

DE VERDEELING VAN DE WARMTE IN HET ZONNESPECTRUM

EN

DE BOLOMETER.

DOOR

Dr. J. CAMPERT.

Het werktuig, waarvan de naam boven dit opstel geschreven staat, zal aan de lezers van het »Wetenschappelijk Bijblad» bij name bekend zijn. In de volgende bladzijden zullen wij hen in de gelegenheid stellen de kennismaking inniger te doen worden, te meer omdat de uitkomsten met dit werktuig verkregen onder de belangrijkste van de laatste jaren behooren.

Om zich juist voor te stellen welk doel de maker van den Bolometer voor oogen had, zal het niet ongewenscht zijn het volgende in herinnering te brengen.

Vangen wij een bundel zonnestrallen op door een vlakken spiegel, die de stralen in horizontale richting terugkaatst in een donker gemaakt vertrek, waar zij, na door een nauwe spleet gedrongen te zijn, vallen op een glazen prisma, welks ribben evenwijdig aan de spleet gesteld zijn, dan zullen die stralen eene afwijking ondergaan in richting en daarbij verstrooid worden. De roode stralen worden het minst gebroken, dan volgen de oranje-stralen, de gele enz., en de violette stralen wijken het meest af van de richting die de witte zonnestrallen vóór de breking hadden. Er ontstaat een kleurenbeeld — een zonnenspectrum — waarin men kleuren van den regenboog onderscheidt. Het is niet alleen aan het oog dat deze stralen hun aanwezigheid ver-

raden; reeds WILLIAM HERSCHEL vond in 1800 dat, met een gevoeligen thermometer, zich de warmte-werking van de onderscheidene stralen laat aantoonen, en hij kwam tot de opmerkelijke ontdekking dat, buiten het zichtbare deel van het spectrum, zich stralen bevinden wier bestaan door den thermometer wordt aangewezen. Onafhankelijk hiervan werd deze uitkomst later, door MELLONI, met gevoeliger werktuigen bevestigd gevonden.

Denkt men zich de bovenbedoelde spleet, aangebracht in het luik van een donkere kamer, vertikaal gesteld en de ribben van het prisma daaraan evenwijdig, dan merkt men in het zonnenspectrum vertikale donkere lijnen op, die naar den ontdekker de strepen van FRAUNHOFER heeten.

De lichtsterkte in de verschillende deelen van het spectrum, zooals die zich aan het oog van den waarnemer voordoet, is zeer verschillend: de grootste lichtsterkte wordt waargenomen in het geel, een weinig voorbij de streep *D*. Dit wordt duidelijker door de beschouwing van fig. 1, waar de rechthoek *PQR* het zonnenspectrum voorstelt,

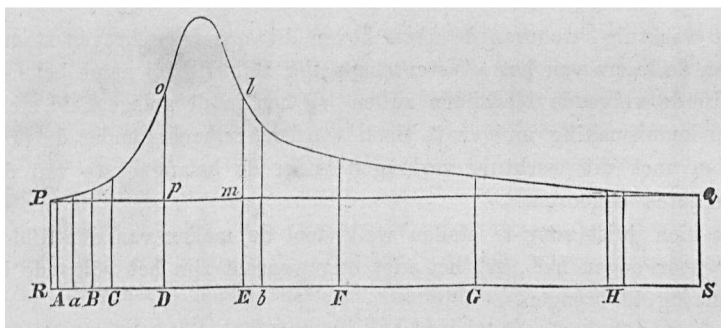


Fig. 1.

met de voornaamste strepen van FRAUNHOFER. Uit de verschillende punten van *PQ* zijn loodlijnen getrokken, wier lengte evenredig is genomen met de lichtsterkte, die het spectrum in het bedoelde punt vertoont. De kromme lijn *PolQ* door de uiteinden dezer loodlijnen getrokken doet gemakkelijk overzien, hoe de lichtsterkte door het geheele spectrum heen verloopt.

