

# OVER DEN RADIOMETER VAN CROOKES.

DOOR

Mr. J. A. VAN EIJK.

In eene zitting van de *Royal Society* te Londen van 11 December 1874 deelde de bekende scheikundige CROOKES den uitslag mede van een aantal onderzoekingen door hem in het werk gesteld aangaande de werking van twee lichamen op elkander, die onderling in temperatuur verschillen. <sup>1</sup> Tot die onderzoekingen had hij aanleiding gevonden bij zijn pogen om het atoomgewicht van het thallium te bepalen, en eene opmerking, door BENNETT in 1792 gemaakt, dat lichte lichamen, zeer gevoelig opgehangen<sup>2</sup>, door warme voorwerpen worden aangetrokken; een verschijnsel door genoemden geleerde aan luchtstrooming toegeschreven.

CROOKES stelde zich ten taak dit punt op alle mogelijke wijzen, zoowel in met lucht gevulde, als in luchtledige ruimten te onderzoeken. Hij bediende zich daarbij voornamelijk van een balansje, uit een dun stroohalmpje bestaande, aan beide einden voorzien van een dun schijfje vlierpit, en ter vermindering van alle luchtstroomingen met een draad vloszijde in een glazen klok opgehangen. De klok konde door een kwik-

---

<sup>1</sup> De verhandeling van CROOKES, door afbeeldingen vergezeld, is te vinden en de *Proceedings of the Royal Society*, 1874, p. 501. — Eene korte schets komt voor in het Wetensch. Bijblad van dit Tijdschrift, 1874, blz. 77. Zie voorts ook bl. 41 en 50 van dezen jaargang.

luchtpomp allengs van lucht worden bevrijd, en langs scheikundigen weg zoo luchtledig worden gemaakt, dat de vonk van een inductieklos van RUHMKORFF niet meer oversprong. Als warmtebronnen bediende CROOKES zich van de spiritusvlam, van een glazen bol met heet water gevuld, en van een platinadraad, bevestigd in denzelfden toestel, waarin het balansje was opgehangen. Door een galvanischen-stroom werd de platinadraad verhit. De andere warmtebronnen werden op minder of meerder afstand aan de buitenzijde geplaatst.

Terwijl bij het nemen der proef in dampkringslucht van de gewone dichtheid aantrekking naar de warmtebron wordt waargenomen, vermindert deze naarmate de lucht ijler wordt gemaakt, en gaat op zeker punt van verdunning over in terugstooting. Diezelfde verschijnsels ongeveer doen zich voor als de vlierpitschijfjes worden vervangen door anderen van ivoor, koper, platina, zilver, bismuth, mica, kool enz.

Door het bijbrengen van een stuk ijs vinden de genoemde verschijnsels in omgekeerde orde plaats.

Zonder in verdere bijzonderheden te treden, zij het genoeg de volgende uitkomsten zijner proefnemingen mede te deelen.

“In dampkringslucht wordt het balletje *aangetrokken* als de nabijgebrachte metaal massa warmer is dan het balletje, en *afgestooten* als de metaal massa kouder is.

In het luchtledige daarentegen brengt de koudere metaal massa *aantrekking*, en de warmere *afstooting* te weeg.”

Bij een zeker graad van luchtverdunning ontstaat er een toestand, waarin noch aantrekking, noch afstooting plaats grijpt. Dat onzijdige punt hangt af van het verband tusschen de drukking der lucht, de soortelijke zwaarte van het proefschijfje, en de sterkte van uitstraling. Naarmate het schijfje soortelijk lichter is, moet de luchtdrukking geringer zijn om het onzijdige punt te verkrijgen. Eene sterke verdunning der lucht wordt dus gevorderd voor het vlierpitschijfje; eene mindere voor platina.

Bij zeker graad van luchtverdunning kan het vlierpitschijfje worden afgestooten, en het schijfje van platina worden aangetrokken.

Aan welke oorzaak zijn deze zonderlinge verschijnsels toe te schrijven?

CROOKES schrijft ze toe aan de uitstraling zelve, waarvan de trillingen het vrijzwevende voorwerp treffen.

