

EEN EENVOUDIG MIDDEL OM HET ULTRA-ROOD DES SPECTRUMS ZICHTBAAR TE MAKEN.

Gelijk bekend is bestaat het witte zonnelicht uit stralen van ongelijke breekbaarheid; of, met andere woorden, de door de zon in den aether opgewekte trillingen zijn van ongelijken duur. Die meerdere en mindere snelheid wekt in ons gezichtsorgaan even veel verschillende gewaarwordingen op, die wij met den naam van kleuren onderscheiden. De minst gebroken stralen zijn die van de minst snelle schommeling, terwijl die stralen, welke het meest breekbaar zijn, overeenkomen met de snelste aethertrillingen. In de geluidsleer vernemen wij, dat dat de lage tonen worden veroorzaakt door langzame luchttrillingen, de hooge door snellere. In overeenstemming hiermede spreekt men dan in de optica van lichttonen. Ook hier zijn de lage tonen het product van langzame, de hooge het uitwerksel van snelle schommelingen van den aether.

Wanneer wij de kleuren onderscheiden door de benamingen rood, oranje, geel, groen, blauw, indigo en violet, dan beteekent dit eenvoudig, dat de indrukken, door het licht bij ons opgewekt, die verschillen te woeg bracht door ongelijk snel verloopende trillingen van den aether. In de opgenoemde volgorde was de snelheid van rood tot violet steeds toenemende. Vangt eene kleine plek van ons netvlies tegelijk al deze verschillende snelheden op, dan missen wij het vermogen die verschillende lichttonen van elkander te onderscheiden. Er ontstaat eene harmonie van tonen, die wij *wit* licht noemen. Laten wij op de bekende wijze dit witte licht door een doorschijnend prisma strijken, dan worden die verschillende trillingen uit elkander gedreven. Die verschillende schommelingen treffen thans verschillende streken van het netvlies, ver genoeg van elkaar gelegen om door afzonderlijke zenuwvezels naar afzonderlijke deelen der grijze hersenmassa geleid te worden, zoodat ons bewustzijn zich thans van elk dier afzonderlijke indrukken kan meester maken, en ze gescheiden houden. Deze afzonderlijke, elkander in de ruimte opvolgende indrukken vormen datgene, wat wij een spectrum noemen.

Dit spectrum toont door de plaats, die de afzonderlijke kleuren innemen, genoegzaam aan, welke stralen het minst en welke meer gebroken zijn, d. i. van den oorspronkelijken weg bij den doorgang door het prisma zijn afgeleid. Het rood is zulks het minst, dan volgt het oranje, enz. tot dat wij komen aan het meest gebroken licht, het violet. Dat de minst breekbare stralen overeenkomen met meer langzame trillingen, dat meerdere breekbaarheid veroorzaakt wordt door trillingen van korter duur wordt door andere verschijnselen bewezen.

De analogie der licht- en geluidstrillingen strekt zich evenwel nog verder uit. Het menschelijk oor vermag slechts luchttrillingen als geluid op te vatten, die ongeveer tusschen 16 en 20000 per seconde inliggen. Indien de geluidstrillingen trager verloopen, zoodat er b. v. slechts 10 trillingen per seconde plaats grijpen, dan blijft het stom om ons heen. Wanneer daarentegen het aantal trillingen per seconde boven het straks genoemde maximum stijgt, ook dan verneemt ons oor niets. Het schijnt evenwel, dat de aard van 't geluidgevend lichaam deze getallen wijzigt.

Het valt te denken, dat iets dergelijks ook zal geschieden met de trillingen van den aether ten opzichte van ons gezichtsorgaan, en werkelijk is zulks het geval. De uiterste grens van het spectrum naar den kant van het rood bevat stralen van ± 480 biljoen trillingen per seconde, die naar den kant van het violet bevat zulke van ± 700 biljoen. Ons gezichtsvermogen is nu beperkt tot deze getallen. Aethertrillingen van minder dan 480 maken op ons netvlies geen indruk meer, en evenzeer blijft dit ongevoelig voor trillingen van meer dan 700. Zulks blijkt hieruit, dat het spectrum werkelijk langer is dan wij het zien. Buiten het rood vallen nog aethertrillingen, en eveneens buiten het violet. Er bestaat dus een *ultra-violet* en tevens een *ultra-*(ook wel *infra-* en *citra-rood* genoemd) *rood*.

