

P. Ehrenfest

HET VASTE LICHAAM BIJ
LAGE TEMPERATUREN
OPTISCH ONDERZOCHT

DOOR

A. C. S. VAN HEEL



BIBLIOTHEEK
GONLAPUS LABORATORIA
Postbus 9502
2300 RA LEIDEN
Tel.: 071 - 527 43 66 / 67

Universiteit Leiden

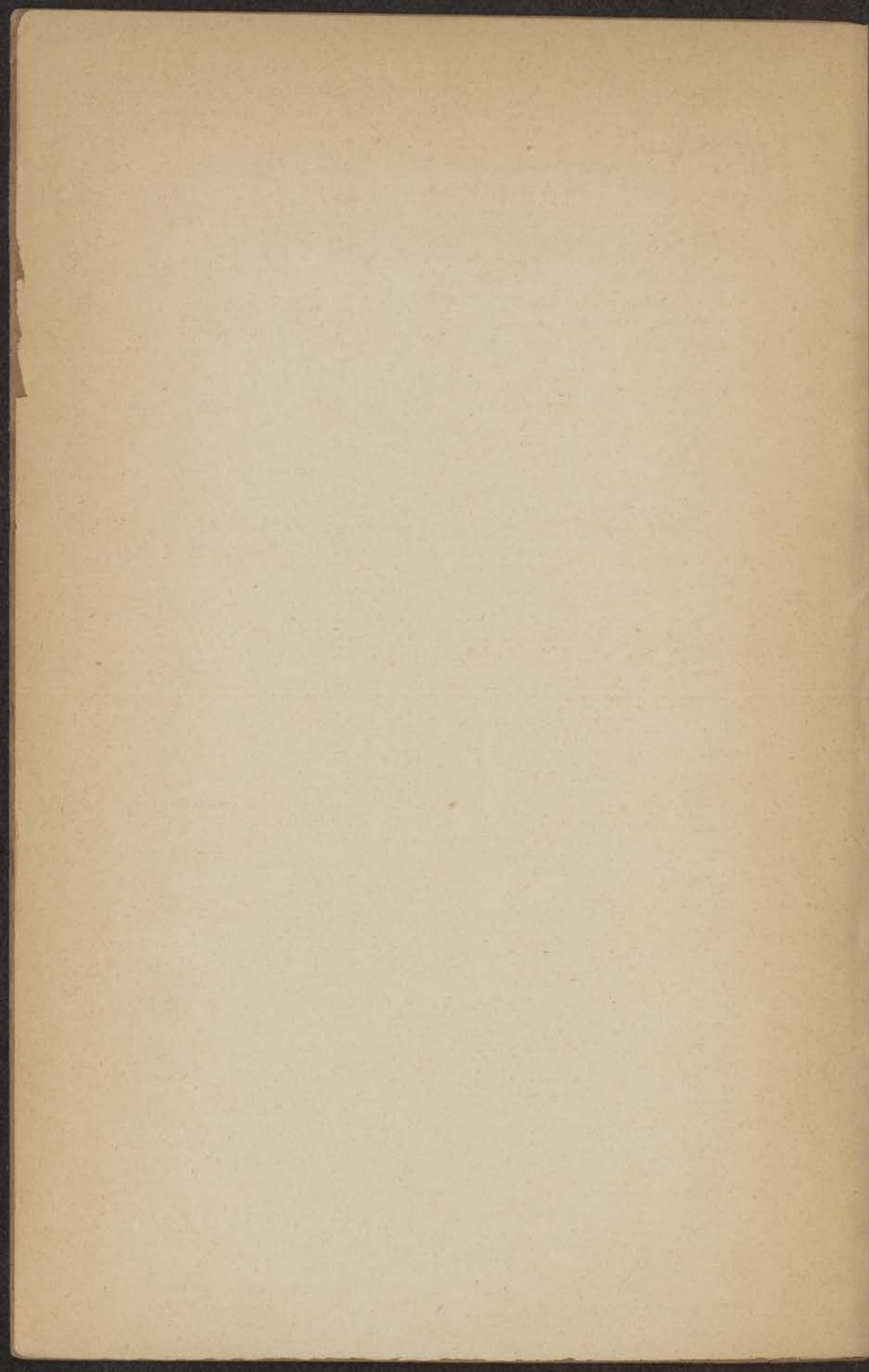


1 481 110 8

HET VASTE LICHAAM BIJ
LAGE TEMPERATUREN OPTISCH ONDERZOCHT



kast dissertaties



HET VASTE LICHAAM BIJ LAGE TEMPERATUREN OPTISCH ONDERZOCHT

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING
VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR
IN DE WIS- EN NATUURKUNDE
AAN DE RIJKSUNIVERSITEIT TE
LEIDEN, OP GEZAG VAN DEN
RECTOR MAGNIFICUS DR. W. DE
SITTER, HOOGLEERAAR IN DE FA-
CULTEIT DER WIS- EN NATUUR-
KUNDE, VOOR DE FACULTEIT TE
VERDEDIGEN OP DINSDAG 20 OCTO-
BER 1925, DES NAMIDDAGS TE 4 UUR



DOOR

ABRAHAM CORNELIS SEBASTIEN VAN HEEL,

GEBOREN TE PATI.

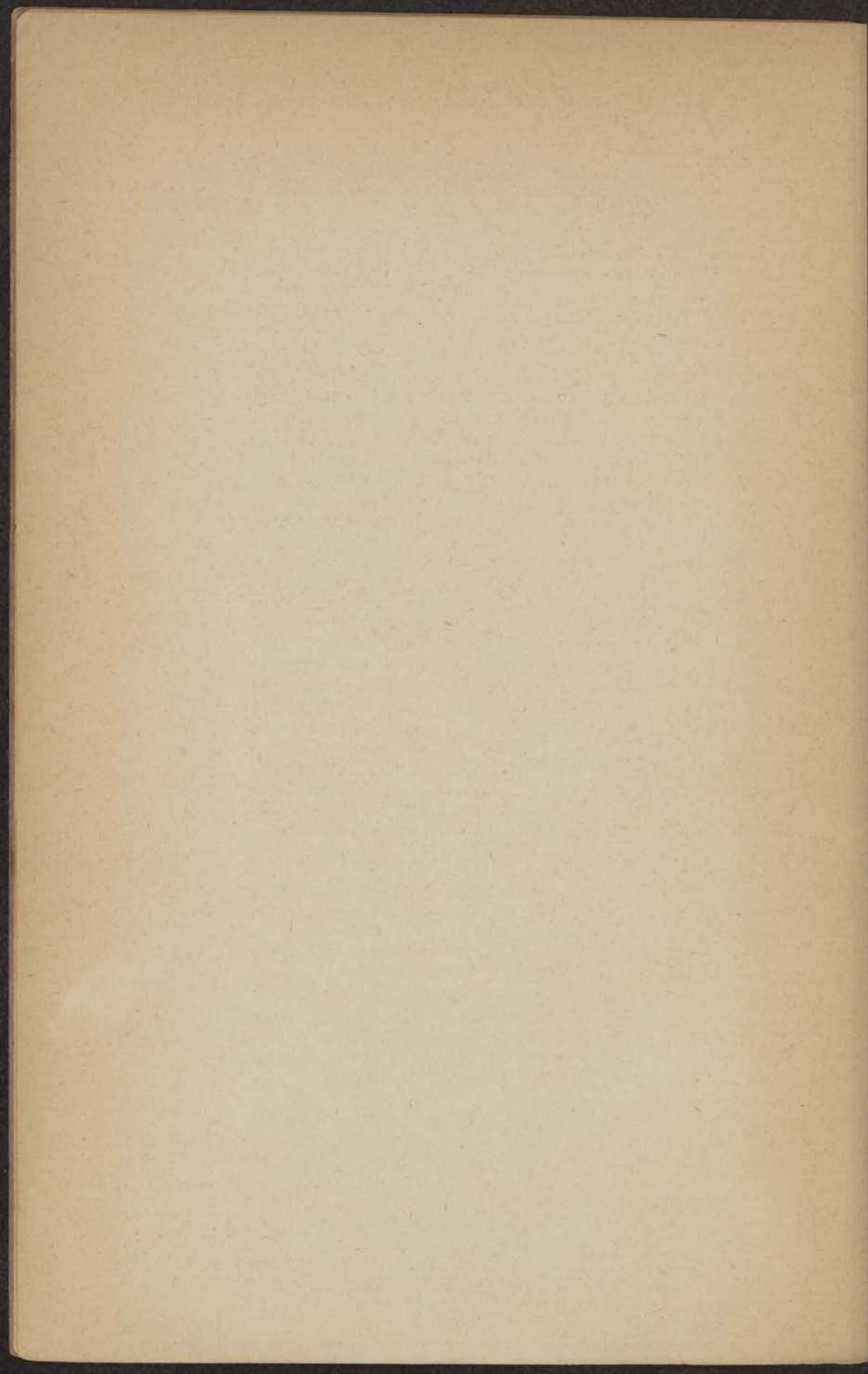


BOEKHANDEL & DRUKKERIJ W. D. MEINEMA - DELFT



Aan mijn Vader

Aan mijne aanstaande Vrouw



Bij het voltooiën van dit proefschrift is het mij een aangename plicht mijn dankbaarheid te betuigen aan de velen, die deel gehad hebben aan mijn academische opleiding.

In de eerste plaats dank ik u, hooggeachte promotor, Hooggeleerde DE HAAS, voor de zorgen die gij besteed hebt en de aandacht die gij gewijd hebt aan dit proefschrift. Op den korten tijd dat ik onder uw leiding heb mogen werken zal ik immer met genoegen terugzien.

Dat gij mij, Hooggeleerde KAMERLINGH ONNES, in de gelegenheid gesteld hebt mij te Leiden aan de optiek te wijden stel ik op hoogen prijs; gij hebt deze zijde van het natuurkundig onderzoek, die mij zoo na aan het hart ligt, nog aantrekkelijker gemaakt door het feit, dat gij mij hebt uitgenoodigd deel te nemen aan de optische onderzoekingen van de buitenlandsche hoogleeraren. In moeilijke tijden stondt gij mij vaak met raad en daad terzijde. Voor het vele dat gij voor mij gedaan hebt, van den tijd af dat ik op het Leidsche laboratorium aankwam, tot heden toe, zeg ik u dank.

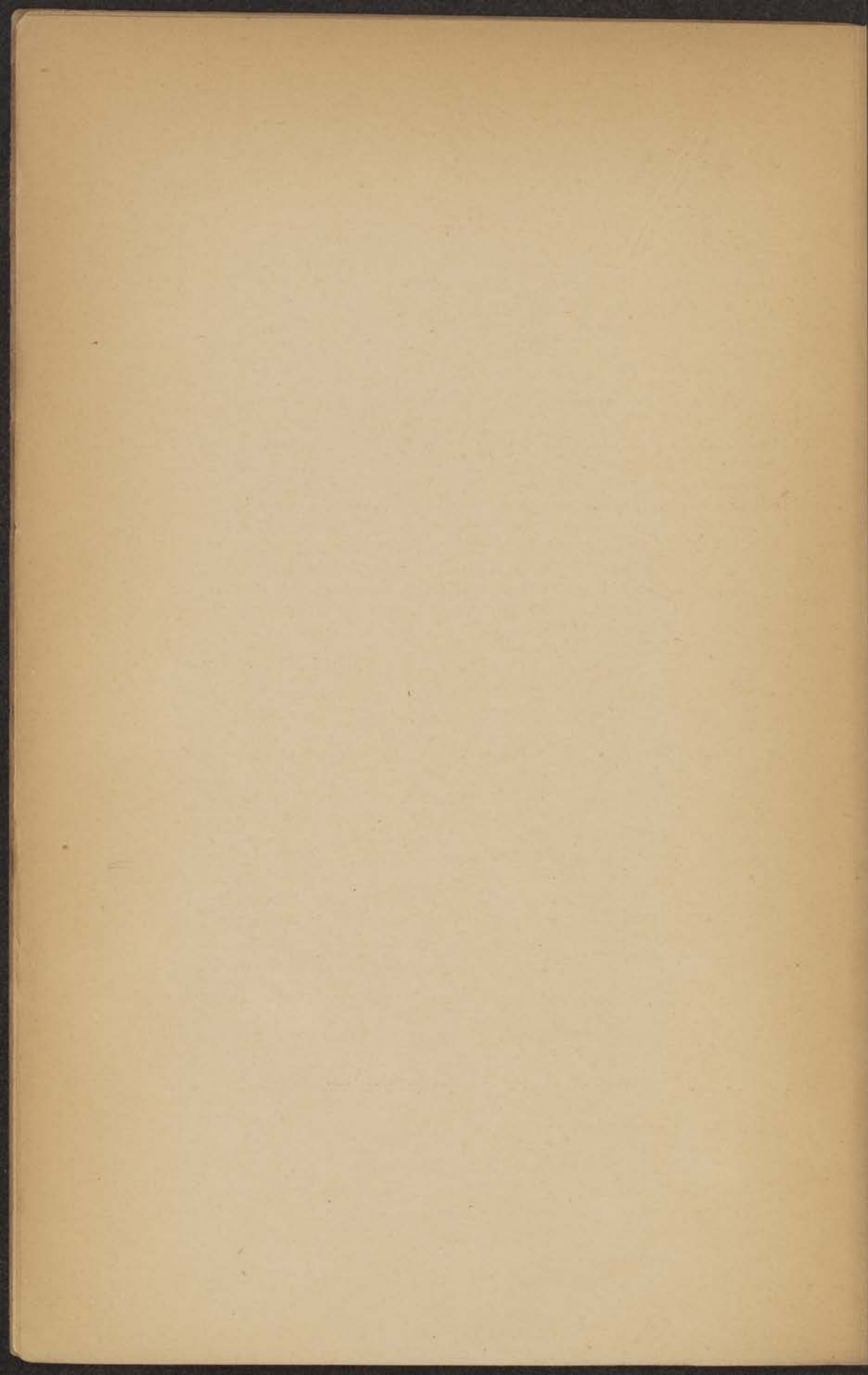
M. BECQUEREL, j'ai reconnu le privilège de travailler sous votre direction inspiratrice; j'étais par cela en état de témoigner, d'admirer votre adresse pour les expériences subtiles et votre ténacité aux jours d'hélium liquide, extrêmement fatiguants, mais non moins intéressants.

