeger* in zeker punt terug komt; men zou kunnen meenen dat hier *later* moest staan. Inderdaad echter zal, in dit geval, weêrstand den omloopstijd bekorten. Werd een komeet niet door de zon tot zich getrokken, dan zou zij zich gaan bewegen volgens de rechte lijn, die haar baan raakte in het punt waar zij zich bevond, toen die aantrekkende kracht ophield te werken. Werd daarentegen de voortgaande beweging der komeet eensklaps gestuit, dan zou zij naar de zon vallen. Nu wel dit laatste niet geschiedt, maar toch door weêrstand de beweging volgens de raaklijn voortdurend wordt tegengewerkt, zal de komeet al meer en meer de zon naderen; zij zal om deze een spiraal be-

schrijven, die in de zon uitloopt. En wij weten, dat naarmate een hemellichaam, hetzij dan een planeet of een komeet, de zon nadert, zijn loop versnelt.

Keeren wij thans tot ons punt van uitgang, de in golving gebrachte watervlakte, terug, dan merken wij in de eerste plaats op, dat er groot verschil kan bestaan in de wijze waarop deze golft. Niet alleen wat de hoogte der bergen en de diepte der dalen aangaat, maar ook wat betreft den onderlingen afstand van hare achtereenvolgende bergen of dalen. In een van twee verschillende gevallen kan het, bij voorbeeld, gebeuren dat, als in zekeren tijd de kring zich van het punt, van waar de beweging uitgaat, tot op een afstand van een meter heeft uitgebreid, op dezen afstand tien bergen worden geteld, terwijl in het andere geval op dezen zelfden afstand wel het dubbel aantal bergen komt. In dit laatste geval zal dus elk deeltje van de water-oppervlakte binnen dien kring ook dubbel zoo snel op en neêr gaan als binnen den eerstgenoemde; en eenig vast lichaam binnen dien kring geplaatst, zal in denzelfden tijd dubbel zoo veel golfstooten ontvangen als wanneer het zich bevond binnen den eerstgenoemden kring. En evenzoo is het gesteld met het trommelvlies van hem, die zich bevindt binnen den kring, waarin zich rondom de geluidsbron die achtereenvolgende verdichtingen en verdunningen der lucht voortplanten, waaraan wij boven den naam geluidsgolven gaven. Hoe sneller in elk punt de verschillende toestanden — *phasen* noemt ze de wetenschap — elkander opvolgen, des te meer golfstooten ontvangt ook dat vlies binnen zekeren tijd; en deze meerdere of mindere snelle opeenvolging der stooten doet zich aan het bewustzijn kennen door hetgeen wij de meerdere of mindere hoogte van den toon noemen. Grootere toonhoogte is dus een gevolg van snellere luchttrilling; en aangezien een zekere bepaalde toestand, bij voorbeeld die der grootste verheffing van een golfberg, zich in denzelfden tijd voortplant als waarin hij op eenig bepaald punt terugkeert, zal met snellere trilling een kleinere golflengte overeenkomen, en men dus ook kunnen zeggen, dat de hoogte van een toon alleen van de lengte der hem voortplantende geluidsgolven afhankelijk is.

En hetzelfde zal men nu ook aangaande de trilling van den aether kunnen zeggen; natuurlijk echter met deze verandering, dat men

dan voor de toonhoogte iets anders zal hebben in de plaats te stellen. Evenzoo als nu het verschil in de lengte der geluidsgolven zich, door de gehoorzenuw overgebracht, aan ons bewustzijn kenbaar maakt als een verschil in toonhoogte, zoo openbaart zich het verschil in de lengte der lichtgolven, door de gezichtszenuw tot ons bewustzijn overgebracht, als verschil in kleur. De langste lichtgolven doen ons de roode kleur zien, de kortste de violette; de roode kleur en een lage toon, de violette kleur en een hooge toon zijn dus analoge verschijnselen, die door in aard volkomen overeenkomstige oorzaken worden te weeg gebracht. Wil men den onmiddellijken invloed van het korter zijn der lichtgolven op het gezichtsorgaan zich eenigszins voorstellen, dan zal het goed zijn steeds te denken aan de omstandigheid, dat korte golven en snelle afwisseling van de verschillende phasen, waarin een deeltje van den vibreerenden aether verkeert, steeds gepaard gaan; dat dus hooger kleur, als wij voor een oogenblik bij analogie met het geluid zoo spreken mogen, steeds een gevolg is van zenuwprikkeling met sneller tempo, en omgekeerd.

Deze inleidende beschouwingen brengen ons aan het doel, waarvoor zij zijn opgesteld, wel nader, maar doen het ons nog geenszins bereiken. Om zoover te komen moet men nog eerst de aandacht vestigen op een merkwaardig verschijnsel voor een vijfentwintigtal jaren in ons vaderland waargenomen; het verschijnsel namelijk, dat de hoogte van een toon, door eenig muzijkinstrument voortgebracht, verandert, wanneer van waarnemer en instrument de onderlinge afstand snel verandert. Naderen beide elkander, dan wordt de toon hooger; verwijderen zij zich van elkander, dan wordt die lager dan wanneer beide ten opzichte van elkander in rust blijven. Proeven door BUIJS-BALLOT te *Utrecht* genomen, waarbij de tonen werden voortgebracht op eene snel het station voorbijstoomende locomotief, hebben, even als vele later ingestelde, dit feit buiten allen redelijken twijfel gesteld.

Na het boven gezegde is dit verschijnsel wel te verklaren, ten minste voor het geval dat de verandering in afstand alleen van de beweging des waarnemers het gevolg is. Zoo hij de geluidsbron snel nadert, dan ontvangt zijn trommelvlies in denzelfden tijd meer, zoo hij zich daarvan verwijdert daarentegen minder golfstooten, dan wanneer hij van plaats niet veranderde. In het eerste geval zal

de versnelde prikkeling een hoogeren toon, in het tweede de vertraagde een lageren toon doen gewaar worden. LOCKIJER, over ditzelfde onderwerp sprekende, geeft ter bepaling van de gedachten het volgende voorbeeld. "Stel u," zoo zegt hij, "een kazerne voor, waaruit onafgebroken met afgemeten tred en militaire nauwkeurigheid een oneindig groot aantal soldaten, allen achter elkander, marcheeren, en vooronderstel, dat gij in een straat die soldaten passeeren ziet. Gij staat stil en haalt uw horloge uit om te zien hoevelen er in een sekonde of in een minuut voorbijgaan, en gij vindt, dat het getal soldaten, zoowel als de tusschenruimte van twee opeenvolgende, steeds dezelfde is.

"Nu loopt gij langzaam naar de kazerne, daarbij steeds nog opmerkende wat er gebeurt. Gij vindt dan dat meer soldaten in denzelfden tijd passeeren dan te voren, en dat, in tijd uitgedrukt, de afstand tusschen twee opeenvolgende kleiner is.

"Daarop gaat gij langzaam in tegenovergestelde richting, dat wil zeggen, met de soldaten mede; en gij vindt nu, dat in denzelfden tijd minder soldaten u voorbijgaan, en dat, wederom in tijd uitgedrukt, hun onderlinge afstand nu grooter is."

Het voorbeeld is niet onaardig gekozen; van de gevallen, waarin de waarnemer zich beweegt en de geluidsbron stil staat, geeft het vrij wel eene voorstelling van hetgeen op de voortplantingslijn der geluidgolven die waarnemer ondervinden moet. Is dit echter ook het geval wanneer de rollen verwisseld worden, en het de waarnemer is, die stilstaat, de geluidsbron, die zich beweegt? LOCKIJER schijnt het te meenen, want hij gaat dus voort: "Stel nu, dat gij zelf in rust zijt, en dat de kazerne eene beweging kan hebben naar u toe of van u af. In het eerste geval zullen de mannen u sneller voorbijgaan. De beweging van de poort der kazerne naar u toe zal ieder soldaat op een kleineren afstand achter zijn voorganger plaatsen dan het geval zou zijn geweest als de kazerne op hare plaats was gebleven. De soldaten zullen inderdaad korter op elkander staan. In het andere geval zal klaarblijkelijk die tusschenruimte grooter zijn en de soldaten zullen inderdaad verder uit elkander loopen."

Toch is tusschen deze vergelijking en de zoo even genoemde wat hare deugdelijkheid betreft nog al verschil; de zich bewegende kazerne

kan maar niet zoo in de plaats van de zich bewegende geluidsbron gesteld worden. Immers, de marcheerende soldaten zijn — wij hopen het ten minste — zelfbewuste wezens; zij zullen, of de kazerne zich bewege of niet, ieder wat hem aangaat in dezelfde pas blijven loopen, terwijl daarentegen het regelmatig zich voortplanten van een golvende beweging geheel dààrvan afhangt, of in haar punt van uitgang steeds met het juiste tempo nieuwe impulsiën worden gegeven. Stel dat een watervlak door een steeds op dezelfde plaats in dezelfde maat vallenden droppel in golving is gebracht en men nu dien vallenden droppel zich laat voor- of achterwaarts bewegen, dan zal het niet lang duren of de regelmatig golvende beweging zal geheel verstoord zijn; of, om met het voorbeeld van LOCKIJER te spreken, de soldaten zullen door elkander loopen als hadden zij alle zelfbeheersching verloren. Mijns inziens denken zij, die, als LOCKIJER, de verkorting der golflengte ten gevolge van de beweging eener geluidsbron als eene zoo dood eenvoudige zaak beschouwen, niet genoeg aan de voorwaarden, waaraan de regelmatige voortplanting eener golvende beweging gebonden is. Eerst dan, wanneer aangetoond is, dat elke nieuwe impulsie van de geluidsbron bij hare voortplanting niet gestoord wordt door de beweging, die hare voorgangsters reeds veroorzaakten, met andere woorden, dat de kringen rondom de op verschillende plaatsen vallende droppels onafhankelijk van elkander zich door elkander heên over de watervlakte uitbreiden, eerst dan zal het duidelijk zijn, dat bij eene beweging van de geluidsbron naar het oor de toon hooger moet worden, en omgekeerd. Maar dan zal deze verhooging, in plaats van te worden voortgebracht door eene algemeene verkorting der golflengte, alleen dààrvan het gevolg zijn, dat de afstand van een golfberg op den eerst aankomenden golfkring tot den naastvolgende op den tweede kleiner is dan de afstand tusschen twee bergen, en in het algemeen tusschen twee gelijke phasen, op eenzelfden kring. Alleen de frequentie der luchtstooten tegen het trommelvlies zal worden vermeerderd, terwijl toch iedere stoot door zijn eigen golfsysteem zal worden voortgeleid.

Dit verschil in opvatting, van hoe weinig beteekenis het — daar het tot hetzelfde resultaat leidt — ook schijnbaar zijn moge, is van het grootste gewicht bij de beschouwing van ons eigenlijk onderwerp. Laten wij, om dit aan te toonen, de draad onzer redeneering

weder opvatten bij het punt, waar wij haar, misschien voor velen reeds te lang geleden, (bladz. 129) loslieten.

De krommingen dan, die, zooals in de figuren 51—53 is voorgesteld, bij de strepen F en C zijn waargenomen, worden door LOCKIJER, HUGGINS en anderen dàáraan toegeschreven, dat hevige stroomen in het omhulsel der zon het gloeiend gasmengsel met groote snelheid naar ons toe of van ons af bewegen. Het eerste geval zal moeten plaats hebben indien men de streep naar het violette, het laatste, als men die naar het roode uiteinde van het spectrum verplaatst ziet.

Deze verklaring nu grondde zich op de zooeven geleverde beschouwing. Wordt een toon hooger als de geluidsbron zich naar ons toe, lager als die zich van ons af beweegt, dan zal, volgens de analogie tusschen de voortplanting van geluid en licht, iets dergelijks moeten plaats hebben met licht, door eene snel zich bewegende lichtbron uitgestraald. Dan zal ook, als die bron ons nadert, de roode kleur, die de streep C aan beide zijden begrenst en daarmede die streep zelve, naar de violette zijde van het spectrum worden verplaatst, en omgekeerd.

Tegen deze verklaring nu, hoe eenvoudig zij op zich zelve ook schijne, zijn menigvuldige bezwaren te opperen.

Er bestaat hier toch niet zoo volkomen analogie als men zoo oppervlakkig meenen zou. Want de verschillen in toonhoogte worden onmiddellijk door het gehoororgaan waargenomen van hem, in wiens richting zich de geluidsbron beweegt, terwijl de genoemde verschillen in kleurhoogte, om bij die eens gebezigde uitdrukking te blijven, eerst dan worden waargenomen als het licht wordt gebroken door een prisma, of, wat hetzelfde is, door de verschillende prisma's van den spectroskoop. De vraag blijft dus nog altijd onbeantwoord, of de beweging der lichtbron met betrekking tot zulk een prisma de voortplantingswijze der lichtstralen zóó wijzigt, dat daardoor verandering in hare breekbaarheid ontstaat.

