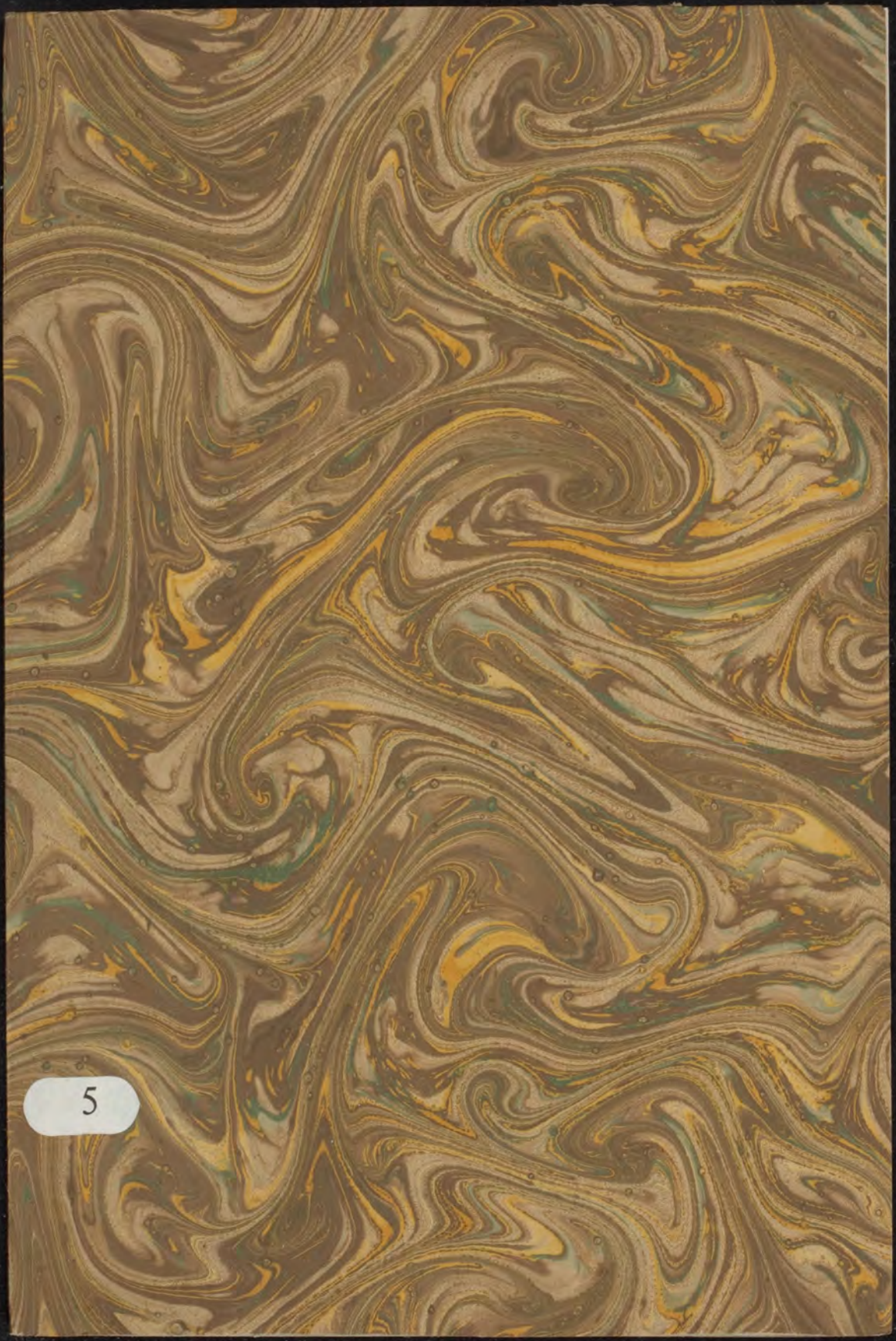


5

5

IETS OVER DE FLUORESCENTIE

VAN

HET LICHT.

IETS OVER DE FLUORESCENTIE

VAN

HET LICHT.

AKADEMISCH PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN

Doctor in de Wis- en Natuurkunde,

AAN DE HOOGESCHOOL TE LEIDEN,

OP GEZAG VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS

Dr. L. W. E. RAUWENHOFF,

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER GODGELEERDHEID,

OP DONDERDAG DEN 27sten APRIL 1871, DES NAMIDDAGS TE 3 UREN,

IN HET OPENBAAR TE VERDEDIGEN

DOOR

FREDERICUS FERDINANDUS ANTONIUS EICK,

GEBOREN TE BOXMEER.

LEIDEN. — P. SOMERWIL.

1871.

AAN MIJN OOM

DR. H. W. A. PETERS.

VOORREDE.

Toen ik, nu ruim drie jaren geleden, de Akademie verliet, kon ik weinig voorzien, dat zooveel tijd verstrijken zou, voordat ik eene poging zou wagen mij den doctoralen titel te verwerven. Die in denzelfden werkkring als ik geplaatst, verre van de Akademie en hare hulpmiddelen, een proefschrift hebben geschreven, zullen den eersten steen niet tegen mij opnemen; die bekend zijn met de omstandigheden, onder welke ik sinds dien geleefd heb, kennen de redenen, die mij weerhielden.

Toen ik eindelijk tot het schrijven van een proefschrift zou overgaan, was de tijd, die ik daarvoor beschikbaar had, betrekkelijk kort; veel tijd dus kon ik met de keuze van een onderwerp niet zoek brengen; ik moest spoedig kiezen, en koos uit het gebied der Natuurkunde de Fluorescentie van het licht. Het scheen mij niet van belang ontbloot een overzicht te geven van hetgeen van dezen nog jeugdigen tak der Optica aan het daglicht was getreden.

De schets, die ik hierbij aan het oordeel der Faculteit onderwerp, ofschoon een afgerond geheel, is echter onvolledig. De onderdeelen zijn niet zoo afgewerkt, als men in een volledig handboek over het onderwerp zou kunnen verlangen; men bedenke echter dat dit te leveren niet in de bedoeling liggen kon. Aan het geheel ont-

breken twee hoofdstukken; verschillende redenen verhinderden mij ze te doen afdrukken. Het eene zou een overzicht bevatten van de onderzoekingen, of meer, van de discussies omtrent de zoogenaamde negatieve Fluorescentie; zooals men weet, verstaat men daaronder het verschijnsel?, waarbij op dezelfde wijze als bij de gewone (positieve) Fluorescentie lichtstralen in andere van grootere golflengte, lichtstralen in andere van kleinere golflengte, worden omgezet. Het andere bevatte eene uiteenzetting van de verschillende theorieën en hypothesen omtrent de Fluorescentie, zooals die door STOKES, LOMMEL, EMSMANN, EISENLOHR en anderen werden opgesteld.

Wanneer ik thans, na eene zoo lange afwezigheid, mij weer in uwe tegenwoordigheid bevind, Hooggeleerde Heeren Professoren der Philosophische Faculteit, dan zijn de gewaarwordingen, die ik ondervind, van zeer gemengden aard. Twee van hen, aan wie ik een goed deel mijner vorming te danken heb, G. J. VERDAM en H. VAN DER HOEVEN, zijn reeds heengegaan! U, Hooggeleerde RIJKE, Hooggeachte Promotor, zeg ik mijn hartelijksten dank zoowel voor het genoten onderwijs, als voor de blijken van welwillendheid en belangstelling, die ik meermalen van U mocht ontvangen. Ook U, Hooggeleerde Heeren, BIERENS DE HAAN, KAISER, VAN DER BOON MESCH en SURINGAR zeg ik mijn welgemeenden dank voor het ontvangen onderwijs.

ZWOLLE, 17 April.

INHOUD.

EERSTE HOOFDSTUK.

Oudste waarnemingen van Fluorescentie.

---

§ 1. Wanneer gij beproeft een weinig ontwikkeld mensch, die geene kennis heeft van de natuur en hare wetten, eene verklaring te geven van het ontstaan van den regenboog, hij zal aandachtig naar u luisteren, en het bewustzijn, dat hij met een natuurverschijnsel te doen heeft, zal levendig bij hem worden; tracht gij echter zijne aandacht te vestigen op het vallen van den steen, een verschijnsel voor ons zeker van meer gewicht, zijne belangstelling zal veel geringer zijn. Zijn begrip van natuurwet is te weinig ontwikkeld, zijne voorstelling van natuurverschijnsel te beperkt, om hem toe te laten, het in den val van den steen even goed te erkennen als in den regenboog. Een nog aandachtiger hoorder zult gij in hem vinden, wanneer gij hem wat vertelt over kometen, of een denkbeeld tracht te geven van de Electrische telegraaf.

Met de begeerte van den nog weinig ontwikkelden mensch

naar natuurkennis kan men in vele opzichten de natuurstudiën van het menschdom in vroegere tijdperken vergelijken. De natuurverschijnselen zijn des te vroeger een voorwerp van onderzoek geweest, naarmate zij door hunne grootschheid of zeldzaamheid meer de aandacht tot zich trokken, of door hun bijzonderen aard zich meer daaraan opdrongen bij het maatschappelijk bedrijf. Reeds bestonden lijvige verhandelingen en tal van theorieën over kometen en regenboog, toen de de val van den steen voor het eerst NEWTON's aandacht trok; reeds was een goed eind van den weg afgelegd op de baan van de Optica, toen men van de stralende warmte nog zoo goed als niets wist.

Het is alzoo niet te verwonderen, dat wij van de Fluorescentie-verschijnselen, weinig grootsch en opvallend, en van weinig beteekenis voor het practisch leven, niets bij de Ouden vermeld vinden. Het is trouwens nog de vraag of zij hun bekend waren, wanneer men het bloote zien uitzondert. Zij behooren tot die groep natuurverschijnsels, die, al komen zij ook in de natuur rondom ons voor, zich echter niet laten erkennen, zonder de kennis elders, bij voorkeur in de natuurkundige werkplaats, verkregen. Om onze meening duidelijk te maken, de Fluorescentie-verschijnselen zijn in dit opzicht te vergelijken met de Electrische vonk, die eeuwen het luchtruim doorkliefde, vooraleer OTTO VAN GUERICKE leerde, hoe zij aan een stuk zwavel kon onttrokken worden, of met de Electrische stroomen, die eeuwen de aardschors doorliepen, vooraleer LAMONT ze aantoonde.

§ 2. In de geschiedenis onzer kennis van sommige natuurverschijnselen laten zich niet zelden min of meer scherp begrensde tijdvakken onderscheiden. Nauwelijks hadden de eerste menschen de eigen beweging der planeten gezien of de waarneming nam een aanvang. Dit tijdvak der waarneming, waarin men weer een nieuw tijdperk met PTOLOMAEUS, die eene eerste benadering der wet vond, zou kunnen doen aanvangen, loopt tot COPERNICUS en KEPPLER, die de empirische wet der beweging vonden. Met hen vangt het tweede tijdvak aan, dat loopt tot NEWTON, met wien het derde, dat der hoogere wet, aanbreekt.

Dit geldt voor eene zoo voorname wet van eene wetenschap, zoo oud en gevorderd als de Astronomie.

Men zal echter in de geschiedenis onzer kennis van de meeste natuurverschijnsels te vergeefs naar zoo goed begrensde tijdvakken zoeken. Wil men echter in de geschiedenis der Fluorescentie iets analoogs zoeken, dan kan men zeggen, dat het tijdvak der waarneming in de 16de eeuw aanvangt, dat onze kennis tijdens HERSCHEL en BREWSTER in eene phase verkeert, veel overeenkomst hebbende met die, waarin de wetenschap van de beweging der planeten ten tijde van PTOLOMAEUS verkeerde, en eindelijk, dat dit tijdvak eindigt met STOKES, die de empirische wet vond, en met wien het tweede tijdvak begint. Het derde tijdvak zou dan, naar het schijnt (1), nog niet zijn aangebroken.

(1) Wij bedoelen hiermeê, dat de theorie, die STOKES van de Fluorescentie gegeven heeft, volstrekt niet dien graad van zekerheid bezit, dien de meesten aan de theorie der algemeene aantrekkingskracht toekennen.

§ 3. De oudste waarnemingen van Fluorescentie zijn gedaan bij een aftreksel van het Lignum Nephriticum, door water verkregen. Dit hout, dat vroeger in den handel voorkwam, is thans daaruit geheel verdwenen (1), zoodat men niet eens met zekerheid kan zeggen, van welke plant, of uit welke streek het herkomstig is. LINNAEUS meende, dat het van Hyperanthera Moringa afkomstig is (2). Den naam Nephriticum heeft het verkregen, omdat het aftreksel door de Indianen en later ook door de Europeanen tegen nierziekten gebruikt werd. (3)

Volgens KIRCHER heeft het eene witte kleur, en is het uit Mexico afkomstig, waar het de namen Coatli en Tlapazatli zou dragen (4). Na eene beschrijving gegeven te hebben van den boom, waarvan het hout afkomstig zou wezen, zegt KIRCHER ongeveer: „een beker, uit het hout van dezen boom

---

(1) Ook heden komt het Lignum Nephriticum nog op prijscouranten van droogerijen voor. Het is ons echter niet mogen gelukken, een stukje er van meester te worden. In Duitschland kwam het, volgens EMSMANN (Pogg. Ann. Bd. 133 p. 175) vroeger als Griesholz oder eine Art Sandelholz voor. Hetgeen thans nog als sandelhout in den handel voorkomt is geheel iets anders, en van meerdere soorten van de geslachten Pterocarpus en Santalum afkomstig.

(2) Moringa Oleifera van LAMARCK, en Arbor americana Coatli van TOURNEFORT, die eene beschrijving van de plant geeft. Men zie hierover Encyclopedie van DIDEROT et D'ALEMBERT onder bois nephritique, waar het ook Lignum perigrinum genoemd wordt.

(3) Vocatur autem hoc lignum Nephriticum, eo quod ad renum vesicaeque vitia probatissimum medium sit (νεφρῖτις). ANATHASIUS KIRCHER, Ars magna de luce et umbra. Romae 1646 p. 77.

(4) Zie p. 78.

„vervaardigd kleurt het water, dat men er in giet, met eene „blauwe kleur, die veel overeenkomst heeft met de kleur „van de bloem van Buglossa. Deze kleur is des te leven- „diger, naarmate het water er langer in staat. Indien men „dit water in een glazen bolvormig vat giet en aan het „licht blootstelt, zal er geen spoor van eene blauwe kleur „worden waargenomen, maar het zal zich evenals zuiver bron- „water klaar en kleurloos aan het oog vertoonen. Brengt „men echter het vat naar eene plaats, waar het licht zwak- „ker is, dan neemt de geheele vloeistof eene schoone groene „kleur aan; brengt men het op eene plaats, waar het licht „nog minder toegang heeft, dan neemt de vloeistof eene „roode tint aan en verandert zoo, op eene wonderbare wijze, „telkens van kleur. In de duisternis, of in een ondoorzich- „tig vat geplaatst, krijgt het zijne blauwe kleur weer terug (1).

---

(1) Emsmann, die op deze plaats van Kircher het eerst gewezen heeft, deelt in Pogg. Ann. Bd. 133 p. 175 den Latijnschen tekst zoo weinig nauwkeurig meê, dat wij hem hier laten volgen: „Hujus itaque descrip- „tae arboris lignum in poculum efformatum, aquam eidem „infusam primo in aquam intensé coeruleam colore floris „Buglosae tingit, et quo diutius in eo steterit, tanto intensi- „orem colorem acquiret. Hanc igitur aquam, si vitreae „sphaerae infuderis, lucique exposueris, ne ullum quidem „coerulei coloris vestigium apparebit, sed instar aquae „purae putae fontanae, limpidam claramque aspicientibus „se praebebit. Porro si hanc phialam vitriam versus „locum magis umbrosum direxeris, totus humor gratissi- „mum virorem referet; si adhuc umbrosioribus locis, sub- „rubrum et sic, pro rerum objectarum conditione, mirum „dictu, colorem mutabit. In tenebris vero, vel in vase opaco „posita coeruleum suum colorem resumet. Zeker geen toonbeeld „van het zuivere Latijn der vorige eeuwen!

Wel had KIRCHER recht, zoo hij gezien heeft, hetgeen hij van dit hout verhaalt, het met de Chamaeleon te vergelijken en het geheel als iets wonderbaarlijks te beschrijven. Het scheen hem zelfs de moeite waard een stukje van dit hout aan zijne Heiligheid te zenden.

KIRCHER meent dat hij de eerste geweest is, die van dit hout en zijne merkwaardige eigenschap heeft melding gemaakt (1). Hierin vergist hij zich echter. BOYLE wijst op eene nog veel oudere waarneming en wel op die, welke door MONARDES gedaan werd (1575) (2). Ook MONARDES kent het hout eene witte kleur toe. BOYLE, die aan deze verschijnselen meerdere bladzijden wijdt, noemt het hout niet wit, maar kent het eene kleur toe, die veel overeenkomt met die van het hout van den Juniperus. Daarom meent BOYLE dat het hout, hetwelk hij gebruikte, van eene andere soort geweest is, dan dat hetwelk KIRCHER gebruikte.

Ook in andere opzichten kwam BOYLE bij zijn onderzoek tot andere uitkomsten dan KIRCHER: terwijl deze het aftreksel bij doorgelaten licht kleurloos als water noemt, bevond BOYLE, dat het, al naar zijne sterkte, eene gele of roodachtige kleur vertoonde, terwijl het bij opvallend licht eene

---

(1) Notavi ego primus quod sciam, hoc Chamaeleontinae naturae portentum in poculo ex dicto ligno elaboratum.

(2) BURCKHARDT brengt deze plaats van BOYLE in herinnering (Pogg. Ann. Bd. 133 pag. 680). Men zie: De coloribus a ROBERTO BOYLE. Exp. X. p. 78—84 Genevae 1680. BURCKHARDT deelt aldaar tevens uit eene Italiaansche vertaling van het werk van MONARDES de hierop betrekking hebbende plaats mee. Te vergeefs hebben wij getracht het oorspronkelijke, Monardes lib. simpl. ex India allator ter inzage te krijgen.

blauwe kleur aannam. Uit den schertsenden toon, waarop Boyle over de proef van Kircher spreekt, blijkt duidelijk, dat ook hij er weinig geloof aan hecht.

Boyle, die opmerkte, dat een stuk hout meer en meer het vermogen verliest het verschijnsel te veroorzaken, naarmate het meermalen gebruikt is, kwam op het vrij natuurlijke denkbeeld, dat er wellicht eene stof uit het hout in het water werd opgelost, die de oorzaak van het verschijnsel wezen zou. Boyle beproefde zelfs deze stof, die volgens hem veel van het zout zou bevatten, hetgeen de scheikundigen Sal Ligni Essentialis noemen, afzonderlijk daar te stellen. Dit gelukte hem echter niet. Hij deed echter de voor zijn tijd niet onbelangrijke ontdekking, dat in het algemeen zuren het vermogen bezitten de blauwe kleur te verstoren en de alkalieën om ze weer te voorschijn te roepen (1).

§ 4. Alle schrijvers uit lateren tijd, die over Optica schreven, maken min of meer melding van deze proef met het Nephritisch hout. Wij zullen ze echter niet allen aanhalen. Om echter een voorbeeld te geven van de onzekerheid, waarin men omtrent deze proeven verkeerde, zij het mij

---

(1) Liceat mihi....adjacere hanc observationem: Quatenus nempe hucusque exploravimus, istos generatim Liquores, qui valent salibus acidis, vi polliere caeruleum colorem Infusionis Ligni nostri destruendi, illos autem indiscriminatim Liquores, qui salibus abundant sulphureis (in quorum censum refero urinosa et volatilia salia animalium, atque Alcalisata sive fixa salia facta per incinerationem) virtute esse instructos, ipsum restituendi.

vergund hier nog eene plaats uit een opstel over de kleuren van NUGUET aan te halen:

„Ten slotte moet ik nog opmerken, dat de proef, die „BOYLE en POURCHOT van het Nephritisch hout meedeelen, „zeer onzeker is, hoewel dergelijke verschijnsels niet zoo „zeldzaam zijn, als zij meenen. De proef is deze: men late „eene zekere hoeveelheid Nephritisch hout, met water overgoten, „een nacht staan, en vulle met het aftreksel een rond gla„zen vat. Dit vat zou nu, volgens BOYLE en POURCHOT eene „gele kleur vertoonen, wanneer men het tusschen het oog „en de lichtbron plaatst, eene blauwe, wanneer het oog tus„schen de lichtbron en het vat geplaatst wordt. Ik heb de „proef dikwerf en op alle mogelijke wijzen herhaald, heb „echter nooit iets gezien, wat in de verte naar blauw ge„leek. Wel vertoonde het water eene gele kleur, maar ook „stroo verwt het water geel, wanneer men er een aftrek„sel van maakt. (1).

NUGUET ziet overigens in de proef van BOYLE niets buitengewoons; hij heeft dergelijke verschijnselen meermalen opgemerkt bij zekere glazen vaten, (2) bestemd om likeuren

(1) Journal de Trevoux 1705. Ook GOETHE's Sämmtliche Werke. Bd. VI. Tübingen p. 377.

(2) Waarom Nuguet de proef mislukte? Het schijnt het natuurlijkst aan te nemen, dat het hout, hetwelk hij gebruikte, geen Lignum Nephriticum geweest is. — Wat zijne waarnemingen, gedaan bij „zekere glazen vaatwerken" betreft, men mag aannemen, dat het Fluorescentie geweest is. Twee onderstellingen omtrent de natuur der stof kunnen hier toegelaten worden. HAUY zegt: On emploie en Angletterre la chaux fluatée concretionnée pour faire des vases de différentes formes. Celui de ma collection etc. Traité de Min. tome I p. 525. De vaten

en confituren te bewaren, en gaat zoover, dat hij onderstelt, dat het glas door BOYLE gebruikt, wellicht van deze soort geweest is.

GOETHE, het verschijnsel van het Lignum Nephriticum vermeldende, deelt mee (1) dat DÖBEREINER in de plaats van dit hout met goed gevolg het Lignum Quassiae heeft gebruikt: verder doet hij een middel aan de hand, waardoor ieder in de gelegenheid is de proef te doen. Het luidt daar letterlijk: „men neme een stukje van den bast „van den wilden kastanjeboom en dompele het in een glas „water. Bijna oogenblikkelijk ziet men ter plaatse, waar „het licht op het glas valt, het schoonste hemelblauw op„treden, terwijl men het schoonste geel waarneemt, wanneer „men het glas tegen het licht houdt."

Waarlijk, het hoofdstuk over Fluorescentie in een handboek der natuurkunde zou heden ten dage nog zoo kunnen aanvangen.

De eerste, die de Fluorescentie van de stof, naar welke thans de geheele groep verschijnselen genoemd is, nauwer

---

kunnen dus uit vloeispaath vervaardigd geweest zijn; het is echter ook mogelijk, dat de likeuren, om der wille van het schoone aanzien, met aesculine — men heeft dit voor lang gedaan — behandeld zijn geweest. De eerste onderstelling is echter, om licht te vermoeden redenen, de waarschijnlijkste.

(1) Nachträge zur Farbenlehre; Trübe Infusionen p. 463 Tübingen. Reeds toen deed GOETHE vergeefsche pogingen het hout machtig te worden.

omschreven heeft, is HAUY; hij zegt (1) van vloeispaath ,(2) (chaux fluatée) sprekende: „de plus un même cristal, „vu par refléxion, parait d'une couleur violette, „et, si on le regarde par réfraction on le voit d'une couleur verdâtre."

§ 5. Wat betreft de verklaringen, die de oudere Optici van het verschijnsel van het Lignum Nephriticum gegeven hebben, deze kunnen wij zonder eenig bezwaar voorbijgaan, daar zij op geheel valsche voorstellingen omtrent het wezen van het licht berusten. KIRCHER liet zich door het „wonderbaarlijke" van het door hem beschreven verschijnsel volstrekt niet terugschrikken. Na lang zoeken, vond hij eindelijk, zooals hij zegt, de oorzaak. (3) BOYLE bekent zijne

---

(1) Tr. de Min. tome I p. 521. Wij zeggen: „nauwer omschreven": want het kleurenspel, dat de vloeispaath vertoont, is ook den ouderen mineralogen niet ontgaan. Of de volgende woorden van BOYLE eveneens op vloeispaath betrekking hebben durven wij niet beslissen: „atque hic omittendum mihi non est, PYROPHILE, ut narrem, nos ostendere tibi posse etiam in corpore Minerali aliquid, quod admodum affine videri possit mutabili Qualitati Tincturae Ligni Nephritici. etc. etc.

(2) Dit mineraal, dat bijna uitsluitend uit CaF. bestaat, behoort tot het tesserale stelsel: het komt voor o. a. als octaëder, of cubus met den tetrakontaoktaëder aan de hoeken (BEERALSTON, DEVONSHIRE), of als eene hexagonale skalenoëder (ZCHOPAU). Men zie hieromtrent: GRAILICH, Krystallographisch-Optische Untersuchungen p. 70. of HAUY.

(3) Varia tamen experientia doctus tandem causam hujus reperi, quam et in sequentibus aperiemus. Zijne verklaring is even wonderbaarlijk als zijn verhaal van het Nephr. hout. Zij hangt geheel samen met zijne opvatting van het wezen der kleuren: deze ontstaan volgens hem uit de menging van twee zaken: licht en duisternis. Deze theorie vond in lateren tijd een' heftigen verdediger in GOETHE, die zich met NEWTON's theorie niet vereenigen kon. Zijne Farbenlehre wordt wellicht juist ge-

onkunde (1). Van twee der oudere natuurkundigen moeten wij echter de verklaring meedeelen; van NEWTON, omdat zij van NEWTON is, van GRIMALDUS, omdat hij het verschijnsel het zorgvuldigst schijnt bestudeerd te hebben, en in zijne verklaring van de dwaling het verst verwijderd is. Na meegedeeld te hebben, dat zeer dunne goudblaadjes zich bij teruggekaatst licht geel, bij doorgelaten blauw of groen vertoonen, zegt NEWTON: „daarmee moeten nagenoeg op gelijke „lijn gesteld worden zekere vloeistoffen, zooals een aftreksel van „het Lignum Nephriticum, en zekere soorten van glas: „deze laten de eene lichtsoort meer door, en kaatsen de „andere meer terug; daar van daan komt het, dat zij bij de „verschillende standen van oog en lichtbron verschillende „kleuren vertoonen." (2) NEWTON twijfelt echter niet, of,

---

karakteriseerd door zijne eigen woorden: „wir erinnern hier, was wir auf gleiche Weise bei der Gelegenheit gesagt haben, wo wir die gränzenlosen Zauberformeln anklagten, womit der Grundsatz von Polarisation des Lichtes dünenartig zugedeckt wurde, so dasz niemand mehr unterscheiden konnte, ob ein Körper oder ein Wrak darunter begraben lag.

(1) Quamvis longe absim, ut mihi sumam, me eam (i. e. causam) invenisse. (p. 79).

(2) Eodem fere modo certi sunt liquores, ut Ligni Nephritici infusio et certa etiam vitri genera; quae unum genus Luminis transmittunt copiosius, aliud autem genus reflectunt, eoque pacto coloribus variis pro vario oculi atque Luminis positu videntur. Quod si liquores vel vitra ista adeo crassa ac solida essent facta, ut nullum omnino lumen per ea transmitti posset, equidem nihil dubito (quamvis nondum expertus hoc affirmare queam) quin ea, similiter ac alia omnia corpora opaca, uno eodemque colore in omni oculi positu essent apparitura. Optice lib. I Pars II Prop. 10 p. 153. Londini 1706.

wanneer die vloeistoffen of glazen slechts dik genoeg genomen werden, zoodat zij volstrekt geen licht doorlieten, zij, evenals alle andere opake lichamen, zich bij iederen stand van het oog onder dezelfde kleur zouden vertoonen.

GRIMALDUS wijst in zijne verklaring (1) allereerst er op, dat ook bij die lichamen, die men gewoonlijk volkomen doorzichtig noemt, eene terugkaatsing van het licht door de inwendige deeltjes plaats grijpt; zoo wordt ook bij het afgietsel van het Lign. Neph. licht teruggekaatst; GRIMALDUS meent dat men in dit bijzonder geval moet aannemen, dat de terugkaatsing geschiedt door de vele kleine deeltjes van het samengestelde lichaam, dat gevormd wordt door de stof, uit het hout afkomstig, en het water. Verder meent hij, dat de blauwe kleur zich vertoont, wanneer het licht, dat in het oog dringt, voornamelijk uit deze teruggekaatste stralen bestaat, en dat de gele kleur optreedt, wanneer dit voornamelijk bestaat uit stralen, die door de vloeistof gebroken, maar niet voldoende teruggekaatst zijn. (2) Tot deze meening werd GRIMALDUS geleid door overweging der standen, die de lichtbron, de vloeistof en het oog moeten hebben, opdat een der beide kleuren zal optreden. Wat de natuur van het verschijnsel betreft, deze is volgens GRIMALDUS: wanneer een bundel lichtstralen valt op het he-

---

(1) Physico-Mathesis de lumine, p. 327. Bononiae 1665.

(2) Dico tunc flavum apparere colorem, quando lumen in oculum praevalens, refractum quidem est per aquam praedictam, non tamen per eam sufficienter reflexum.

terogene lichaam, door water en de door het hout afgestane stof gevormd, dan neemt het verschillende golvingen aan; een deel wordt door de inwendige deeltjes teruggekaatst (1) en neemt, wanneer het terugstroomt, dezelfde golving (fluitatio) aan, als het licht, dat teruggekaatst wordt door lichamen, die blauw van zich zelve zijn; het andere deel dringt door de poriën van het heterogene lichaam heen, en neemt daarbij de golving aan, die de gele lichamen aan het door hen teruggekaatste licht meedeelen.

Verder merkt GRIMALDUS op, dat de terugkaatsing van het licht door de stofdeeltjes, die overal in de vloeistof verspreid zijn, niet alleen naar de lichtbron toe, maar naar alle zijden (quoquoversus) plaats heeft; dit verklaart hij door de buitengewoon kleine afmetingen der deeltjes. Hiermee komt GRIMALDUS's opmerking overeen, dat de blauwe kleur door de geheele diepte van de vloeistof is waar te nemen. Zelfs geeft hij, om dit boven allen twijfel te stellen, een middel aan de hand, ook later veelvuldig gebezigd; het bestaat eenvoudig daarin, dat men door middel van eene convergeerende lens een lichtkegel in de vloeistof brengt. (2) Toen GRIMALDUS van dit middel gebruik maakte, bleek het

---

(2) Dico tertio, ideo lumen suscipere praedictos colores quia dum incurrit in corpus illud heterogenum ex qua, et substantia a ligno emissa compositum, diversas accipit fluitationes. Zoo is de tekst van het exemplaar in de Bibliotheek alhier aanwezig; blijkbaar moet men lezen ex aqua.

(2) Zie zijn vroeger aangehaald werk Prop. XXXXII, num. 21. Deze Methode, is alzoo niet van BREWSTER afkomstig.

dat de lichtkegel slechts zichtbaar was, wanneer hij in schuinsche richting gezien werd; hierin ziet hij eene nieuwe bevestiging van zijne zienswijze dat de blauwe kleur door reflexie ontstaat. Ook bij kaarslicht bleek het verschijnsel op te treden. (1)

§ 6. Wellicht zal iemand door de negatieve resultaten van NUGUET en de uiteenloopende van anderen geneigd worden te denken, dat het verschijnsel van het Nephritisch hout geen Fluorescentie geweest is. Dat het verschijnsel ook bij kaarslicht wordt waargenomen, bewijst evenmin voor deze meening, als er tegen. Terwijl er vele stoffen zijn, die in kaarslicht zoo zwak Fluoresceeren, dat men aannemen mag, dat hare Fluorescentie den ouderen natuurkundigen ontgaan moet zijn, wordt bij andere eene zeer merkbare Fluorescentie waargenomen. Maar de beschrijving van het verschijnsel door hen, die het het zorgvuldigst hebben nagegaan, met name GRIMALDUS en BOYLE, sluit zoo goed op de Fluorescentie dat, zoo het geene ware Fluorescentie geweest is, het valsche Fluorescentie (III B § 1) geweest moet zijn. Valsche

---

(1) Dit is boven allen twijfel. Want moge de plaats, die hierop betrekking heeft in Prop. XXXXII: Cum evidenter succedat experimentum etiam adhibito lumine candelae nog eenigen twijfel overlaten, elders (Prop. XXXII) wordt zulks op de meest ondubbelzinnige wijze meegedeeld.

Het wordt ook bevestigd door BOYLE: ipsumque (i. e. experimentum). etiam ad candelarum grandiorum lumen succedere comperimus.

Fluorescentie kan het echter niet geweest zijn. Daarvoor zegt Boyle te duidelijk, dat het verschijnsel door zuren opgeheven, en door alkalieën weer te voorschijn geroepen wordt.

TWEEDE HOOFDSTUK.

J. F. W. Herschel en D. Brewster.

---

§ 1. Dat wij aan de onderzoekingen van deze beide groote natuurkundigen omtrent de Fluorescentie een nieuw hoofdstuk wijden, doet reeds vermoeden, dat zij een gewichtig aandeel hebben gehad in de vermeerdering onzer kennis van dit verschijnsel. Zij zijn, niettegenstaande zij tot de meest uiteenloopende resultaten kwamen, als de voorloopers te beschouwen, die STOKES den weg effen maakten en zijne ontdekking voorbereidden.

PROUT nam waar (1), dat verschillende purperzure zouten, zooals purperzure ammonia (murrexid) en purperzure kali enz. bij doorgelaten licht eene intensief roode, en bij teruggekaatst licht eene groene kleur vertoonen. Deze waarneming van PROUT vermeldt HERSCHEL in zijne „treatise on light" (2). HERSCHEL meent, dat het verschijnsel niet tot het zoo-

(1) Phil. transactions 1818 p. 424.
(2) § 1067 p. 560.

genoemde dichroismus (1) kan gebracht worden, maar dat de oppervlakkige (superficial), groene kleur moet verklaard worden uit eene eigenaardige structuur (conformation) der oppervlakte, òf dat zij teruggebracht moet worden tot die kleuren, welke dunne plaatjes en soortgelijken vertoonen. Als een merkwaardig voorbeeld van zulke oppervlakkige kleur noemt hij daar nog de vloeispaath van Alston-Moor, en merkt op, dat de blauwe kleur door polijsten van de oppervlakte niet te verdrijven is.

Brewster, die eene soortgelijke waarneming bij de vloeispaath van Derbijshire deed, werd hierdoor tot eene meer zorgvuldige studie van het verschijnsel gebracht. (2) Hij bevond, dat de blauwe kleur niet eene oppervlakkige was, maar dat ook dieper gelegen lagen van het kristal het vermogen bezaten het blauwe licht te verstrooien.

