



Onderzoek van ultra-roode spectra

<https://hdl.handle.net/1874/255462>

1907

W. J. H. MOLL.

Phys. 26 February 1907

Onderzoek van ultra-roode spectra.



A. qu.
192

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK UTRECHT



3169 841 2

ONDERZOEK VAN ULTRA-ROODE SPECTRA.

ONDERZOEK VAN ULTRA-ROODE SPECTRA.

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN
GRAAD VAN DOCTOR IN DE WIS- EN NATUUR-
KUNDE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE UTRECHT,
NA MACHTIGING VAN DEN RECTOR-MAGNIFICUS
DR. S. D. VAN VEEN, HOOGLEERAAR IN DE
FACULTEIT DER GODGELEERDHEID, VOLGENS
BESLUIT VAN DEN SENAAT DER UNIVERSITEIT
TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT
DER WIS- EN NATUURKUNDE TE VERDEDIGEN
OP DINSDAG 26 FEBRUARI 1907 DES NAMIDDAGS
TEN 4 URE DOOR

WILLEM JAN HENRI MOLL

GEBOREN TE PIJNACKER



STOOMDRUKKERIJ «DE INDUSTRIE» J. VAN DRUTEN -- UTRECHT

MCMVII

AAN MIJN OUDERS.

Het is mij een aangename plicht U, Hoogleeraren in de Wis- en Natuurkundige Faculteit te danken voor het onderwijs, dat ik van U heb ontvangen.

In het bijzonder geldt mijn dank U, Hooggeachte Promotor, Hooggeleerde JULIUS. In Uw uitstekend ingericht Laboratorium heb ik onder Uwe leiding de beste leerschool gevonden, die een physicus zich voor zijn algemeene vorming kan wenschen. De belangstelling door U steeds in mijn werk getoond, de opwekking die van Uw persoon uitging, de steun dien ik vond in Uw veelzijdige ondervinding, de blijken van vriendschap en vertrouwen die Gij mij zoo ruimschoots hebt geschonken, dat alles heeft den omgang met U gedurende de jaren, dat ik Uw assistent mocht zijn, tot een niet te waardeeren voorrecht gemaakt.

Waar het mijn onderzoek gold heb ik in ruime mate Uw hulp en voorlichting genoten, terwijl de algeheele vrijheid die Gij mij bij de uitvoering daarvan hebt toegestaan, door mij op hoogen prijs wordt gesteld.

Zoo het mij gelukt mocht zijn eenige resultaten te verkrijgen, dan is dat voor een groot deel te danken aan de zeldzame toewijding, waarmede Gij, waarde BERGANSIUS, zelfs Uw nachtrust maandenlang in het belang van mijn werk hebt opgeofferd.

INHOUD.

Bladz.

HOOFDSTUK I.

Hulpmiddelen voor het waarnemen van ultra-roode stralen.

Keuze van een methode van onderzoek 1

HOOFDSTUK II.

De instrumenten 19

De spectrometer 19

De thermozuil . . . , 25

De galvanometer 27

Het registreeren der spectra 29

HOOFDSTUK III.

De methode van waarneming en het afleiden der resul-

taten 34

HOOFDSTUK IV.

Waarnemingen en uitkomsten 43

HOOFDSTUK V.

De ultra-roode lijnen der alcaliën en de spectraalreeksen. 59

AANHANGSEL.

De dispersie van steenzout 68

HOOFDSTUK I.

HULPMIDDELEN VOOR HET WAARNEMEN VAN ULTRA-ROODE STRALEN. KEUZE VAN EEN METHODE VAN ONDERZOEK.

Verreweg het meeste van hetgeen ons bekend is aangaande het spectrum heeft betrekking op het zichtbare en het ultraviolette deel daarvan; terwijl toch de verscheidenheid der golven, tot het ultra-rood behorende, bij die der overige golven niet achterstaat, en het ultra-roode gebied juist die trillingsperioden omvat, welke bij de gewone temperatuur het stralingsevenwicht en al wat daarmee samenhangt beheerschen.

De oorzaak van deze wanverhouding tusschen de bekendheid en de belangrijkheid van de verschillende spectraalgebieden ligt hoofdzakelijk in den aard der hulpmiddelen, die voor het onderzoek ervan ten dienste staan. Photographie zoowel als directe waarneming met het oog maken een fijne onderscheiding van stralensoorten in het spectrum mogelijk, maar deze beide methoden zijn voor ultra-roode golven slechts in zeer beperkte mate van toepassing.

Zoolang men niet een even nauwkeurig werkend onderscheidingsmiddel gevonden zal hebben, dat gebezigd kan worden voor alle ultra-roode stralen, moet onze kennis van dit gebied noodzakelijk achterblijven. Aan duidelijk omschreven vraagpunten is hier geen gebrek. De eerste voorwaarde om vooruit te komen ligt in het kiezen van geschikte waarnemingsmethoden.

Beginnen wij met in herinnering te brengen wat te dien opzichte verkregen is.

Het bestaan van straling buiten het zichtbare spectrum is het eerst opgemerkt door middel van den *thermometer*,

toen W. HERSCHEL ¹⁾ waarnam dat deze voorbij het roode einde van het zonnespectrum temperatuurstijging aanwees. Hij vond dat de stralen, die deze verwarming veroorzaken, wel aan eenige zelfde wetten onderworpen zijn als de lichtstralen, maar beschouwde beide als van geheel andere natuur. Eerst naderhand zou bewezen worden dat zij in wezen geheel identiek zijn, en dat de begrensdheid van het zichtbare spectrum moet worden toegeschreven aan de omstandigheid, dat het menschelijk oog slechts voor een bepaald soort van stralen gevoelig is. In den eersten tijd vond het onderzoek naar dit gedeelte van het spectrum uitsluitend met den thermometer plaats, en niettegenstaande dit instrument, wegens zijn ongevoeligheid, groote afmetingen en traagheid, daartoe uiterst ongeschikt is, wisten waarnemers als FIZEAU en FOUCAULT ²⁾ daarmede zelfs de interferentie van ultra-roode stralen aan te toonen.

JOHN HERSCHEL ³⁾ onderzocht het zonnespectrum op zeer eigenaardige wijze. Hij stelde aan het ultra-roode gedeelte een reep papier bloot, welke aan een zijde met lampzwart was bedekt, en met alcohol werd bevochtigd. De alcohol maakte het papier doorschijnend, en deed den zwarten achtergrond zichtbaar worden, welke weder verdween als de vloeistof verdampte. Hij merkte nu op, dat de alcohol op enkele plaatsen sneller droogde dan op andere, en besloot hieruit tot het bestaan van absorptiebanden in het zonnespectrum. Zijn proefneming is aan veel critiek onderworpen geweest, waarvan wel de meest inslaande is, dat HERSCHEL geen spleet gebruikte maar het zonsbeeld direct op het prisma ontwierp, onder welke omstandigheden het zeer twijfelachtig was, óf absorptiebanden geconstateerd hadden kunnen worden. LORD RAYLEIGH ⁴⁾ en DRAPER ⁵⁾ hebben de proef herhaald, maar met negatief resultaat.

¹⁾ F. W. HERSCHEL. Phil. Trans. 1800. II, 284.

²⁾ H. L. FIZEAU en L. FOUCAULT. C. R. 25, 447, 1847.

³⁾ J. F. W. HERSCHEL. Phil. Trans. 1840. I, 52.

⁴⁾ LORD RAYLEIGH. Phil. Mag. (5) 4, 348, 1877.

⁵⁾ J. W. DRAPER. Phil. Mag. (5) 11, 157, 1881.

Zoodra de *photographie* was ontdekt, werd het nieuwe hulpmiddel op dit gebied van onderzoek toegepast. DRAPER ¹⁾ photographeerde het eerst het ultra-roode spectrum der zon, en ontdekte drie absorptiebanden, welke zooals later bleek aan absorptie van den dampkring moeten worden toegeschreven. Vooral door ABNEY is de methode verbeterd. Hij wist platen te sensibiliseeren, tot ze voor stralen met een golflengte van 1μ gevoelig waren, en verkreeg een zonnenspectrum, dat tot die golflengte duidelijke Fraunhofersche lijnen vertoonde. ²⁾ Volgens dezelfde methode onderzocht hij de ultra-roode emissie van verschillende metalen, ³⁾ maar merkte slechts enkele lijnen op. In den lateren tijd is het LEHMANN ⁴⁾ gelukt, zeer schoone photographieën van emissie-spectra te verkrijgen.

Een geheel andere methode van onderzoek werd gevolgd door E. BECQUEREL. ⁵⁾ Hij ontwierp het te onderzoeken spectrum op een scherm, bedekt met een phosphoresceerende stof, en projecteerde op dezelfde plaats violet en ultra-violet licht van een ander spectrum. De *phosphorescentie*, door dat licht opgewekt, wordt op die plaatsen uitgedoofd waar de ultra-roode straling het sterkst is; zoodat hij in zwak phosphorescentie-licht het negatieve beeld van het spectrum te zien kreeg. Naderhand wijzigde hij in zoover zijn methode, dat het scherm vooraf gedurende korten tijd aan daglicht werd blootgesteld. Na deze expositie zal het scherm phosphorescentie vertoonen, en deze wordt het eerste oogenblik door ultra-roode straling versterkt, zoodat tijdelijk een positief beeld van het spectrum verschijnt. Maar na korten tijd is de phosphorescentie van die plaatsen, welke tot grooter activiteit werden opgewekt, uitgeput, en komen de emissielijnen zeer donker op een lichtenden achtergrond te voorschijn, is dus

¹⁾ J. W. DRAPER. Phil. Mag. ^{21 453} ~~24~~ ~~456~~, 1842.

²⁾ W. DE W. ABNEY. Phil. Trans. 1880, 653.

³⁾ W. DE W. ABNEY. Proc. Roy. Soc. 32, 443, 1881.

⁴⁾ H. LEHMANN. D. Ann. 5, 633, 1901.

⁵⁾ E. BECQUEREL. C. R. 69, 999, 1869; 77, 302, 1873; 83, 249, 1876.

weer een negatief beeld ontstaan. Een complicatie geeft het feit dat van de verschillende phosphoresceerende materialen, het eene voor deze, het andere voor die ultra-roode stralensoort ongevoelig is, waardoor groote voorzichtigheid in het beoordeelen der spectra moet worden betracht. H. BECQUEREL ¹⁾ heeft deze wijze van onderzoek op uitgebreide schaal en met uitstekende resultaten toegepast.

DRAPER ²⁾ bracht nog een verbetering aan. Hij wist de zoo verkregen spectra photographisch vast te leggen, door het scherm in direct contact met een gevoelige plaat te brengen. Ofschoon DRAPER zelf als bezwaar aangeeft, dat de phosphorescentie op het scherm van deeltje tot deeltje voortschrijdt, en hij daardoor geen scherp begrensde lijnen kon photographeeren, heeft op deze wijze LOMMEL ³⁾ met goeden uitslag het absorptie-spectrum der zon, en LEHMANN ⁴⁾ de emissie der alcaliën onderzocht.

Het groote voordeel van de photographische zoowel als van de phosphorographische methode is, dat ze in staat stellen de smalle absorptielijnen op te merken. Daar komt nog voor de directe photographie bij, dat óók de zwakkere emissielijnen, door zeer langen expositieduur, zich kunnen afteekenen. Ongelukkigerwijze staan geen van beide methoden tot heden toe, ver in het ultra-rood door te dringen (n.l. hoogstens tot een golflengte van 1.5μ) en zijn we voor het onderzoek van het verdere gebied aangewezen op hulpmiddelen, die veel minder de details in het spectrum doen onderscheiden. Zij berusten alle op de warmte-werking der ultra-roode straling en zijn varianten, zij het gewijzigd en veel verbeterd, van het oorspronkelijke hulpmiddel, den thermometer.

Nadat SEEBECK de verschijnselen der thermo-electriciteit had ontdekt, construeerden NOBILI en MELLONI ⁵⁾ in 1830

¹⁾ H. BECQUEREL. C. R. 96, 121 en 1215, 1883; 97, 71, 1883; 99, 374, 1884.

²⁾ J. W. DRAPER. Phil. Mag. 11, 160, 1881.

³⁾ E. LOMMEL. W. Ann. 40, 681, 1890.

⁴⁾ H. LEHMANN. Phys. Ztschr. 5, 823, 1905.

⁵⁾ L. NOBILI et M. MELLONI. Ann. Chim. et Phys. (2) 48, 187, 1831.

de eerste thermozuil uit staafjes bismuth en antimoon, en verkregen een instrument, dat omstreeks 10 maal zoo gevoelig was als de beste thermometer. Voor spectraal-onderzoek konden de soldeerplaatsen der afzonderlijke elementen in één rij worden geplaatst, zoodat een meer of minder breede lijn ontstond die door een begrensde groep van golflengten werd getroffen. Daarbij gaf MELLONI ¹⁾ een eenvoudige opstelling aan, om de verschillende proefnemingen te kunnen uitvoeren. De «bank van MELLONI» waarop de instrumenten en benodigdheden waren vereenigd, heeft jarenlang in nagenoeg onveranderden vorm tal van waarnemers tot instrumentarium gediend.

De verbeteringen die werden aangebracht hadden meeren-deels betrekking op den galvanometer; de thermozuil bleef de jaren door vrijwel onveranderd. Wel heeft men in plaats van de zuivere metalen legeringen van Bi en Sb gebezigd, nu eens om een beter te verwerken materiaal, dan weer om een nog gunstiger thermo-electrisch koppel te verkrijgen, maar de bouw van de samenstellende elementen bleef dezelfde. Het bestraalde gedeelte bestond steeds uit de aan elkaar gesoldeerde uiteinden van twee evenwijdige staafjes. Nog in 1898 zegt POCKLINGTON ²⁾ in een theoretische vergelijking van de gevoeligheid van de thermozuil met die van den bolometer: «The thermopile consists of a number of pairs of bars of two metals.»

In dezen vorm bleef de thermozuil het gebruikelijke meetinstrument, ofschoon vele bezwaren aan hare toepassing verbonden waren. De groote warmtecapaciteit van de metaal-massa der zuil veroorzaakt, dat een temperatuurstijging van de bestraalde soldeerplaatsen zeer lang duurt. Eerst na geruimen tijd is vrijwel temperatuur-evenwicht ingetreden, en zal de thermostroom voldoende constant zijn geworden om een aflezing van den galvanometer mogelijk te maken. Een tweede storend gevolg van de groote warmtecapaciteit is

¹⁾ M. MELLONI. Pogg. Ann. 35, 112, 1835.

²⁾ H. C. POCKLINGTON. Proc. Cambr. Phil. Soc. 10, 66, 1899.

de omstandigheid, dat de vóór- en achterzijde der thermozuïl, ook nadat de bestraling onderschept is, gewoonlijk temperatuurverschillen bezitten, welke groote onregelmatigheid vertoonen. Deze nadeelen werden, vooral nadat langzamerhand zooveel gevoeliger galvanometers gebouwd waren, zeer ernstig gevoeld, en het kan niet verwonderen, dat, toen na 1880 verschillende betere hulpmiddelen werden gevonden, de thermozuïl door de meeste waarnemers ter zijde werd gelegd.

Het is eerst RUBENS ¹⁾ mogen gelukken aan de thermozuïl een vorm te geven, waarin ze geheel vrij is van bovengenoemde gebreken, en daarbij zeer vele malen gevoeliger. Bij de samenstelling van zijn thermozuïl ging RUBENS uit van de gedachte, ²⁾ dat geringe warmtecapaciteit van de bestraalde soldeerplaatsen een voordeel, en een geringe totale massa een vereischte is. Hij zag van de thermo-electrisch gunstige combinatie van bismuth en antimoon af, omdat beide metalen moeilijk zijn te bewerken en daaruit bezwaarlijk een reeks kleine elementen zou zijn op te bouwen, en gaf de voorkeur aan ijzer en constantaan. In plaats van staven, soldeerde hij draadjes van 0.1 m.M. dikte aan elkaar, en om de oppervlakte der soldeerplaatsen, die aan de straling worden blootgesteld, te vergrooten, en zoo door het opvangen van meer warmtestraling een grootere temperatuurstijging te verkrijgen, werden deze soldeerplaatsen met dunne zilverplaatjes van 1 m.M. diameter voorzien. De andere soldeerplaatsen werden niet achter, maar naast de bestraalde gerangschikt. Het zoo gebouwde instrumentje bleek in combinatie met een gevoeligen galvanometer voortreffelijk aan zijn doel te beantwoorden.

Eenige jaren tevoren reeds had BOYS ³⁾ een zeer gevoelig thermoelement weten te construeeren, dat niet bedoeld was met eenige andere vereenigd een thermozuïl te vormen, maar een onderdeel uitmaakte van zijn *radiomicrometer*.

¹⁾ H. RUBENS. Ztschr. für Instr. 18, 65, 1898.

²⁾ Reeds te voren door BOYS in zijn radiomicrometer verwezenlijkt.

³⁾ C. V. BOYS. Proc. Roy. Soc. 42, 189, 1887.

Het beginsel van dit instrument, het eerst aangegeven door D'ARSONVAL ¹⁾ berust op de vereeniging van galvanometer en thermo-element tot een geheel. In den vorm door BOYS gegeven, hangt binnen een magneetveld aan een dunnen kwartsdraad een koperen beugeltje, waarvan de beide uiteinden aan dunne staafjes bismuth en antimoon zijn gesoldeerd. De soldeerplaats, die de staafjes onderling verbindt, draagt een dun koperplaatje dat met roet is bedekt. Wordt dit plaatje aan straling blootgesteld, dan zal een thermostroom ontstaan, en de stroomketen in het magnetisch veld gedraaid worden. Een spiegelkje, aan de stroomketen verbonden, stelt in staat deze draaiing af te lezen. De sterkte van den thermostroom, door een zekere bestraling opgewekt, hangt af van het temperatuurverschil dat de soldeerplaatsen tengevolge hiervan verkrijgen en van den electrischen weerstand in de keten. Hoe korter en dikker de staafjes worden gekozen, des te geringer is de weerstand maar des te geringer wordt ook, tengevolge der warmtegeleiding, het temperatuurverschil der soldeerplaatsen. BOYS berekende de gunstigste afmetingen en kwam bovendien tot de gevolgtrekking, dat een enkele winding van de stroomketen boven meerdere windingen te verkiezen is. Immers de electromagnetische demping is met het aantal hiervan evenredig en bij een enkele winding al zoo groot, dat een betrekkelijk zwak magnetisch veld de beweging van het systeem reeds aperiodisch maakt. De gevoeligheid van zijn instrument stelde BOYS in staat de warmtestraling der maan onder verschillende omstandigheden te onderzoeken.

PASCHEN ²⁾ bracht nog een verbetering aan, door in plaats van de zuivere metalen, alliages van bismuth en antimoon aan te wenden, en koper door zilver te vervangen. Aan de gevoeligheid van het instrument wordt intusschen een grens gesteld door het feit, dat de metalen waaruit het systeem bestaat niet magnetisch indifferent gemaakt kunnen worden.

¹⁾ A. D'ARSONVAL. Soc. franç. de phys. 1886, 30 en 77.

²⁾ F. PASCHEN. W. Ann. 48, 275, 1893.

Voor spectraal-onderzoek is de radiomicrometer het eerst aangewend door JULIUS ¹⁾ en LEWIS ²⁾ en naderhand door BOUMAN ³⁾. JULIUS heeft de gevoeligheid, door BOYS en PASCHEN bereikt, nog weten te vergrooten door alle afmetingen van het instrument te verkleinen, en tevens een snellere aanwijzing verkregen door een veel subtieler bouw van het eigenlijke thermo-element. Dit bestaat in zijn radiomicrometer uit alliages van bismuth met tin en bismuth met antimoon, uit welke materialen gelijkbeenige driehoekjes zijn gesneden, van 3 m.M. hoog, 1 m.M. breed, en 0.02 m.M. dik. De toppen dezer driehoekjes zijn door een koperplaatje verbonden, dat met kamfer-zwart bedekt aan de straling wordt blootgesteld, en tevens de andere soldeerplaatsen tegen straling beschermt ⁴⁾.

LEWIS bracht eenige wijzigingen aan in den radiomicrometer van BOYS, BOUMAN in dien van JULIUS. De eerste heeft nauwkeurige golflengten gemeten van eenige ultra-roode metaallijnen.

Op een geheel ander principe dan de beide vorige instrumenten berust de *radiometer*. Hierin ondervindt een zwart gemaakt plaatje, licht beweegelijk in vacuo opgesteld, een afstootende werking van de warmtestralen. PRINGSHEIM ⁵⁾ en na hem vooral NICHOLS ⁶⁾ hebben het oorspronkelijk demonstratietoestel van CROOKES tot een gevoelig meetinstrument gemaakt.

Zooals hij door NICHOLS wordt beschreven, bestaat de radiometer uit een metalen cilinder, die door middel van een glazen buis met kraan in verbinding staat met een

¹⁾ W. H. JULIUS. Hand. v/h. 5^e Nederl. Natuur- en Geneesk. Congres 1895.

²⁾ E. P. LEWIS. Astrophys. Journ. 2, 1 en 106, 1895.

³⁾ Z. P. BOUMAN. Emissie en Absorptie van kwarts en glas. Diss. Amst. 1897.

⁴⁾ Op dezelfde wijze heeft JULIUS de elementen gebouwd van de thermo-zuil waarmede de warmtestraling der corona werd gemeten. Zie «Total Eclipse of the Sun, May 18, 1901: Reports on the Dutch Expedition to Karang Sago, Sumatra; N^o. 4. Heat Radiation of the Sun during the Eclipse».

⁵⁾ E. PRINGSHEIM. W. Ann. 18, 32, 1883.

⁶⁾ E. F. NICHOLS. W. Ann. 60, 400, 1897.

luchtpomp. Binnen den cilinder hangt aan een kwartsdraad een glasstaafje, waarop twee zeer dunne, eenzijdig met roet bedekte mica-plaatjes zijn vastgemaakt. Verder draagt het glasstaafje een kleinen spiegel. In den cilinder zijn twee vensters aangebracht, het eene tegenover het spiegelje, gesloten door glas, het andere, voorzien van een plaat steenzout of fluoriet, tegenover de vaantjes. Achter deze plaat en in de onmiddellijke nabijheid der vaantjes, is nog een zeer dunne micaplaat aangebracht; het was proefondervindelijk gebleken dat de afstooting door het bewegelijke deel ondervonden grooter is, wanneer de stralen van een nabijgelegen vasten wand uit daarop invallen. Het eene of het andere vaantje kan tegen warmtestraling worden beschermd. De zeer gevoelige radiometer is door verschillende waarnemers ook voor spectraal-onderzoek toegepast. Onder dezen moet COBLENTZ¹⁾ genoemd worden, die onder meer de emissie der alcaliën heeft nagegaan.

Het meest gebruikelijke instrument voor het onderzoek van het ultra-roode deel van het spectrum is intusschen de *bolometer*. Het gevoelige deel hiervan is een metaalbandje, waarvan de temperatuur, en dus de electriche weerstand verandert, wanneer het door warmtestralen wordt getroffen. Daar weerstands-veranderingen uiterst nauwkeurig zijn te bepalen kunnen zeer geringe temperatuur-stijgingen door zwakke bestraling opgewekt, worden gemeten.

De bolometer heeft zijn toepassing voor waarnemingen in het spectrum te danken aan LANGLEY.²⁾ Hij heeft gedurende lange proefnemingen voortdurend verbeteringen aangebracht, en na overwinning van veel technische moeilijkheden een voortreffelijk meetinstrument geconstrueerd. De weerstands-veranderingen van het bolometer-bandje werden oorspronkelijk door hem met een differentiaal-galvanometer bepaald, maar al spoedig gaf hij de voorkeur aan de gevoeligere

¹⁾ W. W. COBLENTZ, Investigations of Infra-red Spectra. Carnegie Inst. Washington. 1905.