Tevens wil ik ook hier nog u drieën danken voor de welwillendheid, waarmee gij mij toestondt in dit proefschrift een voorloopige mededeeling te doen van de resultaten, die door u in de verslagen van de Koninklijke Akademie te Amsterdam zullen worden bekend gemaakt.

Het herdenken van uw daadkrachtigen steun bij mijn studie, hooggeleerde DE SITTER, brengt mij de vele redenen tot dankbaarheid te binnen, die mij aan de Leidsche Sterrewacht binden. Zonder dezen steun en dien van mijn overleden leermeester KUENEN zou het hier achter volgende nooit geschreven zijn geweest.

Het geduld dat gij met mij hadt, hooggeleerde EHRENFEST en hooggeleerde VAN DER WOUDE, kan ik niet genoeg naar waarde schatten.

U, leden van den wetenschappelijken staf en van het technische personeel van het Natuurkundig Laboratorium te Leiden, breng ik mijn oprechten dank voor de welwillendheid, waarmee gij mij steeds tegemoet getreden zijt. De ruim drie jaren die ik in uw midden mocht doorbrengen bevatten te veel aangename feiten en gebeurtenissen om niet steeds met de prettigste gevoelens door mij herdacht te worden,



HOOFDSTUK I. INLEIDING.

§ 1. EMISSIE- EN ABSORPTIE-SPECTRA.

1. De emissie- en absorptie-spectra van de meeste vaste lichamen zijn continu. Alleen onder bijzondere omstandigheden kan het voorkomen dat er discontinuïteiten optreden, welke dan karakteristiek zijn voor de stoffen waardoor zij veroorzaakt worden. Het mooiste voorbeeld van karakteristieke spectra van vaste lichamen wordt wel gegeven door de zeldzame aarden. De emissielijnen bij hoge temperatuur, zoowel als de absorptielijnen bij lagere temperatuur zijn zoo scherp en zoo kenmerkend, dat men zelfs een optische analyse van deze elementen ermee kan uitvoeren. Een tweede, niet minder sprekend voorbeeld vindt men in de uranylzouten; de fluorescentie- en absorptie-spectra zijn voor ieder dezer zouten verschillend.

Evenwel zijn er behalve de bovengenoemde nog andere groepen van vaste lichamen, die (hoewel minder duidelijk) in een groot molecuulcomplex in staat zijn een discontinu spectrum te geven.

Deze spectra ondergaan meestal een voor het onderzoek gunstige verandering wanneer de lichamen in kwestie sterk afgekoeld worden. Bijna altijd worden door afkoeling de banden nauwer en scherper, hetgeen een nauwkeurige golflengte-meting mogelijk maakt. Het spreekt vanzelf dat de invloed van een magneetveld op zulke banden dan ook veel beter te bestudeeren is.

Bij zeer lage temperaturen treden bovendien nog nieuwe verschijnselen op, die niet weinig bijdragen tot de verheldering van het beeld dat wij ons van het optisch mechanisme trachten te vormen. Dat een groot deel van de in het vervolg te behandelen onderzoekingen bij lage temperaturen geschieden behoeft dus geen verwondering te wekken.

2. Om een helder overzicht te verkrijgen is een kleine uit-

weiding niet ondienstig. Deze kan tot de hoofdzaken beperkt worden, terwijl wij in het vierde hoofdstuk gelegenheid zullen hebben bij eenige onderdeelen wat uitvoeriger stil te staan. Eenige definities mogen voorafgaan.

Vooreerst dient gezegd te worden dat uitgegaan wordt van de principes die bij de atoomtheorie van BOHR zulke goede diensten bewezen hebben, en volg zoo den weg gewezen door prof. EHRENFEST in diens artikel in het „Gedenkboek H. KAMERLINGH ONNES 1922”¹⁾, welke verhandeling trouwens grondslag geweest is voor alle theoretische beschouwingen in dit proefschrift. Daar ik van haar inhoud een uitgebreid gebruik zal maken, zal het, na deze mededeeling, niet noodig zijn er in het vervolg voortdurend naar te verwijzen.

De energietoestanden van electronen en atomen, en van moleculen worden quanteus opgevat. Gelijk men weet heeft dit tot gevolg dat men spreken gaat van *energieniveau's* van die electronen etc., verder ook van *rusttoestanden* en van *opgewekte of aangeslagen toestanden*.

Soms zal het noodig zijn van het valentieelectron te onderscheiden het *lichtelectron*, welks energieverandering gepaard gaat met absorptie of emissie van licht.

Waar er van absorbeerende *atomen in een kristaltralie* sprake zal zijn, wil dit niet zeggen dat daar neutrale atomen mee bedoeld zijn.

Temperaturen in de buurt van 85° K. noem ik *lage temperaturen* zonder meer, de „waterstof- en helium-temperaturen” tusschen 20° en 4° K. kan men gevoegelijk met de term *zeer lage temperaturen* daarvan onderscheiden.

Voor de onderscheiding van *fluorescentie* en *fosforescentie* houd ik mij aan de definitie, die KOWALSKI ervan gegeven heeft in den Leidschen rapportenbundel voor het I.I.R. 1924²⁾, welke voorstelt dat men consequent de term *fluorescentie* toekennen moet aan emissie bij toevoer van energie van buiten, terwijl de term *fosforescentie* alleen toegepast mag worden op emissie bij algeheele afwezigheid van energietoevoer van buiten af.

3. De beschouwing van de lichtverschijnselen van geïsoleerde atomen heeft ertoe geleid, dat men voor zoo'n atoom vaste energieniveau's aanneemt; een lichtelectron kan zich „bevinden op” die gequantiseerde energieniveau's.

Verspringt het electron van een hooger naar een lager niveau dan gaat dit gepaard met het uitzenden van licht van één bepaalde frequentie, gegeven door de betrekking

van BOHR: $\nu = (E' - E'')/h$, waar E' en E'' de energieën voor en na de sprong zijn en h de constante van PLANCK voorstelt.

Wordt het atoom met licht bestraald waarin de frequentie ν , door deze betrekking bepaald, voorkomt, en bevindt het licht-electron zich op het niveau E'' , dan kan het atoom het licht van deze frequentie, maar ook alleen van deze frequentie, absorbeeren, terwijl het electron springt op het niveau E' .

Bij een molecuul kan de potentieele energie in het molecuul als zoodanig meegeteld worden. Ik behoef nauwelijks te vermelden hoe men langs dezen weg tot de verklaring gekomen is van de bandenspectra der gassen. Evenmin behoef ik stil te staan bij de namen oscillatie- en rotatie-spectra. Ofschoon de theorie hier reeds groote vorderingen heeft gemaakt, is men bij de studie van de meer eenvoudige molecuulsoorten moeten blijven, de meer ingewikkelde vormen bieden te groote moeilijkheden.

Daar bij het vaste lichaam de omstandigheden nog veel gecompliceerder zijn, behoeven wij ons niet voor te stellen een ook maar eenigszins volledige theorie van de hierbij voorkomende spectra te kunnen ontwikkelen. Het zal echter blijken dat er gevallen voorkomen, waar men uit de studie der spectra eenige gegevens kan verkrijgen over de bouw van het vaste lichaam. Met name voor de uranylspectra heeft prof. EHRENFEST erop gewezen dat men op deze wijze voor de theorie van het vaste lichaam gegevens uit de optische bestudeering zou kunnen verkrijgen³⁾.

Alvorens tot de vaste lichamen over te gaan moeten wij nog één verschijnsel beschouwen, nl. den invloed van een electricch veld op de straling.

De energieniveau's verschuiven wanneer een electricch veld wordt aangebracht. Deze verschuiving, eventueel met verbetering gepaard gaand, wordt met den naam STARK-effect betiteld, ook wanneer het veld niet op de wijze wordt aangebracht die STARK bij de ontdekking van dit effect gebruikte.

Gaan wij nu over tot de beschouwing van een atoom in een vast lichaam. Bevindt zich een atoom met lichtelectron in de onmiddellijke nabijheid van andere atomen of ionen, dan zijn zijn energieniveau's niet op de normale hoogten. Door de electricche velden van de naburige atomen worden die gestoord, zij worden ieder over een bepaald bedrag verschoven, waarbij eventueel nog een splitsing in meerdere niveau's kan optreden.

Door de warmtebeweging, waaraan zoowel het beschouwde atoom als de omgevende atomen deel nemen, veranderen voortdurend de onderlinge afstanden en dus ook de elektrische invloeden die de atomen op elkaar hebben. De frequentie van de geëmitteerde of geabsorbeerde energie hangt dus af van den toestand op het oogenblik dat de energiesprong plaats heeft. Voor de verschillende centra, waar zoo'n energiesprong plaats heeft, zijn in het algemeen de toestanden zeer verschillend, zoodat we verwachten moeten dat in plaats van een scherpe lijn een min of meer wazige band optreedt. Men noemt dit de verbreding door het STARK-effect der naburige atomen (zie bijv. EHRENFEST l.c.) De verbreding door druk der spectraallijnen door gassen uitgezonden vindt op geheel analoge wijze plaats, zooals ik hier nauwelijks behoef te vermelden.

4. De bij kamertemperatuur onscherpe banden kunnen belangrijk aan scherpte winnen wanneer de vaste stof sterk afgekoeld wordt. Immers men vermindert dan de beweging der moleculen.

Een tweede temperatuurinvloed is de volgende. Is een licht-electron door absorptie van licht in aangeslagen toestand, dan kan het al naar gelang van de omstandigheden daar langer of korter in verblijven. Door sterk wisselende uitwendige elektrische velden zullen in het algemeen dergelijke aangeslagen electronen gestoord worden en gedwongen worden tot den rusttoestand terug te keeren. Geschiedt dit eerst na een zeker tijdsverloop dan zal men dus licht zien optreden een poos nadat het electron door licht in den aangeslagen toestand gebracht is. Met andere woorden men neemt fosforescentie waar. Het is te begrijpen dat het verminderen van de warmtebeweging door middel van afkoeling ook hier de storende invloeden vermindert en dus aanleiding geeft tot verlenging van den fosforescentieduur, dikwijls zelfs noodzakelijke voorwaarde voor het optreden van fosforescentie is.

Zooals bekend verondersteld mag worden heeft LENARD reeds lang voor het bestaan van het atoommodel van BOHR voor de fosforescentie een dergelijk mechanisme uitgedacht.

Vloeistoffen met hun grootere bewegelijkheid der moleculen zullen naar dit beeld in het algemeen *niet* scherpe banden vertoonen en ook niet fosforesceeren. Wat met de waarneming overeenstemt.

Ook de amorfe vaste stoffen hebben door de onregelmatige rangschikking van hun kleinste deeltjes niet veel gelegenheid

banden onverbreed te laten bestaan. Een amorfe stof mag men immers ook met den naam „vaste vloeistof” betitelen. Maar zelfs de kristallen vertoonen in het algemeen niet een discontinu spectrum. Daarvoor moeten blijkbaar gunstige omstandigheden aanwezig zijn. Voor fosforescentie is bovendien noodig dat een atoom eenigen tijd in den aangeslagen toestand kan blijven bestaan. Is aan deze voorwaarden niet voldaan, dan wordt de geabsorbeerde energie voor het overgrootste gedeelte onmiddellijk in onregelmatige warmtebeweging omgezet,

Wij willen nu de verschillende gevallen nagaan, waarin de uitwendige velden, afkomstig van de omgevende atomen, van dien aard zijn, dat er, eventueel bij voldoende afkoeling, discontinue emissie- of absorptie-spectra ontstaan.

