

OVER DE BLAUWE KLEUR EN POLARISATIE DES HEMELS.

DOOR

Mr. J. A. VAN EIJK.

Kan men zich liefelijker kleur voor het menschelijk oog verbeelden, dan het heldere blauw, 't geen bij onbewolkten hemel, als van een koepelvormig gewelf ons tegenstraalt?

De aanblik van dat dunne doorschijnende blauw voert onze verbeelding hooger op, daar het als 't ware op eene oneindigheid wijst, en die verzinnelijkt, even als de zee, die zich grenzeloos aan het starend oog voordoet.

Bij den blik op dat azuren gewelf zal menigmaal, ook bij lezers van het Album der Natuur, de vraag zijn opgerezen, aan welke oorzaak die bekoorlijke kleur moet worden toegeschreven: eene kleur die tevens met een merkwaardig lichtverschijnsel in verband staat, 't geen men *polarisatie van het licht* noemt. Dit verschijnsel, hoe merkwaardig ook, is buiten den kring dergenen die zich opzettelijk met het bestudeeren der natuur onledig houden, weinig of niet bekend. En dit is alleziins natuurlijk. Maar wat verwondering mag baren, is dat de zoogenaamde polarisatie van het licht, die wij schier overal kunnen waarnemen, zoo lang door natuuronderzoekers, die zich met de studie van het licht hebben beziggehouden, onopgemerkt is gebleven, en eerst voor ruim eene halve eeuw is ontdekt geworden.

Ik stel mij voor van dat merkwaardige verschijnsel, 't geen zich ook aan het hemelgewelf vertoont, in de volgende bladzijden, eene

beschrijving en verklaring te geven, waarbij ik zal trachten voor zoo veel mij gegeven is, duidelijkheid aan beknoptheid bij het vermelden der voornaamste feiten, te paren.

Het is onmogelijk zich eenig begrip te vormen van de verschijnsels der lichtpolarisatie, als men onbekend is met de wijze waarop zich het licht voortplant, of, juister gezegd, met de hypothese die thans algemeen als de ware daaromtrent is aangenomen, dewijl zij voldoende rekenschap geeft van de verschillende toestanden waarin men tot heden het licht heeft waargenomen. Volgens het oude gevoelen, 't geen door den beroemden NEWTON werd gedeeld, en nog ten tijde der ontdekking van de lichtpolarisatie door MALUS in 1808 zeer vele voorstanders telde, werd het licht voortgeplant door de uitvloeijing uit de lichtbron van uiterst fijne lichtdeeltjes, die zich naar alle zijden in rechte lijnen met de grootste snelheid bewogen. Zeer vele verschijnselen, zooals van terugkaatsing, het ontstaan van schaduwen, en van de afwijking van de rechte lijn, *breking* genoemd, bij het indringen in middenstoffen van verschillende dichtheid, lieten zich door deze emissie- of uitvloeijingstheorie verklaren; maar om tot de verklaring van andere verschijnsels, als van de dubbele breking, enz. te geraken, moest reeds NEWTON wijzigingen of hulphypothesen bij de oorspronkelijke theorie bezigen.

Ter verklaring echter der polarisatieverschijnsels, waarvan ik thans spreek, is zij ongeschikt, en ik zoude ze niet vermeld hebben, als zij geene aanleiding had gegeven om aan de bedoelde lichtverschijnsels den naam van *polarisatie* te geven, met het oog op de welbekende eigenschap der magneetkracht, om in zekere toestanden aan te trekken, en in andere af te stooten: zoo iets dergelijks toch wordt bij de lichtpolarisatie waargenomen, zooals hieronder blijken zal.

Onze vermaarde landgenoot HUIJGENS kon zich echter met het uitvloeijingsstelsel niet vereenigen, maar was van gevoelen dat het licht wordt voortgeplant en zich aan ons gezicht openbaart door de trilling van eene uiterst veerkrachtige middenstof, waaraan men den naam van *ether* heeft gegeven. Die ether zoude het heelal vervullen, en de stofdeeltjes, waaruit men zich voorstelt, dat de lichamen bestaan, overal omringen. In één woord, er zoude geen *ijdel*, van ether kunnen bestaan, zooals b. v. van lucht; want de lichtstralen dringen even goed door eene luchtledige als door eene met lucht gevulde ruimte heen. Die zoogenaamde lichtether is echter niet het licht zelf, en geeft ons daar-

van geen' indruk, zoolang zijne deeltjes in rust verkeerē; maar eerst als deze in beweging of trilling worden gebracht, ontstaat voor ons oog de gewaarwording van licht. De oorzaak der ethertrillingen noemen wij lichtbron, en van dezen uit als middelpunt planten zich de trillingen naar alle zijden voort, op dezelfde wijze als wij zulks bij de voortplanting van het geluid opmerken. De onderzoekingen der natuurkundigen hebben echter geleerd dat de trillingen in den lichtether oneindig fijner en sneller moeten zijn dan die van het geluid in de dampkringslucht, zoodat de snelheid van het licht 308 000 000 meters per sekonde bedraagt, terwijl die van het geluid niet meer dan 333 meters per sekonde is. Even als bij het geluid de hoogte van den toon afhangt van het aantal trillingen in de aangenomen tijdseenheid van *eene* sekonde, zoo ook hangt de kleur van het licht af van het aantal trillingen van den lichtether die in dezelfde tijdseenheid het netvlies van ons oog treffen. Wat men bij het geluid *toonshoogte* noemt, heeft men bij het licht den naam van *kleur* gegeven; beide verschijnsels ontstaan door een kleiner of grooter aantal van trillingen in de sekonde, waardoor natuurlijk de lengte van de geluid- of lichtgolf in de omgekeerde reden wordt vergroot of verkleind, dewijl de afgelegde weg door hooge en lage tonen, en door de verschillende lichtkleuren, als rood, blauw enz. dezelfde blijft.

