

DE SPECTRAAL-ANALYSE,

INZONDERHEID IN HARE

TOEPASSING OP DE HEMELLIGCHAMEN;

DOOR

P. ANGELO SECCHI.

Het volgende opstel bevat den hoofdzakelijken inhoud eener voorlezing, gehouden door Pater SECCHI, den bekenden directeur van het observatorium te Rome, die zelf een belangrijk aandeel heeft gehad in de daarin vermelde ontdekkingen.

Daar dit onderwerp in het Album nog niet in zijn geheel behandeld is, al zijn ook in het Bijblad de gewigtigste ontdekkingen door de spectraal-analyse telkens vermeld geworden, zoo meenen wij aan onze lezers geen ondienst te doen met de vertaling dezer voorlezing, bewerkt naar die, welke onlangs door ALFRED GAUTIER gegeven is in de *Bibliothèque universelle de Genève*, *Archives* No. 91, p. 145. Hg.

Niettegenstaande de hooge vlugt door de sterrekundige wetenschap van den nieuweren tijd genomen, en de bewondering allezins teregt aan hare vorderingen bewezen, kon zij tot heden toe zich niet beroemen iets anders te hebben erkend, dan de wetten, volgens welke de hemelligchamen zich bewegen. Het bepalen van hunnen loop, massa en onderlingen afstand waren, tot den tegenwoordigen tijd toe, de eenige nalatenschap en tevens het eenige streven geweest der sterrekunde. Zij beoogde geen ander doel en heeft het ook op uitstekende wijze bereikt.

Dit evenwel was niet alles. Om tot de kennis te geraken van het

heelal, was het van niet minder belang, zoowel de natuur te leeren kennen dier groote boven ons hoofd wentelende lichamen, als zekerheid te verkrijgen aangaande de stoffen, waaruit zij zijn zamengesteld. Maar de weg om hiertoe te geraken scheen tot nu toe geheel en al gesloten, en men moest zijne onwetendheid bekennen aangaande de stof, waaruit de sterren bestaan, aangaande de bestanddeelen, die den dampkring vormen der planeten, en aangaande de oorzaak, die het zonneligchaam tot het verlichten van zoovele bollen in staat stelt.

Een nieuwe ontdekking heeft een nieuwen weg geopend, die er eenmaal toe zal leiden om volkomen bekend te worden met de physische natuur der sterren en met den aard der stoffen, waaruit zij zijn zamengesteld. Deze ontdekking, die men aan de heeren KIRCHHOFF en BUNSEN is verschuldigd, is de spectraal-analyse.

Het gronddenkbeeld hunner uitvinding bestaat daarin: dat men uit het licht, dat eene stof bij hare verbranding uitstraalt, besluit tot den aard harer zelfstandigheid. Om er een begrip van te geven, zal ik mij bedienen van eene wel bekende en voor het doel zeer geschikte vergelijking. Wij verbazen ons over al de wonderen door vervaardigers van kunstvuurwerken ten toon gesteld, en zijn, ook met een slechts weinig geoefend oog, bij magte, om de gebezigde stoffen te herkennen uit de kleur der verschillende vonken. Het rood komt voort van het strontiaan, het groen van het barium, het blaauw van het koper, het wit van arsenicum of antimonium, het geel van ijzer of van sodium.

Dezelfde methode nu, op eene juiste wijze toegepast, kan dienen voor alle soorten van licht, uitgestraald door verschillende stoffen.

De handelwijze door de natuurkundigen gevolgd om geheele zekerheid te verkrijgen, wanneer slechts sporen van zulke stoffen voorhanden zijn, bestaat in het gebruik van den spectrocoop. Dit werktuig is zamengesteld uit één of meer prisma's van zeer zuiver glas, door welke men, met behulp van een kijker, een dunnen lichtstraal beschouwt, die door een zeer naauwe spleet dringt. Gemakkelijker nog is de waarneming, als deze spleet zich bevindt in het hoofdbrandpunt van een tweede objectief, waardoor dus een tweede kijker wordt daargesteld.

De oorsprong van dit werktuig klimt op tot FRAUNHOFER, die er, in het jaar 1822, gebruik van maakte tot het ontleden van verschil-

lende soorten van licht, en op deze wijze in het zonnenspectrum zwarte strepen ontdekte, naar hem de FRAUNHOFERSCHE strepen genoemd. Hij duidde deze aan door de letters van het alphabet. Zijne handelwijze was evenwel omslagtig, daar eene kamer er geheel en al voor moest worden ingerigt, en werd zeer verbeterd door den hoogleeraar ZANTE-DESCHU, die het prisma plaatste tusschen twee objectieven, terwijl de spleet zich bevond in het brandpunt van het eene en het beeld gevormd werd in dat van het andere prisma. In lateren tijd zijn aan den toestel nog verschillende verbeteringen aangebragt, die bestemd zijn tot het meten van de grootte der strepen en de door haar ingenomen plaats.