Deze meening is echter weersproken, onder anderen door prof. OSBORNE REYNOLDS, die de genoemde verschijnsels niet aan de onmiddellijke werking der warmte- en lichtstralen toeschrijft, maar wel aan uitdam-

ping en verdichting van eenig vocht op de oppervlakte der bewegelijke schijfjes. "Als de warmtestralen", zegt REIJNOLDS, "op het vlierpittenschijfje vallen, wordt de temperatuur verhoogd, waardoor uitdamping van het vocht in het schijfje wordt teweeg gebracht, die het van de warmtebron doet terugwijken. Die uitdamping is het sterkst op het schijfje in de nabijheid der warmtebron geplaatst, en brengt afstooting te weeg, totdat het vermogen van afstooting voor beide schijfjes gelijk is geworden. Door het bijhouden van een stuk ijs, wordt de temperatuur van het naastbij zijnde schijfje lager, de waterdamp dien tengevolge verdicht, de terugwerkende kracht verminderd, en het schijfje nadert het ijs.<sup>1</sup>

CROOKES heeft deze meening van REIJNOLDS tegengesproken, en een aantal proeven genomen, om te bewijzen dat waterdamp geen oorzaak van de beweging is.

Om niet te wijdloopig te worden, vermeld ik er slechts eene.

Een staafje aluminium werd als een balansje opgehangen aan een' zeer dunnen platinadraad, waarvan het ander einde bevestigd was aan den top van een glasbuis, gesoldeerd aan een bol van moeielijk smeltbaar glas. Twee dagen werden besteed om de lucht uit te pompen, en de geheele toestel in dat tijdsverloop herhaaldelijk tot aan de roodgloeihitte verwarmd. Men verkreeg alzoo een ijdel, waardoor de elektrische vonk niet konde doorgaan. In dezen toestand werd hetzelfde verschijnsel als bij de vorige proefnemingen waargenomen; dat name-lijk de warmtestralen eener kaars afstooting, en een bijgehouden stuk ijs aantrekking te weeg brengt.

CROOKES gelooft met deze en dergelijke proeven bewezen te hebben, dat waterdamp geene oorzaak tot aantrekking en afstooting geeft.<sup>2</sup>

Onder zijne proeven nam CROOKES er ook een met een staafje van vlierpit gesneden, waarvan het eene einde met roetzwart was bedekt. Door donkere warmte-uitstraling werden zoowel het witte als zwarte einde met gelijke kracht teruggestooten, maar het zwartgemaakte veel sterker, als op beiden lichtstralen vielen.

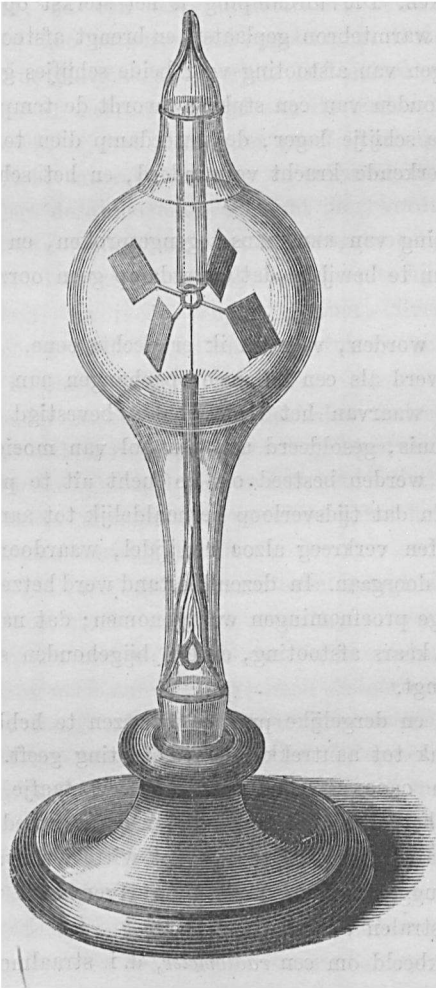
Dit bracht C. tot het denkbeeld om een *radiometer*, d. i. straalmeter,

<sup>1</sup> REIJNOLDS, On the forces caused by Evaporation enz. *Proc. Royal Soc.* 1874, p. 406.

<sup>2</sup> Zie *Les Mondes*, 1876, Januari, blz. 24, waarin uitvoerige mededeelingen voorkomen.

te vervaardigen, waarvan onderstaande afbeelding de gedaante en inrichting op de halve ware grootte voorstelt.