²⁾ S. P. LANGLEY, Ann. Astroph. Obs. of the Smiths. Inst. I. 1900.

«brug-methode». Van de vier takken van de brug van Wheatstone worden er twee gevormd door platina-bandjes van ongeveer 1 c.M. lang, 0.001 m.M. dik en 0.1 à 0.2 m.M. breed. Deze bandjes worden aan een zijde beroet, en geheel symmetrisch gemonteerd in een zwaar metalen omhulsel, zoodat langzaam verloopende temperatuurs-veranderingen op beide bandjes in gelijke mate invloed zullen uitoefenen, en op de stroomverdeeling weinig uitwerking hebben. Door het omhulsel heeft voortdurende circulatie van water plaats, en om luchtstroomingen buiten te houden, is het hermetisch gesloten. Door een cilindrische steenzout-lens wordt de straling tot een der bandjes toegelaten, en de hoogte van het spectrum tot de lengte van het bandje ingekort. De beide andere takken vormen de zoogenaamde »compensatie-weerstanden», ze zijn uit legeringen met geringe temperatuur-coëfficiënt vervaardigd, en eveneens tegen temperatuurs-veranderingen beschut. Een batterij van 60 parallel geschakelde accumulatoren levert den hoofdstroom; de intensiteit hiervan wordt zoo geregeld, dat de verwarming van de beide platinabandjes, tengevolge van den stroom, aan deze een temperatuurstijging geeft van 1 à 2 graden.

Met behulp van zijn bolometer, in verbinding met een uiterst gevoeligen galvanometer, heeft LANGLEY gedurende een reeks van jaren het spectrum der zon onderzocht.

JULIUS ¹⁾ was de eerste die naar het voorbeeld van LANGLEY maar met eenige wijzigingen, een spectro-bolometer construeerde tot het onderzoeken van aardse warmtebronnen. Hij ontdekte, dat in het ultra-roode spectrum van vlammen de verbrandings-producten specifieke emissie vertoonen.

In den lateren tijd zijn door ettelijke onderzoekers bolometrische waarnemingen verricht. PASCHEN ²⁾ heeft nog verbeteringen in het instrument weten aan te brengen; LUMMER en KURLBAUM ³⁾ hebben theoretisch en experimenteel uitvoerig

¹⁾ W. H. JULIUS. Het warmtespectrum en de trillingsperioden der moleculen van eenige gassen. Diss. Utrecht, 1888.

²⁾ F. PASCHEN. W. Ann. 48, 272, 1893.

³⁾ O. LUMMER und F. KURLBAUM. W. Ann. 46, 204, 1892.

onderzocht aan welke voorwaarden de bolometer voldoen moet om zoo gunstig mogelijk te werken.

Volledigheidshalve wil ik nog drie geheel afwijkende instrumenten noemen, waarmede warmtestraling onderzocht kan worden, en die óf alleen zijn voorgeslagen, óf slechts door hun uitvinder zijn toegepast. Het zijn de *tasimeter* van EDISON, de *spectrophoon* van BELL en de *micro-radiometer* van WEBER. In «KAYSER Handbuch der Spectroscopie» I pag. 657 en 659 is een korte beschrijving dezer instrumenten opgenomen. Alle drie zijn ze in de beschreven vormen voor spectraal-waarnemingen minder geschikt.

Voor een onderzoek van het ultra-roode spectrum, ook voor golflengten grooter dan 1.5μ , heeft men dus te kiezen tusschen vier hulpmiddelen waarmede de straling kan worden opgemerkt: de thermozuil van RUBENS, de radiomicrometer van BOYS, de radiometer van NICHOLS, en de bolometer van LANGLEY.

In gevoeligheid schijnen deze verschillende instrumenten elkaar niet veel toegegeven; over het algemeen roemt elke waarnemer in dit opzicht het door hem gebruikte toestel. Het is ook niet zoo zeer het absolute bedrag van den uitslag, door een zekere bestraling te voorschijn geroepen, dat de voortreffelijkheid van het instrument bepaalt, als wel de zekerheid en snelheid van aanwijzing, en de betrouwbaarheid daarvan tengevolge van de geringheid der storende invloeden.

De storing, veroorzaakt door dreuning, die zich noodzakelijk in ieder laboratorium doet gevoelen, dat in de onmiddellijke nabijheid van verkeerswegen is gelegen, heeft op de verschillende instrumenten in vrijwel gelijke mate invloed. Het verrichten van de subtiële waarnemingen in de laboratoria is dan ook eerst mogelijk geworden nadat door JULIUS ¹⁾ de methode was aangegeven, de toestellen aan drie draden dreunvrij op te hangen.

¹⁾ W. H. JULIUS. W. Ann. 56, 61, 1895; zie ook D. Ann. 18, 206, 1905.

Een tweede storing, die alle waarnemen met zeer gevoelige (naald-) galvanometers bemoeilijkt, wordt te weeg gebracht door veranderingen van het magnetisch veld der aarde. Ook deze storing kan voor een groot deel worden opgeheven. In den galvanometer, gebouwd volgens de aanwijzingen van DUBOIS en RUBENS ¹⁾, wordt door een drievoudige ijzeren pantsering het aardveld, en dus ook de wisseling daarvan, tot op ongeveer $1/1000$ gereduceerd.

Van deze storing zijn de radiomicrometer en de radiometer geheel vrij. Maar daartegenover staat het inconveniënt, dat het deel, dat de straling ontvangt, bij beide tevens het bewegelijke deel is, dat de straling meet. Beide toestellen moeten, om den invloed der dreuning te verminderen, worden opgehangen, en de plaats die het gevoelige deel in het spectrum inneemt is dus niet onveranderlijk. Een deel van dit bezwaar is door sommige waarnemers overvallen door het spectrum op een vaststaande spleet te ontwerpen, en dan het beeld van de tweede spleet op het gevoelige deel te projecteeren; maar ook dan nog heeft men geen zekerheid, dat altijd hetzelfde gedeelte der straling van de tweede spleet afkomstig het instrument treft. Waar ik me voorgenomen had warmtespectra te registreeren, zou de opstelling van een dezer toestellen in de onmiddellijke nabijheid van den spectrometer bovendien praktische bezwaren met zich hebben gebracht.

Voor mijn onderzoek was ik dus aangewezen op den bolometer of de thermozuil. Dat mijn keuze op de laatste is gevallen, berust op de volgende overwegingen.

De gevoeligheid van beide instrumenten is van dien aard, dat temperatuursveranderingen van de orde van $1/100\,000$ graad in het bestraalde deel een goed meetbare uitwijking van de galvanometer-naald opwekken. Daarom zijn natuurlijk bijzondere voorzorgen te nemen tegen temperatuur-invloeden van buiten af. Maar nu zijn in den bolometer de metaalbandjes slechts dan zeer gevoelig voor straling, wanneer

¹⁾ H. DUBOIS und H. RUBENS. Ztschr. für Instr. 20, 65, 1900.

er een electriche stroom door loopt, die ze aanmerkelijk (1 à 2 graden) boven de omgeving verwarmt. Deze verwarming deelt zich mede aan de omgevende lucht, en zoo wordt binnen het instrument circulatie hiervan in het leven geroepen. Tengevolge dezer verwarming zal een luchtstroom van buiten af een vele malen sterkeren invloed doen gelden, en ook bij volledige afsluiting blijft de inwendige circulatie storend.

Door alle waarnemers, die met den bolometer hebben gewerkt, wordt dan ook met nadruk gewezen op het groot ongerief dat ze van een *onregelmatig* veranderlijken nulstand van den galvanometer ondervonden.

Daar deze storing bij het gebruik van een thermozuil niet voorkomt, gaf ik, *ceteris paribus*, aan de laatste boven den bolometer de voorkeur.

Het onderzoek van een warmtespectrum, hetzij men daartoe de thermozuil of den radiomicrometer, den radiometer of den bolometer bezigt, komt daarop neer, dat men het smalle gevoelige deel van het instrument achtereenvolgens op verschillende plaatsen van het spectrum aan de straling blootstelt, deze plaats noteert, en den uitslag van het bewegelijke deel met behulp van kijker en schaal afleest. Hoe smaller de bundel is der verschillende stralensoorten, die gelijktijdig het gevoelige deel treffen, en hoe kleiner de stappen zijn, waarmede het spectrum wordt doorzocht, des te nauwkeuriger is het oordeel dat over de verdeling der warmtestraling wordt verkregen. Om vertrouwbare gevolgtrekkingen te kunnen afleiden, is het bovendien noodig, telkens weer een zelfde waarnemingsreeks te herhalen.

Dat eindelooze aflezen kan vervelend worden genoemd, het is vooral uiterst inspannend.

Bij de keuze der hulpmiddelen en den bouw der instrumenten ben ik van den beginne af te rade gegaan met de wenschelijkheid, de genoemde functies van den waarnemer door een automaat te doen verrichten, en het is me ten

slotte gelukt, mijn plaats voor den automaat in te ruimen.

Daarbij had ik de grootsche inrichting voor oogen, waarmede LANGLEY ¹⁾ sedert jaren het zonnenspectrum registreerde. LANGLEY ontwerpt het spectrum met behulp van een prismaspectrometer. De bolometer neemt een vaste plaats in. Door de tafel waarop het prisma is gemonteerd te draaien, wordt de bolometer achtereenvolgens door verschillende deelen van het spectrum getroffen, terwijl een galvanometer de intensiteit van de straling aangeeft. De galvanometer is, om storingen zooveel mogelijk te vermijden, in een afzonderlijk vertrek opgesteld. Het spiegeltje van dezen werpt een puntvormig lichtbeeld op een photographische plaat; wanneer de bolometer verschillende plaatsen in het spectrum inneemt, en dus de intensiteit der straling varieert, zal het lichtbeeld zich over de plaat bewegen. Wordt de plaat gelijktijdig in een richting loodrecht op deze beweging verschoven, dan zal na ontwikkeling der plaat een lijn zijn ontstaan, waarvan de abscissen de plaats in het spectrum, de ordinaten de intensiteit der straling aangeven. Op verschillende wijzen heeft LANGLEY beproefd, overeenstemming te verkrijgen tusschen de lineaire verschuiving der plaat, en de hoek-draaiing van het prisma. Ten slotte heeft hij de radicale maatregel toegepast, het mechanisme waardoor de draaiing, en dat waardoor de verschuiving wordt bewerkstelligd, onderling te verbinden door een 5 Meter lange as. Op deze wijze heeft hij bereikt, dat met een draaiing van 1' van het prisma een verschuiving der plaat van 1 c.M. overeenkomt.

ÅNGSTRÖM ²⁾ heeft een methode van registreeren aan de hand gedaan, die ook daar, waar geringere middelen ten dienste staan als waarover LANGLEY beschikte, kan toegepast worden. Aan het bewegelijke deel van den spectrometer bevestigt hij een 2 Meter langen arm, waarop de photographische plaat horizontaal wordt neergelegd. Boven

¹⁾ S. P. LANGLEY. I. c.

²⁾ K. ÅNGSTRÖM. Phys. Rev. 3, 137, 1895.

deze plaat is de galvanometer opgesteld. Het lichtbeeld van het spiegeltje afkomstig wordt met behulp van een totaal-reflecteerend prisma verticaal naar beneden op de plaat geworpen, en beschrijft bij draaiing van het spiegeltje een radiale lijn op de plaat. Wordt gelijktijdig de spectrometer-arm bewogen, dan zal een kromme worden geregistreerd, die weer de intensiteits-verdeeling in het spectrum aangeeft. ÅNGSTRÖM zelf zegt van zijn methode, dat ze zich niet tot metingen leent, maar een nuttige toepassing kan vinden om het voorloopige oriënteringswerk te vergemakkelijken, daar de gebruikelijke wijze van waarnemen «so ausserordentlich mühsam und zeitverschwendend ist».

Desniettemin werden tot heden slechts visueele waarnemingen verricht, en is LANGLEY de eenige, die resultaten heeft gepubliceerd door registreeren verkregen.

Aan een opstelling, zooals LANGLEY heeft kunnen tot stand brengen, viel natuurlijk met de hulpmiddelen waarover ik had te beschikken niet te denken. Ik heb daarom afgezien van de mechanische koppeling der twee bewegingen, en heb niettemin het voordeel der «correspondentie» op eenvoudige wijze algeheel kunnen verwezenlijken.

De doorlopende registreering, zooals ze door LANGLEY werd toegepast, is vervangen door het opschrijven van een reeks stippen; voor de geleidelijke draaiing is eene intermitterende in de plaats gesteld. Al moge de tijd, verlopen tusschen het registreeren van twee opeenvolgende stippen niet steeds dezelfde zijn, en al is de beweging van de photographische plaat niet eenparig, toch heb ik bij elke geregistreeerde stralings-intensiteit zekerheid omtrent den daarbij behoorenden stand van het prisma. Het *meten* der abscissen is *tellen* van verzettingen geworden.¹⁾

Het doel van mijn onderzoek was: de kennis uit te breiden

¹⁾ Hoe deze methode bovendien het voordeel geeft, dat met de uitwijking van de galvanometer-naald tengevolge der bestraling, tevens de stand kan worden geregistreerd door haar ingenomen wanneer de straling onderschept wordt, zal bij een uitvoerige beschrijving der methode worden aangegeven.

betreffende de emissie-spectra der alcali-metalen. Deze spectra vertoonen bij een betrekkelijk eenvoudige structuur een zekere regelmaat in de opeenvolging der verschillende lijnen, en zijn daarom van den eersten tijd der spectraalanalyse af bij voorkeur een onderwerp van studie geweest. Wat daaromtrent, voorzoover het ultra-roode gebied betreft, door verschillende waarnemers aan den dag is gebracht moge hier vermeld worden.

De eerste, die hierop zijn aandacht vestigde, was ABNEY. Zijn methode van waarneming was de directe photographie van spectra, die hij met behulp van een buigingsrooster ontwierp. Deze methode had hij met vrucht toegepast bij het onderzoek van het zonnenspectrum. In 1879 vond hij een lijn van Li, ¹⁾ en enkele jaren later een dubbellijn van Na, ²⁾ waarvan hij de golflengte opgaf. Beide lijnen zijn, bij bepaalde voorzorgen, voor het oog nog waarneembaar.

H. BECQUEREL ³⁾ heeft, waarschijnlijk zonder den arbeid van ABNEY te kennen, de blz. 4 uitvoerig beschreven phosphographische methode voor hetzelfde onderzoek toegepast, en aangetoond dat de verschillende metalen een uitvoerig warmtespectrum bezitten. BECQUEREL gebruikte oorspronkelijk een prisma, dat hij met behulp van een rooster had geijkt; later heeft hij in buigings-spectra direct de golflengten kunnen bepalen van de voornaamste door hem gevonden lijnen.

Een uitvoerig onderzoek is door SNOW ⁴⁾ ingesteld, naar aanleiding van het merkwaardige feit, door KAYSER en RUNGE ⁵⁾ aan het licht gebracht, dat namelijk de spectraallijnen der alcaliën zoodanig in reeksen zijn onder te brengen, dat de golflengten der lijnen tot dezelfde reeks behorende, uit eenzelfde formule met slechts één veranderlijken parameter zijn af te leiden. De geldigheid dezer formule voor

¹⁾ W. DE W. ABNEY. Phil. Mag. (5) 7, 316, 1879.

²⁾ W. DE W. ABNEY. Proc. Roy. Soc. 32, 443, 1881.

³⁾ H. BECQUEREL. C.R. 96, 1217, 1883; 97, 71, 1883; 99, 374, 1884.

⁴⁾ B. W. SNOW. W. Ann. 47, 208, 1892.

⁵⁾ H. KAYSER und C. RUNGE. W. Ann. 41, 306, 1890.

verschillende deelen van het spectrum was zoo treffend, dat extrapolatie geoorloofd scheen, en lijnen voorspeld werden die nog niet waren gevonden. Met een gevoeligen bolometer is SNOW verder in het ultra-rood kunnen doordringen, en heeft hij een aantal nieuwe lijnen gevonden, waarvan enkele werkelijk de voorspelde plaats innamen. Zijn spectrometer was voorzien van glazen prisma en lenzen, zoodat zijn onderzoek beperkt bleef tot golflengten kleiner dan 1.6μ , daar alle glas de stralensoorten van grooter golflengten bijna totaal absorbeert. De gedeeltelijke absorptie bij kleinere golflengten, zoowel als de chromatische aberratie van zijn optisch systeem, hadden op de scherpte der metingen van SNOW tusschen 1 en 1.5μ storenden invloed.

De schoone arbeid van SNOW is zeer streng gecritiseerd door KAYSER ¹⁾. Hij toont aan, dat lijnen die SNOW aan een metaal toerekent, in werkelijkheid haar oorsprong hebben in de verontreiniging met een ander metaal. SNOW heeft namelijk de onvoorzichtigheid begaan, de geringste verheffingen in zijn intensiteits-krommen zonder onderscheid aan de specifieke emissie van het onderzochte metaal toe te schrijven.

LEWIS ²⁾ heeft zich ten doel gesteld van enkele reeds bekende lijnen met groote nauwkeurigheid de golflengten vast te stellen. Hij koos den radiomicrometer van BOYS in eenigszins gewijzigden vorm tot meetinstrument en ontwierp de spectra met behulp van een concaaf rooster met een focus-afstand van ruim 4 meter. In zijn intensiteits-krommen wordt de D lijn duidelijk gescheiden. LEWIS mat golflengten tot 1.2μ .

LEHMANN ³⁾ eindelijk heeft de directe photographie van ultra-roode stralen weder ter hand genomen, en schoone lijnenspectra der alcaliën verkregen, die zich uitstrekken tot 1μ . Hij gebruikte een rooster-spectrograaf en ontwierp op de

¹⁾ H. KAYSER und C. RUNGE. W. Ann. 48, 150, 1893. zie ook KAYSER Handbuch der Spectroscopie II.

²⁾ E. P. LEWIS. Astroph. Journ. 2, 1 en 106, 1895.

³⁾ H. LEHMANN. D. Ann. 5, 633, 1901; zie ook Phys. Ztschr. 5, 823, 1905.

gevoelige plaat gelijktijdig een deel van het zichtbare ijzer-spectrum. Uitgaande van de bekende lijnen van dit vergelijkings-spectrum was hij in staat met groote nauwkeurigheid de golflengten der alcali-lijnen te bepalen.

Waar de emissie der alcaliën met grootere en geringe nauwkeurigheid door genoemde waarnemers was nagegaan tot golflengten van 1.5μ , scheen het me van belang een onderzoek in te stellen in het gebied der langere golven.

Intusschen verscheen, gedurende de voorloopige proefnemingen met mijn instrumentarium, het reeds vroeger geciteerde werk van COBLENTZ ¹⁾. COBLENTZ had onder meer het onderzoek naar de emissie der alcaliën ondernomen en was tot de gevolgtrekking gekomen dat voorbij 1.5μ *geen* specifieke emissie bestaat. Bij het bepalen van het spectrum van den electrischen lichtboog verkreeg hij bovendien het verrassende resultaat dat daarin het bekende emissie-maximum van koolzuur niet voorkomt, terwijl men toch zou verwachten, dat CO_2 als voornaamste verbrandingsproduct der kolen aanwezig moest zijn. Hij zegt hieromtrent ²⁾: «This is of considerable interest, since it shows that no CO_2 is formed, and that the electrodes are consumed in a different manner. They do not disappear in the ordinary way of combustion. There is but little residue from mechanical disintegration; they disappear chiefly in the form of vapor». Van dit merkwaardige feit wilde ik mij overtuigen, doch het bleek mij dat in alle boogspectra, waarbij ik kolen van zeer verschillend fabrikaat tusschen de golflengten 0.5μ en 10μ onderzocht, het koolzuur-maximum niet alleen aanwezig was, maar dat daar ter plaatse zelfs steeds de sterkste emissie van het geheele spectrum werd aangetroffen.

Daarna ben ik met mijn oorspronkelijk voorgenomen onderzoek voortgegaan.

¹⁾ W. W. COBLENTZ. Investigations of infra-red Spectra. Carnegie Inst. Washington. 1905.

²⁾ pag. 305.

HOOFDSTUK II.

DE INSTRUMENTEN.

Plaat 1 geeft een schematisch overzicht van de opstelling der verschillende instrumenten op de drie pilaren I, II en III.

Van de te onderzoeken warmtebron W vormt de metaalspiegel S een beeld op de spleet A van den spectrometer. De stralen van deze spleet uitgaande worden door het prisma P ontleed en treffen, tot een spectrum uitgespreid, voor een gedeelte de thermozuïl die binnen Th is opgesteld. De elektrische stroom, door de bestraling opgewekt, wordt door den galvanometer G gemeten.

Op den trommel T worden de uitwijkingen photographisch geregistreerd.

DE SPECTROMETER.

De spectrometer, oorspronkelijk gebouwd voor visuele waarneming met kijker en collimator, heeft een verdeelden cirkel van 55 c.M. diameter, afkomstig van een oud universaal-instrument van Troughton and Simms; twee microscopen met draden-micrometer veroorloofden een aflezing van nominaal 1". Dit instrument is voor mijne waarnemingen omgebouwd tot een spiegel-spectrometer met automatische minimum-stelling van het prisma volgens een door WADSWORTH ¹⁾ aangegeven methode.

Daartoe moest het instrument de volgende veranderingen ondergaan. De vaste collimator-arm werd voorzien van een verstelbaar statief voor den hollen zilverspiegel S₁. De be-

¹⁾ Zie o. a. KAYSER Handbuch der Spectroscopie I, 531, 1900.

wegelijke kijker-arm, met een schroef aan den zwaren voet van het instrument te fixeeren, kreeg eveneens een verstelbaar statief voor den hollen zilverspiegel S_2 . Een van de microscoopzuilen werd van het microscoop ontdaan, en op de zuil een koperen montuur Th bevestigd, waarbinnen de thermozuil is aangebracht. Het tweede microscoop M bleef gehandhaafd. Verder werd aan den voet van het instrument nog een vijfde arm bevestigd, waarop een in alle richtingen verstelbaar tafeltje. Op dit tafeltje staat de spleet A.

De spleet en de thermozuil zoowel als de beide holle spiegels en het microscoop zijn dus verbonden met den voet van het instrument. Bewegelijk is alleen de spectrometer-tafel E die het prisma P en den vlakken zilverspiegel S_3 draagt en de verdeelde cirkel, welke aan de draaiing van de tafel E deelneemt. De spleet A is in het hoofdbrandvlak van den spiegel S_1 gesteld. Op het prisma P valt dus een bundel evenwijdige stralen; na breking en kleurschifting in het prisma treft deze den vlakken spiegel S_3 en vervolgens den hollen spiegel S_2 . In het hoofdbrandvlak van S_2 bevindt zich de thermozuil, die dus getroffen wordt door een monochromatisch spleetbeeld.

Het gebruik van spiegels in plaats van lenzen heeft het groote voordeel dat chromatische aberratie is uitgesloten, en dus het spleetbeeld ook voor onzichtbare stralensoorten ingesteld blijft. Ook kan de optische afwerking van glazen spiegels die verzilverd worden beter zijn dan die van steenzout-lenzen, welke laatsten bovendien voortdurende voorzorgen vereischen.

Wordt de tafel E, dus het prisma en de vlakke spiegel gedraaid, dan treffen achtereenvolgens verschillende deelen van het spectrum de thermozuil. Indien de stand van het prisma zoo gekozen is, dat voor één lichtsoort de stralenbundel die zich op de thermozuil vereenigt in het prisma het minimum van deviatie heeft ondergaan, zal bij gemeenschappelijke draaiing van het prisma en den vlakken spiegel dezelfde voorwaarde vervuld zijn voor elke andere stralensoort die de thermozuil treft.