§ 2. OVERZICHT VAN DE VERSCHILLENDE SOORTEN VASTE LICHAMEN MET EEN DISCONTINU SPECTRUM.

a) Bij de zeldzame aarden zijn de licht-electronen en de valentie-electronen niet dezelfde electronen, het licht-electron bevindt zich niet aan de periferie van het atoom. Wanneer een dergelijk atoom licht absorbeert moet men aannemen dat de electronen-configuratie in de vierde schaal van BOHR verandert. En wel is de energie van deze configuratie dan juist toegenomen met een bedrag overeenkomstig met de frequentie van het geabsorbeerde licht. Daar dit verschijnsel zich niet aan den buitenkant van het atoom afspeelt, ondervindt het betrekkelijk weinig invloed van de velden der omgevende atomen. Vandaar dat de verbindingen van deze atomen scherpe absorptiebanden bezitten, die bovendien weinig verschillen voor de verschillende zouten van een element.

b) Het kan voorkomen dat het valentie-electron in een beschutte positie komt, doordat de omgevende atomen en moleculen zoo er om heen gerangschikt zijn, dat het betrekkelijk stabiel is in den aangeslagen toestand. Deze stand van zaken schijnt voor te komen bij de fosforesceerende stoffen, onderzocht voornl. door LENARD, en bij de alcoholische oplosingen⁴⁾.

c) De twee genoemde gevallen kunnen ook tegelijk optreden en door samenwerking mogelijk maken dat er nauwe banden in het spectrum optreden. Immers de elementen 24 tot 29, die ook een niet-afgesloten groep electronen hebben, vertoonen hetzelfde verschijnsel als de zeldzame aarden, maar minder

uitgesproken. De niet-afgesloten groep is niet zoo inwendig en veel minder tegen invloeden van buiten beschermd. Wordt echter bijvoorbeeld atoom 24, Cr, omgeven door een zeer regelmatig net van aluminium- en zuurstof-atomen, zooals dat bij robijn het geval is, dan kan er een zoodanige vermindering optreden van de verbreeding door het STARK-effect, dat er zeer nauwe banden in het absorptiespectrum aanwezig zijn. Tevens is in dit geval de mogelijkheid voor emissie met nauwe banden mogelijk (lijnenfluorescentie van robijn).

Behalve robijn is smaragd een voorbeeld van deze groep.

d) Bij de uranylzouten meenen wij een andere oorzaak voor ons te hebben voor de discontinuïteit der spectra. Daar er ook oplossingen van uranylverbindingen bekend zijn die dergelijke spectra vertoonen, moet er een sterke beschuttende werking aanwezig zijn; of die in het uraanatoom zelf gezocht mag worden meen ik te mogen betwijfelen daar de uraanverbindingen, die niet het UO_2 bevatten noch fluoresceeren, noch dergelijke systematisch opgebouwde spectra hebben als zij die dat wel hebben. Het lijkt mij wel aannemelijk te maken, dat de bescherming van het lichtelectron tegen uitwendige invloeden gezocht moet worden in de binding van de twee O-atomen aan het uraan.

e) Tenslotte is het ook nog mogelijk dat door intense afkoeling van een zeer regelmatig kristalnet de onderlinge storingen zoo gering gemaakt kunnen worden, dat bij lichtemissie of absorptie de lijnen niet verbreed meer zijn. Of wij ons dit moeten voorstellen het geval te zijn bij de lichtemissie van vaste stikstof bij $20^\circ K.$ onder opwekking met kathodenstralen wil ik in het midden laten. Is iets dergelijks het geval, dan zou bij vast argon de emissie uit nog veel nauwere lijnen moeten bestaan, daar de argonatomen afgeslotener systemen vormen dan de stikstofatomen, en elkaar dus minder zullen beïnvloeden.

§ 3. MAGNETISCHE DRAAIING VAN HET POLARISATIEVLAK.

Een andere methode om langs optischen weg gegevens te verkrijgen omtrent den opbouw van het vaste lichaam is de studie van de magnetische draaiing van het polarisatievlak, in de buurt van de spectrale absorptiegebieden en ook ver van alle absorptie. Volgens de klassieke theorie (LORENTZ, VOIGT, BECQUEREL) bestaat er een nauw verband tusschen de bewe-

gingstoestanden van de in een lichaam aanwezige electronen en de optische verschijnselen zooals magnetische draaiing van het polarisatievlak, magnetische dubbele breking, etc. In de theorie der quanta kunnen wij nog weinig aanvangen met deze effecten.

Toch verdient de magnetische draaiing van het polarisatievlak wel de aandacht, daar er tusschen dit verschijnsel en de magnetische susceptibiliteit een verband zal bestaan.

Daar deze laatste grootheid (althans in eerste benadering) evenredig is met het omgekeerde van de absolute temperatuur, verwachtte men de sterkste magnetische draaiingen bij de laagst bereikbare temperaturen.

Die verwachting is dan ook ten deele bevestigd: de magnetische draaiing van een stof als tysoniet bleek in vloeibaar helium fabelachtige bedragen aan te nemen.

Ik hoop in het voorgaande genoegzaam aangetoond te hebben, dat de lage temperaturen onontbeerlijk zijn voor de studie van de optiek der vaste lichamen. Wenden wij ons nu tot de experimenteele methoden waarmee getracht werd in deze richting resultaten te bereiken.

Hieronder laat ik nog een lijstje volgen van de stoffen waarmee de in dit proefschrift beschreven onderzoekingen gedaan zijn:

van klasse a): de natuurlijke kristallen van eenige complexe zouten van neodmium (tysoniet, parisiet, bastnaesiet) en erbium (xenotiem). Hiervan werd tevens de magnetische draaiing bestudeerd.

van klasse c): robijn.

van klasse d): voornamelijk het mineraal autuniet en kalium-uranyl-sulfaat.

Het onderzoek van de lichtemissie, onder b) en e) genoemd, is in het Leidsche laboratorium nog in vollen gang, en ligt buiten het bestek van dit geschrift. Wat het laatst genoemde onderzoekingsveld betreft heb ik slechts te verwijzen naar de publicaties van VEGARD, KEESOM en KAMERLINGH ONNES, in de Kon. Ak. v. Wetensch. Amsterdam, verder o.a. ook in den bundel „Reports I. I. R.”⁵⁾

HOOFDSTUK II. EXPERIMENTEEL ONDERZOEK — WAARNEMINGS-METHODEN.

§ 1. VERWEZENLIJKING VAN DE LAGE TEMPERATUREN.

De stof die aan het onderzoek onderworpen werd moest gedurende dat onderzoek op lage temperatuur gebracht worden. Om haar echter tevens toegankelijk voor lichtstralen te maken, moesten de gewone modellen van cryostaten in het Leidsche laboratorium in gebruik, ingericht worden op de wijze, beschreven in de verhandelingen van KAMERLINGH ONNES, de BECQUERELS en LENARD⁶⁾. De verandering bestaat uit een vernauwing van het benedenste gedeelte der vacuumglazen. Het cilindrische nauwe gedeelte moet van dun glas zijn en zoo nauw mogelijk gemaakt worden opdat er zoo min mogelijk licht verloren gaat door absorptie in het glas en in de cryogene vloeistof, maar vooral ook opdat bij de magnetische onderzoekingen de polen van den electromagneet zoo dicht mogelijk bij elkaar gebracht kunnen worden. Dit stelt zeer hooge eischen aan de glasblaaskunst, daar de twee wanden van een vacuumglas elkaar niet mogen aanraken wil het glas aan zijn doel beantwoorden. In 1908 was reeds de grens van de mogelijkheden in deze richting bereikt. Twee vacuumglazen, het buitenste gevuld met vloeibare lucht of stikstof, het binnenste met vloeibare waterstof, hadden een uitwendigen diameter van pl.m. 8 mm. Nadat in December 1923 het vloeibaar helium voor het eerst transportabel gemaakt was, werd men als vanzelf ertoe geleid ook de optische proeven bij de met deze stof bereikbare uiterst lage temperaturen te doen. Derhalve moesten nu *drie* vacuumglazen gemaakt worden met nauwe stelen, die in elkaar pasten en toch een zoo klein mogelijk uitwendigen diameter hadden (zie fig. 1; niet op schaal). Aan de vaardigheid van de glasblazers van het laboratorium, met name van den heer KESSELING, is het te danken dat er verscheidene dergelijke cryostaten gemaakt zijn, waarvan de laatste een uitwendigen diameter van niet meer dan $14\frac{1}{4}$ mm. heeft. Binnen dezen afstand zijn dus zes glazen, volko-

men concentrische cylindertjes gebracht, die twee aan twee een vacuümglas vormen, en die ieder verbonden zijn aan de evenzeer concentrische cilindrische bovengedeelten van veel grooter afmetingen.

Het buitenste glas wordt gevuld met vloeibare lucht of stikstof. Het bleek namelijk gedurende de experimenten, dat in vele gevallen het werken met lucht in een magneetveld moeilijkheden met zich meebrengt, die ondervangen kunnen worden door gebruikmaking van stikstof. Door de in de lucht aanwezige zuurstof blijft deze namelijk in het magneetveld niet regelmatig koken, maar er ontwikkelt zich op de plaats van het sterkste veld damp. Eventueel in de vloeistof aanwezige onzuiverheden, stukjes vaste koolzuur etc., verzamelen zich daar en beletten den doorgang van het licht. Is dus de lucht niet volkomen zuiver en schoon en zijn er geen bijzondere maatregelen genomen tegen het toetreden van koolzuur en waterdamp, dan wordt de voortgang der proeven spoedig belet door de ophooping van de onzuiverheden op de plaats, waar juist het licht moet doorgelaten worden. Vloeibare stikstof, zelfs als zij niet geheel zuiver is, vertoont deze onaangename eigenschap niet. Doch ook hier moest er zorg voor gedragen worden, dat de vloeistof niet troebel werd door „insneeuwen” van waterdamp en koolzuur. Een luchtige toedekking met karton en linnen lapjes is in de meeste gevallen afdoende.

Het middelste der vacuümglazen is bestemd voor vulling met vloeibare waterstof, en voorzien van een kap met twee openingen voor den aan- en afvoer van de waterstof tijdens het vullen. Was dit glas eenmaal gevuld met vloeibare waterstof in het vertrek waar dit vervaardigd werd, dan kon het naar het vertrek der optische proeven overgebracht worden, waar de afvoer van de kap verbonden werd met een slang, die de verdampende waterstof buiten het werkvertrek geleidde.

Het binnenste der vacuümglazen, voor de opname van het vloeibare helium bestemd, was voorzien van een metalen kap met een bijzondere sluiting, die het verlies van heliumgas tijdens het vervoer tot een minimum beperkte. Tijdens het overbrengen van den cryostaat van den heliumliquefactor naar het optische werkvertrek werd het verdampende helium opgevangen in een ballonnetje, dat op de kap geplaatst werd. Zooals vanzelf spreekt konden ook de beide binnenste glazen gevuld worden met vloeibare waterstof, opdat bij 20° K. kon worden gewerkt. Tenslotte kon ook geëxperimenteerd worden bij 14° K. Het middelste glas was dan gevuld met waterstof,

die onder atmosferischen druk verdamppte, terwijl de afvoer van het binnenste glas verbonden was met een zuigleiding, die bij gesloten toevoerbuis den dampdruk kon verminderen van de in dat glas kokende waterstof, waardoor de temperatuur op iedere gewenschte hoogte tusschen 14° en 20° K. kon gebracht worden. De druk kon tijdens de experimenten op een manometer afgelezen worden, waarmee de temperatuur gemakkelijk met de gewenschte nauwkeurigheid berekend werd.

§ 2. HET ONDERZOEK VAN DE ABSORPTIEBANDEN EN VAN DE MAGNETISCHE DRAAIING.

In hoofdzaak werden onderzocht de magneto-optische verschijnselen bij deze stoffen, en wel het longitudinaal Zeeman-effect en de magnetische draaiing van het polarisatievlak. Beide onderzoekingen geschieden in een longitudinaal magneetveld.