Daar hij overigens in het verschijnsel slechts een bijzonder geval van dispersie ziet, noemt hij het inwendige dispersie. Verder vond hij soortgelijke verschijnsels bij een veertigtal oplossingen van plantaardige stoffen; onder deze noemen wij de alkoholische oplossing van de kleurstof der bla-

(1) Onder dichroismus verstaat Herschel het verschijnsel, dat sommige eenassige kristallen vertoonen, en daarin bestaat, dat zij in de richting van de as beschouwd, eene andere kleur vertoonen dan in eene andere richting. Daartoe zijn volgens hem te brengen, sommige soorten van Saphier, die langs de as gezien eene donkerblauwe kleur vertoonen, en in eene richting, schuinsch daarop, eene geelgroene; zoo ook Idocras. Hij breidt deze benaming ook tot tweeassige kristallen uit. Zie »Treatise on light," art. 1064 en volgende.

(2) Report on the Eigth Meeting and Transactions of Sections for the year 1838 p. 10.

dren van den Laurier, en de aetherische van de zaden van Datura Strammonium. De eerste vertoont bij doorgelaten licht eene groene, bij opvallend licht eene bloedroode kleur, de tweede onder dezelfde omstandigheden eene gele (wijngeel), of groene (koffijgroen) kleur.

§ 2. HERSCHEL schijnt deze studiën van BREWSTER niet gekend te hebben; althans in zijne beide verhandelingen, die in 1845 het licht zagen (1) is niets te vinden, waaruit het tegendeel zou af te leiden zijn. Zijne eerste verhandeling bevat uitgenomen enkele opmerkingen van minder belang, niets dan eene beschrijving van het verschijnsel, zooals hij het voor het eerst bij eene oplossing van sulphaschininae waarnam (2) Wanneer men bij zwavelzure chinine, die moeielijk in water oplosbaar is, eenige druppels zwavelzuur (3) en de vereischte hoeveelheid water voegt, dan verkrijgt men, na filtratie, eene oplossing, die zich als eene volkomen kleurlooze en doorzichtige

---

(1) Phil. Trans. 1845 p. 143. „On a case of superficial colour presented bij a homogeneous liquid internally colourlesss" en pag. 147: „On the epipolic dispersion of light, being a supplement to a paper entitled „on a case" enz.

(2) As this phenomenon in all its circumstances ist (so far as i am aware) unique in physical optics, i have thought no apology necessary for simply describing, without attempting to pursue it further, which present circumstances do not permit.

(3) HERSCHEL nam gelijke gewichtsdeelen sulphas chininae en zwavelzuur op honderd gewichtsdeelen water. Reeds HERSCHEL merkte op, dat men, ieder ander zuur kan gebruiken, met uitzondering van zoutzuur, dat volgens hem weinig geschikt is.

vloeistof voordoet, als men ze tusschen het oog en de lichtbron plaatst; wanneer het oog echter bepaalde standen heeft en het licht onder bepaalde richtingen invalt, dan neemt zij eene levendig blauwe kleur aan. Om deze kleur goed te kunnen zien, plaatse men een buisje, gevuld met de oplossing, in vertikalen stand, voor een open venster, waardoor intensief zonne- of daglicht valt, en drage zorg, dat het door de omringende voorwerpen teruggekaatste daglicht het buisje niet bereike. Ziet men nu van boven in het buisje, dan ziet men de geheele oppervlakte der vloeistof, waardoor het licht binnendringt, onder eene levendig blauwe kleur. De vorm, waaronder men ze ziet, is afhankelijk van den stand van het oog (1). Het blauwe licht — zoo meent HERSCHEL — ontstaat in het laagje der vloeistof, waardoor het licht binnendringt, en, al is dit juist niet tot de oppervlakte beperkt, en al bezitten ook nog weinig dieper gelegen lagen de eigenschap blauw licht te verstrooien, toch verliest de vloeistof spoedig het vermogen de invallende stralen te ontleden en blauw licht te dispergeeren.

Bij kaarslicht bleek de kleur minder helder te wezen, en iets meer naar het violet over te hellen. Door een Tourmalijn onderzocht, vertoonde het blauwe licht geen spoor van Polarisatie. — Wanneer men de vloeistof in een ander buisje omschudt, flikkert de neerdalende stroom met hetzelfde blauwe

---

(1) Which (a lively blue), as the situation of the eye changes is either fore — shortened into a vivid concave gleam, or opens out into a paler and broader band, as the visual line is more or less oblique to the glass surface.

licht. Hieruit besluit HERSCHEL, dat contact met eene middenstof van grootere densiteit niets met het verschijnsel te maken heeft.

§ 3. Het verschijnsel, dat ten tijde van HERSCHEL alleen in de Optica stond, scheen hem een nauwgezetter onderzoek waardig: dit is zijne tweede verhandeling.

Allereerst moest beslist worden, of er werkelijk eene ontleding van het witte licht plaats had, zoodat de invallende bundel witte lichtstralen in twee kwalitatief van elkander te onderscheiden soorten gescheiden werd, òf, dat het verschijnsel op gelijke lijn te stellen was met de kleurverschijnsels, die dunne plaatjes vertoonen. Om de eerste onderstelling aan de waarneming te toetsen, staan twee wegen open. Men kan onderzoeken: *a*) het deel van den invallenden lichtbundel, dat met de blauwe kleur verstrooid wordt, of, *b*) het overschot van den oorspronkelijken, invallenden bundel, dat, na aan de dispersie ontkomen (1) te zijn, zijne richting behoudt. Hierdoor, en ook wegens zijne grootere intensiteit, scheen *b*) zich het meest aan te bevelen.

Onderstel, dat een bundel wit licht loodrecht op een der zijvlakken van een glazen vat (parallelopipedum) valle; het vat zij gevuld met eene zwak gekleurde, bijv. blauwe oplossing. Het witte licht zal bij zijn doorgang door het vat van een gedeelte zijner blauwe stralen beroofd worden. Dit

(1) Escaped: wij nemen dit woord letterlijk uit het Engelsch over.

verlies zal aan den doorgelaten bundel eene tint meedeelen, overeenkomende met de complementaire kleur van blauw, d. i. eene soort oranje. Deze tint kan zeer zwak zijn, zoo zwak, dat zij zich door het oog in het doorgelaten licht niet laat erkennen; dit hangt blijkbaar af van het absorbeerend vermogen der vloeistof voor de blauwe lichtstralen. Maar — zoo de invallende lichtbundel slechts intensief genoeg is, *moet* zij zich laten aantoonen: men late den door het eerste vat doorgelaten bundel op een tweede vallen, gevuld met dezelfde vloeistof; deze weer op een derde vat enz.; dan verliest de oorspronkelijk ingevallen bundel bij iederen doorgang iets van zijne blauwe stralen, en de complementaire kleur wordt ten slotte in den doorgelaten bundel zichtbaar. (1) Ware nu de blauwe kleur der chinine-oplossing op die wijze ontstaan, dan moest men, door het aantal vaten in voldoenden getale te nemen, de oranje-tint in het doorgelaten licht ter aanschouwing kunnen brengen.

Zoo moet de gedachtengang van HERSCHEL geweest zijn.

HERSCHEL's pogingen, om ze te verwezenlijken en zoo de eerste onderstelling te bevestigen, mislukten echter. Hij stuitte daarbij op een bezwaar, dat tegelijkertijd het beste deel van zijn onderzoek uitmaakt: „een lichtbundel heeft, na door eene chinine-oplossing te zijn

---

(1) Veel gemakkelijker zal men natuurlijk hetzelfde effect verkrijgen door de laag vloeistof, waardoor het licht gaat, steeds dikker en dikker te nemen, d. i. telkens een grooter vat te bezigen.

gegaan, en daarin de blauwe kleur veroorzaakt te hebben, het vermogen verloren, nogmaals de blauwe kleur in eene chinine-oplossing te voorschijn te roepen.

§ 4. Vooraleer enkele der treffendste proeven, die HERSCHEL tot deze uitspraak brachten, te vermelden, merken wij op, dat deze ontdekking, die in nauw verband staat met het wezen der Fluorescentie, HERSCHEL volstrekt niet van zijn denkbeeld bracht, dat men hier slechts met een absorptie-verschijnsel te doen had, al was het dan ook een van een bijzonderen aard. HERSCHEL echter schijnt gevoeld te hebben, dat tegen deze voorstelling eene niet ongegronde bedenking te maken is: waarom wordt bij het door één vat doorgelaten licht geene oranjetint waargenomen, terwijl toch de intensiteit van het blauwe gedispergeerde licht vrij groot is? HERSCHEL ten minste beproeft te verklaren, waarom deze niet gezien wordt. Hij wijst daartoe in de eerste plaats op het feit (1), dat de vloeistof het blauwe licht zelve vrij gemakkelijk doorlaat, zoodat een deel van dit licht zich met het oranje licht weder tot wit licht vereenigen kan; verder wijst hij op de groote intensiteit van het niet ontleede licht, in vergelijking met die van de oranjetint.

---

(1) Hiervan overtuigt men zich o. a., wanneer men het ronde oppervlak van eene glazen cilindervormige buis, gevuld met de vloeistof, ten deele met papier beplakt, en dan van beneden naar boven door de vertikaal geplaatste buis heênziet.

§ 5. Uit de proeven, die HERSCHEL tot de bovengenoemde wet brachten, kiezen wij I en III. Bij I werd in een glazen buisje, gevuld met de oplossing, een glasplaatje gedompeld, zoodat het geheel door de vloeistof bedekt werd, en een der zijvlakken naar het invallende licht gekeerd was. Werd nu het oog zoo geplaatst, dat beide zijvlakken in schuinsche richting gezien werden, dan was bij geen van beide het geringste spoor van eene blauwe kleur waar te nemen. Daar nu bij de gewone proef het door het glas van het buisje invallende licht, door dit volstrekt niet verhinderd wordt de blauwe kleur te veroorzaken, en bij deze proef het licht na zijn doorgang door het glasplaatje onder volkomen dezelfde omstandigheden in de vloeistof dringt, zoo besluit HERSCHEL, dat het eene eigenschap verloren heeft, die het oorspronkelijk bezat, en alzoo kwalitatief niet meer hetzelfde licht kan genoemd worden.

Veel tastbaarder, wat het besluit betreft, is HERSCHEL's derde proef. Bij deze werd het buisje, dat de oplossing bevatte, in een glazen vat geplaatst, en dit, gevuld met water, aan het zonnelicht blootgesteld. De zonnestralen, die vóór het buisje te bereiken, door het water gingen, riepen de blauwe kleur te voorschijn, als waren zij onmiddelijk op de oplossing gevallen. Alleen een gering verschil in intensiteit, toe te schrijven aan de niet volkomene kleurloosheid van het glas van het vat, werd waargenomen. Werd echter het vat met de oplossing gevuld, dan verdween zij oogenblikkelijk, om weer even spoedig terug te keeren, wanneer de oplossing weer door

water vervangen werd. Bij proef IV, eene variatie van III, onderzocht HERSCHEL, hoe zich andere kleurlooze vloeistoffen, zooals alkohol, een oplossing van Subl. Corris. enz. gedroegen; allen bleken geen beletsel te zijn voor het ontstaan der blauwe kleur, en zich dus als water te gedragen.

§ 6. Alsnu ging HERSCHEL tot het prismatisch onderzoek van het onder *a*) (zie § 3) vermelde licht over.

Om een zuiveren bundel van dit licht, vrij van alle vreemde stralen te verkrijgen, ging HERSCHEL aldus te werk: de cilindervormige glazen buis, bestemd om de oplossing in zich op te nemen, werd aan de zijde, die naar het sterke zonnelicht werd toegekeerd, met zwart papier bedekt; dit strekte zich een eind weegs boven het niveau uit; de buis stond vertikaal. Werd nu het oog in zulken stand onder het niveau gebracht dat zijn gezichtsstraal (from it) eene totale terugkaatsing op het onderste grensvlak onderging, dan werd dit geheel zichtbaar en vertoonde de blauwe kleur, maar veel meer verzadigd dan onder de gewone omstandigheden. Naderde het oog meer het horizontale vlak van het niveau der vloeistof, dan werd het oppervlak natuurlijk verkort, als eene smalle blauwe lijn gezien. (1). Toen HERSCHEL deze blauwe lijn door een FRAUENHOFERSCH Flintglasprisma beschouwde, bleek

(1) De lijn bleek echter geene ellips te zijn, (de vorm, waaronder zich het oppervlak van de vloeistof zou hebben moeten vertoonen, als de dispersie streng genomen tot het oppervlak beperkt was) maar een zeer dun paralellogram, met eene breedte van ongeveer $^1/_{50}$ Eng. duim.

het blauwe licht *niet* homogeen te zijn. De minst breekbare stralen, met name de roode, oranje en gele ontbraken, het groen was vertegenwoordigd door een intensieve, breede streep, in welker minder breekbaar gedeelte het roode speelde.(1) Hieraan sloten zich onmiddelijk het indigo en violet, zonder dat er blauw te erkennen was. Donkere strepen waren niet waar te nemen. Het spectrum scheen doorloopend (continuous) (2) te zijn.

Deze uitkomst moet HERSCHEL zeer verrast hebben: zij toch is geheel in strijd met zijne opvattting van de natuur van het verschijnsel; volgens deze zou het blauwe licht homogeen hebben behooren te wezen. Ook is zij weinig in overeenstemming met de door hem ontdekte merkwaardige eigenschap.

Dit gevoelde HERSCHEL zeer goed, maar hij zegt: „but „the whole history of physical optics is one con„tinued warning against such seeming logical „conclusions; and in this case also the conclu„sion is not borne out by fact."

Zooals wij reeds opmerkten, bleek de blauwe kleur bij de proeven van HERSCHEL eene oppervlakkige te zijn; het is om deze reden, dat HERSCHEL het verschijnsel eene epipolische (3) dispersie noemt, en een lichtbundel, die door

---

(1) A rich and broad band of fine green light slightly fringed with red on the less refrangible side.

(2) Dit woord schijnt de voorkeur te verdienen boven onafgebroken: men zegt doorloopende functie, enz.

(3) ἐπιπολὴ

de oplossing gegaan is, en daar de epipolische dispersie ondergaan heeft, eene epipoliseerde lichtbundel.

Door deze benaming wil HERSCHEL echter niet aanduiden, dat de dispersie in wiskundigen zin tot de oppervlakte beperkt is; neen, toen hij door totale terugkaatsing op de basis van een prisma een lichtbundel op de oplossing liet vallen, werd een zwakke blauwe schijn (gleam) nog tot op een halven Eng. duim van de oppervlakte der vloeistof waargenomen. Of het gedispergeerde blauwe licht nog voor eene tweede dispersie vatbaar is, hierover kon HERSCHEL geene uitspraak doen.

§. 7. Ook de vloeispaath van Alston-Moor, volgens HERSCHEL het eenige vaste lichaam, dat de epipolische dispersie bezit, onderwierp HERSCHEL aan een nieuw onderzoek. Het kristal werd op een stuk zwart fluweel gelegd, of de terugkaatsing van het licht op de achterste zijvlakken werd voorkomen door ze met zwarte was te bedekken. Werd nu het kristal aan een venster aan het daglicht blootgesteld en door eene van binnen zwart gemaakte oogbuis (eye-tube) beschouwd, dan werd de schoone blauwe kleur waargenomen. HERSCHEL houdt deze voor eene werkelijk epipolische kleur: althans hij noemt ze strictly epipolic.

Van meer belang is de eigenschap, die HERSCHEL bij de vloeispaath ontdekte, toen hij het kristal, op dezelfde wijze met was bedekt, achtereenvolgens in water en eene oplossing van sulphas chininae plaatste. Terwijl de epipolische kleur

in het water even goed optrad, als in de lucht, vertoonde zich de oppervlakte van het kristal in de oplossing geheel donker.

§ 8. BREWSTER, die, zooals wij vroeger zagen, het verschijnsel van vloeispaath als eene inwendige dispersie aanzag, hervatte nu nogmaals het onderzoek (1). Nu gebruikte hij, om eene licht te vermoeden reden, dezelfde varieteit van vloeispaath als HERSCHEL, en liet op het kristal, dat op dezelfde wijze bedekt was als bij HERSCHEL's onderzoek, door eene lens een bundel geconcentreerde lichtstralen vallen. De lichtbundel bleek bij sommige exemplaren door de geheele massa van het kristal de blauwe kleur te vertoonen; andere exemplaren vertoonden andere bijzonderheden (2); bij allen vertoonde zich echter het verschijnsel zoo, dat van eene epipolische dispersie geen spraak kon wezen (3). Wanneer BREWSTER eene gissing zal wagen omtrent de oorzaak van het groote verschil hunner resultaten, dan meent hij, dat zij te zoeken is in het groote verschil der intensiteit van het door hen gebruikte licht.

---

(1) Phil. Magazine Vol. 32. Junij 1848. Pogg. Ann. Bd. 73 p. 531.

(2) Bij enkele exemplaren, waarbij de aan de zijvlakken van den cubus evenwijdige lagen eene verschillende kleur bezaten, bleken deze zich zeer verschillend tegenover den ingedrongen lichtkegel te gedragen. Sommige lagen dispergeerden volstrekt geen licht, andere verstrooiden licht van eene zeer uiteenloopende kleur.

(3) Volgens BREWSTER is het verschijnsel van de vloeispaath hiervan veel verder verwijderd, dan dat der chinineoplossing.

Brewster bevond, dat ook meerdere soorten van glas de inwendige dispersie bezaten; o. a. noemt hij eene soort geel glas (kanarieënglas?), dat groen licht verstrooit.

§ 9. Ook bij zijn onderzoek van de chinine-oplossing, volgens dezelfde methode, kwam Brewster tot een ander besluit dan Herschel; hetgeen deze, twijfelachtig laat, of er wellicht in het inwendige van de middenstof op aanmerkelijke diepte nog niet eene geringe dispersie plaats heeft, bleek Brewster een onbetwistbaar feit te zijn. Hij houdt het verschijnsel der oplossing even goed als dat der vloeispaath voor inwendige dispersie, slechts in de wet der intensiteit daarvan onderscheiden.

In het eene geval worden de verstrooide blauwe stralen, terwijl het witte licht in de stof dringt, allengskens (gradually) in het andere snel (quickly) daaruit geworpen; een verschijnsel, dat men bij soortgelijke absorptie-verschijnsels meer waarneemt.

Toen Brewster door middel van eene achromatische lens LL' (fig. 1) een lichtkegel ABC in de oplossing, besloten in het vat MNOP, bracht, bleek deze over zijne geheele uitgestrektheid, zelfs wanneer hij twee Engelsche duimen lang was, een zwak blauw licht te verstrooien. Werd nu evenals bij Herschel's proef I, een glasplaatje DE in de vloeistof gebracht, dan bleek het laagje der oplossing, achter het plaatje gelegen even goed blauw licht te verstrooien, als het daarvoor gelegene.

Deze uitkomst was in strijd met de door HERSCHEL uitgesproken wet: „eene epipoliseerde lichtbundel heeft het vermogen ver„loren nogmaals eene epipolische dispersie te ondergaan."

Het is echter mogelijk — zoo meent BREWSTER — dat de afstand van het glasplaatje tot het oppervlak der vloeistof bij HERSCHEL's proef veel grooter geweest is, dan bij de zijne, groot genoeg, om den invallenden bundel van al de stralen te berooven, die voor verstrooiing vatbaar zijn.

Ook bij herhaling der andere proeven van HERSCHEL kwam BREWSTER tot geheel andere uitkomsten. Een vloeispaathkristal van Alston-Moor, in de chinine-oplossing gedompeld verstrooide nog tot op een afstand van $^3/_4$ Eng. duim van de oppervlakte van het kristal een violetblauw licht. Zoo ook onderging een lichtbundel, na door eene chinine-oplossing te zijn gegaan, nog tot op een afstand van twee Eng.duim van de oppervlakte eene merkbare dispersie in eene vloeispaath van Derbyshire.

Opmerking vooral verdient zijne waarneming, dat een lichtbundel, na door eene oplossing van aesculine te zijn gegaan, in de chinine-oplossing slechts eene zwakke verstrooiing ondergaat, terwijl hij, omgekeerd, na door eene chinine oplossing te zijn gegaan, eene rijke dispersie in de aesculine-oplossing te voorschijn roept. BREWSTER meent uit zijne proeven de twee volgende stellingen te mogen afleiden:

1°. Een lichtbundel, die in eenig vast of vloeibaar lichaam eene dispersie ondergaan heeft (d.i. een epipoliseerde lichtbundel) kan nogmaals eene epipolische dispersie ondergaan, mits de

middenstof niet zoo dik zij, dat zij alle stralen, die voor verstrooiing vatbaar zijn, verstrooid heeft.

2°. Wanneer zulke middenstof hierdoor ongeschikt geworden is, nog meer licht te verstrooien, dan geschiedt dit niet, omdat het licht eene eigenschap verloren heeft, die het aanvankelijk bezat, maar omdat het beroofd is van de stralen, die voor verstrooiing vatbaar zijn.

§ 10. Wat de Polarisatie van het verstrooide blauwe licht bij de chinine-oplossing betreft, BREWSTER meent, dat het negatieve antwoord, hetgeen HERSCHEL ontving (§ 2), is toe te schrijven aan zijne methode. (1) BREWSTER ging anders te werk: een smalle cilindervormige lichtbundel viel in de oplossing; de intensiteit van dezen bundel was groot, groot genoeg om den blauwen bundel, die in de vloeistof optrad, eene lengte van meer dan één duim te geven. Door een kalkspaathrhomboëder onderzocht, bleek een goed deel van dezen bundel, hoofdzakelijk uit de minder breekbare stralen bestaande, in het vlak van terugkaatsing gepolariseerd te zijn, terwijl de meer breekbare stralen, die

(2) De blauwe lichtlijn, die HERSCHEL onderzocht, zou voor dit onderzoek niet geschikt wezen, omdat zij gevormd wordt door uit een groot segment des hemels divergeerende stralen: deze vallen dus, voor verreweg het grootste deel op het lichaam in onder hoeken, grooter of kleiner, dan de Polarisatie-hoek. Deze Critiek zou slechts dan eenige waarde hebben, wanneer BREWSTER's onderstelling, dat de blauwe stralen door de deeltjes van het lichaam uit het witte licht teruggekaatst worden, juist ware.

een helderblauwen bundel vormden, in een anderen toestand van Polarisatie bleken te verkeeren; om ook dezen te leeren kennen liet BREWSTER een sterk gepolariseerden lichtbundel op de oplossing vallen, maar bevond tot zijne verbazing, dat de blauwe bundel in elken stand van het prisma, dat als analysator diende, dezelfde intensiteit behield, De lichtbundel had dus zijne polarisatie verloren, en was in een gewonen (1) lichtbundel overgegaan.

Toen BREWSTER op die wijze ook andere stoffen onderzocht, bevond hij, dat bij eenige de geheele bundel in het vlak van terugkaatsing gepolariseerd was, bij andere vertoonde zich volstrekt geene polarisatie; bij weer andere vertoonden de beide deelen van den bundel, evenals bij de chinine oplossing, een verschillenden toestand van polarisatie. De roode bundel, die eene alkoholische oplossing van bladgroen opleverde, bleek, evenals de blauwe der chinine-oplossing, bijna geheel, niet gepolariseerd te wezen; slechts een klein gedeelte was in het vlak van terugkaatsing gepolariseerd. Bij de oplossing van aesculine, (in water) waarbij de twee bundels een groot contrast vormden, bleek de witachtige bundel in het vlak van terugkaatsing gepolariseerd te zijn, terwijl de donkerblauwe bundel geen spoor van polarisatie

---

(1) BREWSTER noemt dit: a quaquaversus polarisation, such as that which light receives, when transmitted through a congeries of minute doubly refracting crystals, having their axes in all possible directions.

verried. De groene bundel, dien een stuk Boheemsch glas verstrooide, bleek evenmin gepolariseerd te zijn.

§ 11. Ofschoon BREWSTER de verschijnselen, die al deze stoffen (vloeispaath, sulphas chininae, glazen en oplossingen van plantenstoffen) opleveren, onder den naam van inwendige dispersie samenvat, maakt hij echter bij hunne verklaring onderscheid tusschen:

a) Het verschijnsel van sulphas chininae.

b) " " " vloeispaath.

c) " " der overige stoffen.

Wat *a*) betreft, het verschil tusschen absorptie en dit verschijnsel is volgens hem eenvoudig dit, dat, terwijl bij gene een deel van het licht van den in het lichaam gedrongen bundel vernietigd (1) en onzichtbaar wordt, dit bij de chinine-oplossing verstrooid en zichtbaar wordt. (2) Deze vergelijking tusschen beide verschijnsels laat zich nog verder doorvoeren, wanneer men aanneemt dat het door absorptie vernietigde licht, als ware het, door dispersie zichtbaar gemaakt wordt.

---

(1) Exstinguished. Deze uitdrukking scheen ons de beste toe; het begrip blusschen, uitblusschen laat zich moeielijk op de lichtstralen overbrengen. Bovendien, het woord laat zich zeer goed verdedigen; wel wordt geene stof vernietigd, maar een lichtstraal, als zoodanig, kan zeer goed vernietigd heeten, wanneer hij in warmte, Electr. enz. wordt omgezet.

(2) Bezwaarlijk zal men bij de schrijvers vóór STOKES eene plaats vinden, waar het wezen der Fluorescentie dichter benaderd wordt; het lichtgeven, toch, na voorafgaande bestraling, is het eigenaardige der Fluoresceerende (en Phosphoresceerende) lichamen.

Brewster merkte op, dat niet alle soorten van vloeispaath de inwendige dispersie vermogen te voorschijn te roepen, maar slechts enkele variëteiten, en dan nog slechts enkele deelen. Hieruit besluit hij, dat zij het gevolg is van eene onvolkomene kristallisatie. (1) Hiermee eene andere waarneming in verband brengende, meent hij, dat ten slotte de oorzaak te zoeken is in eene vreemde stof, die successievelijk in het kristal is gevoerd en opgenomen. (2) Deze stof zou dan een ander brekend of dispersie-vermogen moeten bezitten dan de vloeispaath.

Wat *c*) betreft, dit behoeft volgens Brewster geene afzonderlijke verklaring, daar het door de gewone wetten der absorptie voldoende verklaard wordt.

---

(1) In zoover kan zij, naar Brewster, vergeleken worden met de kleurverschijnsels, die men bij andere onvolkomen gekristalliseerde Mineralen, zooals Adular, Chrysoberijl, Opaal, enz. (Opalescentie) waarneemt.

(2) Wijbouroff heeft sinds dien aangetoond, dat de vloeispaathen kleurstoffen (koolwaterstoffen) bevatten, waarschijnlijk ontstaan uit de ontleding van bitumineuse kalkgesteenten.

DERDE HOOFDSTUK.

G. G. Stokes.

A. *De ontdekking der hoofdwet.*

---

§ 1. Zoo stond het met onze kennis der verschijnselen, die HERSCHEL epipolische dispersie noemde, en die door BREWSTER aan inwendige dispersie werden toegeschreven, toen STOKES, hoogleeraar aan de Hoogeschool te Cambridge, aangetrokken door de vele raadsels, die zich bij elke schrede op dit gebied opdoen, den arbeid op nieuw opvatte. Wel was het een stout bestaan zich te wagen aan een vraagstuk, bij welks oplossing de krachten van Engeland's eerste natuurkundigen te kort waren geschoten, maar ook hier mag men met volle recht zeggen, dat het einde het werk bekroonde: STOKES verrijkte de wetenschap met eene der schoonste ontdekkingen, die sinds NEWTON op het gebied der Optica gedaan werden. (1)

---

(1) Dat dit algemeen erkend is, kan o. a. hieruit blijken, dat The Royal Society, schier onmiddelijk aan STOKES de Rumford Medal voor het jaar 1852 toekende. Zijne beide voorname verhandelingen vindt men: Phil. Trans. 1852 pt. II p. 463, Pogg. Ann. Ergänzungsband IV, en Phil. Trans. 1853 p. 385, Pogg. Ann. Bd. 96 p. 522.

Allereerst begon STOKES de proeven van HERSCHEL en BREWSTER te herhalen. Wat de hoofdzaak betreft, vond hij dezelfde uitkomsten. HERSCHEL's uitspraak, dat een epipoliseerde lichtbundel op de eene of andere wijze kwalitatief van den oorspronkelijken, op de oplossing (zwav. chin.) gevallen lichtbundel onderscheiden is, bevestigde zich.

Bij de methode van onderzoek door BREWSTER gebezigd, bleek het eveneens, dat het verschijnsel tot de inwendige dispersie te brengen was, in zooverre althans, dat het op gelijke lijn te stellen was met hetgeen eene oplossing van chlorofijl in alkohol, en meer dergelijke oplossingen vertoonen. Maar overigens werd ook bij deze wijze van onderzoek de waarneming van HERSCHEL bevestigd, dat de intensiteit van het blauwe licht aan de oppervlakte grooter is, dan dieper in de vloeistof. Wel werd de concentratie van het blauwe licht aan de oppervlakte niet waargenomen, en bleek de intensiteit van den lichtkegel overal even groot te wezen, wanneer het brandpunt der lens even binnen de vloeistof viel, maar wanneer het vat, dat de oplossing bevatte, verschoven werd, zoodat het brandpunt dieper in de vloeistof viel, dan werd het smalle blauwe laagje aan de oppervlakte zeer duidelijk waargenomen, zoowel als de blauwe schijn, die zich tot diep in de vloeistof uitstrekte.

Eene verklaring van dit verschil in uitkomsten is natuurlijk daarin te zoeken, dat de intensiteit van het ingevallen witte licht voor een punt op denzelfden afstand onder het oppervlak der vloeistof gelegen, in beide gevallen eene andere is.

Wanneer het brandpunt O (fig. 2) even onder de oppervlakte der vloeistof MK valt, dan wordt de vermindering van de intensiteit van het blauwe licht voor eenig punt Q, die aldaar volgens HERSCHEL, als voor een punt buiten het laagje aan de oppervlakte, ABCD, gelegen, zou moeten worden waargenomen, hersteld door de vermeerdering van de intensiteit der ingevallen stralen, die een gevolg is van den korteren afstand, waarop Q van het brandpunt O gelegen is. Wanneer echter het brandpunt, tengevolge van het verschuiven van het vat, al dieper en dieper in de vloeistof valt, dan zal het eindelijk eene ligging O' krijgen, waarbij de overmaat der intensiteit van het ingevallen licht in Q, boven die in het laagje ABCD te gering is, om de vermindering van de intensiteit van het blauwe licht, die een gevolg is, van het uittreden uit het laagje ABCD te vergoeden; alsdan zal een verschil in intensiteit van het blauwe licht in ABCD, en Q en de dieper gelegen punten worden waargenomen, en men zal het blauwe laagje, afgescheiden van den blauwen schijn waarnemen.

De ware toedracht der zaak is alzoo deze: *een lichtbundel, die door een laagje der vloeistof van matige dikte gedrongen, en daardoor epipoliseerd is geworden, is wel voor eene verdere dispersie vatbaar, echter niet voor eene epipolische dispersie, wanneer men deze uitdrukking beperkt tot die dispersie, die het smalle blauwe laagje te voorschijn roept.*

§ 2. Men mag zeggen, dat een vast geloof aan de Undulatie-theorie STOKES tot zijne ontdekking bracht; de gang, die daarbij zijne gedachten volgden is zoo logisch en treffend, dat ik niet weerstaan kan ze met zijne eigene woorden mee te deelen: „Diegene, die het licht als een „raadselachtig en geheimzinnig agens beschouwen, welks „wetten wij wel voor een goed deel kennen, maar omtrent „welks natuur wij zoo goed als niets weten, mogen wellicht „meenen, dat het verschijnsel slechts een nieuw merkwaardig „voorbeeld is van ontleding van het witte licht, zooals wij „er reeds zoovele kennen. Dengene echter, die meent, dat „de Undulatie-theorie is voor het licht, wat de theorie „der algemeene aantrekkingskracht voor de beweging der „hemellichamen is, moet het eene veel levendigere belang-„stelling inboezemen. Welke moeielijkheden het moge opleveren „te verklaren, hoe het verschijnsel tot stand komt, men „moet toch in staat zijn, te zeggen, welk verschijnsel tot „stand komt — waarin, bijv. eene epipoliseerde lichtbundel „onderscheiden is van licht, dat de epipolische dispersie nog „niet ondergaan heeft.

„Bij eenig nadenken over de natuur van het verschijnsel „doet zich een punt aan den geest voor, dat bijzondere aan-„dacht verdient. Ofschoon de doorgang van het licht door „een laagje der vloeistof, niet dikker dan eene kleine breuk „van den duim, voldoende is het te berooven van die stralen, „die eene epipolische dispersie te voorschijn te roepen, zoo „gaan toch de gedispergeerde stralen zelve ongehinderd door

„meerdere duimen der vloeistof. Het schijnt alzoo, dat de „stralen, die de dispersie veroorzaken, van eene andere „natuur zijn, waarin het verschil ook besta, dan de gedis- „pergeerde stralen zelve. Nu is volgens de Undulatie-theorie „de natuur van het licht door twee elementen (things) „bepaald, door den trillingsduur, en den toestand van „Polarisatie.

„Met het eerste komt de breekbaarheid overeen, en voor „zoover het oog daarover oordeelen kan, de kleur. Eene „verklaring van het verschijnsel is dus te zoeken in eene „verandering, òf van de breekbaarheid, òf van den toestand „van Polarisatie."

§ 3. Sinds NEWTON gold het in de Optica als eene grondstelling dat homogeen licht, hoe ook teruggekaatst of gebroken, steeds zijne kleur behield. De aanhangers der Undulatie-theorie meenden, dat de trillingsduur eener homogene lichtstraal nooit veranderen kon, die der Emanatie-theorie geloofden met NEWTON, dat the periods of the fits of reflexion and transmission steeds dezelfde bleven. (1)

Zoo hield men het bijv. voor onmogelijk, dat eene middenstof een violetten lichtbundel als blauw of groen licht in de eerste middenstof kon terugzenden; men meende dat gedispergeerd licht van bepaalde breekbaarheid slechts ont-

---

(1) Zie HERSCHEL Treatise on light art. 526.

staan kon uit licht van dezelfde breekbaarheid, voorhanden in den opvallenden lichtbundel.

Deze stelling als waar aannemende, beproefde STOKES aanvankelijk de verklaring van het verschijnsel, door eene verandering van den toestand van Polarisatie te onderstellen. Hij moest daarbij echter zoovele nieuwe Hypothesen maken, en het geheel werd zoo ingewikkeld, (1) dat hij dit denkbeeld, en daarmee de wet van NEWTON liet varen. Hiertoe ging hij des te eer over, daar eene verandering der breekbaarheid hoop gaf op eene eenvoudige verklaring. Inderdaad, men onderstelle, dat de onzichtbare stralen van kleinere golflengte dan de violette op de eene of andere wijze door eene inwendige dispersie aanleiding geven tot het ontstaan van andere stralen, die eene golflengte bezitten, gelegen tusschen de grenzen der gevoeligheid der retina en — de verklaring is gevonden. De geringe dikte van het door HERSCHEL waargenomen blauwe laagje zou dan slechts bewijzen, dat de vloeistof, ofschoon volkomen diaphaan voor de zichtbare stralen, nagenoeg geheel opaak is voor de onzichtbare. Volgens de wet van continuiteit (The law of continuity) zou dan de

---

(1) STOKES zegt hieromtrent: „Daar eene vloeistof geene assen heeft, zoo kan hier slechts van eene circulaire Polarisatie sprake wezen. Daar eenige vloeistoffen dubbelbrekend zijn, en zij rechts- en links-circulair gepolariseerd licht met verschillende snelheid doorlaten, zoo ware het ook mogelijk, dat zij eene dubbele absorptie bezaten, d. i. een rechts-circulair gepolariseerden lichtstraal van zekere breekbaarheid sterk absorbeerden, en een links-circulair gepolariseerden onverzwakt doorlieten. Het rechts-circulair gepolariseerde licht,

overgang van bijna volkomene doorzichtbaarheid tot een hoogen graad van opaciteit niet plotseling geschieden.