Welk licht men ook door dit werktuig late vallen, de stralen worden er oneindig beter door ontleed, dan dit het geval zoude zijn door het enkele prisma van NEWTON; de fijnheid en scherpte der lichtstrook zijn er inderdaad verrassend bij. Het beeld der spleet wordt er in vergroot naar gelang van de veranderlijke breekbaarheid van den lichtstraal, of volgens de veranderlijke lengte der lichtgolf, waaruit hij is zamengesteld. De gekleurde streep, aldus ontstaan, neemt in het gezigtveld eene bepaalde plaats in, die voor dezelfde stof standvastig blijft en lichtgevend is onder dezelfde omstandigheden. Zijn evenwel die stoffen verschillend, dan veranderen ook de strepen, terwijl deze ook bij verschillende warmtegraden onderscheiden zijn. Brengt men b. v. een weinig gewoon keukenzout in eene alcoholvlam, dan ziet men in den spectroscop een schitterend gele streep, die kenmerkend is voor het sodium, terwijl daarentegen alle andere kleuren ontbreken. Brengt men er een lithiumzout in, dan verkrijgt men eene enkele rood-achtige streep; thallium geeft een zuiver groene, enz.

Zulke vlammen noemt men éénkleurig of monochromatisch. Hare kenmerken zijn zoo standvastig, dat verscheidene nieuwe metalen, zooals het thallium, caesium, rubidium, indium, enz. ontdekt zijn, door middel van nieuwe, voorheen onbekende strepen, die door hunne verbranding in den spectroscop te voorschijn traden. Sommige stoffen leveren meer dan eene streep op. Strontiaan vertoont een prachtige roode groep, met een streep van levendig blaauw; koper een roode, groene en schitterend violette. Boorzuur geeft verscheidene groene en blaauwe strepen en ééne oranje. Reeds met het bloote oog kan men het aanwezig zijn van deze kleuren in deze gekleurde vlammen waar-

nemen. Men kan deze spectra regstreeks zien, door het metaal te verbranden, zooals dat plaats grijpt bij de verbranding van magnesium, dat tegenwoordig zoo veelvuldig gebezigd wordt bij het vervaardigen van photographiën. Wil men evenwel het licht het fraaist en het gemakkelijkst zien, dan moet men gebruik maken van de elektrische vonk, door haar uit verschillende metalen te trekken, waardoor verschijnselen in het leven worden geroepen van hoogst verrassenden aard, die ik hier evenwel niet verder beschrijven kan. Ik merk enkel aan, dat deze spectra, in plaats van, om mij zoo uit te drukken, aaneengesloten te zijn, zooals zulks bij het zonnenspectrum het geval is, gevormd worden door lichtgevende strooken, door verschillende donkere tusschenruimten gescheiden, en dat de aard der lichtende strepen afhangt van de gebezigde stoffen. Het magnesium brengt drie prachtige groepen voort, de eene rood, de andere blaauw en de derde groen. Het koper heeft een groene, een roode en verscheidene violette strepen, enz.

De toepassing op de sterrekunde van deze ontdekking ligt voor de hand, daar men uit den verschillenden aard van het licht der sterren zich een denkbeeld kan vormen van de haar samenstellende grondstoffen.

Een eerste feit, dat geen twijfel meer overlaat, is, dat zuiver gloeiende lichamen in vasten, vloeibaren of in meer of min verdund staat geene afgebrokene lichtstrepen geven, maar een onafgebroken spectrum. Alzoo vertoonen kool en metalen, in gloeienden staat, geene donkere strepen. De vlam van een gas of van olie geeft een onafgebroken spectrum, daar haar licht voortspruit uit de eenvoudige gloeiing van vervluchtigde kooldeeltjes.

Een tweede belangrijk feit is, dat deze strepen overal daar ontstaan, waar binnen in eene stof eene ware scheikundige verbinding plaats grijpt. Het blaauwachtige licht b. v., dat zich vertoont aan het beneden-gedeelte eener kaarsvlam, wordt door den spectroscop ontleed in groepen van duidelijk te onderscheidene lijnen, naardemaal aldaar de hevigste verbranding plaats vindt, en ook aldaar bevinden zich de strepen van het kooloxyde. Bij eene kaars, waarvan de pit van katoen is, en bij de vlam van gewoon hout verkrijgt men de strepen van het sodium, daar dit metaal zich oxydeert, om deel uit te maken van de asch.

Eene derde zaak, die opmerking verdient, is: dat, naarmate de dampen en gassen verschillen, zij ook verschillende lichtstralen opslorpen. Men

kan op deze wijze donkere strepen verkrijgen in een onafgebroken spectrum, wanneer het licht door zekere stoffen heendringt, zooals b. v. door dampen van jodium en van salpeterigzuur.