Een uitgebreid artikel over de vroegere onderzoekingen op dit gebied schreef J. BECQUEREL in het „Gedenkboek 1922”. 7).
 1. *De Magneet.* Gedurende het eerste deel van het onderzoek, tot April 1925, werden de magneetvelden voortgebracht door de groote WEISSmagneet der firma OERLIKON, met 1440 windingen van hol draad die maximaal met 70 Amp. op 110 Volt belast kan worden. De poolschoenen, waarmee hij voorzien was, voor het optisch onderzoek waren speciaal hiervoor gedraaid. De cilindrische gedeelten daarvan zijn $18\frac{1}{2}$ cm. in middellijn evenals de kernstukken. Hun conus heeft den hoek van 60° . De uiteinden zijn afgeplat tot ze een diameter van 12 mm. hadden. Verder zijn ze doorboord met conische gaten. De doorsnede is:

21.5 cm. vanaf het interferricum	18 mm.
13 " " " " "	9 "
6 " " " " "	$4\frac{1}{2}$ "
aan het uiteinde	$2\frac{1}{4}$ "

In April 1925 zond prof. J. BECQUEREL uit Parijs een dergelijken electromagneet voor gebruik bij de optische onderzoekingen, waardoor de Leidsche magneet vrij kwam voor ander werk. Deze magneet is grondig onderzocht door FORRER 8). De doorsnede van de kernen en van de cilindrische gedeelten der poolschoenen is 16 cm. Iedere klos bestaat uit vijf

gedeelten van 100 buiswindingen die in serie geschakeld zijn. De watertoevoer van deze windingen is parallel voor allen. De magneet werd gevoed met stroom van $1\frac{1}{2}$ tot 150 Amp. Werd deze laatste stroom lang achter elkaar gebruikt, dan werd het noodig het water onder hoogerem druk door den magneet te zenden dan direct door de duinwaterleiding geleverd werd. Daarvoor diende een pompje, gedreven door een electromotor, dat den druk van 1.2 op 5 à 6 atm. bracht. Door deze inrichting was steeds het warm worden van den magneet te voorkomen. Toch werd zij liever niet gebruikt, daar zij veel onrustig rumoer in het vertrek gaf.

De poolstukken waren nog voorzien van afneembare spitsen. Hun vlakke einden hadden een middellijn van 12 mm., de middellijn van de doorboring was 2 mm., het interferricum was bij deze proeven 18 tot 20 mm.

De kernstukken, 47.5 cm. lang, waren bij beide magneten doorboord met gaten van 5 cm. middellijn. In deze cilindrische holten konden gemakkelijk kokers met lenzen heen en weer geschoven worden tot de beste verlichting gevonden was. De schakeling is te zien op figuur 2. Daar de maximale stroomsterkte van 150 Amp. te veel is voor de kabels van het Leidsche laboratorium, werden twee kabels parallel geschakeld, zoodat ieder niet meer dan ca. 75 Amp. te leveren had. De met water gekoelde, in olie liggende regelweerstand W_1 kon ook niet meer dan ruim 70 Amp. verdragen, daarom werd er de ruw te regelen weerstand W_2 naast geschakeld. Wanneer zeer kleine stroomsterkten vereischt waren (bijv. bij de magnetische draaiing, en bij de dissymmetrische Zeemaneffecten, in vloeibaar helium), werd deze laatste weerstand uitgeschakeld. De weerstand van den Leidschen magneet is 0.68 Ohm, die van den Parijschen 0.49 Ohm.

De weerstand W_1 bestaat uit drie gedeelten in serie met resp. 60, 7 en 1 Ohm. De weerstand W_2 heeft maximaal 1,10 Ohm. Daar de nauwkeurigheid van de magnetoöptische metingen meestal niet van dien aard is dat er een uiterst constant houden van het veld voor noodig is, hoefde niet in shunt bijgeregeld te worden, evenmin was het noodig van de accumulatorenbatterij gebruik te maken. De spanning werd geleverd door een compound dynamomachine, die met stadswisselstroom van 216 V. (50 perioden) gedreven werd en 180 Amp. op 110 V. kon leveren; het aantal omwentelingen per minuut was ongeveer 1000.

De wisselingen in de spanning waren nooit meer dan 2 % en konden gemakkelijk gecompenseerd worden met den regelweerstand W_1 , zoodat de wisselingen in den stroom niet meer dan 1 % bedroegen. Met eenige moeite kon men de uiterste wisselingen zelfs tot op de helft van dit bedrag houden. Voor alle magnetische proeven met zwakke velden was dit ruim voldoende, terwijl ook bij sterke velden geen last van de wisselingen ondervonden werd, daar de nabijheid van de verzaadiging bij gebruik van 150 Amp. de wisselingen in het magneetveld beneden ca. 2‰ hield.

De stroom werd gemeten op een milli-ampèremeter, met shunts, van SIEMENS en HALSKE.

De ampèremeter was op een afstand van ca. 4 M. van den magneet opgesteld. Bij de proeven over de magnetische draaiing van het polarisatievlak bij helium-temperaturen was er gelegenheid na te gaan of het strooiveld van den magneet een invloed had op de aanwijzing van den ampèremeter, en wel op de volgende wijze.

De magnetische draaiing van een tysoniet-kristal werd onderzocht door het kristal tusschen gekruiste nicols te plaatsen en de strepen van FIZEAU-FOUCAULT (zie pag. 15) in het spectrum waar te nemen. [Dit verschijnsel maakt deel uit van de hieronder nog nader te behandelen onderzoeken, te publiceeren door J. BECQUEREL, H. KAMERLINGH ONNES en W. J. DE HAAS⁹⁾. De vermelding hier ter plaatse geschiedt met toestemming van deze auteurs].

Na het aanzetten van het maximale veld bleek zich de achtste band, overeenkomende met een draaiing van acht maal 180° of 1440° , in de buurt van 5235 AE te bevinden. Bij de D-lijnen (5893 AE) was de zesde band; daar was dus de draaiing zes maal 180° of 1080° . De afstand van deze banden was in het eerste spectrum (waarin de waarneming geschiedde) 50.8 mm. Een verandering in de draaiing van ($1440^\circ - 1080^\circ$): 50.8 of $7^\circ.1$ zou dus tot gevolg gehad hebben, dat de band 1 mm. verschoof.

De plaats van den achtsten band werd nu waargenomen, terwijl op den ampèremeter 150.0 Amp. af te lezen was, en wel één keer met één bepaalde stroomrichting in den magneet, de tweede keer met den stroom in tegengestelde richting. Voor de twee stroomrichtingen was er niet het minste plaatsverschil waar te nemen van dezen achtsten band. Een verschuiving van eenige tienden mm. was nog gemakkelijk waar te nemen geweest. De bovenste nauwkeurigheidsgrens van de reprodu-

ceerbaarheid volgt hieruit door een eenvoudige berekening: de verandering van draaiing was kleiner dan $.3 \times 7^\circ.1$ of $2^\circ.1$, d.i. $.15\%$.

De schakelaar S staat in den stand S3 op stroomloos, in den stand S1 op stroom, en bij het weer uitschakelen van den stroom, dus bij overgang van S1 naar S3 passeert hij den stand S2, waarin zoowel punt 1 als punt 3 met punt 2 verbonden is. In dezen stand wordt, zooals steeds in de techniek gebeurt, de magneet, met weerstand W_3 , in zichzelf kort gesloten, zoodat we dan niet voor den extrastroom meer hoeven te vreezen. De meting van het veld geschiedde optisch met behulp van de grootte van de magnetische splitsing van de absorptielijn 5221 van xenotiem. Deze, vaak toegepaste, methode slaagde hier volkomen door de buitengewoon groote splitsing van de genoemde lijn. Door J. BECQUEREL is de grootte van de splitsing gemeten bij de temperatuur van 14° , 20° en 85° K. en hij vond dat zij 8.53 maal de normale Lorentz-splitsing, gemeten in frequenties, is¹⁰). De bruikbaarheid berust op de proportionaliteit van splitsing en veld, die, tenminste bij die temperaturen bestaat. Wij hebben aangenomen dat bij 4° K. zoowel deze factor als de proportionaliteit blijft bestaan.

Dat de homogeniteit van het veld zeer voldoende was, bleek uit de waarnemingen van de magnetische draaiing van het polarisatievlak bij 4° K. Immers bij het kristal tysoniet is deze draaiing met een magneetstroom van 150 Amp. in het violet ca. 4000 graden. Een kleine ongelijkheid van het veld op verschillende plaatsen van het kristal zou zich geopenbaard hebben in een zeer goed waarneembare verandering van de draaiing op verschillende plaatsen van het kristalbeeld.

Men kan zoo zelfs een schatting van de homogeniteit maken. De draaiing is, in eerste benadering tenminste, zeker evenredig te stellen met het veld. Een onregelmatigheid in den vorm van bijv. den achtsten band (in het groen) van de grootte van $.3$ mm. zou gemakkelijk waar te nemen zijn. Passen wij dezelfde berekening toe als hierboven, dan volgt hieruit voor de bovenste grens van inhomogeniteit: $.15\%$ of bij de sterke velden van 23000 gauss : 35 gauss, tenminste in de ruimte ingenomen door het kristal, d.i. ongeveer 1 mm. boven en beneden het midden van het interferricum. Daar alle kristallen ten hoogste deze afmetingen hebben was het veld ruim voldoende homogeen.

De moeilijk te vervaardigen, zeer breekbare cryostaatglazen moesten steeds zeer voorzichtig tusschen de polen van den

magneet gebracht worden, daar aanraking met de ijzeren poolstukken gevaar oplevert voor krassen van het glas, waardoor het zeer gemakkelijk zou kunnen springen.

2. Alvorens tot de beschrijving over te gaan van de optische hulpmiddelen is het misschien niet ondienstig met een enkel woord te reppen over de *methode waarop de magnetische draaiing bestudeerd wordt*, hoewel die niets nieuws heeft na hetgeen de BECQUERELS en KAMERLINGH ONNES gedaan hebben op dit gebied¹¹⁾. Men vergelijke daarbij fig. 3, waar de optische onderdeelen in plattegrond geteekend zijn.

Twee nicols, ieder met een azimuth van 45° t.o.v. den horizon, worden gekruist opgesteld, één tusschen lichtbron en kristal één onmiddellijk achter de spleet van den spectrograaf, Tusschen kristal en spleet wordt nog een $\frac{1}{4}\lambda$ -plaatje geplaatst, met zijn hoofdrichtingen eveneens onder een hoek van 45° met den horizon. Tenslotte is vlak voor de verticale spleet een compensator van BABINET opgesteld met de hoofdrichtingen verticaal en horizontaal. De brekende ribben der wiggen zijn horizontaal. De volgorde is dus: lamp, nicol, kristal (al of niet in een magneetveld), $\frac{1}{4}\lambda$ -plaatje, compensator, spleet van den spectrograaf, tweede nicol, waarna het licht verder in den spectrograaf wordt ontleed om tenslotte opgevangen te worden op een fotografische plaat.

Veronderstellen we nu een oogenblik dat het kristal niet in een magneetveld is, het draait dan niet het polarisatievlak. Is alles goed ingesteld, dan gebeurt dus het volgende: Licht, gepolariseerd in een vlak dat een hoek van 45° met den horizon maakt, wordt door het kristal onveranderd doorgelaten, behoudens absorptie in bepaalde gebieden. De polarisatie-richting ondergaat geen verandering in het kristal, noch ook in het micaplaatje. In den compensator, bestaande uit twee gekitte kwartswiggen wordt het licht gesplitst in twee componenten, één verticaal en één horizontaal trillend. Deze treden uit met een faseverschil, dat verandert met de hoogte van den straal. In het midden van den compensator is het faseverschil nul. Het dáár uittredende licht heeft geen componente die door den tweeden nicol door gelaten kan worden. Het op die hoogte door de spleet gaande licht komt dus niet verder in den spectrograaf. Even hooger en even lager treden stralen onder interferentie uit, die een zoodanig onderling faseverschil hebben, dat de resultante een componente heeft die door den tweeden nicol doorgelaten kan worden. Is het faseverschil tusschen de zich in den compensator

voortplantende trillingen π , dan laat de tweede nicol weer geen licht door. In het spectrum worden deze spleet-punten, waar niet-doorlaatbaar licht uitkomt, afgebeeld als zwarte strepen, die over de heele lengte van het spectrum loopen. Gaat door het aanzetten van het magneetveld het kristal het polarisatievlak draaien, en veronderstellen wij voor het gemak dat bijv. in het geel de draaiing van het polarisatievlak juist 180° is, dan heeft dit tot gevolg dat de strepen in het gele deel van het spectrum over één streeps-afstand opgeschoven zijn, natuurlijk in de eene of de andere richting al naar gelang van de draaiings-richting van het polarisatievlak in het kristal.

Noemen wij den streepsafstand l , dan ziet men onmiddellijk in dat een draaiing van 90° een streepsverschuiving van $\frac{1}{2} l$ tevoorschijn roept. Algemeen kan men dus uit de grootte van de verschuiving der strepen de draaiing aflezen. Is de draaiing D en de verschuiving d , dan blijkt dus:

$$D = \frac{d}{l} \cdot 180^\circ$$

Hierbij beduidt l de streepsafstand in het gedeelte van het spectrum dat juist beschouwd wordt; l is een functie van de golflengte. De „nulstreep”, afkomstig van de plaats waar de wiggen even dik zijn, verloopt horizontaal in het spectrum, maar alle andere strepen loopen scheef. Zij zijn bij benadering rechte lijnen, die in het rood een grooter onderlingen afstand hebben dan in het violet.

Een andere methode om de draaiing te meten ontstaat als men den compensator en het micaplaatje verwijdert. In het spectrum treden dan de verticale zwarte banden van FIZEAU-FOUCAULT op, voor welker golflengten de draaiing juist een geheel aantal malen 180° is.

