

# LICHTVERSCIJNSELS IN DEN DAMPKRING,

DOOR

Dr. H. EKAMA.

## HET FLONKEREN DER STERREN. (Scintillatie).

Een beschrijving van het nu te behandelen verschijnsel zal wel overbodig zijn, want wie heeft niet op heldere avonden het »lieffijk stargeflonker'', met zijn rusteloze veranderingen in lichtsterkte en kleur, waargenomen. Vooral is het duidelijk bij sterren, welke laag boven den horizon staan.

Voor het bloote oog flonkeren slechts de vaste sterren, terwijl bij de planeten geen scintillatie is waar te nemen. Reeds was dit aan ARISTOTELES bekend, en hij verklaart het door aan te nemen, dat onze zienskracht door de overgroote inspanning begint te beven, terwijl de planeten nog op een afstand geplaatst zijn, waarop de menschen gemakkelijk kunnen waarnemen. Deze zelfde verklaring gebruikt PROLOMAEUS om aan te duiden, waarom de sterren bij den horizon, die schijnbaar verder afstaan, sterker flonkeren dan sterren bij het zenith.

Na hen hebben tal van geleerden getracht het verschijnsel te verklaren, maar ieder stuitte op verschillende moeilijkheden, totdat het aan K. EXNER<sup>1</sup> te Weenen gelukt is een in allen deele voldoende verklaring op te bouwen, wel is waar samengesteld uit gedeelten der vroegere theorieën, maar door nauwkeurige waarnemingen bevestigd.

---

<sup>1</sup> *Repertorium der Physik*, Bd. XXIII, p. 371 en 426.

De oorzaken van het flonkeren heeft men overal gezocht, en wel in de sterren, in de wereldruimte, in den dampkring en in het oog van den waarnemer.

De beide eerstgenoemde onderstellingen moeten reeds dadelijk verworpen worden, want niet alleen de sterren flonkeren, maar ook aardse voorwerpen kunnen scintillatie vertoonen, zooals het eerst door ARAGO aan een torenspits is waargenomen. Op warme dagen toch ziet men haar op de oppervlakten van lichamen, waarvan men nog duidelijk de kleine deeltjes kan onderscheiden; deze schijnen te trillen en somtijds een golvende beweging aan te nemen. Vooral bij scherp begrensde randen van gebouwen is deze *aardsche scintillatie* gemakkelijk te zien. Ook de omtrekken van bergen kunnen schijnbaar een golvende beweging aannemen. Een overeenkomstig verschijnsel ziet men, wanneer men door de lucht, die boven een brandende kachel opstijgt, naar buiten ziet.

Dat de oorzaak niet in het oog van den waarnemer moet gezocht worden, blijkt uit het feit, dat men het flonkeren der groote hemellichamen op een scherm kan laten zien. KEPLER heeft eenmaal, toen het licht van de planeet Venus en een andermaal toen het licht van een smalle maansikkel door zijn venster op den wand van het vertrek viel, waargenomen, dat dit licht sterk scheen te golven, terwijl de beide lichtbronnen scintillatie vertoonden. Wij zullen dit verschijnsel, in navolging van EXNER, het *verschijnsel van KEPLER* noemen. Het vertoont zich ook rechtstreeks aan den waarnemer bij totale zonsverduisteringen, als het zichtbare deel van de zonnenschijf zeer klein is en wordt dan het verschijnsel der *vliegende schaduwen* genoemd. DUBOIS heeft het ook herhaaldelijk bij het opgaan der zon gezien, zolang deze slechts een klein puntje vertoonde. De uitgebreidheid der lichtbronnen is zeer hinderlijk; bij de vaste sterren is dit verschijnsel evenwel niet waarneembaar, wegens hun geringe lichtsterkte.

De dampkring der aarde bestaat uit tal van koudere en warmere lagen, welke door willekeurig gebogen vlakken van elkander gescheiden zijn en voortdurend langs elkander vloeien. De lichtstralen moeten door deze lagen gaan en worden bij elken overgang in een volgende laag gebroken. De lichtstralen, die van een zeer ver verwijderde ster den dampkring bereiken, zijn evenwijdig. Komen zij nu aan een gebogene grensvlakte tusschen twee luchtlagen, dan zal de evenwijdigheid ophouden te bestaan. De verschillende deelen van het grensvlak werken nu, al naar hun stand ten opzichte der stralen, convergeerend of

divergeerend, — zoodat, op sommige punten de lichtstralen dichter bij elkander komen, dus de lichtsterkte grooter wordt terwijl op andere punten de stralen meer verspreid worden en dus de lichtsterkte afneemt. Doordat de luchtlagen in den dampkring voortdurend in beweging zijn, zal dus, waar een maximum van licht is waargenomen, een volgend oogenblik een minimum kunnen ontstaan. De verdichtingen en verdunningen in de stralenbundels veranderen voortdurend met den toestand der atmosfeer.