Men neemt gewoonlijk aan dat de mensch in staat is om alle tonen te hooren die van 16 trillingen af tot 36000 toe in de sekonde gevormd worden. Bij iedere trilling schrijdt de beweging een zekeren afstand voort; er ontstaat eene golving met verhoogingen en verdiepingen, zooals wij die bij ieder golvend water waarnemen. Men spreekt daarom ook van lucht- en van lichtgolven, die, even als de golven van het water, eene meerdere of mindere lengte en hoogte kunnen hebben. Door de lengte eener golf wordt de afstand verstaan tusschen twee opvolgende gedeelten die in denzelfden toestand van beweging verkeerē: zooals van den top of kruin van de eene tot die van de volgende golf, van de grootste diepte eener golf tot die van de volgende enz. Eene golfenlengte bestaat dus uit eene laagte of dal, en eene verhooging, berg of kruin. Als de geluidsbron 16 trillingen in de lucht veroorzaakt, zal iedere golf eene lengte van $\frac{3}{16} = 20,8$ meter bezitten. Bij een getal van 36000 trillingen, zal de golfenlengte niet meer dan 9 mm. bedragen. Hieruit volgt dat, als men het getal van 16 trillingen als eenheid van den laagst hoorbaren toon aanneemt, het men-

schelijk gehoor in staat is om het product dier eenheid 2250 maal genomen, en al wat daartusschen ligt, te onderscheiden.

De grenzen der zichtbaarheid voor het menschelijk oog strekken zich op verre na zoo ver niet uit. Terwijl het oor de tonen van 11 oktaaven kan opnemen, strekt zich de grens voor het oog niet eens tot een enkel octaaf uit, zooals men vergelijkender wijze zoude kunnen zeggen. Maar bij het licht hebben wij met geheel andere, met oneindig snellere trillingen en kleinere golven dan bij het geluid te maken.

Zoo heeft men bij nauwkeurig onderzoek en meting bevonden, dat de lengte der lichtgolven die de *roode* kleur voortbrengen, nog geen 0,0007 mm. en van het *violet* slechts 0,0004 mm. bedraagt, waaruit volgt, dat de ether om den indruk van *rood* licht te weeg te brengen het getal van 456 biljoenen en voor het *violette* licht 667 biljoenen trillingen moet maken. Gewis verbazende snelheden ter gemoetkoming aan de kleine golflengten, waarvan er 2500 bij het violette licht op 1 millimeter worden geteld.

Rood en violet zijn de uiterste kleuren, die men door de ontleding van het witte licht der zon in het kleurenbeeld verkrijgt, en de tusschenliggende kleuren als oranje, geel, groen, blauw en donkerblauw ontstaan door de toenemende snelheid der ethertrillingen binnen de grenzen zooeven voor rood en violet vermeld. Ik mag niet nalaten op te merken dat de voormelde cijfers zoowel voor het geluid als voor het licht gemiddelde opgaven zijn, en dat er zeer vele personen zijn, wier zintuigen van gehoor of gezicht niet toelaten de gestelde grenzen te bereiken, terwijl er andere bestaan, die ze naar het eene of andere uiterste overtreffen. Nemen wij de trillingen van het roode licht weder als eenheid aan, dan ontwaren wij dat de lichtgamma veel minder uitgebreid is, zooals ik straks heb opgemerkt, dan die van het geluid, want zij staat slechts in reden van $\frac{4}{5}$ biljoenen. Maar binnen die grenzen is een geoefend oog uiterst gevoelig voor eene geringe verandering in de snelheid van trilling en de daarmede gepaard gaande wijziging van tint der kleur, waarvan wij bij de ervaren mozaikwerkers in Italie, en de vervaardigers van de bekende kleeden of tapijten der Gobelins zulke merkwaardige voorbeelden aantreffen.

De richting waarin de beweging of golving in den lichtether voortgaat, wordt lichtstraal genoemd; en uit onderzoekingen, die ik hier niet kan mededeelen, is gebleken dat de trillingen van den lichtether rechthoekig op den straal in alle mogelijke richtingen geschieden. Men

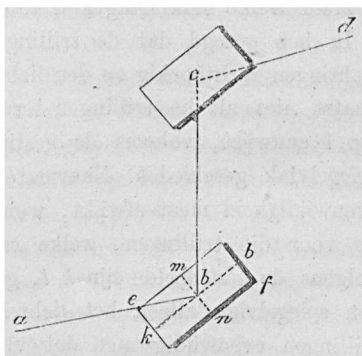
zoude een natuurlijken lichtstraal als eene fijne cylinder kunnen geschouwen, waarin de etherdeeltjes hunne periodieke beweging volbrengen. Maar die natuurlijke lichtstraal kan merkwaardige wijzigingen ondergaan door terugkaatsing en breking, en daarbij in een *gepolariseerden* toestand geraken.

Als een lichtstraal op een spiegelend vlak valt, dan wordt een gedeelte van het licht door den spiegel opgeslurpt en een ander gedeelte regelmatig teruggekaatst of verspreid, naarmate de spiegel meer of minder glad en spiegelend is. Van een volkomen glad en gepolijst voorwerp zien wij niets, tenzij wij ons juist in de richting bevinden, waarin de opgevallen straal wordt teruggekaatst. Voor een persoon daarbuiten geplaatst zal echter de spiegel zichtbaar worden, zoodra wij den spiegel met een fijn poeder, b. v. van lycopodium, bestrooien of hem bewasemen: want dan ontstaat eene terugkaatsing van licht naar alle zijden heen door die kleine stoffes, welke als zoo vele spiegeltjes werken. Door het in een vertrek zwevende stof, zien wij den zonnestraal die door eene reet in een overigens donker vertrek indringt. Zonder die zoogenaamde diffusie of verstrooiing van het licht zouden wij buiten staat zijn het grootste aantal der ons omringende voorwerpen waar te nemen, waarop ik later terugkom.