Eindelijk, heeft men bevonden, dat eene gegevene stof dezelfde stralen opslorpt, die zij zou uitstralen, wanneer zij in lichtenden staat was. Het sodium b. v., dat een zeer kenmerkend geel licht verspreidt, slorpt, wanneer het in dampvorm gebragt en tusschen de lichtbron en het prisma geplaatst is, diezelfde stralen op en veroorzaakt in het spectrum een donkere streep. Dit feit, waargenomen door FOUCAULT bij het elektrisch licht, met de lamp van chloorsodium, is de oorsprong geweest van de zoogenaamde omkeering der spectra, die voor de sterrekunde zulke vruchtbare gevolgen heeft gehad.

De oorzaak van al deze verschijnselen ligt voor de hand, volgens de nieuwere theorie der warmte. Ieder warm ligchaam is een trillend ligchaam, dat golvingen veroorzaakt in den omringenden ether, en deze zijn van verschillende lengte, naar gelang van den tijd, dien de ether behoeft tot het maken zijner slingeringen. Deze tijd hangt af van de massa der slingerende moleculen en van de drukking, die de ether ondervindt. De vaste of vloeibare lichamen, eenvoudig in gloeienden staat verkeerende, zijn onderhevig aan moleculaire werkingen, die een verband daarstellen tusschen hare bewegingen en er dus de trillingen van verhinderen; evenals geluidgevende lichamen, waarvan de trillingen belet worden door nabijzijnde hinderpalen, in plaats van overeenstemmende toonen, geluiden voortbrengen, die zamengesteld zijn uit verscheidene klanken van al de gelijktijdige toonen. Maar wanneer de molecule van hare banden bevrijd is, zooals steeds de slotsom is bij scheikundige verbindingen, trilt zij geheel vrij, uit haar zelve en brengt regelmatige golven voort van eene bepaalde lengte, naar gelang van de massa en de drukking der middenstof, die haar omringt. Om deze reden geven alle stoffen, in den staat van verbinding, bepaalde spectra van een klein aantal strepen. HENRICH heeft inderdaad gevonden, dat zulke groepen van strepen, door verschillende stoffen te voorschijn geroepen, steeds gevormd worden door golven, zoodanig, dat de volgende op zeer eenvoudige wijze een meervoud is der voorafgaande, het dubbele daarvan, het driebubbele, enz.; evenals in de leer van het geluid de overeenstemmende, gelijktijdige toonen van een klinkend ligchaam, behalve den hoofdtoon, nog de terts, de quint en den octaaf bevatten.

De opslorping der stoffen, volgens zekere keuze, hangt mede van dezelfde eigenschap af. Daar ieder van haar trilt volgens eene wijze en een toon, die haar eigen zijn, volgt daaruit, dat zij slechts de gemakkelijk met haar overeenstemmende beweging zal verkrijgen, evenals zulks 'geschiedt bij eene rij snaren, zoodanig gespannen, dat zij verschillende toonen van eene harp of eene piano weergeven, die aan een vreemden toon slechts dan beantwoorden, wanneer hij in overeenstemming is met de trilling, die haar in beweging brengt. Maar terwijl zij zich in beweging zetten, verbruiken zij de levende kracht der omgevende middenstof, die aldus tot rust komt; in het geval, dat wij thans beschouwen, doet zich hetzelfde voor bij de beweging van den ether, die de lichtstralen opslorpt, welke dezelfde lichamen zouden uitzenden, wanneer deze in den toestand van trilling waren.

De wetten dezer opslorping zijn bij een onderzoek der hemelligchamen van groot belang, daar de dampkring, die onze aarde omgeeft, het vermogen bezit deze stralen op te slorpen, en het is met de vermelding daarvan, dat wij moeten aanvangen. Eene, zelfs oppervlakkige, waarneming doet ons inzien, dat het zonnenspectrum verschilt naar gelang van den stand, dien de zon in betrekking tot den horizon inneemt. In den spectroscop wordt dat onderscheid hoofdzakelijk bemerkbaar, doordat, wanneer de zon dicht aan den horizon geplaatst schijnt, verscheidene strepen, die bij hooger en zonnestand ter naauwernood zichtbaar of zeer dun zijn, merkbaar worden verbreed, terwijl alsdan tevens eenige strepen gevormd worden, die vroeger niet zichtbaar waren. Dergelijke strepen vermenigvuldigen zich zoodanig in sommige gedeelten van het rood, geel en groen, dat zij ware zwarte banden voortbrengen, die licht waarneembaar zijn. Gedeeltelijk zijn deze strepen afkomstig van de gassen, die onzen dampkring zamenstellen, maar vooral van den in de lucht zich bevindenden waterdamp. Op vochtige en mistige dagen en als het regent, verschijnen deze banden bij eenen hooger stand der zon, dan in heldere dagen, en steeds vertoonen zij zich gedurende den ganschen dag in mistige zomers.