Nu is het bekend — en deze waarheid is door CAUCHIJ met alle vereischte strengheid uit de beginselen afgeleid — dat in een brekende middenstof golven, wier lengte klein is, zich minder snel moeten voortplanten dan die van grootere lengte: en juist door dit verschil in snelheid ontstaat die ontleding van het witte licht in enkelvoudige kleuren, die wij kleurschifting noemen. Want het is juist dit

verschil in snelheid, dat, bij den overgang der stralen van een minder sterk brekende middenstof in een sterkere, maakt dat niet slechts alle stralen van richting veranderen, maar ook die van de eene kleur meer dan die van de andere. Waaruit dus volgt, dat hij, die aanneemt, dat een beweging van de lichtbron in de richting van het prisma eene verandering teweegbrengt in de breking, die het de lichtstralen doet ondergaan, ook aannemen moet dat deze beweging de lengte der lichtgolven wijzigt. En tegen deze onderstelling verheffen zich dezelfde bezwaren, als die wij boven tegen de verkorting of verlenging der geluidsgolven in het midden brachten. Toch houden wij, om redenen die het hier de plaats niet is nader te ontvouwen, eene theoretische verklaring van het verschijnsel nog geenszins voor een hopelooze zaak, en scharen wij ons daarom niet onvoorwaardelijk aan de zijde van hen, die, het verschijnsel ook uit ervaring als een feit erkennende, de verklaring overal elders zoeken dan in de beweging van de lichtbron zelve.

Onder de zoodanigen rekenen wij in de eerste plaats RESPIGHI, den directeur van het observatorium te *Florence*. Hij erkent dat door hem dikwijls werd waargenomen hoe, als deelen van de chromospheer in de nabijheid van vlekken bijzonder helder zich vertoonden, door hem gezien werd, dat uit die vlekken zeer heldere lichtbundels met meerdere of mindere heftigheid werden opgeworpen. Plaatste hij dan de spleet van den spectroskoop tangentiaal aan den rand der zon, dan merkte hij dikwijls in deze punten zeer belangrijke verbreedingen der strepen, vooral van streep C, op. Ook zag in sommige gevallen die streep er zeer onregelmatig uit, daar zij, meer of minder golvende, naar de zijde van het violet was verplaatst. Als die lichtbundels zich ontwikkeld hadden, zagen de helderste deelen, die zich door de spleet vertoonden, in plaats van als strepen, er soms uit als gebrokene lijnen, wier deelen meer of min stompe hoeken insloten. Alleen kwam deze vervorming veel minder uit als de spleet vernauwd werd; dan werden deze heldere strepen veel meer in eene rechte lijn met de donkere streep C gezien. Deze zelfde verschijnselen nam RESPIGHI dikwijls in nog grootere mate waar bij streep F; in alle gevallen echter verminderden de onregelmatigheden als de spleet nauwer werd gemaakt.

Maar hoewel hij, zooals wij zien, het feit zelf constateert, stemt

hij met de verklaring, die anderen daarvan wenschen te geven, niet in.

"Terwijl ik zocht naar eene verklaring van deze verschijnselen", zoo zegt hij, "heb ik het niet noodig geacht mijne toevlucht te nemen tot de veranderingen in breekbaarheid, voortgebracht door het naderen of wijken van de gloeiende waterstof-massa's; daarentegen heb ik gevonden, dat verreweg het grootste deel daarvan kon zijn voortgebracht door andere oorzaken, als daar zijn: de groote intensiteit der vuurtongen, de groote opening van de spleet, het niet nauwkeurig stellen van de spleet in het hoofdbrandpunt des kijkers, door de bewegingen in de athmospheer, en eindelijk daardoor, dat men dikwijls door het oculair ziet in een richting, die met de hoofdas des kijkers niet samenvalt."

De waarschijnlijkheid van het bestaan van deze en dergelijke oorzaken van de waargenomen vervorming en verplaatsing der strepen is in den laatsten tijd nader aangedrongen door VAN DER WILLIGEN [1] en door BLASERNA.

Deze laatste vestigt alleen de aandacht op den invloed, dien temperatuurs-veranderingen hebben op het brekend vermogen der prisma's. Reeds sedert lang wist men, dat de brekings-coëfficient van een vloeistof afhankelijk is van de temperatuur; maar BLASERNA heeft aangetoond, dat deze eigenschap ook doorgaat bij vaste lichamen zooals prisma's, zoodat ook het brekend vermogen dat deze uitoefenen op verschillende gekleurde lichtstralen zeer merkbaar met de temperatuur verandert. Bij glas neemt de afwijking toe met de temperatuur, en dit moet ten gevolge hebben dat alle strepen in het spectrum worden verplaatst naar de zijde van het violet, zoodra men de prisma's van den spectroskoop in de nabijheid van het brandpunt des kijkers blootstelt aan de aldaar geconcentreerde zonnestralen. BLASERNA vond door nauwkeurige metingen, dat bij zijn glasprisma met een brekenden hoek van 60° eene temperatuursverhooging van 4° C. voldoende is om de minst breekbare gele natrium-streep D_1 te verschuiven naar de plaats van de meest breekbare D_2. [2]

[1] *Sur la fausseté de la proposition, que la réfraction des rayons lumineux est modifiée par le mouvement de la source lumineuse et du prisme.* Archives Neêrlandaises. T. IX, § XII.

[2] BLASERNA zegt gevonden te hebben, dat bij *stijgende* temperatuur het brekend vermogen van flintglas *afneemt*, en SECCHI doet, waar hij dit resultaat mededeelt, het

Om dezen schadelijken invloed te weren, heeft men sedert, bij waarnemingen van dezen aard die de zon betreffen, den tijd, gedurende welken het prisma-stelsel aan de werking van de zonnestralen bloot staat, zooveel mogelijk trachten te bekorten. Bij die van VOGEL, den directeur van het nabij Kiel gelegen observatorium van graaf von Bülow, bedraagt deze tijd zoo ongeveer een halve minuut. Wij willen bij deze waarnemingen nog een oogenblik stilstaan, omdat zij zijn begonnen met de bedoeling om de kwestie omtrent de verschuiving der strepen uit te maken, en omdat zij die ook inderdaad zouden kunnen uitmaken, wanneer maar de meetinstrumenten nauwkeurig genoeg waren om, na verwijdering van elke bron van fouten, de verschuiving te meten, die bij eene snelheid van de lichtbron van ongeveer twee kilometers zou moeten ontstaan. Zooals wij toch reeds in het eerste dezer opstellen zagen, heeft de zon zelve eene wentelende beweging om hare as, waarbij, van uit de aarde gezien, elke vlek zich beweegt van het oosten naar het westen. Aan den oostelijken rand der zon komen zoodoende de protuberansen te voorschijn om aan den westelijken rand weder te verdwijnen. In het eerste geval bewegen zij zich rechtstreeks naar den waarnemer toe, in het tweede rechtstreeks van hem af; en indien het nu, zooals wij zoo even zeiden, mogelijk is eene verschuiving van de heldere strepen C en F te meten, die aan de snelheid beantwoordt waarmede een punt op de oppervlakte zich beweegt en die onder den aequator der zon 1.92 kilometers per sekonde bedraagt, dan zijn deze waarnemingen in staat allen twijfel op te heffen omtrent het al of niet veranderen van de breekbaarheid der lichtstralen, die van eene zich bewegende lichtbron uitgaan. En wanneer wij dit zeggen, moet men zich de zaak niet al te gemakkelijk voorstellen. De beide strepen D_1 en D_2 liggen slechts zes tienmillioenste deelen van millimeters van elkander verwijderd; en deze zelfde verplaatsing, die BLASERNA door een verhooging der temperatuur van het prisma met slechts 4° C. verkreeg, eischt, als zij door de beweging der lichtbron zal ontstaan, dat deze zich met eene snelheid van 304 kilometers per sekonde

onderscheid uitkomen, dat er in dit opzicht zou bestaan tusschen zwavelkoolstof en glas. Maar B. heeft zich hier stellig vergist in de uitdrukking; zooals ten overvloede blijken kan uit hetgeen hij zelf omtrent de verplaatsing der streep D mededeelt.

naar ons toe beweegt. De snelheid toch van het licht is zoo bij uitnemendheid groot, dat zelfs de snelheden der hemellichamen daarbij als in het niet verdwijnen. Om eens een oogenblik tot de vergelijking van LOCKIJER of tot de onze terug te keeren: die kazernepoort zou zich onmerkbaar weinig moeten verplaatsen om, in verhouding tot de snelheid, waarmede de haar verlatende soldaten marcheeren, een eenigzins juiste voorstelling te geven van de verhouding tusschen de snelheid waarmede een punt der zon wentelt en die van het licht; en evenzoo zou het moeten zijn met de eigen beweging van den het watervlak in golving brengenden vallenden droppel. Maar dan zal ook de onderlinge afstand dier marcheerende soldaten en dier zich onafhankelijk van elkander om verschillende middelpunten voortplantende golfkringen onmerkbaar weinig verschillen van den afstand tusschen twee bergen op een en denzelfden kring; of, om met de aangevochten theorie te spreken, dan zal ook de verandering in golflengte, door de beweging der lichtbron ontstaan, onmerkbaar klein zijn. Wanneer wij de streep F, wier golflengte ruim 486 millioenste deelen van millimeters bedraagt, als voorbeeld nemen, dan zou, om deze tot de streep E te verschuiven, eene verkorting noodig zijn van de golflengte tot op ruim 445 dier millioenste deelen; want het groene licht van streep E onderscheidt zich alleen daardoor van het blauwe van streep F, dat de lengte der golven, die het laatste voortplanten, ongeveer 41 van die deelen grooter is dan die van het eerstgenoemde. Maar om deze zoogenaamde verkorting der golflengte te voorschijn te roepen, zou de lichtbron eene snelheid moeten hebben van 32000 kilometers per sekonde!

Keeren wij thans tot VOGEL's waarnemingen terug, dan zien wij dat de snelheid der lichtbron, die voor hem het verschijnsel moet te weeg brengen — 1.92 kilom. per sekonde — schoon op zich zelve groot genoeg, bij de zoo even genoemde slechts kinderspel is. Haast ongeloofelijk komt ons daarom de mededeeling voor van SECCHI, als zoude hij de verschuiving der strepen C en F in de behoorlijke richting meermalen aan den zonnerand hebben waargenomen; en evenzoo die van VOGEL, volgens welke hij, ofschoon dan ook met behulp van een spectroskoop, die door zijne bijzondere inrichting de verplaatsing dubbel zoo groot doet zien als een gewone, op den 9den, 10den, 11den en 15den Juni 1871 ontwijfelbaar de verschuivingen van

de strepen van het zonnespectrum zou hebben waargenomen. Om de metingen van VOGEL te verklaren, zou dan ook reeds een grooter omwentelingssnelheid aan de zon moeten toegekend worden, dan voortvloeit uit de waarneming der zonnevlekken. Maar al nemen wij deze iets grooter aan, wanneer wij ook dan nog denken aan hare betrekkelijke onbeduidendheid tegenover de snelheid van het licht en aan het instrument, dat door zijne uiterst samengestelde inrichting een rijke bron van fouten is, dan zijn wij geneigd met VAN DER WILLIGEN te zeggen: Je ne doute nullement qu'ils aient en effet observé ces déplacements, seulement qu'on ne me demande pas de les attribuer au mouvement de la source lumineuse."

En dit gemis aan vertrouwen in de juistheid van het besluit, door de sterrekundigen uit hunne waarnemingen getrokken, wordt nog versterkt door het volgend feit. De aarde loopt bij hare kringvormige beweging om de zon nu eens in de richting van de ster *Sirius* en een half jaar later in tegenovergestelde richting; daarbij heeft zij eene snelheid van 19.3 kilometer in de sekonde. Trekt men de verplaatsing, die volgens de theorie deze beweging bij de streep F in het spectrum dier ster moet te weeg brengen, in het eene geval af van de verplaatsing, die deze streep werkelijk volgens de waarnemingen ondergaat, en in het andere geval daarbij op, dan moet men de verplaatsing verkrijgen, die van de eigen beweging van *Sirius* ten opzichte van het geheele zonnestelsel het gevolg is. Daaruit zou dan volgen, dat die ster zich met eene snelheid van 66.6 kilometers in de sekonde van de zon verwijdert. En dergelijke resultaten heeft men ook op de waarneming van andere vaste sterren gegrond. Met weinig zekerheid echter; want, terwijl VOGEL den eenen avond duidelijke aanwijzing ontving — van meting is eigenlijk bij deze waarnemingen geen sprake — dat de sterren *Procyon* en *Capella* zich, even als *Sirius*, van ons af bewegen, *Procyon* zelfs met grootere snelheid, kon hij op een anderen avond dit resultaat niet terugvinden. En HUGGINS werd er door waarnemingen van dezen aard toe gebracht om te onderstellen, dat de sterren die de zon naderen zich twee of driemaal zoo snel bewegen als die welke haar ontvlieden. De verplaatsingen der strepen naar de zijde van het violet vielen bij gene allen twee of driemaal zoo groot uit als die naar de zijde van het rood bij deze.