Een teruggekaatste lichtstraal kan nogmaals door een tweeden spiegel worden teruggekaatst, maar zelden geheel, meerendeels slechts gedeeltelijk, en somwijlen in het geheel niet.

Laat b. v. in fig. 1 *a b* een natuurlijken lichtstraal voorstellen, die onder een hoek van $35\frac{1}{2}^\circ$ op eene glasplaat valt, dan wordt die straal in de richting *b c* teruggeworpen; en treft hij nu eene tweede spiegelplaat evenwijdig aan de eerste geplaatst onder denzelfden hoek van $35\frac{1}{2}^\circ$ dan zal hij in de richting *c d* teruggekaatst en door een oog in *d* geplaatst waargenomen kunnen worden, als beide spiegels den stand hebben in de figuur aangewezen. Draait men echter den bovensten spiegel om, zonder iets aan den stand der hoeken te veranderen, dan ontwaart men dat het door den bovensten spiegel teruggekaatste licht allengs

Fig. 1.



zwakker, en eindelijk verdoofd wordt als de spiegels kruislings over elkander zijn gekomen. Draait men verder voort, dan wordt het veld weder helderder, en bereikt zijn grootste helderheid als de spiegel eenen halven slag of 180° is omgedraaid; bij verder omdraaien neemt de helderheid weder af totdat de spiegels wederom gekruist staan, om nogmaals toe te nemen totdat de stand, waarvan wij zijn uitgegaan, weder bereikt is. In twee standen vindt dus de grootste terugkaatsing, en daaruit voortvloeiende sterkte van het licht, plaats, en in twee andere, tusschen beide inliggende stellingen, geene terugkaatsing, en alzoo uitdooving van het licht.

De lichtstraal $a b$ heeft dus bij de terugkaatsing onder den gestelden hoek eene eigenaardige wijziging ondergaan; hij is *gepolariseerd* geworden, dat wil zeggen, heeft de eigenschap verkregen om onder bepaalde omstandigheden hetzij voortgeplant of teruggehouden te worden.

Als men een natuurlijken lichtstraal onder een anderen hoek dan die van $35^\circ 25'$ op een glasplaat laat vallen, neemt de polarisatie allengs af, en houdt op als er de lichtstraal loodrecht of schier evenwijdig op valt.

De hoek nu, waaronder het bedoelde verschijnsel het sterkst te voorschijn treedt, draagt den naam van *polarisatiehoek*, en verschilt naar de stof waaruit het spiegelend lichaam bestaat. Volgens eene ontdekking van BREWSTER verkrijgt men den polarisatiehoek, als een lichtstraal zoodanig op een oppervlak invalt, dat de teruggekaatste straal met den gebroken straal een rechten hoek vormt. De beschreven polarisatie wordt bij alle spiegelende stoffen, in meerdere of minder mate, waargenomen, met uitzondering van de metalen.

Maar welke verklaring kan van dit verschijnsel worden gegeven?

Ik heb gezegd dat de trilling der etherdeeltjes in alle mogelijke richtingen rechthoekig op den lichtstraal plaats vindt; maar een spiegel kaatst niet al die trillingen terug, en alleen die geheel welke zooals fig. 1 aanwijst, volgens de gestippelde lijn $m n$, evenwijdig met het spiegelvlak geschieden. Naarmate de richting der trillingen van die evenwijdigheid meer afwijkt, wordt de terugkaatsing geringer en houdt op voor die trillingen, welke rechthoekig op het spiegelvlak, alzoo volgens de gestippelde lijn $k l$, geschieden. Men kan alzoo zeggen dat een spiegelvlak alleen het licht kan terugwerpen, waarvan de ethertrillingen evenwijdig met dat vlak geschieden. Bestaat de spiegel uit een doorschijnend lichaam, dan dringen de andere trillingen er door heen, maar vormen evenzeer gepolariseerd licht als de teruggekaatste,

dewijl zij slechts in één vlak, en wel rechthoekig op het vlak van terugkaatsing, en niet, als bij het natuurlijke licht, in alle mogelijke vlakken trillen.

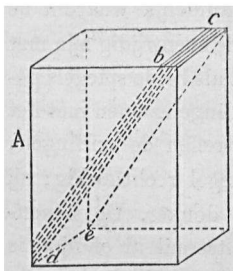
Houdt men dit voor oogen, dan wordt het duidelijk waarom de bovenspiegel slechts in twee standen, en wel die welke evenwijdig zijn met den onderspiegel, licht kan terugkaatsen, maar niet als beide spiegels gekruist staan. In het eerste geval toch vallen de trillingen zamen met het vlak van beide spiegels. Als zij gekruist staan treffen de trillingen, door den onderspiegel opgeworpen, den bovenspiegel rechthoekig; zij worden niet teruggekaatst, en het lichtveld is donker. De bovenspiegel wijst dus aan of een daarop vallende lichtstraal al of niet is gepolariseerd, en wordt daarom de *analyseur* genaamd, terwijl de onderste den naam van *polarisateur* draagt, welke benaming verder op alle andere middelen wordt toegepast, waardoor het bedoelde verschijnsel kan worden voortgebracht. Het is ongeloofelijk hoe menigvuldig in de natuur gepolariseerd licht wordt aangetroffen. Als men met een analyseur teruggekaatst licht van allerlei voorwerpen, als meubels, glasruiten, vloeistoffen, in één woord van alles wat slechts eenigszins glanzend is, metalen uitgezonderd, onderzoekt, zal men meestal zeer duidelijke sporen van polarisatie waarnemen. Ook gassen kunnen het licht polariseeren, waarover ik straks zal spreken, na alvorens iets gezegd te hebben over eenige gemakkelijke hulpmiddelen of *analyseurs* om gepolariseerd licht te ontdekken.