Het is gewenscht dat het bisectrix-vlak van den brekenden prisma-hoek het vlak van den spiegel S_3 snijdt volgens de draaiingsas van den spectrometer. Dan toch is men gewaarborgd, dat het gedeelte van den door den vlakken spiegel gereflecteerden stralenbundel, dat na beeldvorming door den spiegel S_2 de thermozuïl treft, steeds in dezelfde richting op S_2 invalt. Werd aan deze voorwaarde niet voldaan, dan zou de stralenbundel, voor een bepaalde stralensoort centraal op den hollen spiegel ingesteld, na draaiing van de spectrometer-tafel voor een andere stralensoort niet langer gecentreerd zijn.

Het prisma staat op een dunne ebonieten plaat, die slechts zóó over de tafel E kan verschoven worden, dat ieder punt van de plaat een cirkel beschrijft om de as van den spectrometer. Op deze plaat wordt het prisma zoodanig geplaatst, dat de bisectrix van den brekenden hoek de as van den spectrometer snijdt. Door de plaat te verschuiven kan dan nog het prisma naar wensch worden ingesteld. De vlakke spiegel is geklemd in den draaibaren spiegelhouder I; hierbij is zorg gedragen dat de as van den spectrometer in het spiegelvlak ligt. Met behulp van een schroef en een veer kan de spiegel kleine hoeken gedraaid worden.

De instelling van prisma en spiegel geschiedt op de volgende wijze. Door verschuiven van de ebonieten plaat waarop het prisma staat wordt visueel beoordeeld of voor een bepaalde stralensoort, bijv. Natriumlicht, de minimumstelling bereikt is. Daarna wordt de vlakke spiegel gedraaid tot de stralenbundel centraal den hollen spiegel S_2 treft; en ten slotte wordt deze spiegel S_2 zoo ingesteld, dat de D lijn op de thermozuïl valt. Hoe dan daarna de tafel E gedraaid moge worden, steeds vallen minimaal afgeweken stralen op de thermozuïl.

De tafel van den spectrometer wordt gedraaid met behulp van schroef en worm. De worm is aan den verdeelden cirkel verbonden, en de stalen schroef C van ongeveer 5 c.M. lengte, 12 m.M. doorsnede en 0.3 m.M. spoed, wordt gedragen door een zwaren arm die met den voet van den spectrometer is verbonden. Het verdient vermelding, dat

door middel van een sledebeweging verschillende gedeelten van de schroef in functie zijn te stellen. De schroef is met Cardanische overbrenging verbonden aan een raderwerk R, dat op zijn beurt door middel van een snaar aan een tweede door een gewicht gedreven raderwerk R' is gekoppeld. Ik zal er van afzien in bijzonderheden het raderwerk R te beschrijven; genoeg zij dat een electromagnetisch uit te lichten pal het vrij maakt, en weer arrêteert, nadat de schroef C een vooraf te kiezen onderdeel van een omwenteling heeft gemaakt. Bij de definitieve waarnemingen werd na het uitlichten van den pal de schroef $\frac{1}{10}$ van een omwenteling gedraaid. Binnen het raderwerk R wordt telkens even na het uitlichten van den pal een electrisch contact gemaakt, waardoor de wijzer van een telwerk Z wordt verzet. Op Z kan ik dus het aantal «verzetten» van den spectrometer aflezen.

De geheele spectrometer inclusief de schroef en het raderwerk is op mijn aanwijzingen gebouwd door de Nederlandsche Instrumentenfabriek te Utrecht, directeur Dr. N. G. VAN HUFFEL. Het instrument heeft in alle opzichten uitstekend aan mijn verwachtingen voldaan.

De spleetinrichting.

De spleet heeft massieve roodkoperen wanden, en is op de gewone wijze met schroef en veer op gewenschte breedte in te stellen. Vlak voor de spleet bevindt zich het waterscherm B, waardoor gedurende de waarneming circulatie uit de waterleiding plaats heeft. Dit waterscherm heeft een kleine opening, waar doorheen de stralen van den spiegel S afkomstig de spleet kunnen bereiken. Voor die opening is een bewegelijke schuif F gesteld, die wanneer ze opgetrokken wordt de stralen doorlaat, en als ze neergelaten is den stralenbundel onderschept. Een duidelijk zichtbaar merk is op de schuif aangebracht. Wordt op dit merk bij neergelaten schuif het beeld van een warmtebron geprojecteerd, dan zullen bij opgetrokken schuif slechts die stralen de spleet bereiken, die van te voren het merk troffen.

Het ophalen en neerlaten van de schuif F geschiedt door een kleinen electromotor X. Bijzondere voorzorgen zijn genomen dat de schuif zich beweegt zonder eenigen schok, wat dreuning van de spleet tengevolge zou kunnen hebben.

De spiegels.

De holle spiegels zijn geleverd door de firma REINFELDER und HERTEL. Het zijn verzilverde glasspiegels van 9 c.M. diameter en 140 c.M. krommingsstraal. Het reflecteerend vermogen van de zilverlaag was matig, maar is door voorzichtig polijsten voldoende geworden. De statieven waarin ze zijn opgesteld, veroorloven hoogteverstelling, zoowel als draaiing om een verticale en een horizontale as. De vlakke spiegel is een stuk uitgezocht spiegelglas dat verzilverd en gepolijst is. ¹⁾

Het prisma.

Het steenzout-prisma is afkomstig van de firma Dr. STEEG und REUTER. De brekende vlakken hebben een oppervlak van 7×7 c.M., de brekende hoek is $60^{\circ} 5' 0''$. De optische afwerking ervan is voortreffelijk; gemakkelijk worden de D lijnen gescheiden. Van de inwerking van de vochtigheid der lucht heb ik veel minder bezwaar onderhouden dan ik in den beginne dachtte. Wel werd de spectrometertafel zoodra een waarnemingsreeks was geëindigd met een glazen klok bedekt, waaronder een droogmiddel was geplaatst; en moest op vochtige dagen de kachel worden gestookt, om de relatieve vochtigheid in het vertrek tenminste onder de 75% te houden; maar de herhaaldelijk urenlange blootstelling aan de toch nog vrij hoge vochtig-

¹⁾ Om goede zilver spiegels te verkrijgen heb ik met succes de volgende eenvoudige methode toegepast. Het uitgezochte stuk spiegelglas wordt volgens de bekende methode van BÖTTGER met een drievoudige laag zilver bedekt. Nadat de zilverlaag gedroogd is, wordt ze met een tampon van zeemleder en zeer overvloedig Parijsch rood en alcohol gepolijst. Hiermede wordt niet langer dan een enkele minuut doorgegaan. Ten slotte wordt het Parijsch rood door een sneldraaiende schijf van zacht linnen weggeborsteld.

heid, bijna zonder dat het steenzout hiervan inwerking ondervond, wijst er op dat het zeer weinig hygroscopisch en de gevreesde verontreiniging met magnesium-chloride gering is. Eerst na 2 of 3 maanden gebruik ontstond op de anders glasheldere oppervlakken een flauw waas ¹⁾, dat na een paar streken op de polijstplaat verdwenen was. ²⁾

De omhulling van den spectrometer.

Om vreemde licht- en warmtestralen buiten te sluiten en om eventueele temperatuur-verschillen in deelen van het instrument snel te doen uitwisselen, is over den spectrometer even boven den verdeelden cirkel een zinken doos gebouwd. Deze omgeeft de spiegels, de tafel en het microscoop, en heeft nauwsluitende openingen in den bodem, waardoor de beide spiegelstatieven en de voet van de tafel binnenkomen. Een boring in bodem en deksel veroorlooft den cirkel, die door een gloeilampje verlicht kan worden, met het microscoop af te lezen; terwijl door een opening in den zijwand de stralen binnenkomen, en door een tweede opening het montuur van de thermozuil naar binnen steekt.

Deze omhulling beschutte de thermozuil, ook wanneer het montuur van deze zorgvuldig in watten was gepakt, nog niet voldoende tegen onvermijdelijke luchtstromingen in het vertrek. Daarom werd een tweede mantel van karton aangebracht, die aan alle kanten gesloten het geheele instrument omgeeft. Alleen de spleet en het waterscherm zijn buiten dezen mantel gehouden, in welken behalve voor de

¹⁾ Dit waas verzwakt de zichtbare stralen aanmerkelijk meer dan de ultra-roode.

²⁾ Voor het polijsten van het steenzout-prisma gebruikte ik een reep spiegelglas, overtrokken met zeer dun neteldoek. Het weefsel had geen andere bedoeling, dan in zijn mazen het polijstmiddel vast te houden. Als polijstmiddel preferer ik Parijsch rood, dat in alcohol gesuspenderd, met den alcohol in een fijnen regen op de plaat werd gespoten. Deze bewerking werd na verdamping van den alcohol herhaald, tot de plaat licht-rood gekleurd was. Moest nu een vlak van het prisma gepolijst worden, dan werd de glazen plaat door een fijnen alcohol-regen even bevochtigd, en het prisma langzaam onder lichten druk over de plaat heen en weer bewogen, tot de alcohol geheel verdampt was.

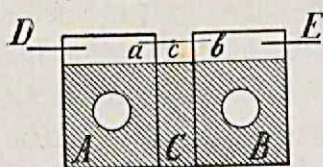
verschillende stroomtoeleidingsdraden geen andere openingen zijn, dan voor den binnentredenden stralenbundel, voor het microscoop, en voor de snaar die de beide raderwerken verbindt.

DE THERMOZUIL.

Nadat ik van de verschillende hulpmiddelen waarmee het warmtespectrum kan doorzocht worden, om vroeger gemotiveerde redenen mijn keuze op de thermozuil bepaald had, ben ik er me op gaan toeleggen een zoo gevoelig mogelijk instrumentje te construeeren. Mijn vergeefsche pogingen met alliages van bismuth en tin, en van bismuth en antimoon, welke alliages in de thermo-electrische reeks de hoogste en de laagste plaats innemen, zal ik niet nader beschrijven. Het bleek me onmogelijk de uiterst kleine elementen, nadat ik er een 30 tal had vervaardigd, samen te voegen tot een geheel.

Ik heb toen naar het voorbeeld van RUBENS een thermozuil geconstrueerd uit constantaan en ijzer, welke metalen thermo-electrisch een slechts half zoo gunstig koppel vormen als de bovengenoemde alliages, maar daartegenover handelbaarder zijn.

Een van de elementen waaruit de zuil bestaat is hiernaast op natuurlijke grootte geteekend. A en B zijn twee plaatjes roodkoper, die, met tusschenvoeging van een stukje mica C, door een gegomd reepje papier geïsoleerd aan elkaar zijn



verbonden. Op dit onderstuk zijn de toeleidingsdraden D en E en het eigenlijke thermo-element a c b gesoldeerd. Dit laatste bestaat uit een draadje ijzer a c en een draadje

constantaan b c, beide van 0.06 m.M. dikte, die in c met zilver aan elkaar zijn gesoldeerd. De soldeerplaats is tot een dun plaatje van circa 0.2 m.M². oppervlakte uitgeslagen, en daarna beroet. Dertig dergelijke elementen zijn, met tusschenvoeging van plaatjes mica, en de ronde openingen

in A en B glijdende over ebonietzuiltjes, op elkaar gestapeld. Daarbij komen de uitgeslagen plaatjes c jalousies-gewijze over elkaar te liggen, en vullen juist een spleet van 11 m.M. lengte en 0.42 m.M. breedte, waarvan de beide wanden de verdere deelen van de zuil tegen straling beschermen.

Deze maten van 11 en 0.4 m.M. wilde ik in geen geval overschrijden. Van de bekende thermozuil van RUBENS, die op de soldeerplaatsen zilverplaatjes van 1 m.M. diameter draagt, zou ik dus niet meer dan elf elementen hebben kunnen plaatsen; en het deel der zilverplaatjes, dat achter de spleetwanden aan de bestraling onttrokken zou zijn geweest, zou de temperatuurstijging van de soldeerplaatsen aanmerkelijk kleiner hebben doen zijn.

De betrekkelijk groote koperplaten A en B zijn aangebracht met de bedoeling, de niet bestraalde soldeerplaatsen groote warmte-capaciteit te verleen. Een deel toch van de warmte, door de bestraling opgewekt, wordt door geleiding langs de metaaldraadjes afgevoerd naar de niet bestraalde soldeerplaatsen, maar wordt nu door de platen A en B zonder merkbare temperatuurverhooging opgenomen.¹⁾

De ijzer- en constantaandraadjes zijn dun genomen om de warmte-onttrekking door geleiding aan de bestraalde soldeerplaatsen gering te doen zijn. Wel is tengevolge daarvan de electriche weerstand van de thermozuil vrij groot (circa 12 ohm), maar dit leverde voor mijn geval geen nadeel op. Een kleinere weerstand van de zuil toch zou, wegens de daardoor vermeerderde electro-magnetische demping, een geringere gevoeligheid van den galvanometer noodzakelijk gemaakt hebben.

Ik heb er van afgezien, warmtegeleiding door de lucht en convectie te verminderen door de thermozuil in vacuo

¹⁾ Het groote verschil in capaciteit van de bestraalde en de niet bestraalde soldeerplaatsen heeft echter het inconvenient, dat een temperatuurwisseling in de ruimte waarin zich de thermozuil bevindt, opgewekt door een luchtstrooming, de soldeerplaatsen met kleine capaciteit sneller beïnvloedt dan die met groote. Een zorgvuldige omhulling van het instrument was dus noodig en bleek afdoende te zijn.

te plaatsen, omdat er geen continu arbeidende luchtpomp tot mijn beschikking was, en ook omdat voorafgaande proefnemingen me slechts geringe voordeelen voorspelden.

De thermozuil met spleet is in een zware koperen bus gemonteerd, die aan den achterkant door een plaat is gesloten. De bus wordt gevat in het montuur Th (Plaat 1), waarin ze gedraaid kan worden, om de spleet evenwijdig aan de spectraallijnen te stellen. Een conische boring in een verlengstuk van het montuur Th laat tot de zuil alleen de stralen toe afkomstig van den spiegel S_2 .

DE GALVANOMETER.

Een drievoudig gepantserde galvanometer naar DUBOIS-RUBENS, vervaardigd door de firma SIEMENS und HALSKE, meet den thermostroom, door de bestraling opgewekt. De galvanometer is in een houten statief driedradig opgehangen boven een stevig gefundeerden pilaar. Het houten statief is omplakt met papier, alleen een klein gedeelte tegenover het spiegeltje van den galvanometer is open gelaten. Nauwpassend daaromheen staat op den pilaar een rondom gesloten kartonnen mantel, voorzien van een glazen venster tegenover het spiegeltje. Van boven zijn kleine openingen, hierdoor komen de drie draden binnen, waaraan het statief met den galvanometer geheel vrij hangt. Deze kartonnen mantel is aangebracht met de bedoeling, vooreerst den hangenden galvanometer tegen luchtstroomingen in het vertrek te beschermen, en dan om langzame bewegingen van het statief te dempen. Deze luchtdemping heeft goed voldaan.

Het magneetsysteem en een vlak spiegeltje van 4 m.M. diameter hangt aan een zeer dunnen kwartsdraad. Het gewicht van beiden bedraagt circa 30 milligram.

De instelling van den galvanometer op de gewenschte gevoeligheid met behulp van de beide buitenste richtmagneten (een deurtje in den kartonnen mantel gaf gelegenheid voor deze manipulatie) wordt zeer vergemakkelijkt door een sole-

noïde zonder ijzerkern. Deze is zoo onder den galvanometer opgesteld, dat ze door een electrischen stroom doorloopen een veld opwekt, dat aan het hangende magneetsysteem, bij afwezigheid van andere magneetkrachten, de symmetrische stelling zou geven. Wanneer men bij het instellen der richtmagneten «de kluts kwijt is», zal een stroom door de sole-noïde gezonden het systeem in de richting van den symmetriestand teruggedrijven. Nog eenvoudiger is het, gedurende het verstellen der magneten voortdurend den stroom te laten doorgaan; heeft men bij het verstellen het systeem in den symmetriestand gebracht, dan zal na verbreking van den stroom die stand gehandhaafd blijven.

De twee draadklossen van den galvanometer hebben achter elkaar geschakeld een weerstand van 10 ohm. De gevoeligheid werd zoo gekozen, dat de beweging van het magneetsysteem, wanneer de thermozuil met een weerstand van 12 ohm in de keten wordt opgenomen, bijna aperiodisch is. Luchtdamping is bij het systeem niet aangebracht. Bij die gevoeligheid geeft een stroom van 10^{-8} ampère op een schaal, 1 Meter van het spiegeltje verwijderd, een uitwijking van 90 m.M., en is de (dubbele) slingertijd bij geopende keten 12 sec.

De aflezing der uitwijkingen geschiedde oorspronkelijk met kijker en een glazen schaal, die op 1 Meter afstand van den galvanometer, helder verlicht was opgesteld. De kijker voorzien van een totaalreflecteerend prisma vóór het objectief stond op den steenen pilaar. Ondanks de geringe afmetingen van het spiegeltje, waren de millimeters van de schaal zeer scherp waar te nemen en flink te vergrooten, zoodat op $\frac{1}{10}$ millimeter met zekerheid kon worden afgelezen. Bij de definitieve waarnemingen zijn de uitlagen echter niet geobserveerd, maar photographisch geregistreerd.

Niettegenstaande de voortreffelijke werking der dreunvrije ophanging ondervond ik veel bezwaar van de «onrustigheid» van den galvanometer. Zoolang de passage, vooral van rijtuigen, in de nabijheid van het laboratorium aanhield

moest ik van nauwkeurig waarnemen afzien, en dan nog gaven alleen die nachten vertrouwbare resultaten, gedurende welke de windkracht gering was. Daarbij kwam in den laatsten tijd de hinderlijke storing van den electrischen tram, die op korten afstand het laboratorium voorbijgaat. Niet-tegenstaande de zorgvuldige pantsering was de invloed vooral van vagabondeerende grondstroomen zoo sterk, dat eerst nadat het tramverkeer geeindigd was met de waarneming kon aangevangen worden.

De galvanometer zelf vertoonde in zijn pantsering meer-malen verandering van magnetiseering. Vooral temperatuurwisseling bleek oorzaak van het «wandelen der polen». Het gevolg daarvan was een geleidelijk veranderen van nulstand en gevoeligheid. Gedurende een waarnemingsreeks waren die veranderingen gering, maar van den eenen dag op den anderen soms van beteekenis. En vooral voor het regelen der gevoeligheid was de bovenbeschreven solenoïde van groot gemak. De stroom werd dan blijvend doorgezonden, en door de richting te kiezen en de intensiteit te regelen de gevoeligheid naar wensch ingesteld. Bij alle waarnemingen is dan ook de gevoeligheid dezelfde geweest. De veranderingen in den nulstand werden gecorrigeerd door een staalmagneet in de nabijheid van den galvanometer te verleggen.

HET REGISTREEREN DER SPECTRA.

Zooals ik op bladz. 21 beschreef, wordt de tafel van den spectrometer door middel eener tangentieele schroef gedraaid. De schroef is aan een raderwerk gekoppeld dat door een pal wordt gestuit. Deze pal kan electromagnetisch uitgelicht worden, en zal het raderwerk weer arrêteeren, nadat de tangentieele schroef $\frac{1}{10}$ van eene omwenteling heeft gemaakt. Dit beteekent voor de spectrometer-tafel een draaiing van $24^{\circ}.5$. Bij iedere «verzetting» van den spectrometer wijzigt zich dus met dit bedrag de hoek waaronder de evenwijdige stralen-

bundel op het eerste brekende vlak van het prisma invalt; en met het dubbele bedrag wijzigt zich de deviatie van de stralen, die het prisma symmetrisch doorloopen.

Door een reeks «stroomstooten» die telkens den pal even uitlichten wordt het spectrum over de thermozuil verschoven; twee opvolgende stralensoorten welke de zuil treffen onderscheiden zich door een deviatie-verschil van $49''$.

Het onderzoek van een spectrum kwam dus, zoolang met kijker en schaal werd geobserveerd, op het volgende neer. Terwijl door de schuif de stralen werden onderschept werd de «nulstand» van den galvanometer waargenomen; dan werd de schuif opgetrokken en de nieuwe evenwichtstand afgelezen. Het verschil van dezen evenwichtstand met den nulstand geeft de «uitwijking» door de bepaalde stralensoort te voorschijn geroepen. Daarna werd de schuif neergelaten, door een stroomstoot de spectrometer verzet, en uit de aflezing van den nulstand en van den volgenden evenwichtstand bij geopende schuif de uitwijking bepaald, door de naastliggende stralensoort opgewekt. Door dan de verschillende verzetten en de bijbehorende uitwijkingen te noteeren, kon een beeld van het spectrum ontworpen worden. ¹⁾

Zelden werd echter visueel waargenomen; gewoonlijk werden de uitwijkingen van den galvanometer geregistreerd, en geschiedde het onderzoek van een spectrum geheel automatisch. ²⁾ De opstelling hiervoor is de volgende.

Voor den galvanometer (zie Plaat 1) is op 50 c.M. afstand van het spiegeltje een registreertrommel T geplaatst. Deze bestaat uit een inwendigen cilinder van 13 c.M. lengte en 28 c.M. omtrek, die door een uurwerk om een horizontale as wordt gedraaid, en in 200 minuten een geheele omwenteling maakt; en uit een vaststaanden cilindrischen mantel voorzien van een horizontale spleetvormige opening van 12 c.M. lengte en 0.3 m.M. breedte. Op den inwendigen cilinder

¹⁾ Het is van groot voordeel het spectrum met gelijke stappen te doorzoeken, zie pag. 38.

²⁾ Bij de inrichting hiervan ondervond ik voortdurend de kundige voorlichting en hulp van mijn vriend F. L. BERGANSIUS.

kan een vel broomzilverpapier worden gespannen, dat dus alleen door de smalle spleetvormige opening licht ontvangt. De registreertrommel werd me door de welwillendheid van Dr. E. VAN EVERDINGEN door het Meteorologisch Instituut in bruikleen afgestaan.

Op den pilaar III staat achter een verticale spleet in het scherm H een Nernstlamp N. Het licht hiervan afkomstig wordt op de lens L geconcentreerd, en deze vormt van de verticale spleet een scherp beeld op de horizontale spleetvormige opening in den mantel van den trommel T, nadat de lichtstralen door het spiegeltje s van den galvanometer zijn gereflecteerd. Vóór de verticale spleet is een klepje O aangebracht, dat het licht van de spleet uitgaande onderschept maar electromagnetisch kan worden opgelicht. Wordt dit klepje O even opgelicht, dan zal het broomzilverpapier door een klein vierkant lichtbeeldje worden getroffen, dat na ontwikkeling van het papier een zwarte stip veroorzaakt.

In het scherm H is nog een tweede opening aangebracht, waardoor de Nernstlamp N een lichtbundel zendt, die na reflectie in het prisma Q eveneens het spiegeltje s treft. Vóór het totaalreflecteerend prisma is een scherm D aangebracht, met een opening waarover een verticale draad is gespannen. De lens L' vormt van dezen draad een beeld op de verdeelde schaal V. De lichtvlek met het beeld van den draad is met het bloote oog duidelijk waarneembaar (de schaal is een reep doorschijnend papier), en met behulp van den kijker K tot op onderdeelen van een millimeter af te lezen. Deze lichtvlek veroorlooft gedurende het registreeren een voortdurende contrôle over den nulstand en over de uitwijkingen van den galvanometer.

Om dit registreeren geheel automatisch te doen verlopen is een klein uurwerk U geconstrueerd, dat met de noodige veranderingen uit een gewonen wekker is ontstaan. Het is voorzien van een aantal contactveertjes, die achtereenvolgens verschillende stroomketens sluiten, en verricht zoo met groote regelmatigheid de verschillende manipulaties van den waarnemer.