Gaan wij thans over tot de beschrijving van de onderdeelen der optiek.

3. *De booglamp.* Aanvankelijk werd gebruikt de gelijkstroombooglamp van SIEMENS, beschreven door ZEEMAN in 1893 ¹²⁾, gevoed door de accumulatorenbatterij; 60 Volt met 0.22 Ohm voorgeschakelden weerstand. De krater van de achteroverhellende positieve kool werd door een electromagnetischen reguleteur ongeveer op dezelfde plaats gehouden.

Ondanks de werkelijk groote lichtsterkte bleek deze lamp toch te moeilijk in den omgang te zijn. Daar het licht door de zeer nauwe openingen van den magneet moest gaan en een kleine plaatsverandering van de lichtbron maakte, dat de bundel niet meer doorgelaten werd, moest aanhoudend toezicht gehouden worden op de lamp, kleine verschuivinkjes van de kool en van den krater op de kool moesten met de hand bijgeregeld worden. Bovendien was het verwisselen van de kolen een werkje dat tijdens de waarnemingen te lang ophield (met wachten op het afkoelen voordat men de oude kolen eruit kon nemen toch steeds een minuut of vijf).

Later kreeg ik een ZEISSbooglampje in gebruik, dat wel minder lichtsterk was, maar met horizontale positieve kool, die bovendien dicht bij den krater nog in een ring vastgehouden werd. De krater bleef daardoor voortdurend op precies dezelfde plaats. Ook kon het verwisselen van de kolen gemakkelijk binnen een minuut gebeuren. De lamp gaf veel besparing aan ergernis en stroomverbruik. De vermindering van lichtsterkte werd voor een groot deel gecompenseerd door de gelijkmatigheid van de belichting, zoodat de belichtingstijden niet eens aanmerkelijk langer behoeften te zijn.

Ook deze lamp werd gevoed door de accumulatorenbatterij; 110 V. 10.6 Ohm voorgeschakeld. Stroomverbruik 5 Amp., tegen ca. 30 Amp. op 60 V. voor de andere lamp.

4. *De spectrograaf.* Een beschrijving hiervan vind men in het „Gedenkboek KAMERLINGH ONNES 1922”¹³⁾. Een vlak ROWLAND-tralie (14438 lijnen per inch, 8 cm. breed, lijnen 5 cm. hoog) was als volgt opgesteld. (Zie fig. 3.) Het uit de spleet S tredende licht wordt door de lens L evenwijdig gespreide licht passeert dan weer de lens L en het spectrum wordt scherp afgebeeld op de fotografische plaat bij Pl. De optische afstanden van plaat tot lens L en van spleet tot lens L zijn gelijk. Door het totaalreflecteerend prisma P is ervoor gezorgd, dat plaat en spleet niet vlak bij elkaar behoeven te staan. Deze opstelling, die zooals men weet de opstelling in autocollimatatie genoemd wordt, is compact en gemakkelijk in het gebruik. In plaats van de vroeger¹³⁾ gebruikte lens is nu een achromatische glazen lens in gebruik van ca. 130 cm. brandpuntsafstand in het zichtbare gebied.

Evenals vroeger werd in het geel en rood meestal het eerste, in het violet tot geelgroen het tweede spectrum gebruikt. De rechter spectra zijn bij dit tralie veel lichtsterker dan de

linker (het tweede is zelfs nog iets helderder dan het eerste) en werden dan ook uitsluitend gebruikt.

Het totaal-reflecteerend prisma is van glas. Ver in het ultraviolet komt deze spectrograaf dus niet, wat ook niet noodig is daar immers het licht steeds de glazen van den cryostaat moest passeeren. In den houder van dit prisma was een verticale plaat met een opening gemaakt, waarin de nicol, die achter de spleet moest worden opgesteld, geschoven en gedraaid kon worden. De plaathouders werden in een camera met balg geschoven, waarvan de stand op een millimeterverdeeling kon afgelezen worden.

Tralie, lens en prisma met of zonder nicol waren in een kartonnen, lichtdichte doos (hoog 56 cm., breed 28 cm., lang 156 cm.) opgesteld op een hardsteenen plaat van 8 cm. dik en 80 bij 200 cm. groot. Daar deze plaat op een pijler gemetseld was kon in het lokaal (niet al te hard) geloopt worden zonder dat dit hinderlijke trillingen van den spectrograaf veroorzaakte. Slechts van voorbijgaande voertuigen ondervond ik last, zoodat soms tijdens een expositie een oogenblik gewacht moest worden.

Het tralie kon met behulp van een tandwielinrichting van buiten af om een verticale as gedraaid worden, zoodat verschillende deelen van het spectrum op het midden van de plaat konden gebracht worden zonder dat de kartonnen vensters van de doos verwijderd hoefden te worden.

De schaal was in het eerste spectrum:

$$1 \text{ mm} = 12.98 \text{ AE.}$$

In het tweede spectrum ongeveer het dubbele hiervan. De camera bevond zich op een stevig houten onderstel en was door strooken zwart papier lichtdicht met de kartonnen doos verbonden.

De spleet was gemonteerd op een los tafeltje dat met (onmagnetische!) gewichten bezwaard was. De spleet zelf kon met schroefjes zeer gemakkelijk in hoogte en zijdelings verplaatst worden. Ook om een horizontale as kon zij gedraaid worden om verticaal of althans evenwijdig aan de strepen van het tralie gesteld worden. Zij kon ook met een schroefje verwijderd en vernauwd worden, echter geschiedde dit niet bilateraal. De instelling van de verschillende onderdeelen van den spectrograaf zal ik hier niet bespreken. Ik verwijs hiervoor naar het nummer over den gang der experimenten (no. 11).

5. *De lenzen, nicols e.d.* Op een afstand van 15 cm. van den

krater van de booglamp was een condensor (lens 1 op fig. 3) geplaatst, bestaande uit twee platbolle lenzen met de bolle zijden naar elkaar toegekeerd. Dan volgde eventueel een cuvet, gevuld met water, om warmtestralen te absorbeeren, en een lens die de door de eerste lens in een reëel brandpunt geconcentreerde stralen bij benadering evenwijdig maakte. Dan kwam de nicol, diameter 22 mm., waarvan de vating bevestigd was aan een verticalen verdeelden cirkel. Hier konden met behulp van twee noniussen tiende graden afgelezen worden. De wijze waarop deze nicol met zijn polarisatievlak onder een hoek van 45° met de horizon werd geplaatst zal beschreven worden in no. 11.

De twee lenzen, de watercuvet en de nicol bevonden zich op het marmeren blad van een los staand tafeltje, terwijl de booglamp op een eigen tafeltje stond, zoodat men bij het verwisselen van de kolen niet behoefde te vreezen de lenzen van hun plaats te brengen.

Het door den nicol gepasseerde licht, dat ongeveer evenwijdig was, werd nu door lens 3 (zie fig. 3), die zich binnen in den electromagneet bevond, op het kristal geconcentreerd.

De lichtbundel, die uit het kristal trad met een evengroote divergentie als hij er door de derde lens ingezonden werd, werd dan door de vierde lens weer evenwijdig gemaakt. De plaats van deze lens was symmetrisch met de derde lens t.o.v. het kristal, terwijl hun brandpuntsafstanden gelijk waren. Zoo werd de mate van divergentie van deze bundels onafhankelijk gemaakt van de divergentie die het gunstigst was voor het uit de booglamp uittredende of in den spectrograaf intredende licht.

Na dus door deze vierde lens evenwijdig uit den magneet te zijn getreden ging het licht door het micaplaatje, en tenslotte vormde een vijfde lens een beeld van het kristal op de spleet van den spectrograaf. Dit beeld werd niet scherp gemaakt, daar anders krasjes op het kristal en luchtbellen de verlichting van de spleet dermate zouden kunnen beïnvloeden, dat er hinderlijke horizontale strepen over het spectrum zouden loopen. Veeleer werd gestreefd naar een eenigszins uniforme verlichting van de spleet, waardoor de spectra een gelijkmatig voorkomen kregen.

De grootte der doorboringen van de poolschoenen en ook de zeer geringe afmetingen der onderzochte kristallen maakten dat steeds maar een klein deel van de spleet met licht bedekt was. Het beeld van het kristal was gewoonlijk een weinig

vergroot, maar zonder ernstig lichtverlies kon het toch niet groter gemaakt worden dan 5 mm.

Vlak voor de spleet werd zoo noodig de kalkspaatrhomboëder gezet. Tegen de wanden van de spleet zelf werd met was de compensator van BABINET gekleefd. Op afmetingen en eigenschappen hiervan zal ik hieronder nog terugkomen.

Ziehier eenige gegevens over de lenzen:

Afstand van booglamp (krater) tot eerste lens	15 cm.
„ „ eerste lens tot tweede lens	34 „
„ „ tweede lens tot derde lens	64 „
„ „ derde lens tot vierde lens	43 „
„ „ vierde lens tot vijfde lens	45 „
„ „ vijfde lens tot spleet	23 „
Brandpuntsafstand van de eerste lens	9 „
„ „ „ tweede „	27 „
„ „ „ derde „	23 „
„ „ „ vierde „	23 „
„ „ „ vijfde „	16 „

De vrije diameter van de zich binnen den magneet bevindende vierde lens was 18 mm., bepaald door de grootte van de boring van het poolstuk. De diameter van den lichtbundel, door lens 4 gevormd, is, op de plaats waar zich lens 5 bevindt, ca. 15 mm. De uit lens vijf tredende bundel heeft dus een opening van 17 mm., terwijl de afstand van lens tot spleet 23 cm. is. Dus de convergentie van dezen lichtbundel is ca. 1 : 15, en dit is juist de benoodigde divergentie van den uit de spleet in den spectrograaf tredenden bundel. Immers de doorsnede van het tralie is 8 cm. en de brandpuntsafstand van de zich voor het tralie bevindende lens is 130 cm. Was de genoemde divergentie grooter dan zou er licht buiten het tralie vallen en dus voor de beeldvorming verloren gaan, was de divergentie kleiner dan werkte niet het geheele tralie aan de beeldvorming mede, hetgeen verkleining van het oplossend vermogen tengevolge heeft en ook overigens natuurlijk niet het tralie gelegenheid geeft de maximum lichtsterkte die het leveren kan werkelijk te produceeren. Bij de proeven over de magnetische draaiing van het polarisatievlak werd achter de spleet nog de tweede nicol gezet. Dit had helaas een diafragmeerende werking, zoodat niet de heele uit het kristal tredende hoeveelheid licht op het tralie viel en tot de beeldvorming medewerkte. Het verlies aan oplossend vermogen is in dit

geval onbelangrijk daar de te meten verplaatsingen loodrecht op de dispersierichting plaats hebben. Maar het verlies was oorzaak dat de belichtingstijd beduidend verlengd moest worden, wat bij experimenten bij lage temperaturen altijd een onaangename omstandigheid is.

De micaplaatjes (eveneens van prof. BECQUEREL) hebben een middellijn van ca. 26 mm. en zijn geschikt voor resp. 5890 (ook te gebruiken voor rood en groen), 4500 (voor blauw en violet), en 4000 (voor het uiterste violet en ultraviolet).

Deze plaatjes werden op houten cilindrs gekleefd, die in houten vattingen gedraaid konden worden.

De rhomboëder was een stuk zeer helder kalkspaat van 15 mm. dikte. De beelden op de spleet kregen hierdoor een onderlinge afstand van 1.8 mm.

Prof. BECQUEREL stelde voor deze proeven vier compensatoren van Babinet beschikbaar, waarvan echter slechts één in gebruik genomen werd. Een cocondraadje werd dwars over den compensator heen gespannen en met was aan de zijanten vastgekleefd, waardoor een vast punt in de spectra verkregen werd ten opzichte waarvan de verplaatsingen van de horizontale strepen gemeten konden worden.

De breedte van de wiggen was 12 mm., de lengte 20 mm. De dikte van den compensator 5.5 mm. De nulstreep was ongeveer in het midden van den compensator.

6. Het scherp stellen geschiedde op een matglas, dat echter eigenlijk te grof was. Daarom werd het dan wel met wat olie bevochtigd, het werd daardoor schijnbaar fijner van korrel en bovendien doorzichtiger. Op het matglas waren eenige verticale en horizontale potloodlijnen getrokken voor de orientatie van de spectra. Op de plaats, waar zich meestal het midden der spectra bevond, was met een druppeltje Canadabalsem een microscoopdekglasje gekit. Op die plaats was dus het matglas volkomen doorzichtig. Door de balg van de camera te verschuiven tot het beeld tegelijk scherp was met de potloodlijnen (die natuurlijk op het doorzichtige deel duidelijk waren blijven staan) kon met een vrij sterk vergrooende loupe scherp gesteld worden. In het rood werd als lichtbron daarvoor gebruikt een neon-glimlichtlampje van AD. HILGER (220 V. 15 mA). Voor de overige deelen van het spectrum een ijzerbooglamp, die met 110 V. en ca. 15 Ohm voorgeschakelden weerstand een stroom van ongeveer 3.5 Amp. gebruikte.