Als men figuur 1 beschouwt, ontdekt men dat het vlak waarin de gepolariseerde straal door spiegeling wordt teruggekaatst, loodrecht op het spiegelvlak staat: dit vlak gaande door *b a* en *b c* wordt het *polarisatievlak* genoemd; waarop de trillingen der etherdeeltjes loodrecht geschieden.

Zooals ik reeds heb aangemerkt, vormen de ethertrillingen welke door het spiegelvlak niet teruggekaatst maar gebroken worden, eveneens gepolariseerd licht, waarvan de trillingen rechthoekig met de eerste plaats grijpen. Het polarisatievlak van den gebroken straal staat dus ook loodrecht op dat van de stralen aan de overzijde teruggekaatst. Het door *eene* glasplaat gebroken licht is echter zeer zwak gepolariseerd, maar de polarisatie wordt versterkt door de lichtstralen achtereenvolgens door meerdere b. v. door 10—12 dunne glasplaatjes onder den vroeger opgegeven hoek van $35^{\circ} 25'$ te laten strijken. Als men in dien stand eenige glasplaatjes tot een bundeltje of zuiltje in een kartonnen kokertje, zooals fig. 2 aanwijst, vereenigt, dan heeft men een zeer goed-

koop werktuigje om in de meeste gevallen gepolariseerd licht te ontdekken. Men bedenke bij het gebruik maken daarvan, dat het lichtveld zal

Fig. 2.



gedoofd zijn voor de gevallen waarin het bij terugkaatsing zich helder zoude vertoonen, en omgekeerd.

Vele kristallen bezitten de eigenschap van de lichtstralen die er doorgaan te polariseeren. Daaronder behoort de *toermalijn*, waarvan de vlakken evenwijdig zijn aan de hoofdas. Dunne plaatjes, evenwijdig met de hoofdas gesneden, polariseeren de doorstrijkende lichtstralen op gelijke wijze als het zoo even vermelde glaszuiltje; met andere woor-

den, zij laten geen licht door als de kristal as samenvalt met het polarisatievlak der invallende stralen, maar wel als deze as rechthoekig op dat vlak staat. De eerstgenoemde stand levert dus het verdoofde licht op van de gekruiste spiegels, en de andere komt overeen met dien van de evenwijdige spiegels waarbij het veld verlicht is. Geene ethertrillingen worden door een toermalijnplaatje doorgelaten, dan alleen die welke evenwijdig zijn met de as van het kristal.

Een toermalijnplaatje levert dus een beknopt en zeer geschikt analyseur op ter aantooning van gepolariseerd licht en der richting van het polarisatievlak. Maar de toermalijn is steeds roodachtig bruin of groen gekleurd, en daardoor wordt de helderheid van het veld benadeeld.

Er bestaat echter een merkwaardig kristal, IJslands kristal of kalkspaat genaamd, hetgeen de eigenschap bezit, om de lichtstralen welke er op vallen, uitgezonderd in de richting van de optische as, in twee deelen te scheiden, waarom het den naam draagt van dubbelbrekend kristal, zooals er velen in de natuur worden aangetroffen. Al deze kristallen polariseeren de lichtstralen, omdat de trillingen van den lichtether voor beide gebroken stralen rechthoekig op elkander geschieden. Iedere gebroken straal kan dus alleen trillingen in een bepaald vlak voortplanten. Van deze eigenschap maakt men gebruik door het heldere doorschijnende IJslandsche kristal zoo te slijpen, dat het slechts *een* gebroken straal doorlaat. Men noemt een dergelijk geslepen kristal, naar den uitvinder: *Nicol's prisma*, hetgeen zeer geschikt is om de aanwezigheid van gepolariseerd licht op te sporen en aan te wijzen. Waarop de vervaardiging dier prisma's berust, kan hier niet worden uiteengezet; ik geef echter in fig. 3 en 4 eene schets van de gedaante en doorsnede, terwijl door eene lijn P P

het polarisatievlak der doorgelaten stralen en door een pijltje het trillingsvlak der etherdeeltjes wordt aangewezen. Het eerste valt samen met de grootste, en het tweede met de kleinste diagonaal van de ruit-

Fig. 3.

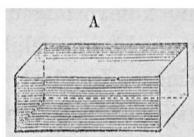
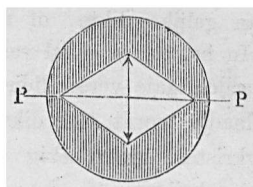


Fig. 4.



vormige doorsnede. Als door het omwentelen van zoodanig prisma om zijn as, het oog afwisselend eene versterking of vermindering van licht waarneemt, dan kan men overtuigd zijn, dat gepolariseerd licht in het prisma valt. Hetzelfde geldt voor het glaszuiltje, en evenzeer voor een toermalijnplaatje, als het in zijn vlak wordt omgedraaid.

Gepolariseerd licht kan zeer fraaie kleurverschijnsels in een groot aantal van verschillende doorschijnende stoffen te weeg brengen. Wanneer men b. v. een dun plaatje van een dubbel brekend kristal, als van *mica* of van *seleniet* (gekristalliseerde zwavelzure kalk of gips), in gepolariseerd licht beziet met een der bovengenoemde analyseurs, dan zal men bij zekere ligging van dergelijk blaadje, van gelijkmatige dikte, eene of andere fraaie kleur ontwaren. Draait men nu den analyseur om zijne as, dan zal men bespeuren dat de *roode* kleur in de *groene*, de *blauwe* in de *oranje*, en de *geele* in de *violet* is overgegaan, als de analyseur 90° is omgedraaid. Even zoo vele malen als het veld van licht en donker overgaat door het omdraaien van den analyseur, even zoo vele malen vertoont zich nu het veld gekleurd. De kleur hangt af van de dikte van het kristalblaadje: bij ongelijke dikte van het blaadje kan men dus verschillende kleuren te gelijk waarnemen. Deze kleuren ontstaan door de zoogenaamde *interferentie* der lichtstralen, waarvan de lezer eene verklaring kan vinden in een opstel van Dr. v. s. m. VAN DER WILLIGEN, geplaatst in dit tijdschrift, jaargang 1856 blz. 203 en volg.