Het onderzoek van onzen dampkring geeft ons den weg aan, dien wij moeten volgen bij dat der andere planeten. De uitkomsten van dat onderzoek zijn voor ieder van haar verschillend. Venus en Mars vertoonen sporen van opslorping, evenals de aarde, en geven in het spectrum strepen in het rood en geel gedeelte. Aan de randen hunner

schijven zijn deze strepen sterker dan aan hun middelste gedeelte en daaruit besluit men, dat zij in het bezit zijn van een dampkring. De opslorping is zeer groot voor Jupiter en Saturnus. De grootste opslorpende kracht heeft voor Jupiter plaats in het rood en in het geel; donkere banden zijn nog waarneembaar in het groen en vooral aan de randen. De roode banden stemmen niet juist overeen met de meest waarneembare in het zonnespectrum; die daar nog het meest toe nadert, is degene, die aangeduid wordt door de letter C^s, die de zon ons het sterkst vertoont bij een bewolkten hemel. Daaruit vloeit voort, dat deze planeet een digten dampkring bezit, die voor een gedeelte van den onzen verschilt, en waarin waarschijnlijk waterdamp de bovenhand heeft. Sprekender nog is de zaak bij Saturnus, en er bestaat een aanmerkelijk verschil tusschen den ring en het ligchaam dezer planeet.

De maan vertoont ons geene andere dan de zonnestrepen, waardoor de meening bevestigd wordt, ook reeds op andere gronden verkregen, dat zij geen dampkring heeft, die genoeg digtheid bezit om waargenomen te kunnen worden.

De onderzoekingen betrekkelijk de zon stelden een uitgebreid veld daar, moeilijk te bearbeiten, dat de zego moest wezen der wetenschap. Het zonnespectrum vertoont ons inderdaad eene groote verscheidenheid van lichtende en donkere stralen, en men moest eerst bepalen: 1) aan welke scheikundige, ons bekende stof iedere streep beantwoordt; 2) of wij tot de aanwezigheid dezer stoffen in de zon moeten besluiten uit de lichtende strepen, zooals wij dit doen bij vlammen en de elektrische vonk, of uit de donkere strepen, zooals dit het geval is bij de planeten.

KIRCHHOFF heeft het eerste gedeelte van dit onderzoek begonnen en het tot eene aanmerkelijke hoogte gebragt. Hij heeft de wetenschap verrijkt met eene verrassende tabel, waar alle de lichtende en donkere strepen der zon op zijn aangewezen, evenals die der meest bekende enkelvoudige lichamen; een onmetelijke arbeid, die den vervaardiger bijna op het verlies van zijn gezigt te staan kwam. Hij heeft er 14000 geteld, maar er bestaan veel meer, en naarmate de werktuigen beter worden, neemt ook haar aantal toe, even als dit met de sterren in de sterregroepen het geval is. Zoo meende men aanvankelijk b. v., dat de streep D enkelvoudig was, daarna dubbel, drie-, vijfvoudig, en in waarheid is zij zamengesteld uit 9 strepen, waarvan 7 gelegen zijn tusschen de beide voornaamste. Deze strepen te toetsen aan die der grondstoffen

is een ontzaggelijk werk, dat niet gemakkelijk zal uitgeput worden, daar niet alle aan ons bekend zijn, en men daarenboven heeft uitgemaakt, dat verscheidene verbindingen dikwijls strepen geven, die verschillend zijn van die der samenstellende lichamen. Het blijkt daaruit, dat men hier een zeer uitgebreid veld van onderzoek voor zich heeft.

Dit alles evenwel is slechts een voorbereidende arbeid, betrekking hebbende op de natuur der zon; het tweede bovengenoemde punt moet nog uitgemaakt worden. Andere ontdekkingen, ten opzichte van het zonneligchaam gedaan, veroorloven ons evenwel gelukkiglijk dit vraagstuk voor het grootste gedeelte op te lossen. Zij hebben ons aange-toond, dat de zon omgeven is door eenen uitgebreiden dampkring, waarvan de hoogte gelijk staat met tien- of twaalfmaal de middellijn des aardbols. Deze dampkring heeft natuurlijk een zeer sterk opslorpend vermogen, en dit wordt bewezen door de sterke vermindering van warmte en licht, die er bestaat tusschen het middelpunt en de randen der schijf. Het is diensvolgens zeker, dat wij ons niet zullen bedriegen, wanneer wij de opslorping aannemen als kenmerk voor de aanwezigige stoffen.