Het bestaan dezer gèdeelten kan op de volgende wijze bewezen worden.

Indien wij een gevoeligen thermometer van het violet, door het blauw en groen naar het rood van het spectrum brengen, dan zien wij dien steeds klimmen. De verschillende stralen zijn dus niet even warm; de minst breekbare hebben den meest verwarmenden invloed. Wat blijkt evenwel verder? Dat onze thermometer ook dan nog rijst wanneer hij reeds *buiten* ons zichtbaar spectrum is gebracht, ja, dat even buiten het rood de verwarmende invloed het grootst is, om van dit punt zeer spoedig te dalen, en eene plaats aan te wijzen, alwaar dit on-

zichtbare gedeelte óók een eind neemt. Voorloopig nemen wij dus aan dat slechts tot hier de stralen werden afgeleid.

Het ultra-violet wordt direkt zichtbaar gemaakt. Dat dit slechts geschieden kan door de snelheid der hier werkende aethertrillingen te doen verminderen, de lichttonen af te stemmen, behoeft geen betoog.

Alvorens na te gaan op welke wijze die schijnbare goocheltoer wordt verricht, zij nog opgemerkt, dat men zich ook nog van de aanwezigheid der hier vallende zonnestrallen kan vergewissen door ze te laten inwerken op eene gevoelige, fotografische plaat. Het zilverbout wordt door dit onzichtbare gedeelte des spectrum, door deze ultra-violette stralen ontleed. Op deze wijze kunnen wij ons een fotografisch beeld van dat onzichtbare verschaffen, en in dit beeld treden verschijnselen op, die bewijzen, dat ook in dit deel verschillend werkzame stralen zich bevinden. Het ligt evenwel buiten ons bestek hierover uitteweiden en wij gaan daarom over tot de vermelding der wijze, waarop wij de gewenschte afstemming der hooge lichttonen tot stand brengen. Deze kennis toch moet ons nader voeren tot het eigenlijke doel van dit schrijven, uitgedrukt in 't daar boven geplaatste opschrift.

Wij drenken n. l. het scherm, waarop het spectrum valt, met eene oplossing van zwavelzure chinine, en als met een tooverslag wordt het spectrum naar de zijde van het violet verlengd. De ultra-violette stralen worden zichtbaar; zij geven zich kond door een eigenaardig blauw glinsterend schijnsel. Wat is hier gebeurd? De zwavelzure chinine bezit de eigenschap van de stralen, die 't meest breekbaar zijn, dus de violette en ultra-violette in zich op te nemen, om ze op hetzelfde oogenblik weder af te geven — maar gewijzigd.

Het licht, dat de chinine uitzendt, is afgestemd, minder breekbaar geworden, en voor deze, tot blauw afgestemde hooge tonen, is ons netvlies gevoelig. Dit eigen licht van de chinine duurt slechts zoo lang als de bestraling aanhoudt. Sluit ik de opening af, waardoor het zonnelicht wordt binnengelaten, dan verdwijnt ook op hetzelfde oogenblik, met het gewone spectrum, het ultra-violette verlengsel.

Alleen de stralen van zeer hooge trillingssnelheid bezitten het vermogen om zwavelzure chinine — die echter deze eigenschap met meerdere stoffen deelt — tot zelflichten op te wekken, te doen fluoresceeren. En deze fluorescentie, 't zij nogmaals gezegd, houdt terstond met de bestraling op.