Thans, na den twijfel aan de gegrondheid van de hypothese omtrent de verplaatsing der spectrum-strepen door beweging van de lichtbron te hebben toegelicht, daarbij in stilte hopende, dat van dien twijfel zelf door den loop der gebeurtenissen de ongegrondheid moge worden aan het licht gebracht, thans willen wij uiteenzetten wat, als de hypothese een waarheid uitdrukt, de verschijnselen leeren.

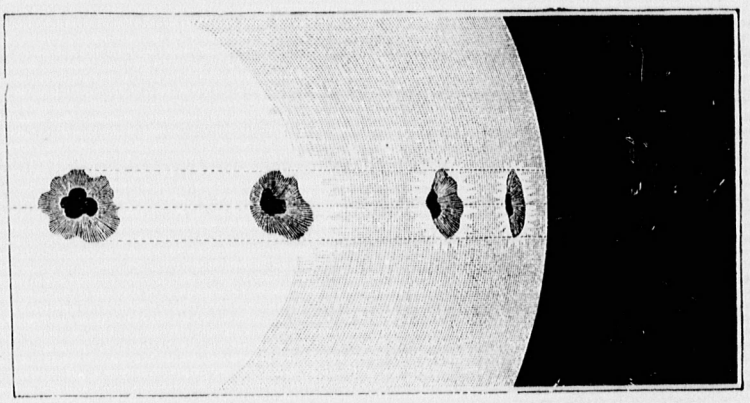
Het is duidelijk dat, volgens haar, een snelle opwaarts of nederwaarts gaande stroom in den dampkring der zon de golflengte niet zal veranderen, als die beweging plaats heeft aan den rand der zon. In dat geval toch beweegt zich het lichtgevend gas met betrekking tot den waarnemer slechts zijwaarts, zoodat er van naderen of zich verwijderen van de lichtbron geen sprake is. Heerschen er daarentegen in de deelen van den dampkring der zon, die haren schijnbaren omtrek begrenzen, hevige ronddraaiende stroomen of cyclonen, dan kan verandering in golflengte van hun licht daarvan het gevolg zijn: dan toch zullen sommige deelen zich rechtstreeks naar ons toe, andere zich rechtstreeks van ons af bewegen. Nabij het middelpunt van de zonneschijf zullen wij dus door den spectroskoop op- en neerwaarts gaande stroomen, en in de nabijheid van haren rand horizontaal gerichte stroomen kunnen ontwaren. Maar dan moeten werkelijk de heldere strepen alleen naar deze of gene zijde worden verplaatst; want eene verbreeding der strepen aan weerszijde kan even goed alleen wijzen op eene verhoogde spanning van het gloeiende gas.

Als voorbeelden nu, waarbij aan de eene of de andere zijde alleen de strepen worden verbreed of verplaatst, willen wij, benevens de uit haar getrokken besluiten, in de eerste plaats eene waarneming van LOCKIJER vermelden.

Op den 21sten April 1869 was een zeer schoone vlek nabij den rand der zon gekomen; en daar dit de eerste gelegenheid was dat hij zulk een vlek onder zoo gunstige omstandigheden ter beproeving der hypothese kon aanwenden, maakte hij die tot het voorwerp van een nauwgezet onderzoek. De vlek was zoo na bij den rand, dat haar spectrum te gelijk met dat van de chromospheer in het gezichtsveld des kijkers zich vertoonde. Haar kleurenbeeld was zeer smal, daar zij zelve uit den aard der zaak zeer verkort werd gezien (Fig. 55); maar uit het sprectrum der chromospheer bleek het, dat deze in de nabijheid der vlek geheel was bezet met protuberansen van verschillende

hoogte. En deze protuberansen schenen daarenboven als het ware voortdurend gevoed te worden uit dat gedeelte van den zonnerand, dat aan de naar de aarde gekeerde zijde der vlek lag; want de strepen C_1 D_3 en F waren bij uitstek helder en strekten zich zelfs tot binnen dien rand uit. In de protuberansen zelve vertoonden de strepen C en F zich als twee onregelmatige lijnen, die met knoopen waren bezet. Het geheele verschijnsel deed dadelijk het vermoeden rijzen, dat hier eene geweldige eruptie van stoffen plaats greep; en inderdaad, ver boven de chromospheer en geheel van haar gescheiden, werden de strepen van gloeiende magnesium-damp zichtbaar. Maar

Fig. 55.



wat het meest merkwaardig en voor ons tegenwoordig onderwerp het meest van belang is, de heldere streep F was aan de basis der protuberans sterk verschoven met betrekking tot de donkere streep F in het zonnespectrum; daardoor aanduidende, dat in deze lagen eene snelle beweging van gloeiend gas in de richting van de aarde plaats had.

Nog merkwaardiger in dit opzicht was eene waarneming van den 14den Maart van dat zelfde jaar. Door eene zeer geringe verplaatsing van de spleet langs den rand der zon, zóó dat zij achtereenvolgens licht van verschillende deelen van een protuberans doorliet, zag LOCKIJER, dat in het eene gedeelte de streep F naar het violette, in het andere naar het roode uiteinde van het spectrum afweek, terwijl in de positie, die tusschen deze beide uitersten ongeveer het midden innam, de streep wel het verlengde van de overeenkomstige

donkere in het zonnespectrum vormde, maar toch naar weerszijde was omgebogen als een fakkel, welks vlam naar beide zijden door een valwind wordt uiteengedreven. Is de hypothese juist, dan was in dit geval de spleet achtereenvolgens gericht op deelen van een cycloon, die zich bij hare cirkelvormige beweging naar den waarnemer toe en van hem af bewogen, terwijl in den gemiddelden stand ook licht werd doorgelaten van die deelen, wier beweging loodrecht was gericht op de as des kijkers en waarin dus noch nadering noch verwijdering van de gloeiende massa ten opzichte van den waarnemer plaats had. En deze gasmassa, die zelfs bij de grootste vernauwing der spleet nog altijd ongeveer 2500 kilometers breed was, bewoog zich, volgens eene aproximatieve bepaling van de grootte der verplaatsing, met eene snelheid van 64 kilometers in de sekonde. Bij eene andere waarneming zag LOCKIJER de streep F zooveel verplaatst, dat die snelheid zelfs het drievoud van de zooeven genoemde bedroeg.

Keeren wij nu terug tot de eerst vermelde waarneming van den 21sten April. Nadat er gedurende een uur in de nabijheid der vlek betrekkelijk rust had geheerscht en de spleet van den spectroskoop zóó was gesteld dat zij licht van de photospheer en de chromospheer te gelijk doorliet, week de heldere streep van de laatste, in plaats van de donkere in de eerste te bedekken, merkbaar van haar af. Waaruit men zou moeten opmaken, dat het meer afgekoelde en daardoor absorbeerende gas eene beweging had, tegenoversteld aan die van het met meer intensiteit gloeiende gas der protuberans. Op denzelfden dag werd ongeveer een uur later te *Kew* eene photographische afbeelding van de zon vervaardigd; en deze vertoont, ter plaatse waar deze stormachtige bewegingen door LOCKIJER werden waargenomen, zulke onregelmatigheden in den rand der zon, dat het is als waren daar deelen van de chromospheer weggescheurd.

Veelvuldiger nog dan deze zijn de waarnemingen betreffende verplaatsingen en vervormingen der strepen in het spectrum van licht, in de nabijheid van vlekken door de zonneschijf zelve uitgestraald. Zooals wij reeds opmerkten, kunnen verplaatsingen der strepen hier slechts op- en neêrgaande stroomingen in den dampkring der zon en geenszins cyclonische stroomen verraden. LOCKIJER nu haalt onderscheidene gevallen van dien aard aan, waarbij de streep F van het waterstofgas op verwonderlijke wijze was vervormd. Niet slechts

ziet men in de door hem geleverde afbeeldingen een gedeelte van die streep helder in plaats van donker, maar terwijl de donkere streep naar de zijde van het rood is gebogen, ziet men daarbij dikwijls de heldere verplaatst naar de zijde van het violet. Gebruikt men daarbij, om een uitdrukking van LOCKIJER te bezigen, de strepen van FRAUNHOFER als mijlpalen, die ons zeggen met welke snelheid een opwaarts en benedenwaarts gerichte stroom zich beweegt, en bedenkt men, dat eene verplaatsing van een tien millioenste deel van een millimeter, genomen op ANGSTRÖM'S afbeelding van het spectrum, als de hypothese juist is eene snelheid van ongeveer 64 kilometers per sekonde moet verraden, dan kan men de snelheid dier stroomen meten. Dat afwijken van de donkere lijn naar het rood wijst dan aan, dat een koelere meer absorbeerende stroom zich met die ontzachelijke snelheid naar beneden stort, terwijl te gelijk de verplaatsing van de heldere streep naar de violette zijde op een even snel stijgen van met grootere intensiteit gloeiend gas wijst, dat in de nabijheid van dien neêrgaanden stroom plaats grijpt.

Van gelijken oorsprong zijn de verschijnselen, door YOUNG geobserveerd en reeds vroeger afgebeeld in onze figuren 52 en 53 — die wij hier herhalen —, waarvan de links geplaatste de vervormde streep F, de rechts geplaatste de vervormde streep C voorstelt. Beide figuren

Fig. 56.

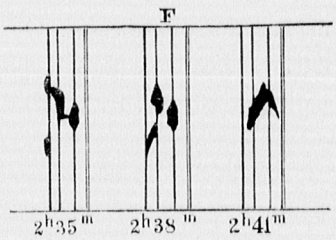
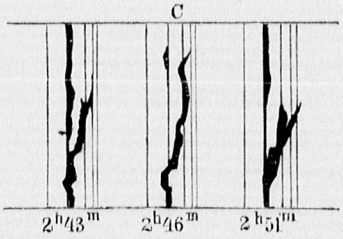


Fig. 57.

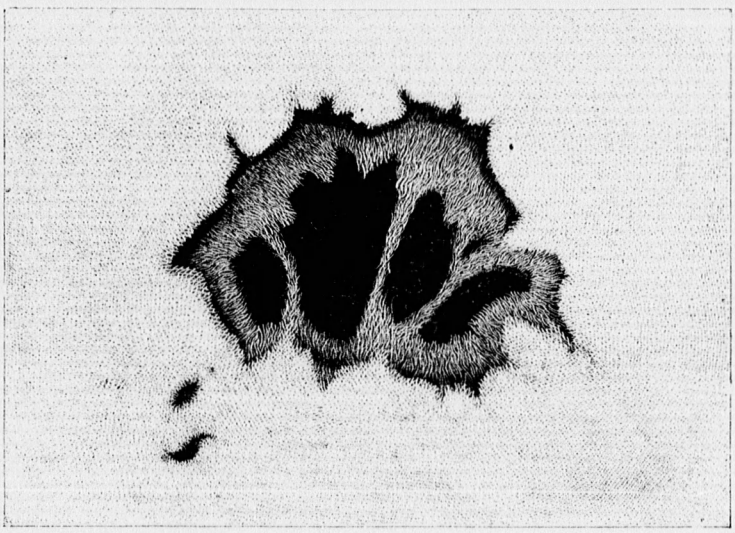


toonen, door de *naar weerszijde* plaats grijpende verplaatsingen dier lijnen, aan, dat men hier met naast elkander gelegene op en neêrgaande stroomen in het omhulsel der zon te doen heeft. Bij verschillende gelegenheden bedroegen, naar de grootte dier verplaatsingen oordeelende, de snelheden dezer uitbarstingen 200 kilometers per sekonde, en bij ééne gelegenheid zelfs veel meer.

Ook VOGEL meent dikwijls die stroomingen in twee tegenoverge-

stelde richtingen te hebben opgemerkt; onder anderen op den 6den Mei 1871 bij eene groote zonnevlek, wier kern door twee lichtbruggen (fig. 58) in verschillende deelen was verdeeld. Wanneer de spleet van den spectroskoop op een van deze bruggen werd gericht, vertoonden zich verschuivingen van de heldere strepen, en wel zóó, dat langs de kanten van de grootste kern zij meer naar het violet, langs die van de kleinere daarentegen meer naar het rood waren verplaatst. De snelheid, waarmede het gloeiend gas aan den rand der grootste kern in de hoogte steeg, bedroeg niet minder dan 16 à 20 kilometers in de sekonde.