In de tweede plaats bestaat de lichtende zonnedampkring voorzeker uit eene beweegbare stof, aan die onzer wolken meer of min beantwoordende, die gevormd worden door uit blaasjes bestaande dampen en kleine ijsdeeltjes, die, in waarheid zeer kleine, vaste en vloeibare ligchaampjes zijnde, de eigenschap bezitten *alle* stralen op te nemen en een onafgebroken spectrum te vormen. De afbreking van het zonnespectrum kan dus bijgevolg alleen afkomstig zijn door de opslorping van den dampkring der zon.

Daar, ten gevolge van den hoogen warmtegraad, tot zelfs de meest weerstandbiedende lichamen zich van de oppervlakte trachten te verheffen in den veerkrachtigen of ontbonden toestand, moeten wij verwachten op de zon eene grooté hoeveelheid stoffen, die hier beneden vast zijn, en wel voornamelijk de metalen, in dampvormigen toestand aan te treffen.

Uit het boven vastgestelde vloeit voort, dat men de aanwezigheid eener dampvormige zelfstandigheid in den zonnedampkring kan erkennen aan de zwarte streep, welke zij voortbrengt, en die overeenstemt met de lichtende streep in het spectrum, wanneer men haar in bran-

denden staat waarneemt. Op deze wijze kan men in de zon de aanwezigheid van sodium aantoonen, daar aan de dubbele gele streep, die dit metaal in gesmolten toestand aangeeft, door den spectroscop gezien, eene dubbele zwarte, terzelfder plaatse, op de zon beantwoordt, waarvan men zich door de randen der beide spectra met elkander in aanraking te brengen kan overtuigen. Op gelijke wijze heeft men kunnen vaststellen, dat de zonnedampkring dampen bevat van verscheidene op aarde aanwezige stoffen, zooals ijzer, koper, magnesium, zink, kobalt, barium, chromium, waterstof, stikstof, enz. Wat het ijzer betreft, daarvan stemmen niet minder dan 60 strepen met even zoovele zonnestrepen overeen, en bij gevolg is er volgens KIRCHHOFF eene waarschijnlijkheid van een trilioen tegen één, dat dit metaal in den zonnedampkring in dampvormigen toestand aanwezig is. Voor zoover mij bekend is, heeft men tot heden toe geene sporen gevonden van goud, zilver, silicium, kwikzilver, aluminium, arsenicum, enz. in zuiveren staat; als verbindingen evenwel kunnen deze metalen toch aanwezig zijn.

Deze ontdekking is van onmetelijk belang voor de algemeene theorie van de stofverdeeling in het heelal, daar zij doet zien, dat een groot gedeelte der grondstoffen, die wij op onze planeet kennen, zich ook bevinden op het ligchaam, dat het middelpunt van ons zonnestelsel inneemt. Hoewel zij nog bij lange niet uitgeput is, stelt zij toch een merkwaardig tijdperk daar in de wetenschap, daar wij tot heden toe geen middel bezaten de scheikundige natuur van eenig hemelligchaam te leeren kennen. De eenige aanwijzing van dien aard, waardoor wij konden oordeelen over de gelijkaardigheid der stof in de schepping, was afkomstig van die kleine hemelligchamen, die soms uit de wereldruimte op onze aarde neervallen en de meteorieten vormen, waarin men ijzer, nikkel, kool, silicium, enz. herkend heeft.

De zwarte strepen van het zonnenspectrum vinden niet alle hare overeenstemmende lichtende strepen in de ons bekende ligchamen, en dit kan geene verwondering baren. Wij kennen toch voorzeker nog niet alle grondstoffen onzer aarde, en men kan niet beweren, dat zij alle er zich bevinden. Verscheidene zullen dus onbekend blijven. Hare herkenning zal misschien eenmaal plaats hebben, en zal voor de scheikundigen een prikkel wezen om naar nieuwe stoffen te zoeken. Wanneer men overweegt, welke fijne uitkomsten het gebruik van den

spectroscoop geeft, eene fijnheid zoo groot, dat, volgens KIRCHHOFF, één milligram soda, opgelost en vervluchtigd in eene kamer van 100 ellen in den omtrek, voldoende is om al de vlammen, die men er aansteekt, te kleuren, zal men zich niet verwonderen, dat zoovele lichamen, die aan de behendigheid der scheikundigen waren ontsnapt, door dit middel zijn ontdekt en dat men er nog nieuwe bij vindt.

Toen het zonlicht ontleed was, begon men natuurlijk er aan te denken ook het licht der sterren te onderzoeken, en hiermede is reeds een aanvang gemaakt door FRAUENHOFER. De zwakheid van het licht der sterren eischte evenwel geheel andere hulpmiddelen. FRAUENHOFER heeft ten dien aanzien eenige proeven gedaan, doch de volmaking der methode is men verschuldigd aan DONATI, te Florence. De vermaarde opticus G. B. AMICI, die onlangs aan Italië ontvallen is, heeft ons een prisma geleverd, dat bij deze onderzoekingen zeer gemakkelijk te gebruiken is, en dat de oorsprong geweest is van een werktuig van zeer kleine afmeting, maar voor deze nasporingen uitermate geschikt.