Zoò konden dan stralen van eene daartusschen gelegene golflengte den door HERSCHEL waargenomen blauwen schijn, of den door BREWSTER beschreven blauwen kegel veroorzaken. Ook het feit, dat het verschijnsel bij sterk kaarslicht uitblijft, terwijl het bij het zwakste daglicht wordt waargenomen, was dan opgehelderd. Kaarslicht toch is zeer arm aan onzichtbare stralen.

§ 4. Had STOKES een middel bezeten, rechtstreeks te onderzoeken welke stoffen, bijv. glazen, de chemische stralen absorbeeren, het ware hem gemakkelijk geweest, de onderstelling, waartoe de theorie hem voerde, aan de ervaring te toetsen. Hij had dan de oplossing in eene donkere kamer kunnen plaatsen, en, na de spleet in het venster met het

---

hoewel geabsorbeerd in den zin, als weggenomen uit den invallenden bundel, zou echter, juister gesproken, verstrooid kunnen wezen, en daardoor zijne polarisatie verliezen. Dit zoo gevormde licht nu zou aequivalent wezen aan twee lichtbundels van gelijke intensiteit, van welke de eene uit rechts-, de andere uit links-circulair gepolariseerd licht bestaat. Van deze zou de laatste weer ongehinderd door de vloeistof gaan, de eerste op nieuw verstrooid worden, en zoo voort. Deze Hypothese, op zich zelf reeds onwaarschijnlijk, zou echter nog niet voldoende wezen. Men zou nieuwe onderstellingen behooren te maken, om de omstandigheid te verklaren, dat een epipoliseerde lichtbundel, aan een prismatisch onderzoek onderworpen, geene absorptie-strepen vertoont op de plaats van het spectrum, waar de gedispergeerde stralen volgens hunne breekbaarheid te huis behooren. Deze Theorie zou alzoo in haar geheel genomen niet den geringsten schijn van waarheid bezitten.

uitgekozen glas gesloten te hebben, door een Heliostaat, of, hoe dan ook, een sterken lichtbundel door het glas op de vloeistof kunnen terugkaatsen. Dan ware het uitblijven der blauwe kleur reeds een goed begin van bewijs geweest.

STOKES echter bezat dit middel niet; hij kon dus slechts door probeeren eene uitkomst zoeken te verkrijgen.

Ook de wijze, waarop STOKES aanvankelijk te werk ging, om de natuur omtrent zijne onderstelling te ondervragen, was eene andere, dan die wij zoo even voorstelden. STOKES bekleedde een met de oplossing gevuld buisje met zwart papier, waarin eene opening gemaakt was, om het licht door te laten. Zag men, terwijl de opening naar het licht was toegekeerd, van boven in het buisje, dan werd duidelijk een blauwe lichtboog waargenomen. De glazen, die hij probeerde, werden beurtelings voor de opening in het papier, en voor het oog gehouden. Na eenig zoeken gelukte het STOKES in eene groote verzameling gekleurde glazen, een rookkleurig glas te vinden, dat voor de opening, waardoor het licht in de vloeistof drong, geplaatst, het ontstaan van den blauwen boog verhinderde, maar voor het oog gehouden, een groot deel van het licht, waaruit hij bestond, doorliet. Een ander stuk glas van eene donkere kleur, liet, voor de opening geplaatst, den boog ontstaan, absorbeerde echter zijn licht, wanneer men het voor het oog hield. Een stuk donker blauw kobaltglas, dat, zooals men weet, de onzichtbare stralen doorlaat, oefende, wanneer het voor de opening geplaatst werd, volstrekt geen invloed uit, terwijl het voor

het oog gehouden, zelfs het door de convexiteiten van het glas teruggekaatste licht absorbeerde. Andere glazen lieten den boog in beide standen, echter onder geheel andere kleuren, waarnemen. Ook de breedte van den boog veranderde, naarmate er andere glazen voor de opening geplaatst werden; eenige brachten te weeg, dat het licht meer, andere dat het minder tegen de oppervlakte van het glas werd geconcentreerd, dan wanneer het licht rechtstreeks in de vloeistof drong.

Nu herhaalde STOKES de proef op eene andere wijze: eene lens van korte brandpuntswijdte werd in de opening van het venster eener donkere kamer geplaatst; het buisje met de oplossing werd voor de lens geplaatst op een afstand, groot genoeg om het brandpunt even binnen de vloeistof te doen vallen. Toen vertoonden zich onafhankelijk van elkander het door HERSCHEL beschreven blauwe laagje, en de door BREWSTER vermelde blauwe bundel. Werden verschillende gekleurde glazen eerst voor de vloeistof, en dan voor het oog geplaatst, dan bleek de blauwe bundel, evenals vroeger de blauwe lichtboog, meesttijds eene andere tint aan te nemen, naarmate het glas zoo geplaatst werd, dat het eerst het invallende, of het gedispergeerde licht opving (1). Bij hetzelfde stuk glas bleek echter de blauwe bundel zich anders te gedragen als het blauwe laagje.

---

(1) Een groot aantal waarnemingen omtrent de verschillende kleuren, die de lichtkegel aanneemt, naarmate de gekleurde middenstoffen (glazen, en

§ 5. In het midden latende, of deze proeven, zooals STOKES meent, een afdoend bewijs zijn voor eene verandering der breekbaarheid, merken wij op, dat zij zich door de gewone theorie der kleuren niet laten verklaren. Nemen wij tot opheldering de proef met het rookkleurig glas. Wanneer het glas, voor de opening geplaatst, het ontstaan van den blauwen lichtboog verhindert, dan zal men volgens deze theorie zeggen: het glas houdt de blauwe stralen terug, absorbeert ze. Maar — dan moet het glas deze stralen eveneens absorberen, wanneer het voor het oog geplaatst wordt: zoo vertoont zich een stuk wit papier onder dezelfde kleur, hetzij het gekleurde glas voor het oog, of voor het papier gehouden wordt; zoo zal een stuk rood lak steeds geel wezen, in welken stand men een groen glas plaatst.

Om kort te gaan, deze proeven stelden boven allen twijfel, dat de blauwe kleur der oplossing iets geheel anders was, dan de blauwe kleur van eenig ander blauw lichaam.

§ 6. De volgende proef, die STOKES hierop deed, is zeker onder al degene, die hij gedaan heeft, de merkwaardigste: door haar werd de wet der verandering der breekbaarheid voor het eerst in het helderste daglicht geplaatst. Op de

---

gekleurde vloeistoffen) voor de opening (eerste stand), of voor het oog (tweede stand) geplaatst zijn, heeft in lateren tijd PISKO gedaan. Men zie hierover WÜLLNER, Experimental-Physik Th. I p. 801, of liever, PISKO: die Fluorescenz des Lichtes p. 41, een populair, zeer onderhoudend, boekje. Ook vergelijke men daarmeê, Journal für Practische Chemie van ERDMANN Bd. 66 pag. 87, waar men een tal van dergelijke waarnemingen van H. OSANN vinden zal.

gewone wijze werd een zonnespectrum gevormd, zoodat de lengteafmeting van het spectrum horizontaal was. Nu werd een reageerbuisje, gevuld met de oplossing, in vertikalen stand, even buiten de uiterste roode stralen geplaatst, en dan in horizontale richting achtereenvolgens door al de kleuren van het spectrum, rood, oranje, geel, enz. gevoerd. De stralen van bijna het geheele zichtbare spectrum gingen door de vloeistof, als ware het water geweest. Toen echter het buisje bijna de uiterste violette stralen had bereikt, schoot eensklaps een spookachtige (1) schijn van blauw licht door het buisje. Werd het buisje in dezelfde richting nog verder voortbewogen, dan nam aanvankelijk de intensiteit van het blauwe licht toe, om langzamerhand, maar eerst op een grooten afstand van de uiterste zichtbare stralen, te verdwijnen. Eene andere bijzonderheid was deze: terwijl de blauwe schijn zich bij zijn optreden door het geheele buisje heen uitstrekte, werd hij bij de beweging van het buisje, steeds meer en meer tot den wand van het buisje teruggedrongen, om bij zijn verdwijnen tot een uiterst dun laagje beperkt te worden.

Zooals thans nog ieder, die de proef herhaalt, zoo was ook Stokes ten zeerste getroffen door het verschijnsel, dat een buisje, met eene chinine-oplossing gevuld, in de onzichtbare stralen begint te lichten, door deze zichtbare

---

(1) ghost-like.

duisternis. STOKES zoekt blijkbaar naar woorden, om zijne verwondering te kennen te geven en zegt: altogether the phenomenon had something of an unearthly appearance.

§ 7. Deze proef, die allen twijfel omtrent eene verandering der breekbaarheid der onzichtbare stralen wegnam, bewees bovendien, dat de oplossing zeer opaak is voor stralen van zeer kleine golflengte. Het was echter van belang dit nog op andere wijze aan te toonen. Hiertoe werd het zonnelicht door eene spleet, waarachter een glazen vat stond, teruggekaatst. Werd het vat met water gevuld, en daarna de spleet door een prisma bezien, dan werd het violette deel van het spectrum even ver waargenomen, als wanneer zij rechtstreeks werd beschouwd; werd echter het water door de chinine-oplossing vervangen, dan bleken de stralen, breekbaarder dan G½H, te ontbreken (2). Deze opaciteit der vloeistof voor de meest breekbare stralen verklaart thans zeer goed de door HERSCHEL ontdekte eigenschap: Epipoliseerd licht is licht,

---

(2) Deze schrijfwijze is van STOKES afkomstig. ½ GH duidt de plaats van het spectrum aan, onder G gelegen op een afstand, gelijk aan den halven afstand der Frauenhofersche strepen G en H. GH½ de plaats op denzelfden afstand boven H gelegen; G½H de plaats, midden tusschen G en H gelegen. De woorden onder en boven gebruikt STOKES, om daarmee respectievelijk de minder of meer breekbare zijde van het spectrum aan te duiden, ofschoon bij zijne onderzoekingen de lengteafmeting van het spectrum steeds horizontaal is, en dus de Frauenhofersche strepen vertikaal zijn.

dat bij zijn doorgang door de Chinine-oplossing van zijne onzichtbare stralen beroofd is.

§ 8. Na dit onderzoek der oplossing van Sulphas Chininae ging STOKES tot de andere gevallen van inwendige dispersie over. Er moest onderzocht worden, of ook bij deze eene verandering der breekbaarheid der lichtstralen plaats had, en, zoo ja, dan moesten de wetten opgespoord worden, waaraan deze nieuwe groep verschijnselen onderworpen was.

Bij dit verdere onderzoek gebruikte STOKES zeer verschillende Methoden; men kan ze echter gevoegelijk tot twee grootere afdeelingen of groepen brengen. De eerste kan men dan, daar daarbij het spectrum steeds de hoofdrol speelt, die der Spectraal-methoden noemen; de andere wordt dan gevormd door de Methoden der Absorbenten (1) Eerst, nadat wij beide groepen hebben leeren kennen, zullen wij beproeven eene vergelijking te maken tusschen de voordeelen, die elk dezer oplevert.

---

(1) Wij weten, dat Absorbenten geen Nederlandsch is; het schijnt ons echter toe, dat deze uitdrukking de voorkeur verdient boven Complementaire methode; deze uitdrukking, die wel eens gebezigd wordt, drukt iets geheel anders uit, dan er bedoeld wordt.

B. *De Spectraal-methoden.*

A. DE METHODEN VOOR DOORZICHTIGE LICHAMEN.

§ 1. STOKES had door middel van de methoden, die wij thans gaan meedeelen, reeds menig onderzoek gedaan, zoowel op vloeistoffen, als doorzichtige vaste lichamen, vooraleer hij de ontdekking deed, dat ook vaste, ondoorzichtige lichamen het vermogen bezaten te Fluoresceeren, en hij eene methode had opgespoord, die voor het onderzoek dezer lichamen geschikt is.

Het is nog minder met het oog op dezen gang der ontdekkingen van STOKES, dan wel met het oog op het verschil, dat er noodwendig bestaan moet tusschen de wijze, waarop de Fluorescentie van een doorzichtig, en die, waarop de Fluorescentie van een ondoorzichtig lichaam wordt waargenomen, dat wij meenden in de Spectraal-methoden nog eene verdeeling te moeten brengen.

De methoden, die hier vermeld moeten worden, zijn de volgende:

Eerste Methode. Op eene kleine lens, die in eene opening van een vertikaal scherm was aangebracht, werd het zonnelicht in horizontale richting (door eene spiegel) teruggekaatst. De uit de lens tredende lichtkegel viel op het te onderzoeken vaste, of vloeibare, lichaam. Een gekleurd glas, of eene andere absorbeerende middenstof werd eerst zoo geplaatst, dat het de opvallende stralen opving; dan werd het tusschen

het oog en de stof gebracht. Deze twee standen van het glas noemt STOKES respectievelijk den eersten, en den tweeden stand. Somtijds werd, terwijl het gekleurde glas voor de opening bleef, nog een tweede glas gebruikt, dat bij afwisseling voor de opening en het oog geplaatst werd. (1)

Tweede Methode. Het zonnelicht, even als bij de eerste Methode teruggekaatst, ging door eene rij Münchensche Prismas, die dicht achter elkander, elk in den stand van het minimum van deviatie, geplaatst waren. Van daar ging het licht door eene lens, die in een scherm, dicht achter het laatste Prisma geplaatst, was bevestigd, en viel verder op het te onderzoeken lichaam. Dit werd meesttijds zoo geplaatst dat zijn voorste zijvlak nagenoeg met het brandpunt der lens samenviel. De diameter van de lens was veel kleiner dan de breedte of de hoogte van het prisma, zoodat de lens geheel met wit licht gevuld werd, waarvan echter de bestanddeelen in verschillende richtingen binnentraden. Beschouwt men het zonnebeeldje, dat in het brandpunt der kleine lens gevormd wordt als een punt, dan kan men het licht, dat op het te onderzoeken lichaam valt, beschouwen als te bestaan uit eene reeks kegels, welker assen in een horizontaal vlak gelegen zijn, en elkander in het centrum (2)

---

(1) Ofschoon deze wijze van onderzoek eigenlijk niet tot de Spectraal-methoden gerekend kan worden, vermelden wij ze hier, daar zij door STOKES steeds in vereeniging met de volgende werd aangewend.

(2) In de Duitsche vertaling, die mij thans alleen ten dienste staat, lees ik: im Brennpunkt. Dit is echter blijkbaar eene fout; men moet lezen: in het centrum, of, Optisch middenpunt.

der lens snijden, terwijl de toppen eene horizontale lijn vormen, dicht aan de oppervlakte van het lichaam gelegen.

Derde Methode. Door eene spleet, waarvan de lengteafmeting vertikaal was, werd het licht in horizontale richting op de prismas geworpen, die even als zoo even geplaatst waren, met dit onderscheid echter, dat de afstand waarop zij van de spleet stonden meerdere voeten bedroeg. Dicht achter het laatste prisma bevond zich eene groote lens van tamelijk grooten brandpuntsafstand; deze lens werd zoo geplaatst, dat zij den uit het laatste prisma tredenden lichtbundel in haar midden opving, terwijl er zorg voor gedragen werd, dat de bundel zooveel mogelijk loodrecht op de lens viel. Het te onderzoeken lichaam werd in, of in de nabijheid van het beeld van de spleet geplaatst. (1)

Vierde Methode. Bij deze bleef alles gerangschikt als bij de derde methode, met dit verschil dat eene kleine lens van korten brandpuntsafstand achter de groote werd geplaatst. De kleine lens werd in het beeld van de spleet, of wel tusschen dit en het zonnebeeld geplaatst. (2) Dit laatste lag

---

(1) Deze derde methode is niets anders dan de gewone methode om een zuiver spectrum te verkrijgen. Zie Wüllner. Exp. Phys. Th. I p. 708.

(2) Wanneer een bundel zonnestralen door eene spleet in eene donkere kamer treedt, en op eene lens valt, die zich op grooteren afstand van de spleet bevindt, dan den hoofdbrandpuntsafstand, dan zijn twee brandpunten mogelijk. In het hoofdbrandpunt wordt het zonnebeeld gevormd, welks afmetingen onafhankelijk zijn van de afmetingen der spleet; in den geconjugeerden brandpuntsafstand van de spleet, ontstaat een beeld der opening, waarvan de vorm bepaald wordt door die der spleet. Zie Billet, Traité d'Optique Physique Tom. I p. 358.

een weinig dichter bij het prisma, daar de hoofdbrandpuntsafstand der groote lens wel kleiner, maar toch niet onvergelijkelijk kleiner was dan den afstand van de lens tot de spleet. Gewoonlijk werd voor de kleine lens nog eene tweede spleet aangebracht. De te onderzoeken stof werd in het brandpunt der kleine lens geplaatst, terwijl het gedispergeerde licht van boven beschouwd werd door een prisma, dat het zijwaarts brak.

§ 2. Allereerst werd de Chinine-oplossing volgens deze Methoden onderzocht. De tweede methode bracht STOKES tot het gewichtige onderscheid van valsche en ware Fluorescentie.

Het gedispergeerde licht bleek namelijk uit twee bundels te bestaan, die zich reeds daar, waar het licht in de vloeistof trad, van elkander scheidden en verder nog meer van elkander liepen. Elke bundel bestond natuurlijk uit eene reeks kegels, waarvan de assen elkander in het centrum der lens sneden en van daar uit elkander liepen, terwijl de toppen in het brandpunt gelegen waren.

De eerste bundel, die gevormd werd door licht van geringe breekbaarheid, bleek uit de meer heldere kleuren van het spectrum te bestaan. Hij had een vonkelend, niet doorloopend (discontinue) aanzien, en ontstaat door terugkaatsing van het licht door stofdeeltjes, die in de vloeistof zwevende zijn. Van boven door een Nicolsch prisma beschouwd, bleek hij hoofdzakelijk te bestaan uit licht dat in

het vlak van terugkaatsing gepolariseerd was. Deze bundel ontstaat, onverschillig of de invallende lichtbundel gepolariseerd is, of niet, en vormt hetgeen wij valsche Fluorescentie noemden. Als een gewoon reflexie-verschijnsel heeft deze valsche Fluorescentie niets met de ware Fluorescentie te maken. Wel verre van de waarneming van den tweeden bundel, die uit waar Fluorescentielicht bestaat te bemoeielijken, bewees de eerste bundel goede diensten bij het bepalen van de breekbaarheid van de stralen, die den tweeden bundel vormen.

Deze valsche Fluorescentie, ofschoon niet van belang ontbloot (1) zullen wij in het vervolg geheel buiten de beschouwing laten. Alleen moeten wij opmerken, dat zij soms zooveel overeenkomst met de ware Fluorescentie vertoont, dat men, zonder veel voorzichtigheid, in gevaar komt, beiden met elkander te verwarren. (2) STOKES geeft daarom

---

(1) Wanneer de deeltjes, die in de vloeistof zweven, fijner worden, dan neemt de bundel een meer doorloopend aanzien aan, en de Polarisatie wordt meer volkomen. De bundel blijft echter in het vlak van terugkaatsing gepolariseerd.

Uit deze feiten leidt STOKES af, dat de aethertrillingen van een gepolariseerden lichtstraal loodrecht op het Polarisatievlak plaats hebben. Zooals men weet, bestaat hieromtrent nog eene andere zienswijze.

Men zie hierover, en meer andere toepassingen der valsche Fluorescentie: Pogg. Ann. Ergänzb IV. § 179.

(2) Een merkwaardig voorbeeld van valsche Fluorescentie deelt Brücke mee. (Pogg. Ann. Bd. 94 p. 426). De roode oplossing van eene modificatie van de kleurstof van het bloed (haematin) vertoont reeds bij het gewone daglicht bij opvallend licht eene groene kleur, terwijl de lichtkegel, door eene lens in de vloeistof gebracht, even duidelijk onder eene groene kleur gezien wordt, als de blauwe bij de Chinine. Brücke noemt ze daarom

verschillende middelen aan de hand beiden te onderkennen; als het voornaamste kenmerk der ware Fluorescentie schijnt hij aanvankelelijk beschouwd te hebben het niet gepolariseerd zijn van het ware Fluorescentielicht. Zooals hij echter later zelf, en na hem anderen opmerkten, is dit kenmerk niet wezenlijk (1). De valsche Fluorescentie vergezelt nagenoeg altijd de ware Fluorescentie, en hare intensiteit is afhankelijk van het aantal stofdeeltjes, die in de cubieke eenheid der vloeistof zwevende zijn, d. i. van den graad van klaarheid der vloeistof.

De tweede bundel was veel helderder dan de eerste en had eene schoon hemelsblauwe kleur, die overal dezelfde was, met uitzondering van de plaats, waar hij door de minder breekbare stralen gevormd werd; daar was de kleur minder zuiver. Van boven door een achromatisch dubbelbrekend kwartsprisma beschouwd, vertoonde hij geen spoor van Polarisatie. Hij onstaat steeds op dezelfde wijze, welke ook de toestand van Polarisatie van het opvallende licht is, hetzij dit gepolariseerd is als evenwijdig aan, of loodrecht op het vlak van dispersie (d. i. het vlak, gaande door den invallenden

---

de dichroïtische. Dat het valsche Fluorescentie is, besluit Brücke ten onrechte uit de Polarisatie van het groene licht.

Als eene zeer bedriegelijke stof noemt Stokes eene soort tafelglas, met alkali vervaardigd.

(1) Stokes bevond dat het Fluorescentielicht der Platina-cijaniden gepolariseerd is (Pogg. Ann. Bd. 96 p. 541). Dit komt overeen met de onderzoekingen van Grailich; deze onderzocht een groot aantal platinacijanuren, en vond het Fluorescentielicht steeds ten deele gepolariseerd (Krijstallographisch-Optische Untersuchungen. pag. 96.)

en den tot het oog komenden gedispergeerden lichtstraal). Ook de intensiteit bleek in al deze gevallen dezelfde te wezen; een verschil werd althans niet waargenomen.

Het is bij deze gelegenheid, dat STOKES opmerkende, dat de naam inwendige dispersie, als steunende op eene verkeerde opvatting van de natuur van het verschijnsel, daarvoor niet langer past, voorstelt het Fluorescentie te noemen, op dezelfde wijze van Fluoor gevormd, als Opalescentie van Opaal. Ook het woord dispersieve Reflexie wordt door hem genoemd.

In zijne tweede verhandeling, toen gebleken was, dat de golflengte van het gedispergeerde licht nooit grooter is dan die van het opvallende, komt hij met degradation of light voor den dag: degraded light is dan gedispergeerd licht. Deze uitdrukkingen zouden echter evenzeer van toepassing wezen op het Phosphorescentielicht, zoo althans ook bij de Phosphorescentie de breekbaarheid der opvallende stralen steeds verminderd wordt. Dependent emission zou, zoo meent STOKES, de Phosphorescentie uitsluiten, maar moet, behalve om andere redenen, wegens zijne onhandelbaarheid ter zijde blijven. Daarom keert STOKES terug tot Fluorescentie, een naam, die onveranderd in alle talen kan worden overgenomen, en, vrij van elke hypothese omtrent het wezen van het verschijnsel, spoedig algemeen ingang gevonden heeft.

Behalve het woord Fluorescentielicht, waarvoor STOKES bij afwisseling waar gedispergeerd of eenvou-

dig gedispergeerd licht gebruikt, zullen wij voortaan nog een paar uitdrukkingen bezigen, die men technische zou kunnen noemen. Werkzaam zullen wij een lichtbundel noemen, wanneer hij het vermogen bezit, de stof, waarvan gesproken wordt te doen Fluoresceeren; de stof zelf zal dan gevoelig heeten. De lichtbundel, die op de gevoelige stof valt, wekt Fluorescentielicht op.

Toen de vloeistof volgens de derde methode onderzocht werd, bleek het, zooals te verwachten was, (III A. § 6) dat de minder breekbare stralen tot G vrij door de vloeistof gingen. Slechts hier en daar werden stralen door de in de vloeistof zwevende deeltjes teruggekaatst. Bij G begon de Fluorescentie even merkbaar te worden; van deze streep waren sporen waar te nemen (1). Recht duidelijk werd zij echter eerst G½H, terwijl zij van daar steeds in intensiteit toenemende, bij H haar maximum bereikte; een groot aantal strepen, breekbaarder dan H, werd nog

---

(1) De vorm, waaronder men de strepen ziet, hangt natuurlijk af van den stand van het oog. Wanneer men het deel van de vloeistof, waarin het Fluorescentielicht optreedt als eene lichtgevende massa beschouwt, dan is het duidelijk dat men in het algemeen de strepen als donkere vlakken zal waarnemen. Wanneer het oog gelegen is in een vertikaal vlak, gaande door eenige streep, zal men deze als eene lijn zien. In dezen stand zal men eenige streep het best kunnen waarnemen.

In het geheel zal men het best doen, wanneer men het vat van voren beschouwt, d. i. van den kant, van waar het spectrum er op valt. Om het contrast te verkrijgen kan men het spectrum bij afwisseling op de vloeistof, en op een voor het zijvlak van het vat bevestigd stuk wit papier laten vallen. Het vat behoorde dan bij voorkeur de gedaante van een parallelopipedum te hebben.

waargenomen. De kleur van het Fluorescentielicht, die bij G ½ H blauw was, nam, naarmate men H naderde, eene bleeke hemelsblauwe tint aan.

Het gelukte STOKES van de meest breekbare strepen, die hij op deze wijze voor het eerst zichtbaar leerde maken, eene teekening te maken. Hij onderscheidde daaronder vijf voorname groepen, die hij achtereenvolgens H, *l*, *m*, *n* en *p* noemt. (1). Dat STOKES de kleine letters koos was meer dan toeval. Vóór STOKES toch was het reeds twee andere natuurkundigen, E. Becquerel en Draper, gelukt eene teekening te maken van de strepen van het zoogenoemde Chemische spectrum (2). Beiden hadden de groote letters gebruikt om de strepen te beduiden. A priori nu was het volstrekt niet te beslissen, of de strepen, die STOKES waarnam, identiek waren met die, welke Becquerel verkreeg door een spectrum op een phosphoor te laten vallen, of met die, welke het Draper gelukt was te photographeeren. Later echter bleek deze voorzorg van STOKES overbodig: de door hem waargenomen strepen bleken dezefde te wezen als die, welke door anderen waren waargenomen. Becquerel's I is de *l* van STOKES, zijne M de *m* van STOKES enz. enz.

Ofschoon ook bij het onderzoek volgens de tweede methode duidelijk het groote absorbeerend vermogen der vloeistof voor stralen van zeer groote breekbaarheid bleek, is echter de

---

(1) Men zie de teekening: Pogg. Ann. Ergänzungsband IV.
(2) Zie III B. b. § 1.

derde methode voor dit onderzoek veel beter geschikt.

Plaatst men het oog boven het niveau der vloeistof zoodat de gezichtsstraal er loodrecht op staat, dan ziet men de donkere vlakken, die met de Frauenhofersche strepen overeenkomen, als lijnen geprojecteerd op den bodem van het vat. Deze lijnen zullen des te langer wezen, naarmate de stralen, die in golflengte met die streep overeenkomen, dieper in de vloeistof vermogen te dringen, d. i. naarmate het absorbeerend vermogen der vloeistof voor stralen van die breekbaarheid geringer is. Wanneer men nu door de uiteinden dezer lijnen, langs de grens van het Fluorescentielicht eene kromme lijn trekt, dan stelt deze de wijze voor waarop het absorbeerend vermogen der vloeistof afhangt van de breekbaarheid der opvallende stralen. De loop dezer kromme lijn bleek Stokes afhankelijk te wezen van den graad van concentratie der vloeistof. Zoo nam het absorbeerend vermogen voor stralen breekbaarder dan H merkelijk af, wanneer de vloeistof tot $^1/_{10}$ van haren oorspronkelijken graad van concentratie (1 gwd. zure zwavelzure Chinine op 200 gwd. water) verdund werd. Volgens de beschrijving, die Stokes geeft zou fig. 3 ongeveer de kromme lijn zijn voor de normale oplossing.

Dat het Fluorescentielicht samengesteld licht is, ook dan, wanneer het opvallend licht zoo homogeen mogelijk is, bleek wanneer het geheele stelsel van ter zijde door een prisma beschouwd werd. De randen van de breede streep H vertoonden zich dan gekleurd met de kleuren van het spectrum,

terwijl de zwakkere strepen geheel verdwenen, en de andere een zeer verward aanzien bekwamen.

De vierde methode is vooral geschikt om de kleursveranderingen, die het Fluorescentielicht ondergaat, naarmate stralen van andere breekbaarheid op de vloeistof vallen, na te gaan. Zij is ook veel gevoeliger dan de derde methode (1). Werd de kleine lens in horizontale richting van het roode naar het violette uiteinde van het spectrum verschoven, dan werd de Fluorescentie het eerst in het blauwe licht waargenomen. Het valsche Fluorescentielicht, dat dezelfde breekbaarheid bezit als het opvallende licht, scheidde zich, wanneer men het geheel door een prisma beschouwde, van het ware Fluorescentielicht, dat voor die streek van het spectrum uit eene zeer geringe hoeveelheid rood licht bleek te bestaan. Naarmate de lens verder voorwaarts bewogen werd, voegden zich bij het roode meer andere kleuren. Eerst vertoonde zich een weinig geel, en toen de lens ongeveer de grens van het blauwe en het indigo bereikt had, voegde zich hierbij eenig groen. Terwijl de intensiteit toenam, vertoonde het licht in het indigo, in zijn geheel genomen, eene groene tint.

Ving de lens nog breekbaarder stralen op, dan nam het Fluorescentielicht eene bleek blauwe kleur aan, terwijl het door het prisma beschouwd, zeer sterk breekbaar blauw

---

(1) Dat de Fluorescentie volgens de derde methode reeds bij G is waar te nemen zou STOKES's aandacht, zooals hij zegt, ontgaan zijn, wanneer hij door de vierde methode daarop niet opmerkzaam ware gemaakt.

bleek te bevatten. Allengs werd de kleur dieper blauw, om even vóór H, eene witte tint aan te nemen. Nog ver voorbij H liet het licht zich als een bijna witte schijn waarnemen.

§ 3. Wij hebben aan het onderzoek der chinine-oplossing eene eenigszins ruime plaats geschonken. Dit geschiedde nog minder, omdat zij in de geschiedenis der Fluorescentie eene zoo voorname rol speelt, dan wel, omdat zij als type zou dienen voor het groote aantal stoffen, die STOKES bij zijn onderzoek na de chinine-oplossing de beurt liet krijgen. Het is hier de plaats niet de verdiensten van eenigen arbeid te overwegen of te bespreken, maar men zal het ons toestemmen, dat eene opsomming van al deze stoffen, met vermelding van de plaats van het spectrum, waar de Fluorescentie optreedt, en van de kleuren, die het licht bij elke streep vertoont, en dergelijken meer, onmogelijk op onzen weg kan liggen. Wij kiezen dus uit dit deel van STOKES's onderzoek hetgeen ons met het oog òf op het voorgaande, òf het volgende als het gewichtigste toeschijnt. En dan schijnen vier stoffen reeds dadelijk als aangewezen; de oplossing van aesculine, de vloeispaath, het kanarieënglas, en de oplossing van chlorofyl in alkohol.

§ 4. Omtrent de oplossing van aesculine kunnen wij kort wezen. In het algemeen gedraagt zij zich even als de chinine-oplossing. De Fluorescentie vangt bij haar echter iets vroe-

ger aan; reeds vóór G is zij zeer goed waar te nemen (1) Dit feit verklaart thans zeer goed de waarneming, die BREWSTER deed (II § 9).

§ 5. Het kristal van vloeispaath, door STOKES onderzocht, vertoonde bij doorgelaten licht eene groene, en bij opvallend licht eene donkerblauwe kleur. Wanneer men door het kristal een zuiver spectrum beschouwde, werd in het roode eene smalle absorptie-streep waargenomen.

Werd door middel van eene lens van korten brandpuntsafstand een kegel zonnelicht in het kristal gebracht, en het Fluorescentielicht door een prisma ontleed, dan bleek dit te bestaan uit zeer weinig rood, waarop groen, blauw, indigo en violet volgden. Het spectrum was echter niet doorloopend. Op het roode volgde eene donkere ruimte: bovendien werd eene niet zeer breede streep van blauwachtig-groen door twee donkere strepen van het groen daaronder, en het indigo daarboven gescheiden.

Toen het kristal volgens de tweede methode onderzocht werd waren de uitkomsten tamelijk wel dezelfde als bij de chinine-oplossing. De bundel valsch Fluorescentielicht ontbrak echter. Behalve een rijken bundel diep blauw Fluorescentielicht, werd nog een tweede bundel van rood licht waargenomen, die door

---

(1) STOKES gebruikte een aftreksel van den bast van den wilden kastanjeboom, en ontdekte nogmaals, hetgeen vóór hem GOETHE reeds ontdekt had; met GOETHE's ontdekking namelijk was hij onbekend.

stralen van geringe breekbaarheid gevormd werd. Deze roode bundel, die zeer zwak was, bleek bij een ander kristal, dat geene absorptie-streep veroorzaakte, te ontbreken.

Toen het kristal volgens de derde methode onderzocht werd, bleek de Fluorescentie bij G ½ H, aan te vangen en zich nog ver voorbij H uit te strekken. De groepen H, *l* *m*, en *n* waren duidelijk waar te nemen, terwijl van de groep *p* nog enkele strepen gezien werden. Het absorbeerend vermogen van het kristal voor stralen van groote breekbaarheid bleek echter eenigzins van dat der oplossing te verschillen: de ordinaten der kromme lijn, die overeenkomen met de meer breekbare stralen zouden niet zoo snel afnemen, als bij de oplossing.

Bij het onderzoek volgens de vierde methode bleken van de roode stralen alleen de meer breekbare werkzaam te zijn; het Fluorescentielicht was uiterst zwak, en rood. Bij de voorwaartsche beweging der kleine lens werd het Fluorescentielicht spoedig sterker, om alsdan vrij plotseling te verdwijnen, en zich niet weder te vertoonen, vooraleer de lens de groen-gele stralen van het spectrum opving. Het Fluorescentielicht was alsdan zeer zwak en had aanvankelijk eene roode, en later eene bruinachtige kleur. Eerst in de nabijheid van G ½ H werd het licht zeer krachtig en vertoonde eene schoone hemelsblauwe kleur. Door een prisma onderzocht, bleek het uit stralen van zeer verschillende breekbaarheid te bestaan. Terwijl het uiterst arm was aan roode stralen, waren de meer breekbare stralen sterk vertegenwoor-

digd. De breekbaarheid van de meest breekbare stralen van het Fluorescentielicht bleek echter geringer te wezen dan die van het werkzame licht.