Het ligt niet in mijne bedoeling om hier over de oorzaken en de merk-

waardige verschijnsels der chromatische (kleuren-) polarisatie uit te weiden. Ik vermeld die eigenschap van het gepolariseerde licht alleen, omdat zij ons in staat stelt flauwe sporen van het gepolariseerd licht met het Nicolsprisma, door het kleuren van het veld, gemakkelijk waar te nemen. Daartoe wordt achter het Nicolsprisma een dun gipsblaadje van gelijke dikte, of wel een weinig komvormig uitgehold, geplaatst. In het eerste geval verkrijgt men een veld van gelijke kleur; in het tweede fraaie verschillend gekleurde ringen. In plaats van een dun gipsblaadje wordt ook dikwerf een plaatje gebezigd van het bekende bergkristal, rechthoekig op de as gesneden, om een veld met kleuren te verkrijgen.

Richt men een dergelijk toestelletje, *polariscope* genoemd, naar den blauwen hemel, dan ontwaart men dat het licht daarvan gepolariseerd is; een verschijnsel door ARAGO voor het eerst, in den jare 1811 opgemerkt. Bij eenig nauwkeurig onderzoek zal men bespeuren dat de sterkte van het gepolariseerde licht aan den blauwen hemel niet overal gelijk is, en steeds het krachtigst als de teruggekaatste straal eenen rechten hoek maakt met de invallende zonnestrallen. Deze moeten dus onder eenen hoek van 45° het vlak van terugkaatsing treffen, om onder eenen hoek van 90° in het oog des waarnemers te treden. Dit is een merkwaardig geval, waarop ik straks zal terugkomen. In verband met het vroeger medegedeelde, moet dus het trillingsvlak der stralen van ligging veranderen, naarmate de zon haren loop aan den hemel volbrengt, en steeds eenen rechten hoek maken met het polarisatievlak, 't geen men zich kan voorstellen te gaan door de zon, het oog van den waarnemer en de plaats aan den hemel waarnaar men ziet. Richt men b. v. het oog naar het Noorden als de zon in het Zuiden staat, dan ligt het trillingsvlak der teruggekaatste stralen horizontaal en gaat het polarisatievlak door het toppunt van den waarnemer. Daarentegen zal zes uren vóór en zes uren ná den middag de ligging van beide vlakken juist omgekeerd zijn: d. i. het trillingsvlak der teruggekaatste stralen valt dan samen met den meridiaan der plaats van waarneming. Hieruit volgt dat, als men een Nicolsprisma naar de Noordpool des hemels richt, men zulks, in verband met den tijd van den dag, om zijne as moet draaien, ten einde steeds het maximum van het gepolariseerde licht in het oog te erlangen. Immers dit heeft alleen plaats als het trillingsvlak van het prisma samenvalt met dat der teruggekaatste stralen.

Dit heeft aan WHEATSTONE aanleiding gegeven, om een *Noordpool uurwijzer* samen te stellen, waarmede men op eenige minuten na den tijd kan leeren kennen, en die zelfs daartoe kan dienen als de zon bedekt of onder de kimmen is, mits dat de hemel aan de Noordpool zich blauw vertoont.

De inrichting van een dergelijk' toestelletje in mijn bezit is zeer vernuftig en beknopt, zooals door fig. 5 wordt verduidelijkt.

Op een massief koperen voetje *a*, hetwelk door 3 stelschroeven, volgens twee daaraan verbonden waterpasjes of libellen, waterpas kan worden gesteld, is een koperen staafje *b* om een scharnier in het vertikale vlak beweegbaar geplaatst. Met behulp van den graadboog *c* en een kompasje in het voetje aangebracht, wordt het staafje met kijktortje op de Noordpool des hemels, dus op de poolhoogte der plaats gericht. In het ondereinde van het buisje of kijktortje *d* is een klein Nicolsprisma bevestigd, terwijl aan het ander einde *e* een dun gipsblaadje in behoorlijke stelling tusschen een paar glasplaatjes is geplaatst. Dit kijktortje kan in eenen koperen ring *f* worden omgedraaid; welke ring, op het staafje vastgehecht, tevens een uursirkel *g* draagt, waarop de tijd van 6 uur voormiddag tot 6 uur namiddag in 5 minuten is aangegeven. (Zie fig. 6 den uursirkel met het oogeinde en wijzer voorstel-

Fig. 5.