Beide lichtbronnen werden steeds gebruikt als er een ver-

gelijkingsspectrum resp. in het geel en rood, of in het groen tot violet noodig was. Zij werden dan vlak voor de spleet opgesteld. Soms werd ook scherpgesteld op de door de koolboog gegeven natriumlijnen of z.g. cyaanbanden.

7. Het formaat der platen was steeds 9 bij 12 cm.

Gebruikt werden de volgende soorten platen:

voor het ultraviolet tot het blauwgroen:

ILFORD Iso-Zenith

voor het groen:

PERUTZ Grünempfindlich

voor het geelgroen (een enkele maal):

HAUFF Flavin

voor het geel en rood:

KODAK Panchromatic Commercial Film (deze werden in blikken filmhouders geschoven, die dan de plaats van een gewone glazen plaat konden innemen).

Andere platen werden zoo nu en dan ook wel geprobeerd, maar bleken steeds achter te staan bij de genoemde soorten. Steeds werd ontwikkeld met KODAK-ontwikkelaar voor „X-Ray Films” die in poedervorm geleverd wordt. Met uitzondering van de PERUTZplaten werden steeds alle platen zoowel in de chassis gelegd als (op tijd) ontwikkeld bij volkomen afwezigheid van licht. De PERUTZ-platen konden zonder gevaar in rood licht behandeld worden. — Voor iedere opname werd een aparte plaat gebruikt; soms werden echter de opnamen met en zonder magneetveld op dezelfde plaat onder elkaar genomen. Ook een vergelijkingsspectrum werd natuurlijk met de hoofdopname op dezelfde plaat opgenomen. Om te zorgen dat er niets aan de optiek veranderde werd daarbij gebruik gemaakt van een schermpje, bestaande uit een simpel plaatje zink, dat in een statiefje geklemd was en vlak voor de spleet geschoven kon worden.

8. *Valsch licht.* Wanneer de lichtsterkte van den in den spectrograaf intredenden bundel groot was (bij opnamen van het ijzerspectrum, of bij opnamen van koolbooglicht met afwezigheid van een absorbeerend kristal) werd veel last ondervonden van licht dat gereflecteerd was door de groote lens die vlak voor het tralie stond. In de genoemde gevallen kon men, na verwijdering van het matglas in den spectrograaf kijkende, een helder lichtpunt op die lens opmerken, dat zich verplaatste als men de lens om een verticale of horizontale as liet draaien. Bij een tamelijk scheeven stand van deze lens was het pas mogelijk het lichtpunt te doen verdwijnen en

dus het door de lens teruggekaatste licht in een richting te sturen dat het niet op de plaat viel. Zodoende kwamen echter de aberraties van de lens te sterk tot uiting om nog mooie scherpe opnamen mogelijk te maken.

Daarom verkoos ik den goeden stand van de lens en nam de sluïering door het teruggekaatste licht maar op de koop toe. In het algemeen lijkt mij dit bezwaar steeds te gelden bij alle opstellingen in autocollimatie.

Een andere bron van „valsch” licht was de reflexie van het door het inwendige van de poolschoenen geleide licht tegen de ijzeren wanden. Immers het teruggekaatste licht wordt elliptisch gepolariseerd, wat ten gevolge heeft dat de strepen van den compensator niet meer volkomen duister te maken zijn. Dit bezwaar trad alleen op als de lichtbundels niet meer volkomen centrïsch door de poolschoenen gingen en kon dus door een zuivere opstelling vermeden worden, mits de plaats van de lichtbron volkomen constant was. Hierin lag dus ook een bezwaar tegen de eerste bovengenoemde booglamp. Met de ZEISSbooglamp heb ik tijdens het verloop van een experiment nooit deze moeilijkheid ondervonden.

9. *De monteering van de kristallen.* (Men vergelijkte hierbij fig. 1). Evenals bij de boven geciteerde vroegere onderzoekingen op dit gebied te Leiden gedaan, werden de kristallen met was in de gaatjes van een reepje platina gekleefd, dat aan een glazen steel was gesmolten. Deze steel was ongeveer 40 cm. lang en aan den bovenkant door middel van een ijzerdraadje bevestigd aan een stalen asje, dat in een verticaal busje liep en door een moer vastgezet kon worden. Verschoof of verdraaide men nu dit asje dan verschoof de steel en dus ook het plaatje met de kristallen mee. Zoo kon men de hoogte van een kristal veranderen, en ook de kristallen om een verticale as draaien. Hier was ook nog een fijnere instelling bij mogelijk, daar aan het genoemde asje nog een tandwielkje bevestigd was dat tegen een horizontaal wormwiel sloot. Dit wormwiel kon men door middel van een elleboogoverbrenging met een lange staaf in beweging brengen. Het uiteinde van deze staaf was vlak bij de camera, zoodat men in den spectrograaf ziende de kristallen kon draaien en naar het voorkomen van hun spectrum de orientatie kon veranderen. Vermelding verdient nog het feit dat de bus van het bovengenoemde asje op de kap van het heliumglas gesoldeerd zat en dat de aansluiting van as en bus voldoende was om de ontsnapping van heliumgas langs dezen weg onmogelijk te maken.

10. Beschrijving der kristallen.

Deze waren door prof. BECQUEREL voor de onderzoekingen te Leiden beschikbaar gesteld; het waren exceptioneel heldere exemplaren. Hun grootte varieerde tusschen $\frac{1}{2}$ bij 1 mm. tot 2 bij 3 mm.

Xenotiem. Samenstelling: (Y, Er, Ce) P O₄ met soms SiO₂, ThO₂, UO₂, SO₃. Tetragonaal, dubbele breking positief. De absorptiebanden worden veroorzaakt door de aanwezigheid van erbium. De kristalstructuur is onderzocht door VEGARD met behulp van Röntgenstralen. (Phil. Mag. 1916, p. 505.)

Het gebruikte kristal had een dikte van .81 m.m. en was loodrecht op de as geslepen.

Tysoniet. Samenstelling: (Ce, La, Nd+Pr) F₃. Kristalstelsel hexagonaal. De absorptiebanden zijn te wijten aan de aanwezigheid van het neodymium. Het gebruikte kristal was een kubus (ribbe 1.674 mm.), waarvan twee zijvlakken loodrecht op de as waren geslepen en twee andere evenwijdig aan de as, terwijl het derde paar niet geslepen was. Uit de aanwezigheid van zeer kleine barstjes e.d. kon steeds gemakkelijk uitgemakt worden of het licht loodrecht op de as of evenwijdig eraan door het kristal ging.

Parisiet. Samenstelling: (Ce, La, Nd+Pr). Ca. F₂.(CO₃)₃. Dit mineraal kristalliseert rhomboëdrisch. De dubbele breking is zeer groot, positief. $\omega = 1.674$, $\epsilon = 1.77$. De absorptiebanden worden weer veroorzaakt door het neodymium. De dikte van het loodrecht op de as geslepen kristal was ongeveer 1 mm. De grootte van de dubbele breking maakte het noodzakelijk, dat het kristalletje zeer nauwkeurig met de as evenwijdig aan den lichtbundel werd geplaatst. Dit vereischte veel geduld en gelukte meestal slechts na een tot twee dagen zoeken. Immers het kristal moest eerst voorloopig gemonteerd worden, ondergedompeld worden in vloeibare lucht om een sterke magnetische draaiing in de buurt van de absorptiebanden te geven en na bestudeering van het ermee verkregen spectrum uit de vloeibare lucht gehaald en weer op kamertemperatuur gebracht worden om al naar gelang van het geproduceerde spectrum een verandering in stand in de eene of andere richting te ondergaan. Principieel was het niet onmogelijk geweest en zelfs zeer gewenscht een inrichting te maken, die zou veroorloven van boven af het kristal om een horizontale as te laten draaien.

Bastnaesiet. Samenstelling:

$(\text{Ce, La, Nd+Pr})_2(\text{CO}_3)_3 \cdot (\text{Ce, La, Pr+Nd})\text{F}_3$.

Kristalstelsel: hexagonaal. Het kristal was loodrecht op de as geslepen. Tegelijk met genoemde kristallen zijn nog eenige andere stoffen onderzocht op Zeemaneffect en op magnetische en natuurlijke draaiing, waarvan de beschrijving hieronder volgt.

Robijn. Samenstelling: Al_2O_3 , rood gekleurd door sporen chromoxyde, dat eenige zeer scherpe en eenige vage absorptiebanden in het spectrum veroorzaakt. De scherpe banden in het rood zijn omkeerbaar, zij kunnen ook als fluorescentiebanden optreden. Kristalstelsel rhomboëdrisch. Dubbele breking negatief, $\omega = 1.769$, $\varepsilon = 1.760$, voor geel licht. Het gebruikte kristal was een kubus (ribbe ca. 1.9 mm.).

Cinnaber. Samenstelling: HgS . Kristalstelsel: trapezoëdrische tetartoëdrie van het hexagonale stelsel. Dubbele breking positief, $\omega = 2.854$, $\varepsilon = 3.201$, voor rood licht. Deze stof vertoont natuurlijke draaiing van het polarisatievlak. Het gebruikte kristal was loodrecht op de as geslepen, en 1.49 mm. dik.

11. *Het instellen der instrumenten en het verloop der experimenten.*

De spectrograaf was vast opgesteld en werd slechts in één stand gebruikt. Toen dus eenmaal de stand van spleet, totaal reflecteerend prisma, lens, tralie en camera gevonden was, die de beste spectra gaf, behoefde er niets meer aan veranderd te worden gedurende de proeven. Alleen werd het tralie om een verticale as gedraaid om verschillende delen van het spectrum op het midden van de plaat te krijgen en om van eerste in tweede spectrum over te gaan of omgekeerd. De stand van den plaathouder was ook niet vast. Voor de verschillende kleuren was de plaats waarop het spectrum scherp werd afgebeeld verschillend door nog overgebleven chromatische aberratie van de lens L op fig 3. Op de slede, waar de plaathouder langs verschuiven kon, was een millimeterverdeling aangebracht, waar de afstand van het chassis tot de lens afgelezen kon worden. Voor het begin der proeven zelf werd dan met behulp van een ijzerspectrum de aflezing hierop bepaald voor de verschillende kleuren van violet tot groen. Voor het geel en rood werd de bovengenoemde neonglimlichtlamp gebruikt.

Het bleek dat de instelling voor eenzelfde kleur dezelfde was

voor eerste en tweede spectrum. Van blauw tot rood was de instelling practisch geheel dezelfde, maar voor violet begon zij merkbaar te veranderen.

De scherpstelling was natuurlijk een andere al naar gelang tusschen spleet en lens de tweede nicol wel of niet geplaatst was. De aanwezigheid hiervan veranderde immers den optischen afstand van spleet en lens. Daarom moest de scherpstelling bestudeerd worden met en zonder dezen nicol.

Als voorbeeld geef ik de aflezingen op de millimeterschaal, zooals die gevonden zijn op den morgen van 12 Juni 1925, een dag waarop met helium geëxperimenteerd werd.

Scherpstelling zonder nicol:	rood tot blauw	22 $\frac{1}{2}$
	violet (ca. 4200)	34
	uiterste violet (3900-4000)	42
Scherpstelling met nicol:	rood tot blauw	37
	violet (4200)	42
	uiterste violet (3900-4000)	52

Er was bij de opstelling van den spectrograaf zorg voor gedragen, dat de hartlijn van de doorboringen van den magneet op dezelfde hoogte was als het midden van de spleet, het midden van de lens en het midden van het tralie. Ook de booglamp kon met zijn krater op deze hoogte gebracht worden. Zoo-doende werd het verloop van den lichtbundel geheel horizontaal. Slechts het totaal reflecteerend prisma had een zeer geringe helling, waardoor de lichtbundel niet volkomen horizontaal, maar iets naar boven loopend lens en tralie bereikte, wat weer tot gevolg had dat de teruggekaatste spectrale bundel ook iets naar boven liep en dus juist boven het prisma passeeren kon om de plaat te bereiken.

De opstelling der lenzen geschiedde het best op de volgende wijze. De lenzen werden eerst alle verwijderd, en het licht van de booglamp door den magneet heen op de spleet gezonden. Door kleine verplaatsingen van de lamp werd bereikt, dat het lichtvlekje op de spleetwanden volkomen rond en symmetrisch t.o.v. de spleet was. Dan was men zeker, dat de bundel licht langs de hartlijnen van de doorboringen der kernstukken liep. Ten eerste diafragmeerden dan de kernen zoo min mogelijk licht en ten tweede had men geen last van terugkaatsingen op de wanden der boringen. Vervolgens werd lens 1 voor de lamp geplaatst, weer op zoo'n wijze, dat de lichtvlek op de spleetwanden rond en symmetrisch t.o.v. de spleet zelf was. Op dezelfde manier werd dan ieder der volgende

lenzen opgesteld. Op deze wijze was de rechtheid en juiste gang van den lichtbundel gewaarborgd.