Men kan dit verschijnsel ook kunstmatig voortbrengen. Daartoe laat men het zonlicht door een kleine opening in een donkere kamer treden, zoodat men door middel van een lens een beeld op den wand verkrijgt. Plaatst men nu op den weg der lichtstralen een plaat venster-glas, dan is het beeld niet meer overal even sterk verlicht, maar vertoont heldere en donkere vlekken. Deze ontstaan natuurlijk door de onregelmatige brekingen in de glasplaat. Door de plaat te verschuiven krijgt men het verschijnsel der »vliegende schaduwen". Men kan den invloed van het glas nog vergrooten; door meer glasplaten op den weg der lichtstralen te plaatsen of de plaat schuin ten opzichte der stralen te zetten. Men neemt ook de »vliegende schaduwen" waar, als men door de warme opstijgende lucht boven de kachel naar een witten muur ziet.

De vaste sterren flonkeren steeds min of meer; de hooger staande evenwel minder dan de lager staande; de verklaring is niet moeielijk, daar toch het licht der laatste door een grooter aantal luchtlagen moet gaan.

Op een helderen nacht kan men door middel van een kijker altijd de sterren zien flonkeren. Stelt men toch den kijker niet volkomen scherp in, dan ziet men het beeld, dat nu tot een schijf is uitgebreid, niet overal even helder. Bovendien veranderen de maxima en minima voortdurend van plaats, zoodat het verschijnsel gelijkt op de golvingen, die men in het zonlicht ziet, wanneer de stralen op een wand vallen, nadat zij op een bewegend watervlak zijn teruggekaatst. Dit verschijnsel wordt, naar zijn ontdekker, het *verschijnsel van MARIUS* geheeten en komt geheel met dat van *KEPLER* overeen.

De hoog staande sterren vertoonen slechts snelle en onregelmatige veranderingen in helderheid; de laag staande veranderen bovendien in kleur. Vooral Sirius vertoont dit zeer sterk. Sommige sterren flonkeren slechts met enkele kleuren, doch dit komt, doordien het licht der sterren geen zuiver wit licht is, — d. w. z. licht, dat alle soorten

bevat, — maar voor elke ster uit enkele verschillende lichtsoorten bestaat. MONTIGNY heeft dan ook opgemerkt, dat sterren, wier spectra weinig zwarte strepen bevatten, met het grootste aantal kleuren flonkeren.

MONTIGNY is ook degene geweest, die den grondslag heeft gelegd voor de verklaring van de kleurwisseling. Hij heeft er namelijk op gewezen, dat de verschillend gekleurde stralenbundels gescheiden door den dampkring gaan. Hierom ziet men bij zeer sterk spreidende instrumenten de sterren als spectra.

De afstand tusschen de beide uiterste bundels van roode en violette stralen neemt toe, naarmate zij door meer luchtlagen moeten gaan. Voor sterren bij het zenith zal die afstand dus altijd zeer klein blijven; bijgevolg ondergaan de beide bundels op hun weg bijna overeenkomende veranderingen, zoodat alle kleuren tegelijk versterkt of verzwakt worden. Voor sterren, dicht bij den horizon, kan de afwijking der bundels 30 seconden bedragen; de beide bundels komen dus langs zeer verschillende wegen tot ons, en zoo kan de eene bundel zijn minimum vertoonen op het oogenblik, dat de andere zijn maximum bereikt. De bundels, die hun maximum hebben, geven ons de kleur, welke wij waarnemen.

Ook dit verschijnsel kunnen wij kunstmatig verkrijgen. Wij behoeven slechts aan de bovengenoemde proef een prisma toe te voegen, waardoor de lichtstralen gaan, voordat zij op de glasplaat vallen. Vangen wij nu het lichtbeeldje op een ongeveer 6 Meter van de lens verwijderd scherm op, dan verandert het voortdurend van kleur, wanneer wij de glasplaat verschuiven.

Aan EXNER is het gelukt, ook bij aardsche scintillatie, kleurveranderingen waar te nemen. Hiertoe moet evenwel de horizontale afstand van het voorwerp tot den waarnemer minstens  $1\frac{1}{2}$  geografische mijl bedragen.

Uitgebreide lichtbronnen vertoonen, zooals ARAGO het eerst heeft opgemerkt, geen veranderingen in lichtsterkte of kleur, omdat de lichtbundels, van de verschillende punten van de lichtbron afkomstig, niet denzelfden weg door den dampkring volgen, maar onafhankelijk van elkander hun helderheid en kleur veranderen, zoodat al deze onderling onafhankelijke snelle veranderingen in het oog den indruk van gelijkmatige helderheid geven. Slechts de randen vertoonen dan scintillatie.