Wordt dit uurwerkje in gang gezet bij neergelaten schuif F (zie Plaat 1), terwijl dus de thermozuil geen straling ontvangt en de galvanometer den «nulstand» inneemt, dan wordt na eenige seconden het klepje O even opgelicht, tengevolge waarvan een stip op het broomzilverpapier ontstaat. Onmiddellijk daarna zet een stroomstoot de raderwerken R en R' in beweging, waardoor de spectrometer-tafel E een hoek van $24''.5$ wordt gedraaid, verspringt de wijzer van het telwerk Z, en wordt gelijktijdig een stroom gezonden door den electromotor X, die de schuif F langzaam ophaalt en de straling tot de thermozuil toelaat. De galvanometer ontvangt nu den thermostroom en het spiegeltje s stelt zich in beweging tot het aperiodisch zijn nieuwen evenwichtstand heeft bereikt. Een oogenblik later wordt het klepje O weder opgelicht, en een tweede stip legt den nieuwen evenwichtstand op het gevoelige papier vast. De stroom in den electromotor wordt nu onderbroken, de schuif F zakt en onderschept den stralenbundel, zoodat de galvanometer weder den nulstand bereikt. Hiermede is één cyclus volbracht en vangt direct de tweede aan. Inmiddels is de inwendige cilinder van den registreertrommel gedraaid en de stip, die den tweeden nulstand zal aangeven, komt dus naast die van den eersten. Zoo zullen na eenigen tijd twee reeksen van stippen opgeteekend zijn, de eerste reeks aangevende de nulstanden, de tweede aangevende de uitslagen van den galvanometer, tengevolge van de straling van verschillende deelen van het spectrum.

Om met zekerheid de opeenvolgende stippen te kunnen tellen wordt door hetzelfde uurwerkje U telkens na 5 volledige cycli een elektrische stroom even door een gloeilampje gezonden, dat tegenover de spleetvormige opening in den mantel van den trommel T staat. Het licht van dit gloeilampje treft het broomzilverpapier volgens een smalle lijn. De duur van den stroom die het gloeilampje doet lichten is afwisselend langer en korter; zoodat na ontwikkeling van het papier zware en zwakkere lijnen de tien- en de vijftallen van de opvolgende stippen aangeven.

De duur van een volledige cyclus bedroeg gewoonlijk 36 seconden, zoodat een spectrum van 0.7μ tot 6μ met 200 stappen geregistreerd kon worden in 2 uur.

De automatische registrering heeft honderden uren gaarheid zonder eenmaal te weigeren.

Op Plaat 2 zijn een tweetal van zulke spectrogrammen op $\frac{3}{4}$ der ware grootte photographisch gereproduceerd.

De voordeelen van deze methode van waarneming boven de visuele zijn vele. Ik wil de voornaamste kortelijks aangeven.

1. De absolute betrouwbaarheid der waarnemingen.
 2. De zeer korte tijd waarin een waarnemingsreeks geschiedt (o. a. van beteekenis bij het onderzoek van warmtebronnen, die zooals de lichtboog voortdurende fluctuaties van intensiteit vertoonen).
 3. Het niet bestaan van storingen door de nabijheid van den waarnemer veroorzaakt.
 4. Het met zekerheid interpoleren bij verloopenden nulstand.
 5. De mogelijkheid om uit den vorm der «nul-lijn» de waarschijnlijke fout te beoordeelen.
 6. De volkomen vergelijkbaarheid der verschillende waarnemingen.
-

HOOFDSTUK III.

DE METHODE VAN WAARNEMING EN HET AFLEIDEN DER RESULTATEN.

Eenige uren voordat een waarnemingsreeks aanving, werd de temperatuur in het vertrek zorgvuldig geregeld. De thermozuil bleek namelijk een sterken en lang aanhoudenden invloed van temperatuurwisselingen te ondervinden, welke daardoor veranderingen te voorschijn riepen in den nulstand van den galvanometer. Deze veranderingen verliepen steeds zoo geleidelijk, dat ze voor de zekerheid der metingen geen bezwaar opleverden, toch was het natuurlijk wenschelijk ze zooveel mogelijk te beperken. Ook gedurende de waarneming kon de nulstand gewoonlijk voldoende worden geregeld, door nu eens een kleine gasvlam in den hoek van het vertrek aan te steken, dan weer een ventilator te openen.

De instelling van den spectrometer geschiedde met behulp van het microscoop M (Plaat 1). De schroef C werd daartoe van het raderwerk R vrijgemaakt, en zoo ver teruggedraaid, tot een bepaalde streep van den verdeelden cirkel met het dradenkruis van het microscoop samenvalt. Daarna werd de schroef weer aan het raderwerk gekoppeld; tevens werd de wijzer van het telwerk Z op o gebracht en het uurwerkje U in zulk een stand gearrêteerd, dat, zoodra het in gang wordt gezet, zijn eerste functie zal zijn het gloeilampje te ontsteken, dat vóór den trommel T is geplaatst, en zoo de stip behorende bij verzetting o door een begeleidende lijn kenbaar te maken.

Altijd werd op dezelfde streep van den cirkel ingesteld, en hierdoor is bereikt dat voor verschillende waarnemingsreeksen gelijkgenummerde verzettingen van den spectrometer

steeds met eenzelfde stand van de tangentieele schroef overeenkomen ¹⁾ Deze instelling geeft echter geenszins den waarborg, dat daarbij de thermozuil dezelfde plaats in het spectrum zal innemen. Immers de brekingsindex van steenzout is vrij sterk afhankelijk van de temperatuur, zoodat ook door deze wordt bepaald welke lichtsoort na instelling van den spectrometer de thermozuil zal treffen. Tengevolge hiervan zullen gelijkgenummerde verzettingen op spectrogrammen van verschillende dagen, op stralensoorten van verschillende golflengte betrekking kunnen hebben. Om gevolgtrekkingen te kunnen afleiden, is een vast punt in het spectrum dus beslist noodig. ²⁾

Zulk een vast punt werd, wanneer er in het te onderzoeken spectrum geen aanwezig was, aan een vergelijkings-spectrum ontleend, en daarvoor is het scherpe koolzuur-emissie-maximum van de Bunsensche vlam gekozen, dat door veel waarnemers onderzocht, als het nauwkeurigst bekende punt in het verre ultra-rood moet beschouwd worden. PASCHEN ³⁾ geeft daarvoor op de golflengte 4.403μ . ⁴⁾ Bij de bepaalde instelling van den spectrometer had ik dit koolzuur-maximum tusschen verzetting 160 en verzetting 170 te verwachten. Om het tegelijk met het onderzochte spectrum op te nemen, werd gedurende dit tiental verzettingen de stroom in den electromotor X (Plaat 1) gesloten gehouden, zoodat de schuif F opgetrokken, en de thermozuil aan de straling blootgesteld

¹⁾ Een voorafgaand onderzoek dezer schroef had namelijk geleerd, dat ze een niet te verwaarloozen periodieke fout bezat, tengevolge hiervan waren dus de tien verzettingen, die bij een volledige omwenteling van de schroef elkander opvolgen, niet alle even groot. Bovengenoemde voorzorgsmaatregel maakte het mogelijk de (nauwkeurig bekende) schroef-correctie als correctie op de verzettingen in acht te nemen.

Een «voortgaande» fout van de schroef zou voor het afleiden van resultaten bedenkelijk zijn geweest; deze was echter gebleken onmerkbaar klein te zijn.

²⁾ De verandering der dispersie van steenzout met de temperatuur mag verwaarloosd worden.

³⁾ F. PASCHEN. W. Ann. 53, 335, 1894.

⁴⁾ Ook in het volgende zullen de golflengten steeds opgegeven worden in microns.

bleef. De opteekening van den nulstand geschiedde dus gedurende dien tijd niet; daarvoor in de plaats werd telkens nadat de uitwijking, door de te onderzoeken bron opgewekt, was geregistreerd, de stralenbundel van deze afkomstig onderschept, een beeld op de spleet ontworpen van een klein deel eener Bunsensche vlam, en zóó behalve het te onderzoeken spectrum ook de bekende koolzuur-emissie op den registreertrommel opgeteekend.

De breedte van de spleet van den spectrometer bedroeg bij alle definitieve waarnemingen 0.42 m.M., dus evenveel als die van de spleet voor de thermozuil. Werden de uitwijkingen van den galvanometer te groot om op den trommel te worden geregistreerd — wat uit de vorige waarnemingen te verwachten, en op de verdeelde schaal V (Plaat 1) te beoordeelen was — dan kreeg de spiegel S een concentrisch diaphragma, en werd zoo de emissie in een vooraf experimenteel bepaalde verhouding verkleind. ¹⁾

De gevoeligheid van den galvanometer kon op de (blz. 29) beschreven wijze worden ingesteld, door het superponeeren van een magnetisch veld van constante richting, waarvan het teeken gekozen en de intensiteit geregeld werd tot een hulpstroom van 10^{-8} ampère op de verdeelde schaal V een uitwijking van circa 90 m.M. te voorschijn riep. Dan werd de thermozuil in de keten opgenomen. Gewoonlijk was een gewijzigde nulstand van den galvanometer hiervan het gevolg, die dan zoo noodig door het verleggen van een staalmagneet gecorrigeerd werd.

Bleef gedurende eenigen tijd de nulstand voldoende constant, zoodat aanmerkelijke veranderingen niet waarschijnlijk meer waren, dan kon de waarnemingsreeks aanvangen. Het steenzoutprisma werd onthloot, de registreertrommel en even later het uurwerk op gang gebracht, en automatisch werd met kleine stappen het te onderzoeken spectrum over

¹⁾ Het spectrogram van een Nernstlampje, op Plaat 2 gereproduceerd, toont den invloed van het achtereenvolgens aanbrengen en weder wegnemen van drie diaphragma's.

de thermozuil bewogen, en de straling die haar treft telkens geregistreerd.

Bij het onderzoek van een warmtebron, die geen voortdurend toezicht behoefde, kon ik het vertrek verlaten. Slechts van tijd tot tijd moest even worden gecontroleerd of niet de nulstand van den galvanometer te veel verliep, en of eventueel de emissie van de warmtebron moest worden gereduceerd. Wanneer echter metalen in den lichtboog werden onderzocht, eischte deze nauwlettende zorg, en was de hulp van een tweeden waarnemer zelfs onontbeerlijk.

Ik zal nu overgaan tot de beschrijving der methode, waarop uit deze spectrogrammen de resultaten kunnen worden afgeleid.

Daartoe wordt het spectrogram eerst overgeteekend op millimeterpapier, met de bedoeling de stippen die de nulstanden aangeven, en een gebogen en soms een gebroken lijn vormen, op een rechte lijn over te brengen. Een abscis daarvoor op het millimeterpapier aannemende, worden dan de stippen, die met bestraling overeenkomen vertegenwoordigd door punten, wier ordinaat gelijk wordt genomen aan het gemiddelde van den afstand tot den voorafgaanden en den volgende nulstand.

Daarbij kan natuurlijk iedere gewenschte schaalverandering worden toegepast. Zoo zijn uit de spectrogrammen, gereproduceerd op Plaat 2, de teekeningen van Plaat 7 en 8 ontstaan.

Zooals uit de teekening van het spectrum der kwikbooglamp (Plaat 7) is te zien, wordt een scherpe spectraallijn aangegeven door 6 punten. (Het eerste maximum bijvoorbeeld is de groene kwiklijn 0.5461.) Dit is daaruit te verklaren, dat de breedte van de spleet voor de thermozuil en ook de breedte van een spectraallijn 0.42 m.M. is, terwijl de lineaire verplaatsing der lijn bij één verzetten van den spectrometer $\frac{2}{5}$ hiervan bedraagt, nl. 0.17 m.M. Gedurende 5 achtereenvolgende verzettungen zal dus de thermozuil door dezelfde stralensoort worden getroffen, en daar door optische onvolmaaktheden van het instrument een spectraallijn eenigs-

zins wordt verbreed, zal ook al staat de ideaal begrensde lijn juist vóór, of juist voorbij de spleet van de thermozuil, nog eenige straling van dezelfde golflengte de zuil kunnen treffen. Het feit, dat de lijnen door hoogstens 6 punten aangegeven zijn, bewijst dat de optische onvolmaaktheden in ieder geval klein waren.

Uit de onderlinge ligging der verschillende punten die gezamenlijk de spectraallijn aanduiden, kan echter met vrij groote zekerheid worden afgelezen, bij welke verzetting en welk onderdeel daarvan het maximum van straling valt, de spectraallijn dus symmetrisch de thermozuil treft; m. a. w. bij welke verzetting en welk onderdeel ervan, een zeer smalle spectraallijn een zeer smalle thermozuil centraal zou treffen. ¹⁾ Wordt een vast punt in het spectrum aangenomen, dan kan men den afstand van eenige spectraallijn tot dit vaste punt direct in een aantal verzettingen bepalen.

Zoo kan bijvoorbeeld in het spectrum van de kwikboog-lamp op Plaat 7, de eerste lijn (dat is de groene lijn 0.5461) als vast punt worden aangenomen; dan geeft de aflezing der verschillende lijnen, voor den afstand van de 6 volgende tot het vaste punt, de waarden:

16.1 102.2 110.4 121.4 126.5 en 131.1

Om uit deze getallen de brekingsindices en de golflengten van de lijnen te kunnen afleiden, wordt de volgende redeneering gevolgd.

Bij iedere verzetting van den spectrometer draait het prisma 24".5, en zal zich de hoek, waaronder de stralenbundel op het prisma invalt, met hetzelfde bedrag wijzigen. De thermozuil wordt getroffen door stralensoorten die het minimum van deviatie ondergaan, het prisma dus symmetrisch

¹⁾ Bij deze aflezing wordt aangenomen, dat het maximum van straling wordt aangegeven door het snijpunt van twee lijnen, waarvan de eene de beide punten rechts van het maximum, de andere de beide punten links van het maximum verbindt. Juist voor deze aflezing is het van belang, dat de stappen, waarmede het spectrum wordt doorzocht, even groot zijn. De aflezing op $\frac{1}{10}$ van een verzetting wordt vereenvoudigd door vergelijking met een hulpteekening, waarop de verschillende mogelijke constellaties zijn aangegeven.

doorloopen. De hoek van breking is dus constant, en gelijk aan de helft van den brekenden hoek g van het prisma. Tusschen den invalshoek i , den brekingsindex n en de constante g bestaat dus de betrekking

$$\sin i = n \sin \frac{g}{2}$$

Wanneer voor één bepaalde stralensoort de brekingsindex van steenzout als bekend wordt vooropgesteld, is de bijbehorende hoek van inval te berekenen, is daaruit de waarde die i na een zeker aantal verzettingsen verkrijgt af te leiden, en kan vervolgens, weer met behulp van bovenstaande vergelijking, de n worden bepaald.

De brekende hoek g van het prisma is $60^{\circ} 5' 0''$. Neem ik den brekingsindex van steenzout voor de groene kwiklijn gelijk 1.54745 aan, dan volgt daaruit voor die lichtsoort een invalshoek van $50^{\circ} 46' 37''$. Voor de stralensoort, die na 102.2 verzettingsen de thermozuil zal treffen, moet de hoek van inval $102.2 \times 24''.5$ kleiner, dat is $50^{\circ} 4' 53''$ zijn, en hierbij behoort een brekingsindex 1.53198.

Nu is bij het uitmeten der fotogrammen *niet* deze kwiklijn, maar het koolzuur-maximum van de Bunsensche vlam als het vaste punt beschouwd, van waaruit geteld wordt. ¹⁾

Om den brekingsindex van deze stralensoort te bepalen, heb ik eenige spectrogrammen ontworpen, waarop naast het spectrum der Bunsensche vlam tevens de groene en de gele kwiklijnen voorkomen. Van deze lichtsoorten zijn de brekingsindices ontleend aan de waarnemingen van LANGLEY. ²⁾ Voor zoover het zichtbare spectrum betreft, geeft de berekende dispersie-kromme van LANGLEY goede overeenkomst met zijn waarnemingen, daarbij is de temperatuur van het steenzout bovendien nauwlettend in aanmerking genomen. Zijn formule geeft voor de groene lijn van kwik met een

¹⁾ Wanneer in de spectra bekende emissielijnen of scherp begrensde absorptiebanden voorkwamen, waarvan eens voor al de afstand tot het koolzuurmaximum bepaald was, behoefde dit laatste niet telkens weer te worden geregistreerd.

²⁾ S. P. LANGLEY. Ann. of the Astroph. Obs. of the Smiths. Inst. I 1900.

golflengte 0.5461, en voor het zwaartepunt der beide gele lijnen met een golflengte 0.5780 de brekingsindices 1.54745 en 1.54505 (voor een temperatuur van 20°). Mijn spectrogrammen gaven voor de afstanden van beide lijnen tot het koolzuurmaximum 176.1 en 160.0. Hieruit volgt een brekingsindex 1.52072 voor de stralensoort die in de koolzuurband bij de temperatuur van de Bunsensche vlam het sterkst vertegenwoordigd is. Deze waarde geldt dus evenals alle andere op te geven brekingsindices voor 20° .¹⁾ De verschillende plaatsen in het spectrum kunnen nu uitgedrukt worden in den afstand tot dit vaste punt, en in een tabel de brekingsindices worden opgezocht, bij die verschillende afstanden behorende.

Door veel waarnemers wordt bij het mededeelen der resultaten van hun onderzoek de plaats in het spectrum aangeduid door opgave van de deviatie. Dit heeft voor het beoordeelen en vergelijken der resultaten door anderen het groote inconvenient, dat de deviatie afhankelijk is van een willekeurige grootte, n.l. den brekenden hoek van het prisma. Ik heb gemeend dat het vermelden der brekingsindices de voorkeur verdient.

De opgegeven brekingsindices zijn te beschouwen als direct waargenomen grootheden, over de nauwkeurigheid dier getallen geeft een onderlinge vergelijking van verschillende waarnemingsreeksen een oordeel.

Dat wordt echter geheel anders wanneer het er op aankomt golflengten op te geven. De golflengten kunnen,

¹⁾ Daar de verandering der dispersie van steenzout met de temperatuur is te verwaarloozen, is het duidelijk dat ik bij de waarnemingen, die ten slotte neerkwamen op het meten van verschillen van brekingsindices, onafhankelijk was van de heerschende temperatuur, mits deze gedurende de waarnemingsreeks constant bleef. Door JULIUS werd als deviatiehoek voor het koolzuur-maximum uit de Bunsensche vlam gevonden $38^{\circ} 54' 20''$ bij 10°C («Licht- und Wärmestrahlung verbrannter Gase» p. 69—71, 1890). Voor elken graad temperatuurstijging vond hij $11''$ deviatievermindering, dus op 20° herleid wordt de afwijkingshoek $38^{\circ} 52' 30''$; de brekende hoek van het prisma was $59^{\circ} 53' 20''$; hieruit volgt $n = 1.52069$, waarmee de door mij gevonden waarde bevredigend overeenstemt.

waar de spectra met behulp van een prisma ontworpen zijn, niet direct worden bepaald, maar moeten worden afgeleid uit de brekingsindices door tusschenkomst van een dispersieformule.

Voorals RUBENS ¹⁾ en LANGLEY ²⁾ hebben uitvoerige onderzoekingen verricht naar de dispersie van steenzout in het ultra-roode deel van het spectrum, en beide waarnemers geven een kromme op, die volgens hunne metingen het verband tusschen brekingsindex en golflengte zoo goed mogelijk aangeeft. Maar nu wijken deze beide dispersiekrommen aanmerkelijk van elkaar af.

Bij eerste beschouwing is men onmiddellijk geneigd aan de kromme van LANGLEY de voorkeur te geven. De hulpmiddelen waarover hij bij zijn onderzoek te beschikken had en de grootsche opstelling waarmede zijn metingen werden verricht, zijn door geen ander geëvenaard; en waar LANGLEY zijn uitkomsten met die van anderen vergelijkt, kent hij aan zijn resultaten verreweg de grootste waarde toe. Bij nader inzien blijkt echter de dispersiekromme, zooals ze door LANGLEY uit zijn waarnemingen is berekend, vooral voor de grootere golflengten, vrij slecht met zijn waarnemingen overeen te komen; waardoor twijfel ontstaat aan hare juistheid. In een Aanhangsel zal ik uitvoeriger op deze quaestie ingaan, en motiveeren dat ik de betrouwbaarheid van de dispersieformule van LANGLEY niet boven die van RUBENS' formule stel. Het was me niet mogelijk door het geheele spectrum heen uit mijn eigen waarnemingen een oordeel te vormen welke dispersiekromme de voorkeur verdient; daarvoor zijn in het ultra-rood te weinig punten met zekerheid bekend. Ter vergelijking had ik echter ter beschikking de golflengten van de hoofdmaxima der emissie van koolzuur en waterdamp in de Bunsensche vlam. Door PASCHEN ³⁾ zijn

¹⁾ H. RUBENS. W. Ann. 46, 529, 1892; 54, 476, 1895; 60, 724, 1897; 61, 224, 1897.

²⁾ S. P. LANGLEY. l.c.

³⁾ F. PASCHEN. W. Ann. 50, 409, 1893; 51, 1, 1894; 52, 209, 1894; 53, 334, 1894.

met behulp van een fluoriet-prisma, waarvan hij van te voren zelf de dispersie kon onderzoeken, deze golflengten uiterst nauwkeurig bepaald op 4.403μ en 2.831μ . Herhaaldelijk heb ik voor deze maxima de brekingsindices bepaald, en deze leverden met behulp van de dispersie-kromme van RUBENS, waarden op van de golflengten, die met het oog op mijn waarnemingsfout en die van PASCHEN, volkomen met de door hem opgegeven waarden kloppen, d. w. z. algeheele overeenkomst vertoonen van den tweeden decimaal, terwijl de berekening uit de formule van LANGLEY afwijkingen gaf van resp. 0.05 en 0.06μ , welke afwijkingen bijna 10 maal grooter zijn, dan de onzekerheid in mijn waarneming.

Het feit, dat de dispersie van steenzout niet nauwkeurig bekend is, maakt het opgeven van golflengten onzeker. Toch is het voor het overzien der resultaten wenschelijk deze te vermelden. Daar het verkiezen van de eene dispersie-kromme boven de andere me vooralsnog willekeurig schijnt, heb ik in het volgende naast den waargenomen brekings-index zoowel de golflengte, berekend uit de formule van RUBENS, als die berekend uit de formule van LANGLEY, opgegeven.

De dispersie-formule zooals ze door beide waarnemers is gegeven, heeft den vorm:

$$n^2 = b^2 + \frac{M_1}{\mu^2 - \mu_1^2} - \frac{M_2}{\mu_2^2 - \mu^2}$$

De waarden der constanten hierin zijn volgens RUBENS:

$$b^2 = 5.1790 \quad \mu_1^2 = 0.01621 \quad \mu_2^2 = 3149.3 \\ M_1 = 0.018496 \quad M_2 = 8977.0.$$

terwijl LANGLEY opgeeft:

$$b^2 = 5.174714 \quad \mu_1^2 = 0.015841 \quad \mu_2^2 = 3145.695 \\ M_1 = 0.0183744 \quad M_2 = 8949.520.$$

¹⁾ Zie noot blz. 69.

HOOFDSTUK IV.

WAARNEMINGEN EN UITKOMSTEN.

Algemeene Opmerkingen.