Op dezelfde wijze kan men een figuur construeeren door in de verschillende punten van het spectrum loodlijnen op te richten, wier lengte evenredig is met de warmte-hoeveelheden, door een opzettelijk

daarvoor ingerichten thermometer; in de verschillende punten van het spectrum gemeten. Deze figuur (fig. 2) doet zien dat uit MELLONI'S

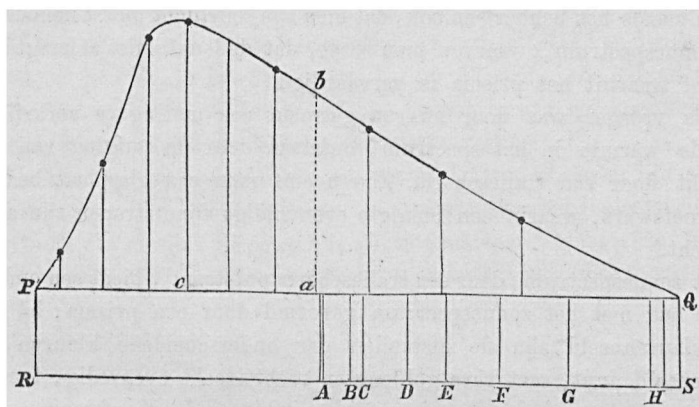


Fig. 2.

metingen blijkt, hoe buiten het zichtbare deel van het zonnenspectrum warmtestralen worden waargenomen.

In den rechthoek PQRS stelt A de Fraunhofersche streep voor in het rood, D die in het geel, H die in het violet. Links van A liggen derhalve stralen, die het oog niet voelt, maar de thermometer des te beter, want de warmtewerking dier stralen wordt het grootst een heel eind buiten het zichtbare deel van het spectrum.

Laat ons hier dadelijk bijvoegen dat men voor deze waarnemingen zich voorzien moet van een prisma, dat de stralen zoo min mogelijk verzwaakt; een prisma van klipzout beantwoordt aan dezen eisch, daar het alle warmtestralen zonder onderscheid doorlaat.

De stof waaruit het prisma vervaardigd is, oefent dus invloed uit op den vorm van de kromme lijn in figuur 2 bedoeld, die de verdeling van de warmte in het zonnenspectrum aanwijst; maar ook hebben verschillende stoffen een verspreidend vermogen voor de stralen van de verschillende kleuren zeer uitéénlopend, d. w. z. zoo men in vorm overeenstemmende prisma's gebruikt van verschillende stoffen, bijv. van crownglas, van flintglas, van zwavelkoolstof of van water¹, dan vindt men zonnenspectra van zeer verschillende uitgestrektheid: het

¹ Bij deze laatste stoffen bezigt men natuurlijkerwijze een hol glazen prisma met de bedoelde vloeistof gevuld.

spectrum, ontstaan door een zwavelkoolstof-prisma, is tweemaal langer dan dat gevormd door een water-prisma. Hieruit volgt: dat de verdeling van de warmte in het spectrum tot nu toe niet werd gemeten zooals het behoort en ook, dat men zijn toevlucht moest nemen tot een zonnenspectrum, waarvan men weet, dat de lengte niet afhangt van de stof waaruit het prisma is vervaardigd.

Reeds vroeger was door DRAPER getracht een meting te verkrijgen van de warmte in het spectrum, ontstaan door de buiging van het zonlicht door een traliescherm. Zoo noemt men een glasplaat bedekt met roetzwart, waarin een menigte evenwijdige fijne strepen zijn aangebracht.

Het zonnenspectrum, door een traliescherm ontstaan ¹, biedt een onderscheid aan met het zonnenspectrum gevormd door een prisma; bij het traliekleurenbeeld zijn de afstanden der onderscheidene kleuren tot een bepaald punt, met hare golflengten rechtstreeks evenredig, terwijl bij het zonnenspectrum door een prisma gevormd, de afstanden der verschillende kleuren afhangen van den aard van de stof, waaruit het prisma is vervaardigd.

De warmte-werking in dit zoogenaamd buigingsspectrum is zeer gering, zoodat DRAPER met een gevoelige thermozuil tot uitkomsten kwam die, volgens hem zelf, bevestiging en aanvulling behoeven.