Fig. 58.



Mogen wij dus de verklaring, door vele natuurkundigen van deze op zich zelve in elk geval zeer vreemdsoortige en uit geene andere oorzaken tot nog toe volkomen verklaarde verschijnselen gegeven, voor de ware houden, dan bevestigt ook hier de spectroskoop datgene, wat wij in de eerste dezer opstellen (bladz. 27) op grond van teleskopische waarnemingen alleen als meest waarschijnlijk op den voorgrond stelden. Voor de daar vermelde door FAIJE geopperde theorie omtrent de oorzaken van het ontstaan en van de eigen beweging der zonnevlekken is, in die veronderstelling ten minste, de uitspraak van den spectroskoop bij uitnemenheid gunstig te noemen,

Evenwel, wij schroomen niet dit nogmaals te zeggen, ook in de wetenschap, en vooral bij waarnemingen van zoo delicaten aard als de hier besprokene, is maar al te dikwijls de geldigheid gebleken van de psychologische opmerking, dat wat men gaarne gelooft men ook lichtelijk hoopt. Voortgezette waarneming, in het werk gesteld met behulp van instrumenten, wier constructie alles doet vermijden wat thans als de mogelijke oorzaak der onloochenbare verschijnselen kan worden op den voorgrond gesteld, zulk een onderzoek alleen kan ons de vrees benemen, of niet misschien ook in dit geval deze neiging van den menschelijken geest het oordeel benevelt.

DE PHOTOSPHEER.

Wanneer wij nagaan, wat wij in de tot nog toe geleverde hoofdstukken omtrent den physischen toestand der zon mededeelden, dan blijkt het dat de daarin vermelde resultaten van het wetenschappelijk onderzoek uitsluitend op haar omhulsel betrekking hadden. Een gasvormig omhulsel, waarin sommige metalen en ook sommige ons tot heden onbekende stoffen in dampvormigen toestand voorkomen, absorbeert volgens die onderzoekingen een gedeelte van het zonnelicht en geeft zoodoende aanleiding tot het ontstaan van de zoogenoemde Fraunhofersche strepen, die in het spectrum van het zonnelicht worden gezien. Maar van welken aard nu toch eigenlijk de stof is, die als de wezentlijke bron van het witte zonnelicht moet worden aangezien, de stof dus die licht uitzendt waarin stralen van allerlei breekbaarheid voorkomen en dat daarom, als het zonder door zulk een omhulsel als het ware gezift te worden ons bereikte, een spectrum zou geven waarin niet één streep zou worden opgemerkt, deze vraag lieten wij nog steeds onaangeroerd. Wel mogen wij zoo ter loops hebben opgemerkt, dat een zoodanig continu spectrum wordt geleverd door het licht der gloeiende vaste lichamen en vloeistoffen; maar dat uit stoffen, die in een van deze beide aggregatietoestanden verkeeren, het lichaam van de zon niet kan zijn opgebouwd, begrijpt ieder, die denkt aan hare enorme temperatuur; dat een vast lichaam of een vloeistof, in den gewonen zin dier bena-

mingen ten minste, hare kern zou uitmaken, is reeds bij een eersten aanblik minstens onwaarschijnlijk.

Nu is het juist deze hooge temperatuur gepaard aan de groote drukking, waaraan in de dieper gelegen lagen der zon de lichamen onderworpen zijn, die het ons zoo goed als onmogelijk maken eene voorstelling ons te vormen van den toestand, waarin daar de stof moet verkeeren. De spectroskoop kan ons daarbij zijne hooggeschatte hulp niet bieden; meer ons te zeggen, dan dat stralen van allerlei breekbaarheid, volkomen wit licht, van daar uitgaan, vermag hij niet. En wat de teleskoop betreft, deze moet hier reeds à priori ons een ontoereikend hulpmiddel schijnen. Die protuberansen, wier verschijning wij steeds aan den rand der zon bestudeeren, en van welke wij weten, dat sommige met de wentelende beweging der zon daar langzaam te voorschijn komen en weder verdwijnen, zijn over hare gansche oppervlakte verspreid; door die veel bewogen gasmassa's heen iets wezentlijks te willen onderscheiden van de meer binnenwaarts gelegen deelen kan daarom reeds voor 's hands worden gerekend tot de vrome wenschen te behooren. In de tijden toen de teleskoop het eenige hulpmiddel was, dat den natuurkundigen ten dienste stond, verklaarde men dan ook kortweg het uiterlijk van de oppervlakte der zonneschijf voor niet te vergelijken bij dat van eenig aardsch voorwerp; en inderdaad zal dit wel het geval moeten zijn, wanneer datgene wat men ziet de *en face* beschouwde oppervlakte is van een bol, waarop omwentelingen plaats hebben als de in het vorige hoofdstuk beschrevene. Die oppervlakte vertoont zich, als men met behulp van een sterk vergrootend oculair het beeld van een gedeelte daarvan op een scherm projecteert, op de wijze die in fig. 59 is voorgesteld. Dit is haar normaal uiterlijk. Behalve door de ons reeds sedert lang, ook uit afbeeldingen, bekende vlekken, wordt die echter op onbepaalde tijden en plaatsen afgewisseld door *fakkels*, zooals wij er eene in fig. 60 zien, en door *poriën*, zooals er eene voorkomt in fig. 61, welke laatste met eenigszins geringere vergrooting is vervaardigd dan de beide eerstgenoemde.

Moeten wij de in de eerste vóorkomende lichtkorrels — als wij ze zoo eens noemen mogen — aanzien als kleinere individus van dezelfde soort, als waarvan de fakkels slechts de meer ontwikkelde exemplaren zijn? En zijn al deze lichtende verschijnselen misschien

niets anders dan kleinere en grootere protuberansen, welker toppen, terwijl zij groote hoeveelheden van de photospherische stof met zich om hoog slingeren, naar ons zijn toegekeerd?

Fig. 59.



Op deze vragen zochten velen een antwoord; onder hen wederom in de eerste plaats SECCHI. Waarnemingen, die gedurende eenige achter-

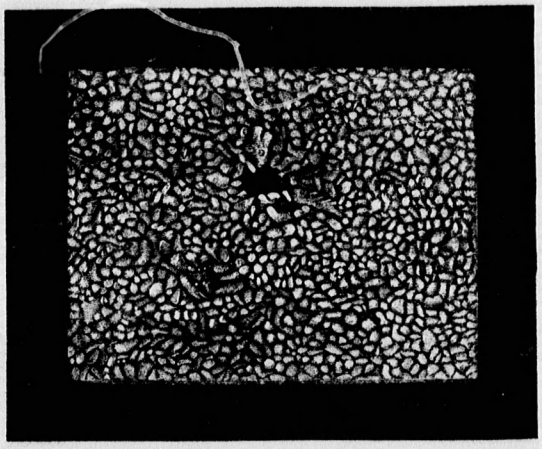
Fig. 60.



eenvolgende maanden werden voortgezet, overtuigden hem er van dat er inderdaad een zeker verband bestaat tusschen de protuberansen en de fakkels; want men vindt gemiddeld de schoonste protuberansen

in de streken waar fakkels zich vertoonen. Kan men dus al met zekerheid zeggen, dat nooit eene eenigszins lichtgevende fakkel aan den rand der zon is aangetroffen, zonder dat daar tevens een protuberans of minstens een sterkere glans van de chromospheer werd gezien, zoo vindt men toch niet omgekeerd overal eene zichtbare fakkel waar een protuberans zich vertoont. Evenwel volgt hier nog niet uit dat daar ter plaatse ook geen fakkel *is;* want als haar licht te zwak is om door de diepst gelegen lagen van den dampkring der zon te dringen, dan zal zij natuurlijk ook voor ons onzichtbaar zijn. Dikwijls kan men tot het bestaan van zulk eene onzichtbare fakkel besluiten uit de omstandigheid, dat aan den westelijken rand

Fig. 61.



der zon, juist ter plaatse waar zich nu een protuberans bevindt, ten gevolge van de aswenteling der zon gelijktijdig een fakkel zich bevinden moet, die eenige dagen te voren op eenigen afstand van den rand werd waargenomen. De groote zwarigheid bij dit soort van onderzoekingen is dus, dat de fakkels slechts bij uitzondering en alleen als zij sterk lichtgevend zijn aan den rand der zon kunnen gezien worden; in den regel ziet men ze alleen dan scherp als zij nog 15 of 30 (heliocentrische) graden van den rand der zon verwijderd zijn, en er dus een of twee dagen verloopen zijn of nog verloopen moeten, sedert zij door de wenteling der zon aan hare naar ons gekeerde zijde zijn gekomen of voor zij door die wenteling naar het van ons afgewende gedeelte harer oppervlakte zullen overgaan.

Wij zijn er echter niet volstrekt zeker van of zij in die twee dagen niet van plaats is veranderd; daar ook de fakkels eene eigen beweging hebben is men tot een besluit als dit: "op de plaats aan den zonnerand, waar thans een protuberans wordt gezien, zou, als ik haar tot nu toe had kunnen waarnemen, een fakkel zich hebben vertoond; dus behoort deze protuberans bij die voor een of twee dagen aan mijn oog onttrokken fakkel", niet volkomen gerechtigd.

Vat men echter alles samen wat uit de onderzoekingen wel is gebleken, dan komt men tot de volgende conclusiën:

1°. dat de plaatsen, waar groepen van fakkels in het grootste aantal voorkomen, rondom den aequator op dezelfde wijze ongelijk verdeeld liggen als die waar de protuberansen bij voorkeur worden gezien;

2°. dat het wel niet duidelijk is gebleken dat ook de omgeving van de polen der zon zulk een plaats is; maar dat dan toch, als men daar de *granulatiën* — zoo noemt men de korrelige lichtvlekken in de zoo even geleverde afbeelding — zorgvuldig onderzoekt, eene vrij scherp getrokkene grenslijn wordt gezien, die uit een gordel van kleine fakkels bestaat. Waar deze gordel in den zonnerand uitloopt, vindt men zeer dikwijls protuberansen.

Mogen dus al de protuberansen met de fakkels niet volkomen identiek zijn, zooveel blijkt toch duidelijk, dat zij met elkander in nauw verband staan en, al is het dan ook op verschillende wijze, aan overeenkomstige oorzaken hun ontstaan te danken hebben. De donkere streep C van de waterstof is daar, waar zij zich over een fakkel uitstrekt, veel smaller dan gewoonlijk. Is dan een fakkel misschien een massa zeer sterk gloeiend waterstofgas, die met haren top zich verheft boven het gewone niveau, van het omhulsel der zon? Wel is het licht van gloeiend waterstofgas rood en dat der fakkels wit licht, maar dit gas is steeds vergezeld van met gele kleur gloeiende sodiumdamp, en bij zonsverduisteringen heeft men ook wel gele en zelfs witte protuberansen waargenomen. Of hebben wij hier te doen met eene opwerping van photospherische stof, die met verhooging van temperatuur en lichtgevend vermogen gepaard gaat, terwijl de waterstof slechts de kracht levert, waardoor deze stof wordt voortgedreven en in staat gesteld zich tot eene geringe hoogte boven de chromospheer te verheffen?

Wij zullen niet trachten tusschen deze beide hypothesen te beslissen; tegen beide kan veel worden ingebracht; ofschoon dan ook de tegenwerping tegen de laatstgenoemde, als zouden de fakkels, indien zij verheffingen boven de oppervlakte der zon zijn, zich steeds als zoodanig moeten voordoen, gelijk staat met de bewering dat er op de maan geen hooge bergen kunnen zijn, omdat haar rand ons steeds effen en glad schijnt. Op eene oppervlakte, die met verschillende verhevenheden is bezet, bedekt de eene de andere; hare randen moeten eenen op grooten afstand geplaatsten waarnemer volkomen glad voorkomen.

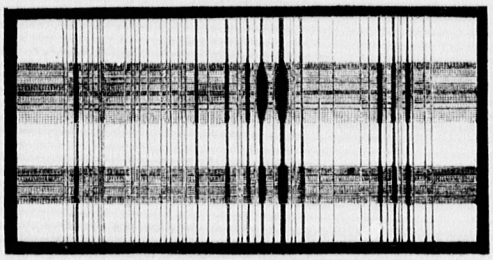
Hoe dit zij, het verband tusschen protuberansen en fakkels, en niets meer dan dit, kunnen wij constateeren; en liever dan ons in strijdvragen omtrent den aard van dat verband te verdiepen, willen wij nagaan of er ook een dergelijk tusschen protuberansen en vlekken is op te merken.