Voor het voornaamste onderdeel van mijn onderzoek was het gewenscht de gevoeligheid der opstelling zoo groot mogelijk te kiezen. Immers het gold de opsporing van spectraallijnen waarvan het bestaan werd ontkend. Daarom besloot ik de door mij geconstrueerde thermozuil onder de gunstigste omstandigheden aan te wenden, door de volle breedte der soldeerplaatsen aan de straling bloot te stellen. Wel zouden daardoor niet alle détails van het spectrum tot hun recht komen, daar nu gelijktijdig ook naburige stralensoorten de thermozuil kunnen treffen, maar de spectra der alcaliën zijn weinig samengesteld, zoodat dit nadeel niet zwaar was te tellen. Het voornaamste bezwaar van een spectraal-onderzoek met een vrij breede spleet is daarin gelegen, dat de bepaling der juiste plaats die een lijn in het spectrum inneemt moeilijk wordt. Een emissielijn zal bij verschillende standen van het prisma de thermozuil kunnen treffen, en hoe breeder de collimatorspleet is en de spleet voor de thermozuil, des te bezwaarlijker wordt de beoordeeling bij welken stand van het prisma de maximale straling op de zuil invalt. Bij mijn methode van registreeren wordt dit bezwaar echter opgeheven. Zooals op blz. 37 is beschreven, wordt een spectraallijn door hoogstens 6 punten aangeduid, daar gedurende 6 achtereenvolgende verzetzingen van den spectrometer dezelfde stralensoort de thermozuil kan treffen. Maar nu is uit de onderlinge ligging dezer 6 punten

de plaats van maximale stralings-intensiteit op het gegeven spectrogram af te lezen met een nauwkeurigheid van $\frac{1}{10}$ van een verzetting.

De onzekerheid in de aflezing is kleiner dan de onzekerheid die overblijft ten aanzien van de plaats der beschouwde lijn in het spectrum; de omstandigheden toch waaronder verschillende spectrogrammen van eenzelfde stralingsbron worden opgenomen zijn niet volkomen gelijk. Door een aantal spectrogrammen van de kwikbooglamp, op zeer uiteenlopende tijden ontstaan, met elkaar te vergelijken, heb ik voor de middelbare fout van een plaatsbepaling gevonden ongeveer $\frac{2}{10}$ van een verzetting (overeenkomende met een hoekdraaiing van het prisma van $5''$).

Daar één verzetting overeenkomt met $\frac{2}{5}$ van de breedte van de thermozuil bedraagt de onzekerheid in de plaatsbepaling slechts $\frac{2}{25}$ van de breedte der thermozuil.

De Emissie der Alkaliën.

De alkaliën werden in den lichtboog vervluchtigd, en zoo tot emitteeren gebracht. Daarbij werd de gebruikelijke methode gevolgd, de kolen te doorboren en met fijngepoederde metaalzouten te vullen.

De lichtboog zelf geeft een zeer samengesteld bandenspectrum, dat zich ver in het ultra-rood uitstrekt. Deze banden lossen zich in talloze fijne lijnen op. Voor het onderzoek van een dergelijk spectrum is de thermozuil, en evenzeer elk ander instrument dat ultra-roode straling tengevolge van hare warmtewerking aantoonst, ten eenenmale ongeschikt. Zoo smal kan het gevoelige deel niet worden gekozen, of meerdere lijnen treffen het gelijktijdig. Een onderzoek volgens deze methode levert dus slechts een ruw overzicht van de verdeeling der energie, voor den lichtboog een zeer samengestelde kromme. In tegenstelling met wat COBLENTZ beweert ¹⁾, dat n. l. de koolzuur-emissie-band

¹⁾ Zie bldz. 18.

bekend uit het warmtespectrum van een gasvlam in het boogspectrum niet optreden zou, bleek deze band altijd ontwijfelbaar aanwezig te zijn, en hare intensiteit zelfs die op de andere plaatsen in het ultra-roode gebied te overtreffen. Daartegenover was het zwakkere CO_2 -maximum, dat in het vlamspectrum bij 2.7μ optreedt, niet of nauwelijks waarneembaar.

Dit ingewikkelde bandenspectrum bemoeilijkt echter in geen deele het onderzoek van de metalen, die in den lichtboog worden vervluchtigd. Zooals reeds door SNOW ¹⁾ is opgemerkt, treedt het tegenover de metaallijnen geheel op den achtergrond, en wordt zelfs onwaarneembaar wanneer de metaal-rijkdom van den boog voldoende is. Het koolzuur-maximum bij 4.44μ blijft echter slechts weinig verzwakt bestaan.

De groote moeilijkheid die, wat het warmte-spectrum betreft, het onderzoek van de alcaliën in den lichtboog met zich brengt is de voortdurende verandering in stralings-intensiteit van de warmtebron. Bij den gewonen lichtboog is deze veranderlijkheid reeds hinderlijk, maar zeer bezwaarlijk kan ze worden wanneer de boog gevormd wordt tusschen kolen die met een metaalzout zijn gevuld. Om uit intensiteits-metingen in de buurt van het stralings-maximum de juiste plaats van dat maximum te kunnen afleiden, is het een *vereischte* dat gedurende de verschillende metingen de straling van de warmtebron constant was. Is deze gedurende opvolgende waarnemingen veranderlijk geweest, dan is een gevolgtrekking omtrent de plaats van het maximum uit de verhouding der intensiteiten van weinig waarde.

Bijzondere voorzorgen zijn daarom noodig om de emissie van den boog zoo constant mogelijk te houden, en gedurende de waarneming moet beoordeeld kunnen worden, of verandering optreedt en tot welk bedrag. Ik meen dat het zijn nut kan hebben, eenigszins uitvoerig de bereiding der kolen en de reguleering van den lichtboog te beschrijven.

¹⁾ B. W. SNOW. W. Ann. 47, 243, 1892.

Na onderzoek van verschillende fabrikaten werd de keuze bepaald op kolen van zeer zuivere en homogene samenstelling, door de firma SIEMENS & CO. te Charlottenburg speciaal voor spectraal-analytische doeleinden vervaardigd. De kolen, van 14 m.M. dikte, werden op lengte van 8 c.M. afgezaagd, en voorzien met een centrische boring van $4\frac{1}{2}$ m.M. diameter. De vulling bestaat niet uit zout alleen, dat in den boog te snel en daardoor onregelmatig verdampt, maar uit een mengsel van het zout en koolpoeder. Van de verschillende metaalzouten bleken de chloriden het beste te voldoen. De zouten zijn afkomstig van de firma KAHLBAUM te Berlijn, en betrekkelijk zuiver; ze werden uitgegloeid en fijngewreven, en dan met koolpoeder dat door vijlen van een koolstaaf was verkregen vermengd.

Om den metaalrijkdom van den boog constant te houden, is het noodig dat het mengsel homogeen, en de vastheid van de kern gelijkmatig is. De verhouding van zout tot koolpoeder heeft grooten invloed op den aard van het spectrum. De lijnen voorbij 1μ zijn moeilijk op te merken wanneer het zout niet zeer overvloedig in den boog aanwezig is. In dit gedeelte van het spectrum is de continue emissie der gloeiende deeltjes in den boog het sterkst, en moeten de niet zeer sterke emissie-lijnen dus op dezen achtergrond waarneembaar gemaakt worden. Daartegenover maakt een te groot zoutgehalte van de kern den boog onrustig; de gunstigste verhouding moet voor ieder metaal proefondervindelijk worden bepaald. Het is me niettegenstaande herhaalde pogingen niet gelukt, een rustigen boog met Li te verkrijgen. Li Cl is sterk hygroscopisch, maar hiervan ondervond ik geen bezwaar, daar voor dit zout het mengen en het vullen der kolen bij hooge temperatuur geschiedde. Ieder zout gedraagt zich in den lichtboog verschillend, en ik weet er geen verklaring van te geven, waarom de vier andere alcali-metalen gunstige resultaten gaven, Li daarentegen niet. Evenzeer hebben mijn plannen, de alcalische aarden te onderzoeken, schipbreuk geleden. Met Sr waren nog metingen mogelijk, maar Ba en Ca in den lichtboog

gebracht maken dezen zoo onrustig, dat geen waarnemingen waren te verrichten die vertrouwen verdienen.

De kolen werden verticaal boven elkaar in een lamp bevestigd; alleen de onderste positieve kool was van een zoutkern voorzien. De lengte van den boog moest met de hand geregeld worden en bedroeg steeds ongeveer 8 m.M. De boog werd met voorschakeling van een gloeilampenweerstand van $\pm 25 \Omega$ gevoed uit het stedelijk electriciteitsnet, waarvan de spanning gedurende den nacht vrij constant 225 volt bleef. Verreweg het grootste gedeelte der energie werd door den voorweerstand opgenomen, maar hierdoor werd bereikt, dat variaties in de tegenspanning slechts geringen invloed op de stroomsterkte hadden, wat in hooge mate de rustigheid van den boog bevorderde.

De stralings-intensiteit van den lichtboog waarin zouten worden vervluchtigd wordt voornamelijk bepaald door de spanning aan de kolen. Wanneer de boog tusschen zoutvrije kolen gevormd en op de gebruikelijke lengte gebracht werd, bedroeg deze spanning omstreeks 90 volt; maar was de onderste kool met een zoutkern voorzien, en werd deze tot de positieve gekozen, dan was ze aanmerkelijk minder, 35, 30, zelfs 25 volt, verschillend voor de verschillende metalen, en des te geringer naarmate de metaal-rijkdom van den boog grooter was. De spanning aan de kolen werd op een precisie-voltmeter afgelezen, en alleen dan kon een lichtboog als een geschikt waarnemings-object worden beschouwd, als de aanwijzing van den voltmeter, gedurende het verbranden der kolen vrij constant bleef, en veranderingen daarin een geleidelijk verloop hadden. De verschillende metingen volgden elkaar zoo snel op, dat een langzame verandering der stralings-intensiteit van weinig invloed was op de plaatsbepaling van een stralingsmaximum.

Opdat veranderingen in de spanning direct zouden worden opgemerkt, en ook om gelijke plaatsen in verschillende spectrogrammen bij verschillende stralings-intensiteit van den boog opgenomen onderling te kunnen vergelijken, werd gedurende de waarneming bij elke geregistreerde uitwijking

van den galvanometer de aanwijzing van den voltmeter genoteerd.

De lichtboog vertoont onder de bovengenoemde omstandigheden een zeer eigenaardig uiterlijk. Uit de boring van de positieve kool stijgt een zich naar boven verbreedende zeer sterk gekleurde lichtzuil op, die het uiteinde der negatieve kool schijnt te omhullen en slechts in één punt aan te raken. Dat ééne punt is sterk lichtend en in voortdurende beweging. Waar het zich bevindt wordt de kool afgevreten. Bij een juiste stelling der kolen zal de negatieve een afgestompten vorm vertoonen, met gewoonlijk een kleine kratervorming. De positieve kool brandt eveneens geheel symmetrisch op, wordt lichtelijk toegespitst en krijgt een zijde-achtige kraag. De kool zelf blijft (betrekkelijk) koud; alleen de rand van den met zout gevulden krater is sterk lichtgevend. Het licht van den boog uitgaande is echter verre overheerschend. De boog brandt buitengewoon rustig, de twee even dikke kolen verteren even snel.

Het vergrootte beeld van den boog werd door een metaalspiegel gevormd op de schuif van het waterscherm, dat vóór de spleet van den spectrometer was opgesteld. De afstand der kolen en de juiste plaats van het beeld werd na iedere expositie van de thermozuïl gecontroleerd, en zoo noodig iets gewijzigd. Deze instelling kon niet aan onbekwame handen worden toevertrouwd. Mijn vriend F. L. BERGANSIUS heeft met groote welwillendheid gedurende de vele nachtelijke onderzoeken dit zeer inspannend onderdeel der waarneming op zich genomen.

De teekeningen op plaat 3, 4, 5 en 6 geven de emissie-spectra der vier onderzochte metalen van de alcaliën-groep weer. Zij zijn ontworpen aan de hand van een groot aantal spectrogrammen (8 à 10 voor ieder metaal), en daarbij werd de intensiteit der verschillende lijnen zoo goed mogelijk op gelijke totale stralings-sterkte van den lichtboog gereduceerd. Juist omdat deze voortdurend aan geleidelijke verandering onderhevig was, moet een gemiddelde uit verschillende waarnemingsreeksen meer vertrouwen verdienen, dan een

teekening aan een enkel spectrogram, zij het dán met volkomen correctheid, ontleend.

In het netwerk waarop de teekeningen zijn ontworpen geven de verticale lijnen die plaatsen in het spectrum aan, welke telkens 10 «verzettings» verder van het koolzuurmaximum der Bunsensche vlam zijn verwijderd, wat in het spectrum overeenkomt met afstanden van $10 \times 2 \times 24.5 = 8'10''$. De aan de vier teekeningen gemeenschappelijke laatste verheffing der intensiteits-kromme heeft haar oorsprong in de koolzuur-emissie van den lichtboog, waarvan het maximum bij iets grooter golflengte ligt, dan dat der Bunsensche vlam. De cijfers onderaan de teekeningen geven de brekings-indices n en de golflengten μ aan. De horizontale lijnen in het netwerk hebben betrekking op de intensiteit der straling, de daarnaast geplaatste cijfers geven de uitwijking van den galvanometer gemeten op den registreer-trommel in millimeters weer. Voor verschillende spectraallijnen met zeer groote intensiteit ¹⁾ heb ik het gedeelte, dat buiten het netwerk zou vallen, op tienmaal verkleinde schaal geteekend.

Dat de onderzochte metaalzouten geenszins physisch zuiver zijn te noemen, blijkt reeds uit de aanwezigheid in alle spectra ²⁾ van de D lijn van Na ($n = 1.54429$). Deze onzuiverheid maakt een groote omzichtigheid in het beoordeelen der spectra noodzakelijk, maar door te letten op de onderlinge intensiteitsverhouding der spectraallijnen van het metaal, waarvan men vermoedt dat het als verontreiniging aanwezig is, kan uitsluitel worden verkregen of een waargenomen maximum hieraan, dan wel werkelijk aan het onderzochte metaal moet worden toegeschreven.

Ik laat nu de tabellen volgen van de waargenomen maxima in de intensiteitskrommen. Voorzoover het eerste gedeelte van het ultra-roode spectrum betreft komen daarin bekende

¹⁾ Voor het registreren dezer intensieve lijnen zie blz. 36.

²⁾ In den normalen lichtboog was de D lijn (voor de thermozuil) bijna onwaarneembaar.

lijnen en dubbel-lijnen voor, waarvan grootendeels de golflengten met nauwkeurigheid bekend zijn.¹⁾ Het is niet zoozeer volledigheidshalve dat ik ze vermeld en heb geteekend, als wel omdat in dit gedeelte zeer sterke lijnen voorkomen die, wanneer zij als verontreiniging voorkomen, een oordeel kunnen geven over den graad van onzuiverheid der onderzochte stoffen, en zoo de schifting in het verdere gebied motiveeren.

In de tabellen geeft de eerste kolom den gemeten afstand A van de lijn (eventueel het zwaartepunt van een lijnenpaar) tot aan het koolzuur-maximum van de Bunsensche vlam, welke afstand is uitgedrukt in «verzettingen van den spectrometer». In de tweede kolom volgt de brekingsindex n van steenzout bij 20° voor die stralensoort, in de derde en vierde de volgens de dispersie-formule van LANGLEY resp. RUBENS berekende golflengte λ , terwijl in de vijfde de (globale) waarde der intensiteit I van de lijn in millimeters uitwijking wordt opgegeven. De tusschen haken geplaatste getallen hebben betrekking op verontreiniging door het in de laatste kolom vermelde metaal.

Het blijkt dat behalve Na ook K als verontreiniging in de verschillende spectra optreedt, terwijl Cs-lijnen in het Rb-spectrum duidelijk waarneembaar voorkomen.

Van de lijnen die met een * zijn gemerkt was de plaatsbepaling onzeker; op het eene spectrogram kwamen ze vrij scherp, op een ander minder duidelijk te voorschijn, of wel ze openbaarden zich slechts als een uitbuiging in een verheffing van de intensiteits-kromme. In het algemeen blijkt voor de zwakkere verheffingen van de intensiteits-kromme (zooals voor die, welke door verontreinigingen werden veroorzaakt) de plaatsbepaling niet dien graad van nauwkeurigheid te bezitten, welke bij het onderzoek van andere warmtebronnen te bereiken was. De niet te vermijden veranderlijkheid van den lichtboog is daarvan de oorzaak. Wat echter de lijnen van grooter intensiteit betreft, waarvan er voorbij 1μ tot golflengten van 4μ toe

¹⁾ H. LEHMANN. D. Ann. 5, 633, 1901.

NATRIUM.

A	n	λ volgens LANGLEY.	λ volgens RUBENS.	I	
155.1	1.54429	0.5893	0.5893	180	K
(103.8)	(.53654)	(0.771)	(0.768)	(15)	
95.5	.53529	0.819	0.816	240	
64.8	.53062	1.14	1.13	180	
58.2	.52961	1.27	1.25	15	
51.7*	.5286	1.44	1.42	5	
48.1*	.5281	1.57	1.54	5	
41.7	.52711	1.85	1.80	25	
35.3	.52613	2.21	2.16	45	
33.8	.52589	2.31	2.25	35	
25.0	.52455	2.90	2.84	20	
17.3*	.5234	3.42	3.36	5	
7.0	1.52178	4.06	4.00	10	

KALIUM.

A	n	λ volgens LANGLEY.	λ volgens RUBENS.	I	
155.2	(1.54430)	(0.589)	(0.589)	(5)	Na
103.8	.53654	0.771	0.768	620	
77.4*	.5325	0.97	0.96	10	
67.0*	.5310	1.11	1.10	20	
62.7	.53030	1.18	1.17	320	
58.9	.52972	1.25	1.24	200	
49.1	.52823	1.53	1.50	95	
34.9*	.5261	2.24	2.18	5	
27.0	.52486	2.76	2.70	20	
21.5	.52401	3.14	3.08	20	
12.5	.52263	3.73	3.67	15	
7.4	1.52184	4.04	3.98	10	

RUBIDIUM.

A	n	λ volgens LANGLEY.	λ volgens RUBENS.	I	
(154.9)	(1.54426)	(0.590)	(0.590)	(12)	Na
109.0	.53733	0.744	0.742	12	
101.8	.53624	0.782	0.779	450	
99.5*	.5359	0.795	0.792	300	
(95.3)*	(.5353)	(0.820)	(0.817)	(15)	Na
(90.3)	(.5345)	(0.856)	(0.852)	(20)	Cs
(85.8)	(.5338)	(0.892)	(0.888)	(18)	Cs
81.4*	.5332	0.93	0.92	10	
74.0	.53202	1.01	1.00	35	
66.5*	.5309	1.11	1.10	10	
(62.6)	(.5303)	(1.18)	(1.17)	(20)	K
55.0	.52912	1.35	1.33	200	
49.6	.52830	1.49	1.51	180	
34.3	.52597	2.28	2.22	20	
26.5	.52477	2.80	2.73	25	
7.5	1.52186	4.03	3.97	10	

CAESIUM.

A	n	λ volgens LANGLEY.	λ volgens RUBENS.	I	
(155.0)	(1.54427)	(0.590)	(0.590)	(15)	Na
126.3	.53996	0.672	0.671	18	
119.4	.53891	0.698	0.697	12	
112.2	.53782	0.729	0.727	12	
(103.2)*	(.5365)	(0.775)	(0.773)	(20)	K?
97.9	.53566	0.803	0.801	40	
(95.1)*	(.5352)	(0.821)	(0.818)	(10)	Na
90.4	.53451	0.855	0.851	250	
85.4	.53375	0.895	0.891	200	
82.6*	.5333	0.920	0.914	75	
74.0	.53202	1.01	1.00	90	
(66.0)*	(.5308)	(1.12)	(1.11)	(5)	Na?
(61.7)	(.5302)	(1.19)	(1.18)	(5)	K?
54.3	.52902	1.37	1.35	70	
50.7	.52846	1.48	1.45	80	
44.0*	.5275	1.74	1.70	5	
37.4*	.5264	2.08	2.03	5	
32.3*	.5257	2.41	2.35	5	
23.6	.52433	3.00	2.93	50	
15.9	.52315	3.51	3.45	30	
8.6	♦ 1.52203	3.97	3.91	10	

verscheidene werden gevonden, was de overeenkomst tusschen de verschillende metingen zeer bevredigend. Intusschen heb ik de cijfers in de voorafgaande tabellen ook waar het verontreinigingslijnen gold, wier plaats in het spectrum uit andere waarnemingen dus nauwkeurig bekend was, gegeven zooals ik ze door middeling van de afgelezen afstanden verkreeg. Niet alle zeer sterke lijnen van een metaal dat zich ontwijfelbaar als verontreiniging manifesteert, zijn waar te nemen. De niet aanwezige zijn dan verscholen onder een (tengevolge daarvan iets verbreedde) hooge verheffing der kromme. Zoo komt in het Rb-spectrum de lijn 1.17μ van K voor, en is de sterkste met een golflengte 0.786μ niet als afzonderlijke lijn waargenomen omdat ze daartoe te dicht bij de zeer sterke Rb-lijn 0.779 ligt.

Zeer zeker *niet* aan een gewone verontreiniging toe te schrijven is de lijn met een golflengte van vrijwel 1 micron, die aan het spectrum van Rb en Cs gemeenschappelijk is. Deze lijn is bij Cs het sterkst, maar ofschoon het onderzochte Rb zeer duidelijke verontreiniging met Cs vertoonde, kan deze lijn in het Rb-spectrum niet aan Cs toegeschreven worden, daar de zooveel sterkere Cs-lijnen 0.85μ en 0.89μ met veel zwakkere intensiteit bij Rb optreden. Misschien wijst deze lijn op een gemeenschappelijke onbekende verontreiniging, of wel bezitten beide metalen een lijn waarvan de golflengte *bijna* dezelfde is. Het hooge dubbele maximum dat tusschen 1.3 en 1.5μ gelegen eveneens in beide spectra voorkomt, toont een dergelijk *bijna* samenvallen van lijnen. Ontwijfelbaar liggen echter de lijnen van Rb iets verder van elkaar, en omsluiten ze de twee Cs-lijnen.

Eigenaardig is verder de vrij zwakke maar scherp begrensde lijn die in de vier spectra op bijna dezelfde (maar zeker verschillende) plaats bij ongeveer 4μ voorkomt. Zooals reeds werd opgemerkt heeft de laatste verheffing van de kromme haar oorsprong in de emissie van het CO_2 , het verbrandingsproduct van den lichtboog.

De lijnen uit het eerste deel van het ultra-roode spectrum zijn uit photographische spectraal-opnamen door LEHMANN

nauwkeurig uitgemeten. De door hem opgegeven golflengten, voor Na 0.8189, voor K 0.7685, voor Rb 0.7406, 0.7806 en 0.7950 stemmen zeer bevredigend met de door mij gevonden waarden overeen; en ook de 9 lijnen van Cs door hem gemeten zijn, wanneer met hare intensiteiten rekening wordt gehouden, in de waargenomen maxima terug te vinden.

Het spectrum van Kwik.

Voor het onderzoek van het ultra-roode kwik-spectrum werd een kwikbooglamp naar het model van LUMMER ¹⁾ geconstrueerd, maar nu gesloten door een steenzout-plaat. Bij de toepassing van deze lamp vreesde ik bezwaar te zullen ondervinden van de condensatie van kwik op het steenzoutvenster, die de straling van den kwikboog gedeeltelijk zou onderscheppen en oorzaak kon worden van veranderlijkheid der te meten stralings-intensiteit. Om deze condensatie te beperken werd de afstand tusschen de steenzout-plaat en de koelruimte vrij groot (8 c.M.) gekozen. Intusschen is bij het gebruiken van de lamp gebleken dat de condensatie hoofdzakelijk plaats heeft op den cilindrischen glaswand, en zich eerst na ettelijke uren een flauw waas op het steenzout afzet, dat dan met het kwik uit de lamp gemakkelijk is weg te spoelen.