§ 6. Eene waarneming van BREWSTER bracht STOKES er toe, het kanarieënglas nader te onderzoeken. Ieder kent dit glas, dat bij doorgelaten licht geel is, en met eene geelgroene kleur sterk Fluoresceert. Het is gekleurd met Uraanoxyd, en wordt daarom ook wel Uraniumglas genoemd.

Toen STOKES een bundel Fluorescentielicht, die door wit licht was opgewekt, door een prisma ontleedde, verkreeg hij eene merkwaardige uitkomst: het Fluorescentielicht bleek namelijk te bestaan uit vijf heldere strepen, die ongeveer dezelfde breedte hadden, en op nagenoeg gelijke afstanden door smalle donkere strepen gescheiden werden. De eerste streep was rood, de tweede rood-oranje, de derde geel-groen, en de vierde en vijfde waren groen.

Bij ontleding van een bundel zonnelicht, die door eene plaat van het glas van zekere dikte was gegaan, vertoonde zich even onder F eene absorptie-streep; een tweede absorptie-streep werd, ofschoon minder duidelijk bij F½G waargenomen. Van de stralen breekbaarder dan G werd niets waargenomen, daar dit meer breekbare gedeelte van het spectrum geheel ontbrak.

Bij het onderzoek van het glas volgens de derde methode bleek het, dat de Fluorescentie plotseling bij *b* (1) aanving.

---

(1) *b* ligt ongeveer bij E $^1/_3$ F, dus in het groene.

Zij bleef door het geheele zichtbare spectrum, en nog veel verder bijzonder sterk, met uitzondering van de streek van het spectrum die even boven F aanvangt, en waarvan het midden ongeveer bij F½G ligt; in deze streek bleek de werkzaamheid van het licht een minimum te wezen. Zoo als men ziet, is deze streek tusschen de zoo even genoemde absorptie-strepen begrepen. De kleur van het Fluorescentielicht scheen overal dezelfde te wezen, met uitzondering wellicht van de plaats, waar de Fluorescentie een aanvang nam.

Bij het onderzoek van het glas volgens de vierde methode bleek de Fluorescentie aan te vangen in de groene stralen, gelegen in de nabijheid van de vierde der donkere strepen, die, zoo als gezegd is, zich in het spectrum van het Fluorescentielicht vertoonen, wanneer het door wit licht gevormd wordt. De stralen van de grootste golflengte, die Fluorescentie vermogen op te wekken, komen dus in breekbaarheid nagenoeg overeen met de stralen van de kleinste golflengte, die voorkomen in het Fluorescentielicht, zooals het door wit licht gevormd wordt, of, zooals Stokes kortaf zegt: de Fluorescentie begint ongeveer daar, waar het Fluorescentielicht eindigt.

Wanneer men de samenstelling van het Fluorescentielicht volgens de vierde methode onderzoekt, dan vindt men daarin natuurlijk geene stralen van eene andere golflengte, dan van die, welke wordt aangetroffen in het Fluorescentielicht, zooals het door wit licht gevormd wordt. Opmerking verdient echter de wijze, waarop de vijf heldere strepen te

voorschijn treden. Wanneer men een prisma voor het oog houdt, en de kleine lens van het roode naar het violette uiteinde verschuift, dan ziet men, zoolang de lens de minder breekbare stralen opvangt, het gezichtsveld natuurlijk donker; bereikt echter de lens de streek van het spectrum, waar de Fluorescentie aanvangt, dan ziet men nagenoeg op hetzelfde oogenblik de vier eerste strepen verschijnen, terwijl, wanneer de lens nog verder verschoven wordt, de vijfde zoo spoedig volgt, dat men voor de practijk zeggen kan, dat de vijf heldere strepen te gelijk optreden.

Wanneer men zich het witte licht in twee deelen verdeeld denkt, waarvan het eene de stralen van elke golflengte, grooter dan die van *b* bevat, het andere de stralen van kleinere golflengte dan die van *b*, dan kan men alzoo, met bijna volkomen nauwkeurigheid zeggen, dat het Fluorescentielicht, door wit licht opgewekt, uitsluitend tot het eerste deel behoort, terwijl de stralen, die het vermogen op te wekken, in het tweede deel te zoeken zijn.

§ 7. Alvorens tot de Fluorescentie van de oplossing van chlorofyl in alkohol over te gaan, mogen een paar woorden over de Absorptie van het licht door deze vloeistof voorafgaan.

Geene stof wellicht toont duidelijker aan, dat er eenig verband tusschen de Fluorescentie en de Absorptie van het licht bestaat, dan deze oplossing. Ofschoon men, om de oplossing te verkrijgen, natuurlijk alle chlorofijlhoudende plantendeelen kan gebruiken, zijn hiertoe de bladen van

de gewone netel (Urtica urens) bijzonder geschikt (1). Het is bij eene oplossing, uit deze bladen verkregen, dat STOKES's waarnemingen gedaan zijn.

Deze oplossing vertoont, wanneer de laag niet al te dik is, eene smaragdgroene, en bij eene bepaalde dikte der laag eene roode kleur (2).

Wanneer men een bundel lichtstralen, alvorens op een prisma te vallen, door eene laag der oplossing laat gaan, kan men in het spectrum vijf donkere ruimten of absorptiestrepen waarnemen. N°. 1 en N°. 2 liggen in het roode, N°. 3 ligt in het geel, N°. 4 in het groen, en N°. 5 in het blauw. Laat dezelfde cijfers de heldere strepen onder de donkere aanduiden, zoodat de heldere streep N°. 2 het deel van het spectrum aanduidt tusschen de donkere strepen N°. 1 en N°. 2 gelegen.

Deze donkere strepen worden bij eene bepaalde dikte van de laag der oplossing echter niet allen tegelijkertijd waargenomen. Zoo zal de donkere streep N°. 5 niet worden waargenomen, wanneer de laag niet zeer dun is, wijl dan het deel van het spectrum, waarin zij gezocht zou moeten worden, geheel ontbreekt. Wanneer de dikte der laag niet al te groot is, zijn N°. 3 en bijzonder N°. 2 zeer duidelijk, terwijl N°. 1 alsdan zeer intensief is; neemt de dikte der laag toe, dan

(1) De bladen worden eerst met water afgekookt, daarna tusschen vloeipapier geperst, en koud met alkohol behandeld. Het afkoken geschiedt voornamelijk om het chlorofijl meer te isoleeren.

(2) Zie de verklaring: HERSCHEL, Treatise on light, art. 484 en volgende.

worden de heldere strepen N°. 2 en N°. 3 geabsorbeerd, en er blijft alleen de roode streep N°. 1 over, alsmede de groene strepen N°. 4 en N°. 5, gescheiden door de donkere streep N°. 4, welke eerst dan ontstaat. (1).

Uit de volgorde, waarin de heldere strepen bij het toenemen der dikte der laag verdwijnen, blijkt reeds, dat het absorbeerend vermogen der vloeistof met de breekbaarheid van het licht ter weerszijde van de donkere streep N°. 1 op geheel andere wijze verandert. Om dit door eene eenvoudige proef meer aanschouwelijk te maken, vulde STOKES een reageerbuisje met de oplossing van chlorofijl en voegde daarbij eenige druppels alkohol, welke boven de oplossing bleven liggen, en zoo langzamerhand de oplossing verdunden. Nu plaatste STOKES het buisje voor eene kaarsvlam, en beschouwde het lineaire beeld der vlam door een prisma. Het bleek toen, dat het onderste gedeelte der donkere streek N°. 1 zeer breed was, terwijl de heldere streep aldaar zeer smal, ja, bijna geheel verdwenen was; in het bovenste gedeelte daarentegen was de donkere streep zeer smal. Wanneer men langs de mindere breekbare grens der donkere streep zag, bleek deze eene rechte lijn te wezen, die zich van beneden, het

(1) P. HARTING bevond, dat wanneer de oplossing slechts geconcentreerd genoeg genomen wordt, ook de beide groene strepen No. 4 en No. 5 verdwijnen. HARTING gebruikte bij zijn onderzoek zonnelicht, terwijl STOKES's waarnemingen met kaarslicht gedaan werden. Zie Pogg. Ann. Bd. 96 p. 545. Aldaar vindt men ook een tal teekeningen van de absorptiestrepen, zooals die bij eene oplossing van de kleurstof van Cryptogamen, en Phanerogamen worden waargenomen.

minder verdunde deel der oplossing, naar boven uitstrekte. Daaruit volgt dat de vermeerdering der breedte in het onderste gedeelte der donkere streep ten koste van de heldere streep N°. 2 heeft plaats gehad. Wanneer men nu in het oog houdt, dat in betrekking tot de absorptie van lichtstralen eene vermeerdering van concentratie gelijk staat met eene vermeerdering der dikte der laag der oplossing, dan zal men de beteekenis der proef begrijpen.

Gaan wij thans over tot de Fluorescentie der chlorofijl-oplossing. Toen STOKES door eene lens een kegel wit zonnelicht in horizontale richting, zoo dicht mogelijk langs het niveau, in de oplossing liet vallen, en den rooden bundel Fluorescentie-licht, die gevormd werd, door een prisma beschouwde, bleek het spectrum te bestaan uit eene heldere roode streep, die door eene donkere ruimte gevolgd werd; bij deze donkere ruimte sloot zich een veel breede, groene streep, waarvan de lichtintensiteit veel geringer was, aan. Werd het vat, dat de oplossing bevatte, in de hoogte geheven, zoodat de lichtkegel, steeds horizontaal blijvende, verder van het oppervlak der oplossing kwam te liggen, en het Fluorescentielicht eene dikkere laag der oplossing moest doordringen, alvorens het oog te bereiken, dan ontstond in het midden van de roode streep eene donkere, die geene andere bleek te wezen dan de absorptiestreep N°. 1. Werd het vat nog meer opgetild, zoodat het Fluorescentielicht eene nog dikkere laag der oplossing moest doorloopen, alvorens het oog te bereiken, dan nam deze donkere streep meer en meer in breedte toe,

totdat er ten laatste van de roode streep niets anders meer overbleef dan twee smalle kegels, ter weerszijde van de donkere streep gelegen.

Toen de chlorofijloplossing volgens de derde methode onderzocht werd, vertoonde zich het deel van de vloeistof, waarop de meer breekbare stralen vielen, onder een levendig rood licht, slechts hier en daar door de Frauenhofersche strepen, als zoovele donkere plaatsen, afgebroken. Ongeveer bij H nam het licht eene bruine tint aan, zoodat de meer breekbare stralen op een bruinachtig-rooden grond gezien werden.

Zag men van boven op de oplossing, dan vertoonden zich de absorptiestrepen als donkere tanden, die hunne spitsen naar het opvallende licht gekeerd hadden, en het Fluorescentielicht onderbraken. Zeer duidelijk waren de plaatsen der absorptiestrepen N°. 1, N°. 2 en N°. 4, minder duidelijk die van N°. 3. Ter plaatse van N°. 5 werd zoo'n donkere tand niet waargenomen. De reden hiervan is te zoeken in het groote absorbeerend vermogen der vloeistof voor stralen van die breekbaarheid; een gevolg hiervan is, dat het Fluorescentielicht tot eene uiterst dunne laag, aan de oppervlakte gelegen, beperkt is.

Verder bleek het Stokes, dat de Fluorescentie in de meer breekbare stralen van de roode streep N°. 1 aanvangt. Het Fluorescentielicht bestaat dan uit eene heldere, smalle lichtstreep, die tot verre in de vloeistof doordringt. De Fluorescentie begint evenals de absorptie bijna plotseling. Op deze roode lichtstreep volgt de absorptiestreep N°. 1

alwaar het Fluorescentielicht tot de onmiddelijke nabijheid van de oppervlakte, waardoor het opvallende licht binnendringt, beperkt is. Dat het roode Fluorescentielicht, zoowel de smalle lichtstreep, als dat, hetwelk ter plaatse van de absorptiestreep wordt waargenomen, eene andere breekbaarheid bezit, dan het opvallende, eveneens roode, licht, bleek toen STOKES een blauw glas achtereenvolgens in den eersten en tweeden stand plaatste. Ofschoon de Fluorescentie verder door het geheele spectrum en nog veel verder aanhoudt, is zij toch in het deel van het spectrum, waar de intensiteit van het licht het grootste is, betrekkelijk zwak; eerst in de nabijheid der donkere streep N°. 4 wordt zij weer sterker, en blijft door het blauwe en violette heen zeer krachtig. In de groene stralen is het Fluorescentielicht rood met eene zwakke oranjetint; in de blauwe en violette stralen is het eveneens rood, maar met eene bruine tint aangedaan.

Uit hetgeen wij hierboven meedeelden blijkt, dat er eenige samenhang tusschen de Fluorescentie en de absorptie van het licht der cholofijloplossing bestaat. Dit blijkt nog duidelijker wanneer men, zooals STOKES deed, het oog loodrecht boven de oplossing, die in een zuiver spectrum geplaatst wordt, houdt, en ze nu door een rood glas beziet. Men neemt alsdan vijf minima van lichtintensiteit waar, onder den vorm van tanden, waarvan de spitsen van het invallende licht afgewend zijn. Deze minima liggen tusschen de donkere tanden, waarvan de spitsen naar het invallende licht zijn toegekeerd en die, zooals vroeger gezegd is, overeenkomen

met de donkere absorptiestrepen. Het eerste minimum ligt dus tusschen de donkere tanden, die overeenkomen met de absorptiestrepen N°. 1 en N°. 2, alzoo ter plaatse van de heldere streep N°. 2; het tweede enz. enz. Het laatste minimum vertoont zich niet onder den vorm van een tand, hetgeen niet verwonderen kan, wanneer men in het oog houdt, dat het Fluorescentielicht daar ter plaatse bijna geheel tot de oppervlakte beperkt is.

De oorzaak van deze minima zou volgens STOKES deze wezen: naarmate het Fluorescentielicht krachtiger optreedt, wordt het opvallende licht, waaruit het gevormd wordt, des te sneller verbruikt; minima ontstaan dus daar, waar het opvallende licht tot eene betrekkelijk groote diepte in de vloeistof dringt, vooraleer het geabsorbeerd wordt.

B. DE METHODEN VOOR ONDOORZICHTIGE LICHAMEN.

§ 1. J. HERSCHEL merkte in 1842 op, dat, wanneer men op papier, dat met curcumatinctuur gedrenkt is, een zuiver spectrum laat vallen, dit zich naar het meest breekbare uiteinde veel verder uitstrekt, dan wanneer men het op gewoon wit papier opvangt (1)

---

(1) Phil. Trans. 1842 p. 194. HERSCHEL schrijft deze verlenging van het spectrum aan eene eigenaardigheid? van het terugkaatsend vermogen der stof toe, en ziet ze als een nieuw bewijs aan voor de zichtbaarheid der ultraviolette stralen, die hij door andere proeven meende geconstateerd te hebben.

E. Becquerel deed het volgende jaar eene soortgelijke waarneming (2).

Het kan ons niet verwonderen, dat Stokes, nadat hij de curcumatinctuur als eene zeer gevoelige stof had leeren kennen, op het denkbeeld kwam, dat wellicht ook bij Herschel's waarneming eene verandering der breekbaarheid der onzichtbare stralen, dus de Fluorescentie, in het spel was. Een nader onderzoek bevestigde dit, en het bleek toen, dat het volstrekt niet noodig is, om de Fluorescentie van eenige stof waar te nemen, dat zij doorzichtig en vast, of voor oplossing vatbaar is, maar dat zij ook bij ondoorzichtbare, onoplosbare lichamen kan worden aangetoond. Hierbij geraakte Stokes tot eene nieuwe methode, voor ondoorzichtbare lichamen bij uitnemendheid geschikt. Straks zullen wij ze onder den naam van het lineaire spectrum leeren kennen.

§ 2. Het zonnelicht werd op de gewone wijze door eene vertikale spleet, op een prisma teruggekaatst; daar de spleet

---

(2) Un fait, que j'ai souvent observé dans le cours de ces experiénces c'est que, lorsque le spectre solaire frappe une substance telle que le sulfure de calcium phosphorescent, pendant son action le papier sur lequel est deposée cette substance parait lumineux non seulement de A en H, mais encore jusqu' en P, de sorte qu'on peut voir toutes les raies du spectre de A en P, dessinées par projection. Ann. de Chim. et de Phijs. 3e Série Tom. IX p. 320. Het is naar aanleiding van deze plaats, dat E. Becquerel aanspraak meent te mogen maken op de ontdekking van Stokes. Zie: Berl. Berichte 1854. p. 281.

kort was, was het spectrum smal. Nadat een stukje papier om der wille van het contrast, slechts ten deele met curcumatinctuur gedrenkt was, werd het in het spectrum geplaatst. Het bleek nu, dat de Frauenhofersche strepen tot ver voorbij H met het uiterste gemak, en wel op een geelachtigen grond waren waar te nemen. Ook in het minder breekbare deel van het spectrum waren de kleuren veranderd; tot F was geene verandering waar te nemen, even voorbij F werd echter eene roodachtige tint waarneembaar; bij F $\frac{1}{2}$ G werd deze zeer duidelijk, en ging bij G $^4/_7$ H in eene gele tint over.

Dat er werkelijk eene verandering van breekbaarheid had plaats gehad, bleek toen het spectrum door een prisma beschouwd werd. Had de breking plaats in een vlak, evenwijdig aan de strepen, dan werden deze door het geheele spectrum heen duidelijk waargenomen; geschiedde zij echter in een vlak, loodrecht op de strepen, dan kon men ze slechts tot F duidelijk zien, terwijl de meer breekbare, of in het geheel niet, of, als min of meer uitgewischt, werden waargenomen.

Bovendien bleken de randen der streep H met de kleuren van het spectrum gekleurd te wezen.

Duidelijker nog bleek de verandering van breekbaarheid, toen het papier zoo behandeld en geplaatst werd, dat de grens van het gedrenkte en niet gedrenkte gedeelte het spectrum in de lengterichting in twee deelen verdeelde, zoo dat een en dezelfde streep ten deele op het gedrenkte, ten

deele op het ongedrenkte gedeelte gezien werd. Werd nu een prisma zoo voor het oog gehouden, dat het spectrum in eene richting, loodrecht op de strepen, gebroken werd, dan vertoonden de minder breekbare strepen tot F niets bijzonders; G echter bleek verschoven te zijn, en wel zoo dat het op het gedrenkte deel vallende stuk der lijn veel minder gebroken werd, dan het andere. Van dit laatste werd het verlengde echter nog zeer flauw op het gedrenkte gedeelte waargenomen, zoodat men hier G dubbel zag.

De twijfel, dien men wellicht omtrent de identiteit der verschoven G zou kunnen opvatten, verdwijnt geheel, wanneer die plaats van het spectrum door een prisma in de richting der streep gebroken wordt, terwijl het prisma om de as van het oog gedraaid wordt. Men ziet dan de beide stukken van G allengskens in eene lijn overgaan, om na eene draaiing van 90°, wanneer het vlak van breking weer dezelfde ligging heeft, als bij den aanvang, weer dezelfde ligging ten opzichte van elkander aan te nemen.

Eene bijzonderheid, die Stokes hierbij opmerkte, was dat de strepen der groep H wel flauw, maar toch duidelijk op het ongedrenkte deel van het papier werden waargenomen; bij onderzoek door het prisma bleken zij met de kleuren van het spectrum gekleurd te wezen. Een bewijs alzoo, dat ook op het ongedrenkte papier bij H eene verandering van breekbaarheid plaats heeft, dat papier Fluoresceert. Zelfs nog veel breekbaarder strepen kan men op gewoon wit papier waarnemen, wanneer de spleet, waardoor het zonnelicht

dringt, met een donker blauw glas bedekt is. Dit glas, dat de meer heldere kleuren van het spectrum absorbeert, laat de violette en onzichtbare stralen, die hier vooral werkzaam zijn, door. Dit middel is trouwens ook bij de zoo even vermelde proeven zeer aan te bevelen.

Op die wijze onderzocht STOKES een groot aantal stoffen. Steeds bleken de papieren, met eene gevoelige oplossing gedrenkt, eveneens gevoelig te wezen. Wel bleek het papier, met eene oplossing van Guajakhars, eene zeer gevoelige stof, gedrenkt, ongevoelig te wezen, maar men heeft hier veeleer aan eene natuurkundige, wellicht ook scheikundige verandering van de oplossing door het licht, dan aan eene wezenlijke uitzondering te denken.

§ 3. Gaan wij thans meer in het bijzonder na, wat er plaats grijpt, wanneer het spectrum op eenige Fluoresceerende ondoorzichtige stof, bijv. curcumapapier, valt. Laat ons onderstellen, dat de lengteafmeting van het spectrum horizontaal is, en dus de strepen van Frauenhofer vertikaal zijn. Het roode uiteinde moge zich links, het meer breekbare zich rechts bevinden.

Wij weten thans, dat de verlenging, die het spectrum, wanneer het op een gedrenkt papier valt, ondergaat, het gevolg is van eene verandering van breekbaarheid. Onderstellen wij echter eens, tegen beter weten in, dat HERSCHEL's opvatting juist ware, dat de verlenging van het spectrum niets anders is dan de ultraviolette stralen, die wij onder

hunne eigene kleur waarnemen. Wanneer dit zoo is, dan zullen wij, wanneer wij het spectrum door een prisma beschouwen, welks brekende ribbe evenwijdig loopt aan de lengte van het spectrum, dit eenvoudig van zijne plaats verschoven zien. Daar alle in het spectrum voorkomende kleuren enkelvoudige zijn, kan van eene verdere ontleding van eenig deel van het spectrum geene spraak zijn. De stralen worden eenvoudig in een vertikaal vlak gebroken, de roode het minst, de ultraviolette het meest.

Maken wij eene tweede, niet minder onjuiste onderstelling. Laat alle stralen van het spectrum, breekbaarder dan eenige streep, bijv. G, eens in stralen van geringere, en verschillende breekbaarheid worden omgezet. Wanneer wij nu, op dezelfde wijze, als zoo even vermeld, het spectrum door een prisma beschouwen, dan zal het minder breekbare gedeelte tot G eenvoudig verschoven schijnen, evenals zoo even het geheele spectrum. Het meer breekbare deel voorbij G zal een geheel nieuw spectrum opleveren, dat zich rechts aan het eenvoudig verschoven gedeelte zal aansluiten. Dit spectrum zal vertikaal wezen, zoodat de kleuren in horizontale richting liggen, en een en dezelfde Frauenhofersche streep alle kleuren doorloopt. Dat dit zoo plaats grijpen zal, wordt duidelijk, wanneer men de volgende voorstelling, al is zij wat ruw, wil ter hulp nemen: op iedere plaats van het meer breekbare deel van het oorspronkelijke spectrum voorbij G ontstaan uit de opvallende stralen, stralen van zeer verschillende golflengte; men kan dus dit deel van het oorspronkelijke spectrum

beschouwen als eene spleet, — al is die wat breed — waar door een bundel samengesteld licht dringt. De lengterichting van de spleet zou dan horizontaal wezen. Dat dit spectrum niet zeer zuiver zal wezen, is duidelijk.

Thans zal men inzien wat er geschieden zal, wanneer, zooals werkelijk plaats heeft, een deel der stralen, breekbaarder dan eenige streep, in stralen van grootere golflengte wordt omgezet, en een deel onveranderd blijft. Wanneer wij met Stokes het spectrum, zooals wij het met het bloote oog op het gedrenkte papier waarnemen, het primaire spectrum noemen, dan moet dit, door het prisma beschouwd, uit twee verschillende deelen blijken te bestaan. Vooreerst zullen wij een doorloopend, volledig spectrum zien; dit spectrum, gevormd uit de onveranderde stralen, zal, evenals bij de eerste onderstelling, verschoven worden. Ter rechterzijde zal zich aan dit spectrum een tweede min of meer volledig spectrum aansluiten, waarbij de kleuren in horizontale richting loopen, terwijl eene en dezelfde Frauenhofersche streep alle kleuren doorloopt. Het eerste noemt Stokes het primitieve, het tweede het gederiveerde spectrum. Bij eene bepaalde intensiteit van het op het papier vallende licht, zal de helderheid van het gederiveerde spectrum natuurlijk afhankelijk wezen van de natuur van de stof, waarop het primaire spectrum valt; ook de kleuren, waaruit het bestaat, alsmede de horizontale en vertikale afmeting zijn van deze afhankelijk.

§ 4. De spleet, die STOKES bij deze proeven aanvankelijk gebruikte was, zooals reeds werd opgemerkt, kort (short). Het primitieve spectrum was daarom vrij zuiver, maar de zuiverheid van het gederiveerde spectrum, waarop het bij dit onderzoek voornamelijk aankomt, liet veel te wenschen over. Om deze te vermeerderen zou men wel de lengte van de spleet hebben kunnen verminderen, en door ze tot een punt terug te brengen, het even zuiver hebben kunnen verkrijgen, als het primitieve spectrum, maar dan ware de hoeveelheid lichtstralen, die op het prisma viel, te gering geworden, om het primaire spectrum aan een onderzoek door het prisma te onderwerpen. Onderstel echter, dat de spleet, in plaats van in vertikale, in horizontale richting worde aangebracht, zoodat zij in het vlak van breking komt te liggen. De lichtstralen, die van de spleet uitgaan, zullen nu, na door de prismas en eene lens te zijn gebroken, een beeld der spleet vormen, dat, bij de gedaante van een rechthoek, in een spectrum zal uitgespreid wezen. Daar de breedte van dezen rechthoek zeer gering zal wezen, noemt STOKES dit spectrum het lineaire spectrum. Wel is waar zal de zuiverheid van dit spectrum wegens de groote breedte der spleet niet zeer groot wezen, maar dit doet weinig ter zake: twee andere groote voordeelen zijn verworven. — Vooreerst eene vermeerdering van de intensiteit. Zij wordt verhoogd in verhouding van de breedte tot de lengte der spleet. Immers, wanneer de spleet vertikaal is, dan vormt het op het lichaam vallende spectrum een rechthoek, waarvan de breedte

gelijk is aan de lengte van het beeld van de spleet; is zij horizontaal dan wordt dezelfde hoeveelheid licht te samen gedrongen in een rechthoek, waarvan de lengte dezelfde is (1), terwijl de breedte gelijk is aan de lengte van het beeld van eene dwars door de spleet getrokken lijn.

Het tweede voordeel is de grootere zuiverheid van het gederiveerde spectrum. Dit zal men gemakkelijk inzien wanneer men weer zijne toevlucht wil nemen tot de voorstelling, die wij in de vorige § ter hulp namen.

§ 5. Door middel van het lineaire spectrum onderzocht STOKES uitsluitend ondoorzichtige lichamen. Het bleek toen, dat het aantal gevoelige stoffen zoo groot is, dat het eene eindelooze arbeid wezen zou, ze in eene lijst te samen te brengen. Alle organische weefsels zijn min of meer gevoelig, kurk hoorn, ivoor, leder, de huid der hand (2) enz. enz. De meeste andere organische lichamen, die eene witte of eene andere heldere kleur hebben, zijn eveneens min of meer gevoelig; schellak, hars en lijm zijn zeer gevoelig; zoo ook een goed deel der organische verbindingen. De me-

---

(1) Dit is alleen volkomen juist, wanneer men de lengte van het beeld van de spleet, die zeer klein is in vergelijking met de lengte van het spectrum, verwaarloost.

(2) De gevoeligheid der huid is echter zeer gering. STOKES gebruikte bij zijne onderzoekingen van weinig gevoelige stoffen de rug der hand als toetssteen: was het zonnelicht te zwak, om daarop duidelijk het gederiveerde spectrum waar te nemen, dan bleek het steeds vruchteloos het onderzoek der stof voort te zetten.

talen zijn ongevoelig, alsmede de metalloiden C, S, J en Br. De mineralen Fluoresceeren in den regel niet; slechts bij enkele, zooals Topaas, Cyaniet, Chrijsoberijll en Apatiet is eene zwakke Fluorescentie waar te nemen. Wat dit laatste mineraal betreft, STOKES meent, dat de oorzaak der Fluorescentie daarbij, even als bij vloeispaath, te zoeken is in eene kleine hoeveelheid vreemde stof, die bij zijne vorming in het kristal werd opgenomen (1). Gekleurde glazen vertoonen geene bijzondere Fluorescentie.

Het groene blad vertoont de Fluorescentie van de chlorofijloplossing; in het gederiveerde spectrum wordt eene roode streep van uiterst geringe breekbaarheid waargenomen. Van het groote aantal plantendeelen door STOKES onderzocht, noemen wij alleen de bloembladen, die zich op eene opvallende wijze door hunne ongevoeligheid onderscheiden.

Onder de meest ongevoelige stoffen behooren porselein en krijt.

§ 6. Behalve het lineaire spectrum gebruikte STOKES bij zijn onderzoek van ondoorzichtige lichamen nog andere methoden (2). In het algemeen echter verdient,

---

(1) PO_5CaO Fluoresceert niet, evenmin als de kleurlooze exemplaren. Ook is de intensiteit der Fluorescentie voor de onderscheiden deelen van een gevoelig exemplaar verschillend.

(2) Bij eene dezer ging het zonnelicht, in horizontale richting teruggekaatst, eerst door eene groote, en dan door eene kleine lens. Voor deze laatste was een donkerblauw glas geplaatst, benevens eene verdunde oplos-

volgens STOKES, onder deze het lineaire sprectrum de voorkeur. Er is echter eene methode, die, wanneer het alleen de vraag geldt of eene stof gevoelig is, bij het lineaire spectrum niet behoeft achter te staan. Wij zullen deze aanstonds leeren kennen.

C.) *De Methode der Absorbenten.* (1).

§ 1. Het beginsel, waarop deze methode berust, is eigenlijk geen ander, dan hetgeen aan de proeven in III A § 4 meegedeeld, ten grondslag ligt. Bij een synthetische behandeling van het onderwerp zou zij, als eene meer volkomene toepassing, achter deze wellicht eene plaats moeten vinden. Zien wij, waarin zij bestaat.

Denken wij ons eene stof (glas), die alle stralen breekbaarder dan *b* doorlaat, en al de overige van grootere golflengte absorbeert; denken wij ons eene tweede stof, die al de stralen, die eene kleinere golflengte dan *b* bezitten absorbeert, en de minder breekbare volkomen doorlaat. Wanneer wij deze beide

---

sing van salpeterzuur of zwavelzuur koperoxijde. De oplossing diende om de uiterste roode stralen, die door het glas worden doorgelaten, te absorbeeren.

Om zich te verzekeren, dat de zichtbare stralen voldoende geabsorbeerd waren, werd een wit, ongevoelig lichaam (porselein) in het brandpunt der lens geplaatst, en de lichtvlek door een prisma beschouwd.

Vervolgens werd het te onderzoeken lichaam in het brandpunt geplaatst en de lichtvlek eveneens ontleed. De vergelijking tusschen de spectrums, die men verkrijgt, doet ook zeer geringe sporen van Fluorescentie te voorschijn treden.

(1) Phil. Trans. 1853 p. 385. Pogg. Ann. Bd. 96. p. 522.

stoffen op elkander leggen of voor elkander houden, en door dit stelsel naar eene opening in het venster eener donkere kamer zien, dan zullen wij geen licht waarnemen. De stralen, door de eerste stof doorgelaten, worden door de tweede geabsorbeerd. Men neme nu het eerste glas van voor het oog weg, en plaatse het in de opening. Men plaatse verder eenig ongevoelig lichaam A voor de opening, zoodat daarop geene andere lichtstralen vallen, dan die door het glas worden doorgelaten. Men beschouwe nu A door het tweede glas. Het is duidelijk, dat men dan A niet zien zal: want hoe ook de stralen, door het eerste glas doorgelaten, door het lichaam verstrooid, teruggekaatst, gebroken of geabsorbeerd mogen worden, stralen van eene andere breekbaarheid, dan die voorhanden zijn in den opvallenden bundel, kan het niet uitzenden.

Onderstellen wij nu, dat A vervangen wordt door een stuk Uraniumglas, eene stof, die plotseling bij *b* gevoelig wordt, terwijl al de stralen van het Fluorescentielicht eene geringere breekbaarheid dan *b* bezitten. Het is duidelijk dat wij het Uraniumglas wel degelijk zien zullen; het zal ons als een lichtgevend lichaam op een donkeren grond toeschijnen: de minder breekbare stralen, door het Uraniumglas in stralen van grootere golflengte dan *b* omgezet, worden door het tweede glas doorgelaten.

Hiermee is de methode der Absorbenten in de hoofdzaak uiteengezet. Merken wij nog op, dat het eerste glas, dat de opening sluit, door Stokes het Hoofdabsorbens, het

tweede het Complementaire absorbens genoemd wordt.

Ware het mogelijk twee volkomen complementaire absorbenten te vervaardigen, en ware het bovendien in onze macht de grenzen van de absorptie voor elk van beide naar willekeur te bepalen, zoodat het eene de stralen van grootere golflengte dan eene gekozen streep absorbeerde, en het andere ze doorliet, dan begrijpt men licht, dat men eene eenvoudige methode zou bezitten, om ook de Fluorescentie van minder gevoelige stoffen aan te toonen, en te onderzoeken. Men had slechts — wanneer ik deze uitdrukking bezigen mag — de streep naar boven of beneden te verschuiven, al naar de ligging van de plaats van het spectrum, waar de Fluorescentie voor die stof een aanvang nam.

Het is echter verre af, dat wij deze ideale proef nemen kunnen: evenmin als het mogelijk is een stelsel volkomen complementaire absorbenten te verkrijgen, is het in onze macht de grenzen der absorptie te bepalen. Dit laatste echter is evenmin als het eerste een beletsel, om goede uitkomsten te verkrijgen. Immers veronderstellen wij, dat de grens der hierboven genoemde absorbenten eens niet juist met *b* samenvalt, maar op eenigen afstand daarvan gelegen is. Wanneer de grens boven *b* (1) valt, dan zal eenvoudig een deel der stralen, die Fluorescentie konden veroorzaken, geabsorbeerd worden en niet op het lichaam vallen; wanneer de grens onder *b* valt, dan wordt een gedeelte van het

(1). Zie aanteekening bladz. 45.

Fluorescentielicht door het tweede glas geabsorbeerd. Men ziet, men krijgt in dit geval slechts het maximum van effect niet.

Ofschoon niet bij alle stoffen de Fluorescentie zoo plotseling bij eenige streep optreedt, als bij het Uraniumglas, zoo is het echter in het algemeen waar, dat de gevoeligheid eener stof vrij snel aanvangt en verder door het geheele spectrum heen aanhoudt. Ware dit anders, dan zou de methode der absorbenten al eene zeer geringe beteekenis hebben.