Tengevolge van het flonkeren zullen de sterren ook voortdurend

van plaats moeten schijnen te veranderen, doch dit wordt noch met het bloote oog, noch met een kleinen kijker waargenomen, daar de uitslagen wegens hunne geringe grootte aan het oog ontsnappen.

BRANDES vermeldt, dat CARLINI de poolster door den draad in zijn kijker heeft zien gaan, toen weer door den draad terug en vervolgens nog voor de tweede maal er voorbij.

Om deze beweging duidelijk te maken, bracht EXNER een scherm, waarin drie openingen van 3.2 cM. middellijn waren gemaakt, voor het objectief van een grooten kijker. Deze openingen stonden op een rechte lijn; één in het midden, de beide andere aan den rand van het objectief. Werd de kijker op Sirius gericht, dan zag men drie ronde beeldjes van de ster, die zich voortdurend ten opzichte van elkander verplaatsten, zoodat zij de hoekpunten vormden van een driehoek, die telkens van gedaante veranderde. Deze proef bewijst, dat het beeld van een ster zich beweegt en dat de verschillende voortgebrachte beelden zich verschillend bewegen. Dit verklaart tevens de kleine veranderingen, die de onderlinge afstand van dubbelsterren ondergaat.

NEWTON had reeds opgemerkt, dat in een grooten teleskoop de sterren niet flonkeren, maar dat het beeld van de ster grooter schijnt dan het werkelijk is. Dit wordt het *verschijnsel van NEWTON* genoemd.

ARAGO heeft later, op grond zijner waarnemingen, deze opmerking onjuist genoemd; maar de kijkers, welke hij gebruikte, waren te klein.

NEWTON zelf heeft het verschijnsel juist verklaard en met het oog op het bovenstaande is het gemakkelijk in te zien, dat het moet plaats grijpen. Door de pupil van het oog vangen wij slechts een klein deel van den stralenbundel op, terwijl de wijde opening van den kijker een grooten bundel lichtstralen onderschept, waarin tal van maxima en minima van lichtsterkte voorkomen. Hetgeen wij door het oculair waarnemen, is de som van al deze maxima en minima, en die zal binnen de grenzen van ons gezichtsvermogen standvastig zijn. De verschillende punten met de sneltrillende beweging vormen een beeld van de ster, dat door de uitslagen buiten het werkelijke beeld grooter is dan dit. In een grooten kijker doen de sterren zich als ronde schijven voor, waarvan de straal de amplitudo der trillende beweging is; volgens opgaven bedraagt deze van 4 tot 7 sekonden.

Aangezien nu in een grooten kijker de sterren geen veranderingen in helderheid vertoonen, — hetgeen mede voor elke kleur afzonderlijk geldt, — zullen zij ook aan geen kleurverandering onderhevig zijn.

In 1852 heeft ARAGO een theorie omtrent de scintillatie ontworpen,

welke grooten opgang maakte en algemeen aangenomen werd. De grondgedachte was, dat de lichtstralen, die rechts in den kijker vielen, een anderen toestand in de atmosfeer hadden doorloopen, dan die, welke links invielen, zoodat door interferentie bijvoorbeeld de roode stralen van links en rechts elkander juist ophieven, terwijl een oogenblik later de groene stralen elkander vernietigden, enz. MOIGNO en EXNER hebben de onjuistheid van deze verklaring door proeven aangetoond. Maar zij is reeds dadelijk te verwerpen, omdat zij, zooals PLATEAU opmerkte, niet in staat is te verklaren, waarom de sterren bij het zenith niet, die bij den horizon wel met kleuren flonkeren. Bovendien zou het volgens de theorie van ARAGO onverschillig zijn, of de lichtstralen vertikaal of horizontaal door den dampkring gingen. Dit is in werkelijkheid niet het geval, want in horizontale richting is  $1\frac{1}{2}$  geographische mijl voldoende om kleurveranderingen te doen ontstaan, terwijl in vertikale richting de geheele hoogte van den dampkring nog niet voldoende is.

Men heeft verschillende toestellen bedacht, om het flonkeren duidelijk waar te nemen en het aantal kleurveranderingen per minuut te kunnen tellen. Deze dragen den naam van *scintillometers*. De waarnemingen, met deze toestellen gedaan, hebben evenwel voor de kennis van het verschijnsel weinig waarde, daar de verkregen getallen geen natuurkundige beteekenis hebben.

ARAGO heeft de vraag opgeworpen, of de scintillatie van een zelfde ster door verschillende waarnemers gelijkelijk gezien wordt. Niet alleen dat het verschijnsel door iederen waarnemer anders gezien wordt, maar bovendien is het voor elk oog verschillend. De beide bundels toch, die ieder der oogen bereiken, hebben verschillende wegen door den dampkring afgelegd en zullen dus niet altijd te gelijk hun maximum en hun minimum bereiken.