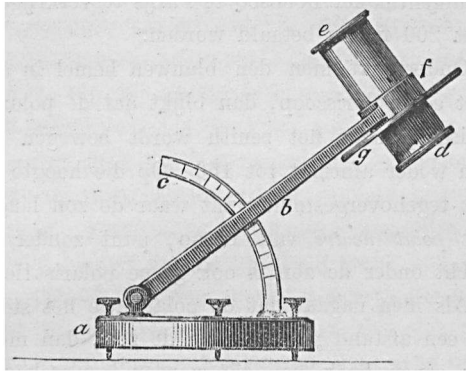
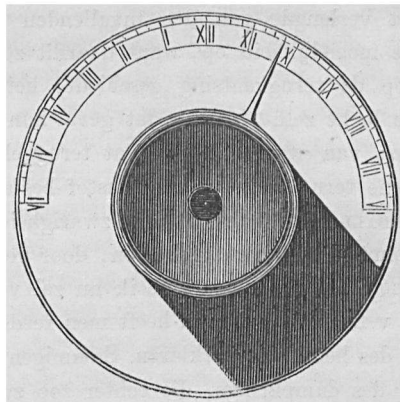


Fig. 6.



londe). Is alles behoorlijk gesteld, dan behoeft men slechts het kijkertje om te draaien, totdat men het veld met fraai gekleurde ringen, in hunnen sterksten glans ziet prijken. Een met het kijkertje verbonden wijzer toont op de uurplaat den tijd van de waarnemingsplaats aan. Het toesteltje is op $\frac{2}{3}$ der ware grootte afgebeeld. Er bestaan ook grootere toestellen van dien aard, zooals onder anderen bij den bekenden optischen instrumentmaker DUBOSCQ te Parijs te verkrijgen zijn, maar deze moeten met 200 francs betaald worden.

Onderzoekt men den blauwen hemel in alle richtingen nauwkeurig met een polariscope, dan blijkt dat de polarisatie toeneemt als de polariscope naar het zenith wordt bewogen tot 90° boven de zon, en dan weder afneemt tot 150° . Op die hoogte ongeveer, d. i. 30° boven het tegenovergestelde punt waar de zon laag aan de kim staat, wordt het *point neutre* van ARAGO, punt zonder lichtpolarisatie gevonden. Dicht onder de zon is ook geene polarisatie te bespeuren.

Als men nagaat dat de polarisatie het sterkste wordt waargenomen op een afstand van 90° van de zon, dan moeten hare lichtstralen onder eenen hoek van 45° worden teruggekaatst, om onder eenen hoek van 90° in het oog eens waarnemers te kunnen treden. Volgens de wet van BREWSTER vroeger vermeld, vindt het maximum van polarisatie plaats als de teruggekaatste straal eenen rechten hoek met den gebroken straal maakt, waaruit zoude volgen dat de gebroken straal in het verlengde van den invallenden moet blijven. Dit levert eene groote moeilijkheid op, want daaruit zoude volgen dat de middenstof waarop de terugkaatsing geschiedt, hetzelfde brekingsvermogen bezit als de lucht zelf. Maar in dat geval kan er geene terugkaatsing plaats vinden; van waar dus ontstaat teruggekaatst gepolariseerd licht, als er geene terugkaatsende middenstof bestaat?

TYNDALL heeft getracht deze zwaarigheid, die door vroegere geleerden niet onopgemerkt was gebleven, door verschillende onderzoekingen tot klaarheid te brengen, welke ik nu zal vermelden.

Op verschillende wijzen heeft men reeds sinds lang getracht de blauwe kleur des hemels te verklaren. Sommigen schreven die toe aan de eigen kleur des dampkrings, die echter zoo zwak zoude zijn, dat zij alleen bij zeer dikke lagen zich gekleurd kan voordoen, zooals b. v. een licht gekleurd vocht in een zeer plat buisje zich kleurloos vertoont, maar duidelijk gekleurd, als men het in eene wijde flesch beziet.

BRANDES schreef het blauw des hemels eenvoudig daaraan toe dat

de lucht hoofdzakelijk de blauwe stralen terugkaatste, en de gele en roode stralen daarentegen vrijelijk doorliet.

FORBES zocht de verklaring meer in de waterdeeltjes die in de lucht zweven, dan in de lucht zelve.

CLAUSIUS daarentegen is van meening, dat de terugkaatsing der lichtstralen niet geschieden kan door vreemde in de lucht zwevende deeltjes, noch door massieve waterkogeltjes, maar veroorzaakt wordt door kleine in de lucht zwevende *waterblaasjes* of waterbelletjes. Even als in de gewone zeepbellen de teruggekaatste kleuren afhangen van de dikte van het watervliesje of huidje, zoo ook zullen deze waterblaasjes, als het vliesje zeer dun is, den hemel eene blauwe kleur geven, die in de wetenschap het blauw der *eerste orde* wordt genoemd. Bij toenemende vochtigheid der lucht worden de waterblaasjes dikker, andere kleuren worden teruggekaatst, en uit hare vermenging en samenwerking ontstaat de witte kleur in stede van de blauwe die wij bij droog weder aan den hemel waarnemen. Dr. JOH. MÜLLER verklaart in zijn *Lehrbuch der kosmischen Physik* dit gevoelen te deelen, maar gelooft echter dat het heldere krachtige blauw alleen kan veroorzaakt worden door eene herhaalde terugspiegeling van het blauwe licht op eene reeks van waterblaasjes, dewijl een enkel niet anders dan het bleeke witachtige blauw der *eerste orde* kan opleveren, zooals men bij de ringen van NEWTON aantreft.

Bij ernstig nadenken en vergelijken met andere verschijnsels die het licht ons aanbiedt, moeten wij tot het besluit komen, dat de meening van BRANDES geen steek houdt, dewijl het heldere hemelgewelf zich van rondsom blauw gekleurd vertoont. Er moeten dus in de lucht deeltjes voorhanden zijn, die de daarop vallende zonnestralen in alle richtingen terugkaatsen, en wel onder omstandigheden, die alleen de blauwe kleur in ons oog doet treden.