✓ Dit prisma bestaat uit vijf verschillende stukken glas en is het tegenovergestelde van het achromatische prisma, dat het licht breekt zonder het te verstrooijen, terwijl door het nieuwe prisma de stralen verstrooid, doch niet gebroken worden. De opticus HOFFMANN, te Parijs, heeft er partij van getrokken om aldus een zeer eenvoudig werktuig samen te stellen, dat ik sinds twee jaren toegepast heb bij den grooten kijker van ons observatorium, en dat nog voorzien is van verschillende kleine, voor zijn gebruik benoodigde toestellen.

Maar, naar men kan veronderstellen, was ik niet de eenige, die zich met een zoo belangrijk en uitgestrekt onderzoek bezig hield; anderen, van betere hulpmiddelen voorzien, hebben mij voor kunnen gaan, en het zijn zoowel hunne als mijne nasporingen, waarvan ik thans verslag ga geven.

Om den aard eener stof, die zich in eene ster bevindt, te herkennen, brengt men in het gezigtveld van den kijker, nevens het sterrelicht, een licht van bekenden oorsprong, zooals b. v. eene vlam, waarin die stof brandt, zooals zulks in den aanvang door mij gedaan is, of wel de elektrische vonk, voortgebracht door eenen inductie-toestel van RUMKORFF, zooals geschied is door HIGGINS en MILLER. Om dit licht op zoodanige wijze in te brengen, dat de beelden vallen op de overeen-

komstige deelen, die gelijk zijn ten opzichte van den graad van breekbaarheid, zoowel der ster als van het kunstlicht, stelt men voor het midden van eene naauwe in de lengte gemaakte spleet een zeer kleinen hellenden spiegel, die op deze spleet het zijdelings geplaatste licht weerkaatst. In verscheidene gevallen is het verkiesselijker een reeds gereed gemaakte schaal te hebben, die de plaatsgesteldheid der zonnestralen in het werktuig aangeeft; des nachts kan men haar bepalen door middel van het spectrum der maan. Wanneer men naar gelang der verschillende omstandigheden den een of anderen weg heeft ingeslagen, kan men met zekerheid de donkere of lichtende streep eener ster of van eenig ander hemelligchaam bepalen. Het spreekt van zelf, dat de kijker van een uurwerk moet voorzien zijn, die hem beweegbaar maakt en in staat stelt de ster te volgen, want zonder dat kan men niets uitrigten. Men kan deze onderzoekingen dus slechts ten uitvoer brengen in die observatoriën, die voorzien zijn van een grooten aequatoriaal opgestellten kijker. Om een denkbeeld te geven van de naauwkeurigheid, die de kijker in zijne bewegingen moet bezitten, doe ik opmerken, dat de spleet ten hoogste een tiende van een streep breedte heeft, en dat het in deze ruimte is, dat het beeld eener ster gedurende een zeker tijdsverloop juist moet blijven, zonder hetwelk men er geene naauwkeurige maat van zou kunnen nemen.

De waarneming der sterren met dit werktuig heeft tot gevolgen geleid van nog onverwachter aard dan bij de zon het geval was. Opdat er eenige orde zij bij het behandelen dezer overvloedige stof, en daar het mijn streven is in weinige woorden den uitslag van talrijke onderzoekingen mede te deelen, zal ik de sterren in twee klassen verdeelen, de witte en de gekleurde.

De witte sterren, zooals Sirius, α van de Lier en den Arend, Rigel, enz., hebben een bijna onafgebroken spectrum, alleen door uiterst kleine strepen gegroefd en op sommige punten de opmerkelijke bijzonderheid aanbiedende, dat er groote zwarte ruimten op zijn; Sirius heeft er twee groote en een derde kleinere, op het eerste gezigt schijnen zij zwarte, in het gezichtsveld gespannen draden te zijn en de voornaamste stemt overeen met de zonnestreep F. Deze streep wordt waargenomen in alle tot heden toe onderzochte witte sterren. In het geval van α van de Lier is het eene ware tusschenruimte, die het spectrum in twee deelen splitst. Deze streep behoort aan de waterstof en bewijst haar bestaan op die sterren. De streep

van het sodium is moeilijker te herkennen, maar zij bevindt zich in Sirius, evenals in een groot aantal der voornaamste sterren, en men kan ook in de kleine hare aanwezigheid veronderstellen. In sommige heeft men het ijzer en magnesium herkend.

De verschijnselen, die zich voordoen bij de gekleurde sterren, zijn van verschillenden en zonderlingen aard. De spectra van sommige sterren, zooals α van Orion, β van Pegasus, Antares en Aldebaran, zijn bij lange na niet, zooals die der anderen, onafgebroken, maar integendeel vol tusschenruimten. Door groote, donkere banden zijn zij hier en daar afgebroken; groepsgewijze onderscheidt men er levendig schitterende strepen, die, bij eene oppervlakkige beschouwing, overeen schijnen te stemmen met het licht van gewone elektrische vonken, of met het zonnespectrum, gegaan door een opslorpend gas, zooals jodiumdamp of salpeterigzuur.