Beide laatstgenoemde verschijnselen nu hangen niet zoo onmiddellijk samen als men licht zou vermoeden. Geven de waarnemingen, met den teleskoop alleen gedaan, aanleiding om te denken dat de uitbarstingen, die door ons als protuberansen worden gezien, in de kern der vlekken hunnen oorsprong hebben, die met den spectroskoop leeren, dat die oorsprong in de omgeving der vlekken en wel voornamelijk in de haar steeds vergezellende fakkels te vinden is. Om slechts van vele voorbeelden eenige te noemen. Niet boven de vlekken maar vooral in hare omgeving, vooral ook boven de fakkels die rondom haar verspreid liggen, zijn in het kleurenbeeld der zon de donkere strepen van de waterstof altijd veel minder donker dan over het algemeen; soms zelfs verdwijnen zij daar geheel. Boven de fakkels dus, en niet uit de kern der vlekken ontwikkelt zich sterk gloeiend waterstofgas, welks licht wel niet altijd in staat is de absorbtie, door dieper gelegen lagen te weeg gebracht, geheel te compenseeren, maar dan toch door zijn helderheid dit gedeeltelijk doet. Als een vlek nabij den zonnerand is, dan ziet men soms de heldere waterstofstrepen der aan dien rand in hare nabijheid zichtbare protuberans zich verlengen tot aan de kern der vlek om daar plotseling af te breken. En dit zelfde is het geval met die strepen in het spectrum, die in ons eerste hoofdstuk genoemde lichtbruggen, welker verschijning dikwijls de splitsing van de vlek voorafgaat; tot in het spectrum van de kern zelf

strekken zich de heldere waterstofstrepen uit van dat dier lichtbruggen en bedekken daar voor een deel de overeenkomstige donkere. In het kleurenbeeld van de halfschaduw, die de kern omgeeft, ziet men deze donkere strepen zelfs in het geheel niet; evenals wij dit zoo even bij de fakkels opmerkten, schijnen ook hier hooger gelegene zeer intens gloeiende gasmassa's door haar licht de absorbtie, in diepere lagen geleden, door haar eigen licht te vergoeden.

In de kern zelf vindt, behalve eene algemeene absorbtie van licht, ook eene zoodanige plaats, die bij voorkeur geldt voor licht van bepaalde breekbaarheid. Van zulk eene *electieve absorbtie* vinden wij reeds aan den rand der zon duidelijke bewijzen, maar zij is daar toch van eenen anderen aard. Terwijl het licht, dat die rand ons toezendt, een kleurenbeeld geeft, waarin vooral de waterstofstrepen veel don-

Fig. 62.

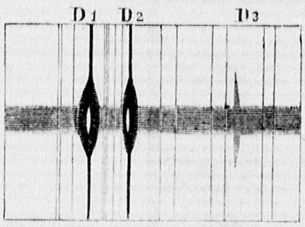


kerder zijn dan in het gewone spectrum, worden in dat van het doffe licht eener kern verschillende strepen, die aan absorbtie door metaaldampen moeten worden toegeschreven, breeder. Vertoont zich dit verschijnsel reeds duidelijk bij de strepen van calcium en ijzer, meer in het oog vallend is het bij die van natrium. Fig. 62 geeft daarvan eene voorstelling; zij is de afbeelding van het gele deel van het spectrum, zooals zich dit den waarnemer vertoonde toen licht van twee nabij elkander geplaatste kleine vlekken op de spleet des spectroskoops viel. Behalve de algemeene absorbtie, die uit de twee door het gansche spectrum zich uitstrekkende donkere banden blijkt, zien wij daarin eene aanmerkelijke verdikking van eenige metaalstrepen, maar bovenal van die van natrium. Ligt nu een vlek aan de oppervlakte der zon, dan ziet men deze verdikking in den regel aan deze strepen alleen; is zij dieper, dan vertoonen ook de calciumstrepen hetzelfde verschijnsel,

terwijl eerst bij zeer diepe vlekken de strepen van het ijzer verbreed worden. De vlekken doen zich dus aan ons voor als holten, die gevuld zijn met in gasvormigen toestand verkeerende metalen, wier onderlinge ligging wordt bepaald door hun specifiek gewicht. De zwaarste dier gassen nemen de diepst gelegen plaatsen in; die van het calcium liggen onder die van het natrium, en onder gene weder die van het ijzer, en dat wij van de aanwezigheid der edele metalen, goud, zilver, platina enz. geene sporen ontdekken is misschien alleen daaraan toe te schrijven, dat hunne gassen door hun groot specifiek gewicht in het binnenste der zon worden teruggehouden. Zelfs de diepste vlekken dringen niet door tot de plaatsen waar zij gelegen zijn.

Maar ook sterk lichtgevende metaal*damp* wordt door de in de fakkels zich openbarende omwentelingen naar boven geworpen; want alleen daaruit, dat de zoodanige boven de vlek zweeft, kunnen de heldere strepen worden verklaard, die, zooals in fig. 63, het midden der zeer verbreide donkere strepen D_1 en D_2 innemen.

Fig. 63.



Daar nu dit verschijnsel, hoewel dan in mindere mate, ook bij andere strepen wordt waargenomen, meent SECCHI te kunnen aannemen dat krachten, die van het binnenste der zon uitgaan, in wijden kring de stof der photospheer opheffen, en zoo doende onregelmatig gevormde photospherische bergruggen (fakkels) met de daaraan grenzende afgronden (vlekken) doen ontstaan. Gelijktijdig breekt dan hier en daar tusschen deze fakkels het gloeiend waterstofgas in den vorm van protuberansen door, terwijl spoedig daarna de opgeworpen photospherische stof van alle kanten toestroomt, om, terwijl zij die gapende openingen aanvult, het verstoorde evenwicht te herstellen. Dewijl nu in die openingen der photospheer de stof geheel of ten deele ontbreekt, en zij met sterk absorbeerende in gasvormigen toestand verkeerende metalen zijn gevuld, moeten zij wel als meer of minder donkere kernen zich aan ons voordoen, en deze lichtzwakte moet nog daardoor toenemen, dat de photospherische stof, die wij in de halfschaduw der vlekken zien naar beneden stroomen, door de gloeiende uit het binnenste der zon opstijgende gassen vervluchtigd wordt, en zelf als gas de lichtkracht verliest, die het als

meer of min gecondenseerde gloeiende metaaldamp bezat. Waar wij dan, als in fig. 63, eene heldere streep het midden der donkere zien innemen, daar vinden wij aanleiding om dit toe te schrijven aan de omstandigheid, dat hier nog niet gasvormig geworden photospherische stof zweeft boven de reeds tot gas vervluchtigde.

Zoo hebben wij dan, om tot ons oorspronkelijk onderwerp terug te keeren, in den loop der beschouwingen reeds omtrent den toestand, waarin wij ons de stof denken die de photospheer zelve samenstelt, eene onderstelling medegedeeld. Deze namelijk, dat die toestand ongeveer overeenkomstig zijn zou met dien van het meest lichtgevend deel eener kaarsvlam, welk deel, terwijl het zelf ondoorschijnend is, toch licht van elke breekbaarheid kan uitstralen, en dus een spectrum zonder strepen kan leveren, daar het afkomstig is van intens gloeiende kooldeeltjes. De boven de vlekken zwevende, door de groote hitte der uit haar opstijgende gassen geheel vervluchtigde photospherische stof daarentegen is doorschijnend en werkt absorbeerend; zij heeft deze eigenschappen gemeen met de evenzoo gasvormige verbrandingsprodukten, die den mantel der kaarsvlam vormen, al is zij dan ook niet als deze het produkt van een chemisch proces.

Deze hypothese is van WILSON; toch laten de sterke drukking, die over de oppervlakte der zon en in hare dieper gelegen lagen heerschen, nog eene andere toe.

De gassen toch doen over het algemeen, als zij tot zeer hooge temperatuur gebracht en aan zeer sterke drukking onderworpen worden, kleurenbeelden ontstaan, die door geene donkere strepen worden afgebroken. Vooral aan CAILLETET zijn wij deze wetenschap verschuldigd. Hij heeft door uitgebreide proefnemingen er zich van verzekerd, dat, te beginnen bij een drukking van 14 atmospheren, de strepen reeds diffuus worden, dat deze hare minder scherpe begrenzing toeneemt naarmate de drukking wordt verhoogd, en dat eindelijk, bij een drukking van 50 atmospheren, het spectrum contenu is en een zoo intens licht voortbrengt, dat een vonk van ééne millimeter lengte in staat is een groot laboratorium te verlichten. Kunnen wij nu met eenigen grond aannemen, dat zulk eene drukking heerscht aan de oppervlakte der photospheer, waar de chromospheer en de corona beide op haar rusten, dan is ook de onder-

stelling geoorloofd, dat het witte van geen zijner kleuren door absorbtie beroofde zonnelicht, door een onder die hooge drukking gloeiend gas wordt uitgestraald. Welnu, eene drukking van 50 atmospheeren zou aan de oppervlakte der zon evenwicht doen aan een kolom kwik van 1,35 meter hoogte. Immers aan de oppervlakte der aarde zou zij dit een kwikkolom van $50 \times 760 = 38000$ millimeters doen, en daar het gewicht van alle aardsche lichamen als zij naar de oppervlakte der zon verplaatst worden tot zijn achtentwintigvoud zou stijgen, zal ook de lengte van een kwikkolom, die een drukking van 50 onzer atmospheeren opwoog, daar slechts het 28e deel van 38000 millim. of ongeveer het genoemde bedrag van 1,35 meter niet behoeven te overschrijden. En als zulk een kolom kwik vervangen moest worden door een laag waterstofgas, die, evenals dit bij de chromospheer het geval is, scherp begrensde strepen in haar spectrum vertoonde, dan zou die laag uit de aarde gezien nog slechts een boogje van eenige weinige sekonden onderspannen en dus niet breeder ons toeschijnen dan de chromospheer zelve.

Hier opent zich echter een nieuw gezichtspunt.

De proeven, waarvan hier sprake is, zijn alle genomen bij temperaturen, die, al waren zij gelijk aan de hoogste door ons kunstmatig voort te brengen, nog verre zouden staan beneden die, welke wij reeds bij eene oppervlakkige beschouwing kunnen vermoeden, dat aan de oppervlakte der zon zullen heerschen. Nu weten wij dat vermeerdering van drukking en temperatuursverhooging altijd elkanders antagonisten zijn, in dier voege, dat wanneer de eerste het volumen eener bepaalde massa gas regelmatig doet afnemen, en zelfs, als zij zeer sterk wordt dit soms in een vloeistof verandert, de laatste daarentegen toename van volume en overgang van den vloeibaren in den gasvormigen toestand bevordert. Door proeven nu, en vooral ook door theoretische beschouwingen van ANDREWS, is het meer dan waarschijnlijk geworden, dat door voortdurende temperatuursverhooging bij elk gas ten laatste een punt moet worden bereikt, waarop geene drukking hoe groot ook in staat is het gas te dwingen den vloeibaren toestand aan te nemen. Bij het koolzuur, dat bij eene temperatuur van 0° C. reeds door een drukking van 36 atmospheeren in vloeistof overgaat, ligt dit kritisch punt op + 31° C., en bij zwavelaether, die eerst boven 34° C., bij de gemiddelde drukking van de atmospheer, van aggre-

gatie-toestand verandert, op + 200° C. Bij het waterstofgas nu, dat bij geene afkoeling en bij geene drukking, zooals die door ons kunnen voortgebracht worden, zijn gasvorm aflegt, moet deze kritische temperatuur oogenschijnlijk nog lager zijn gelegen dan bij het koolzuurgas. Toch doen zich èn drukking èn temperatuur op de zon in zoo enorme proportiën voor, dat het moeielijk is van hetgeen de proefnemingen in de laboratoria leerden, te durven besluiten tot hetgeen daar zal plaats vinden. De gemiddelde densiteit van dat hemellichaam bedraagt 1,46; wanneer men nu tot eene diepte van 1000 kilometers beneden hare oppervlakte afdaalt, en vooronderstelt dat de boven gelegen laag deze gemiddelde dichtheid bezit, dan moet daar reeds een drukking heerschen van ruim vier millioen atmospheeren, terwijl eene van 46000 atmospheeren reeds op hare oppervlakte zou worden veroorzaakt door een dampkring, welks gemiddelde dichtheid zoo groot was als die van de onze aan de oppervlakte der zee, en welks hoogte de gemiddelde diepte der zonnevlekken nog niet evenaarde. Eene schatting van de temperatuur der zon zullen wij zoo aanstonds wagen; voor 's hands evenwel kunnen wij wel zonder vrees van tegenspraak zeggen, dat hare hoogte een van die ons voorstellingsvermogen ontsnappende verschijnselen zijn zal, die alleen met de zoo even genoemde drukkingen kunnen vergeleken worden.