Denzelfden weg te volgen door DRAPER ingeslagen, scheen ondoeltreffend om de temperaturen in het buigingsspectrum van punt tot punt te bepalen, en LANGLEY, die zich deze bepaling ten doel stelde, had dus een instrument te construeeren, waarvan de macht om kleine temperatuursveranderingen te meten, veel verder reikt dan alle tot nu toe gebruikte thermometers. Na een aantal vruchteloze pogingen is het LANGLEY gelukt zijn doel te bereiken, door de constructie van het werktuig, waaraan hij den naam heeft gegeven van *Bolometer* (van *βολή*, *βαλλω*, werpen en *μέτρον*).

Bij het vervaardigen van het instrument is LANGLEY uitgegaan van het bekende feit, dat als zoo een elektrische stroom door een metalen draad vloeit, deze metalen draad een weerstand biedt aan den stroom,

¹ Over de wijze waarop het traliekleurenbeeld wordt gevormd, veroorloven wij ons te verwijzen naar de Leerboeken der Natuurkunde. Een kort, zaakrijk en glashelder overzicht vindt men in het *Leerboek der Natuurkunde* Deel III van Dr. J. BOSSCHA JR.

² *The Bolometer and Radiant Energy* by Prof. S. P. LANGLEY. Cambridge. University Press. John Wilson and Son. 1881.

welke weerstand grooter wordt wanneer de temperatuur van den draad stijgt; deze vermeerdering van weerstand heeft ten gevolge dat de stroomsterkte kleiner wordt, zoodat de temperatuursverhooging van den draad, die aan de stralen van een warmtebron wordt blootgesteld, zich doet gevoelen door een vermindering van de sterkte van den stroom, die door dien draad wordt gevoerd — af te lezen op een galvanometer.

De Bolometer is verder gebouwd, gedachtig aan het beginsel neergelegd in de zoogenaamde *brug* van WHEATSTONE.

Denken wij ons een plankje waarop acht klemschroeven zijn gesteld, waarvan vier, *a*, *b*, *c* en *d*, in de hoekpunten van een ruit geplaatst zijn, terwijl *e* en *f* in de zijde *ac*, *g* en *h* in de zijde *cd* staan. Op de wijze, in fig. 3 aangegeven, zijn deze klemschroeven door draden verbonden, welke dra-

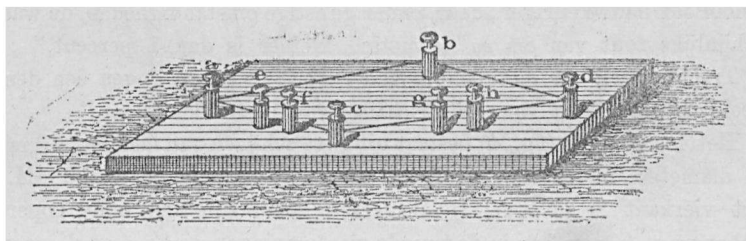


Fig. 8.

den alle volmaakt gelijk zijn, zoodat de weerstand *ab*, gelijk is aan dien tusschen *b* en *d*; evenzoo is de geheele weerstand in de draadstukken *ae* en *fc*, gelijk aan dien in *cg* + *hd*. De klemschroeven *b* en *c* worden door een draad verbonden waarin een galvanometer is geplaatst; tusschen de klemschroeven *e* en *f* brengt men een weerstand, die met een anderen tusschen *g* en *h* gebracht, gemakkelijk te vergelijken is.

Brengt men toch de pooldraden van een galvanische zuil met *a* en *d* in verbinding, dan zal de galvanometernaald in de *brug bc* geen afwijking aanwijzen, zoodra de draad tusschen *e* en *f* gelascht, denzelfden weerstand heeft als die tusschen *g* en *h*.

De korte beschrijving door LANGLEY van zijn instrument gegeven luidt als volgt:

»Ik plet staal, platina of palladium tot reepjes van $\frac{1}{100}$ tot $\frac{1}{500}$ mM. dikte, en snijd van deze reepjes stukken van 1 mM. dikte en hoogstens 1 cM. lengte; ik verbind deze stukken zoo dat er een stroom van één of meer cellen van DANIELL door kan gaan.