De kwik-booglamp werd met voorschakeling van een grooten weerstand gevoed uit het stedelijk electriciteitsnet, en brandde met 7 ampère bij 25 volt uren achtereen, zonder eenige verzorging te behoeven. Het spectrum kon dan ook geregistreerd worden zonder dat ik in het vertrek van waarneming aanwezig behoefde te zijn, welke omstandigheid de opname van het spectrum zeer ten goede kwam. Op Plaat 2 is een spectrogram van de kwik-booglamp photographisch gereproduceerd; het werd gedurende een bijzonder rustigen nacht opgenomen. De eerste twee verheffingen der

¹⁾ O. LUMMER. Ztschr. für Instr. 21, 201, 1901.

intensiteits-kromme worden veroorzaakt door lijnen in het zichtbare spectrum, n.l. de groene en de gele kwik-lijnen; de verheffingen in het verdere gebied geven ultra-roode lijnen. De teekening op Plaat 7 is op de vroeger beschreven wijze uit dit spectrogram ontstaan; daarbij zijn de punten ter verduidelijking door rechte lijnen verbonden. Uit deze teekening blijkt wel, hoe de plaats in het spectrum door de ideaal smalle lijn ingenomen, met nauwkeurigheid zal kunnen worden afgeleid uit de onderlinge ligging der stippen, ook al heeft voor het onderzoek een betrekkelijk breede spleet en een even breede thermozuil gediend. Op blz. 44 is reeds vermeld, welke graad van nauwkeurigheid van de metingen bij het onderzoek van een dergelijke constante warmtebron met mijne opstelling was te bereiken.

In de tabel wordt van de verschillende lijnen brekingsindex golflengte en intensiteit vermeld, zooals deze uit een groot aantal waarnemingen zijn afgeleid. Ofschoon meermalen het spectrum tot golflengten van $10\ \mu$ werd onderzocht, is voorbij $1.7\ \mu$ geen emissie meer waargenomen.

KWIK.

A	n	λ volgens LANGLEY.	λ volgens RUBENS.	I
176.1	1.54745	0.546	0.546	10
160.0	.54504	0.578	0.578	10
73.8	.53198	1.01	1.00	28
65.7	.53076	1.13	1.11	8
54.7	.52907	1.36	1.34	11
49.5	.52828	1.52	1.49	5
44.9	1.52759	1.70	1.66	5

De Absorptie door de atmosferische lucht.

Met de bedoeling, de absorptie der atmosferische lucht te leeren kennen werd een aantal warmtebronnen onderzocht, terwijl de stralen óf haar weg door de kamerlucht alleen hadden te nemen, óf wel door lucht met een verhoogd gehalte aan waterdamp en koolzuur. Later hoop ik nader op dit onderdeel van mijn onderzoek te kunnen terugkomen. Als type der emissie-krommen is op Plaat 2 een spectrogram van de Nernstlamp¹⁾ gereproduceerd en op Plaat 8 de hiernaar ontworpen teekening. De verschillende absorptiebanden van de atmosferische lucht, tengevolge van haar gehalte aan waterdamp en koolzuur, zijn duidelijk te onderkennen. Bij de opname van dit spectrogram was op den weg der stralen geen ander absorbeerend medium dan de gewone kamerlucht. De onderbrekingen der kromme zijn het gevolg van het aanbrengen en weder wegnemen van drie diaphragma's, die, voor den spiegel S (Plaat 1) geplaatst, de totale stralingsintensiteit van de warmtebron in een bekende verhouding reduceerden.

¹⁾ Van de kleinste in den handel verkrijgbare soort (95 volt, 0.25 ampère.)

HOOFDSTUK V.

DE ULTRA-ROODE LIJNEN DER ALCALIËN EN DE SPECTRAALREEKSEN.

Het lag voor de hand te beproeven of de verschillende ultra-roode lijnen der alcaliën in de bekende spectraalreeksen zouden zijn onder te brengen.

Een onderzoek dienaangaande heeft me geleerd, dat terwijl verscheiden lijnen ongetwijfeld een plaats in de reeksen toekomt, er vele overblijven, voor welke dit niet het geval is; dat bij het verkiezen van de eene reeksen-formule boven de andere willekeur niet is uitgesloten en de extrapolatie in verschillende formules tot afwijkende gevolgtrekkingen omtrent de golflengten van ultra-roode lijnen aanleiding kan geven, en dat ook bij vooropstelling van een bepaalde spectraal-formule de nauwkeurigheid, waarmede veelal de voorspelde golflengten opgegeven worden, denkbeeldig is. Onze kennis betreffende het wezen der lichtemissie is te gering, en de nauwkeurigheid waarmede de golflengte-bepalingen zijn verricht onvoldoende, om vooralsnog het verband, dat ongetwijfeld tusschen de trillingsperioden van den emitteerenden damp bestaat, door een formule weer te geven, die voorspellingen van onbekende trillingsperioden wettigt.

Ik zal kortelijks nagaan, welke ultra-roode lijnen een plaats in de reeksen innemen, en op welke bezwaren men in het algemeen bij het «voorspellen» van lijnen stuit.

Het formulair verband tusschen de golflengten der spectraal-lijnen voor de verschillende alcali-metalen is opgemerkt door KAYSER & RUNGE. Zij verdeelen de lijnen van eenzelfde metaal in reeksen, die ter onderscheiding de namen

hoofdserie, eerste en tweede nevenserie ontvingen. Het verband tusschen de golflengten van de lijnen eener zelfde reeks kan dan worden uitgedrukt door een formule, waaraan zij den vorm geven:

$$\nu = A - \frac{B}{m^2} + \frac{C}{m^4}$$

Hierin is ν het trillingsgetal, en zijn A, B en C constanten. Zijn van een zekere serie eenmaal de constanten A, B en C bekend, dan geeft deze formule de trillingsgetallen en dus de golflengten van de verschillende lijnen der serie, door daarin m de rij der geheele getallen te doen doorloopen. Een laag ordegetal geeft een klein trillingsgetal, dus een groote golflengte; waar nu bij menige reeks voor het ordegetal van de waargenomen lijn met de grootste golflengte 3, 4 of zelfs 5 moet worden genomen, blijven dus plaatsen open en kunnen lijnen «voorspeld» worden, welken een lager ordegetal zou toekomen, en die dan in het ultra-roode gebied zouden liggen.

De formules van KAYSER & RUNGE zijn geheel empirisch. Door verschillende physici zijn andere formules aangegeven, die een nog betere aansluiting tusschen waarneming en berekening zouden opleveren, en ook zijn pogingen aangewend om, van zekere praemissen omtrent den aard en de samenstelling van een gloeienden damp uitgaande, een verband af te leiden tusschen de perioden der uitgezonden trillingen en zoo een reeksen-formule op te stellen, die op physischen ondergrond zou steunen.

Met eenig succes is in deze richting gezocht door RITZ. ¹⁾

RITZ laat de emissie van het lichtende gas uitgaan van twee-dimensionale deeltjes, die in trilling zijn. Door verder een zeer bijzondere werking aan te nemen, die deze deeltjes

¹⁾ W. RITZ. D. Ann. 12, 264, 1903. Prof. H. KAYSER uit Bonn, die bij gelegenheid van een bezoek aan Utrecht ook van mijn opstelling en resultaten kennis nam, vestigde mijn aandacht in het bijzonder op dezen arbeid.

op elkaar uitoefenen, weet RITZ een formule af te leiden, die hij voor de drie serieën den vorm geeft:

hoofdserie

$$\nu = \frac{N}{[n + a + b/n^2]^2} - \frac{N}{[1.5 + a' + b'/(1.5)^2]^2} \quad n = 2, 3, 4, \dots$$

eerste nevenserie

$$\nu = \frac{N}{[2 + a + b/2^2]^2} - \frac{N}{[m + c + d/m^2]^2} \quad m = 3, 4, 5, \dots$$

tweede nevenserie

$$\nu = \frac{N}{[2 + a + b/2^2]^2} - \frac{N}{[m + a' + b'/(1.5)^2]^2} \quad m = 1.5, 2.5, \dots$$

Hierin is weer ν het trillingsgetal, N een universeele constante, ontleend aan de Balmer'sche waterstof-formule, en zijn de constanten a, b, a', b', c en d voor ieder metaal te bepalen. ¹⁾

Afgezien van de beteekenis der physische afleiding, die verschillende waardeering kan vinden, maar voor mij slechts uiterst geringe waarde heeft, zijn deze formules boven die van KAYSER & RUNGE te verkiezen. Met minder constanten geven ze een aanmerkelijk betere aansluiting tusschen berekening en waarneming.

RITZ heeft de constanten bepaald voor de hoofdserieën en de tweede nevenserieën der vijf alcali-metalen. In de hoofdserieën is het laagste ordegetal $n = 2$ en geeft dan de grondlijn, die volgens RITZ tevens de grondlijn van de tweede nevenserie moet zijn, en als zoodanig het ordegetal $m = 1.5$ bezit. Deze zeer intense lijnen liggen voor de verschillende metalen óf aan het einde van het zichtbare spectrum, óf in het eerste deel van het ultra-rood. De hoofdserieën verloopden verder geheel in het zichtbare en ultraviolette spectrum; voor de tweede nevenserieën is dit eveneens het geval voor $m = 3.5$ en grooter en voor $m = 1.5$;

¹⁾ De spectraallijnen der alcaliën zijn dubbellijnen. Door voor de constante a twee waarden a_1 en a_2 in te voeren, berekent men de twee componenten van het lijnenpaar.

$m = 2.5$ daarentegen geeft ultra-roode lijnen. ¹⁾ Volgens de gegevens van RITZ berekend zijn het de volgende dubbellijnen:

$$\text{Na } m = 2.5 \quad \mu = 1.138 \text{ en } \mu = 1.140$$

$$\text{K } m = 2.5 \quad \mu = 1.24 \text{ en } \mu = 1.25$$

$$\text{Rb } m = 2.5 \quad \mu = 1.32 \text{ en } \mu = 1.37$$

$$\text{Cs } m = 2.5 \quad \mu = 1.36 \text{ en } \mu = 1.47$$

De berekening dezer golflengten levert meer decimalen op dan ik heb opgegeven; ze te vermelden heeft echter geen zin. Deze «voorspelde» golflengten vertoonen met die van de door mij in hoofdstuk IV vermelde lijnen voldoende overeenkomst, om de lijnen een plaats in de tweede nevenserieën toe te kennen.

Voor de eerste nevenserieën geeft het berekenen der constanten en het «voorspellen» van ultra-roode lijnen eigenaardige bezwaren. De ordegetallen die de berekening voor de bekende lijnen oplevert zijn vrij hoog, hierdoor wordt de extrapolatie voor de kleine ordegetallen zeer onzeker. Alleen voor K is door RITZ de eerste nevenserie berekend. RITZ geeft op, dat voor de eerste nevenserieën de formule slechts beteekenis heeft voor de ordegetallen $m = 3, 4$ en hoger. Voor deze beperking is niet de geringste grond aan te voeren; integendeel geeft de berekening bij Na voor $m = 2$ een golflengte die zeer bevredigend overeenkomt met die van de zeer sterke ultra-roode dubbellijn 0.818 en 0.819 ²⁾.

¹⁾ Deze zonderlinge opvolging der lijnen vindt haar oorzaak in het door RITZ vooropgestelde feit, dat negatieve waarden van het trillingsgetal evenzeer als de positieve als reëel moeten worden beschouwd. De ongewone opvolging der ordegetallen gaat gepaard met een onaannemelijke rangschikking der componenten van de lijnenparen.

²⁾ Tot de eerste nevenserie van Na behooren volgens de opgaven en de metingen van KAYSER & RUNGE de lijnen: 5688.26 (0.15), 4983.53 (0.2), 4669.4 (0.5), en 4498.9 (1.0). Van de dubbellijnen zijn de componenten met de grootste golflengte gekozen; de golflengten zijn hier in Ångströmsche eenheden vermeld, de getallen tusschen () geven de waarschijnlijke fout der waarneming. $c = +0.985$ $d = +0.024$ geeft voor de grens $\nu = 24472.1$ ($m = \infty$) de volgende golflengten:

$m = 6$	$\mu = 4498.4$	$m = 3$	$\mu = 5688.45$
$m = 5$	$\mu = 4669.3$	$m = 2$	$\mu = 8186$ (en voor de
$m = 4$	$\mu = 4983.5$	tweede component	$\mu = 8175.)$

Om de willekeur bij het voorspellen van lijnen in het licht te stellen, zal ik eenigszins uitvoerig bij de eerste nevenserie van K stilstaan, waarvoor ter vergelijking de berekeningen van RITZ ten dienste staan.

Daartoe behooren de vier volgende door KAYSER & RUNGE uitgemeten lijnen 5812.54 (0.05), 5343.35 (0.15), 5097.75 (0.20) en 4952.2 (1.0); (zie noot op vorige blz.). RITZ bepaalt uit de eerste en tweede lijn de constanten $c = -0.2828$, $d = +1.26$ en vindt dan voor de derde en de vierde lijn de afwijkingen tusschen berekening en waarneming $+0.24$ en $+1.00$ ¹⁾ De aansluiting is dus zeer bevredigend te noemen. Dezen vier lijnen komen de ordegetallen 5, 6, 7 en 8 toe. Extrapolatie voor $m = 4, 3$ en 2 levert de golflengten 6940, 11640 en 22060 op. Bereken ik echter de constanten uit alle vier lijnen, met toepassing van de methode der kleinste quadraten dan wordt $c = -0.2811$ en $d = +1.40$. De aansluiting voor de vier lijnen waarvan is uitgegaan is even zoo goed als bij toepassing van de constanten door RITZ gegeven; de afwijking tusschen berekening en waarneming wordt n.l. $+0.1$; -0.4 ; -0.22 en $+0.65$. De extrapolatie voor $m = 4, 3$ en 2 geeft nu echter de golflengten: 6930, 11500 en 26500.

Terwijl de door mij gevolgde methode om de constanten c en d te berekenen evenzeer goed recht heeft als die van RITZ, en voor de lijnen in het zichtbare spectrum een even goede aansluiting verzekert, blijken de op beide wijzen geëxtrapoleerde golflengten zeer aanmerkelijk van elkaar af te wijken. Hierdoor is wel duidelijk hoe onzeker het extrapoleren is, ook al neemt men den vorm der spectraal-formule als juist aan. De eenige gevolgtrekking, die voor de eerste nevenserie van K is te maken, is, dat de door mij vermelde lijn met golflengte 1.16 waarschijnlijk tot deze reeks behoort. In hoeverre een der lijnen met grootere golflengten de plaats $m = 2$ kan innemen, blijft twijfelachtig.

De onzekerheid in het bepalen der constanten, en als

¹⁾ De getallen door RITZ l. c. blz. 295 hiervoor opgegeven zijn foutief.

gevolg daarvan in het extrapolereen, maakt bij Rb en Cs het «voorspellen» van lijnen geheel onmogelijk.

De groote aantrekkelijkheid van de reeksen-formule door RITZ gegeven, is wel het onderling verband der verschillende serieën van een zelfde metaal. Dit heeft me er toe gebracht te beproeven een vierde serie op te stellen, die dan de verschillende lijnen welke niet in de andere serieën waren onder te brengen zou omvatten en haar grens in het ultra-roode gebied zou hebben. Ofschoon ik werkelijk een logisch afgeleide reeks heb kunnen opstellen die verschillende lijnen onderbracht, bleek me de willekeur bij de bepaling der constanten, als gevolg van het niet met voldoende nauwkeurigheid bekend zijn van de verschillende golflengten, te groot, om waarde aan die reeks te mogen hechten, en zijn alle pogingen in deze richting *à priori* te veroordeelen.

Nadat ik tot de overtuiging gekomen was, dat voor verschillende ultra-roode lijnen geen plaats in het reeksen-verband was aan te wijzen, en dat aan de nauwkeurigheid der geëxtrapoleerde golflengten van de lijnen, waarvoor dit wèl het geval was, weinig waarde moet worden toegekend, verscheen in den laatsten tijd een verhandeling van MOGENDORFF ¹⁾ over spectraalreeksen, welke mij in mijne meening nog heeft versterkt. MOGENDORFF gaat niet van eenige fysische afleiding uit maar stelt weer een geheel empirische formule op, welke uiterlijk veel op die van RITZ lijkt, maar waarbij tusschen de verschillende reeksen van eenzelfde metaal minder verband bestaat. Zijn formules zijn evenmin als die van RITZ in staat alle ultra-roode lijnen te omvatten, maar zijn overigens beslist boven deze te verkiezen. Terwijl ze een zeker even nauwe aansluiting tusschen waargenomen en berekende golflengte verzekeren, gelden ze voor de rij der getallen van 1 af, is dus de ongemotiveerde beperking van de ordegetallen verdwenen. Bovendien leveren stijgende waarden van het ordegetal zonder uitzondering stijgende

¹⁾ E. E. MOGENDORFF. Spectraalreeksen. Diss. Amsterdam, Dec. 1906.

waarden van het trillingsgetal en behoeft dus niet aan een negatief trillingsgetal beteekenis te worden toegekend.

De formule van RITZ kan geschreven worden in den vorm:

$$\nu = A - \frac{N}{[m + a + b/m^2]^2}$$

De door MOGENDORFF voorgestelde formule luidt:

$$\nu = A - \frac{N}{[m + a + b/m]^2}$$

In de reeksen van MOGENDORFF is in de eerste en de tweede nevenserieën voor $m=1$ een plaats open. De geëxtrapoleerde golflengten vertoonen grootendeels weer voldoende overeenstemming met die van de door mij opgegeven zeer intense ultra-roode lijnen. Slechts voor de eerste nevenserie van K en Cs bestaan aanmerkelijke afwijkingen. De oorzaak hiervan is hoogst waarschijnlijk gelegen in het feit, dat voor deze twee reeksen de lijnen met ordegetal $m=2$ eveneens in het ultra-rood zijn gelegen, dus met minder nauwkeurigheid bekend zijn. Wat MOGENDORFF l.c. blz. 62 omtrent de tweede nevenserie van Cs opmerkt, dat n.l. voor $m=1$ een lijn met onwaarneembaar groote golflengte wordt berekend, moet op een vergissing berusten.

In onderstaande tabel zijn de volgens gegevens van MOGENDORFF berekende golflengten met ordegetal $m=1$ vereenigd.

	Natrium.	Kalium.	Rubidium.	Caesium.
Eerste nevenserie.	0.818 0.819	1.125 1.132	1.47 1.52	3.20 3.89
Tweede nevenserie.	1.140 1.142	1.24 1.25	1.33 1.38	1.36 1.47

Uit het voorafgaande blijkt dus, dat niet alleen een aantal ultra-roode lijnen der alcaliën buiten het reeksen-

verband moet blijven, maar ook dat vooralsnog het «voorspellen» van ultra-roode lijnen in hooge mate onzeker is. Het verband tusschen de waargenomen golflengten der zichtbare alcali-lijnen wordt met voldoende nauwkeurigheid weergegeven door spectraal-formules van verschillenden vorm, die bij extrapolatie voor de langere golven aanmerkelijke afwijkingen vertoonen; men kan aan de eene spectraal-formule boven de andere de voorkeur geven, zoolang verscheidenheid kán bestaan blijft een keuze willekeurig. Bovendien laat de bepaling der constanten, wanneer de vorm der formule wordt vooropgesteld, een ruime speling toe bij het berekenen der geëxtrapoleerde golflengten.

Om onze kennis omtrent het numeriek verband, dat tusschen de trillingsperioden bestaat, op vastere bodem over te brengen moet alles worden verwacht: vooreerst van nauwkeurige golflengte-metingen ¹⁾ in het ultra-rood — immers het zijn voornamelijk de grootere golflengten die een oordeel over de juistheid van den vorm der spectraal-formule en een nauwkeurige bepaling van haar constanten mogelijk maken — en dan ook van onderzoekingen over de dragers der licht-emissie. Deze onderzoekingen zullen de hypothesen leveren, met behulp waarvan het wellicht mogelijk zal zijn een spectraal-formule op te stellen die niet langer zuiver empirisch is.

¹⁾ Om deze bepalingen in het prismatisch spectrum te kunnen verrichten, is het noodzakelijk de dispersie van het prisma nauwkeurig te kennen. In een Aanhangsel zal ik er op wijzen, dat de dispersie van steenzout niet nauwkeurig bekend is. Bij mijn metingen betreffende de emissie der alcaliën, die ik slechts als een «oriënteringsarbeid» beschouw, was de onzekerheid in het bepalen der golflengten tengevolge van de onbetrouwbaarheid der dispersiekromme zeker viermaal grooter, dan de onzekerheid veroorzaakt door de onvermijdelijke storende invloeden.

AANHANGSEL.

DE DISPERSIE VAN STEENZOUT.

RUBENS ¹⁾ zoowel als LANGLEY ²⁾ hebben bij de bepaling van de dispersie-kromme van steenzout de formule van KETTELER ³⁾ toegepast:

$$n^2 = b^2 + \frac{M_1}{\mu^2 - \mu_1^2} - \frac{M_2}{\mu_2^2 - \mu^2}$$

De methode van beider onderzoek was in hoofdzaak dezelfde. Een buigings-spectrum wordt op de spleet van een prisma-spectrometer ontworpen. De bundel, bestaande uit stralensoorten waarvan de golflengte dus bekend is, wordt door het steenzout prisma gebroken. Met behulp van radio-meter of bolometer kan de richting van den uit het prisma tredenden stralenbundel en daaruit de deviatie bepaald worden; uit den brekenden hoek van het prisma en de deviatie kan men dan den brekingsindex berekenen.

Beide waarnemers hebben daarna door berekening der constanten b^2 , M_1 , M_2 , μ_1^2 en μ_2^2 de dispersie-kromme volgens KETTELER zoo goed mogelijk aan hunne resultaten aangepast. De numerieke waarden der constanten zijn op blz. 42 opgegeven.

Ook voor het zichtbare deel van het spectrum moet natuurlijk overeenstemming bestaan tusschen waarneming en berekening, maar de vorm der kromme in dit gebied is van

¹⁾ H. RUBENS. W. Ann. 60, 724, 1897.

²⁾ S. P. LANGLEY. Ann. Astroph. Obs. of the Smiths. Instit. I 1900.

³⁾ E. KETTELER. W. Ann. 20, 299, 1887.

eenvoudigen aard, zoodat ze door een vergelijking met drie constanten reeds vrij voldoende kan worden voorgesteld. Voor de lange golven echter bestaat tusschen brekingsindex en golflengte een meer ingewikkeld functioneel verband.

A priori is het daarom mogelijk, van de bekende dispersie voor het zichtbare spectrum uitgaande, uit twee reeksen van onderling afwijkende waarnemingen in het ultra-roode gebied twee stel verschillende waarden voor de constanten af te leiden, die in de vooropgestelde dispersieformule gesubstitueerd, zoowel voor het zichtbare als voor het ultra-roode gebied in beide gevallen een goede aansluiting met de waarnemingen opleveren. Maar een goede aansluiting is dan ook een vereischte, en tevens het eenige criterium ter beoordeeling van de waarnemingsreeks. Blijkt ze onvoldoende te zijn dan moet men besluiten, dat óf de waarnemingsreeks weinig vertrouwen verdient, óf wel de formule van KETTELER het verband tusschen brekingsindex en golflengte niet weergeeft, en een vierde term en dus meer constanten onmisbaar zijn.

Ik laat nu de tabel volgen, zooals ze door LANGLEY ¹⁾ voor de langere golven wordt opgegeven. Hieruit kan men zich een oordeel over de «aansluiting» vormen. Mijnerzijds heb ik een kolom toegevoegd onder $\mu - \mu'$, welke waarden ik uit de getallen onder $n - n'$ door graphische interpolatie verkreeg.

Ik meen de uitspraak van LANGLEY te moeten betwisten, waar hij zegt: «The small differences between the observed and computed values of n are, it will be seen, of the same order of magnitude as the probable error of the observations», en vooral met het oog op het geringe aantal variaties in het teeken der afwijking, te mogen twijfelen aan zijn slotsom: «Hence we may accept the formula given above as representing correctly the dispersion of rock salt».

¹⁾ S. P. LANGLEY. l.c. pag. 262.