Bij α van Orion (Betelgeuse) telt men 8 groote en 4 kleine strepen; men telt er 5 in Aldebaran en 4 in Antares. De geelachtige sterren, zooals Pollux en Procyon, hebben sterker sprekende, maar overigens op die van de zon gelijkende strepen. De levendigst gekleurde sterren zijn voor het meerendeel zeer klein, waaruit de moeilijkheid voortvloeit van de ontdekking der samenstelling harer spectra; men heeft evenwel bij verscheidene van haar complementaire kleuren waargenomen, en tot heden toe is geene enkele van haar gebleken monochromatisch te zijn.

Deze veelvoudige strepen toonen aan, dat de dampkring dier zonnen veel opslorpend is dan de onze, maar dat zij verscheidene derzelfde grondstoffen bevatten. Men heeft de aanwezigheid van ijzer, magnesium en van thallium bewezen in α Orion. De groene streep van het magnesium beantwoordt in deze ster aan een zeer merkbare donkere streep, en met de roode streep is dit nog sterker het geval; de violette streep valt op een zeer zwak gedeelte van het sterrenspectrum, maar zij kan ook ontbreken. Merkwaardig genoeg schijnt de waterstof op deze ster niet te bestaan, daar de streep F ontbreekt of bij uitstek zwak is, en dit gas daarentegen in de witte sterren overvloedig is. Deze ster α Orion is de eerste, die ik onderzocht heb, en haar spectrum scheen mij als dat der elektrische vonk, of als het zonlicht, gezien na zijn doorgang door salpeterigzuur. De lichtende banden der ster zijn alle ontleedbaar in afzonderlijke strepen.

Men kan zich van dit spectrum ook een denkbeeld vormen, door eene alcoholvlam te beschouwen, waarin boriumzuur is opgelost; de donkere stralen zijn lichtend en wederkeerig; de 4 eerste banden aldus omgekeerd vereenigen zich naauwkeurig, daarentegen de andere niet. De ster β Pegasus is, wat kleur en spectrum betreft, bijna gelijk aan α Orion.

De nevelvlekken hebben ons een onverdacht verschijnsel aangeboden en aan dat, hetwelk de sterren opleveren, geheel tegenovergesteld.

Men kan deze hemelligchamen in twee groepen verdeelen: de in sterregroepen oplosbare en de niet oplosbare. De zoogenaamde planetaire nevelvlekken nemen onder de niet oplosbare de eerste plaats in; zij hebben een vrij groote middellijn, evenals de schijf eener planeet zeer duidelijk eindigende; zij zijn rond of eivormig, maar overigens tot heden toe ten opzichte harer natuur zoo goed als geheel onbekend. Door den spectrometer is onverwachts dit raadsel opgelost.

Alle voor ontbinding vatbare nevelvlekken vertoonen een sterren-spectrum, dat wil zeggen, een dat onafgebroken is, of ten hoogste hier en daar met een geringe afbreking. Het grootste gedeelte der niet oplosbare vormt een niet verspreid spectrum, maar slechts twee of drie fijne, lichtende, zuiver eindigende strepen, evenals de elektrische vonken, waarin haar geheele licht zich ophoopt. Voor de planetaire nevelvlekken is dit vastgesteld door HIGGINS, terwijl ik het evenzeer bewaarheid heb gevonden voor de nevelvlek van Orion. Het sterke licht dezer groote nevelvlek, in de deelen waar zich geene sterren bevinden, vertoont in het gansche spectrum slechts drie lichtende strepen. De eerste is levendig groen; vlak bij haar bevindt zich eene andere, zeer fijne, van zuiver groen; de derde is blaauw en bevindt zich op op de streep F, die in de zon en de witte sterren donker is. Ten opzichte van de plaats, die zij innemen, stemmen de twee uiterste strepen overeen met die, welke HIGGINS in de planetaire nevelvlekken heeft aangewezen; die in het midden schijnt een weinig verschillend. Men kan het verschil der beide spectra duidelijk zien in die deelen der nevelvlek van Orion, waar zich eene menigte sterren bevinden. Het licht der sterren van het trapezium doet een spectrum als dat der sterren ontstaan, en dat van de nevelvlek daarboven geplaatst, evenals hare afzonderlijke strepen, zijn zóó levendig, dat zij zich ook vertoonen op het sterrenspectrum, in den vorm van lichtende banden, welker licht

zoo schitterend is, dat zij eene sterkere vergrooting verdraagt dan de sterren. - De nevelvlek van Andromeda vertoont daarmede niets overeenkomstigs en schijnt van een anderen aard te zijn.