»Deze stukjes vormen als het ware twee tralieschermen, en de stroom

verdeelt zich, zóó dat het eene gedeelte van den stroom door het ééne stelsel van metaalstukjes vloeit, en het andere deel van den stroom door het andere: beide stelsels van metaalstrookjes zijn gebracht tusschen de klemschroeven *e* en *f*, *g* en *h* van een brug van WHEATSTONE en, zijn de weerstanden van beide stelsels gelijk, dan ondervindt een gevoelige galvanometer in de brug geplaatst geen afwijking. Wordt daarentegen het ééne stelsel van metaalstrookjes blootgesteld aan een bron van stralende warmte: dan zal de stroom in dat gedeelte door den vermeerderden weerstand zwakker worden en een afwijking van de magneetnaald wordt zichtbaar; deze afwijking was meetbaar wanneer de verwarming van de metaalstrookjes $\frac{1}{1000}$ graad Celsius bedroeg;" en verder zegt LANGLEY van zijn vinding:

»Het instrument is dus gevoeliger dan de thermoziil en naar ik geloof ook nauwkeuriger, daar, onder gunstige omstandigheden, de waarschijnlijkste fout van *een enkele* meting kleiner is dan 1 percent."

Trachten wij nu met behulp van LANGLEY's afbeeldingen een denkbeeld te verkrijgen van de inrichting van den »Bolometer."

Het instrument (fig. 4) bestaat uit twee schijven van eboniet, 30 mM. in diameter, in ieder waarvan een concentrische opening van 8 mM. in het vierkant is gelaten. In de eerste schijf zijn vier holle koperen knoppen *a*, *b*, *c* en *d* en in de tweede vier openingen *a'*, *b'*, *c'* en *d'* waarin deze koperen knoppen passen. In het midden van de ééne (de linker) schijf zijn acht kanalen gelaten, in dat van de andere zeven waarin fijne ijzerdraden liggen; ter weerskanten van deze draden liggen in de beide schijven nóg zoovele kanalen als door de stippellijnen wordt aangegeven. Bij E, F, G en H bevinden zich platina-pennen, welke passen in platina-bussen bij *E'*, *F'*, *G'* en *H'* in de andere schijf, indien men zich de ééne schijf gewenteld denkt om de lijn X Y, zoodat beide schijven elkander bedekken.

De ééne stroomtak komt bij *a* in het instrument, vloeit door de acht draden van die schijf naar *E*, gaat over door *E'* op de andere schijf, stroomt door de zeven middelste draden van die schijf naar *H'* en verder via *H* en knop *b* terug naar de batterij.

De andere stroomtak komt bij *C* in het instrument en doorloopt vier draden tot *F*, gaat over op *F'* en langs drie draden van de rechte schijf en nog eens vier draden van diezelfde schijf via *G'* over op *G* van de eerste schijf, van daar naar *D* en uit het instrument.

De stroom, die door de 15 centrale draden vloeit, vormt dus den éénen arm van de brug van WHEATSTONE, terwijl de andere arm door