Wat het verkrijgen van complementaire Absorbenten betreft, men kan daarbij niets anders doen, dan probeeren. Hoe gelukkig men daarbij ook zij, beide te gelijk voor de opening geplaatst zullen altijd nog eenig licht blijken door te laten. Daarom zal, wanneer men het hoofdabsorbens voor de opening, en het complementaire absorbens voor het oog plaatst, om daardoor eene niet gevoelige stof te beschouwen, van deze steeds eenig licht tot het oog doordringen. Het zou derhalve aan twijfel onderhevig kunnen wezen, of het bij eenig voorwerp waargenomen licht, gewoon verstrooid licht, of Fluorescentielicht is. Deze twijfel wordt echter geheel weggenomen, wanneer men het complementaire absorbens van voor het oog wegneemt, en het eveneens voor de opening brengt: is het gewoon verstrooid licht, dan zal daarbij geene verandering in de helderheid van het lichaam plaats grijpen; is het Fluorescentielicht, dan zal het lichaam zich veel donkerder voordoen. Stokes geeft nog een ander middel aan de hand, om dezen twijfel, vooral bij weinig gevoelige

stoffen, weg te nemen. Het bestaat in het gebruik van een derde absorbens, hetwelk hij Transfer medium noemt. Gevoegelijk kan men hiervoor nemen een stuk glas van dezelfde soort, als het complementaire absorbens, doch liefst iets bleeker van kleur. Dit absorbens nu wordt, terwijl het complementaire absorbens voor het oog blijft, achtereenvolgens op den weg van den op het lichaam vallenden bundel, en voor het oog geplaatst. Men zal de beteekenis er van begrijpen, als ook, dat zulk Transfer medium ook bij meer gevoelige stoffen met vrucht kan worden aangewend.

Ook de kleur, die het lichaam vertoont, zal in de meeste gevallen onmiddelijk beslissen, of er Fluorescentie in het spel is. Onderstel, dat het hoofdabsorbens van de zichtbare stralen alleen de blauwe en violette doorlate, en de te onderzoeken stof bij beschouwing door het complementaire absorbens eene oranje kleur vertoone. Daar eene combinatie van de door het hoofdabsorbens doorgelaten stralen nooit oranjelicht geven kan (1), volgt daaruit onmiddellijk, dat er eene verandering van breekbaarheid heeft plaats gehad. (2)

§ 2. Eene nadere beschrijving van de wijze, waarop STOKES zijne proeven inrichtte, kunnen wij achterwege laten. Zij is uit het vorige duidelijk. Alleen merken wij op, dat de

---

(1) Zie: HELMHOLTZ, Physiologische Optik p. 272.

(2) STOKES waarschuwt echter de aanvangers veel waarde te hechten aan absolute kleur, daar het ongeoefend oog zich daaromtrent bij optische proeven zeer vergissen kan.

drager, bestemd voor de te onderzoeken stoffen en dicht achter de opening (1) geplaatst, zwart gemaakt was, en dat de stof op een stuk zwarte fluweel gelegd werd. Van beiden begrijpt men de reden.

§ 3. Wanneer men een lichaam had, dat niet gevoelig, en van dezelfde kleur was als de te onderzoeken stof, dan begrijpt men, dat men bij het onderzoek de stof niet afzonderlijk beschouwen, maar dit nevens haar op den drager zal plaatsen. Zoo zou ook het geringste spoor van Fluorescentie aan het daglicht komen. Men zal echter in de meeste gevallen te vergeefs naar een lichaam zoeken, dat aan beide voorwaarden voldoet. Men bereikt echter hetzelfde, wanneer men eene witte, niet gevoelige stof neemt. Hiervoor kan men, volgens STOKES, een porseleinen plaatje gebruiken. Wel vertoont ook dit in het lineaire spectrum, door apparaten van kwarts verkregen, nog eenige Fluorescentie, maar deze is zoo gering, dat het bij deze proeven als volstrekt ongevoelig kan beschouwd worden. Bovendien wordt de Fluorescentie daarbij veroorzaakt door zeer breekbare stralen, die door het glas geabsorbeerd worden. Daar echter niet elk porseleinen plaatje, of, welk porseleinen voorwerp men ook gebruike, even ongevoelig is, en het bovendien in ieder geval wenschelijk is, den graad van gevoeligheid van het porseleinen voorwerp te kennen, zoo moet men zich vóór het onderzoek hiervan

(1) De diameter was 4 decim.

op de hoogte stellen. Hiertoe plaatst men het porseleinen voorwerp, dat men onderzoeken wil, op den drager, die achter het hoofdabsorbens is geplaatst, en neemt in de eene hand een scherm, waarin eene spleet is aangebracht. Terwijl men in de andere hand het prisma houdt, plaatst men het scherm zoo voor het oog, dat men door de spleet, en het hoofdabsorbens den hemel ziet; men verkrijgt alzoo het spectrum van het door het hoofdabsorbens doorgelaten daglicht. Vervolgens brengt men het scherm in zulken stand, dat men door de spleet het porseleinen voorwerp ziet, en ontleedt eveneens door het prisma, het door het voorwerp teruggekaatste licht. Verkrijgt men in het tweede geval hetzelfde spectrum, als in het eerste, dan mag men besluiten, dat het voorwerp ongevoelig is; in het tegenovergesteld geval moet men het als ongeschikt ter zijde leggen, en naar een ander omzien.

§ 4. Stokes gebruikte bij dit onderzoek voornamelijk vier combinaties van middenstoffen.

Bij de eerste combinatie was het hoofdabsorbens een donker, violetkleurig glas, dat door Mangaan en een weinig Kobalt, of alleen door Mangaan gekleurd was; hieraan werd een tweede blauw Kobaltglas toegevoegd; naarmate het weder min of meer helder was, werd dit Kobaltglas min of meer donkerblauw gekozen. — Als complementaire absorbens diende een stuk geel glas, dat door zilver gekleurd, en niet te sterk gebrand was.

Bij de tweede combinatie diende als hoofdabsorbens

eene laag zwalvelzure koperoxijd-ammoniak; de laag werd zoo dik genomen, dat zij een diep blauw licht doorliet. Het complementaire absorbens was hetzelfde als bij de eerste combinatie.

Bij de derde combinatie werd als hoofdabsorbens een tamelijk donker blauw Kobaltglas aangewend; het complementaire absorbens was hetzelfde als bij de eerste combinatie.

Bij de vierde combinatie eindelijk was eene laag van salpeterzuur koperoxijde het hoofdabsorbens, terwijl een licht rood, of diep oranjekleurig glas het complementaire absorbens uitmaakte.

§ 5. Toen Stokes deze stelsels van absorbenten beproefde, bleek elk — zooals te verwachten was — zijne eigenaardige voordeelen te bezitten. Enkele opmerkingen mogen hier voldoende wezen.

Het hoofdabsorbens van de eerste combinatie is op zich zelf reeds voldoende, om eene nagenoeg volslagen duisternis te weeg te brengen; behalve violette, en enkele der uiterste roode, laat het geene zichtbare stralen door. Voor lichamen, die met een donkerblauw licht Fluoresceeren is het complementaire absorbens, daar het deze stralen voor een goed deel absorbeert, eer nadeelig, dan voordeelig.

De Fluorescentie van kristallen van zwavelzure chinine treedt bij deze combinatie duidelijk op; zij zijn echter veel minder gevoelig dan de oplossing; ook het licht is veel dieper blauw.

Bij de tweede combinatie, die in het geheel genomen, de voorkeur verdient, komen de absorbenten de ideale volkomenheid zeer nabij. Woorden, met inkt op het porseleinen tafeltje geschreven, blijken, door het complementaire absorbens beschouwd, onleesbaar te zijn. Wordt echter een stuk Uraniumglas op het tafeltje geplaatst, dan is de intensiteit van het Fluorescentielicht, dat over het geheele tafeltje verspreid wordt, sterk genoeg, om de letters te lezen.

Door de tweede combinatie bleek eene oplossing van salpeterzuur uraanoxijde veel minder gevoelig te zijn dan de kristallen.

De tweede combinatie verdient vooral aanbeveling, wanneer de kleur van het Fluorescentielicht geel, oranje of rood is.

De derde combinatie komt in vele opzichten met de tweede overeen; de duisternis is echter minder volkomen, daar het Kobaltglas meer roode en gele stralen doorlaat dan de oplossing. Bij de tweede en derde combinatie ligt het punt van het spectrum, waar de doorzichtbaarheid van het hoofdabsorbens begint, en die van het complementaire absorbens eindigt, ergens in het blauw; bij de vierde combinatie ligt dit punt veel meer naar het meer breekbare gedeelte des spectrums. Daardoor scheen zij zich aan te bevelen voor die stoffen, waarbij het Fluorescentielicht eene groote breekbaarheid bezit. De ondervinding leert echter, dat ook in dit geval in het algemeen de tweede combinatie de voorkeur verdient.

§ 6. In de methode der absorbenten, zooals wij die leerden kennen, kan men vele wijzingen brengen, die, al leeren zij in waarheid niets nieuws, echter niet van belang ontbloot zijn, daar zij de uitkomsten door het contrast soms levendiger onder het oog brengen. Hiertoe kan men brengen: *a*) de verwisseling der absorbenten *b*) de verplaatsing van het hoofdabsorbens van de opening naar het oog. Daardoor zal men in de kleur en intensiteit van het licht soortgelijke veranderingen waarnemen, als wij vroeger (1) enkele leerden kennen.

Meer de aandacht waard schijnt de volgende wijziging. Onderstel, men ga te werk, als op het einde van § 3 vermeld, met dit verschil, dat naast het porseleinen plaatje eene Fluoresceerende stof, bijv. een reepje curcumapapier geplaatst worde. Men brenge nu het scherm in den stand, dat men de spleet ten deele op het papier, ten deele op het plaatje geprojecteerd ziet. Ontleedt men nu door een prisma den door de spleet gedrongen lichtbundel, dan zal men ook op die plaatsen van het spectrum, waar, indien het licht alleen door het plaatje verstrooid werd, geen licht voorhanden zou wezen, licht waarnemen.

Om één voorbeeld te hebben, mogen alleen de violette stralen door het hoofdabsorbens dringen. Het spectrum van het plaatje zal nu alleen bestaan uit een violetten band. Wordt echter ook

---

(1) Bladz. 42.

het papier door de spleet gezien, dan zal het spectrum, daar een deel der violette, opvallende stralen in stralen van geringere breekbaarheid wordt omgezet, samengesteld blijken te wezen. De samenstelling hangt natuurlijk af van de natuur van de stof.

Zooals men ziet, is deze methode, daar het complementaire absorbens daarbij kan gemist worden, eenvoudiger dan de eigenlijke methode der absorbenten. Behalve dat zij een nieuw doorslaand bewijs voor de verandering der breekbaarheid der lichtstralen oplevert, is zij bijzonder geschikt, om bij meer gevoelige stoffen de samenstelling van het Fluorescentielicht te onderzoeken. Komt het er echter op aan, te bepalen, welke lichamen van eene reeks gevoelig zijn, en welke niet, dan staat zij bij de methode der absorbenten ver ten achter.

§ 7. Bij de methode der absorbenten wordt gewoon daglicht gebruikt. Men zou kunnen meenen, dat zonnelicht steeds betere uitkomsten zal moeten geven. Stokes meent echter, dat, ofschoon men door zonnelicht soms zeer geringe sporen van Fluorescentie kan aantoonen, die bij het gebruik van daglicht onopgemerkt blijven, in het algemeen het daglicht de voorkeur verdient. Zelfs aarselt hij niet de methode der absorbenten, aldus aangewend, voor algemeene doeleinden, gelijk te stellen met iedere andere methode, waarbij zonnelicht wordt aangewend, en die voor het onderzoek van

ondoorzichtbare lichamen gebruikt wordt; zelfs voor het lineaire spectrum behoeft zij niet onder te doen.

Is echter de te onderzoeken stof eene oplossing, of eene doorzichtige stof, dan verdienen de Spectraal-methoden de voorkeur. Het groote voordeel, dat zij aanbieden, is, dat zij den waarnemer in staat stellen, na te gaan, hoe de werkzaamheid der invallende stralen over het spectrum verdeeld is. Alleen door haar is het mogelijk de donkere strepen in het onzichtbare gedeelte van het spectrum waar te nemen, of het absorbeerend vermogen der stof voor deze stralen te bepalen.

Een ander voordeel der Spectraal-methoden is, dat men daarbij kwartsapparaten gebruiken kan; door deze is men in staat Fluorescentie waar te nemen in het meest breekbare gedeelte van het spectrum, waar het zonder haar onmogelijk wezen zou.

Daar voor de toepassing der methode der Absorbenten niets anders vereischt wordt dan eene donkere kamer en enkele stukken gekleurd glas kan zij, als eene vrij eenvoudige methode, aan de scheikundigen wellicht goede diensten bewijzen, om verschillende stoffen van elkander te onderscheiden (1).

---

(1) Reeds STOKES sprak het vermoeden uit, dat de donkere kamer zonder schade door een donker kastje zou kunnen vervangen worden. Dit denkbeeld is, min of meer gewijzigd, achtereenvolgens, door H. OSANN, SALM-HORSTMAR en GRAILICH ten uitvoer gebracht. Zie respectievelijk: ERDMANN J. Bd. 66 pag. 93, Pogg. Ann. Bd. 98 p. 343, en het reeds meermalen aangehaalde werk van GRAILICH p. 60.

GRAILICH, die zijn toestelletje Fluorescenz-Kapsel noemt, verkreeg daarmee enkele belangrijke resultaten.

TERUGBLIK.

---

§ 1. Alvorens verder te gaan, willen wij een vluchtigen blik terug werpen op het voorname gedeelte van den arbeid van STOKES, dat wij leerden kennen, en beproeven er eenige algemeene uitkomsten uit af te leiden.

Wanneer men met het roode uiteinde van het spectrum aanvangt, en de kleuren in hare natuurlijke volgorde doorloopt, dan zijn in het algemeen de stralen eerst zonder werking, totdat eindelijk op zeker punt van het spectrum de Fluorescentie aanvangt. Eerst is zij zwak, en wordt al sterker, naarmate men de meer breekbare stralen bereikt, om in het violet gewoonlijk haar maximum van intensiteit te bereiken, en in de meest breekbare stralen weer langzamerhand te verdwijnen. Het punt van het spectrum, waar de Fluorescentie aanvangt, ligt meesttijds in het meer breekbare gedeelte, zoodat in het algemeen de blauwe, indigo, violette, en onzichtbare stralen de werkzaamste zijn.

§ 2. Bij den aanvang der Fluorescentie bestaat het Fluorescentielicht uit stralen van betrekkelijk geringe breekbaarheid; bij deze voegen zich, naarmate men verder in het meer breekbare gedeelte van het spectrum komt, telkens nieuwe kleuren in de volgorde harer breekbaarheid. Niet zelden heeft de verandering van de samenstelling van het Fluorescentielicht voor het grootste gedeelte plaats, wanneer dit nog zeer zwak is, zoodat het verder geene verandering meer ondergaat, en men het bijna als homogeen licht beschouwen kan. Somtijds is echter juist bij het begin der Fluorescentie het licht bijna homogeen, en nagenoeg van dezelfde breekbaarheid, als het opvallende; dit heeft vooral plaats, wanneer de Fluorescentie plotseling begint, zooals bij het kanarieënglas, en de oplossing van chlorofijl. In waarheid is echter het Fluorescentielicht steeds samengesteld licht, zoodat licht van bepaalde breekbaarheid in lichtstralen van verschillende golflengten wordt omgezet.

§ 3. Bij het vermelden van Stokes's onderzoek omtrent het kanarieënglas en de chlorofijloplossing wezen wij er op, dat daaruit blijkt, dat er eenig verband bestaat tusschen de Fluorescentie en de Absorptie van het licht. Stokes vond dit verband bij zijne talrijke onderzoekingen steeds terug, en drukt het aldus uit: wanneer de Fluorescentie op eenige plaats van het spectrum plotseling krachtig aanvangt, dan wordt in het doorgelaten

licht daar ter plaatse eene absorptiestreep waargenomen.

§ 4. Onder al de uitkomsten, die STOKES verkreeg, is, na de hoofdwet zeker die de gewichtigste, welke, naar het schijnt, voortaan als de wet van STOKES in de wetenschap zal genoemd worden: de breekbaarheid van het Fluorescentielicht is nooit grooter dan die der opvallende stralen. (1)

Deze wet is voor eene wiskundige voorstelling vatbaar. Onderstel, dat er licht van gegeven breekbaarheid op eene gegeven middenstof valle. Laat de breekbaarheden van het opvallende licht en van het Fluorescentielicht op de as der abscissen O X (fig. 4.) worden uitgezet; laat $OM = a$ de breekbaarheid van het opvallende licht voorstellen. Meet men nu de intensiteiten van het Fluorescentielicht langs de

---

(1) Er zijn natuurkundigen, die aan deze wet niet veel waarde schijnen te hechten. Zoo zegt EMSMANN daarvan: ein Gesetz, welches freilich noch keineswegs fest steht (Pogg. Ann. Bd. 114 p. 652). Op welke gronden zijn twijfel steunt, zegt hij echter niet. Uit den samenhang moet men afleiden, dat hij daarbij de negatieve Fluorescentie op het oog heeft.

BONN wil uit het onderzoek van STOKES omtrent de Guajakoplossing afleiden, dat stralen van eene golflengte, gelegen tusschen D en *b*, violet Fluorescentielicht zouden opwekken. (Pogg. Ann. Bd. 130 p. 392). Hij voegt er bij: sind die Angaben des Herrn STOKES über Guajaklösung von mir richtig verstanden.

HAGENBACH daarentegen bevond, evenals vele anderen, bij zijne jongste onderzoekingen omtrent de Fluorescentie van de chlorofijloplossing de wet bevestigd. (Pogg. Ann. 1870 No. 10).

as der ordinaten O Y, dan verkrijgt men eene kromme lijn L D A, welker ordinaten de intensiteiten van het Fluorescentielicht aangeven; zoo stelt bijv. D P de intensiteit voor van het Fluorescentielicht, dat eene breekbaarheid bezit, die door O P wordt aangegeven.

Uit de wet volgt, dat rechts van M Q nooit eenig gedeelte der kromme lijn gelegen zal zijn. Overigens kan de vorm der kromme lijn zeer verschillen. Soms is het verloop der lijn tamelijk gelijkmatig; soms vertoont zij meerdere maxima en minima (fig. 5).

Nu eens zal de kromme lijn M Q niet bereiken (fig. 4); dan eens komt zij M Q zoo nabij, (fig. 5) dat de meest breekbare stralen van het ware Fluorescentielicht zich vermengen met het valsche Fluorescentielicht.

Daar $ij = f(x)\ o$ wordt, wanneer $x > a$ wordt, moet de kromme lijn, zoo zij de as O X niet reeds vroeger snijdt, dit het allerlaatst in het punt M doen, zoo men althans niet aanneemt, dat de functie eene plotselinge verandering kan ondergaan, zooals in fig. 6 is voorgesteld.

Of dergelijke plotselinge verandering werkelijk in de natuur voorkomt, is eene vraag, op welke Stokes het antwoord schuldig blijft: hoewel de waarneming volgens de vierde methode in sommige gevallen eene opheffing der continuiteit scheen aan te duiden, zoo volgt daaruit, zooals Stokes opmerkt, geenszins, dat zij in de werkelijkheid plaats grijpt. De mogelijkheid toch bestaat, dat de lijn van eenig punt C af daalt, (fig. 7) en wel zoo snel, dat die daling voor

ons eene plotselinge schijnt te zijn, of, m. a. w. de lijn D M kan uiterst klein zijn, zonder daarom oneindig klein te wezen.

§ 5 De gang der Absorptie van eenige middenstof laat zich, zooals wij vroeger zagen, gevoegelijk door eene kromme lijn voorstellen. Wil men op soortgelijke wijze het verloop der Fluorescentie voorstellen, dan moet men zijne toevlucht nemen tot een gebogen oppervlak.

Laat de breekbaarheid van het opvallend licht langs de ij-as gemeten worden, de breekbaarheden van het Fluorescentielicht langs de x-as, en de intensiteit van het Fluorescentielicht langs de z-as, dan zal het gebogen oppervlak, waarvan de coördinaten x, ij, en z zijn, de natuur der Fluorescentie der stof voorstellen.

z kan niet negatief worden; daaruit volgt dat het oppervlak geheel boven het vlak X O Y (fig. 8) zal gelegen zijn.

Wanneer O Q $= ij$ de breekbaarheid van het opvallende licht voorstelt, zal de kleinste breekbaarheid van het Fluorescentielicht O P $=$ O Q $= x$ wezen. Daaruit volgt, dat rechts van de lijn O U, die den hoek X O Y midden doordeelt, in het vlak xij geene punten gelegen zullen zijn, waarmee punten van het oppervlak overeenkomen, of dat, wanneer men door O U en O Z een vlak brengt, het oppervlak geheel links van dit deelvlak gelegen moet zijn.

De vorm van dit gebogen oppervlak zal natuurlijk voor de onderscheidene stoffen zeer verschillen. Dat voor de

chlorofijloplossing vertoont zich als twee bergketens, die in eene richting loopen, die nagenoeg evenwijdig aan de *ij*-as is. fig. 9. De eerste keten zou, wanneer zij verlengd werd, de *x*-as snijden in een punt, dat nagenoeg met de donkere streep N°. 1, in het roode gedeelte van het spectrum gelegen, overeenkomt. De tweede zou de *x*-as ontmoeten in een punt ergens in het groen, alzoo tusschen de strepen D en E gelegen. Daar de intensiteit van het roode Fluorescentielicht veel grooter is dan die van het groene, is de eerste keten veel hooger dan de tweede; de tweede keten is daarentegen breeder.

De rug van de eerste keten is zeer oneffen: aan het uiteinde, dat naar de *x*-as toegekeerd is, is zij het hoogst; daar treft men een zeer hoogen top aan; vervolgt men de keten verder in de positieve richting der *ij*-as, dan ontmoet men vijf bergpassen, die even zoovele minima van het licht aanduiden. De ordinaten *ij* der vier eerste minima komen met de breekbaarheid der heldere strepen N°. 2, N°. 3, N°. 4 en N°. 5 overeen.

Voor het kanarieënglas, welks Fluorescentielicht, zooals men zich herinneren zal, uit vijf heldere strepen bestaat, zal het oppervlak uit vijf ketens bestaan, die evenwijdig aan de *ij*-as loopen; de abscissen *x* dezer ketens komen respectievelijk overeen met de breekbaarheden van het roodoranje, het oranje, het geel-groen, het groen, en het meest breekbare groen.

Deze ketens worden door eene soort van dal doorsneden,

dat evenwijdig aan de x-as loopt, en waarvan de ordinaat ij overeenkomt met de breekbaarheid van F $^1/_3$ G.

Het oppervlak, dat de Fluorescentie van de chinine-oplossing voorstelt, vertoont geene merkwaardige bergketens of dalen, maar gelijkt veel meer op een zacht glooiend land.

VIERDE HOOFDSTUK.

Verschillende onderzoekingen omtrent de Fluorescentie.

---

§ 1. Nauwelijks had STOKES door zijne ontdekking een nieuw veld voor het onderzoek aangewezen, of meerdere natuurkundigen begonnen het te bearbeiden. Ofschoon men kan zeggen, dat onze kennis der Fluorescentie sinds STOKES al bijster weinig vermeerderd is, moeten hunne voornaamste uitkomsten, zoovele als zij zijn, hier toch vermeld worden. Met deze zullen wij in dit hoofdstuk die onderzoekingen van STOKES samenvatten, welke, zonder aan de eenheid te kort te doen, moeielijk elders eene plaats konden vinden. Dat dit hoofdstuk, in weerwil van de beste bemoeiingen, naar eene bonte massa zal gelijken, ligt in den aard der zaak.

§ 2. De antagonistische werkingen, die men tusschen de minder en meer breekbare stralen van het spectrum bij

eene andere groep natuurverschijnsels had opgemerkt, (1) bracht STOKES op het denkbeeld, of wellicht ook bij de Fluorescentie iets dergelijks werd waargenomen. Op deze vraag gaf de proef hem echter een ontkennend antwoord.

Een vat, gevuld met eene zeer verdunde oplossing van zwavelzure chinine werd in een zuiver spectrum geplaatst. Zooals gewoonlijk bestond het verlichtte deel der vloeistof uit twee verschillende deelen: het eene werd verlicht door het ware Fluorescentielicht, het andere door de mindere breekbare stralen, die door de in de vloeistof zwevende deeltjes werden teruggekaatst, en het valsche Fluorescentielicht vormden. Men moest nu trachten beide bundels elkander in de vloeistof te doen kruisen. Hiertoe plaatste STOKES een prisma, met een grooten brekenden hoek, (130°) met de brekende ribbe vertikaal, voor het vat, en wel zoo, dat de ribbe in de meer breekbare van de zichtbare stralen kwam te staan. De minder breekbare van de zichtbare stralen vielen alzoo op het eene, de meer breekbare op het andere zijvlak van het prisma; beide bundels werden daardoor in tegenovergestelde richting gebroken en kruisten elkander in de vloeistof.

De blauwe bundel waar Fluorescentielicht bleek echter

---

(1) Welke verschijnsels STOKES op het oog heeft, zegt hij niet. Men kan hier echter aan niets anders denken, dan aan de ontdekking, door SEEBECK gedaan, en later door E. BECQUEREL bevestigd, dat de Phosphorescentie, door de meer breekbare stralen opgewekt, verstoord wordt, wanneer het lichaam aan de minder breekbare wordt blootgesteld. (Ann. de Chim. et de Phijs. 3e Serie, Tome LV. pag. 14).

bij deze proef even goed te blijven voortbestaan, wanneer hij door de roode of andere minder breekbare stralen doorkruist werd.

§ 3. Uit zekere theoretische beschouwingen meende STOKES te mogen afleiden, dat, onder overigens gelijke omstandigheden, de intensiteit van het Fluorescentielicht niet evenredig is aan die van het opvallende licht. Ook deze meening werd niet bevestigd, toen hij op soortgelijke wijze, als zoo even vermeld, de proef nam.

Achter eene groote lens, waarop in horizontale richting een lichtbundel geworpen werd, bevond zich een scherm met twee ronde openingen, op dezelfde hoogte boven den horizon gelegen. Er traden alzoo door de openingen twee lichtbundels, die elkander in het brandpunt der lens sneden. Tusschen de lens en het brandpunt, op eenigen afstand van het laatste, werd eene oplossing van zwavelzure koperoxyd-ammoniak geplaatst. Door deze oplossing, die de zichtbare stralen absorbeert, traden de beide bundels in eene aesculine-oplossing, waarin zij aanleiding gaven tot het ontstaan van twee bundels waar Fluorescentielicht. Nu werd een prisma voor de aesculine-oplossing geplaatst, even als zoo straks, met dit verschil, dat de brekende ribbe tusschen de beide bundels kwam te staan. Door het prisma op bepaalde wijze te bewegen, was het mogelijk de bundels, die elkander kruisten, zulke ligging te doen aannemen, dat zij boven elkander kwamen te liggen; alsdan ziet men, wanneer men van boven naar het vat

ziet, beide bundels op elkander geprojecteerd, en het licht, dat tot het oog doordringt, is van beide bundels afkomstig.

Voor het oog bleek nu de intensiteit van het blauwe licht dezelfde te wezen, hetzij de bundels elkander doorkruisten, hetzij zij op elkander geprojecteerd gezien werden. Daaruit volgt alzoo, dat een lichtbundel in een gedeelte der vloeistof, waarin een andere lichtbundel reeds Fluorescentielicht heeft opgewekt, nog evenveel Fluorescentielicht kan opwekken, als ergens elders in de vloeistof, of m. a. w., dat de intensiteit van het Fluorescentielicht evenredig is aan de intensiteit der opvallende stralen.

§ 4. Omtrent den invloed der temperatuur op de intensiteit en de kleur van het Fluorescentielicht kunnen wij kort wezen. Alleen STOKES en in lateren tijd FIEBIG (1) hebben daaraan als ter loops eenige aandacht geschonken. STOKES bevond, dat ook de meest gevoelige glazen bij de roode gloeihitte hunne gevoeligheid verliezen. Bij bekoeling keerde zij echter terug. Ook eene oplossing van salpeterzuur uraanoxyde verliest veel van hare gevoeligheid, wanneer zij tot de kookhitte verwarmd wordt. De weinige oplossingen van plantaardige stoffen, die STOKES onderzocht, schenen bij verhitting niet minder gevoelig te blijven.

Hiervan wijken de uitkomsten, die FIEBIG met oplossingen van aesculine en chinine verkreeg, eenigermate af. Hij

(1) Pogg. Ann. Bd. 114, p. 292.

vulde twee buisjes met dezelfde oplossing. Terwijl het eene langzaam in een waterbad verwarmd werd, werd het andere op de temperatuur der omgeving gehouden. Alzoo maakte de vergelijking van beide buisjes het mogelijk ook eene geringe verandering van intensiteit, of kleur van het Fluorescentielicht waar te nemen. Bij 50° C. werd eene vermindering van intensiteit waarneembaar; bij 65° C. nam deze tot de kookhitte zeer snel af, terwijl ook de kleur veranderde, en eene bleekgroene tint aannam. Bij de chinine nam de intensiteit eerst in de nabijheid van het kookpunt af, terwijl de kleur geene verandering scheen te ondergaan. Bij bekoeling keerden beide oplossingen weer tot hunnen oorspronkelijken toestand terug.

De invloed van de temperatuur schijnt, uit het oogpunt der theorie beschouwd, niet van belang ontbloot te wezen. Een speciaal onderzoek hieromtrent zou, bij de weinige, en dat wel uiteenloopende waarnemingen, die hieromtrent bestaan, ver van nutteloos wezen. Men zou daarbij vooral lage temperaturen dienen aan te wenden, en het Fluorescentielicht aan een prismatisch onderzoek behooren te onderwerpen. Vooral zou men dienen te letten op de scheikundige veranderingen, die de stof zou kunnen ondergaan.

§ 5. Men weet, dat in de kristallen, met uitzondering van die van het tesserale stelsel, welke zich ten opzichte van het licht als eene isotrope middelstof gedragen, de aether in de verschillende richtingen in het algemeen eene

andere elasticiteit bezit. (1) De elasticiteit van den aether in die kristallen is van dien aard, dat, zoo uit een punt, ergens binnen het kristal gelegen, lichtgolven uitgaan, deze in twee vlakken vibreerend, uit het kristal treden.

Wanneer ergens in een punt van een kristal Fluorescentielicht wordt opgewekt, kan men dit als een lichtgevend punt beschouwen. Het zou wel wonder wezen, zoo dit licht zich niet evenals gewoon licht gedroeg: dubbele Fluorescentie (Doppelfluorescenz) was dus, zooals GRAILICH opmerkt, te voorzien. (2)

Eene bijzonderheid, die GRAILICH bij de Fluorescentie der kristallen opmerkte, is eene soort dichroïsmus: Kaliumstrontium- en Kaliumcalcium-Platinacijanur Fluoresceeren in eene richting loodrecht op de lengteas van het kristal niet alleen sterker, maar ook met eene andere kleur, dan in eene richting, evenwijdig aan de as. Calciumplatinacijanur, dat met eene smaragdgroene kleur Fluoresceert, en smaragdgroen licht even gemakkelijk doorlaat in eene richting, evenwijdig aan, als, loodrecht op de lengteas, Fluoresceert desniettemin sterker in de laatste, dan in de eerste richting. Soortgelijke verschijnsels, die eigenlijk niet dichroïsmus kunnen heeten, nam GRAILICH bij meer andere kristallen waar.

Een verband tusschen de Fluorescentie en de Absorptie

---

(1) BEER. Einl. in die Höhere Optik. p. 251.

(2) J. GRAILICH. Krijstallographisch-Optische Untersuchungen p. 63.

van het licht zou, volgens GRAILICH, bij de kristallen niet worden waargenomen.

Een anderen naam voerde MÜLLER in, toen hij een door hem waargenomen verschijnsel Intermittirende Fluorescenz noemde (1); men zou het niet doorloopende of afgebroken Fluorescentie kunnen noemen. Een nieuwe naam is echter overbodig, daar het in waarheid niets anders dan een merkwaardig voorbeeld van gewone Fluorescentie is.

MÜLLER liet op een papier, dat met eene oplossing van Bariumplatinacijanur gedrenkt was (2) een zuiver spectrum vallen, en nam toen in het blauwe drie groene strepen waar, door onveranderd blauw van elkander gescheiden. Eene dezer strepen viel met haar midden op G, de beide andere lagen tusschen F en G; de golflengten voor het midden dezer strepen bleken 0,000462 mm., 0,000446 mm., en 0,000430 mm. te wezen.

De doorloopende Fluorescentie begint eerst bij den straal, welks golflengte 0,000410 mm. is.

Het merkwaardige van het verschijnsel bestaat, volgens MÜLLER, daarin, dat, terwijl stralen van de golflengte van het midden der strepen Fluorescentie veroorzaken, meer breekbare stralen deze eigenschap missen. Het verschijnsel staat echter volstrekt niet op zich zelf; ook bij sommige soorten van

---

(1) Pogg. Ann. Bd. 104 p. 649.

(2) Het gedrenkte papier is eerst gevoelig, wanneer het water verdampt en het met kleine groene kristalletjes bedekt is. Zie § 6.

vloeispaath, en meer andere stoffen wordt dergelijke niet doorloopende Fluorescentie waargenomen.

§ 6. Wanneer men op den aggregaattoestand der Fluoresceerende lichamen let, dan valt als eene bijzonderheid in het oog dat tot dusverre nog bij geen enkel gas Fluorescentie is waargenomen. (1)

Eene andere bijzonderheid vertoonen de platina-cijanuren. Terwijl zij in den vasten toestand krachtig Fluoresceeren, zijn zij in water opgelost, geheel ongevoelig (2) Ook salpeterzuur uraanoxijde is in oplossing veel minder gevoelig dan in den vasten toestand.

Hiermee komt de eigenschap van vele platinazouten en meer andere stoffen overeen: verweerde kristallen zijn veel gevoeliger dan die, welke versch uit de oplossing zijn opgeschoten. Het schijnt eene algemeene wet te wezen: zoowel de kleur, als de intensiteit van het Fluorescentielicht veranderen met het watergehalte der stof.

Dat donker gekleurde lichamen in het algemeen niet gevoelig zijn, is niet te verwonderen. Het Fluorescentielicht

---

(1) Osann meent uit de omstandigheid, dat Cl, na aan het zonnelicht te zijn blootgesteld, zich, zonder meer in de duisternis met H verbindt, tot de Fluorescentie van het Chloor te mogen besluiten. Pogg. Ann. Bd. 94. p. 641. Welke daarbij de gang zijner gedachten geweest is, deelt hij niet mee. Kristalhelder is het toch niet. Hoe dit zij, de ervaring heeft zijne meening nog niet bevestigd.

(2) Pogg. Ann. Bd. 96. p. 542.

dat van eenige stof in bepaalde richting tot het oog doordringt, bestaat uit verschillende elementaire bundels, die afkomstig zijn van deeltjes, op verschillenden afstand van het oppervlak der stof gelegen. Beschouwt men zoo'n deeltje afzonderlijk, dan heeft het licht, dat het uitstraalt, vooraleer het oog te bereiken, tweemaal de stof te doorloopen, eerst om tot het deeltje te komen, en dan, om van daar het oog te bereiken. Daar de breekbaarheid in de stof veranderd wordt, zullen de wegen, die de lichtstraal in beide gevallen aflegt, verschillen; ook het absorbeerend vermogen der stof voor den lichtstraal zal in beide gevallen een ander wezen. Wat geldt voor elken elementairen bundel afzonderlijk, geldt voor den geheelen tot het oog dringenden bundel. Zal dus eenige stof Fluoresceeren, dan is het noodig, dat zoowel het opvallende, als het van de deeltjes terugkeerende licht de absorptie ontkomt. En dit kan in het algemeen van donker gekleurde lichamen niet verwacht worden.