Dit feit, van de theoretische zijde beschouwd, is van een ongemeen belang, daar het bewijst, dat de nevelvlekken van een geheel anderen physischen aard zijn, dan de sterren. Terwijl deze op onze zon gelijken, die in gloeienden staat verkeert en naar alle zijden stralen van allerlei aard uitzendt, waarvan slechts een zeker gedeelte door haren dampkring wordt opgeslorpt, zijn de nevelvlekken daarentegen in een toestand van eenvoudige scheikundige verbinding, zooals onze vlammen en elektrische vonken, en zenden zij alleenlijk stralen uit van ééne of eenige weinige soorten. De planetaire nevelvlekken gelijken veel op die opmerkelijke, geheel en al afwijkende, nevelvlek, waarvan OTTO STRUVE de veranderlijkheid van den vorm heeft bewezen, ook door haar uit de teekeningen af te leiden, die wij voor vijf jaren vervaardigd hebben. De het dichtst bij de waarheid komende voorstelling, die wij ons van deze eigenaardige lichamen kunnen vormen, bestaat misschien daarin, dat de sterren reeds gevormde zonnen zijn, en dat de niet oplosbare nevelvlekken uit eene gasachtige zelfstandigheid bestaan, die waarschijnlijk bestemd is tot het vormen van andere zonnen, maar waarin waarschijnlijk nog geene eenigzins aanmerkelijke vaste, vloeibare of fijne kristallijne massa voorhanden is, daar men in dat geval er stralen in moest zien van allerhanden aard, terwijl men er slechts een zeer klein aantal van bemerkt.

Wij vermogen dus, met des te grootere gemakkelijheid, den aard der stralende stof bepalen, volgens de door de strepen ingenomen plaats. De hoofdstreep komt voort van de stikstof en stemt in het zonnenspectrum zeer nabij overeen met een groep van strepen, waarvan KIRCHHOFF reeds heeft aangetoond, dat zij afkomstig zijn van eene opslorping in den dampkring. De meest verwijderde ontleent haar oorsprong aan de waterstof; wat de tusschenliggende aangaat, is men nog in onzekerheid aangaande de stof, waarmede zij overeenstemt.

Wij hebben dus hier bekende, op de aarde veelvuldig voorkomende zelfstandigheden, die bestemd zouden zijn om misschien eenmaal andere planeten, zooals de onze, te vormen.

Ten opzichte van sterren, zooals α Orion en β Pegasus, die afzon-

derlijke, gekleurde en zeer levendige strepen vormen, vragen wij ons af, of dit verschijnsel inderdaad veroorzaakt wordt door de opslorping van haren dampkring. Zouden deze zoo levendige strepen, in een onafgebroken, zoo zeer zwak sterrenspectrum niet afkomstig kunnen wezen van eene werkelijke verbranding? En zou de afwezigheid der zwarte streep F, zoo algemeen in de overige sterren, in het spectrum van α Orion, niet opgewogen worden door de lichtende streep, die wij in de nevelvlek zien, om er de waterstof in aan te toonen, in den staat van verbinding?

Een zoodanig denkbeeld, dat mij niet ongerijmd toeschijnt, zou er ons toe leiden te veronderstellen, dat deze sterren zich in een gemengden staat bevinden, tussehen dien namelijk van volkomene zonnen en van haar, die nog in den eersten graad harer vorming zijn. Eene aanwijzing hiertoe wordt ons gegeven in de planetaire nevelvlekken, die een kern bezitten, en die zoowel een onafgebroken spectrum, gelijk aan dat der sterren, als de strepen der nevelvlekken geven. Het is overigens mogelijk dat deze vervorming reeds duizende jaren geleden heeft plaats gehad, en dat, de onmetelijke afstand der sterren in aanmerking genomen, het licht, dat zij ons thans toezenden, alleen afkomstig is van datgene, wat zij in een lang verloopenen tijdperk bezaten.

De meest gewigtige vragen, die men kan doen aangaande de ontzaggelijke uitgebreidheid der schepping, de natuur en gelijkaardigheid der stof, waaruit zij is opgebouwd, aangaande de veranderingen, die de sterren hebben ondergaan, doen zich hier in menigte aan ons voor: maar ik zal deze niet verder overwegen en bepaal mij bij deze schets van de groote ontdekkingen, gedaan door middel van den spectroscop en zijne toepassingen. Vergeten wij niet, dat dit alles alleen een begin en de vrucht van een onderzoek is, dat slechts twee jaren is voortgezet, en dat nog met gebrekkige hulpmiddelen. In lateren tijd en met meer vermogende werktuigen, zal men een antwoord kunnen geven op de vele dringende vragen, die thans, en hiermede moet ik mij tevreden stellen, slechts door mij kunnen worden opgeworpen.