Een dun geblazen glazen bol is aan de beide uiteinden verlengd of uitgetrokken. Uit het onderste verlengde verheft zich een glazen buisje,



waarin van boven een fijne naaiaald is bevestigd. Op de punt dezer naald rust een molentje met 4 kruisarmen, van zeer dun aluminium of platina gemaakt. Aan het uiteinde van ieder armpje is een vierkant blaadje gehecht uit eenig zeer dun geslagen metaal of mica vervaardigd. Eene zijde van elk blaadje is in opvolgende orde zwart gemaakt, zoodat tegenover ieder zwart vlak een glimmend staat. Om het afvallen van het molentje te voorkomen, is, van boven uit, een dun glazen buisje naar beneden toe zoover verlengd, dat het molentje wel vrijelijk kan rondwentelen, maar bij het schuins houden of omkeeren van het toestelletje niet van de punt der naald kan

afglijden Een buisje boven aan het toestelletje naar buiten uitstekende, geeft gelegenheid om in verbinding met een kwikluchtpomp gesteld te worden. Na verwijdering der lucht wordt het buisje hermetisch toegesmolten. Het eenigszins spits toeloopende onderende van

het toestelletje wordt bij het gebruik in een met lood bezwaard houten voetje gestoken, zooals de afbeelding aantoont.

In het begin van de maand Februari l.l. werd ik aangenaam ver-rast, door een dergelijken radiometer, door GEISSLER te Bonn vervaardigd, van mijnen geachten vriend, den Heer W. G. A. DIEDERICHS, bij zijn terugkeer van een uitstapje naar den Rijn, ten geschenke te ontvangen, en beijverden wij ons daarmede eenige proeven te nemen. Weinig tijd daarna kwam mijn geachte vriend, de Heer D. H. C. KISTEMAKER alhier, in 't bezit van een dergelijken radiometer van GEISSLER, geheel gelijk aan den mijnen, uitgezonderd dat de wickjes niet uit een metaal, maar uit mica bestaan. Wij besloten daarop de onderzoekingen gezamenlijk voort te zetten, om zoo mogelijk de oorzaak van het raadselachtige omwentelen der wickjes te leeren kennen.

Ik veroorloof mij onze bevindingen hier mede te deelen, in de hoop dat anderen daardoor zullen opgewekt worden, het resultaat hunner proefnemingen met dit merkwaardig toestelletje eveneens bekend te maken, en hunne denkbeelden mede te deelen.

Spoedig bemerkten wij, dat beide radiometers niet even gevoelig zijn, en die van den Heer KISTEMAKER den mijnen in bewegelijkheid overtreft. Of dit moet toegeschreven worden aan grootere luchtverduunning, aan de mica- in plaats van de aluminiumblaadjes, of wel aan fijnere bewerking van den eerstgenoemden, is niet uit te maken.

Dat de stof, waaruit de blaadjes vervaardigd zijn, invloed op de beweging uitoefent, is door CROOKES in een schrijven aan den Heer HUTCHINSON erkend, in het tijdschrift *Nature*, 24 febr. 1876, waar hij mededeelt van metaalradiometers afgezien, en die met vlierpit vervangen te hebben, omdat de eerste onjuiste uitkomsten geven bij het uitstralen of opslurpen van warmte. Mijne poging om een radiometer met vlierpitten te Londen te bekomen, is met geen goed gevolg bekroond.

Groote voorzorg is bij het doen van proefnemingen noodig om alle storende invloeden van warmte en licht te voorkomen. Wij omgaven daarom de radiometers met zwarte kartonnen kokers, alleen geopend ter plaatse waar wij de warmte- of lichtbron wilden aanwenden. Op 12 Februari bij donkere sneeuwvlucht deed mijn radiometer op 40 c. m. van het raam in eene verwarmde kamer van 16° C. 3 omwentelingen in de minuut. Door het tusschenstellen van een zwart scherm hield de omdraaiing op, maar eene langzame omwenteling vond weder plaats, als het daglicht door een kleinen holspiegel (zoogenaamden scheerspie-

gel) schuins op de wickjes werd geworpen. Op 2,5 m. afstand van het raam bleef de toestel in volkomen rust.

Ook heden, 3 April, terwijl ik dit schrijf, nam ik weder hetzelfde verschijnsel waar, bij eene buitentemperatuur van 8° C. en eene kamerwarmte van 15° C. Op een afstand van 2,5 m. van een groot raam op het N. gelegen, was er geene beweging. Door het werpen van licht met eenen vlakken spiegel op de achterzijde van den radiometer, ontstond langzame omwenteling. Het opwerpen van licht door den spiegel veroorzaakte geene draaiing, als de radiometer door het kartonnen scherm aan het diffuse licht was onttrokken. Op 40 cm. van het raam geplaatst, maakte de radiometer ten 11 u. v. m. 2 omwentelingen per minuut, en met den koker omgeven, door den spiegel aan de achterzijde belicht, een kwartslag per minuut.