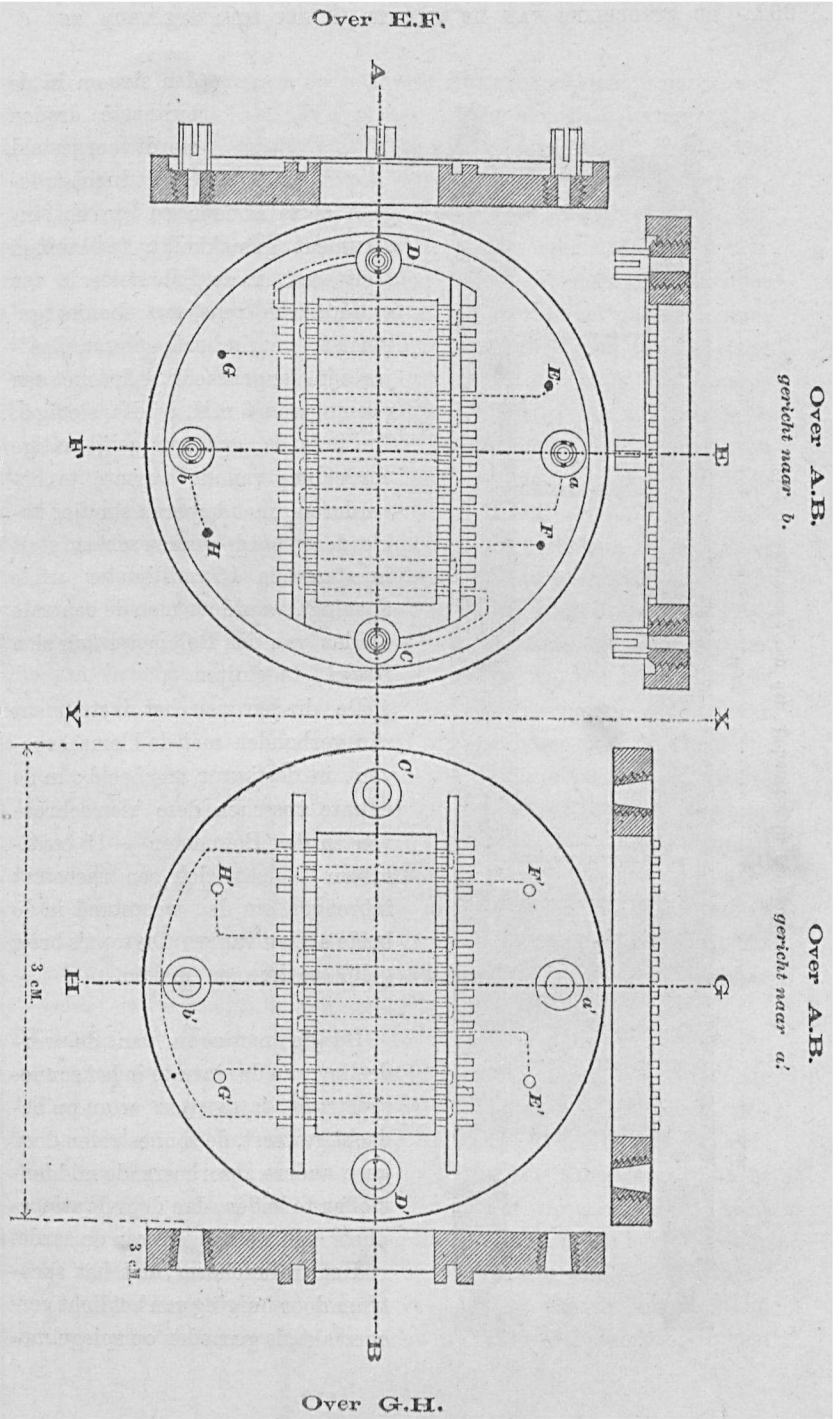


Fig. 4. Doorsnede van den Barometer op dubbele grootte.