§ 7. Stokes meende a priori te mogen besluiten, dat de hoeveelheid Fluorescentielicht, die een lichtbundel van bepaalde breekbaarheid en intensiteit, vermag op te wekken, geheel onafhankelijk is van den graad van concentratie. Het bleek echter anders te wezen. Terwijl bij eene chinine-oplossing van den gewonen graad van concentratie (1) de Fluorescentie niet vóór G ½ H wordt waargenomen, vertoont eene zeer geconcentreerde oplossing reeds bij G eene rijke Fluorescentie. In

(1) Één gwd. zure zwav. chin. op 200 gwd. water.

de onzichtbare stralen is echter de verdunde oplossing weer gevoeliger.

Men zal in het algemeen wel doen verdunde oplossingen te gebruiken, en men behoeft niet licht te vreezen de grens overschreden te hebben. Zoo is de Fluorescentie van zwav. chin. in 10000 deelen water nog zeer goed waar te nemen. HERAPATH nam de Fluorescentie van chinidin (1) zelfs in 700000 deelen zwavelzuur houdend water waar.

Dit wordt nog overtroffen door hetgeen GÖPPELSRÖDER meedeelt. (2)

GÖPPELSRÖDER, die bevond dat, wanneer men een aftreksel van het kubahout (in water, alkohol of aether) met een aluinaardezout vermengt, het mengsel eene uiterst sterke, groene Fluorescentie vertoont, werd hierdoor tot een nader onderzoek van de hoofdbestanddeelen van het kubahout, Morin en Maclurin, gebracht. Beide stoffen Fluoresceeren op zich zelf niet; wordt echter bij Morin een aluin-aarde zout gevoegd, dan verkrijgt men een uiterst gevoelig mengsel (3) Van de gevoeligheid der stof kan men zich een denkbeeld vormen uit het gedeelte der tabel, die GÖPPELSRÖDER van zijne waarnemingen meedeelt, hetwelk wij hieronder volgen laten. Bij de waarnemingen onder N°. I vermeld, werd door middel eener lens een kegel zonnelicht

(1) ERDMANN J. Bd. 72 p. 104. Opmerkelijk is het, dat, terwijl chininidin zoo uiterst gevoelig is, cinchonidin volstrekt ongevoelig is.

(2) Pogg. Ann. Bd. 131 p. 464, en Bd. 134 p. 152.

(3) GÖPPELSRÖDER meent, dat de Morin zich verbindt met de aluinaarde. Men zou dan niet met een zuiver Physisch, maar met een Chemisch-Physisch verschijnsel te doen hebben.

in de vloeistof gebracht; bij die onder N°. II werd het licht van een magnesiumdraad op dezelfde wijze in eene donkere kamer aangewend; bij die onder N°. III werd het buisje, gevuld met de oplossing, eenvoudig in verstrooid daglicht waargenomen.

Graad van verdunning der Morinoplossing.	No. I.	No. II.	No. III.
1) 1 cub. cent. bevat $\frac{1}{40}$ milligr. Morin. Gehalte $\frac{1}{40.000.}$	Zeer sterke Fluor.; schoone, groene lichtkegel.	Zeer sterke Fluor.; schoone, groene lichtkegel.	Zeer sterke Fluor.
2) 1 cub. cent. bevat $\frac{1}{1000}$ milligr. Morin Gehalte $\frac{1}{1000.000}$	Zeer duidelijke groene, lichtkegel.	Zeer duidelijke Fluor.	Eene groene tint, die na verloop van tijd levendiger wordt.
3) 1 cub. cent. bevat $\frac{1}{4000}$ milligr. Morin. Gehalte $\frac{1}{4000.000}$	Goed waar te nemen, maar zwakke, groene, lichtkegel.	Eerst na verloop van 8 minuten eene groene kleur.	Eerst na verloop van 8 minuten een zwakke groene lichtschijn.
4) 1 cub. cent. bevat $\frac{1}{5000}$ milligr. Morin. Gehalte $\frac{1}{5000.000}$	Zeer zwakke, groenachtige, lichtkegel.		

Men ziet, wanneer het de vraag is, kleine hoeveelheden van eene Fluoresceerende stof aan te toonen, overtreft de

Fluorescentie alles, wat men tot heden daartoe heeft aangewend, zelfs de Spectraalanalyse.

Wanneer men denkt aan de hooge onwaarschijnlijkheid, dat dit geval alleen zal blijven staan, maar men mag aannemen, dat ook andere organische verbindingen, die op zich zelf ongevoelig zijn, met andere stoffen te zamen gebracht, Fluoresceerend zullen blijken te wezen, dan kan men wellicht den tijd te gemoet zien, waarop deze Fluorescenz-analyse voor de organische lichamen worden zal, hetgeen de Spectraalanalyse is voor de anorganische.

§ 8. Reeds HERSCHEL merkte op, dat alleen zure oplossingen van zwavelzure chinine gevoelig zijn. (II § 2). STOKES onderzocht een groot aantal zuren: zwavel-, phosphor-, salpeter-, azijn-, citroen-, en wijnsteenzuur; de oplossing der chinine bleek steeds zoo gevoelig te wezen, dat het moeielijk was te beslissen, welk zuur de krachtigste Fluorescentie opleverde. STOKES meent, dat het phosphorzuur boven aan staat.

Ook in eene oplossing der chinine in aluin treedt het blauwe Fluorescentielicht op.

Broom- en jood-waterstofzuur, evenals chloornatrium, verstoren de blauwe kleur in de chinine-oplossing. Aanvankelijk meende STOKES, dat chloorwaterstofzuur dezelfde eigenschap bezat; later echter bleek door de methode der Absorbenten, dat de blauwe kleur door chloorwaterstofzuur niet geheel wordt weggenomen; zelfs wordt zij in eene alkalische oplossing door zoutzuur te voorschijn geroepen. Bij het onderzoek

volgens diezelfde methode bleek de oplossing van chinine in cyanwaterstofzuur, die STOKES aanvankelijk voor gevoelig hield, het vermogen der Fluorescentie te missen.

De oplossing van aesculine in water verliest hare blauwe kleur, wanneer zij met zuren behandeld wordt, nagenoeg geheel; door behandeling met alkalieën verkrijgt zij ze weer terug. STOKES bevond, dat alkalieën in de kleur der aesculine-oplossing, mits zij slechts versch bereid zij, niets veranderen; volgens PIERRE zou de intensiteit van het Fluorescentielicht van aesculine, evenals van Aesculetine en Fraxine door toevoeging van ammoniak en alkalieën zelfs vermeerderen. (1)

Het schijnt, dat STOKES in den laatsten tijd jongere onderzoekingen omtrent de werking van verschillende zuren op de chinine heeft openbaar gemaakt, die niet geheel in overeenstemming zijn met zijne vroegere resultaten. In „het wetenschappelijk bijblad van het Album der natuur" (2) lezen wij: „STOKES bevond dat op ééne uitzondering na, „alle zuurstofzuren daarmee (d. i. met de chinine) fluores-„ceerende verbindingen geven, terwijl daarentegen die der „waterstofzuren geen spoor van fluorescentie vertoonen. Kan „dit nu door den bijzonderen aard dezer verbindingen geene „verwondering baren, dan is het juist daarom des te opmer-

---

(1) L'Institut 1866 p. 327.

(2) 1869 p. 79. Overgenomen uit Chemical News ?, waaruit Les Mondes XX p. 738.

„kelijker dat een der door STOKES onderzochte zuurstofzuren, „het onderzwaveligzuur, met de chinine eene evenzeer vol„strekt niet fluoresceerende verbinding oplevert.

„Wanneer bij eene fluoresceerende oplossing van zwavelzure „of salpeterzure chinine zoutzuur wordt gevoegd, dan verdwijnt „de fluorescentie oogenblikkelijk, en door bijvoeging van „eene overmaat van een der eerstgenoemde zuren komt zij „niet weder te voorschijn. Dit geschiedt echter wel door „bijvoeging van eenige basis b. v. kwikoxyde bij zulk eene „oplossing, of van zwavelzuur of salpeterzuur kwikoxyde in „eene niet fluoresceerende oplossing, waarbij niet vooraf „salpeterzuur of zwavelzuur gevoegd is.

§ 9. Dat kunstlichten zich ten opzichte van Fluoresceerende stoffen anders zullen gedragen, dan het zonnelicht is iets, dat men, wanneer men weet, dat het spectrum van kunstlichten (1) in het algemeen eene geheel andere samenstelling heeft, dan het zonnespectrum, wel voorzien kan.

Welk kunstlicht voor de waarneming der Fluorescentie het geschikste is, is eene vraag, die zoo gesteld, voor geene beantwoording vatbaar is. Immers eene stof, die uitsluitend in de groene stralen Fluoresceert, zal eene vlam vragen, die rijk is aan, of nog liever geheel uit, groene stralen bestaat, terwijl diezelfde vlam ongeschikt zal wezen voor aesculine

---

(1) Zie o. a. Pogg. Ann. Bd. 100 p. 306: Über die prismatischen Spectra der Flammen von Kohlenwasserstof-verbindungen.

of chinine. Zoo zal de gewone kaarsvlam in de chinine-oplossing slechts eene uiterst zwakke Fluorescentie veroorzaken, terwijl de oplossing van chlorofijl onder haren invloed, wel niet krachtig, maar toch veel sterker, dan de chinine, zal Fluoresceeren. In het algemeen echter mag men zeggen, dat de lichtbronnen, die rijk aan onzichtbare, en arm aan zichtbare, met name de minder breekbare, stralen zijn, de geschikste zullen wezen.

Wanneer men de vlam ter zijde van, en het oog boven het vat houdt, dan zal men, ook bij de meest werkzame vlammen slechts eene zwakke Fluorescentie waarnemen, daar de meer breekbare stralen door het glas geabsorbeerd worden. Om deze absorptie te vermijden, plaatste STOKES de vlam boven het niveau der oplossing, die in een eenigzins wijd vat gegoten werd, en het oog een weinig daaronder. Daardoor werd een tweede voordeel verkregen; namelijk eene vermeerdering van de intensiteit van het Fluorescentielicht. Immers, men ziet nu de vlakken, die men zich evenwijdig aan het niveau door de vloeistof gebracht kan denken, als lijnen geprojecteerd. STOKES noemt deze rangschikking, of betrekkelijke ligging der bestanddeelen der proef: „the epipolic projection. (1) Op deze wijze onderzocht STOKES een vrij groot aantal kunstlichten. De vlam van

---

(1) Deze handelwijze is eigenlijk van HERSCHEL afkomstig. (zie Hoofdst. II.) Men zou verkeerd doen, STOKES eene overdreven zucht naar Nomenclatuur toe te schrijven. Men bedenke, hoe langdradig een opstel noodwendig worden moet, wanneer men op eene bepaalde inrichting telkens moet terugkomen.

salpeter, dat men op houtskool laat verbranden, is, evenals de buskruitvlam, zeer werkzaam voor de chinine. Beide worden echter nog overtroffen door de zwavelvlam, vooral wanneer men, zooals FARADAY, de zwavel in zuurstof verbranden laat (1). De weinig licht gevende alkoholvlam, de waterstofvlam, de naphtavlam zijn voor chinine en aesculine zeer werkzaam. De blauwe vlam van zwavelkoolstof is uiterst werkzaam (2). Onder de minst werkzame vlammen dient de gele alkoholvlam genoemd te worden, die men verkrijgt wanneer men chloornatrium in alkohol oplost.

Wij gaan het talloos heir van kunstlichten voorbij, (3) om nog een enkel oogenblik stil te staan bij dat, hetwelk, zeker hier, onder deze de voornaamste plaats inneemt: het Electrisch licht.

Een zeer verdunde oplossing van chinine, in welke het licht der alkoholvlam slechts een zeer zwakken blauwen lichtschijn veroorzaakt, vertoont bij de Electrische vonk eene zeer duidelijke Fluorescentie.

De natuur van de vonk, heeft een grooten invloed op den aard der Fluorescentie. Terwijl bij eene zwakke vonk, die weinig licht geeft en weinig geraas maakt, het blauwe

---

(1) Pogg. Ann. Bd. 89. p. 627.

(2) De groote werkzaamheid der vlam van zwavelkoolstof bracht BABO op het denkbeeld eene voor proeven geschikte lamp voor zwavelkoolstof te vervaardigen. De lamp is in de hoofdzaak een holle houten cilinder, die als pit dient, en door welken een stroom zuurstofgas gevoerd wordt.

(3) Men zie hierover, des belust, PISKO, die Fluorescenz des Lichtes.

licht tot eene aanmerkelijke diepte in de vloeistof doordringt, is het Fluorescentielicht bij eene lijnvormige vonk, die een scherpen knal veroorzaakt, tot eene uiterst dunne, dicht aan de oppervlakte gelegene, laag beperkt. Wanneer men eene glasplaat tusschen de vonk en de oplossing houdt, blijft in het eerste geval de blauwe kleur onveranderd; in het tweede geval verdwijnt zij geheel. Eene plaat van kwarts laat ze in beide gevallen ontstaan. Daaruit volgt, dat de werkzame stralen der zwakke vonk door eene glasplaat worden doorgelaten, en dat die der heldere vonk door glas geabsorbeerd, maar door kwarts worden doorgelaten. Daar wij nu weten, dat eene oplossing van chinine de stralen des te minder doorlaat, naarmate de breekbaarheid toeneemt, ligt het besluit bij de hand, dat eene sterke vonk zeer rijk moet wezen aan stralen van zeer groote breekbaarheid, die door glas niet worden doorgelaten.

Dit besluit werd door STOKES later (1), toen hij in de gelegenheid was kwartsprismas en kwartslenzen te gebruiken, bevestigd. Hij verkreeg daarmee spectra, welker lengten die van het gewone zichtbare spectrum eenige, tot zelfs zes à zeven malen, overtroffen. Om dit lange spectrum te verkrijgen kan men elke soort Electrisch licht gebruiken; de vonk der Leidsche flesch, die der Electriseermachine, die van RUMKORFF's inductietoestel, de boog van VOLTA, allen geven een zeer lang spectrum, al is dit niet bij allen zes à

(1) Phil. Trans. 1862 p. 599, Pogg. Ann. Bd. 123 p. 30. Men zie ook Pogg. Ann. Bd. 130 p. 137 (J. MÜLLER).

zeven malen langer dan het gewone zichtbare spectrum.

Om zich van het bestaan van dit buitengewoon lange ultraviolette spectrum te overtuigen, kan men het spectrum op een gewoon papier-scherm opvangen en dan de eene of andere sterk Fluoresceerende stof in de ultraviolette stralen plaatsen. Beter zal men doen een scherm te gebruiken, dat met eene chinine-oplossing gedrenkt is; het beste scherm is echter een koek van een moeielijk oplosbaar uraansesquioxydezout dien het STOKES gelukte daar te stellen. (1)

Onder de Electrische lichtbronnen geeft de boog van VOLTA, wanneer hij tusschen Electroden van een of ander metaal overgaat, het langste en helderste spectrum. Het spectrum is echter niet doorloopend, maar bestaat uit een aantal lichtende strepen; een goed deel dezer strepen verandert met de metalen, tusschen welke de boog overgaat. Behalve deze strepen neemt men nog andere breedere waar, welker lichtintensiteit veel geringer is. Deze blijven voor alle metalen dezelfde en zijn hoogst waarschijnlijk aan de gassen van de dampkringslucht toe te schrijven.

Ook de krachtige ontlading van eene Leidsche flesch is zeer geschikt om het lange spectrum te vertoonen; STOKES verkreeg daarmee spectra die tot zelfs acht maal het gewone spectrum in lengte overtroffen.

Met deze ontdekking was een nieuw veld voor het onderzoek geopend. Vooreerst was het gebied der Spectraal-analijse

---

(1) Pogg. Ann. Bd. 123 p. 35.

vergroot, daar men ze thans tot in eene tot dusverre onbekende streek van het spectrum kon uitstrekken; bovendien had het onderzoek naar de absorptie van het licht door de verschillende stoffen, die voor de scheikunde meer en meer beteekenis kreeg, (1) eene belangrijke aanwinst gedaan.

STOKES heeft zich met beide soorten van onderzoek bezig gehouden. Om het lastige gebruik van den boog van VOLTA te ontgaan, gebruikte STOKES als lichtbron de vonk van een inductietoestel; deze bleek voor deze onderzoekingen voldoende te wezen.

Daarmee bepaalde hij de ligging van de strepen van een goed aantal metalen in het ultraviolette spectrum; het gelukte hem zelfs daarvan teekeningen te maken. (2) Wij kunnen bij dit onderzoek niet verder stilstaan, en merken alleen op, dat Aluminium de meest breekbare strepen geeft. Ditzelfde geldt voor de onderzoekingen, die STOKES omtrent de absorptie van deze ultraviolette stralen door verschillende organische verbindingen gedaan heeft: voor vele alkaloïden zijn de absorptiestrepen zoo karakteristiek, dat zij met vrucht bij het scheikundig onderzoek kunnen aangewend worden; andere alkaloïden zooals aconitine, atropine en solanine vertoonen geene absorptiestrepen, daar zij eenvoudig de stralen van zoo groote breekbaarheid geheel absorbeeren.

§ 11. Het groote aantal stoffen, welker Fluorescentie sinds

---

(1) Zie o. a. HAERLIN: Über das Verhalten einiger Farbstoffe im Spectrum. Pogg. Ann. Bd. 118.

(2) Pogg. Ann. Bd. 123.

STOKES's eerste ontdekking door verschillende natuurkundigen onderzocht is, zullen wij hier niet vermelden. Slechts nog twee min of meer algemeene resultaten.

STOKES, die de aftreksels van de basten van de natuurlijke groep der Hippocastaneae onderzocht (1), bevond dat al de soorten der beide geslachten, die de kleine familie uitmaken, Aesculus en Pavia, Fluoresceerende stoffen bevatten. Behalve aesculine bevatten allen nog eene Fluoresceerende stof, die STOKES paviin noemt. De kleur van het Fluorescentielicht bij Aesculus is blauw, bij Pavia blauw-groen. De kleur van het Fluorescentielicht van aesculine en paviin hiermee vergelijkende, komt STOKES tot het besluit, dat aesculine de hoofdrol speelt in de basten van het geslacht Aesculus, Paviin in die van Pavia.

GREISS, die de verschillende deelen van een groot aantal planten onderzocht (in water, alkohol en aether) bevond, dat alle plantendeelen Fluoresceerende stoffen bevatten; ook bij een groot getal organische verbindingen zooals amijlalkohol, aceton, petroleum, (2) ondekte hij eene min of meer krachtige Fluorescentie. (3)

§ 12. De toepassingen, die men van de Fluorescentie

---

(1) Pogg. Ann. Bd. 114 p. 646.

(2) Het blauwe Fluorescentielicht van petroleum (vooral niet gezuiverde) is zoo sterk, dat het niet zelden de aandacht van leeken tot zich trekt.

(3) Pogg. Ann. Bd. 114 p. 327, en Bd. 123 p. 171.

maken kan, en ook gemaakt heeft, schijnen thans geene afzonderlijke vermelding meer te behoeven: zij liggen, voor zooverre zij voor de natuurkunde van belang zijn, in het vorige opgesloten. Opmerking verdient, dat ook de meest kleurlooze zwavelkoolstof zelfs bij eene geringe dikte der laag alle meer breekbare stralen absorbeert. Het spectrum, verkregen door een hol prisma, met deze stof gevuld, kan alzoo voor proeven omtrent Fluorescentie niet gebruikt worden. Heeft men geene massieve prismas van kwarts, dan kan men een hol prisma, waarvan de zijvlakken (bij voorkeur) van kwarts behooren te wezen, met eene oplossing van zwavelzuur of azijnzuur zinkoxijde vullen. Deze oplossingen laten, zooals Stokes bevond, alle werkzame stralen door. Zonder twijfel zullen meer andere zouten dezelfde eigenschap bezitten.

Men kent wellicht de plaatjes van uraniumglas, die men bij een helderen hemel niet zelden bij het microskopisch onderzoek van organische weefsels aanwendt. Het groote voordeel van hun gebruik berust daarop, dat zij de werkzame stralen, die in het blauwe hemellicht overvloedig voorkomen, in stralen van geringere breekbaarheid omzetten, en zoo de Fluorescentie der weefsels voorkomen. Fluoresceert het voorwerp, dan wordt het lichtgevend, en het beeld zal daardoor veel minder scherp wezen.

Het gebruik dezer plaatjes is men aan Brücke verschuldigd. (1)

---

[1] Dingler, Polytechn. Journ. Bd. 144 p. 448.

De photographieën, die het GLADSTONE gelukte „van het onzichtbare" te maken (1), het niet onaardige toestelletje, waaraan zijn uitvinder NÖRRENBERG den naam van Fluorescenz-Mappe schonk, gaan wij, even als meer dergelijke aardigheden, met stilzwijgen voorbij.

§ 13. Ook bij grootsche natuurverschijnsels heeft men meer dan eens de Fluorescentie ter hulp geroepen, hetzij om daaruit nieuwe bewijsgronden voor eene eenmaal opgevatte zienswijze af te leiden, of door haar eene verklaring te geven, waar deze nog niet bestond.

ROBINSON merkte op, dat een Noorderlicht van meer dan gewone intensiteit Fluorescentie te weeg bracht. (2) Een druppel zwavelzure chinine vertoonde zich op een porseleinen plaatje als een lichtende vlek op een zwak verlichtten grond, en kristallen van platino-cyanuretum potassii verspreidden een zoo schitterend licht, dat de etiquette op het buisje, waarin ze bevat waren, en die bij lamplicht op een kleinen afstand niet te onderscheiden was van het zout, door het contrast schier zwart zag.

ROBINSON ziet in deze waarneming een nieuw bewijs voor den Electrischen oorsprong van het Noorderlicht. Velen na hem hebben zich er op beroepen. De jongste waarnemingen van ANGSTRÖM schijnen echter weinig geschikt deze onderstelling te bevestigen.

---

[1] Pogg. Ann. Bd. 109 p. 159.
[2] Phil. Mag. April. 1858.

ANGSTRÖM bevond, dat het spectrum van het Noorderlicht slechts uit eene enkele streep van homogeen licht, (1) waarvan hij de golflengte op 0,0005567 m. m. bepaalde, bestond; deze streep zou alzoo tusschen D en E gelegen zijn. (2) Werd de opening, waardoor de lichtstralen drongen, verwijd, dan werden nog sporen van drie zeer zwakke strepen, in de nabijheid van F waargenomen.

§ 14. STOKES onderzocht de werking van het licht van den bliksem op eene chinine-oplossing en andere gevoelige stoffen, en bevond dat het betrekkelijk zwakke licht eene sterke Fluorescentie te weeg brengt. Hij leidde daaruit af, dat het in vergelijking met het zonnelicht zeer rijk aan zeer breekbare stralen wezen moet.

Bovendien nam hij tusschen de werking van een zwakken bliksemstraal in de verte, en een sterken in het zenith hetzelfde onderscheid waar, als er tusschen die eener zwakke vonk der Electriseer-machine en van eene krachtige ontlading der Leidsche flesch bestaat.

Zooals wij vroeger zagen, bevat de vonk des te breekbaarder stralen, naarmate de ontlading krachtiger is. Het was dus te verwachten, dat de bliksem, als eene ontlading,

---

[1] Pogg. Ann. Bd. 137 p. 161 1869. Opmerking verdient het, dat ANGSTRÖM dezelfde streep in het spectrum van het Zodiakaallicht waarnam. WINLOCH, die het spectrum van het Noorderlicht te New-York onderzocht, bevond, dat het uit vijf heldere strepen bestond.

[2] Volgens STRUVE's bepaling No. 1259 van KIRCHOFF's skala.

die in intensiteit alles overtreft, wat men op kunstmatige wijze verkrijgt, uiterst breekbare stralen zou bevatten. Deze verwachting werd echter teleurgesteld. STOKES kon zelfs niet met zekerheid beslissen, of de stralen van den bliksem, die de Fluorescentie opwekken, wel door gewoon vensterglas, dat stralen van niet bijzonder kleine golflengte reeds absorbeert, worden teruggehouden. Het scheen zelfs, dat de ontlading eener Leidsche flesch stralen van grootere breekbaarheid dan den bliksem bevatte. Onder de onderstellingen, die STOKES maakt, om dit gemis aan stralen van zeer groote breekbaarheid bij den bliksem te verklaren, verdient zeker die de voorkeur, volgens welke de stralen van zoo groote breekbaarheid door den dampkring geabsorbeerd zouden worden. Daarmee komen de waarnemingen van CROOKES overeen. (1)

Wanneer de identiteit van de electrische vonk en den bliksemstraal nog bewijzen behoefde, de waarnemingen, die KUNDT in den laatsten tijd omtrent het spectrum van ongeveer 50 bliksemstralen deed, stellen ze boven allen twijfel. (2) Ware dit alles anders, de kwestie zou door de Fluorescentie wel steeds moeielijk te beslissen wezen. Daartoe is de waarneming van de Fluorescentie onder invloed van het licht van den bliksemstraal van te korten duur; om het spectrum objectief daar te stellen, daaraan kan natuurlijk niet gedacht worden.

---

[1] Cosmos, Tom. VIII p. 90.
[2] Pogg. Ann. Bd. 135 p. 315.

§ 15. Dr. Drechsler geeft van de totale zonsverduistering, die hij in 1860 in Spanje waarnam, het volgende verslag: „Nauwelijks bedekte de schijf der maan een gedeelte van de „zonneschijf, of de kleur van de verlichting der aarde ver„anderde: het daglicht nam eene roode tint aan, die later „in eene bleek gele overging. De grenzen van den horizon „vertoonden zich aan het oog, als zag men ze door stof„wolken heen; even boven den horizon vertoonde zich de „hemel loodkleurig, op grootere hoogten zwart-blauw. Toen „de verduistering volledig werd, werden de plaatsen, die „van de rechtstreeks opvallende zonnestralen beroofd waren, „door een vreemdsoortig, ongewoon licht met een zeer „zwakken schijn verlicht; men kon niet zeggen, vanwaar „dit licht kwam, en nergens bespeurde men, dat het de „geringste schaduw wierp. Zag men van uit de magische „duisternis naar de verte, waar de zonnestralen het landschap „beschenen, dan scheen dit als door Electrisch licht verlicht „te wezen. Deze verlichting, die tusschen schemering en „nacht lag en door haar roodachtigen schijn den waarnemer „haar vreemd karakter openbaarde, hield meer dan drie volle „minuten aan.

Deze roode of bruin-gele tint van de verlichting van het aardoppervlak tijdens eene zonsverduistering is meermalen ook door anderen opgemerkt, en trok ook Simmler's aandacht. (1) Simmler, die zich de vraag stelde, wat is de oorzaak van

(1) Pogg. Ann. Bd. 115 p. 593.

deze vreemde verlichting, meent, dat men hier met een Fluorescentie-verschijnsel te doen heeft. Het roodachtige licht zou Fluorescentielicht wezen, door het chlorofijl van het plantenrijk onder den invloed der onzichtbare stralen (1) uitgestraald.

Een afzonderlijk onderzoek, dat door SIMMLER, in het belang dezer hypothese, omtrent de Fluorescentie van het chlorofijl werd ingesteld, en in hoofdzaak dezelfde uitkomsten gaf, als die STOKES verkreeg, bevestigde op eene opvallende wijze zijne meening; het gelukte hem zelf een toestelletje te vervaardigen, waaraan hij den naam van Erijthrophijtoscoop (2) gaf, hetgeen hem in staat stelde deze roode Fluorescentie van het plantenrijk ook bij gewoon daglicht waar te nemen.

---

(1) Dat deze bij eene totale zonsverduistering niet ontbreken, bewijzen de photographieën, door FOUCAULT en SECCHI van de zonsverduistering van 1860 gemaakt. Wanneer SIMMLER's verklaring de ware is, dan zal men op dezelfde wijze de roodachtige tint behooren te verklaren, die men, bij het afsteken van vuurwerk, bij de boomen kan waarnemen.

In afwijking met SIMMLER's uitkomsten meent HAGENBACH, dat het roode licht dat bij de bladen wordt waargenomen, geen Fluorescentielicht is, maar eene zoogenoemde absorptie-kleur. Volgens hem zou chlorofijl in den vasten toestand niet Fluoresceeren. (Pogg. Ann. 1870, No. 10, bladz. 255.)

(2) De zaak is veel eenvoudiger dan den naam. Het is eenvoudig een cilinder van karton, die van binnen met zwart, mat papier bedekt is, waarin meerdere kobalt- of andere glazen gebracht worden, die de minder breekbare stralen, met uitzondering der roode, absorbeeren. Door deze soort kijker ziet men naar het groen.

VIJFDE HOOFDSTUK.

De grenzen der zichtbaarheid van het zonnespectrum.

---

§ 1. Dit onderwerp van niet weinig belang, zoowel voor de Physiologische Optica, als de Natuurkunde, heeft zooveel punten van aanraking met het behandelde, dat het hier eene plaats scheen te moeten vinden.

Reeds langen tijd, voordat STOKES den naam van Fluorescentie in de wetenschap had ingevoerd, hadden RITTER en WOLLASTON (1801) aangetoond, dat zilverchloruur ontleed werd in de onzichtbare, meer breekbare stralen van het zonnespectrum. Nagenoeg tegelijkertijd ontdekte HERSCHEL (de Oudere), dat de thermometer steeg in het minst breekbare deel van het spectrum, dat boven de uiterste roode stralen gelegen is.

Het duurde echter een geruimen tijd, vooraleer men zich de vraag stelde, waarom deze stralen, die men onder den gemeenschappelijken naam van Ultra-stralen kan samen-

vatten, onzichtbaar waren. Dit kan ons niet zeer verwonderen. MELLONI's studiën waren nog niet in het licht verschenen, de stralende warmte was nagenoeg nog geheel onbekend, men zag in de stralen van RITTER en HERSCHEL nog iets geheel anders, dan in de zichtbare stralen, om kort te gaan, de identiteit van licht- en warmtestralen was nog niet uitgesproken.

Het ligt niet op onzen weg de geschiedenis der leer der identiteit van licht- en warmtestralen te verhalen; deze alleen zou reeds stof genoeg voor een geschrift, als dit, opleveren. Enkele ruwe trekken mogen hier echter getrokken worden.

De eerste, die de identiteit van licht- en warmtestralen heeft uitgesproken, schijnt AMPÈRE te zijn geweest. (1) AMPÈRE meent, dat de warmtestralen van grootere golflengte daarom niet als licht worden waargenomen, omdat zij door water geabsorbeerd worden, en dus ook de middelstoffen van het oog niet kunnen doordringen.

MELLONI stelde tegenover deze theorie een drietal proeven, die de niet-identiteit van licht- en warmtestralen bewijzen moesten. (1)

---

(1) Ann. de Chim. et de Phijs. 1835.

(1) Pogg. Ann. Bd. 37 p. 486. De proef, waaraan MELLONI het meest gewicht schijnt te hechten, is: wanneer men water tusschen met koperoxijde groen gekleurde glazen insluit, laat het geheel wel licht, maar geen warmte door.

Hoewel MELLONI het ontstaan van licht- en warmtestralen aan twee verschillende oorzaken toeschrijft, geeft hij toe, dat beide oorzaken wellicht weer verschillende uitwerkselen van eene zelfde oorzaak zijn: Donc la

Later echter veranderde MELLONI's zienswijze geheel, en spreekt hij de identiteit van licht en warmte zoo duidelijk uit, als vóór hem niet gedaan was. (1) Om te verklaren, waarom wij de ultra-stralen niet als licht waarnemen, onderstelt hij, dat hun de harmonie ontbreekt met de moleculaire elasticiteit der retina, die noodig is, om de moleculen der retina in trilling te brengen, en zoo de gewaarwording van zien te veroorzaken. Wanneer men de noodzakelijkheid dezer harmonie eenmaal aangenomen heeft, dan is het duidelijk, dat lichtgolven van eene bepaalde golflengte, onder overigens gelijke omstandigheden, het sterkst op de retina zullen werken, en dat lichtgolven, die eene kleinere of grootere golflengte bezitten, eene des te geringere werking zullen uitoefenen, naarmate hare golflengte meer van deze verschilt. De stralen, die het sterkst op de retina werken, moeten van de kleur der retina wezen. In het zonnespectrum is het maximum der lichtintensiteit in het geel gelegen; daarom moet de retina geel wezen, en — de retina is geel.

Het is ongeveer op deze wijze, dat BRÜCKE de identiteitstheorie van MELLONI samenvat. Aan deze gele kleur der

---

lumière et le calorique rayonnant doivent leur origine immédiate à deux causes distinctes .....; ces deux causes ne sont peut-être elles-mêmes que des effets différens d'une cause unique ..... Seulement il faudra admettre dans cette théorie, que les rayons lumineux et les rayons calorifiques consistent en deux modifications essentiellement distinctes de la manière d'être du fluide éthéré. (Ann. de Chimie et de Phijs. 1835 p. 426.)

(1) Pogg. Ann. Bd. 56 p. 574.

retina knoopte MELLONI eene andere onderstelling vast, die ons thans niet minder dan naïef kan toeschijnen. MELLONI onderstelde, dat de gele kleur der retina, met het toenemen der jaren, langzamerhand zou verdwijnen, en dat zij bij grijsaards, door eene wijze voorzorgsmaatregel der natuur, vervangen zou worden door de gele kleur, die dan de cornea zou aannemen.

BRÜCKE, die van het denkbeeld uitgaat, dat de dwalingen van groote mannen eene des te scherpere critiek moeten ondergaan, naarmate de vrees grooter is, dat de mantel der autoriteit ze blijft bedekken, heeft dit, naar onze meening, vrij wel ten uitvoer gebracht. (1) Allereerst houdt hij MELLONI tegen, dat hij de niet-identiteit van licht- en warmtestralen vaarwel zegt, zonder de proeven, die hem vroeger deze leer deden aannemen, hare bewijskracht te ontnemen. Verder wijst hij MELLONI er op, dat zijne hypothese van de noodzakelijkheid eener bepaalde harmonie tusschen de aethergolven en de moleculaire elasticiteit der retina op geene gegronde inductie steunt: bij de andere zintuigzenuwen toch is niets te vinden, wat daarmee overeenkomt: op het gehoor kan men zich niet beroepen, daar slechts die geluidgolven tot de gehoorzenuw doordringen, die de middelstoffen, die haar omgeven (2), vermogen voort te planten; en eindelijk — zoo zegt BRÜCKE — MELLONI bedient zich van

---

(1) Pogg. Ann. Bd. 65 p. 563.

(2) Schallleitende Apparat unseres Ohres.

zijne hypothese om te verklaren, waarom het maximum van warmte in het zonnespectrum niet samenvalt met het maximum van licht, en neemt daartoe aan, dat het gele licht het maximum van harmonie met de retina heeft, omdat zij geel gekleurd is (1).