De getallen voor golflengte en brekingsindex van RUBENS zijn in minder decimalen opgegeven, dan die van LANGLEY. Dit bemoeilijkt een vergelijking van beider resultaten.

In tabel II zijn de waarnemingen van RUBENS ¹⁾ vereenigd. De getallen in de kolom onder «berekende n' » heb ik uit zijn dispersie formule in 5 decimalen berekend. Naast de getallen van RUBENS heb ik ter vergelijking uit tabel I die waarden vereenigd, welke op ongeveer gelijke golflengten betrekking hebben.

Voor golflengten grooter dan 6.5μ staan slechts de bepalingen van RUBENS ter beschikking. In tabel II geven de getallen onder «LANGLEY» voor de grootere golflengte den brekingsindex, volgens de formule van LANGLEY berekend bij de golflengte door RUBENS waargenomen. Daarbij is de temperatuur-correctie ²⁾ in acht genomen.

In tabel III wordt ten slotte het onderlinge verschil van de dispersie-krommen van RUBENS en LANGLEY in het licht gesteld. Voor denzelfden brekingsindex is daar telkens de golflengte volgens de formule van LANGLEY en volgens die van RUBENS opgegeven; deze waarden zijn, waar noodig, op 20° gecorrigeerd. De brekingsindices zijn zoo gekozen, dat ze betrekking hebben op de «verzettings» van mijn spectrometer. Tusschen twee opvolgende waarden van den brekingsindex liggen telkens 10 verzettings in.

¹⁾ H. RUBENS. W. Ann. 61, 224, 1897. Zie ook KAYSER, Handbuch der Spectroscopie I, 371, 1900.

²⁾ Uit vergelijking der twee gedeelten van tabel II blijkt, dat voor gelijke golflengten RUBENS overal kleinere waarden van den brekingsindex opgeeft dan LANGLEY. De oorzaak hiervan is de verschillende temperatuur, waarbij de waarnemers het steenzout onderzochten. Voor de D lijn is het verschil tusschen de uit beide formules berekende brekingsindices 0.000226. LANGLEY heeft bij zijn waarnemingen zorgvuldig de temperatuur van het steenzout bepaald, en de door hem opgegeven getallen gelden voor 20° . Men kan de resultaten van RUBENS geheel met die van LANGLEY vergelijkbaar maken, door ze op 20° te corrigeeren, en daartoe zijn berekende en waargenomen brekingsindices alle met 0.000226 te vermeerderen. Wat de dispersieformule betreft, doet de invloed der temperatuur zich alleen gelden op de waarde van de constante b^2 .

TABEL I.

Wave-length μ	Observed refractive-index n	Probable error of n	Computed refractive index n'	$n - n'$	$\mu - \mu'$
0.5893	1.544273	0.000009	1.544291	- 0.000018	+ 0.00003
.7604	36818	9	36834	- 16	+ 5
.7992	5691	20	5783	- 92	+ 37
.8424	4778	16	4780	- 2	+ 1
.8835	3952	9	3958	- 6	+ 3
.9033	3613	10	3602	+ 11	- 7
.9724	2532	11	2519	+ 13	- 10
.9916	2278	9	2257	+ 21	- 18
1.0084	2057	9	2039	+ 18	- 16
.0368	1695	10	1693	+ 2	- 2
.0540	1521	10	1497	+ 24	- 24
.0810	1234	12	1206	+ 28	- 33
.1058	0979	9	0979	$\pm$ 0	$\pm$ 0
.1420	0633	10	0618	+ 15	- 17
.1780	0312	9	0309	+ 3	- 4
.2016	0139	10	0120	+ 19	- 25
.2604	.529699	9	.529690	+ 9	- 14
.3126	9368	12	9350	+ 18	- 27
.4874	8452	10	8421	+ 31	- 62
.5552	8144	9	8125	+ 19	- 42
.6368	7813	9	7803	+ 10	- 25
.6848	7638	9	7628	+ 10	- 27
.7670	7377	11	7349	+ 28	- 81
2.0736	6487	9	6467	+ 20	- 72
.1824	6213	9	6193	+ 20	- 80
.2464	6058	9	6038	+ 20	- 82

Wave-length μ	Observed refractive-index n	Probable error of n	Computed refractive-index n'	$n - n'$	$\mu - \mu'$
2.3560	1.525785	0.000009	1.525778	+ 0.000007	- 0.0029
2) .6505	4897		5110*	- 213*	+ 985
2) .8080	4566	17	4760*	- 194*	+ 854
2) .9450	4359		4456*	- 97*	+ 427
3.1104	4008	17	4084	- 76	+ 334
.2736	3712	11	3712	$\pm$ 0	+ 0
.3696	3481	9	3490	- 9	+ 39
.6288	2856	9	2874	- 18	+ 74
.8192	2372	10	2405	- 33	+ 132
4.1230	1564	18	1621	- 57	+ 210
3) .7120	1.519789	27	1.519971	- 182	+ 620
3) 5.3009	7874	42	8130	- 256	+ 770
3) .8900	5497	42	6093	- 596	+ 1640
3) 6.4790	3413	69	3825	- 412	+ 1030
4) 13.96	.4373 **		1.43653	+ 770	+ 0.0600
4) 22.3	.340		1.34000	$\pm$ 0	+ 0

2) Observations thus marked are unsatisfactory, and were not employed in the least square reduction.

3) Observations thus marked were weighted in consideration of their large probable errors.

4) The two observations thus marked are taken from results of RUBENS and TROWBRIDGE, and were not used in the least square reductions.

*) Deze getallen worden door LANGLEY niet opgegeven.

**) Deze waarde wordt door RUBENS en TROWBRIDGE opgegeven in W. Ann. 60 pag. 733. In W. Ann. 61 pag. 224 komt echter een «Berichtigung» voor, om deze drukfout te herstellen. De waargenomen brekingsindex is 1.4627. Maar ook de door LANGLEY berekende n' is fout. Voor $\mu = 13.96$ geeft LANGLEY's dispersie-formule $n = 1.4635$. Op deze zonderlinge toevalligheid wordt reeds door MARTENS gewezen.

De voor deze golflengte in de tabel opgegeven waarde van $n - n'$ wordt, wanneer wij bovendien de temperatuur-correctie in acht nemen, — 0.000590.

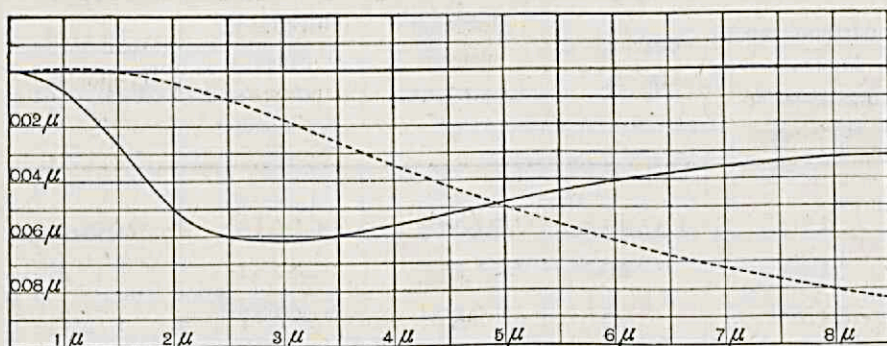
TABEL II.

LANGLEY.				RUBENS.			
μ	Waarge- nomen n	Berekende n'	n — n'	μ	Waarge- nomen n	Berekende n'	n — n'
0.5893	1.54427	1.54429	— 2	0.589	1.5441	1.54405	+ 5
.6563	4063	4065	— 2	.656	404	4040	0
.8424	3478	3478	$\pm$ 0	.840	345	3450	0
1.2604	2970	2969	+ 1	1.281	291	2919	— 9
.7670	2738	2735	+ 3	.761	271	2700	+ 10
2.3560	2570	2778	+ 1	2.35	255	2542	+ 7
3.3696	2348	2349	— 1	3.34	233	2316	+ 17
4.1230	2156	2162	— 6	4.01	216	2152	+ 7
.7120	1979	1997	— 18	.65	197	1976	— 6
5.3009	1787	1813	— 26	5.22	180	1801	— 1
.8900	1550	1609	— 60	.79	159	1605	— 15
6.4790	1341	1382	— 41	6.78	121	1220	— 10
		1.51043	— 23	7.22	102	1028	— 8
		0871	— 21	.59	085	0855	— 5
		0651	— 11	8.04	064	0635	+ 5
		0319	— 19	.67	030	0303	— 3
		.49557	— 47	9.95	.4951	.49540	— 30
		8171	— 121	11.88	805	8153	— 103
		6328	— 58	13.96	627	6308	— 38
		4250	— 150	15.89	410	4227	— 127
		1606	— 126	17.93	148	1581	— 101
		.37366	— 16	20.57	.3735	.37337	+ 13
		1.33974	+ 56	22.3	1.3403	1.33945	+ 85

TABEL III.

Afstand van koolzuur- maximum in verzettingen.	Brekings- index. n	Golflengte volgens LANGLEY. μ	Golflengte volgens RUBENS. μ'	Vershil in golflengte. $\mu - \mu'$
150	1.54353	0.6016	0.6015	0.0001
140	202	.6285	.6281	4
130	051	.6594	.6587	7
120	3900	.6958	.6947	11
110	749	.7390	.7372	18
100	597	.7918	.7891	27
90	445	.8580	.8540	40
80	294	.9441	.9381	60
70	142	1.061	1.052	0.009
60	2989	.232	.216	16
50	837	.499	.473	26
40	684	.937	.889	48
30	531	2.560	2.499	61
20	378	3.243	3.182	61
10	225	.880	.823	57
0	071	4.455	4.403	52
10	1917	.975	.927	48
20	763	5.449	5.405	44
30	609	.887	.846	41
40	455	6.297	6.257	40
50	300	.680	.643	37
60	145	7.044	7.008	36
70	0990	.388	.354	34
80	835	.717	.684	33
90	679	8.031	.999	32
100	1.50524	.334	8.302	0.032

Het verloop van de grootheid $\mu - \mu'$ uit tabel III is in onderstaande teekening graphisch voorgesteld.



Als abscis is de golflengte, als ordinaat de grootheid $\mu - \mu'$ gekozen. De schaal der ordinaten is 25 maal zoo groot als die der abscissen. De afstand van de kromme tot de rechte lijn bij een bepaalde golflengte geeft de afwijking tusschen de berekening volgens LANGLEY en volgens RUBENS.

De stippellijn heeft betrekking op een nog niet vermelde dispersie-kromme van MARTENS ¹⁾, opgesteld naar aanleiding van metingen in het ultra-violette deel van het spectrum, en zoo goed mogelijk aangesloten op de metingen van LANGLEY en RUBENS voor het ultra-rood. Bij de aansluiting op deze metingen verzuimt ook MARTENS temperatuur-correctie aan te brengen; ofschoon ik bovendien een extrapolatie, zoo ver buiten de waarnemingen, van weinig beteekenis acht, wil ik zijn formule vermelden en met de twee andere vergelijken, omdat ze werkelijk is gebruikt ²⁾ voor het bepalen van golflengten in het ultra-rood.

MARTENS geeft de formule:

$$n^2 = m + \frac{m' \mu^2}{\mu^2 - \mu'^2} + \frac{m'' \mu^2}{\mu^2 - \mu''^2} - \frac{\mu''' \mu^2}{\mu'''^2 - \mu^2} - k \mu^2$$

waarin

$m' = 0.855461$	$\mu' = 0.110725$	$m = 1.155992$
$m'' = 0.317791$	$\mu'' = 0.156320$	$k = 0.000309178$
$m''' = 1.620760$	$\mu''' = 51.2000$	

¹⁾ F. F. MARTENS. D. Ann. 6, 603, 1901.

²⁾ E. R. DREW. Phys. Rev. 21, 122, 1905.

Voor $\mu = 0.5893$ volgt hieruit $n = 1.544111$. Om vergelijking met de andere dispersie-krommen mogelijk te maken, moet op de uit zijn formule berekende brekings-indices de temperatuur-correctie $+ 0.000180$ worden toegepast. De afstand van de stippellijn tot de rechte lijn bij een bepaalde golflengte geeft de afwijking tusschen de berekening volgens LANGLEY en die volgens MARTENS.

STELLINGEN.

STELLINGEN.

I.

LANGLEY had niet het recht uit zijn metingen het besluit te trekken, dat de dispersie van steenzout door zijn formule nauwkeurig weergegeven wordt.

II.

Het aanbrengen van richtmagneten binnen de pantser van een galvanometer is af te keuren.

III.

Door het verschijnsel der «transformeerende schermen» ¹⁾ acht RUTHERFORD ²⁾ het bestaan van secundaire straling door de α -stralen opgewekt bewezen. Deze secundaire straling is nooit aangetoond. Het verschijnsel der «transformeerende schermen» is eenvoudig te verklaren.

IV.

De α -stralen der verschillende radioactieve stoffen bestaan waarschijnlijk uit Helium-atomen.

¹⁾ Mme J. CURIE. Thèse présentée à la Faculté des Sciences. Paris, 1903, pag. 85.

²⁾ E. RUTHERFORD. Radioactivity. 2nd Ed. Cambridge, 1905, pag. 188.

V.

Het is niet wenschelijk, naar het voorstel van FABRY en PÉROT ¹⁾ de standaardgolflengten te ontleenen aan den metaal-lichtboog.

VI.

De oorzaak van de licht-emissie van kanaalstralen is hun snelheid.

VII.

Het feit, dat bij de interferentie-photographie ook de tint van een kleurenmengsel kan worden weergegeven, is door LIPPMANN ²⁾ verklaard. LEHMANN ³⁾ geeft een afwijkende verklaring, en meent de onjuistheid van LIPPMANN'S opvatting te hebben aangetoond.

Tusschen beide verklaringen bestaat geen wezenlijk verschil.

VIII.

De tot nu toe gevolgde methoden ter bepaling van het geleidingsvermogen der dampkringslucht geven te groote waarden.

IX.

De gebruikelijke berekening van den dichtheids-gradiënt der zonne-atmosfeer op grond van de algemeene aantrekkingskracht heeft geen waarde.

¹⁾ Transactions of the International Union for Co-operation in Solar Research. Manchester, 1906.

²⁾ G. LIPPMANN. Journal de Phys. (3), 102, 1894.

³⁾ H. LEHMANN. Phys. Ztschr. 6, 553, 1905.

X.

Het bewijs door FORSYTH geleverd, dat een partieele differentiaalvergelijking van de eerste orde slechts drie soorten van integralen bezit, is omslachtig en onlogisch.

XI.

De koopsom eener lijfrente behoort te worden bepaald door integratie.

XII.

De internationale Atoomgewichts-commissie kent aan het door GALLO bepaalde atoomgewicht van Te te hooge waarde toe.

XIII.

KAUFFMANN ¹⁾ wil bewijzen, dat bij benzol-derivaten de optische anomalie een maat is zoowel voor de «auxochrome kracht», als voor het lichtend vermogen in het Tesla-veld. Zijn bewijsvoering is in hooge mate speculatief.

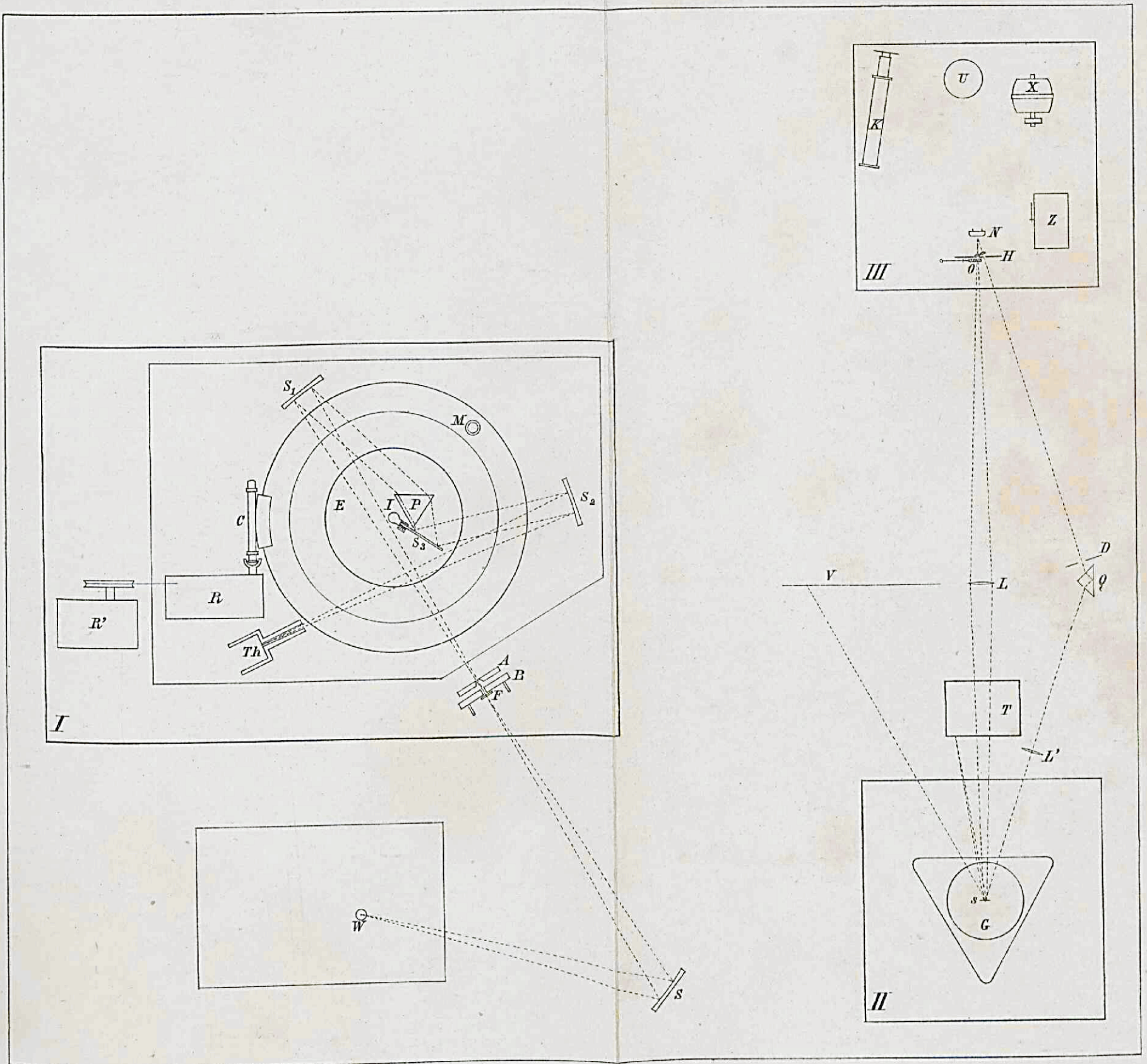
XIV.

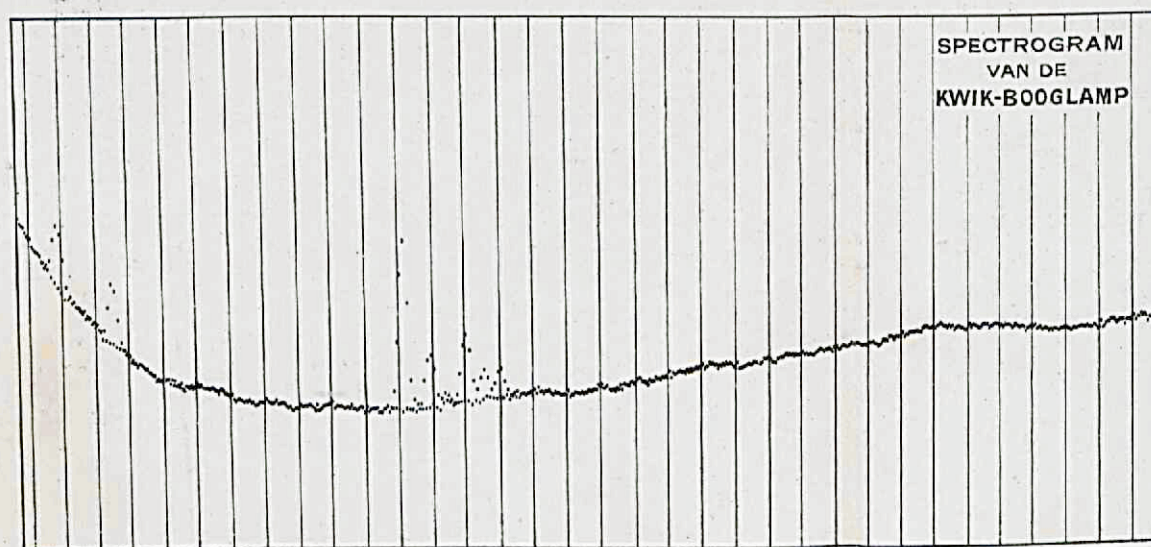
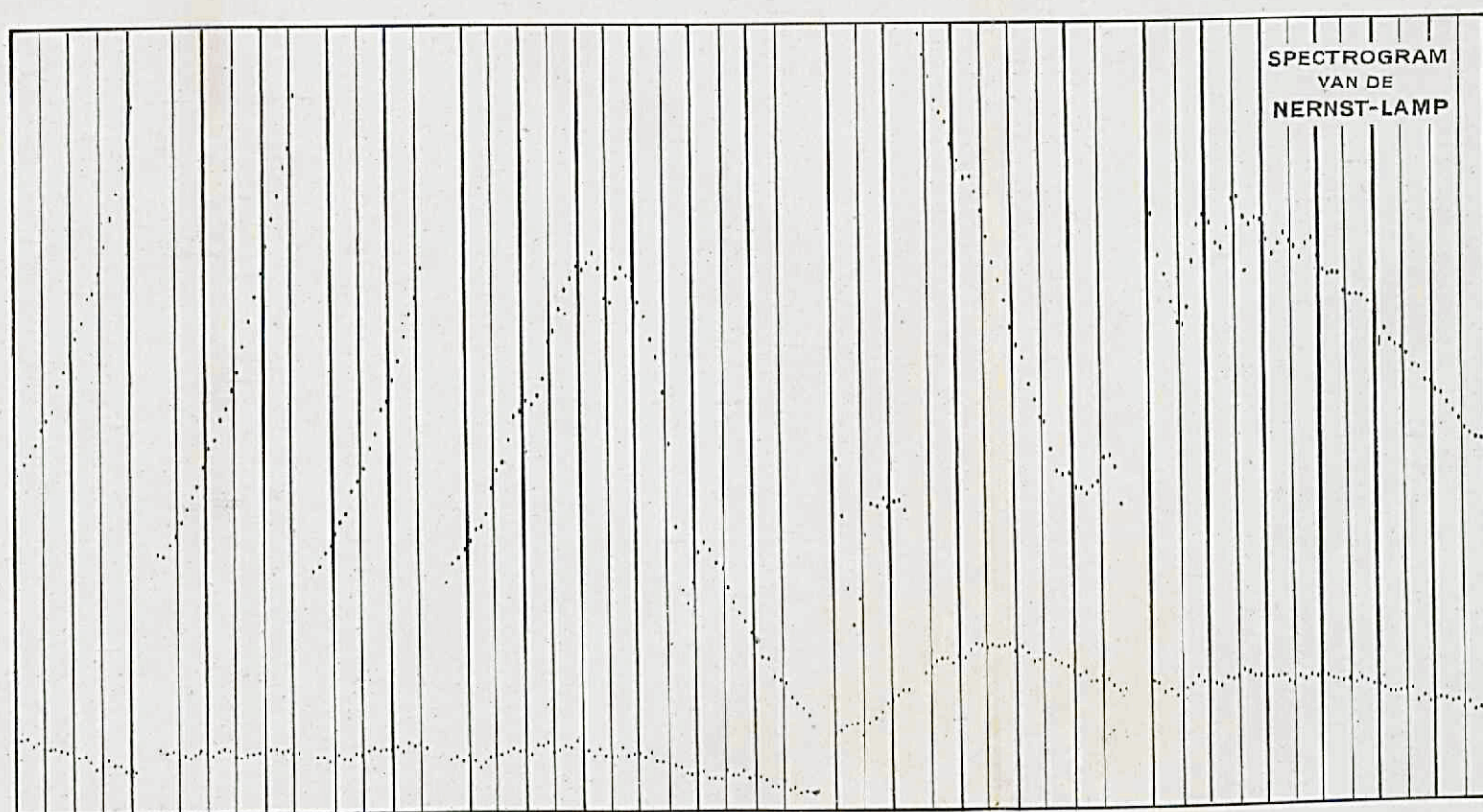
Diamant kan zich slechts vormen onder hoogen druk.