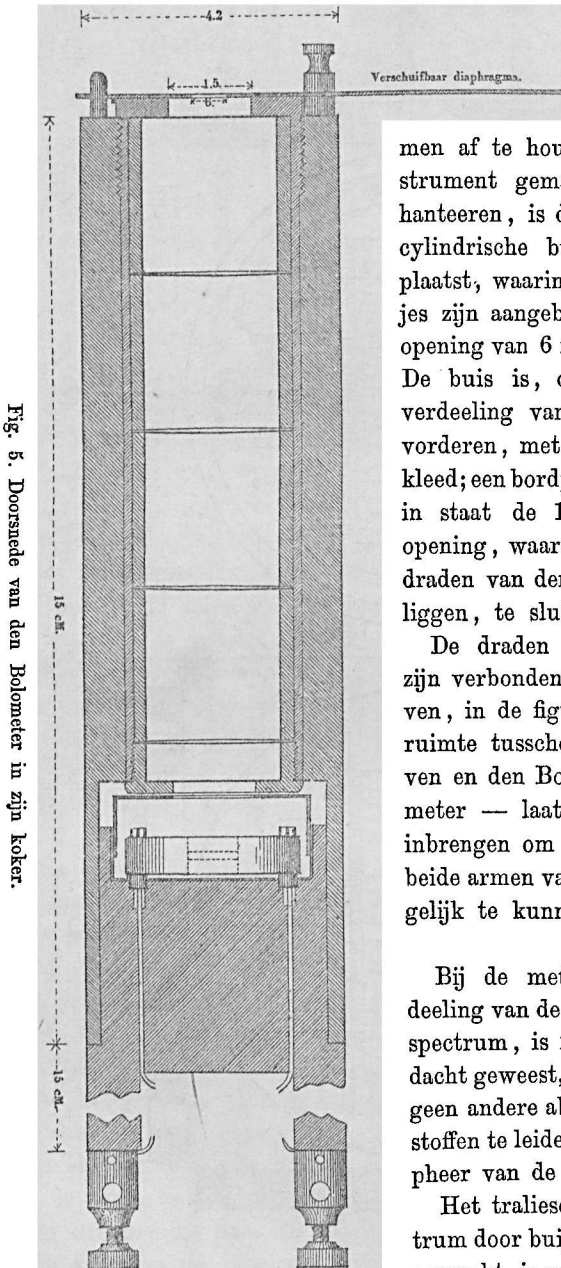


Fig. 5. Doorsnede van den Bolometer in zijn koket.

den stroom in de buitenste draden wordt voorgesteld. Om luchtstroom

men af te houden en om het instrument gemakkelijk te kunnen hanteeren, is de Bolometer in een cilindrische buis van eboniet geplaatst, waarin bordpapierenen plaatjes zijn aangebracht, ieder met een opening van 6 m.M. wijde, zie fig 5. De buis is, om een gelijkmatige verdeling van de warmte te bevorderen, met koperen staafjes bekleed; een bordpapierenen scherm stelt in staat de 15 millimeter wijde opening, waardoor men de centrale draden van den Bolometer kan zien liggen, te sluiten.

De draden van het instrument zijn verbonden met de klemschroeven, in de figuur afgebeeld; in de ruimte tusschen deze klemschroeven en den Bolometer — 15 centimeter — laat zich een rheostaat inbrengen om den weerstand in de beide armen van WHEATSTONE'S brug gelijk te kunnen maken.

Bij de metingen van de verdeling van de warmte in het zonnenspectrum, is LANGLEY er nu op bedacht geweest, de zonnestralen door geen andere absorbeerende middelen te leiden, dan door de atmosfeer van de zon en van de aarde.

Het traliescherm, dat het spectrum door buiging van het licht veroorzaakt, is gesneden op spiegelme-

taal en bevat 681 strepen op een millimeter; het licht van de zon komende, wordt door den zilverspiegel van een heliostaat teruggekaatst en strijkt door een spleet S, die op een afstand van 5 meter van het traliescherm is gebracht. Het spectrum, door het traliescherm gevormd, wordt teruggekaatst op een hollen spiegel, waar het na nog één terugkaatsing valt op den draad van den Bolometer.

De temperatuursverhooging, aan den Bolometerdraad gegeven door de zonnestrallen en meetbaar door de afwijking van den galvanometer, werd bepaald bij groote en bij geringe zonshoogte; bij groote zonshoogte heeft de zonnestraal blijkbaar een kleiner deel van onzen dampkring doorkliefd dan bij kleine zonshoogte, bij groote zonshoogte is de galvanometer-uitslag dus grooter ten gevolge van de grootere temperatuursverhooging van den Bolometerdraad. Uit de verschillen in de afwijkingen van de galvanometernaald, bij verschillende zonshoogte waargenomen en uit de kennis van de dikte van de luchtlaag bij beide waarnemingen, besluit LANGLEY tot de absorptie welke die stralen in onzen dampkring ondervinden, en hij komt tot het besluit, dat onze atmosfeer de stralen beter doorlaat naar mate zij grooter golflengte hebben, d. w. z. de blauwe stralen worden beter doorgelaten dan de violette, de gele beter dan de groene, de roode beter dan de gele, de ultra-roode (donkere) stralen beter dan de roode.