Zijn wij heden ten dage zooveel verder dan MELLONI? Kunnen wij de identiteit van licht- en warmtestralen in al hare strengheid volhouden, zonder tot eene soortgelijke hypothese, als die van MELLONI, onze toevlucht te nemen? Of heeft de leer der identiteit niets te maken met de kwestie der zichtbaarheid der ultra-stralen? Het antwoord op deze vragen zullen wij beproeven te geven, wanneer wij de verschillende onderzoekingen hebben leeren kennen, die na MELLONI omtrent de zichtbaarheid der ultra-stralen gedaan zijn.

§ 2. Wanneer de ultra-stralen onzichtbaar zijn, dan is de oorzaak der onzichtbaarheid te zoeken, òf in eene absorptie dier stralen door de middelstoffen van het oog, zoodat zij de retina niet bereiken, òf in de ongevoeligheid der retina voor die stralen. Blijkt het, dat de ultra-stralen volkomen geabsorbeerd worden, dan schijnt iedere verdere beschouwing over de identiteit van licht- en warmtestralen overbodig, daar dan elders gronden genoeg voor haar bestaan schijnen te vinden te zijn; blijken echter beide soorten van stralen, of eene van beide door de middelstoffen

(1) Zooals men weet, is de retina niet geel gekleurd; slechts een klein gedeelte, de zoogenoemde gele vlek, heeft deze kleur. Zie HELMHOLTZ Physiol. Optik p. 22, 822, en andere.

van het oog doorgelaten te worden, terwijl zij onzichtbaar zijn, dan zou eene nadere beschouwing der kwestie niet geheel zonder grond kunnen schijnen.

§ 3. Zien wij eerst, wat de ervaring omtrent de absorptie der ultraviolette stralen door de middelstoffen van het oog leert.

De eerste, die hieromtrent een onderzoek gedaan heeft, is Brücke geweest. (1) Wanneer men eene alkoholische oplossing van Guajakhars in het duister laat indampen, dan verkrijgt de hars de eigenschap door de blauwe en meer breekbare stralen van het zonnespectrum blauw gekleurd te worden; onder invloed van de minder breekbare stralen verliest zij echter hare blauwe kleur weer (2). In het gewone daglicht heeft de werking der meer breekbare stralen de overhand.

Van deze eigenschap der Guajakhars maakte Brücke op vindingrijke wijze gebruik, om de absorptie der ultraviolette stralen te onderzoeken. Hij liet een bundel stralen gewoon daglicht door de kristallens van het oog (ossenoog) op de Guajakhars vallen. De hars werd niet blauw, maar geel-groen gekleurd, en een laagje, dat door het daglicht reeds blauw gekleurd was, nam eveneens de geel-groene kleur aan, wanneer het werd blootgesteld aan de stralen, die door de kristallens waren gegaan. Hieruit blijkt, dat

(1) Pogg. Ann. Bd. 65 pag. 593 en Bd. 69 p. 549.

(2) Volgens E. Becquerel zou H de grens zijn van de meer breekbare stralen, die het vermogen bezitten de Guajakhars blauw te kleuren. Volgens Moser zou deze grens meer naar het roode uiteinde toe gelegen zijn.

de lens de stralen, die het vermogen bezitten de Guajakhars blauw te kleuren, sterker absorbeert dan de overige. Welke waren het nu, die geabsorbeerd werden, de blauwe, de violette, of de ultraviolette stralen? Brücke antwoordt: de ultraviolette: want de lens, die in den normalen toestand bijna kleurloos is, bleef dit; waren de blauwe of violette stralen geabsorbeerd, dan had zij eene blauwe of violette kleur moeten aannemen. Voor de andere middelstoffen, de cornea en het glasachtig lichaam, vond Brücke op soortgelijke wijze soortgelijke uitkomsten; zij bleken echter iets minder te absorbeeren.

Ook met photographisch papier nam Brücke proeven. De verschillende middelstoffen van het oog werden op passende wijze in een buisvormig vaatje zonder bodem gebracht, zoodat de cornea het geheel van voren, de lens het van achteren sloot. Door dit stelsel, dat, evenals het oog, als eene lens werkte, vielen nu achtereenvolgens de kleuren van het spectrum, terwijl het papier in het brandpunt van het stelsel gebracht werd. De violette stralen brachten reeds na verloop van 1½ minuut eene zwarte vlek op het papier te weeg; voor de stralen van kleinere golflengte was dit tijdsverloop veel grooter, en in de nabijheid van de groep strepen M (Draper) werd volstrekt geene verandering van het papier waargenomen. Zelfs na 10 minuten bleek het papier geheel onveranderd te wezen.

Brücke besluit uit deze waarnemingen, dat de ultraviolette stralen volkomen door de middelstoffen van het oog geab-

sorbeerd worden, en meent daarmee de oorzaak hunner onzichtbaarheid gevonden te hebben.

BRÜCKE's besluit is sinds dien op de meest afdoende wijze weerlegd. STOKES was het, die het eerst de ultraviolette stralen zag. Gedurende zijne onderzoekingen omtrent de Fluorescentie stelde STOKES zich meermalen de vraag, of de ultraviolette stralen, die hij zichtbaar had leeren maken, ook niet rechtstreeks konden worden waargenomen. (1) Wanneer men in het oog houdt, dat de glasprismas, die STOKES aanvankelijk gebruikte, een goed deel der ultraviolette stralen absorbeeren, en bedenkt, hoe gering de intensiteit dezer stralen is, dan kan het geene verwondering baren, dat STOKES's eerste pogingen mislukten. Eerst bij het einde van zijn arbeid gelukte het hem de groepen strepen *m*, *n* en *p* rechtstreeks te zien. (2) De kleur dier stralen vergelijkt STOKES bij die van de corolla van de Lavendel, en noemt ze daarom lavendelblauw.

Het schijnt echter, dat HELMHOLTZ reeds vóór dien tijd er in geslaagd was, althans een deel van het ultraviolette spectrum te zien. In eene verhandeling over de theorie der kleuren (3) zegt hij, na eene methode beschreven te hebben, waarop wij straks terugkomen: „op deze wijze kan men „bijv. zeer goed tot op eenigen afstand van H het deel „van het spectrum waarnemen, dat wegens zijne geringe

(1) Pogg. Ann. Ergänzungsband IV, § 105, en elders.
(2) Pogg. Ann. Erg. IV, Note B.
(3) Pogg. Ann. Bd. 86, p. 514.

„intensiteit gewoonlijk voor onzichtbaar gehouden wordt." Zeker is het, dat HELMHOLTZ, zonder met STOKES's waarneming bekend te wezen, er iets later in slaagde de strepen *l*, *m*, *n*, en de eerste van de groep *p* te zien. (1) De identiteit der door hem waargenomen met die door STOKES aldus genoemde strepen, kon HELMHOLTZ constateeren door de teekening, die STOKES daarvan gegeven had.

Later, toen HELMHOLTZ kwartsprisma en kwartslenzen tot zijne beschikking had, slaagde hij er in de ultraviolette stralen nog verder te vervolgen; het bleek toen, dat het ultraviolette spectrum tot R (2) kon gezien worden, even ver als de aanwezigheid van stralen zich door eene oplossing van zwavelzure chinine of op eenige andere wijze liet aantoonen. Toen bleek ook, dat de lichtindruk, dien de uiterste ultraviolette stralen veroorzaken, niet zoo zwak was, als men aanvankelijk meende; hij bleek even sterk te wezen als die der strepen *l* en *m*.

Was het besluit van BRÜCKE alzoo gebleken onjuist te zijn, zijne proeven kon niet alle waarde ontzegd worden. Het was dus van belang ook objectief aan te toonen, dat de ultraviolette stralen de retina bereiken. In het bezit van een zooveel gevoeliger reagens voor ultraviolette stralen, wanneer de chinineoplossing zoo heeten mag, kwam reeds bij

(1) Pogg. Ann. Bd. 94 p. 12. In eene latere verhandeling althans zegt HELMHOLTZ: mit Bedauern bemerke ich, dass ich in meinen Aufsatze über die Zusammensetzung von Spectralfarben eine Anmerkung von STOKES (Pogg. Ann. Erg. IV. Note B). übersehen habe. (Bd. 94. p. 206).

2) Eigenlijk strekt zich het spectrum nog iets verder uit; om lastige omschrijvingen te vermijden, zullen wij echter R als de grens blijven noemen.

STOKES het denkbeeld op het voor dit onderzoek dienstbaar te maken. (1) Het ten uitvoer te brengen was het werk van DONDERS en VAN REES. (2) Het zonnespectrum, dat DONDERS en VAN REES bij hun onderzoek gebruikten, werd op de gewone wijze verkregen door een flint- en een crownglasprisma, waarachter eene achromatische lens stond; het werd opgevangen op een scherm, dat met zwavelzure chinine bestreken was. Op die wijze werden de strepen van de groep *p* nog duidelijk waargenomen.

Het glasachtig vocht van een zeker aantal oogen (runderoogen) werd in glazen bakjes gedaan, die den vorm van een paralelopipedum en verschillende afmetingen hadden.

Werden de bakjes voor de spleet, door welke de zonnestralen drongen, geplaatst, dan bleken zij, wanneer de dikte van de glasvochtlaag niet zeer groot was, (2 cent.) geene grootere verandering in de lichtintensiteit van het spectrum te veroorzaken, dan de ledige bakjes doen zouden; wanneer de laag eene grootere dikte (9 cent.) werd gegeven, dan werd wel eene groote vermindering van intensiteit van het spectrum waargenomen, maar deze vermindering scheen zich volstrekt niet meer over de ultraviolette, dan over de andere stralen van het spectrum uit te strekken.

Toen de bakjes onmiddelijk voor het scherm geplaatst, en daar heen en weder bewogen werden, bleken de meer

---

(1) Pogg. Ann. Ergänzungsband IV, Zusatz K

(2) Onderzoekingen gedaan in het Physiol. Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool, Jaargang VI, 1853—1854 p. 1—16.

breekbare stralen, nadat zij door de vloeistof gegaan waren, zeer goed op het chinine-scherm waarneembaar te wezen.

Voor de cornea verkregen zij dezelfde uitkomsten.

Om de verhouding van de lens ten opzichte van de ultraviolette stralen te onderzoeken, werd zij in een met glasvocht gevuld bakje zoo geplaatst, dat hare as loodrecht op de zijvlakken van het bakje stond. Op die wijze behield de lens zekeren brandpuntsafstand; ofschoon grooter dan den gewonen brandpuntsafstand, bleek hij echter te klein te wezen, om de verhouding der lens tot de ultraviolette stralen te onderzoeken, door ze onmiddelijk voor de spleet te plaatsen. Daarom werd het bakje, evenals bij het onderzoek van het glasachtig vocht, voor het scherm gebracht, en daar heen en weer bewogen. Het bleek toen, dat ook de lens de ultraviolette stralen ten deele vermag door te laten; tot zelfs in de groep *p* werd een flauw beeldje op het chinine-scherm waargenomen.

Toen op die wijze elk der middelstoffen van het oog afzonderlijk onderzocht was, was het van belang ook nog het oog in zijn geheel te onderzoeken. Hiertoe werd een oog (konijnenoog) langs den aequator doorkliefd; de voorste helft, bestaande uit cornea, waterachtig vocht, lens, en een klein gedeelte van het glasachtig vocht, werd in een met glasvocht (ossenoogen) gevuld bakje opgehangen, terwijl de gezichtsas loodrecht op de zijvlakken van het bakje werd gesteld. Toen dit stelsel zoo geplaatst werd, dat de stralen, vóór het scherm te bereiken, het moesten doordringen, werd

nog ver voorbij H, tot zelfs bij *o* een duidelijk blauwachtig beeldje waargenomen. (1)

Het ware nu nog mogelijk, dat de ultraviolette stralen, ofschoon door de middelstoffen van het oog doorgelaten, vooraleer de staafjeslaag (2) te bereiken, door de lagen van de retina zelve werden geabsorbeerd. Na ook dit onderzocht te hebben, komt DONDERS tot het besluit: „zoo niet alle, „dan toch de meeste stralen van sterkere breekbaarheid dan „het violet bereiken de staafjeslaag van het netvlies, en de „grond hunner onzichtbaarheid is in het netvlies zelf te zoeken."

Wat het eerste gedeelte van dit besluit betreft, het is zeker, (3) dat niet alle stralen van grootere breekbaarheid dan het violet de staafjeslaag van het netvlies bereiken; wat het tweede aangaat, wij weten thans, dat de ultraviolette stralen wel degelijk zichtbaar zijn. Ook ten tijde, dat DONDERS zijne verhandeling schreef, had STOKES ze reeds gezien. Het schijnt, dat hij, evenals HELMHOLTZ, de bijlage B van STOKES's verhandeling over het hoofd heeft gezien. (4)

---

(1) Bij de eerste proef was de uitkomst voorbij *l* onzeker; eerst, nadat de pupil door indruppeling van sulphas atropini verwijd, en daardoor de intensiteit van het doorgelaten licht aanmerkelijk vermeerderd was, verkregen zij bovengenoemde uitkomst.

(2) HELMHOLTZ. Phys. Optik pag. 19 en 209.

(3) Zie p. 138.

(4) Aanvankelijk meende ook STOKES, dat de meer breekbare stralen door de media van het oog geabsorbeerd werden: it seems very likely that the highly refrangible rays never reach the retina, but are absorbed by the coats? of the eye. Phil. Trans 1852.

§ 4. Zooals wij straks meedeelden, gelukte het HELMHOLTZ door kwartslenzen en kwartsprisma het ultraviolette spectrum evenver rechtstreeks te zien, als het zich door eene chinine-oplossing laat aantoonen. Is dit nu werkelijk de grens van het zonnespectrum, nadat de stralen door onzen dampkring zijn gegaan, of zijn er in het zonnelicht nog stralen van kleinere golflengte, die, om welke reden ook, niet worden waargenomen? De onderzoekingen van STOKES omtrent het spectrum van het Elektrische licht maken het eerste hoogst waarschijnlijk; daaruit blijkt, dat daarin zich stralen van veel grootere breekbaarheid dan R door Fluoresceerende stoffen laten aantoonen. Men mag dus besluiten, dat stralen van kleinere golflengte dan R niet in het zonnespectrum voorkomen. Het bezwaar, hetgeen men misschien tegen dit besluit zal inbrengen, dat de spiegel van den heliostaat, die de zonnestralen terugkaatst, wellicht die stralen absorbeert, kan sinds STOKES's onderzoek niet meer worden toegelaten: STOKES bevond, dat in het spectrum van het Elektrisch licht, nadat het door denzelfden spiegel was teruggekaatst, stralen van die breekbaarheid wel degelijk voorkomen. (1)

Wellicht wijst men op de mogelijkheid, dat in het zonnespectrum stralen van kleinere golflengte dan R voorkomen, maar van eene te geringe intensiteit om door de chinineoplossing te worden aangetoond. Deze tegenwerping heeft echter weinig waarde; hoe toevallig toch zou het wezen, dat de grens der

(1) Pogg. Ann. Bd. 123 p. 30.

gevoeligheid der retina juist samenviel met die der chinine-oplossing?

Nog meer zekerheid zetten aan dit besluit de proeven bij, die in het afgeloopen jaar door MASCART gedaan werden (1): deze leeren namelijk, dat stralen, breekbaarder dan R, in het spectrum van het Electrische licht ook rechtstreeks gezien kunnen worden. Dit vermoeden was reeds vroeger door HELMHOLTZ uitgesproken.

MASCART gebruikte als lichtbron de vonk van eene batterij van Leidsche flesschen, die in den stroom van een krachtigen inductietoestel geplaatst werd. Tot de analyse van het licht werden kwartslenzen gebruikt en een Spectroscoop, waarvan de verschillende deelen van kalkspaath waren. Op deze wijze verkreeg hij, wanneer verschillende metalen als Electroden werden aangewend, spectra, welker lengten die van het gewone spectrum zes tot zeven malen overtroffen. Daarbij bleek het, dat gewone oogen de ultraviolette stralen nog konden waarnemen tot op een afstand van het begin van het spectrum, tweemaal grooter dan de lengte van het gewone spectrum; meer begunstigde oogen konden de lichtende strepen nog veel verder waarnemen; drie van de 30 personen, die de proef bijwoonden, zagen de strepen even ver als zij door photographie konden verkregen worden.

De golflengte dezer stralen zou, volgens MASCART, 0,000213$^{m.m.}$ bedragen hebben. (2) MASCART meent dat de

(1) Pogg. Ann. Bd. 137 p. 163.

(2) De kleur dezer ultraviolette stralen bleek voor de verschillende oogen zeer uiteen te loopen. Voor een weinig gevoelig oog vertoont zich het

graad, zoowel als de grens der zichtbaarheid nog aanmerkelijk zou vermeerderen, zoo men er in slagen mocht de lichtstralen, die over het gezichtsveld verstrooid worden door het prisma en de lenzen, die onder den invloed van het Electrische licht beginnen te Fluoresceeren, te verwijderen.

§ 5. Nauwelijks was het besluit van Brücke zoowel op subjectieve, als objectieve wijze weerlegd, of eene andere belangrijke vraag deed zich als van zelf op: zien wij de ultraviolette stralen, die bijna op iedere stof Fluoresceerend werken, terwijl zij onveranderd op de retina vallen, of eerst, nadat zij door de middelstoffen van het oog in stralen van grootere golflengte zijn omgezet? m. a. w. zien wij de ultraviolette stralen onder de kleur, die hun van natuur eigen is, of onder die, welke zij aannemen ten gevolge der Fluorescentie der middelstoffen? Onder de middelstoffen komen allereerst in aanmerking, de cornea en de lens. Dat beide lichamen onder den invloed der violette en ultraviolette stralen Fluoresceeren, laat zich, volgens Helmholtz, gemakkelijk aantoonen, wanneer men het levende oog in het brandpunt dier stralen brengt. De lens verstrooit daarbij zooveel blauwachtig licht, dat haar vorm en hare ligging zich nog veel beter laten waarnemen, dan bij het gebruik van gewoon zonnelicht.

---

eerste ultraviolette spectrum onder eene grauw-blauwe, alzoo onder eene lavendelblauwe kleur; personen, die de ultraviolette stralen gemakkelijk waarnemen, zien het onder eene violet-purpere kleur. Voor deze oogen nadert de kleur meer en meer het lavendelblauw, naarmate de golflengte der stralen kleiner is. Bij de strepen van de allerkleinste golflengte is geene kleur waar te nemen; alleen een verschil in intensiteit doet ze zichtbaar worden.

Volgens MÜLLER (1) komt dezelfde eigenschap ook aan de blauwe stralen toe, mits zij slechts de vereischte intensiteit bezitten; laat men, volgens hem, een bundel blauwe stralen op de cornea vallen, dan ziet de waarnemer ze onder een wit, groenachtig licht, terwijl het individu in zijn gezichtsveld een soortgelijken schijn (Schimmer) waarneemt.

Ook JULES REGNAULD bevond de cornea en de lens Fluoresceerend; de vochten zouden volgens hem echter ongevoelig wezen. (2)

Moet nu de vraag, zoo even gesteld, in laatstbedoelden zin beantwoord worden? Er zijn er, die zulks meenen. Dit blijkt o. a. uit hetgeen de berichtgever van „de zichtbaarheid der ultraviolette stralen" op zijn verslag van de proeven van MASCART volgen laat: (3) „Worden de ultraviolette stralen als „*zoodanig* waargenomen, of voor zij de retina bereiken in „stralen van grootere golflengte omgezet door de brekende mid„denstoffen van het oog? Het verschil in de kleur, die zij aan „verschillende personen vertoonen, zou het laatste waarschijnlijk „kunnen maken."

In afwijking met dit voorzeker voorzichtig uitgesproken gevoelen meent HELMHOLTZ, dat de Fluorescentie der lens met

---

(1) Pogg. Ann. Bd. 139. p. 600.

(2) L'Institut 1858 p. 410. REGNAULD onderzocht de lenzen van verschillende klassen van dieren, en bevond o. a., dat bij sommige in het water levende *Mollusken* de centrale lagen der lens ongevoelig zijn. Er bestaat nog eene latere verhandeling van zijne hand, die wij niet hebben kunnen raadplegen. Zie Cosmos XVI 1860.

(3) Album der Natuur. Wetens. Bijblad. 1869 p. 30.

de zichtbaarheid der ultraviolette stralen niets te maken heeft. De grond, waarop HELMHOLTZ's meening berust, zijn de scherpe grenzen van het ultraviolette spectrum: dit zou niet scherp geteekend kunnen wezen, zoo wij de ultraviolette stralen eerst waarnamen, nadat zij door de lens in stralen van grootere golflengte zijn omgezet. Een duidelijk beeld kon dan niet op de retina gevormd worden; de lens zou in dit geval eigenlijk het lichtgevend voorwerp wezen. Van de andere middelstoffen spreekt HELMHOLTZ niet; daar echter zijn argument evenzeer voor het oog in zijn geheel beschouwd geldt, meenen wij te mogen besluiten dat de ultraviolette stralen volstrekt niet gezien worden ten gevolge der Fluorescentie der middelstoffen van het oog (1).

Het is ook overbodig om ter verklaring van de anomalieën, die het meer breekbare deel van het spectrum vertoont (2), zijne toevlucht te nemen tot de Fluorescentie der middel-

---

(1) Ware dit zoo, dan zouden wij de ultraviolette stralen ook onder eene andere kleur moeten zien, dan zij vertoonen, en wel onder de kleur van het Fluorescentielicht der middelstoffen, dus onder eene blauwachtige (lens) of eene groenachtige (cornea), of eigenlijk onder de mengingskleur.

Eene andere vraag is, of de Fluorescentie der middelstoffen absoluut zonder invloed is op de kleur der ultraviolette stralen. Dit moet ontkennend beantwoord worden: ..... die von der Linse und Hornhaut ausgesandten Strahlen werden sich in diffuser Weise über die ganze Retina verbreiten und dürfen so dem Eigenlicht derselben zugezählt werden. Der Einfluss des letzteren muss aber auf alle Farben ein gleichmässiger seyn. (MÜLLER. Pogg. Ann. Bd. 139 p. 594.)

(2) Zie bladz. 147.

stoffen. De Fluorescentie der retina zelve, door HELMHOLTZ, en kortelings nogmaals door MÜLLER onderzocht, heldert ze voldoende op. Vooraleer deze nader te beschouwen een enkel woord ter opheldering. — Onderstel, dat de retina Fluoresceert onder invloed van stralen van eene bepaalde golflengte, met welke eene kleur *a* overeenkomt, en dat een deel dier stralen wordt omgezet in stralen van grootere golflengte, met welke eene kleur *b* overeenkomt. Twee gevallen zijn dan mogelijk: de retina neemt alleen de opvallende stralen van de kleur *a* waar, of zij neemt beide kleuren *a* en *b* waar. In het laatste geval is de totale lichtindruk de resultante van de partieële indrukken, door *a* en *b* elk afzonderlijk te weeg gebracht, en de kleurenindruk, dien wij ontvangen, wordt dan bepaald door *a* en *b*. A priori mag men aannemen, dat het laatste geval waarschijnlijk is; met zekerheid laat zich echter hieromtrent van te voren niets beslissen, maar — onderstel eens, dat de doode retina onder invloed der ultraviolette stralen Fluoresceert met eene kleur *c*, en dat deze kleur *c* met de meest breekbare violette stralen lavendelblauw, de kleur der ultraviolette stralen, gaf, dan zou deze waarschijnlijkheid, wanneer men in het oog houdt, dat de eigen kleur der ultraviolette stralen niet veel van die der violette verschillen kan, zeer groot worden.

Daar de methode, die HELMHOLTZ bij zijn onderzoek der Fluorescentie van de retina gebruikte (1), nagenoeg overeen-

(1) Pogg. Ann. Bd. 94, p. 205.

komt met die van MÜLLER, willen wij met de vermelding zijner uitkomsten volstaan. HELMHOLTZ bevond, dat de doode retina onder den invloed der ultraviolette stralen met een witachtig licht Fluoresceert; ofschoon de intensiteit van het Fluorescentielicht niet zeer groot was (geringer dan die van het Fluorescentielicht van ivoor en papier), was er toch zeer goed eene blauwachtig-groene tint bij waar te nemen. SETSCHENOW, die de Fluorescentie der retina van verschillende mammalia onderzocht, verkreeg dezelfde uitkomst. Reeds dadelijk volgt hieruit, dat de ultraviolette stralen althans ten deele rechtstreeks worden waargenomen; immers werden zij alleen waargenomen ten gevolge van de Fluorescentie der retina, dan moesten wij ze onder eene wit-blauwachtig-groene kleur zien. En hiervan wijkt de kleur der ultraviolette stralen te veel af.

Was nu de Fluorescentie der retina zonder eenigen invloed op de kleur, waaronder wij de ultraviolette stralen zien? Hierover kon alleen eene vergelijking beslissen van de intensiteit van het onveranderde en het door Fluorescentie omgezette licht. Daartoe vergeleek HELMHOLTZ het Fluorescentielicht der retina, dat zich naar alle zijden diffuus verspreidde, met het ultraviolette licht, dat door een wit porseleinen plaatje, eene nagenoeg volkomen ongevoelige stof, teruggekaatst werd, en zich eveneens naar alle zijden in de ruimte verspreidde. De retina en het plaatje werden door een prisma beschouwd, dat het Fluorescentielicht der retina van het onveranderde licht scheidde. Op deze wijze bleek, dat het

Fluorescentielicht der retina nagenoeg dezelfde intensiteit bezat, als het licht, door het plaatje teruggekaatst. Hieruit besluit HELMHOLTZ (1) dat de indruk, door de ultraviolette stralen te weeg gebracht, nagenoeg voor de helft veroorzaakt wordt door het onveranderde licht, en voor de helft door het Fluorescentielicht der retina.

Met de uitkomsten, door HELMHOLTZ verkregen, komen de jongste onderzoekingen van MÜLLER (2) in de hoofdzaak overeen. Om een lichtbundel te verkrijgen, zoo homogeen mogelijk, richtte MÜLLER zijn onderzoek op de volgende wijze in. De zonnestralen door den heliostaat H teruggekaatst (fig. 10), vielen door eene vertikale spleet S′ op eene achromatische lens L; op een afstand van L, die gelijk was aan den halven brandpuntsafstand der lens, werden zij opgevangen door een Munchensch prisma P, waarvan de brekende hoek 60° was, en hetwelk voor het minimum van deviatie geplaatst werd. Het beeld van de spleet S′, tot een spectrum uitgespreid, viel op een scherm S, waarin zich eene spleet bevond, die door middel van den bekenden toestel, zoo fijn als men verkoos, kon gemaakt worden. Deze spleet werd zoo geplaatst, dat zij alleen de lichtstralen van het spectrum, die onderzocht moesten worden, doorliet. Om den doorgelaten bundel de vereischte homogeniteit te geven, werd hij nogmaals door een kwartsprisma P′ gedispergeerd.

---

(1) Zie de uitkomst, door HELMHOLTZ verkregen, meegedeeld § 7.

(2) Pogg. Ann. 1870. No. 4. p. 593.

Eene achromatische lens l, onmiddelijk achter dit prisma geplaatst wierp het beeld van de spleet in het scherm S op een zwart scherm J_2. Dit beeld bestond uit eene heldere homogeene streep van de kleur, die door de spleet in het scherm S was doorgelaten. In het scherm J_2 was eveneens eene vertikale spleet aangebracht, waarvan de breedte naar willekeur kon veranderd worden; deze spleet werd zoo geplaatst, dat zij alleen de heldere streep van de te onderzoeken kleur doorliet. Over deze spleet nu werd de retina uitgespreid, terwijl de waarnemer ze beschouwde door een prisma, waarvan de brekende ribbe horizontaal, of — en dit scheen de voorkeur te verdienen — vertikaal, zooals die der overige prismas geplaatst werd; om het licht, dat in P en l nog diffuus verstrooid kon wezen terug te houden, was onmiddelijk voor het scherm J_2 eene blauwe glasplaat B geplaatst.

Stond de spleet van het scherm S in het violet, ongeveer in het midden tusschen de Frauenhofersche strepen G en H, dan werd door het prisma P_2, behalve het heldere violette beeld, een wel is waar zwak, maar toch zeer duidelijk spectrum waargenomen, dat met uitzondering van het violet alle kleuren van het zonnespectrum vertoonde. Werd de glasplaat B onmiddelijk voor het prisma P_2 geplaatst, dan verdween het gederiveerde spectrum (Fluorescenzspectrum). Men had alzoo met Fluorescentie te doen.

Werd de spleet in het scherm S in de richting van de minder breekbare stralen naar G toe verschoven, dan werd dit spectrum al zwakker en zwakker, om geheel te verdwijnen,

wanneer de minder breekbare blauwe stralen door de spleet drongen. Alsdan werd alleen het blauwe beeld van het primitieve spectrum waargenomen. Werd de spleet door eene verschuiving in de tegengestelde richting weer in zijn eersten stand gebracht, dan trad het gederiveerde spectrum weer langzamerhand te voorschijn.

Dezelfde vermindering van intensiteit werd bij het gederiveerde spectrum waargenomen, wanneer de spleet in het scherm S in de richting der meer breekbare stralen verschoven werd; naarmate men de meer breekbare stralen bereikt, neemt de Fluorescentie af, terwijl zij voor de ultraviolette stralen een minimum wordt. Hieruit besluit MÜLLER, dat de Fluorescentie der retina in het zonnespectrum tuschen G en H een maximum bereikt, en van daar naar beide zijden, zoowel naar die der minder, als die der meer breekbare stralen, snel afneemt.

Van de veronderstelling uitgaande, dat de verandering der golflengte der stralen, tusschen F en G gelegen, evenredig is aan den afstand der stralen van F, berekende MÜLLER de golflengte der minst breekbare stralen, waarbij de Fluorescentie het eerst optreedt, op 0.0004461^{mm}. (1)

Verder onderzocht MÜLLER, in hoeverre de lichtintensiteit van het gederiveerde spectrum afhankelijk was van die der opvallende stralen. De verandering in de intensiteit van het zonne-

(1) Het gemiddelde van zijne drie waarnemingen.

spectrum werd te weeg gebracht door de breedte van de spleet S′ te vergrooten. Terwijl deze spleet eene geringe breedte had, werd de spleet in het scherm S zoover in het minder breekbare deel van het spectrum verschoven, totdat het gederiveerde spectrum verdween. Dan werd de breedte van S′ vergroot, en het bleek toen, dat het gederiveerde spectrum daardoor weer te voorschijn trad, om weer te verdwijnen, wanneer de spleet S′ hare oorspronkelijke breedte werd teruggegeven. Daaruit volgt, dat de intensiteit van het gederiveerde spectrum toeneemt met de intensiteit van het zonnespectrum, en dat, wanneer deze toeneemt, de plaats, waar de Fluorescentie het eerst wordt waargenomen, zich naar het minder breekbare uiteinde verplaatst.

Toen de spleet achtereenvolgens eene breedte van $3^{mm.}$, $6^{mm.}$ en $9^{mm.}$ gegeven werd, werd de Fluorescentie respectievelijk het eerst waargenomen bij stralen, die eene golflengte hebben van $0.0004291^{mm.}$, $0.0004514^{mm.}$, $0.0004646^{mm.}$

Müller bevond, dat het Fluorescentielicht der retina eene witachtige kleur had; dit komt overeen met zijne waarneming, dat het samengesteld is uit alle kleuren, minder breekbaar dan de stralen, die de Fluorescentie opwekken. Hiervan wijkt de waarneming van Helmholtz eenigzins af: deze mistte in het gederiveerde spectrum de roode stralen. Müller meent, dat de oorzaak van dit verschil in hunne uitkomsten te zoeken is in het groote verschil der intensiteit

der ultraviolette stralen, die beiden bij hun onderzoek gebruikten. De ware toedracht der zaak zou dan deze wezen, wanneer de intensiteit van het Fluorescentielicht der retina een bepaalden graad bereikt, bevat het alle stralen, die minder breekbaar zijn dan de opwekkende stralen; bereikt zij dezen graad niet, dan ontbreekt het rood. In het eerste geval is het witachtig, in het tweede blauwachtig-groen.

Zooals men weet, is de kleur, waaronder wij lichtstralen van bepaalde golflengte zien, afhankelijk van de intensiteit dier stralen (1); de kleurenindruk, dien de enkelvoudige kleuren op ons oog maken, nadert meer den indruk van wit, naarmate hare intensiteit toeneemt. Aan deze verandering is geen deel van het spectrum meer onderworpen, dan het meer breekbare, met name de blauwe en violette stralen. Daar het nu juist deze stralen zijn, onder welker invloed de retina met een witachtig licht Fluoresceert, zoo schijnt de meening van Müller, dat de overgang dezer kleuren in wit ten deele tot stand komt door de Fluorescentie der retina, niet ongegrond te wezen.

Wanneer violet licht zeer zwak is, vertoont het eene rosatint; vermeerdert de intensiteit, dan wordt de tint blauwachtig, en verwijdert zich meer en meer van het purper, om eindelijk in eene witachtig-grauw-blauwe over te gaan. Bij de ultraviolette stralen, breekbaarder dan L, heeft echter een omkeer in de reeks der kleuren waar; deze naderen namelijk bij vermindering der intensiteit niet tot het purper,

(1) Zie o. a. Wüllner Exp-Phys. Bd. 1. p. 838.

maar tot het indigo-blauw, terwijl zij bij grootere lichtintensiteit witachtig-blauw zijn (1). De oorzaak van dezen omkeer in de reeks der kleuren zou, volgens HELMHOLTZ, eveneens in de Fluorescentie der retina gezocht moeten worden.

§ 6. Gaan wij thans over tot de absorptie der ultraroode stralen door de middelstoffen van het oog. Ook hier treffen wij allereerst weer BRÜCKE aan. (2) De middelstoffen, die hij onderzocht, waren dezelfde als die bij zijn onderzoek met het photographisch papier; (3) zij werden op dezelfde wijze te zamen gevoegd. De zonnestralen, door een heliostaat in eene donkere kamer geworpen, vielen op dit stelsel, waarachter eene Thermo-Electrische zuil stond, die de doorgelaten stralen opving. Aan den daarmee verbonden multiplicator werd eene afwijking van 20° à 30° waargenomen. Nu werden de oppervlakten van de media, die het stelsel insloten, der cornea en der lens, boven eene terpentijnvlam, met eene laag roetzwart bedekt. Dit geschiedde met de uiterste voorzichtigheid, opdat zij geene schei- of natuurkundige verandering zouden ondergaan. Roetzwart laat, zooals men weet, de donkere warmtestralen door, en absorbeert de lichtende stralen. Werd het stelsel nu weder in zijn eersten stand geplaatst, dan bleef de naald van den multiplicator op 0° staan. Daaruit volgt, volgens BRÜCKE, dat de eerst waargenomen afwijking door de lichtende stralen veroorzaakt

(1) Pogg. Ann. Bd. 94 p. 13.
(2) Pogg. Ann. Bd. 69. p. 549.
(3) Zie § 3. Hoofdst. V.

wordt, en de ultraroode stralen door de middelstoffen van het oog geabsorbeerd worden. Brücke beschouwt deze absorptie als de vermoedelijke oorzaak der onzichtbaarheid der ultraroode stralen.