De vooronderstelling is dus niet al te gewaagd, dat minstens in het inwendige der zon alle stoffen zullen voorkomen in dien overgangsvorm tusschen gas en vloeistof, waarin zij bij het bereiken van het kritisch punt verkeeren. En er zijn twee omstandigheden die deze onderstelling een hoogen graad van waarschijnlijkheid geven. In de eerste plaats toch leert ons de geringe, zoo even genoemde gemiddelde densiteit der zon, dat dit lichaam niet naar het middelpunt toe voortdurend in dichtheid kan toenemen; zoodat of eene, om andere redenen onmogelijke, holle zon, of eene bestaande uit stoffen, die in den zoo even genoemden kritischen toestand verkeeren, voor onze voorstelling alleen overblijft. In de tweede plaats is het een feit, dat eene kleine vermindering der drukking eene geweldige ontwikkeling van volume moet veroorzaken bij stoffen, wier temperatuur tot het kritische punt is opgevoerd; en wij hebben de protuberansen leeren kennen als verschijnselen, die ons de snelst mogelijke en grootst mogelijke veranderingen in volume en vorm vertoonen. In

vele gevallen toch doen zij zich, men zie slechts de vroeger geleverde afbeeldingen, aan ons niet anders voor dan een gas zou doen, dat, na den vloeibaren toestand zeer nabij te zijn gekomen, zich snel uitzet en opstijgt, door deze uitzetting zelve ras afkoelt en, op de hoogte waartoe het is opgevoerd een speelbal wordende van de daar heerschende stroomen, in verschillende richtingen wordt voortgedreven.

Gassen van allerlei aard, die, gloeiende, met de intensiteit hun door de kritische temperatuur medegedeeld, bij de hooge drukking, waaraan zij onderworpen zijn, alle zonder uitzondering een onafgebroken spectrum moeten leveren, zijn dus te houden voor de bestanddeelen van het eigenlijke lichaam der zon; en gassen, gloeiende op veel lager temperatuur en bij zoo veel minder sterke drukking, dat hunne eigene kleurenbeelden uit scherp begrensde heldere strepen bestaan, vormen dan het absorbeerend omhulsel, bij welks doorgang een gedeelte van het licht verloren gaat. Ziedaar de meest waarschijnlijke voorstelling, die wij ons aangaande de samenstelling van het hoofdlichaam van ons planetenstelsel kunnen vormen.

In het laatste gedeelte onzer beschouwingen hebben wij dikwijls gelegenheid gehad om te spreken over de vermoedelijke temperatuur der zon; zelfs zijn wij bij die beschouwingen gestuit op zwarigheden, die eene slechts gebrekkige bekendheid met die temperatuur aan het vormen van eenig bepaald denkbeeld omtrent den aard der zonnestof in den weg legden. Reeds daarom alleen kan het niet van belang ontbloot zijn, dat wij de behandeling van dit gedeelte van ons onderwerp besluiten met eene, zij het dan ook slechts benaderde bepaling dier temperatuur. Maar al ware zulk eene beschouwing buiten eenig verband met het voorafgaande, dan nog zouden wij haar niet achterwege willen laten; bij haar toch sluiten zich geleidelijk andere aan, die op een vraag als deze: van waar die temperatuur? maar vooral ook op die andere, voor aardbewoners zeker hoogst gewichtige: waar gaan wij heen? een antwoord moeten geven.

Geen gevolg laat zich denken zonder oorzaak; daarom ook, als wij de zon zoovele duizenden van jaren achtereen eene hoeveelheid warmte zien uitstralen, waarvan het vele dat de aarde ontvangt slechts

een niet noemenswaârdig gedeelte is, dan trachten wij onwillekeurig ons eene voorstelling te scheppen van de wijze, waarop door haar die warmte wordt voortgebracht. Maar elk dier voorstellingen ook, zoowel de meest primitieve, die in een gewoon verbrandings-proces deze oorzaak ziet, als de wetenschappelijk meest gegronde, die haar vindt in eene voortdurende vermindering van volume, alle zonder onderscheid wijzen op een onvermijdelijk einde der dingen, doen de straks geopperde vraag rijzen: waar gaan wij heen?

De vraag naar de temperatuur der zon, of liever deze meer bepaalde naar de hoeveelheid warmte die zij in een bepaalden tijd uitzendt, wordt slechts dan verstaanbaar beantwoord, wanneer dat antwoord ons leert welk onder het bereik van ons voorstellingsvermogen vallend effect die warmte kan te weeg brengen; en zulk een effect zien wij, onder anderen, in de temperatuur, waartoe die hoeveelheid warmte eene bepaalde hoeveelheid water in zekeren tijd kan verwarmen. Is dan een zoodanig effect op voldoende wijze bepaald, dan kan men weder, door er op te wijzen welke ons bekende warmtebronnen tot het verkrijgen daarvan zouden moeten worden aangewend, eene vergelijking tusschen eenigszins gelijksoortige grootheden vormen.

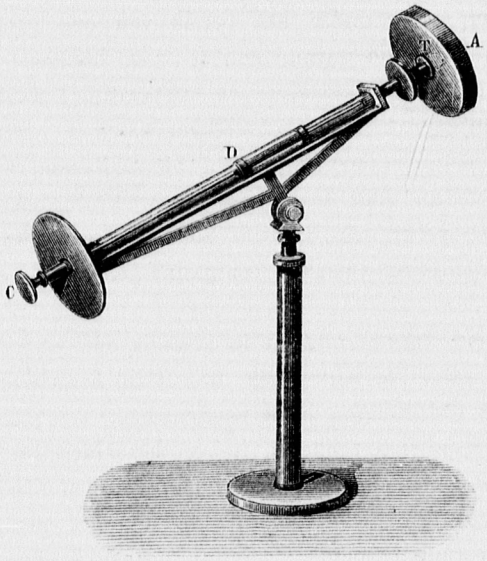
De hoeveelheid warmte nu, die in staat is om een kilogram water van 0° C. één graad te verwarmen, wordt bij dergelijke vergelijkingen meestal als eenheid van maat aangenomen. Wil men nu bepalen hoeveel van deze warmte-eenheden in een bepaalden tijd hier op aarde door de zon over eene bepaalde oppervlakte worden uitgestraald, dan kan men, op POUILLET'S voetspoor, aldus te werk gaan.

Een cilindervormige trommel van dun metaal A (Fig. 64), welks middellijn een decimeter en welks hoogte 1,5 centimeter bedraagt, wordt met een zijner zijvlakken zóó gesteld, dat de zonnestralen loodrecht op haar vallen. Om zich te verzekeren dat zij dezen stand heeft dient de schijf C; deze is, evenals de trommel, loodrecht gesteld op een holle buis, waarin tevens die van een thermometer is vervat, wiens bol zich bevindt binnen in den trommel. Of de stralen der zon loodrecht op den trommel vallen zal men daaraan ontdekken, dat zijn schaduw de schijf C volkomen bedekt. Alle deelen van het instrument zijn zoo glad mogelijk gepolijst om de uitstraling van warmte tegentegaan; de vlakte daarentegen waarmede hij

naar de zon zal worden toegekeerd, wordt bedekt met een laag lamproet, om dat daardoor zijn vermogen de zonnewarmte opteslorpen aanmerkelijk wordt verhoogd. De trommel wordt met water gevuld, dat in voortdurende beweging kan worden gehouden door hem om de holle buis D te draaien.

Hoe men bij het doen dezer proefnemingen velerlei in rekening heeft te brengen, als daar zijn: de warmte, die verbruikt wordt tot verwarming van het instrument zelf, de warmte, die tijdens de proefnemingen door uitstraling van het instrument verloren gaat, is het

Fig. 64.



hier de plaats niet in bijzonderheden nategaan. Voor ons doel is het voldoende optemerken, dat men langs dien weg uit de temperatuursverhooging van de bekende gewichtshoeveelheid water, in den trommel vervat, het aantal warmte-eenheden kan afleiden dat in zekeren tijd aan dat water door de zon is meêgedeeld. Brengt men dan verder in rekening, dat ongeveer een vierde gedeelte van de zonnewarmte bij het gaan van hare stralen door den dampkring geabsorbeerd wordt, dan doen deze proeven zien dat, zoo de aarde niet van een dampkring was omgeven, een vierkante centimeter harer oppervlakte bij loodrecht invallen der zonnestralen in één minuut 0,0017633 warmte-

eenheden ontvangt. Nu vallen op de naar de zon toegekeerde helft der aardoppervlakte de stralen niet alle loodrecht in; die helft zal daardoor slechts ongeveer zooveel warmte ontvangen als een groote cirkel van den bol ontvangen zou, indien zijn vlak loodrecht werd beschenen. En daar nu die helft zelf in oppervlakte gelijk is aan den inhoud van twee zulke groote cirkels, zal zij ook gemiddeld per vierkante centimeter in ééne minuut slechts de helft van het bovengenoemde aantal of 0,0008816 warmte-eenheden ontvangen; dat is, als men aanneemt dat elke plaats op aarde gemiddeld 12 uren per dag door de zon wordt beschenen, $365 \times 720 \times 0{,}0008816 = 232$ warmte-eenheden ongeveer per jaar. Wanneer wij ons nu herinneren dat zulk een warmte-eenheid in staat is de temperatuur van 1 kilogram water één graad te verhoogen, dan zal men inzien, dat de zonnewarmte, die per jaar aan elke vierkante centimeter der aardoppervlakte wordt medegedeeld, in staat zou zijn 1 kil. water van 0^0 C tot 232^0 C, of 2,32 kilogram water tot het kookpunt te verhitten. Daar nu een kolom water, die een grondvlak van 1 vierk. centimeter en een hoogte van 23,2 meter heeft, 2,32 kilogram weegt, zoo zou, als de aarde bedekt was met een laag water van 0^0 C., die een dikte had van 23,2 meter, al de zonnewarmte, die zij jaarlijks ontvangt, in staat zijn deze laag aan het koken te brengen; alles in de vooronderstelling dat de aarde niets van de ontvangen warmte weder uitstraalde en dat er geen warmte door verdamping van water verloren ging. Een korst ijs, die de gansche aarde bedekte en 31 meters dik was, zou onder den invloed dier warmte in één jaar geheel wegsmelten.

Het effect der zonnewarmte kunnen wij ook nog op eene andere wijze uitdrukken. Daar het toch uit nauwkeurige waarnemingen en langs geheel verschillende wegen gebleken is, dat 424 warmte-eenheden een arbeid van een kilogrammeter kunnen verrichten, d. w. z. een arbeid waardoor een gewicht van één kilogram één meter hoog wordt opgeheven, zoo zal de warmte, die in een jaar elke vierkante centimeter der aardoppervlakte van de zon ontvangt, een arbeidsvermogen van $\frac{232}{424}$ of ongeveer $\frac{5}{9}$ kilogrammeter bezitten. Dus wordt dit vermogen per hectare voorgesteld door $\frac{500{,}000{,}000}{9}$ of ruim 55555000 kilogrammeters per jaar, d. i. door $\frac{55555000}{365 \times 24 \times 60 \times 60}$ of ruim $1\frac{3}{4}$ kilo-

grammeter per sekonde, hetgeen, in paardekrachten van 75 kilogrammeters per sekonde uitgedrukt, een arbeid oplevert van $\frac{7}{300}$ paardekracht. De zonnewarmte dus, die de halve aardoppervlakte — 25480 millioen hectaren ongeveer — in ééne sekonde ontvangt, vertegenwoordigt het ontzachelijk arbeidsvermogen van ruim 595 millioen paardekrachten! Zoo nu om een machine in beweging te zetten, die 4000 paardekrachten sterk is, per uur ongeveer 100 centenaars steenkolen worden vereischt — en bij "de Friedland" van de Duitsche marine is dit het geval — dan is slechts de warmte, door de verbranding van 14875000 centenaars steenkolen per uur voortgebracht in staat gedurende dien tijd hetzelfde effect te veroorzaken, als hetgeen de zon uitoefent op de helft der aardoppervlakte door haar beschenen.

En deze warmte verspreidt de zon op een afstand van haar eigen middelpunt, die gelijk is aan 214 stralen van haar bolvormig oppervlak. Bedenken wij nu, dat de intensiteit der stralende warmte omgekeerd evenredig is met de tweede machten van de afstanden tot het punt van uitstraling, dan zullen wij, door de bovengenoemde uitkomsten met $214^2 = 45796$ te vermenigvuldigen, tot de bijna fabelachtige getallen kunnen komen, die het effect van de zonnewarmte op hare eigene oppervlakte voorstellen. In plaats van die berekeningen uittevoeren willen wij hier slechts vermelden dat hare werking per vierkante meter daar in staat is een arbeid van 75200 paardekrachten te verrichten!