Om den invloed van het elektrische licht te beproeven werd de radiometer op een afstand van 1,2 m. van de overspringende vonken van een Holtzsche elektriseermachine gebracht, en op ééne zijde na door schermen afgesloten. De wickjes stonden stil, maar als men door een kleinen holspiegel de vonken op de zwarte blaadjes onder een' hoek van 45° liet terugkaatsen, ontstond eene zeer langzame omwenteling. Proeven met verlichte Geisslersche buizen, in verbinding met eene kleine inductieklos, veroorzaakten alleen een heen en wedergaande schommeling, blijkbaar door elektrische verdeeling. Bij de vermelde en volgende proefnemingen, draaien de zwart gemaakte zijden van de warmte- of lichtbron af, en de glimmende zijden er naar toe. Ik noem dit positieve (+) draaiing, ter onderscheiding van eene andere in omgekeerde richting, die ik de negatieve (—) zal noemen, waarvan hier onder wordt gesproken.

Met kaarslicht verkregen wij de volgende uitkomsten. De vlam eener stearinekaars op 12 cm. van den radiometer geplaatst, veroorzaakte 4 omwentelingen, op 24 cm. afstand 2, en op 30 cm. afstand 1,3 omwenteling per minuut, als de radiometer in den zwarten koker tegen den invloed van het diffuse daglicht was beveiligd. Dit resultaat komt zeer goed overeen met de bekende wet van het afnemen der sterkte van warmte en licht in reden der vierkanten van de afstanden. Door het wegnemen van den koker werd de snelheid van omwenteling groot; een verschijnsel, dat ik herhaaldelijk heb waargenomen en hetwelk aantoonst, dat, ofschoon de invloed van het daglicht op zich zelf te gering is om beweging voort te brengen, het toch die van het kaarslicht ondez-

steunt. Twee kaarsen van dezelfde soort vlak naast elkander geplaatst gaven juist het dubbele getal omwentelingen van eene enkele op denzelfden afstand gesteld.

Het plaatsen van twee gelijke kaarsen op denzelfden afstand van den radiometer in tegengestelde richting, geeft hetzelfde resultaat als twee naast elkander gestelde. De radiometer in het volle zonlicht geplaatst deed 26 omwentelingen per minuut. Door het tusschenstellen van een geel glas verminderde dit getal tot 12 omwentelingen.

oranje glas . . . . .	9	»
matig donker robijnrood . .	7	»
blauw . . . . .	5,5	»
groen . . . . .	2,25	»

Herhaaldelijk hebben wij, onder anderen op 7 April 11. des middags ten 12 uur, beproefd, omdraaiing te verkrijgen, door den radiometer achtereenvolgens in de verschillende kleuren van het zonnespectrum te brengen. Het spectrum werd verkregen door de heldere zonnestraal, met een heliostaat in de donkere kamer door een prisma van zwavelkoolstof te leiden.

In het tijdschrift *Nature* van 6 April 1.1. wordt vermeld dat CROOKES in de maanden Juli, Augustus en September 1.1. met zijn zeer gevoelig spiegelbalansje met zwarte vlierpitblaadjes, zeer duidelijke bewijzen van terugstooting verkreeg. De afwijking bedroeg voor het

ultra rood. . . . .	100
voor het uiterste rood .	85
rood . . . . .	73
oranje . . . . .	66
geel . . . . .	57
groen. . . . .	41
blauw . . . . .	22
indigo . . . . .	6,5
violet . . . . .	6
ultra violet. . . . .	5

zijner schaaldeelen. Maar dergelijke hoogst geringe invloeden kunnen den radiometer niet in beweging brengen; en dit des te minder als de blaadjes der wieken niet uit zwart gemaakte vlierpit, maar uit zwart gemaakt metaal of mica bestaan. CROOKES toch bericht (zie *Nature*, 6 April), dat lamp- of kaarslicht op zwart gemaakte vlierpit eene afwijking geeft van 100 schaaldeelen tegen 18 d. voor zwart gemaakt zilver.