Ook Cima heeft in deze richting onderzoekingen gedaan (1850); hij bevond, dat van de 100 opvallende warmtestralen eener Locatelli-lamp, de lens er 13, het geheele oog er 9 doorliet. Daar echter Cima de absorptie der donkere warmtestralen niet afzonderlijk onderzocht heeft, gaan wij zijn onderzoek voorbij. Hoewel ditzelfde geldt voor de onderzoekingen van Janssen, (1) moeten wij deze toch leeren kennen.

Wanneer men tusschen de opening, door welke de lichtstralen dringen, en de Thermo-Electrische zuil eene middelstof brengt, die door evenwijdige vlakken begrensd is, bijv. eene glasplaat, dan komen al de stralen, die niet teruggekaatst of geabsorbeerd worden, tot de zuil; is echter de middelstof door gebogen oppervlakken begrensd, zooals bijv. het oog, dan zal een deel der doorgelaten stralen zoo gebroken worden, dat zij de zuil niet bereiken. Dit hadden Brücke en andere waarnemers uit het oog verloren, en alzoo eene fout begaan, door lichtstralen als geabsorbeerd in rekening te brengen, die in waarheid werden doorgelaten.

Deze fout wist Janssen bij zijne methode van onderzoek, die overigens vrij wel overeenkomt met die van Brücke, te

---

(1) Ann. de Chim. et de Phys. 3e Série Tom. 40 p. 71.

ontgaan, door het oog op eene eigenaardige wijze te bevestigen.

De Thermo-Electrische toestel, die JANSSEN bij zijn onderzoek gebruikte, was aanvankelijk zoo gevoelig, dat hij niet als meetinstrument dienen kon; eerst nadat de gevoeligheid veel verminderd, en hij volgens de methode van de la Provostaye en Desains, waarin eene kleine wijziging gebracht werd, gegraduëerd was, bleek hij aan alle eischen te voldoen.

Allereerst onderzocht JANSSEN het absorbeerend vermogen van het geheele oog; het bleek, dat van de 100 warmtestralen eener moderateur-lamp, die op de cornea vielen, er tot de retina komen:

bij een ossenoog,	bij een schapenoog,	bij een varkensoog,
7.7	8.4	9.1

Toen hij vervolgens het onderzoek voor elk der middelstoffen afzonderlijk in het werk stelde, verkreeg hij deze resultaten:

Er werden van de 100 opvallende stralen	ossenoog	schapenoog	varkensoog
teruggekaatst op de cornea.	4	4	4
geabsorbeerd door de cornea	59.8	56.9	57.5
geabsorbeerd door het waterachtig vocht	19.2		20.6
" door de lens	6.8	30.7	7.2
" door het glasachtig vocht	2.5		1.6
opgevangen door de retina	7.7	8.4	9.10
	100	100	100

De absorptie van het glasachtig vocht werd verkregen door het verschil te nemen van 100, en de som van de voorafgaande getallen en het laatste. Het is duidelijk, dat JANSSEN's

onderzoek meer waarde zou hebben, zoo hij ook de absorptie van het glasachtig vocht afzonderlijk onderzocht had; dan had hij zijne waarnemingen kunnen controleeren.

JANSSEN onderzocht ook de thermochrose der afzonderlijke deelen van het oog; daartoe vergeleek hij hunne diathermaniteit voor warmtestralen van de meest verschillende kleur met die van water. Hij bevond daarbij eene volkomen overeenstemming tusschen de absorptie eener laag water (tusschen glasplaten) en die eener laag van dezelfde dikte van eene der middelstoffen van het oog.

De proeven van JANSSEN is een zonderling lot te beurt gevallen. Algemeen heeft men er andere besluiten ten opzichte der absorptie der donkere war mtestralen door de media van het oog uit afgeleid, dan hij zelf. HELMHOLTZ o. a. kent hem een besluit toe juist tegengesteld, aan hetgeen JANSSEN zelf maakt. In zijne „Nachträge (1) zegt HELMHOLTZ: „Beide Beobachter (JANSSEN en FRANZ) schliessen aus ihren Versuchen dass Wärmestrahlen „in merklicher Menge zur Netzhaut gelangen „können und dass der Grund, warum wir sie „nicht empfinden, nicht in der Absorption der „Strahlen, sondern in der Unempfindlichkeit „der Netzhaut liege." En zien wij nu, wat JANSSEN zegt. Eerst luidt het: je pense, qu'ils (les rayons, qui parviennent à la rétine) en (de la chaleur obscure)

(1) Physiologische Optik. p. 843.

contiennent fort peu; iets verder: Ne pourrait-on pas regarder comme infiniment probable que ces huit à neuf centièmes de chaleur parvenant à la rétine ne sont que l'expression du pouvoir calorifique des radiations lumineuses contenues dans le flux incident? Pour moi, je n'hésite pas à le croire: en eindelijk in zijn résumé: les milieux de l'oeil, qui sont....., possèdent au contraire la propriété d'absorber d'une manière complète les rayons de chaleur obscure. (1)

Het is echter de vraag, of uit de proeven van JANSSEN werkelijk het besluit mag getrokken worden, dat de donkere warmtestralen geheel door de middelstoffen van het oog geabsorbeerd worden. Nergens brengt JANSSEN afdoende gronden voor zijne meening bij. Het schijnt, dat zijne meening berust op de overeenkomst van de thermochrose van de middelstoffen van het oog met die van water, in verband gebracht met de wet van MASSON en JAMIN, volgens welke volkomen kleurlooze, doorzichtige lichamen alle lichtende warmtestralen doorlaten. Daarop schijnt die hooge onwaarschijnlijkheid betrekking te hebben, dat onder die 7 à 8 stralen, die tot de retina komen, nog donkere zouden wezen. Hierover kan men echter geene uitspraak doen, vooraleer de verhouding bepaald is van het

(1) Ann. de Chim. et de Phys. 3e Série. T. 40 p. 85 en 91.

warmtevermogen van de lichtende stralen tot dat der donkere warmtestralen in het zonnespectrum.

Maar wat meer is, wanneer werkelijk de thermochrose van de middelstoffen van het oog overeenkomt met die van water, dan moeten er donkere warmtestralen tot de retina doordringen; immers MELLONI heeft aangetoond, dat water donkere warmtestralen doorlaat. (1)

Dit is ook bevestigd door de onderzoekingen van R. FRANZ(2) die in betrekking tot de absorptie der donkere warmtestralen in het algemeen, en in betrekking tot de vraag, die ons bezig houdt, in het bijzonder meer waarde schijnen te bezitten: FRANZ onderzocht de absorptie der ultraroode stralen rechtstreeks, zoodat het mogelijk was, geheel onafhankelijk van andere uitkomsten, eene uitspraak te doen; voor ons zijn ze voor het oogenblik van meer belang, omdat hij zonnelicht gebruikte.

De keuze van het prisma, dat FRANZ gebruiken zou, was door den aard van het onderzoek bepaald; het prisma moest van klipzout wezen, eene stof, die, zooals bekend is, voor alle warmtekleuren de grootste diathermaniteit bezit.

Met zulk een prisma verkreeg FRANZ een spectrum, waarbij nog in de zesde donkere zoon (3) warmtestralen werden aangewezen. Om eene mogelijke absorptie der donkere warmtestralen door de glasplaatjes te voorkomen, werden de te

---

(1) Pogg. Ann. Bd. 24 p. 645.

(2) Pogg. Ann. Bd. 115 p. 266.

(3) Wanneer men de lengte van het gewoonlijk zichtbare spectrum in zes gelijke deelen verdeelt, verkrijgt men eene zoon (gordel).

onderzoeken media van het oog tusschen klipzout-plaatjes ingesloten.

Door een scherm, waarin eene spleet van bepaalde breedte was aangebracht, was het mogelijk, de werking van de stralen op de Thermozuil zoonsgewijze te onderzoeken. Aanvankelijk werden wegens het geringe dispergeerend vermogen van het klipzout twee zonen te zamen genomen.

Op die wijze verkreeg FRANZ, voor de hoeveelheid warmtestralen door de cornea doorgelaten, voor de verschillende zonen, de volgende uitkomsten.

Zonen:	violet en indigo	0.9
"	blauw en groen	3.6
"	geel en rood	10.0
"	eerste en tweede donkere zoon .	3.7
	derde en vierde " " . .	0.8

Deze getallen geven alleen de verhouding aan, waarin de verschillende warmtestralen door het medium gaan; zij werden verkregen door de hoeveelheid warmtestralen, die de cornea voor de gele en roode zoon te zamen bleek door te laten, gelijk 10 te stellen, en de afwijkingen van den galvanometer en de hoeveelheden warmtestralen tot dezelfde eenheid te herleiden.

Het waterachtig vocht, tusschen twee plaatjes ter dikte van $4^{mm.}$ ingesloten, bleek voor de lichtende zonen nagenoeg dezelfde diathermaniteit, als water, te bezitten; voor de donkere zonen verkreeg hij de volgende uitkomsten:

roode zoon	10.0
eerste donkere "	7.1
tweede " "	2.6.

Voor het glasachtig vocht verkreeg hij dezelfde uitkomsten. Bij deze uitkomsten, even als bij de volgende, is de hoeveelheid warmtestralen door de roode zoon alleen doorgelaten = 10 gesteld, en verder gehandeld, als hierboven aangegeven is.

Het was van belang te onderzoeken, nadat alzoo gebleken was, dat de ultraroode stralen niet geheel geabsorbeerd worden door de middelstoffen van het oog, of ook bij het gebruik van een prisma en plaatjes van glas, welke stof de donkere stralen zooveel minder doorlaat, nog positieve resultaten verkregen werden. Daar het prisma van klipzout door de warmte, en de plaatjes van dezelfde stof door de media van het oog werden aangetast, was het onderzoek daarmee hoogst omslachtig.

Het spectrum, door het glasprisma verkregen, had eene lengte van 18$^{mm.}$, de spleet in het scherm eene breedte van 3$^{mm.}$, zoodat telkens ééne zoon op de thermozuil viel. Hiermee verkreeg Franz de volgende resultaten:

Cornea.

	Hoeveelheid doorgelaten warmtestralen.
Zoon: Violet	1.0
» Indigo	2.3
» Blauw	3.7
» Groen	7.3
» Geel	15.2
» Rood	10.00
eerste donkere zoon	8.0
tweede » »	6.2
derde » »	1.9

Waterachtig vocht. (1).

Zoon: Rood	10.0
Eerste donkere zoon	9.1
tweede » »	4.4
derde » »	1.2

Lens. (2)

Zoon: Groen	5.1
» Geel	9.9
» Rood	10.0
eerste donkere zoon	8.9
tweede » »	7.3
derde » »	3.2

Glasachtig vocht.

Zoon: Groen	4.2
» Geel	7.6
» Rood	10.0
eerste donkere zoon	9.2
tweede » »	6.7
derde » »	2.9
vierde » »	0.5

§ 7. Wanneer wij thans een blik terugslaan, dan zien wij, dat de ultraviolette stralen niet geheel geabsorbeerd worden door de middelstoffen van het oog, maar ook, dat zij rechtstreeks even ver in het zonnespectrum worden waargenomen, als men ze op eenige andere wijze kan aantoonen. Bij de ultraroode stralen bestaat deze overeenstemming niet:

(1) De dikte der laag bedroeg 8 mm.

(2) De lens was ingesloten tusschen twee plaatjes; de dikte der laag bedroeg 2 mm.

terwijl een betrekkelijk groot gedeelte tot de retina doordringt, worden zij niet gezien. Wel is het HELMHOLTZ gelukt een deel van het ultraroode spectrum, dat men gewoonlijk voor onzichtbaar houdt, te zien, maar het is weinig in vergelijking met de groote uitgestrektheid, die het bezit. (1)

Waarom nu zien wij deze ultraroode stralen niet? Deze vraag is zeker gemakkelijker te stellen, dan voldoende te beantwoorden. Zien wij, hoe deze kwestie in de beste handboeken der natuurkunde behandeld wordt.

DAGUIN, die van het valsche denkbeeld uitgaat, dat de ultraviolette stralen eveneens onzichtbaar zijn, verklaart de onzichtbaarheid der ultra-stralen door te zeggen: het aantal trillingen der ultraviolette stralen in de tijdseenheid is te groot, dat der ultraroode stralen te klein, om indruk te maken op de retina; verder wijst hij op het geluid, op het feit, dat wij de trillingen van een voorwerp slechts dan als geluid waarnemen, wanneer het aantal trillingen in de tijdseenheid tusschen bepaalde grenzen gelegen is (2). Zooals men ziet, kan deze verklaring, die eigenlijk niets anders is dan het denkbeeld van MELLONI, anders uitgedrukt, niet als zoodanig worden toegelaten; zij zou ook iets verklaren, wat niet bestaat, namelijk de onzichtbaarheid der ultraviolette stralen.

---

(1) Door roode glazen de roode lichtstralen terughoudende, gelukte het HELMHOLTZ het ultraroode spectrum nog waar te nemen tot op een afstand van A, die gelijk is aan den afstand der strepen A en B. Zie Phys. Optik p. 229.

(2) Traité de Physique. Tom. III, p. 957.

Vooraleer nader de wijze te beschouwen, waarop WÜLLNER de kwestie behandelt, moge het volgende voorafgaan.

Wanneer een bundel ultraviolette lichtstralen op eene Fluoresceerende stof valt, wordt geene verhooging van temperatuur, noch chemische werking waargenomen. Volgens het beginsel van behoud van arbeidsvermogen moet dus de levendige kracht der aethertrillingen van een bundel onveranderd ultraviolet licht dezelfde wezen als die van het door Fluorescentie veranderde licht. De intensiteit echter van den indruk, dien het laatste op de retina maakt, is veel grooter dan die van het eerste. Volgens HELMHOLTZ zou de intensiteit van den indruk, dien het veranderde licht veroorzaakt, dien van het onveranderde ongeveer 1200 maal overtreffen (1).

Dit en meer andere feiten hebben er toe geleid, onderscheid te maken tusschen de intensiteit van het objectieve licht en de intensiteit van den lichtindruk; de eerste wordt dan bepaald door de levendige kracht van de aethertrillingen. De arbeid, die gedurende een trillingstijd T wordt verricht, wordt voorgesteld door $\int_0^T b^2 \sin^2 2\pi \frac{t}{T}\, dt = \frac{b^2 T}{2}$; (2) hierin

(1) Phys. Optik p. 266.

(2) Zie BILLET, Traité d'Optique Phys. Tom. I, p. 24.

Zie hier de afleiding dezer integraal:

$$\int_0^T b^2 \sin^2 2\pi \frac{t}{T}\, dt = b^2 \int_0^T \sin^2 2\pi \frac{t}{T}\, dt = b^2 \int_0^T \frac{\sin^2 2\pi \frac{t}{T} \cdot \frac{2\pi}{T}\, dt}{\frac{2\pi}{T}} =$$

$\frac{T b^2}{2\pi} \int_0^T \sin^2 2\pi \frac{t}{T}\, d\left(\frac{2\pi t}{T}\right)$. Stellen wij in de vergelijking $\int \sin^n \varphi\, d\varphi$ $= -\frac{\sin^{n-1}\varphi \cos\varphi}{n} + \left(\frac{n-1}{n}\right) \int \sin^{n-2}\varphi\, d\varphi$, $n = 2$, dan

is $b = a \frac{2\pi}{T}$ ($a =$ de amplitudo).

De uitdrukking voor de snelheid van het aetherdeeltje is $s = a \frac{2\pi}{T} \text{Cos}\, 2\pi \frac{t}{T}$; deze uitdrukking verkrijgt hare grootste waarde, $s = a \frac{2\pi}{T} = b$, wanneer $2\pi \frac{t}{T} = 0$ is. Daar voor lichtstralen van dezelfde kleur $\frac{T}{2}$ eene constante is, zoo volgt hieruit, dat bij homogeen (gepolariseerd) licht de objectieve lichtintensiteit evenredig is aan het vierkant van het maximum van snelheid, dat het aetherdeeltje verkrijgt. Voor lichtstralen van een andere trillingstijd of kleur wordt de uitdrukking voor den gedurende een trillingstijd verrichtten arbeid, of voor de objectieve lichtintensiteit

$$\int_0^{pT} b^2 \, sin^2 \, 2\pi \frac{t}{T} \, dt = p \frac{b^2 T}{2};$$

maar daar $\frac{pT}{2}$ eene constante is, blijft de objectieve lichtintensiteit evenredig aan b^2.

Deze uitspraak der theorie heeft echter voor de practijk, om de objectieve lichtintensiteiten van lichtstralen van verschillenden trillingstijd te vergelijken, volstrekt geene waarde; de theorie laat geheel onbeslist, of de objectieve lichtinten-

---

verkrijgen wij $\int sin^2 \varphi \, d\varphi = -\frac{1}{2} sin \varphi \cos \varphi + \frac{1}{2} \varphi$. Met deze integraal komt de onze volkomen overeen, en wij hebben dus $\int_0^T sin^2 \, 2\pi \frac{t}{T} \, d\left(\frac{2\pi t}{T}\right) = \left\{-\frac{1}{2} sin\, 2\pi \cos 2\pi + \pi\right\} - \left\{-- \; 0 \quad\right\}$ $= \pi$, of, $\frac{T b^2}{2\pi} \int_0^T sin^2 \, 2\pi \frac{t}{T} \, d\left(\frac{2\pi t}{T}\right) = \frac{T b^2}{2}$.

siteit der ultraroode stralen grooter of kleiner is dan die der ultraviolette. De ervaring leert echter, dat de verhooging van temperatuur, die de thermometer ondergaat, dus de levendige kracht, grooter is in het ultraroode, dan in het ultraviolette spectrum. Hieruit volgt echter geenszins, dat, straal voor straal beschouwd, de levendige kracht der ultraroode stralen grooter is dan die der ultraviolette. Deze waarheid blijkt wellicht het duidelijkst uit de dispersieformule, zoo als die het eerst door BADEN POWEL is opgesteld (1):

$$\frac{1}{\mu} = H \frac{\sin \frac{\pi r n}{\lambda}}{\frac{\pi r n}{\lambda}}$$

Hierin zijn H, r en n grootheden, die van de natuur van de brekende middelstof afhangen, μ de index van refractie, en λ de golflengte. Wanneer in deze formule λ afneemt, groeit de boog $\frac{\pi r n}{\lambda}$ aan, dus ook de verhouding van den boog tot zijn *Sinus*, en dus ook μ. De verandering van de waarde dezer verhouding is voor eene gegeven verandering van λ des te aanzienlijker, naarmate de boog grooter, of λ kleiner is. Daaruit volgt dus, dat de dispersie der lichtstralen kleiner is, naarmate λ grooter is, of, dat de ultraroode stralen in het zonnespectrum, als ware het, meer gecondenseerd zijn, dan bijv. de blauwe, zoodat onder overigens gelijke omstandigheden, de levendige kracht der aethertrillingen, opgehoopt op de vierk. millimeter

(1) Pogg. Ann. Bd. 124, p. 494.

van het oppervlak eener thermo-zuil, in het ultraroode spectrum grooter zou wezen, dan ergens elders.

Wüllner, die de onzichtbaarheid der ultraroode stralen ter sprake brengt, waar hij de identiteit van licht- en warmtestralen bewijzen wil, beroept zich, naar het schijnt, op deze waarheid, om een argument tegen de identiteit te weerleggen, hetgeen hij zelf opwerpt: Man könnte nun gegen die behauptete Identität von Wärme und Licht noch den Einwurf erheben, dass dann die Wärmestrahlen, welche weniger brechbar sind als das Roth, nicht unsichtbar sein dürften, da doch bei ihnen die lebendige Kraft der Aetherschwingungen der viel stärkern Wärmewirkung gemäss, sehr viel grösser ist als im sichtbaren spectrum. Ons inziens doet Wüllner dit beroep geheel ten onrechte: wanneer de onzichtbaarheid der ultraroode stralen, in verband gebracht met hunne groote levendige kracht, een bezwaar is tegen de identiteitstheorie, dan wordt het daardoor niet weggenomen; het schijnt hier toch geheel onverschillig, wat de oorzaak is dier grootere levendige kracht. —

Wüllner, die klaarblijkelijk van oordeel is, dat de theorie der identiteit van licht- en warmtestralen eene bepaalde verklaring van de onzichtbaarheid der ultraroode stralen eischt, wijst verder op de proeven van Brücke, als op feiten, die in elk geval eene voldoende verklaring geven. Na het voorafgaande weten wij, waaraan wij ons, wat deze betreft, te houden hebben. —

Men ziet alzoo, dat noch DAGUIN, noch WÜLLNER, de vraag, waarom zien wij de ultraroode stralen niet? naar behooren beantwoordt. Ons komt het voor, dat de vraag geen recht van bestaan heeft. Wanneer men onder identiteit van licht- en warmtestralen niets anders verstaat, dan dat beiden transversale trillingen zijn van dezelfde middelstof, de aether, dan kan men met evenveel recht de vraag stellen, waarom zien wij de donkere warmtestralen niet, door eenig voorwerp, bijv. roetzwart, uitgestraald. En eene andere opvatting van de identiteit schijnt niet toegelaten te kunnen worden. Men is vrij algemeen gewoon over identiteit van licht- en warmtestralen, als over eene uitgemaakte zaak, te spreken, zonder dat men zich afvraagt, hoeverre zich deze uitstrekt, maar zooals G. MAGNUS, die hier wel een oordeel hebben mag, opmerkt, bestaan er niet onbelangrijke punten van verschil tusschen licht- en warmtestralen (1). Wanneer de aethergolven van eene warmtebron een lichaam treffen, dan brengen zij de aether, die daarin voorhanden is, in beweging, zoo deze althans geneigd is mee te trillen; de ligging der deelen van het lichaam verandert, en het lichaam zet zich uit; alleen bij een volkomen diathermaan lichaam zou deze verandering niet plaats grijpen; volkomen diathermane lichamen bestaan er echter niet.

Geheel anders is dit bij de lichtstralen; wel bestaat er ook geen volkomen doorzichtig lichaam, en het ware dus mo-

---

(1) Pogg. Ann. Bd. 124. p. 476.

gelijk, dat ook de lichtstralen op de deelen van het lichaam zelf inwerken, tot dusverre is echter zulke werking slechts in zooverre waargenomen, als dat zij chemische werkingen, Phosphorescentie en Fluorescentie te voorschijn brengen. —

Ofschoon bij deze verschijnselen eene beweging der deelen van het lichaam wel voorhanden zal wezen, heeft zij zich tot dusverre nog steeds aan de rechtstreeksche waarneming onttrokken.

De warmtestralen onderscheiden zich dus daardoor op eene karacteristieke wijze van de lichtstralen, dat zij de ligging der deelen van het lichaam dat zij treffen, op waarneembare wijze veranderen.

Ook in een ander opzicht onderscheiden zich de warmtestralen van de lichtstralen. Wanneer de warmtestralen een lichaam treffen, dan wordt van de beweging, die zij het lichaam meedeelen, steeds weer aan de omgevende ruimte, of juister aan de aether, die het omgeeft, afgestaan; slechts in een bijzonder geval (1) wanneer het lichaam evenveel beweging ontvangt, als het afstaat, is de temperatuur constant.

Van eene soortgelijke meedeeling der beweging wordt bij de lichtstralen niets waargenomen. Het lichaam, dat de lichtstralen opvangt, moge ze terugkaatsen of absorbeeren,

---

(1) Waneeer de uitstraling van het bestraalde lichaam uitsluitend naar het bestralende lichaam toe plaats heeft, wanneer bijv. het bestralende lichaam het bestraalde als een hulsel omgeeft. In dit geval zal het laatste lichaam dezelfde temperatuur aannemen als het eerste. —

het wordt daardoor niet lichtgevend, tenzij het tot de Phosphoresceerende of Fluoresceerende lichamen behoort.

Ook MELLONI, de schepper van de identiteitstheorie spreekt slechts van le lien le plus puissant, qui réunisse ensemble ces deux grands agents de la nature.

Zonder daarom geheel identiek te wezen, is het mogelijk, dat licht en warmte beiden, even als de Electriciteit en het Magnetismus, door eene en dezelfde kracht worden veroorzaakt.

Dat men groote veranderingen in de intensiteit van het licht kan brengen, zonder dat daarbij de warmte merkbaar verandert, zou men dan wellicht kunnen verklaren door aan te nemen, dat ons oog de eigenschap bezit, kleine veranderingen in de transversale trillingen van de aether, die nog geene merkbare verandering in de warmte vermogen voort te brengen, reeds als buitengewoon groot op te vatten.

Besluiten wij met de woorden van MAGNUS: ob aber in der That dieselbe Bewegung als Licht und als Wärme von uns aufgefasst wird, bedarf noch fernererer Untersuchungen.

Fig. 1.

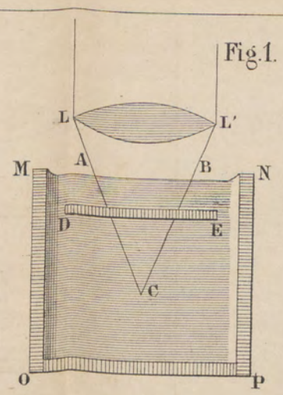


Fig. 2.

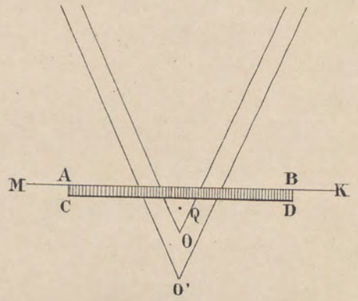


Fig. 3.

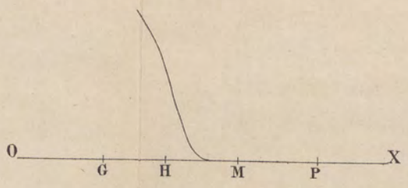


Fig. 4.

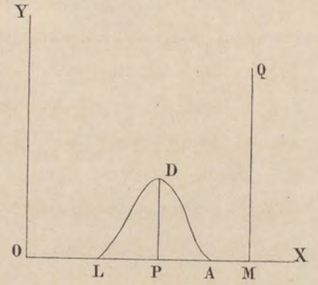


Fig. 5.

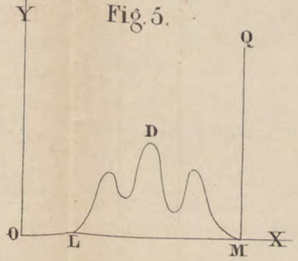


Fig. 6.

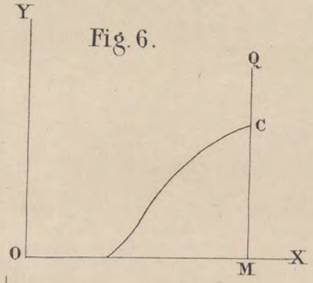
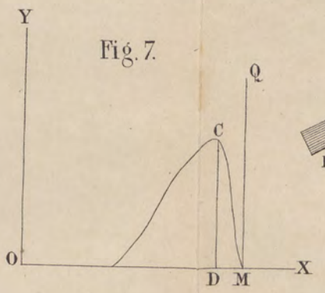


Fig. 7.



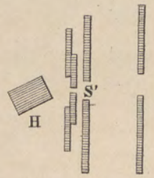


Fig. 10.

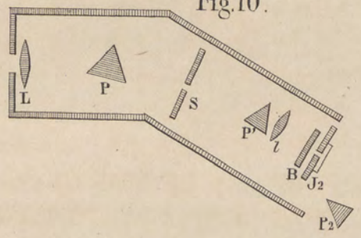


Fig. 8.

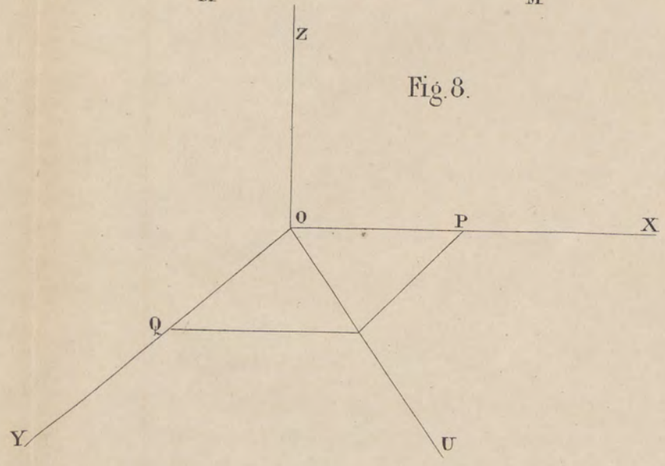
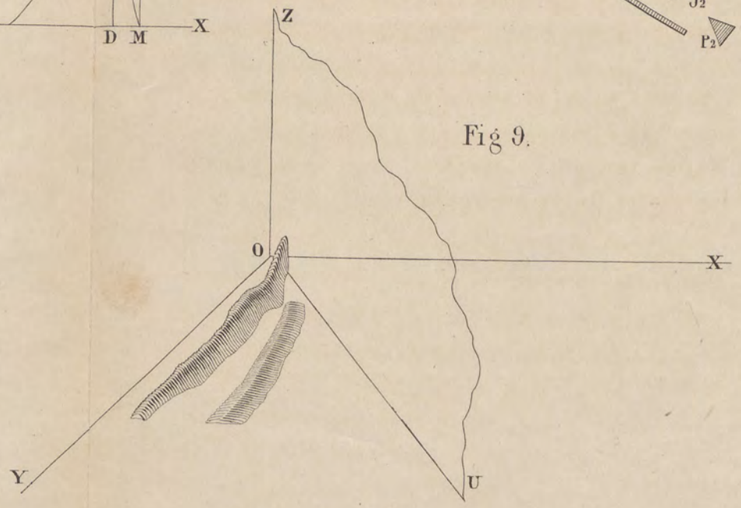


Fig. 9.



P. J. Mulder lith. Leiden.

STELLINGEN.

STELLINGEN.

I.

Onder de min of meer uitgewerkte theorieën omtrent de Fluorescentie verdient die van STOKES de voorkeur.

II.

Het bestaan der Negatieve Fluorescentie is zeer twijfelachtig. De feiten door EMSMANN meegedeeld (Pogg. Ann. Bd. 114 p. 651) kunnen zeker niet als bewijzen daarvoor gelden.

III.

De waarnemingen, door SALM-HORSTMAR verkeerdelijk aan MELLONI toegeschreven, bewijzen het bestaan niet van hetgeen hij WärmeFluorescenz noemt. (Pogg. Ann. Bd. 113 p. 54).

IV.

Phosphorescentie en Fluorescentie zijn niet wezenlijk onderscheiden.

V.

Wil men in het elementaire onderwijs der stereometrie de stelling van EULER ($e + v = k + 2$) opnemen, dan verdient het bewijs van CAUCHY de voorkeur boven dat van EULER.

VI.

De zoogenaamde heuristische methode moet bij het eerste onderwijs in de Wiskunde vermeden worden.

VII.

Het onderwijs in de Wiskunde aan de Hoogere Burgerschool behoort een ander te wezen, dan dat aan het Gymnasium.

VIII.

Paradoxaal is de bewering, (zie: voorrede van de Theorie der Algebra van G. A. VORSTERMAN VAN OOIJEN) dat er in de Wiskunde van moeilijkheid of gemakkelijkheid geene sprake kan wezen; onjuist die, dat de onderwijzer in de Wiskunde taalkundige behoort te zijn.

IX.

Het ware te wenschen, dat de Trigonometrie als verplicht studievak voor de studenten in de Godgeleerdheid en de Rechten verviel.

X.

Ten onrechte beweert men, dat de Beschrijvende Meetkunde in het programma der Hoogere Burgerschool door Spherische Driehoeksmeting behoorde vervangen te worden.

XI.

Het Rechtlijnig Teekenen aan de Hoogere Burgerschool behoort zich uitsluitend te bepalen tot het teekenen van Wiskundige constructies.

XII.

Bijna algemeen wordt het ontwikkelend vermogen der Wiskunde overdreven.

XIII.

Zoo de beoefening der Wiskunde al niet doodend werkt op alle schoonheidsgevoel, zeker is het, dat zij al licht eene aesthetische ontwikkeling in den weg staat.

XIV.

Te recht zegt HELMES: (die Elementar-Mathematik Bd. IV) „Zeichnen und wieder Zeichnen, (auch wohl eigenes Anfertigen von Modellen) das ist das echte und rechte und das unerlässlichtste und fruchtbarste Hülfsmittel des stereometrischen Unterrichts."

XV.

Te recht brengt OPZOOMER de Wiskunde tot de natuurwetenschappen.

XVI.

De naam van Ruggemergsdieren verdient de voorkeur boven dien van Gewervelde dieren.

XVII.

Ten onrechte is beweerd, dat eene natuurlijke classificatie der Cryptogamen gemakkelijker te verkrijgen is dan die der Phanerogamen.

XVIII.

Zeer onjuist is: „Later zou duidelijk kunnen gemaakt worden, dat de bodem is voor de planten, wat de maag is voor de dieren." (Grondbeginselen der Plantenkunde door ABELEVEN).

XIX.

De benaming „natuurlijk stelsel" is eene contradictio in terminis.

XX.

„Wer mit Glück beobachten will, muss viel „und mit angestrengter Aufmerksamkeit beo„bachten, damit er allmälig sehen lerne; denn „sehen ist eine schwere Kunst."

XXI.

Het lichaam in den atmospheer, dat Joodkalium ontleedt, is Ozon.

XXII.

Men mag aannemen, dat de verschillende zoogenoemde elementen wijzigingen zijn van ééne grondstof.

XXIII.

Liebig overdrijft, wanneer hij zegt: „Das gelingen eines Versuches, einer Operation hängt weit weniger von der mechanischen Geschicklichkeit, als von Kenntnissen ab." (Chem. Briefe).

XXIV.

Bij het eerste onderwijs in de Scheikunde aan de Hoogere Burgerschool behoort men de nieuwere theorieën te laten rusten.

XXV.

De emancipatie der vrouw, zonder eene daarmee gepaard gaande verbetering van het onderwijs voor meisjes, verdient afkeuring.

XXVI.

Onderwijs in de Gezondheidsleer en de Gymnastiek moest aan geene lagere of middelbare school ontbreken.

XXVII.

„Naar die (onze) begrippen rust de inrig-„ting van ons hooger onderwijs grootendeels op „een valsch beginsel omtrent het wezen van de „aanvankelijke beoefenaars der wetenschap, een „beginsel, bij hetwelk studenten worden be-„schouwd als levende vaten, die zich op de „banken der collegiekamers nederzetten, om „aldaar, bij eenige druppels daags, door de „hoogleeraren met geleerdheid te worden vol-„gegoten". (F. Kaiser, Toespraak).

XXVIII.

Si l'on partageait toute la science humaine en deux parties, l'une commune à tous les hommes, l'autre particulière aux savans, celle-ci serait très-petite en comparaison de l'autre. (Emile, Rousseau).

XXIX.

Te weinig wordt bij onze opvoeding gelet op de vorming van den wil.

XXX.

Het is te wenschen, dat aan het adres van R. van Rees c. s., waarin zij eene nadere omschrijving van de machtsbevoegdheid der leden van de commissie van toezicht op het middelbaar onderwijs verzoeken, geen gevolg gegeven worde.

XXXI.

Zeer onjuist zegt men vrij algemeen: „schoon in theorie, maar in de practijk!"