Van waar nu dit alles? Wij zijn in de huishouding der natuur genoeg vertrouwd om te weten, dat daar niets uit niet ontstaat, dat alle verandering, die wij daar zien plaats grijpen, slechts omzetting is, slechts verandering in de wijze, waarop zich de stof aan ons voordoet, steeds dezelfde stof onder voortdurend wisselende vormen. Maar niet alleen voor de hoeveelheid stof, waaruit het heelal is opgebouwd, geldt deze wet; zij strekt zich ook uit over het arbeidsvermogen der daarin werkende krachten. Overal waar wij een kracht arbeid zien verrichten, daar kunnen wij er zeker van zijn dat wij ergens anders een daaraan geëvenredigd verlies van arbeidsvermogen kunnen aanwijzen. Om uit vele voorbeelden er een te kiezen, dat

reeds in den loop onzer beschouwingen voorkwam: de hoeveelheid warmte, die noodig is om een kilogram water van 0° C. een graad te verhitten, is ook in staat om, doelmatig aangewend, een gewicht van 424 kilogram een meter hoog op te heffen. In het eerste geval is het alsof wij die gebruikte warmte in dat water gehuisvest zien; wij herkennen haar in dien vorm, en het geval heeft daarom niets vreemds voor ons. Niet zoo in het tweede; daar is die warmte als spoorloos verdwenen; wel is er door haar arbeid verricht, maar nu het arbeidsvermogen dezen vreemden vorm heeft aangenomen kunnen wij alleen door redeneering tot de overtuiging komen, dat wij toch inderdaad in dat opgeheven gewicht met niets anders te doen hebben dan met eene metamorphose van dat arbeidsvermogen. En toch is dit zoo; nu dit gewicht zooveel hooger is geplaatst kan het, door weder van die hoogte te vallen, nieuwen arbeid verrichten; het zou zelfs, indien wij de proef zoo wisten te nemen dat er langs andere wegen bij den val geen arbeidsvermogen werd afgeleid, bij den schok zooveel graden in temperatuur kunnen stijgen als overeenkomen met de hoeveelheid warmte, die oorspronkelijk tot het opheffen van het gewicht is verbruikt.

Zien wij dan dat de zon voortdurend eene hoeveelheid warmte uitstraalt, die in staat is dat onbegrijpelijk groot effect te weeg te brengen, dat wij boven in cijfers poogden weêrtegeven, dan komen wij tot het besluit dat het arbeidsvermogen van de zon zelve ook voortdurend met een aan dat effect evenredig deel moet worden verminderd.

Als primitief doodverwden wij reeds de beschouwingswijze, die deze vermindering ziet in een scheikundig proces, dat gelijk zou staan met hetgeen wij hier op aarde verbranding noemen. Zulk een proces is juist een van die wijzen van warmteontwikkeling, die het spoedigst ten einde loopt; omdat de producten der verbranding zelve zich in den regel dadelijk als ware antagonisten tegenover haren verderen voortgang stellen, daar zij niet alleen zelf niet brandbaar zijn maar eene verbranding ook niet kunnen onderhouden. THOMSON heeft dan ook uitgerekend, dat zelfs in het onverhoopte geval dat op haar die verbrandingsproducten den voortgang der verbranding niet belemmerden, de zon in achtduizend jaren geheel zou uitgebluscht zijn. En wij weten dat gedurende historische tijden van de veranderingen, die een zoo snelle achteruitgang in de temperatuur der zon bij alle levende

wezens, planten zoowel als dieren, zou hebben moeten te weeg brengen, geen spoor te vinden is. Beter ware het dan nog de zon gelijk te stellen met een door eene of andere oorzaak gloeiend geworden lichaam, dat door uitstraling allengs warmte verloor; bij de hooge temperatuur, waarop zij gloeit, en bij den grooten afstand, waarop zij van ons is verwijderd, zou dan zeker eene daling in temperatuur, die van zulk eene uitstraling het gevolg was, zelfs na vele eeuwen nog niet door den gevoeligsten thermometer worden aangegeven.

Het heeft echter ook niet ontbroken aan natuurkundigen, die de oorzaak van de standvastige temperatuur der zon buiten haar gezocht hebben. Van deze theoriën zijn twee de voornaamste, die in wezen de uitdrukking zijn van hetzelfde denkbeeld, al verschillen zij ook in den vorm naar de tijden waarin zij werden uitgesproken. In die van NEWTON wordt de bron, waaruit voortdurend het groot verlies van warmte, dat de zon lijdt, wordt gedekt, gezocht in de kometen, wier massa, door op de zon te vallen, zou vergoeden wat zij door uitstraling verliest. In de voorstelling van NEWTON toch was ook de warmte zelve eene materie, zij het dan ook eene van zeer bijzondere soort, en bestond het vermogen om licht en warmte te geven bij gloeiende lichamen alleen daarin, dat zij deze stof rondom zich wisten uit te storten. In onze dagen zijn de begrippen in dit opzicht veel opgeklaard. Ook zouden wij niet bij voorkeur aan kometen, wier onbegrijpelijk groote ijlheid boven allen twijfel verheven is, den rol opdragen, verloren gegane massa aan te voeren; ook deze wetenschap toch dagteekent van latere dagen dan die van NEWTON.

Naar hetgeen wij thans weten is de lagere of hoogere temperatuur van een lichaam alleen te zoeken in eene meer of minder energieke trillende beweging, waarin de kleinste stofdeeltjes der lichamen verkeeren. Straalt de zon voortdurend warmte uit, dat wil zeggen, verhoogt zij bij alle lichamen buiten haar de energie dezer moleculaire beweging, dan moet deze noodzakelijk bij haar zelve afnemen, en het is nu maar de vraag om dezen meer en meer wegkwijnenden trillingstoestand bij haar door eene gelijksoortige oorzaak voortdurend te verlevendigen. Zulk een oorzaak nu vindt de nieuwere wetenschap in de schokken, die door haar aangetrokken lichamen haar mededeelen, als zij met verbazende snelheid op haar nedervallen. Inderdaad wordt bij dit vallen schijnbaar een groote hoeveelheid arbeidsvermogen vernietigd; maar ook slechts

schijnbaar, daar het in de werkelijkheid blijft voortbestaan, en wel grootendeels in de gedaante van versterkte moleculaire trilling, of, met andere woorden, in die van temperatuursverhooging. Proefnemingen staven deze opvatting volkomen; wanneer men bijv. van een groote hoogte een looden bol laat vallen op een blok van datzelfde metaal, dan zijn beide na den val aanmerkelijk in temperatuur gestegen.

Maijer was de eerste, die een poging deed om de, ten minste voor ons, onveranderlijke warmte-uitstraling der zon op de zoo even uiteengezette gronden te verklaren. Daartoe trachtte hij te bepalen hoe groot wel de massa stof zou moeten zijn, die op de zon zou moeten vallen om aan haar de warmte terug te geven die zij jaarlijks uitstraalt, en om tot deze bepaling te geraken nam hij zijn toevlucht tot eene beschouwing van gelijksoortige gevallen op aarde. Hij vond, dat van een massa ijzer, die uit de meest verwijderde streken des heelals neerstortte op aarde, bij dien plotselingen overgang van snelle beweging in rust de temperatuur tot 1350000 graden zou verhoogd worden; tot eene hoogte dus waarbij die gansche massa ijzer zou worden vervluchtigd. Nu gaan wel de meteoorsteenen, die op aarde vallen, niet in damp over; dat zij daarentegen slechts voor een korten tijd in gloeiing geraken en hoogstens aan hunne oppervlakte de kenteekenen dragen, dat er een begin van smelting heeft plaats gehad, moet echter hoofdzakelijk daaraan worden toegeschreven, dat niet al de zoo even genoemde warmte het vallend lichaam ten goede komt. Een deel daarvan gaat in de aarde zelve over, terwijl een ander deel aan de lucht wordt afgestaan. Valt nu, zooals bekend is, jaarlijks een groot aantal dezer meteoorsteenen op aarde neder, des te eer zal dit nog plaats hebben op de zon, die, wegens hare veel grootere massa en daarmede overeenkomstige aantrekkende kracht op de in het heelal verspreide meteorische stof een veel grooteren invloed zal uitoefenen. Daarenboven zal de hoeveelheid warmte, die ontwikkeld wordt bij het vallen van zoodanige lichamen op de zon, betrekkelijk zoo veel aanzienlijker zijn dan bij de analoge gevallen op aarde, als de snelheid, waarmede zij op haar zullen neêrkomen, grooter is dan hier. Een lichaam, dat uit de diepste diepten van het heelal op de zon nedervalt, zal bij dien val zich even snel bewegen als wanneer het met eene gelijkmatige versnelling, ongeveer 28 maal zoo groot als die waarmede hier op aarde een vallend lichaam zich beweegt,

een afstand doorliep gelijk aan de lengte van de straal der zon; de snelheid, waarmede het, zoo doende, op de zon zou aankomen, zou ongeveer 637 kilometers per sekonde bedragen. Een kilogram water, indien het van uit die verre streken des heelals op haar nederviel, zou bij dien val een warmte ontwikkelen voldoende om zijn eigen temperatuur millioenen graden te doen stijgen, terwijl de warmte, die zou worden opgewekt als aan de aarde zelve deze katastrophe overkwam, ongeveer gelijk zou zijn aan de hoeveelheid warmte-eenheden voortgebracht door de verbranding van zesduizend maal haar eigen gewicht aan steenkolen. Viel de aarde op de zon, dan zou haar bij den schok in warmte omgezet arbeidsvermogen van beweging voldoende zijn om te vergoeden wat de zon in 69 jaren aan warmte verloren had; met andere woorden, dit plotseling schijnbaar vernietigd arbeidsvermogen zou in staat zijn op de zon de energie der moleculaire trilling terug te brengen tot hetgeen zij voor 69 jaren was!

De vraag blijft nu echter nog te beantwoorden, of alle andere verschijnselen, die van de uiteengezette theorie een noodzakelijk gevolg zijn, ook bij de zon worden waargenomen; alleen toch twijfel aan het inderdaad bestaan van zooveel kosmische stof als noodig is om door zijn vallen op de zon de uitgestraalde warmte terug te geven, kan geen voldoenden grond zijn om die theorie te verwerpen. Evenmin vinden wij zulk een grond in de vermeerdering van omvang, die, als zij met den werkelijken loop der dingen overeenstemt, de zon voortdurend moet ondergaan. Zal toch het verlies voortdurend worden vergoed, dan moet er gemiddeld één kilogram stof per uur op de zon vallen; hetgeen, indien men aan die stof eene gemiddelde dichtheid toekent gelijk aan die van de aarde, daarop neerkomt, dat in een eeuw de zon met een laag van ongeveer 180 meters dikte zou zijn bedekt. Hare schijnbare middellijn zou dus evenveel in dien tijd toenemen; en schoon wij nu daarvan niets kunnen bemerken, mag dit niet als een bezwaar tegen de theorie worden aangevoerd, aangezien eene zoodanige toename in den tijd, die er tusschen de eerste eenigszins betrouwbare meting dier middellijn en thans is verloopen, buiten het bereik valt van onze fijnste instrumenten, ja zelfs verre binnen de grenzen van de waarschijnlijke fout ligt, die bij deze metingen werdt gemaakt. In twintig duizend jaren zelfs zou zulk

eene toename, uit de aarde gezien, aan den hemel slechts een boogje van ongeveer ééne sekonde onderspannen!

Er is echter door THOMSON een ander bezwaar opgeworpen, dat gegronden twijfel aan de houdbaarheid der theorie doet rijzen, en dat tevens aan elke andere, die de bron der zonnewarmte in vermeerdering van hare massa stelt, den pas afsnijdt. Dit bezwaar geldt dus niet de vermeerdering van haar volume, maar dat van hare massa. Zooals bekend is, ligt in de aantrekkende kracht, die de zon op de aarde uitoefent, de voorname oorzaak van de wijze, waarop deze om gene zich beweegt; en daar die kracht zelve van de massa der elkander aantrekkende lichamen afhankelijk is, kan het wel niet anders of men zou, indien de genoemde theorie met de werkelijkheid overeenkwam, eene met de toename van de massa der zon overeenkomstige verandering in den omloopstijd der aarde moeten opmerken. Want deze verandering zou niet, als die in volume, voor ons onmerkbaar zijn. THOMSON toonde aan, dat reeds in 2000 jaren de toename der zonnemassa met een kilogram per uur in den omloopstijd der aarde eene vertraging van een achtste gedeelte van haar bedrag zou teweeg brengen: een gevolg, dat met de werkelijkheid in regelrechten strijd is. Wel heeft men nog, om de theorie te redden, de kosmische stof willen plaatsen binnen de aardbaan, en den invloed van hare geleidelijke verplaatsing naar het centrum dier baan als van geen merkbaren invloed op den omloopstijd der aarde willen voorstellen; maar, alle andere bezwaren daargelaten, wordt eene hypothese, die een zoo buitengewone groote hoeveelheid stof binnen dat betrekkelijk klein bestek ophoopt, weersproken door den loop van alle die op gezette tijden terugkeerende kometen, wier banen gedeeltelijk binnen die van onze aarde zijn gelegen; van eenen tegenstand, dien zij bij hunne beweging door een zoo met stof bezaaide ruimte zouden moeten ondervinden, zijn de gevolgen tot nog toe onopgemerkt gebleven.