Als de radiometer horizontaal werd gehouden, en de zonnestraal door een glaslens van 60 cM. focus op de zwarte blaadjes werd geconcentreerd, deden de wickjes in het verticaal vlak zoo vele omwentelingen dat zij niet meer te onderscheiden waren. Door den zonnestraal op de glimmende vlakjes te werpen, hield de beweging op. Hetzelfde verschijnsel vindt plaats bij het bezigen van eene petroleumvlam. In beide gevallen maakten wij gebruik van eene lens van groote doorsnede en eenen brandpuntsafstand van 60—70 cM. Met eene kleinere lens gelukte het niet. Bij den gewonen stand van den radiometer verkrijgt men gelijke uitkomst. Het op 2 cM. afstand houden van eenen zwartbruinen koperen ketel met kokend water gevuld, gaf eene zeer trage halve omwenteling per minuut. Door het begieten van den bol uit eene pipette met water van 50° C., werd eene langzame + draaiing teweeggebracht.

Het is ons niet gelukt omwentelingen te verkrijgen door het nabijhouden of opleggen van eene warme hand op den bol, tenzij die vooraf tot 0° was verkoeld.

Het op een afstand van 6—10 cM. houden van een matig verwarmden pook, veroorzaakte eene langzame omdraaiing. Veel sterker beweging verschaftte het gloeiende puntje van een uitgeblazen lucifer, op 10—15 cM. van den radiometer gehouden. Zelfs als de radiometer door een klok van dik glas werd omgeven, waarbij eene luchtlaag van 3 cM. tusschen beiden overbleef, bracht een dergelijk gloeiend puntje van een lucifer regelmatige omwenteling teweeg. De vlam eener kaars leverde op grooteren afstand hetzelfde resultaat op.

Als tusschen den radiometer en de warmte- of lichtbron een glazen bakje met sterke oplossing van aluin en water werd geschoven, hield de omdraaiing op. Door de tusschenlaag, 2 cM. dik, met eene dergelijke van schoon water te vervangen, werd de beweging schier geheel opgeheven.

Eene dergelijke laag van zwavelkoolstof hield de beweging zeer weinig tegen, bij het bezigen van de vlam eener petroleumlamp of stearinekaars. Maar het oplossen van jodium in die vloeistof verzwakte eenigzins de uitwerking van de petroleumvlam, veel meer die van de stearinekaars, en het meest die van de spiritusvlam.

Dewijl het ons van belang voorkwam den invloed van verkoeling op den bol des radiometers te onderzoeken, stelden wij daartoe het volgende te werk. Het bleek ons spoedig dat de radiometer van den



Heer KISTEMAKER daarvoor gevoeliger was dan de mijne, die, door aanwending van koude, slechts een vierde slag heen en weder schommelde, maar tot geene geheele omwenteling was te brengen, waarom die ter zijde werd gezet.

Dit heen en weder draaien wordt ook dikwerf bij proefnemingen met zwakke warmte- of lichtbronnen waargenomen. Een gedeeltelijke omdraaiing, door stilstand gevolgd, kan aan te zwakke impulsie op het zwarte schijfje, ter overwinning van de wrijving op de punt van de naald worden toegeschreven, maar de soms vrij snelle heen en weder draaiing, binnen den grens van een kwartslag, moet eene andere oorzaak hebben, en wel eene tegenstrijdige werking in den glasbol.

Bij schemerlicht des avonds ten 6 ure, en eene kamertemperatuur van  $10^{\circ}$  C. werd de radiometer van den Heer KISTEMAKER uit eene pipette overgoten met water van  $1^{\circ}$  C., waardoor eene — omdraaiing, alzoo in tegengestelde richting der vorig vermeldde werd te weeg gebracht.

Dezelfde radiometer, geplaatst in eene kamer van  $7^{\circ}$  C., bleef met sneeuw en ijs omgeven rustig stilstaan.

Een koud mengsel van sneeuw en zout, teekenende  $-10^{\circ}$ — $13^{\circ}$  C., ter eene zijde van den bol gehouden, bracht evenmin draaiing te weeg.

Maar nadat de radiometer gedurende 20 minuten in een verwarmd lokaal van  $19^{\circ}$  C. had vertoefd, en daarna, in het koude vertrek teruggebracht, langs het midden van den bol met het koude mengsel van  $-13^{\circ}$  C. was belegd, ontstond gedurende 7 minuten eene negatieve omdraaiing met twee omwentelingen per minuut.

Een versch koud mengsel vermeerderde gedurende een' korten tijd de negatieve omdraaiingen tot 4 per minuut. Daarop volgde stilstand gedurende 2 minuten, waarna de — omwentelingen op nieuw begonnen. Door het bijbrengen van eene aangestoken stearinekaars, op 15 cM. afstand van het onbedekte gedeelte van den bol, werd de omdraaiing tegengehouden, maar werd + als de vlam op 8 cM. afstand werd genaderd. Door het verwijderen van de kaars trad weder eene — omdraaiing op en hield ongeveer 8 minuten aan.