Maar er zijn stoffen, die nog nalichten, d. w. z. die insgelijks door de stralen van groote breekbaarheid, de violette en ultra-violette, tot

zelflichten worden aangezet, doch die nog eenigen tijd, soms zelfs zeer lang, nadat het licht is afgesloten, blijven voortgaan met licht uittestralen. Men noemt dit verschijnsel phosphorescentie. Het phosphoresceerend licht is almede afgestemd, soms zelfs tot rood, een andermaal tot geel of groen. Ieder kent de lucifers-standaards en wijzerplaten van horloges, die in den donker licht van zich geven. De vlakke dezer voorwerpen is bestreken met de z. g. *Balmainsche lichtverf*. Deze verf bevat zwavelverbindingen, aan welke de eigenschap van te phosphoresceeren in hooge mate eigen is. Het voorwerp, dat met de Balmainsche lichtverf is bestreken, moet daartoe slechts eenigen tijd aan eene lichtbron worden blootgesteld, die rijk is aan violette of ultra-violette stralen; zulke lichtbronnen zijn het zonnelicht, het electrisch licht en ook in zekere mate het magnesium-licht. Gedurende de bestraling hoopt de phosphoresceerende stof eene hoeveelheid licht in zich op, verwerkt dit tot licht van geringere breekbaarheid en zendt dit terstond weder in deze modificatie terug. De voorraad is evenwel zoo groot, dat ook nadat de bestraling heeft opgehouden, dat uitzenden nog voortduurt; de stof *licht na*, — *phosphoresceert*. Of eigenlijk: de Balmainsche lichtverf bezit, even als de zwavelzure chinine, de eigenschap van door de zeer snelle aethertrillingen het vermogen deelachtig te worden zelf den aether in trilling te brengen, maar minder snel. Terwijl nu de chinine dit vermogen dadelijk verliest, behouden de phosphoresceerende stoffen dit na korteren of langeren tijd. Nemen wij thans een scherm, dat met Balmainsche lichtverf is bestreken. Wij stellen dit eenigen tijd aan insolatie bloot. Het geeft thans zelf licht af; het phosphoresceert, gelijk wij dit in het donker kunnen waarnemen. Nu ontwerpen wij op dit scherm het zonnespectrum; na eenigen tijd sluiten wij den toegang tot het licht af. Hadden wij een gewoon scherm genomen, alles zou nu duister zijn geworden; nu niet. Vooreerst nemen wij waar, dat de plaats, alwaar vroeger het violette gedeelte des spectrums was gelegen, thans in een helder licht prijkt. Hieruit volgt, dat het de violette stralen waren, die de phosphorescentie der Balmainsche verf hebben opgewerkt, want, ofschoon de geheele omgeving, het geheele scherm, licht uitstraalt, deze band, waar straks het violet viel — tusschen de Fraunhofersche lijnen G en H — steekt, wat helderheid betreft, sterk bij de omgeving af.

Dat gedeelte des schermes daarentegen, waar zoeven het blauw, groen, geel, oranje en rood viel, is donkerder dan de omgeving.

Deze langzaam trillende snaren waren dus niet alleen onmachtig

om phosphorescentie op te wekken, maar zij *dooven zelfs* het reeds voorhanden licht weder *uit*. Maar ook buiten het *rood* merken wij iets op; ook tot daar strekt zich de zwarte band uit, wel een bewijs, dat het zonnelicht straks ook tot hier doordrong, dat er dus nog stralen waren van mindere bleekbaarheid dan het zichtbare rood. Deze donkere stralen verrieden zich reeds als warmtestralen door den thermometer. Thans zijn ze zichtbaar geworden, wel is waar zichtbaar in een oneigenlijken zin, namelijk door contrast. Dit verschijnsel werd reeds in 1843 door BECQUEREL ontdekt, terwijl in 1800 WILLIAM HERSCHELL door de thermometerproef tot de ontdekking van de ultra-roode stralen was gekomen.

Wij beschouwen thans dien zwarten, buiten 't zichtbare spectrum gelegen band iets nauwlettender. Het blijkt, dat niet alles even donker is. Ter weerszijden der Fraunhofersche lijn A, alzoo aan het einde van 't rood, strekt zich — in 't rood en ultra-rood dus — een zwarte band uit; een tweeden, minder breeden, maar nog donkerder band, ziet men wat verder in 't ultra-rood, en tusschen deze beide donkere banden in strekt zich een lichter gedeelte uit.