Tegenwerpingen van zoo groot gewicht als de zoo even genoemde, zijn niet te maken tegen eene theorie, die in dit opzicht met die van MAIJER overeenkomt, dat zij als deze in de werking der zwaartekracht de bron der zonnewarmte zoekt, maar daarentegen van deze in zooverre verschilt, dat het volgens haar niet het vallen van aan de zon vreemde kosmische stof is, maar dat van hare eigene steeds

naar het middelpunt zich bewegende materie, waaraan de verbazende ontwikkeling van warmte moet worden toegeschreven. Op deze wijze toch kunnen wij omschrijven, wat in de gewone taal inkrimpen zou genoemd worden; en als wij haar zoo omschrijven valt het in het oog, dat, waar het omzetting betreft van arbeidsvermogen in warmte, inkrimping en vrije val tot dezelfde resultaten moeten leiden, dat namelijk het eenige verschil in het plotselinge en afgebrokene van het laatste tegenover het langzame en voortdurende van het eerste proces ligt opgesloten.

Deze hypothese, naar HELMHOLTZ genoemd, vindt haren oorsprong in eene andere reeds voor bijna een eeuw door KANT en LAPLACE gestelde, die onder den naam van *nevelhypothese van* LAPLACE den lezers van *Kosmos* uit hare uiteenzetting door DR. HARTOG HEYS in hare bijzonderheden bekend kan zijn. In de hoofdzaak komt haar inhoud hierop neder. De zon met de haar omringende planeten vormden oorspronkelijk een gas- of nevelvormigen bol, die zich tot de uiterste grenzen van het planetenstelsel uitstrekte; als hemellichaam dus een nevelvlek van denzelfden aard als er thans nog een groot aantal aan den hemel zijn te vinden. Deze nevelvlek wentelde van het westen naar het oosten om een as, op dezelfde wijze als dit nog tegenwoordig alle planeten en de zon zelve doen, van welke laatste, zooals wij weten, ook de vlekken aan den westelijken rand zichtbaar worden om aan den oostelijken weder te verdwijnen. Ook in deze gasmassa had een voortdurende beweging naar haar centrum, een voortdurend vallen dus van de haar samenstellende stof plaats; en uit de omzetting van het op deze wijze steeds verminderend arbeidsvermogen ontstond eene hoeveelheid warmte, die haar een temperatuur van duizende millioenen graden moet hebben gegeven. Toch kon bij haar de temperatuur op deze wijze niet tot in het oneindige toenemen; want in het ijl, dat haar omgaf, straalde zij voortdurend warmte uit, zoodat hare oppervlakte langzamerhand dichter werd en haar volume afnam. Menigmaal moet, wanneer zoo voortdurend, door het zich samentrekken der stof rondom een centrum, de temperatuur steeg, en door uitstraling der gasmassa dus uitwendig voortdurend afkoelde, het evenwicht op hare oppervlakte zijn verbroken. Onder den evenaar, waar de snelheid der wentelende beweging en dus ook de kracht, waarmede de stof als het ware van

het middelpunt wordt weggeslingerd, haar maximum bereikt, had deze inkrimping de meest in het oog vallende gevolgen. Daar toch overtrof de oorspronkelijke snelheid van de punten harer oppervlakte die van de kleinere oppervlakte, welke de bol trachtte aan te nemen, steeds het eerst en het meest; en daar met die grootere snelheid ook een grooter streven overeenkomt om zich van het middelpunt te verwijderen, scheidden zich om dien evenaar ringen af, analoog met die, welke wij thans nog om de planeet *Saturnus* waarnemen. Maar ook deze ringen konden niet op den duur blijven bestaan; ook bij hen werd door dezelfde oorzaken het evenwicht voortdurend verbroken, zoodat hunne buitenste deelen niet met hunne binnenste tot een geheel konden verbonden blijven. De ringen vielen in stukken, wier stof zich wederom rondom een centrum verzamelde tot bollen; op dezelfde wijze als waarop men in de bekende proeven van PLATEAU, den ring, die zich vormt om een snel draaiende in een mengsel van alkohol en water in onverschillig evenwicht drijvende bol olie, bij het toenemen van de snelheid in enkele zich om het hoofdlichaam bewegende bolletjes splitsen ziet. Zóó was dan de eerste planeet geboren; zoo ontstonden in den loop van millioentallen jaren ook de overige, ook onze aarde, en zoo kromp de gloeiende massa in tot wat van haar thans nog is overbleven, de zon, die reeds in dichtheid het water verre overtreft.

Deze beschouwing heeft iets zoo buitengewoons phantastisch, dat wij bij het neêrschrijven daarvan gevoelen, hoeveel onwaarschijnlijks zij voor den lezer op het eerste gezicht hebben moet. Toch zou de vrees, dat zij, ingeleid door een denker als KANT, door een wiskundige als LAPLACE, aan de autoriteit dier namen haren ingang zou te danken hebben, ongegrond zijn. Vele omstandigheden pleiten voor haar. Inderdaad ook thans nog wordt een zeer groot aantal van zoodanige nevelvlekken aan den hemel aangetroffen, die men als planetenstelsels in staat van wording kan beschouwen, en ook bij deze worden verschijnselen waargenomen, die wijzen op eene regelmatige beweging om een as. Dan is het maar niet zoo aan het toeval toe te schrijven, dat alle planeten zich om de zon in dezelfde richting, uit haar gezien van de rechter- naar de linkerhand, bewegen. Deze omstandigheid wijst op de richting, waarin eens de nevelvlek draaide om hare as. Welnu, alle planeten en ook de zon zelve

wentelen thans om hare assen in de richting, waarin zij wentelen moeten, als zij zich hebben losgescheurd van één lichaam, dat zelf een omwenteling had overeenkomstig met die, welke thans nog de zon heeft. Indien men nagaat hoe groot de kans is, dat van een aantal lichamen, gelijk aan dat van de lichamen, die het planetenstelsel vormen, zoo maar willekeurig daarheen geworpen, elk in dezelfde richting om een van allen en daarenboven nog elk in dezelfde richting om zich zelf zou gaan draaien, dan is waarlijk die kans al zeer gering.

In welken toestand zich de verschillende grondstoffen, waaruit de aarde is opgebouwd, in die nevelvlek moesten bevinden? Wij weten, dat bij zeer hooge temperaturen de scheikundige verbindingen dier elementen verbroken worden. Terwijl, bij voorbeeld, waterstofgas en zuurstofgas zich eerst bij eene bepaalde temperatuurs-verhooging van hun mengsel tot water verbinden, scheiden zij zich weder uit die verbinding af, wanneer de temperatuur van waterdamp tot eene groote hoogte wordt opgevoerd. Zelfs bij het samenstellen van water uit zijne beide grondstoffen bemerkt men dit. De temperatuur van de vonk, die door het gasmengsel slaat, is voldoende voor de vorming van water. Maar bij deze vorming zelve ontwikkelt zich eensklaps zooveel warmte, dat oogenblikkelijk de temperatuur van het gasmengsel ver boven de voor de verbinding noodzakelijke stijgt; en wel zoover dat bij de verbranding van een volume zuurstof- en twee volumen waterstofgas slechts een volume van dit laatste werkelijk verbrandt en het andere ten gevolge der groote hitte onverbonden blijft. Daar nu de temperatuur der nevelvlek, waaruit volgens de hypothese het planetenstelsel door afkoeling zal ontstaan zijn, oorspronkelijk eenige honderd millioentallen graden moet hebben bedragen, zoo is het antwoord op de gestelde vraag spoedig gegeven. De verschillende grondstoffen moeten dan van elkander gescheiden, of, zooals men het noemt, in den toestand van dissociatie in haar zich hebben bevonden; en het eerste gevolg van de vooral bij die kleinere aanzienlijke afkoeling, die achtereenvolgens van het geheel zich afscheidden, moet dit geweest zijn, dat deze toestand ophield te bestaan. Zoo gingen de verschillende elementen langzamerhand met elkander scheikundige verbindingen aan, zoo ontstond de groote menigte van zelfstandigheden, waaruit thans het lichaam der aarde

niet alleen, maar ook alles is opgebouwd wat op hare oppervlakte leeft en zich beweegt.

Maar ook juist deze onderlinge verbinding der elementen moest de afkoeling vertragen. Want, al wederom, in de huishouding der natuur gaat niets te loor; wanneer alleen een hooge temperatuur de scheiding der elementen kan teweeg brengen, wanneer daaraan eene groote hoeveelheid warmte wordt besteed, dan zal, omgekeerd, als de daardoor verrichte arbeid wordt te niet gedaan en de scheiding wordt opgeheven, de verbruikte warmte weder onverminderd te voorschijn treden. Zoo is thans nog de loop der dingen op de zon; ontegenzeggelijk zullen in haar binnenste de elementen gescheiden zijn. Aan hare oppervlakte echter, waar de uitstraling temperatuursverlaging veroorzaakt, en vooral in haar omhulsel, de chromospheer, zal lichtelijk de temperatuur dalen tot een punt, waarbij, zoo al niet voor alle elementen dan toch voor sommige, de dissociatie voor verbinding plaats maakt: en het is niet onwaarschijnlijk dat vele van de geweldige omwentelingen, die wij in haar omhulsel hebben zien plaats grijpen, van dezen overgang voor een deel het gevolg zijn. Maar dan vinden wij ook in dien overgang een van de bronnen der vrije warmte, die zij uitstraalt, of, meer wetenschappelijk gesproken, een van de oorzaken der verhoogde energie van moleculaire trilling, die zij aan alle lichamen rondom haar mededeelt.

Of dit altijd zoo blijven zal? Onmogelijk. Want al blijft de gansche som der uitgestraalde warmte, in welk kleed zich die ook hulle, onveranderlijk dezelfde, bij de zon zelve moet de heftigheid van de trilling harer moleculen op den duur afnemen. Langzamerhand slechts; volgens eene berekening van HELMHOLTZ zal, als de verdichting van de stof, waaruit de zon bestaat, zoo ver toeneemt, dat de gemiddelde dichtheid van dat hemellichaam gelijk aan die der aarde wordt, de daardoor ontwikkelde warmte toereikende zijn om te voorzien in eene uitstraling van zeventien millioen jaren! En nog langer zal dit tijdperk zijn, als men niet alleen op de inkrimping let, maar ook de warmte in aanmerking neemt die bij de verbinding der elementen vrij wordt.

Maar hoe langzaam ook, daarom niet minder zeker wordt de zon uitgebluscht. En al scheiden ons ook millioenen jaren van dat kritieke oogenblik, toch voelen wij ons vreemd aangedaan bij de ge-

dachte aan zoodanig uiteinde der dagvorstin, aan zoodanig uiteinde ook van deze aarde.

"Waar gaan wij heen?" Naar de eeuwige, ijzige nacht. Ziet, lang reeds voor de bron van alle leven en beweging op aarde volkomen zal zijn opgedroogd, duizendtallen van jaren vroeger reeds, zal zij aan geen harer arme bewoners meer schenken kunnen, wat voor dat leven noodig is. En reeds wederom vele eeuwen vroeger zal men in de meest van haar evenaar verwijderde streken daarvan kondschap erlangen. Terwijl de fauna en de flora over hare gansche oppervlakte hoe langer zoo armer worden, zullen langzamerhand en als op de hielen gevolgd door den steeds verder zich om de polen uitstrekkenden cirkel van eeuwig ijs, de laatste bewoners der aarde optrekken naar den evenaar. En terwijl zoo hunne opeenhooping toeneemt, zal, bij het voortdurend armer worden van de plantenwereld, de voor hun onderhoud noodzakelijke voorraad voedsel afnemen; tot, in de laatsten der dagen, het laatste geslacht der menschenkinderen in koude en gebrek zal zijn ten onder gegaan. Treurig uiteinde voorwaar, na zooveel werken en zooveel lijden, millioenen jaren lang!

En zoo wentelt dan verder in eeuwige nacht en doodsche stilte, alleen door het sterrenheir bestraald, onze eens zoo woelige aarde met hare zusters, de planeten, om een doode zon; tot... ja, tot eenmaal misschien een hevige botsing met een der andere hemellichamen haar uit dien doodslaap wekt, het bij dien schok in warmte omgezette arbeidsvermogen de temperatuur genoeg verhoogt om de verbonden elementen te scheiden, het geheele planetensel weder in een bol van gloeiend gas te veranderen en zoodoende het gansche spel weder van voren af aan te doen beginnen! Of het de moeite waard zal zijn?...

~~c 29~~
b. 6407.