In volkomen zuivere dampkringslucht, kan men geen lichtstraal waarnemen, tenzij de straal zelf onmiddellijk in het oog dringt. Als een zonnestraal door eene kleine opening in eene donkere kamer treedt, zoude men niets van de richting kunnen zien, indien de in de lucht zwevende stofdeeltjes het licht niet naar alle zijden terugkaatsten of verspreidden. Valt een dergelijke lichtstraal op een zuiver gladgepolijsten spiegel, dan zal men den spiegel zelve in het vertrek niet kunnen ontdekken, maar alleen het teruggekaatste beeldje van de opening; als men in de vereischte richting staat. Strooit men echter eenig fijn poeder, b. v. van de wolfskluuw op den spiegel, dan ontstaat dade-

lijk naar alle zijden verspreid licht, en zal de spiegel zelf gemakkelijk in allerlei richtingen in de kamer gezien kunnen worden. Alzoo zal een lichtstraal, die door eene luchtledige glazen buis strijkt, of wel door eene dergelijke buis gevuld met lucht of gas, vooraf van alle vreemde stofdeeltjes gezuiverd, door ons oog niet kunnen worden waargenomen.¹

Dit feit diende TYNDALL tot grondslag bij zijne proefnemingen, waarbij hij zich bediende van glazen buizen, lang 1 meter, met eene middel-lijn van 50—75 mm., ter wederzijde nauwkeurig met glasplaten gesloten.

Door eene gepaste inrichting konden deze buizen luchtledig worden gemaakt, of gevuld met dampkringslucht in verschillende verhoudingen en onder begeerde drukking vermengd met damp van amylnitriet, jodamyl, benzine enz. In plaats van dampkringslucht konde een ander gas, zooals zuurstof, stikstof of waterstof worden gebezigd, zonder eenige wijziging in de hoofdverschijnsels te weeg te brengen.

Om die verschijnsels wel te kunnen begrijpen moet ik herinneren dat de lichtstralen niet alleen het vermogen hebben om die gewaardwording op het netvlies van het oog te weeg te brengen, welke wij *licht* noemen, maar tevens eene scheikundige werking op vele stoffen uitoefenen. De geheele photographie is op die eigenschap gegrondvest. Nu zijn het niet de meest lichtgevende kleuren, zooals rood, geel en oranje, die in het witte licht voorkomen, welke de sterkste scheikundige werking te weeg brengen, maar integendeel de minder sprekende, zooals donker blauw en violet, en het krachtigste de zoogenaamde *ultra violette stralen*. Deze stralen nog buiten het violet van het bekende zonnespectrum of kleurenbeeld gelegen, zijn schier voor het oog onzichtbaar.

Uit het zien van licht kan men dus niet besluiten dat er eene scheikundige ontleding plaats vindt, evenmin dat deze bij ontstentenis van zichtbare lichtstralen niet geschiedt.

De buizen van TYNDALL, op voorschreven wijze met gasvormige stoffen gevuld, waren dus volkomen doorzichtig. Maar zoodra hij het licht der zon of van gloeiende koolspitsen, door eene lens geconcentreerd, door eene der sluitplaten in de buis liet vallen, ontstond er allengs in den weg der stralen eene wolk, die zich door hare verlichting te midden van de omgevende duisternis kenbaar maakte. Die wolk ontstaat door

¹ Zie over de wijze om stofvrije lucht, zeer karakteristiek door TYNDALL het *optisch tijdel* genoemd, te verkrijgen, het belangrijk opstel over *stofjes in de lucht*, door W. M. LOGEMAN. Album der Natuur, 1870 bl. 87.

de scheikundige ontleding der stoffen in de buis voorhanden. De nieuwe daarbij gevormde stoffen moeten, bij gebrek aan de noodige warmte om in den gasvormigen staat te blijven, hetzij vast of drupvormig worden, en verkrijgen daardoor het vermogen om licht terug te kaatsen, en als lichtbronnen op te treden.

Terwijl de invallende lichtstraal de geheele buis doorloopt, vormt de wolk zich echter niet in de geheele lengte der buis, maar slechts voor een gedeelte, aan de zijde van het invallend licht. Het schijnt dat de scheikundige werking der stralen daarmede is uitgeput, en geene ontleding verder kan te weeg brengen, ofschoon zij haar lichtgevend vermogen blijven behouden, zooals de volgende merkwaardige proef van TYNDALL bewijst. Men bracht het vereenigingspunt der lichtstralen door gepaste plaatsing der lens in het midden der buis, en keerde die om nadat de wolk zich had gevormd. Nu vormde zich ter andere zijde evenzeer eene wolk, en de buis vertoonde zich over hare geheele lengte verlicht.

Als TYNDALL de lichtstralen door een glazen bakje dat amylnitriet bevatte, in de glazen buis liet dringen, gevuld met lucht en gas van die zelfde stof, ontstond er geen wolk in de buis; maar deze verscheen spoedig nadat het bakje was weggenomen. De scheikundige werking of ontleding werd dus evenzeer door het in drupvormigen als in dampvormigen staat verkeerende amylnitriet opgeheven. In beide toestanden bezitten deze en dergelijke stoffen het vermogen om de trillingen der ultraviolette of scheikundige stralen te wijzigen en hare werking als zoodanige op te heffen.

Maar ik mag over deze zaak niet verder uitweiden en keer terug tot dat wat meer opzettelijk tot mijn onderwerp behoort.¹

TYNDALL bespeurde dat de eerste kleur, waarmede de wolk zich in de buis vertoonde, blauwachtig was, en zeer dikwijls in een zoo prachtig en sterk blauw overgaat, als waarmede de hemel in de zuidelijke landen kan prijken.