Daar deze zwarte strepen zich *niet* vertoonen bij andere phosphorecerende stoffen, moet men hieruit afleiden, dat dit verschijnsel geenszins zijn oorsprong vindt in de zonnestralen zelf, maar eigen is aan de Balmainsche lichtverf. *Deze* heeft dus de eigenschap, dat zij bijzonder sterk opslorpend werkt op stralen van zoodanige breekbaarheid als overeenkomt met de plaats, waar deze vallen.

Gaan wij thans na op welke wijze deze bepaalde aethervibraties op de lichtverf werken. Daartoe projecteeren wij nogmaals het spectrum op het nogmaals geïnsoleerde scherm, maar slechts voor weinige oogenblikken. Onmiddellijk na afsluiting des lichts ontwaren wij het tegenovergestelde van zoo even, nl. daar, waar zoo even de *donkere* banden zich vertoonden, zien wij thans *heldere* banden en de zoo even *heldere* tusschenruimten zijn *donker* geworden. De band in 't ultra-rood is, opmerkelijk genoeg, nu helderder dan die aan weerszijden van de streep A.

Het is duidelijk; niet in staat phosphorescentie op te wekken, sporen deze langzame vibraties de Balmainsche verf, die zoo even door de blauwe stralen van 't zonnelicht tot zelflichten is gebracht, aan, nog intenser te vibreeren, d. i. nog sterker te lichten; maar nu ook wordt de opgelegde voorraad spoediger verbruikt, en de getroffen deelen zijn kort daarna armer aan licht dan de omgeving; zij wor-

den donker. De geweldige inspanning werd gevolgd door uitputting.

De helderheid was een vluchtig verschijnsel, dat zeer spoedig, nadat het licht werd afgesloten, een eind nam. Maar zoolang de bestraling door het spektrum duurt, blijft ook die aansporende, opwekkende werking voortduren, zoolang althans de Balmainsche verf nog een voorraad van licht-energie in zich bevat. Werkelijk ziet men dan ook reeds *gedurende de bestraling* (door het spektrum) genoemde heldere banden, natuurlijk zwak wegens de heldere spectrale omgeving. Sluit men de lichtere partijen van het kleurenbeeld af, zonder evenwel de roode en ultra-roode stralen tevens te onderscheppen, dan ziet men een en ander duidelijker. Dit kan geschieden door een rood glas, dat alleen de roode en ultra-roode stralen doorlaat, voor de opening van het vensterluik te plaatsen. Men ziet nu behalve het roode deel van 't kleurenbeeld, daar buiten, de genoemde heldere banden in een groenachtig licht phosphoresceeren.

En eindelijk kunnen wij ons het genoegen verschaffen beide ultra-roode spectraaldeelen, het negatieve of donkere, en het positieve, of dat met de heldere banden, tegelijk zichtbaar te maken.

Daartoe laat men eenigen tijd het volle zonne-spektrum op het scherm inwerken; het negatieve beeld ontwikkelt zich thans. Nu verschuift men het scherm ter breedte van het spektrum naar boven, bedekt de opening in 't vensterluik met een rood glas, terwijl nu het roode en ultrarode spektraaldeel onmiddellijk onder het negatieve beeld op het scherm valt. Terstond laten zich onder de donkere banden nu de lichte zien, en wel juist in hunne verlenging, een bewijs alzoo, dat heldere en donkere banden dezelfde zijn. Beneden verkeerden zij in 't stadium van opwekking, boven in dat van vermosidheid, uitdooving. *Even als het ultra-violette deel des spectrum kan zichtbaar gemaakt worden, hebben wij op deze eenvoudige manier ook het ultra-rood nu zichtbaar gemaakt.*

Winterswijk, Jan. 1892.

R. E. DE HAAN.