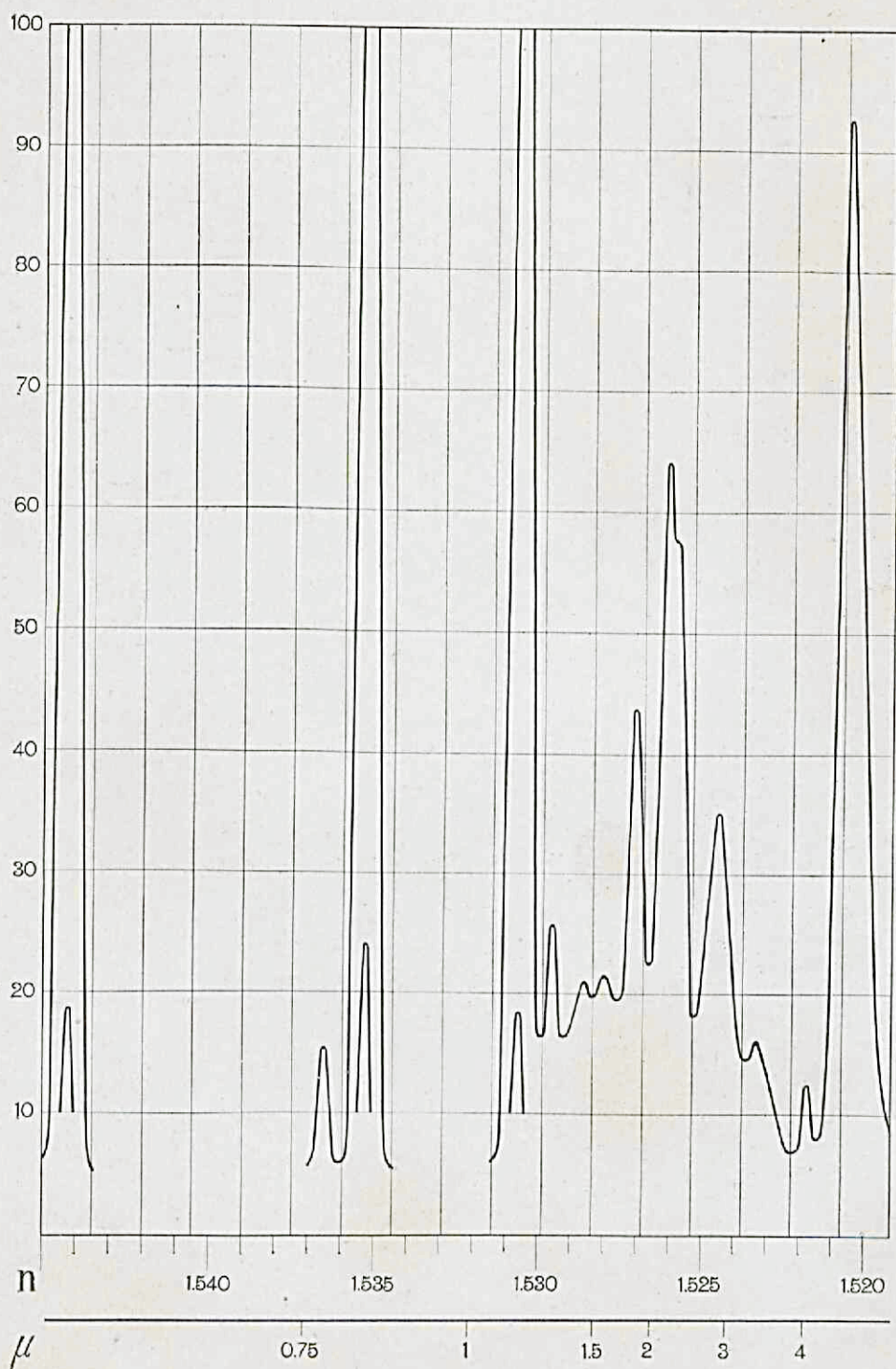
¹⁾ H. KAUFFMANN, B.B. 34, 682; 39, 1959.

ERRATUM.

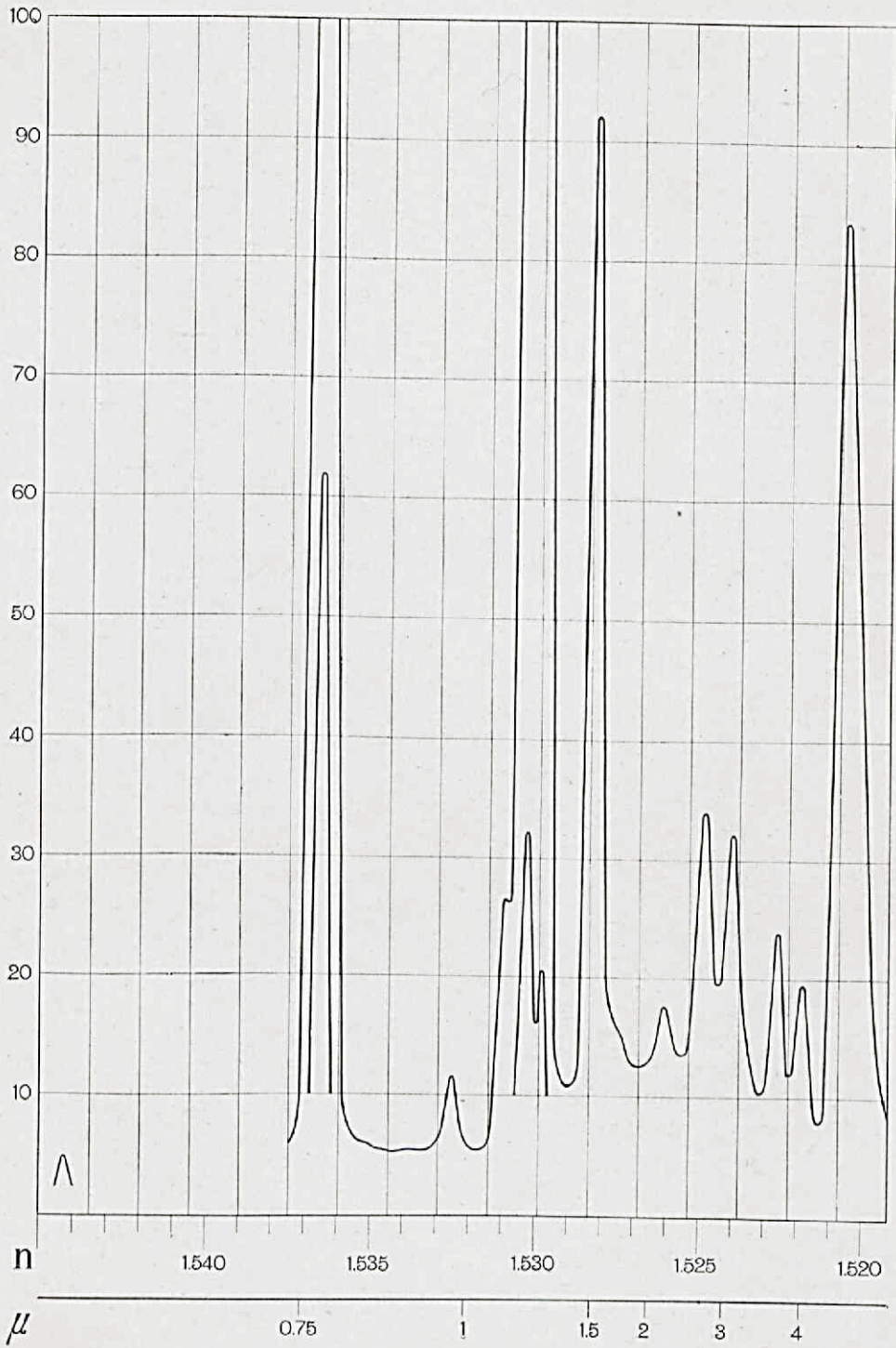
Op blz. 53 de getallen 1.49 en 1.51 te verwisselen.



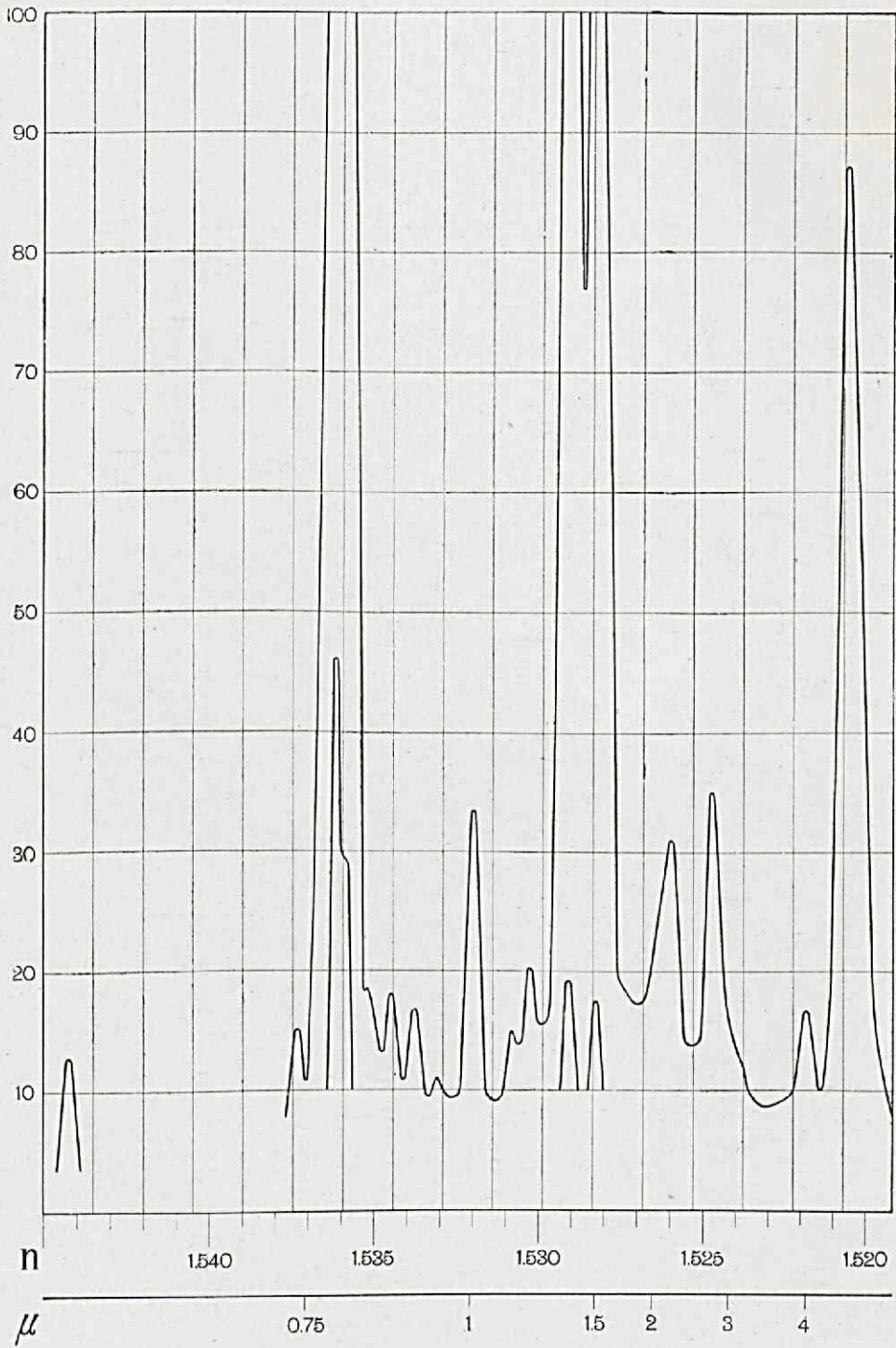




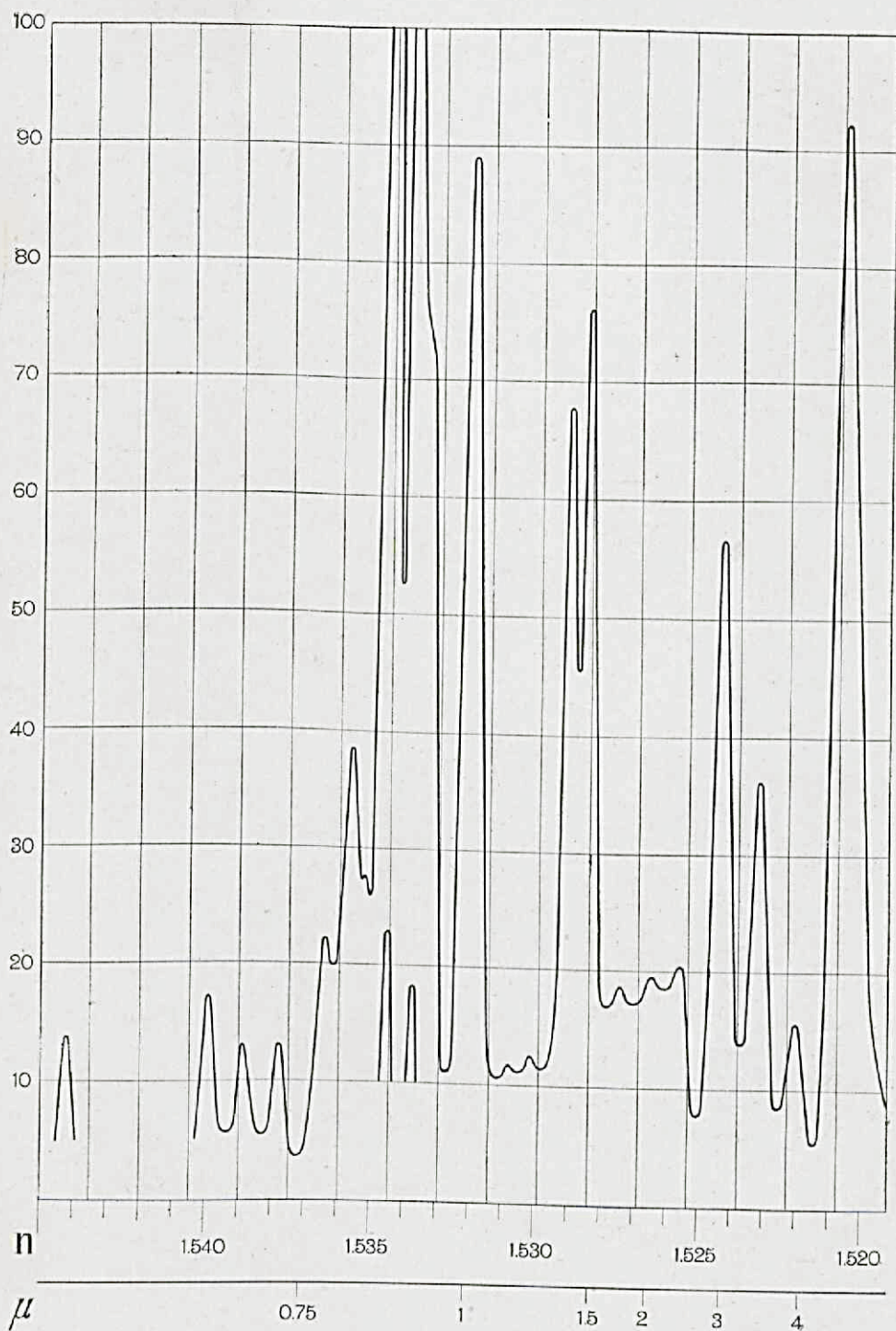
NATRIUM.



KALIAM.

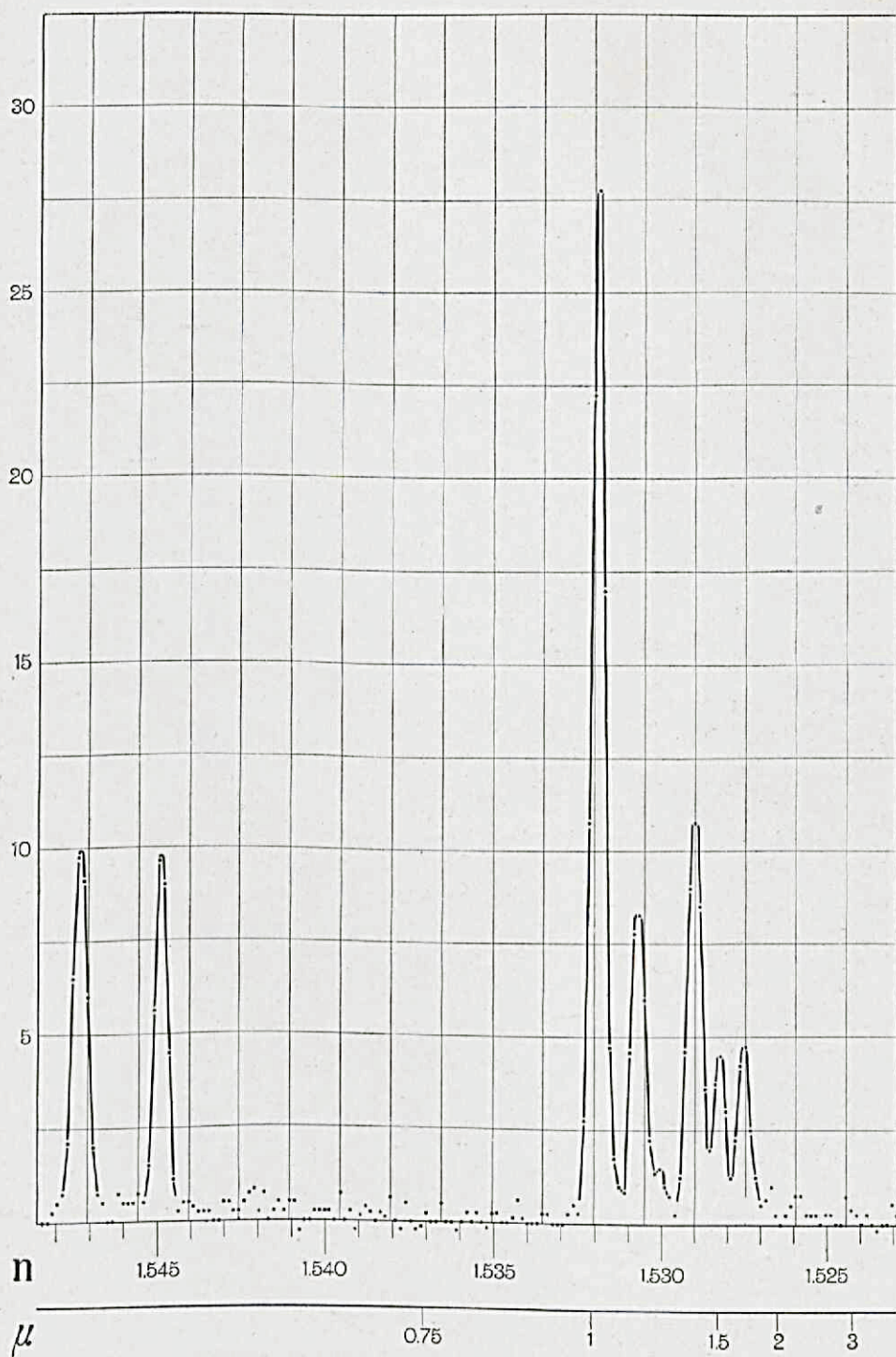


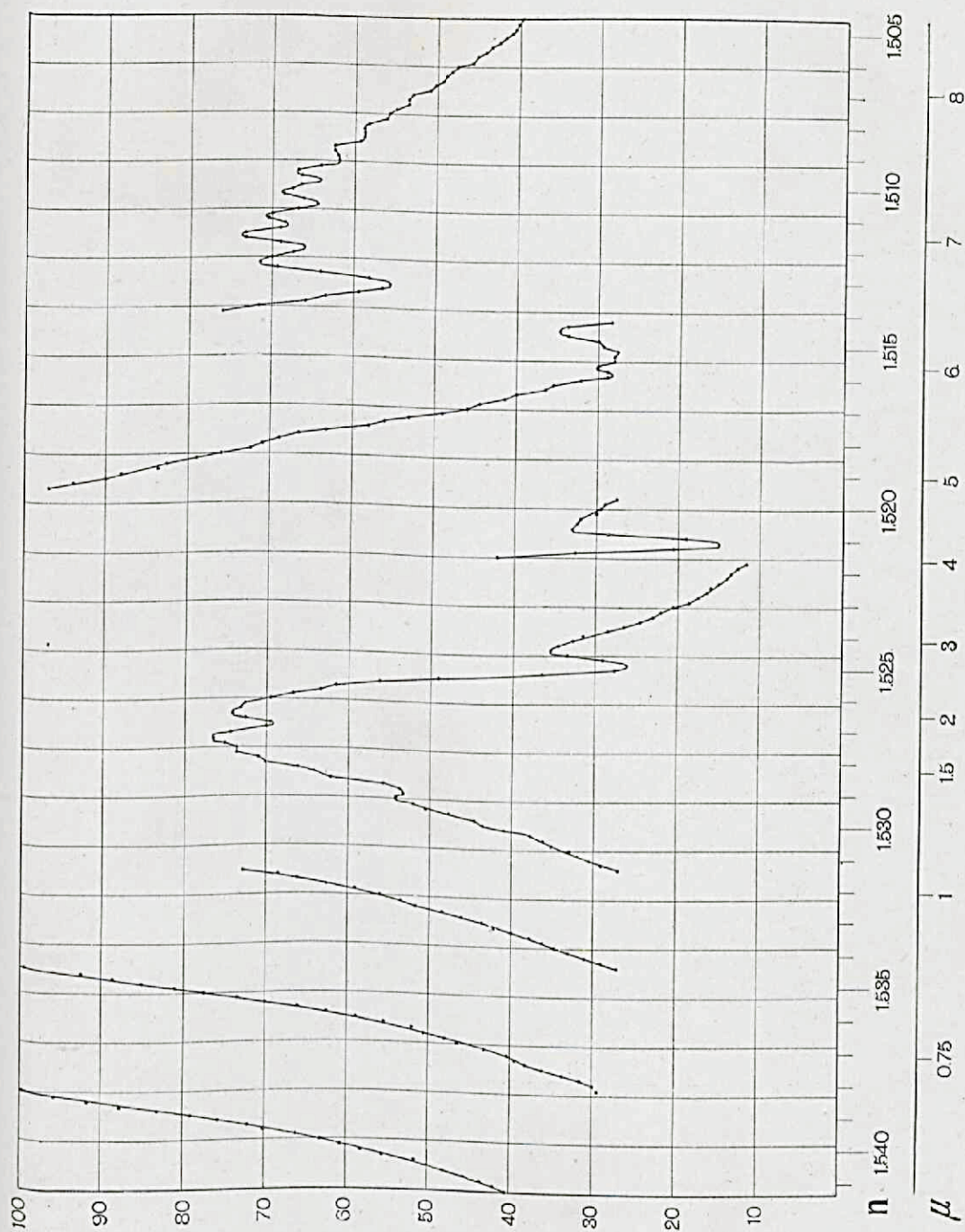
RUBIDIUM.



CAESIUM.

Plaat 7.





NERNSTLAMP.