Eveneens werd eene — omwenteling van het molentje verkregen, door den bol met een dubbel lapje linnen gordelswijze te bekleeden, en daarop zwavel ether te gieten. Deze omwentelingen hielden ongeveer 8 minuten aan.

Eenmaal werd eene langzame negatieve omdraaiing verkregen door in het begin van Maart l.l. den radiometer in de open lucht bij vrij

koud weder en harden wind aan het volle maanlicht bloot te stellen.

De negatieve omwentelingen zijn in geenen deele zoo gemakkelijk regelmatig als de positieve te verkrijgen. Er doen zich daarbij onregelmatige verschijnsels voor, waarvan ik de reden niet heb kunnen opsporen. Te vergeefs hebben wij ook getracht, het punt of temperatuurverschil tusschen den bol en de aangewende koude te bepalen, waarbij de positieve in eene negatieve draaiing overgaat.

Om de gevoeligheid van den radiometer met eene uitmuntende fransche thermoëlektrische zuil voor den invloed eener warmte- en lichtbron te vergelijken, namen wij eenige proeven, waarbij de volgende resultaten werden verkregen:

Op den 10<sup>den</sup> April 11. werd een aangestoken stearinekaars op gelijken afstand van den radiometer en de thermoëlektrische zuil geplaatst, des avonds ten half zeven ure, bij zwak daglicht.

Op 12 cM. afstand deed de radiometer	Afwijking v. d. galvanometer
1 $\frac{3}{4}$ omw. per minuut.	1 $\frac{1}{2}$ °
» 6 » » 6 $\frac{3}{4}$ » » »	6°

Bij eene andere proefneming was de uitkomst:

Op 12 cM. afstand deed de radiometer 1 $\frac{3}{4}$ omw.	Therm. zuil 1 $\frac{1}{2}$ ° Afw.
» 6 » » » » 7 $\frac{1}{4}$ »	» » 7° »

Op 11 April ten 10  $\frac{1}{2}$  ure v. m. door het diffuse licht van een bewolkten hemel de radiometer 2  $\frac{1}{4}$  omw. per minuut. Therm. zuil 2° Afw.

Hieruit blijkt dat de gevoeligheid van den radiometer voor lichte warmtestralen aanmerkelijk is, en vrij wel overeenkomt met de uitkomsten door de thermoëlektrische zuil gegeven, die zonder conischen koker werd gebezigd. Dat de radiometer voor zwakke donkere warmtestralen ongevoelig blijft, is natuurlijk aan het glas, 't geen zeer athermaan is; toe te schrijven. Ware de bol niet zoo dun van glas, dan zoude geen donkere warmtestraal van ongeveer 100° C. worden doorgelaten.

Als lichtmeter kan de radiometer goede diensten bewijzen, en is in zooverre de benaming van *lichtmolen*, daaraan gegeven, niet onjuist. Het werktuigje is, zooals CROOKES, een bekend photograaf, zelf heeft opgemerkt, voor photografen zeer nuttig, om bij veranderde lichtsterkte den duur van belichting met juistheid te meten. Is b.v. gebleken dat 2 omwentelingen der wickjes voldoende zijn om een goed beeld te leveren, dan moet, als men den stand van den radiometer

niet heeft veranderd, de tijd van belichting worden vermeerderd of verminderd, totdat twee omwentelingen zijn verkregen.

Welke is de oorzaak dezer verschijnsels? Moet men deze beschouwen als het gevolg eener terugstootende werking van de warmte- of lichttrillingen zelve op de stof, of wel als veroorzaakt door lucht- of dampstreaming door de warmte in het toestelletje te weeg gebracht? Ik heb reeds vermeld dat OSBORN REYNOLDS hen aan de werking van eenig vocht in den toestel toeschrijft.

In een uitvoerig opstel tracht Dr. NEESEN <sup>1</sup> te bewijzen, dat de beweging aan luchtstroomen moet worden toegeschreven, en wel op grond der volgende proefnemingen. De daarbij gebezigde toestel bestond uit een blikken of dun ijzeren kastje. In eene der zijden was eene opening gemaakt, met eene glasplaat gesloten, waardoor de warmte- of lichtstralen naar binnen konden dringen.