Als de wolk dikker of dichter wordt, omdat de uiterst fijne deeltjes ongetwijfeld allengs grooter worden, gaat de blauwe kleur in *wit* over. Het blauwe licht in de buis geeft volkomen den indruk van den blauwen hemel in het oog des waarnemers terug, en levert dezelfde polarisatieverschijnsels op, als aan het hemelgewelf worden waargenomen. De intensiteit der polarisatie bij de wolk verschilde naar de richting, waarin

¹ MORREN bestrijdt dit, naar ik geloof ten onrechte. Zie *Les Mondes* XXIII blz. 24.

men den analyseur hield, en bereikte zijn maximum bij loodrechte richting op de invallende lichtstralen, evenals bij den blauwen hemel wordt opgemerkt. Ook het bestaan van onzijdige punten (*points neutres*) in het gepolariseerde licht der wolk werd door TYNDALL waargenomen. Zeer merkwaardig is eene proefneming door TYNDALL op aanwijzing van STOKES in het werk gesteld, waardoor de volkomen polarisatie van het licht in rechthoekige richting op den stralenbundel wordt bewezen. Tusschen de elektrische lamp en de glazen buis werd een groot Nicols-prisma geplaatst, en wel zoo dat het trillingsvlak der lichtgolven vertikaal en het polarisatievlak horizontaal was gelegen. Er drongen dus alleen lichtstralen met vertikale trillingen in de buis, en deze vormden langzaam de blauwe wolk, welke zeer duidelijk zichtbaar was, als men het oog op de hoogte van de as voor en achter de buis hield, maar geheel verdween, als men daarop loodrecht, hetzij van boven naar beneden of omgekeerd zijne blikken vestigde. In die richting kaatste dus de wolk geen licht terug. Ook op andere wijzen onderzocht TYNDALL den invloed van fijne stofdeeltjes in de dampkringslucht op de richting der lichtstralen. Lucht met damp of rook van wierook, tabak, buskruit enz. vermengd, gaf dadelijk teekenen van polarisatie; ja zelfs bij eenen bepaalden graad van dichtheid van den rook, konde men een neutraal punt, en het maximum van polarisatie bij eene loodrechte richting van den polarisator op de invallende lichtstralen opmerken. Dezelfde uitkomst gaven proeven in het scheikundig laboratorium van TYNDALL in het werk gesteld. De stofdeeltjes en de rook, die in ruime mate in de lucht van zoodanige werkplaats voorhanden zijn, polariseerden eveneens het licht als de wolk in de glasbuizen door scheikundige ontleding verkregen. Dezelfde lucht van alle stofjes en rook gezuiverd, gaf geen spoor van teruggekaatst of gepolariseerd licht, en onderscheidde zich in dit opzicht niet van het luchtledig.

Uit de waarnemingen van TYNDALL volgt, dat de blauwe kleur van het hemelgewelf terecht door vele waarnemers aan uiterst fijne in de lucht zwevende lichaampjes wordt toegeschreven. Maar van welken aard, of in welken staat verkeerren die zwevende lichaampjes? Moet men met CLAUSIUS aannemen, dat de blauwe kleur ontstaat door de terugkaatsing der lichtstralen op het dunne vliesje van in de lucht drijvende nevelblaasjes, welke kleur hare bekende intensiteit door herhaalde terugspiegeling verkrijgt, zooals DR. MÜLLER¹ heeft aangetoond?

¹ Zie Dr. JOH. MÜLLERS *Lehrbuch der kosmischen Physik*, 1866 S. 277.

Doch met dit aan te nemen stoot men op de zwarigheid dat het blauwe hemelgewelf ons een maximum van polarisatie aanbiedt, geheel in strijd met hetgeen in andere gevallen bij terugkaatsing wordt waargenomen, zoodat men er toe gebracht zoude worden eene uitzondering op de wet van BREWSTER of eene andere oorzaak dan terugkaatsing voor de polarisatie in den dampkring te veronderstellen.

Volgens de uitkomsten der proefnemingen van TYNDALL wordt men genoopt aan te nemen, dat de blauwe kleur des hemels, even als die van de wolk in zijne buizen, wordt veroorzaakt door de terugkaatsing der lichtstralen op uiterst fijne stofdeeltjes. Bij stofdeeltjes van die uiterste fijnheid, blijkt het dat de polarisatie onder zeer eigenaardige omstandigheden geschiedt, zoodat het maximum van polarisatie samenvalt met een hoek van terugkaatsing van 45° . Worden die deeltjes iets grooter en vormen zij meer wat wij gewoon zijn eene wolk te noemen, dan verdwijnt de blauwe kleur, en gaat in het gewone witte licht der wolken over. Tevens verdwijnt dan zoowel in de buizen van TYNDALL als aan den hemel de polarisatie van het licht.

Tot heden toe is het TYNDALL niet gelukt waterdamp tot dien uiterst fijnen graad van verdeeling te brengen, als de dampen van amylnitriet, benzine enz., zoodat men proefondervindelijk geene zekerheid heeft verkregen, dat de blauwe kleur en de daarmede gepaard gaande polarisatie des hemels, door uiterst fijn verdeelden waterdamp wordt veroorzaakt.

Zooals men uit het bovenstaande kan opmaken, is de verklaring dezer verschijnsels met moeilijkheden gepaard, en geeft aanleiding tot vragen zooals b. v.: waaraan is het toe te schrijven dat de blauwe kleur alleen door de allerkleinste deeltjes bij het ontstaan van de wolk worden teruggekaatst? Hangt dit samen met de lengte der lichtgolven, zoodat die fijne deeltjes wel de korte blauwe lichtgolven maar niet de grootere zooals van rood, geel enz. kunnen terugwerpen, zoodat het witte licht uit de vereeniging van al de kleuren samengesteld, alleen bij het grooter worden der deeltjes ontstaat?

En welke is de reden dat de reeds dikwijls genoemde wet van BREWSTER niet doorgaat bij die fijne deeltjes, als waarmede TYNDALL in zijne buizen proeven heeft genomen?

Ik vertrouw dat het der wetenschap zal gelukken weldra op al deze vragen een bevredigend antwoord te geven en wat in de behandelde verschijnsels nog duister voorkomt volkomen op te helderen.