De nicol (N₁ op fig. 3) tusschen de lenzen 2 en 3 moest nu onder een hoek van 45° met den horizon opgesteld worden. Dit geschiedde als volgt.

Een kalkspaatrhomboëder werd in een vassing geplaatst, waarin hij om een horizontale as kon draaien. Licht van een booglamp, dat door een kleine opening in een scherm was gegaan, viel hierop en werd in twee stralen gesplitst, die met een lens evenwijdig gemaakt werden. Op eenigen afstand stond een kathetometer, die reeds met zijn kolom verticaal was opgesteld. De kijker van den kathetometer, op oneindig ingesteld, ving de twee door den rhomboëder gevormde stralen op. Nadat de kruisdraad van den kathetometerkijker op de gebruikelijke wijze verticaal was gesteld, kon men met behulp hiervan gemakkelijk den rhomboëder zoo draaien, dat de beide beelden juist loodrecht boven elkaar stonden. Tenslotte werd de bovengenoemde nicol voor den kijker gezet en zoo gedraaid, dat één der beelden uitgedoofd werd. De stand van den nicol werd op den verticalen verdeelden cirkel afgelezen, en door nu deze aflezing met 45° + n. 90° te vermeerderen was men in staat het polarisatievlak van den nicol een hoek van 45° met den horizon te laten maken. De instelling werd herhaald met verschillende standen van den rhomboëder en met uitdooving nu eens van het bovenste dan weer van het onderste beeld. De zeer bevredigende overeenkomst van de zoo verkregen standen van den nicol is een aanwijzing van de voldoende nauwkeurigheid. Vier onafhankelijke bepalingen gaven voor een bepaalden stand van den nicol geen grootere onderlinge afwijking dan 0.°3. Het gemiddelde der bepalingen was:

stand van den eersten nicol als zijn pol. vl. een hoek van 45° met den horizon maakte:	285°3,
met een nauwkeurigheid van ongeveer	0°1.

Wanneer eenmaal deze nicol goed ingesteld was, kon daar gemakkelijk de tweede nicol mee gekruist worden, door dezen in zijn vassing te plaatsen (die zich, zooals boven beschreven staat, binnen de lichtdichte kartonnen doos om den spectrograaf bevond).

Door den nicol heen ziende draaide men dezen totdat er volkomen duisternis was. Soms gebeurde het dat zoo'n stand niet gevonden kon worden. Dit wees dan op een gebrekkigen loop der lichtstralen binnen den magneet, waardoor er elliptisch gepolariseerd licht vanwege de reflecties aanwezig was.

Waren beide nicols ingesteld dan werden *de micaplaatjes* er beurtelings tusschen geplaatst; door deze te draaien tot duisternis bereikt was, werden zij met hun hoofdrichtingen onder een hoek van 45° met den horizon gezet.

De kalkspaat-rhomboëder en *de compensator* waren vlak voor de spleet opgesteld, de laatste werd eenvoudig met een weinig was aan de wanden van de spleet vastgekleefd met het cocondraadje aan de spleetzijde, zoodat de streep in het spectrum, die door dat draadje veroorzaakt werd tegelijk scherp was met de spectraallijnen. De rhomboëder lag op een los standaardje. De juiste stand (hoofdrichtingen verticaal en horizontaal) van deze onderdeelen deed niet erg ter zake, een afwijking ervan kwam niet sterk tot uiting in de beelden, zoodat er alleen op gelet behoefde te worden dat zij voor het oog in den juisten stand schenen te staan.

Het instellen van *de kristallen* was een werkje dat wel eens meer tijd vorderde dan de overige instellingen te zamen. Immers zij konden wel om een verticale as gedraaid worden, maar niet om een horizontale. Daar de kristallen met hun as juist in de richting van de magnetische krachtlijnen moesten staan, was het wel eens noodig door probeeren den juisten stand op te zoeken waarin zij volkomen donkere interferentiestrepen in het spectrum gaven. Bij de beschrijving van het kristal parisiet (p. 23) heb ik er reeds op gewezen welk een tijdroovend werk dit was. Een voorloopige schatting van den juisten stand was meestal wel te maken door het door het kristal teruggekaatste licht op een schermpje op te vangen en te zien hoe deze lichtvlek zich verplaatste bij draaiing van het kristal om een verticale as. Immers helde het kristal, van de zijde waar het licht inviel beschouwd, te veel naar voren, dan kwam het teruggekaatste licht lager terecht dan het kristal zelf. In het tegengestelde geval kwam het te hoog. Zonder het kristal af te koelen kon men dan zien of niet de stand te veel van den goeden afweek. Scheen volgens deze methode de instelling juist te zijn, dan werd het kristal afgekoeld met vloeibare lucht. De magnetische draaiing in de buurt van de absorptiebanden neemt dan een duidelijk waarneembare grootte aan, en manifesteert zich bij het aanzetten van het magneetveld, doch alleen dan, wanneer de orientatie van het kristal goed is. Het magneetveld werd dus aangezet en er werd geprobeerd een stand te vinden, waarin de magnetische draaiing in de buurt der absorptiebanden waar te nemen was, door het kristal om een verticale as te draaijen. Was het kristal verti-

caal dan kon dit steeds geschieden. Bleef het verschijnsel uit, waren ook de door den compensator veroorzaakte interferentiestrepen onduidelijk, dan was het kristal *niet* verticaal en moest dus uit de vloeibare lucht genomen worden en een kleine plaatsverandering in zijn vassing ondergaan, waarna het opnieuw onderzocht kon worden.

Waren eenmaal de scherpstelling van den spectrograaf, de plaats van lichtbron en lenzen, van nicols, rhomboëder en mica-plaatjes, en van de kristallen, volkomen in orde dan kon een experiment aanvangen. Daartoe werd de cryostaat met kristallen uit zijn houder genomen, naar de vertrekken gebracht, waar de waterstof of het helium vloeibaar gemaakt werden, en daar gevuld met de cryogene vloeistof. Vervolgens werd hij weer teruggebracht en op de oude plaats gezet met een der kristallen in het interferricum van den magneet. Vanaf dat oogenblik konden dan visueele of fotografische waarnemingen geschieden.

Tijdens de definitieve experimenten was behalve een of twee assistenten nog iemand noodig om de verkregen negatieven te ontwikkelen en de platen in de chassis te verwisselen. Immers behalve op den cryostaat, de booglamp en de verdere optiek moest tijdens de magnetische opnamen ook nog gelet worden op de constantheid van het magneetveld, dat met den weerstand W_1 (fig. 2) onder voortdurend aflezen van den ampèremeter op dezelfde sterkte gehouden kon worden.

§ 3. HET FLUORESCENTIE-ONDERZOEK.

1. Door sterke afkoeling worden de emissiebanden van de uranylzouten in het algemeen smaller, de breede banden, die bij kamertemperatuur zichtbaar zijn, worden opgelost in hun componenten. Het onderzoek van deze temperatuurinvloeden is door NICHOLS en zijn school zeer uitgebreid onderzocht tot de temperatuur van vloeibare lucht en behoeft waarlijk niet of nauwelijks aangevuld te worden. Een samenvattend overzicht over het feitenmateriaal der Amerikaansche onderzoekers is verschenen in: Carnegie Instituut, Publication 298; Washington 1919¹⁴). De verschijnselen in vloeibare en vaste waterstof (20° en 14° K.) werden bestudeerd door H. en J. BECQUEREL en H. KAMERLINGH ONNES¹⁵). Ingrijpende veranderingen bleken er in de spectra niet plaats te hebben. Een afkoeling tot 4° K. bleek ons ook niet een essentiële verandering te geven in het karakter van de emissie. Bij de onderzoekingen te Leiden was verder reeds gebleken dat

sterke magnetische velden de plaats der lijnen niet merkbaar beïnvloeden. Om derhalve over den aard der lichamen, die deze spectra uitzenden, iets naders te weten te komen moest in een andere richting gezocht worden. Wij wierpen ons zooals vanzelf spreekt op de monochromatische opwekking, daar hierdoor misschien uitsluitel verkregen kon worden over het al of niet bijelkaar behooren van verschillende lijnen. [Het idee voor monochromatische opwekking lag voor de hand en is reeds meermalen geopperd ¹⁰.]

2. Het onderzoek werd begonnen met een rechtzienden spectroscop als *monochromator*. Deze spectroscop is reeds beschreven in 1893 door prof. ZEEMAN ¹²), die hem bij zijn onderzoekingen over het verschijnsel van KERR ook als monochromator gebruikte. Hij bestaat uit een flint- en een kroon-glasprisma, die tezamen gekit zijn en opgevat kunnen worden als de helft van een rechtziend prisma van RUTHERFURD.

Het licht van de boven (p. 15) genoemde SIEMENSBOOGLAMP werd door een lens geconcentreerd op de eerste spleet van dezen monochromator. Op de plaats, waar door het prisma- en lenzenstelsel hiervan een spectrum werd gevormd, stond de tweede spleet, die slechts een bepaald gebied van het spectrum doorliet. Het hieruit tredende licht trof de te onderzoeken stof, die zich in een nauw vacuumglaasje met vloeibare lucht bevond, van den vorm zooals die in gebruik was voor de onderzoekingen der absorptiespectra (zie fig. 1).

Door de onderzochte stof heen werd dan naar het uitgezonden licht gekeken.

Wanneer niet visueel waargenomen werd met een klein rechtziend handspectroscopje, werd met een glasspectrograaf van BUSCH, dien prof. VEGARD mij op uiterst welwillende wijze in gebruik gaf, gefotografeerd.

De dispersie van deze twee laatste apparaten was natuurlijk niet bijzonder groot, maar hun lichtsterkte gaf bij deze proeven den doorslag. Immers het licht van den booglamp werd eerst in een spectrum uitgespreid, daarvan werd een (spectraal zoo klein mogelijk) deel gebruikt om het kristal tot lichtuitzending op te wekken, welks emmissielicht dan weer in een spectrum moest worden uitgespreid.

Zeër nauw kon het monochromatiegebied daarom niet genomen worden, daar anders in het geheel geen licht meer waar te nemen viel.

3. Het bleek al spoedig dat met een *lichtsterker monochromator* meer definitieve resultaten te bereiken zouden zijn

(Zie fig. 4). De voor dit en dergelijk onderzoek bij ADAM HILGER Ltd. bestelde groote kwartsmonochromator werd dan ook onmiddellijk na aankomst hiervoor in gebruik genomen en bleek voor het gestelde doel zeer goed te voldoen.

Dit toestel werkte met een kwartsprisma dat met behulp van een spiegel een constante deviatie van 90° gaf volgens het oorspronkelijk principe van WADSWORTH ¹⁷⁾.

Op een stevigen voet, die met drie schroeven gesteld kon worden, waren bevestigd twee buizen, waarin kwartslenzen (L_1 en L_2) van 49 mm. middellijn verschuifbaar waren opgesteld. Deze buizen maakten een hoek van 90° met elkaar. Op den voet was ook nog een draaibaar tafeltje aanwezig waarop zich de spiegel (S) en het prisma (Pr) bevonden. Het prisma (uit twee helften bestaande die tegengesteld teeken van draaiing hadden) was 45 mm. hoog en de zijvlakken waren 74 bij 45 mm. De spiegel bestond uit een planparallele kwartsplaat, die aan de achterzijde met tinfoelie bedekt was. De lenzen hadden een brandpuntsafstand van 22 cm., hun opening was dus F/4.5. De spleten waren symmetrisch, en konden met een verdeelden ring op bepaalde breedten ingesteld worden. De schaalverdeling hiervan gaf duizendsten inch.

Door de firma HILGER werd een lijst geleverd bij het toestel, die de mate van monochromatie gaf in de verschillende deelen van het spectrum.

TABEL 1.

Breedte van het monochromatie-gebied bij een spleetwijdte van .08 mm.:	
in de buurt van	
2150 AE	2.1 AE
2530	3.8
2963	6.7
3381	10.2
3814	15.0
4601	27.2
5621	48.4

Het draaibare tafeltje, waarop zich de dispersegerende deelen bevonden, kon met behulp van een fijne schroef gedraaid

worden. Verschillende deelen van het spectrum kwamen daardoor in den toestand, dat hun deviatie 90° was en dus door de tweede spleet doorgelaten konden. Tevens was dan juist voor dat deel telkens het prisma in den stand van minimum-deviatie. Het oplossend vermogen is in minimum deviatie het grootst en op deze wijze trekt men het meeste nut van het apparaat. De draaiing van het tafeltje kon afgelezen worden op een verdeelden trommel, die dadelijk de golflengten van het doorgelaten licht gaf.