Het balansje bestond uit een reepje bordpapier of hout, opgehangen aan een cocondraad. Het deksel van het kastje had een gleuf, waarin een plaatje, waaraan de cocondraad was bevestigd, naar of van de glasplaat konde geschoven worden. Op het midden van het balansje was een klein spiegeltje bevestigd, waarvan de afwijkingen door een cathetometer konden worden waargenomen. Als warmte- en lichtbron diende een petroleumlamp, waarvan de stralen onmiddellijk of door eene bolle lens vereenigd op een der uiteinden van het balansje konden geworpen worden.

Als de toestel met dampkringslucht gevuld aan de stralen der lamp werd blootgesteld, bleek het duidelijk dat er luchtstreaming ontstond; want naarmate het balansje dichter of verder van het glas werd geschoven, nam men andere verschijnsels waar. Als het balansje dicht bij het glas, of omgekeerd vlak bij den achterwand werd geschoven, vond er schier geene afwijking plaats, maar integendeel de grootste, als het balansje ongeveer in het midden tusschen beide was geplaatst.

Hieruit volgt dat de dikte der luchtlaag tusschen het balansje en de wanden grooten invloed op het bedrag der afwijking uitoefent. Het was blijkbaar dat de beweging van het spiegeltje altijd plaats greep in de richting van den kouderen luchtstroom. Er ontstaan eveneens luchtstreamingen in tegengestelden zin, dat is van het glas naar het

<sup>1</sup> POGGENDORFF'S *Ann.* 1875, No. 9 bl. 144 en vlgg.

balansje, als dit warmer wordt dan de omringende lucht; zij werken de eerstgenoemden tegen, en des te sterker, naarmate de lucht ijler en daarom minder verwarmd wordt. Maar dewijl het balansje zelf om die reden spoediger warmte opneemt, krijgt de luchtstrooming van het glas af de overhand, en doet het balansje in de omgekeerde richting afwijken. De aard der stof, waaruit het balansje is vervaardigd, en daarmede overeenstemmende snellere of tragere verwarming, geven aanleiding tot de ongelijkheid van het onzijdige punt door CROOKES bij luchtverduunning waargenomen.

Volgens Dr. NERSEN wordt in het bovengemelde de verklaring gevonden van het verschijnsel, dat warmte in dampkringslucht eene aantrekkingsking, maar in het ijdel eene afstooting schijnt te veroorzaken.

Ook G. JOHNSTONE STONEY stelde zich in een opstel, voorkomende in het *Phil. Magazine*, 3 Maart 1876, ten taak aan te toonen, dat men de verschijnsels, door den radiometer geleverd, niet aan de onmiddellijke werking van warmte of licht op de wickjes moet toeschrijven, maar als gevolg van de inwerking der warmte op de lucht- en andere stofdeeltjes in den bol van den radiometer moet aanmerken.

Volgens dien geleerde kan men aannemen, dat er eene dampdrukking van 0,1 mm. in den bol blijft bestaan, veroorzaakt door achtergebleven lucht, kwikdamp, enz., nadat de bol is uitgepompt. De stralen van het daglicht en van eene kaars, die door het glas kunnen dringen, verwarmen het zwarte blaadje meer dan het glas, tot een bedrag van 0,1° C., zooals de schrijver aanneemt. Als de temperatuur van het glas 15° C. bedraagt, is die van het blaadje 15,1° C. In den geheel bol bestaat wel eene beweging van luchtdeeltjes, maar zij is toch sterker vóór het blaadje dan er achter, en veroorzaakt aldaar eene meerdere drukking, omdat het verwarmde blaadje zoowel tot de hoeveelheid als tot de richting bijdraagt.

De minder verwarmde, d. i. tragere luchtdeeltjes komen in aanraking met het schijfje, maar worden met vermeerderde snelheid teruggeworpen, want tusschen den glaswand en het blaadje is niet de vereischte ruimte, om een volkomen voortschrijding te veroorloven.