MONTIGNY heeft met zijn scintillometer talloze bepalingen omtrent het flonkeren der sterren gedaan en de verkregen uitkomsten met andere weerkundige gegevens vergeleken. Hieruit heeft hij onder anderen het volgende afgeleid: Bij koude schijnen de kleuren levendiger en veelvuldiger dan bij warmte. Het flonkeren is sterker in den winter dan in den zomer en het is sterker bij regen of bij aanstaanden regen dan bij droogte. Bij droogte is de scintillatie in de lente en in den herfst even sterk, maar bij regen in de lente sterker dan in den herfst. Hoe grooter de relatieve vochtigheidstoestand der lucht is, des te sterker is het flonkeren. Den grootsten invloed op de levendigheid

van het flonkeren oefent de hoeveelheid water in den dampkring uit, hetzij het er als damp, regen of sneeuw in voorkomt. MONTIGNY houdt het flonkeren der sterren als een zeker middel om het weer te voorspellen; bijvoorbeeld zal sterk flonkeren in den winter op regen wijzen. WEBER beweert daarentegen, dat hij bij de grootste oplettendheid nooit eenig verband tusschen beiden heeft kunnen vinden.

Volgens BRANDES zal een geheel rustig, gelijkmatig schijnen der sterren bij helderen hemel een voorbode zijn van storm en regen. De zeelieden beschouwen het flonkeren als een voorbode van ruw weer; terwijl ten slotte HUMBOLDT aangeeft, dat de sterren in warme gewesten voor het begin van den regenmoesson sterk flonkeren.

Volgens ARAGO, FORBES en anderen wordt de sterkte van het flonkeren der sterren door de aanwezigheid van poollicht zeer vermeerderd, wat evenwel door ARGELANDER wordt tegengesproken. Mij is het dikwijls opgevallen, dat de sterren in de richting van het poollicht bizonder sterk flonkerden en zeer snel van kleur veranderden. Het verschijnen van poollicht wordt dikwijls door sterke magnetische storingen vergezeld, en nu heeft MONTIGNY opgemerkt, dat als er een magnetische storing plaats greep, een plotselinge vermeerdering van scintillatie merkbaar was. Het laatste verband wordt duidelijker, als men volgens SECCHI aanneemt, dat de magnetische storingen, die niet door poollicht veroorzaakt worden, door groote atmosferische bewegingen, vooral cyclonen, ontstaan.

De donkere punten in het verschijnsel van MARIUS verplaatsen zich in een bepaalde richting, en reeds ARAGO heeft aangetoond, dat deze met de windrichting overeenkomt. Dit laat zich gemakkelijk verklaren, want de plaatsen der atmosfeer, die de stralen doen divergeeren, zullen zich in de richting van den wind verplaatsen, bijgevolg ook de door hen verspreide stralenbundels. Ditzelfde geldt eveneens voor de heldere punten in het verschijnsel van MARIUS.

Beschouwt men een flonkerende ster door een spectroscop, dan hebben op een zelfden oogenblik, zooals MONTIGNY heeft opgemerkt, de verschillende deelen van het spectrum een zeer verschillenden graad van helderheid. Nu heeft verder WOLF gevonden, dat in het algemeen de helderheid-maxima zich in een bepaalde richting bewegen, hetzij van het rood naar het violet of omgekeerd. Heeft men bovendien door een cylinderlens het spectrum eenige breedte gegeven, zoo loopen de maxima en minima in een bepaalde richting over het spectrum heen. Dit wordt op dezelfde wijze als de waarneming van ARAGO verklaard.

De convergeerende plaats in de lucht snijdt, — terwijl zij den algemeenen luchtstroom volgende, door de gescheiden kleurenbundels gaat, — eerst het rood en eindelijk het violet of omgekeerd, zoodat in het spectrum van de ster een maximum van licht van rood naar violet of omgekeerd zal gaan.

RESPIGHI heeft opgemerkt, dat bij windstilte de lichtmaxima en minima in de spectra van oostelijke, dat zijn de opgaande sterren, van het violette naar het roode einde van het spectrum gaan en bij de westelijke, dus de dalende sterren, omgekeerd. Hij heeft dit terecht uit de aswenteling der aarde verklaard.

Richt men een grooten kijker op den rand van de zon, dan vindt men twee plaatsen, waar de golvingen van den omtrek zeer sterk zijn. Deze punten liggen tegenover elkander en de punten, die  $90^\circ$  er van verwijderd liggen, zijn volkomen in rust. De richting der lijn, door de twee laatstgenoemde punten gaande, komt, volgens EXNER, bij sterken wind met de windrichting overeen. Bij zwakken wind moet men ook de schijnbare beweging der zon in rekening brengen.

---