Uit de verdeling van de warmte in het buigingsspectrum bij groote en bij kleine zonshoogte kwam LANGLEY tot de constructie van de kromme lijnen, die deze verdeling aangeven. In fig. 6 (volg. bl.) stelt de onderste kromme lijn de warmte verdeling voor bij kleine zonshoogte; onder aan de figuur is het zonnenspectrum met de lijnen van FRAUNHOFER schematisch aangegeven, zoodat het gemakkelijk is op te merken, dat LANGLEY het maximum der warmte vindt daar, waar ook de lichtsterkte het grootst is, namelijk in het geel.

De middelste kromme lijn geeft de verdeling aan van de warmte in het spectrum van de zon bij groote hoogte, wanneer derhalve de luchtlaag, die de zonnestrallen doorkliefd hebben, veel kleiner is.

Ten einde nu de kromme lijn te kunnen construeeren, die de verdeling van de warmte in het zonnenspectrum zou aangeven, wanneer zijne werktuigen geheel buiten onzen dampkring waren opgesteld, heeft LANGLEY zijne metingen met den Bolometer herhaald op den berg Whitney (13000 voet) in Zuid-Californië. Uit de combinatie van deze metingen met die in Allegheny, en uit de vergelijking van de metingen bij kleine en groote zonshoogte, berekent LANGLEY de absorptie in den

dampkring en geeft voor de kromme lijn, zooals die buiten onze atmosfeer de verdeling van de warmte in het zonnenspectrum zou aangeven, de gestippelde kromme in fig. 6.

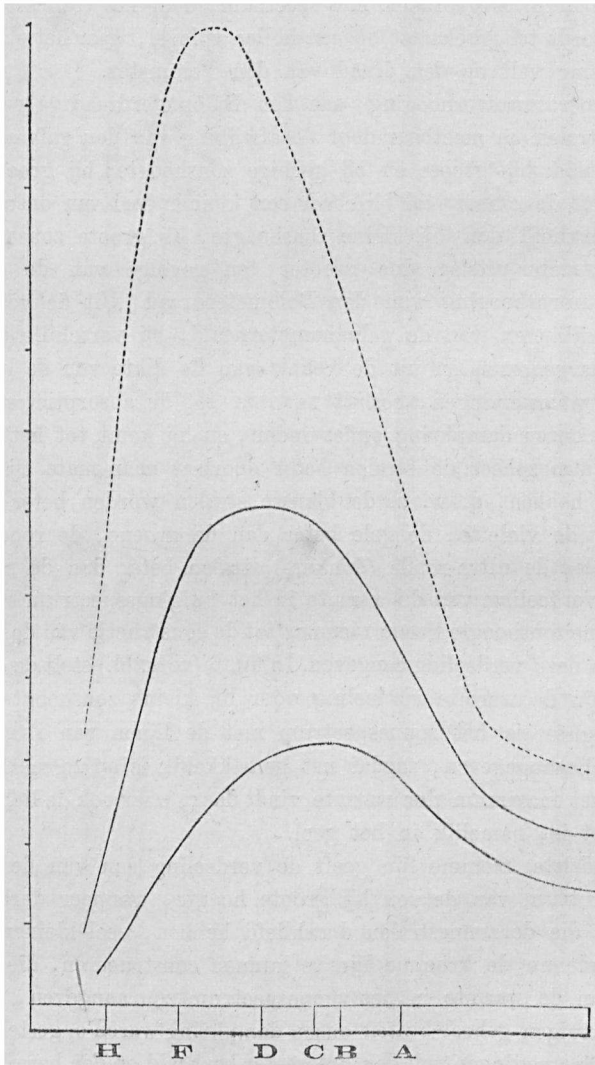


Fig. 6.

Uit deze kromme blijkt dat, buiten onzen dampkring, het warmste deel in het buigingspectrum meer in het groen dan in het geel ligt,

en dat dus de zon voor een oog buiten den dampkring gelegen blauwachtig gekleurd moet zijn; onze atmosfeer is dus niet kleurloos maar doet de werking van een rood- of geelachtig gekleurd glas.