Een gedeelte van de luchtmoleculen (de schrijver neemt daarvoor twee derden van de aanwezige in den glasbol aan) verkeert in dien toestand en oefent eene zekere drukking op het zwarte blaadje uit, omdat daarachter geen tegenwicht bestaat. Op deze hypothese voortredencende, komt de schrijver tot het besluit, dat er een overwicht van drukking

van 0,0000115 gram op de zwart gemaakte zijde bestaat, als deze  $0,1^{\circ}\text{C}$  warmer is dan het achtervlak van het schijfje en het glas, hetgeen zeer na overeenkomt met het bedrag van 0,00001, door CROOKES proefondervindelijk verkregen.<sup>1</sup>

De proefnemingen en beschouwingen van beide geleerden leveren gewis zeer krachtige argumenten op tegen de stelling van CROOKES. Maar, ofschoon ik zelf het er voor houde dat het omdraaien der wickjes in den radiometer aan de tusschenkomst van eene of andere middenstof in den bol moet worden toegeschreven, is daardoor, naar mijne bescheiden meening, geenszins het afdoend bewijs geleverd, dat de warmte- of lichtstraal geen mechanische werking op de blaadjes te weeg brengt. De proefneming van Dr. NEESEN in dampkringslucht toont overtuigend aan, dat luchtstreaming de oorzaak van de beweging is; maar zoude men niet kunnen vragen: of deze niet eene zwakke mechanische werking van de warmte belet, die zich alleen in het ijdél kan vertoonen en als afstooting openbaren, doch door de krachtige luchtstreaming in de met lucht gevulde ruimte wordt overheerscht, en daardoor eene schijnbare aantrekking te zien geeft? De warmte zoude dan alleen eene terugstootende werking behouden, door eenige geleerden daaraan toegeschreven.

Het komt mij voor, dat de beschouwing van STONEY ook tot eenige bedenking aanleiding geeft. Deze gaat bij zijne berekening van de stelling uit, dat er in het beste vacuum, door den mensch te verkrijgen, nog eene spanning van gas enz. van 0,1 mm. plaats vindt, terwijl volgens REGNAULT de spanning van kwikdamp bij  $0^{\circ}\text{C}$ . slechts 0,02 mm. en bij  $50^{\circ}\text{C}$ . 0,11 mm. bedraagt. Verder stelt de schrijver het temperatuursverschil op  $0,1^{\circ}\text{C}$ . tusschen het zwarte schijfje en het glas.<sup>2</sup>

Ik geloof gaarne, dat de spanning van 0,1 mm. in den radiometer bestaat. Maar zou CROOKES door zijne geroemde Sprengelsche luchtpomp

<sup>1</sup> Zie het opstel "Weighing a beam of Light" in de *Engineering*, van 18 Feb. 1876, en een opstel van DELAHAYE, onder den titel van "Le poids de la lumière", in de *Revue industrielle*, 1876.

<sup>2</sup> Men zie verder een opstel van STONEY, in de *Phil. Magazine*, 1868, blz. 132: "On the internal motions of gases" etc., waarin de schrijver als waarschijnlijk aanneemt, dat in het zoogenaamde ijdél van onze beste luchtpompen nog een honderdmillioen maal duizendmillioen luchtmoleculen aanwezig zijn, zoo dicht op één gepakt, dat er 60 naast elkander komen in de golflengte van het oranje-licht, d. i.: in eene lengte van 0,000583 mm.

en verhitting niet een veel volmaakter ijdel dan van 0,1 mm. hebben verkregen in zijn toestel, waarin de galvanische vonk niet meer doordrong?

Een zoo volkomen ijdel geloof ik niet, dat in den radiometer bestaat, o. a. op grond van de heen- en weder-schommelingen in vele proefnemingen door ons waargenomen, die op het bestaan van tegenstrijdige luchtstroomen schijnen te wijzen.

De radiometer schijnt mij daarom toe niet gelijk gesteld te kunnen worden met den glastoestel in de gedaante van een' omgekeorden T, waarin een zeer gevoelig balansje was opgehangen, waarmede CROOKES vele proeven heeft genomen, en dien ten gevolge de berekening voor den radiometer niet toepasselijk te zijn op genoemden toestel.

Ik acht het daarom wenschelijk, dat het vraagstuk, of warmte- of lichtstralen onmiddellijke afstooting kunnen te weeg brengen, door bevoegde natuuronderzoekers onderzocht en bestudeerd worde met gevoeliger toestellen, in volmaakter toestand van luchtledigheid gebracht, dan de radiometers met metaal- en micablaadjes, en een graad van luchtverdunning, die ik (te recht of ten onrechte) geloof, dat niet tot de uiterste bereikbare grens is gebracht.

Intusschen moet men den radiometer van CROOKES als een zeer merkwaardig toestelletje beschouwen, hetgeen zijnen uitvinder tot eer verstrekt, en hem dank wijten voor zijne nauwkeurige onderzoekingen en opmerkingen, die gewis tot belangrijke resultaten voor de wetenschap zullen voeren.