De uitkomst van LANGLEY sluit zich zeer goed aan bij hetgeen gevonden is door s. MÜLLER¹, die door constructie de kromme lijn voor het verloop der warmte-intensiteit in het buigingsspectrum afleidde, uit die van MELLONI voor het prismatische spectrum.

Zonder in de bijzonderheden van MÜLLER's constructie af te dalen zij hier slechts opgemerkt, dat in het buigingsspectrum de afstanden der verschillende kleuren tot een bepaald punt rechtstreeks evenredig zijn met de golflengten der lichtstralen, terwijl — zoo als wij reeds opmerkten — bij het prismatische spectrum de plaats door de verschillende kleuren ingenomen van de stof afhangt, waaruit het prisma is vervaardigd.

MÜLLER zoekt nu in de verschillende punten van het buigingsspectrum de warmte, die zou gevonden zijn, zoo het prisma de verschillende kleuren had verstrooid, volgens de wet van de evenredigheid der golflengten en hij vindt tot resultaat een kromme lijn, waarvan het maximum tusschen de Fraunhofersche strepen *D* en *F* ligt.

Het mocht MÜLLER destijds niet gelukken deze uitkomst door waarnemingen te bevestigen, hoewel een traliescherm van SCHWERD en een uitstekende lineaire thermozuil van 15 paren tot zijn beschikking was.

Kort vóór het verschijnen van MÜLLER's onderzoek, had DRAPER zich bezig gehouden met de warmteverdeeling in het buigingsspectrum; de warmte-werking vond hij — zooals wij boven reeds opmerkten — uiterst gering. »Ik kon niet meer doen» zoo schrijft DRAPER, »dan mij zelf er van overtuigen, dat in het gele deel van het buigingsspectrum het maximum der warmte-werking is, even als dat der lichtsterkte.»

LANGLEY heeft zich niet enkel bepaald tot het meten der warmte-werking in het buigingsspectrum, hij heeft dezelfde meting in het prismatische spectrum herhaald, en daarbij gebruik gemaakt van een prisma en van lenzen vervaardigd uit een soort flintglas, dat bijna alle waargenomene onzichtbare stralen doorlaat. De Bolometerdraad bestond uit één enkelen draad van $\frac{1}{6}$ mM. dikte.

Het zonlicht, door een heliostaat teruggekaatst, viel door een spleet

¹ POGGENDORFF's *Annal.* Bd. XV. 1858.

op een lens, op den brandpuntsafstand van de spleet geplaatst; de stralen, door de lens gebroken, troffen het prisma en werden, na dispersie, opgevangen door een hollen spiegel, die ze naar den Bolometerdraad terugkaatste. Op deze wijze vond LANGLEY, dat de uitgestrektheid van het zonnespectrum aan de zijde van het rood, in het donkere deel, veel grooter is dan men tot nu toe meende; verder vond hij het maximum van de warmte-werking in het ultra-rood. In het normale spectrum (het buigingsspectrum) echter, dat hij uit het prismatische afleidt langs een weg, dien hij voorloopig verzwijgt, ligt het maximum in het geel.

Uit zijn metingen blijkt dat $\frac{3}{5}$ van de warmtestralen, door de zon ons toegezonden, donkere stralen zijn en dat de absorptie van de lichtstralen veel aanzienlijker is dan die van de donkere warmtestralen.

LANGLEY meent dat zijne uitkomsten onze denkbeelden over de temperatuur op onze planeet en over het bestaan van alle organisch leven derhalve, aanmerkelijk moeten wijzigen, daar toch »de zonnewarmte rechtstreeks veel minder invloed uitoefent, dan de opslorping der stralen in onzen dampkring, die voor sommige stralen veel sterker is dan voor andere.»

Moge het resultaat van LANGLEY's metingen nog nader contrôle en bevestiging behoeven, de wetenschappelijke onderzoeker is door diens vindingrijk vernuft een werktuig rijker geworden, waarvan de eerste uitspraken alle belangstelling verdienen en dat zijn laatste woord zekerlijk nog niet gesproken heeft.

Amersfoort, October 1883.