Met behulp van een pentagonaal prisma dat in de plaats van het kwartsprisma van het toestel zelf werd opgesteld kon men nagaan of de twee collimatoren loodrecht op elkaar stonden, daar dit pentagonale prisma zoo geslepen was dat het lichtbundels steeds onder een hoek van 90° terugkaatst. Door kleine veranderingen van de schroeven, waarmee de collimatorbuizen aan den voet waren bevestigd, kon bereikt worden, dat het beeld van de eerste (nauw gemaakte) spleet juist op het midden van de tweede spleet viel. Dan waren de beide collimatoren onderling loodrecht. Vervolgens werd het kwartsprisma op zijn plaats gebracht, hetgeen met eenige pinnetjes, die in het tafeltje ingelaten waren, gemakkelijk geschiedde. Dan werd nog het spiegeltje op het tafeltje geplaatst, de trommel op 5893 gezet, en de spiegel zoo gedraaid dat natriumlicht, door het toestel heen, juist op het midden van de tweede spleet geworpen werd. Wanneer dit het geval was, waren de instellingen in orde en kon op de trommel de golflengte van het doorgelaten licht met eenige mate van nauwkeurigheid afgelezen worden. Een calibratie van de trommel was voor het in gang zijnde onderzoek niet noodig, daar alleen ter orientatie de trommel gebruikt werd.

Vermelding verdient nog het feit dat de lenzen in de collimatoren enkelvoudige kwartslenzen waren en dus chromatisch niet gecorrigeerd. Hiervoor diende een inrichting, die de lenzen langs hun as heen en weer kon verschuiven en waar een schaalverdeling, alweer direct in golflengten, bij gemaakt was. Stelde men bijvoorbeeld in op den cyaanband 3884 AE, dan werd zoowel de trommel van de schroef waarmee het tafeltje gedraaid werd, als ieder der collimatorlenzen op deze waarde ingesteld. Dan waren de spleten in het brandpunt van hun bijbehorende lenzen voor deze lichtsoort, en ook was dan de deviatie voor dit licht 90° , zoodat het door de tweede spleet doorgelaten werd.

4. Voor het fotografeeren der spectra diende in de eerste

plaats de hierboven genoemde glasspectrograaf van Busch. Later kwam ook in gebruik een kwartsspectrograaf van Fuess, model B (zie fig. 4), die weliswaar een kleinere dispersie in het emissie-gebied had van de uranylspectra, maar het voordeel had zeer handig en licht te zijn. De Buschspectrograaf bezat namelijk de ietwat onaangename eigenschap buitengewoon zwaar te zijn, voornamelijk door den ijzeren voet. Dit bracht met zich mede, dat kleinere instellingen zooals die bij het werken met cryostaten (die bijgevuld moeten worden en die niet in een vaste opstelling staan) noodig zijn, lastig waren. Waar het niet ging bij dit onderzoek der uranyl-fluorescentie-spectra, om de fijnste componenten van banden te vinden, maar om de verandering van het spectrum bij verschillende bestraling na te gaan, kon met dit meer handelbare instrument van Fuess ook zeer goed gewerkt worden. Er was echter nog een nadeel aan verbonden, nl. de iets geringere lichtsterkte (opening der lenzen F/6), welke echter minder van invloed was dan men aanvankelijk zou denken, daar immers de dispersie geringer is en de emissie niet uit fijne lijnen bestond, maar uit banden. Slechts bij de onderzoeken met vloeibare waterstof, waar men ook niet gemakkelijk met langere exposities kon werken vanwege het betrekkelijk snelle verdampen van de cryogene vloeistof, verdiende het werken met den Busch-spectrograaf wel verregaande voorkeur.

5. De cryostaat, bij deze onderzoeken gebruikt, onderscheidde zich door eenige bijzonderheden van de tot nu toe gebruikte modellen. Een vacuumglas (zie fig. 4), inwendig 25 cm. diep en 8.0 cm. wijd was boven afgesloten door een metalen kap, waarin een aanvoerbuisje voor de cryogene vloeistof en een buis voor den afvoer voor den damp aangebracht was. Verder was er nog een groote cirkelvormige opening van 50 mm. middellijn in het midden, waarin juist een glazen buis B paste van de volgende afmetingen:

uitwendige diameter 49.8 mm.

inwendige diameter 48.2 mm.

lengte vanaf het open bovineinde tot den bodem van het gesloten benedeneinde 21 cm.

Onder in deze glazen buis was aangebracht een metalen plaatje (Pl) met een opstaanden rand, in welk plaatje in het midden een groef was van 46 mm. lang en $2\frac{1}{2}$ mm. breed. Ook waren er twee haakjes aan bevestigd met koordjes. Met

behulp van een tang met zeer lange tanden kon men deze koordjes van boven af grijpen en met hun hulp kon dan het geheele metalen plaatje uit de glazen buis getrokken worden. In de gleuf werd een van achteren verzilverd kwartsplaatje (S_1) van 45 bij 65 mm. rechtop gezet. De bovenste hoeken hiervan waren een weinig afgerond, zoodat het spiegelkje tegen den wand van de glazen buis aanleunende een weinig achterover helde, onder een hoek van ca. 75° met den horizon. Tegenover het spiegelkje werd op het metalen plaatje de te onderzoeken stof gelegd; of wanneer dit een vloeistof was, werd een glazen schaalje met de vloeistof op het metalen plaatje met een weinig was vastgezet.

De glazen buis was van boven op de volgende wijze afgesloten. Een messing koker was zoo afgedraaid dat hij juist in de buis paste en met een kraag over den rand van de buis heen greep. Deze koker kon dus in de buis geschoven worden totdat de kraag verder voortgaan belette. Aan de benedenzijde van dezen ca. 6 cm. langen koker was een kleine rand gemaakt die het mogelijk maakte een lens (L_3) van kwarts luchtdicht erin te kitten. Hierop werd met een kleine tusschenruimte van eenige millimeters een tweede kwarts lens (L_4) gekit. Op deze wijze was de glazen buis van boven luchtdicht afgesloten als de koker ook nog aan het glas gekit was. Naast de lenzen was in het messing nog juist ruimte genoeg gelaten voor een koperen capillair, die het mogelijk maakte de luchtdichte glazen buis leeg te pompen en eventueel met een of ander gas te vullen.

De kwartslenzen waren platbol en de onderste lag met de platte zijde naar beneden, de bovenste met de platte zijde naar boven. Hun middellijn was 45 mm., de middellijn van de vrije opening van den rand, waartegen de onderste lens gekit werd, was 40 mm.

De druk die door de atmosferische lucht op de lenzen uitgeoefend werd, wanneer de glazen buis leeggepompt was, bleek niet te groot voor hun draagvermogen onder deze omstandigheden te zijn. Ik vermeld hierbij volledigheidshalve dat de brandpuntsafstand der lenzen ieder: 18 cm. was en hun dikte: aan den rand 1 mm., in het midden $3\frac{1}{2}$ mm.

Het stelsel door deze lenzen gevormd had een brandpuntsafstand van 9 cm. en beeldde dus een voorwerp, dat op een afstand van 18 cm. stond, op dezen zelfden afstand af. Hiervan werd op de volgende wijze gebruik gemaakt. Het licht van een booglamp (Bo) (een van de in § 2 genoemde lampen)

werd door een kwartscondensor (C) (opening 4.5 cm., brandpuntsafstand 9 cm.) op de eerste spleet (S_1) van den monochromator geconcentreerd, en trad voor een gedeelte monochromatisch uit de tweede spleet (S_2) uit. Het werd dan verticaal naar beneden gereflecteerd door een der verzilverde zijvlakken van een gelijkbeenig rechthoekig prisma (Sp), dat met den rechten hoek horizontaal geplaatst was. Het licht viel op de dubbele kwartslens (L_4 en L_3) die boven in den cryostaat gemonteerd was en werd hierdoor op de te onderzoeken stof geconcentreerd. Fluoresceerde de stof dan werd fluorescentielicht door de kwartsspiegel (S_1) naar boven gereflecteerd. Dit licht passeerde weer de kwartslenzen en werd dan door het andere zijvlak van het verzilverde prisma teruggekaatst in horizontale richting. De gang der lichtstralen is in fig. 4 door een stippellijn aangegeven. Door de bemiddeling van de kwartslenzen werd zodoende een beeld van de lichtende deelen van de fluoresceerende stof op een plaats afgebeeld waar gemakkelijk een spectrograaf opgesteld kon worden. Immers de fluorescentielichtbundel was door de tweede genoemde terugkaatsing horizontaal gemaakt en op een punt, waar de optische afstand tot de lenzen 18 cm. was, geconcentreerd. Er was namelijk zorg voor gedragen, dat de optische afstand van de tweede monochromatorspleet tot aan de lenzen 18 cm. was, en dat er dezelfde afstand was tusschen de lenzen en de fluoresceerende stof.

Ook absorptiespectra konden met dit zelfde toestel gemakkelijk bij lage temperaturen onderzocht worden. Daarvoor had men die slechts in een glazen schaalte beneden in de glazen buis te brengen, met dien verstande dat het schaalte aan de bovenzijde verzilverd was. Men kon dan gewoon licht door middel van de kwartslenzen op dit schaalte concentreren, waarvan dan een deel weer op het kwartsspiegeltje viel en zoo weer uit den cryostaat getransporteerd werd. Het had dan tweemaal de dikte van de zich in het schaalte bevindende stof doorloopen, en moest dus het absorptiespectrum daarvan vertoonen.

6. De stoffen, die ik met de hier genoemde toestellen onderzocht heb, zijn geweest:

Autuniet. Van deze stof, reeds in 1908 door H. en J. BECQUE-REL en H. KAMERLING ONNES bij zeer lage temperaturen onderzocht¹⁵⁾, had ik tot mijn beschikking eenige van de voor genoemd onderzoek gediend hebbende kristallen. Zij waren evenwijdig aan de as geslepen. De kristallen zijn hexagonaal.

Het teeken van de dubbele breking is niet bekend. Duidelijk dichroïsme.

Samenstelling: $\text{CaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 + 12? \text{H}_2\text{O}$.

Grootte der kristallen 2 bij 3 en 3 bij 4 mm. Dikte eenige tienden millimeters.

Kalium-uranyl-sulfaat. Praeparaat van MERCK. Samenstelling: $\text{K}_2 \text{UO}_2 (\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Kristalstelsel rhombisch. Geen pleochroïsme waarneembaar. Dubbele breking positief.

Een enkele waarneming werd nog gedaan met andere zouten, zooals het acetaat, het nitraat, etc. Doch daar daarmee geen numerieke resultaten bereikt zijn, laat ik het hier bij een vermelding van hun namen.

§ 4. DE COMPARATOR.

Daar de lijnen in kwestie niet een hoogen graad van scherpte hebben was het ook niet noodig de platen uit te meten met een comparator van buitengewone kwaliteiten. Op het laboratorium te Leiden was aanwezig een klein uitmeettoestel van de Société Gènevoise, waarvan de fouten in de schroef automatisch gecorrigeerd worden met behulp van een pal; deze pal loopt n.l. niet langs een rechte sleuf, maar langs een sleuf die de gedaante van de foutenkromme der schroef heeft. De spoed van de schroef is 2 mm.; de kop is verdeeld in 200 deelen; met een tiendeeligen nonius worden op deze wijze duizendsten millimeters afgelezen. De vergrooting van den afleesmicroscop was acht-en-twintig-voudig.

Op iedere lijn werd zesmaal ingesteld. Een enkele maal bleek, bij een herhaling der instellingen aan het eind van een reeks metingen, dat de aflezingen niet met de aanvangs-aflezingen klopten. In dat geval werden de metingen geheel herhaald: de verschillen waren te wijten aan temperatuurswisselingen van den comparator.

Het hieronder volgende uittreksel uit de waarnemingen moge een denkbeeld geven van de instelscherpte. Men ziet daaruit onmiddellijk de veel grootere overeenstemming der aflezingen bij de scherpe neon-lijnen in de vergelijkingsspectra, dan bij de vagere lijnen van het autuniet.

Voorbeeld van de uitmeting van een plaat.

PLAAT Uy 4.

neonspectrum (gemarkt no. 10).

lijn no. 1	10.986 mm.	990	004	003	988	987
2	11.280	284	285	283	285	287
3	11.424	415	423	419	413	411
3a	12.115	110	109	108	108	106
4	12.311	312	313	313	313	312
4a	12.61 (nauwelijks zichtbaar)					
5	12.786	780	778	780	780	782
	etc.					
35	49.254	256	267	263	265	263

neonspectrum (gemarkt no. 11).

lijn no. 4	12.357	357	356	357	354	354
5	12.821	821	822	819	821	817
	etc.					

autunietspectrum (gemarkt no. 9).

emissielijn no. 1	13.858	860	861	865	865	862
" 2	14.96 (zeer zwak)					
" 3	15.288	296	295	296	300	301
	etc.					
" 12	21.616	623	624	630	631	618
absorptielijn n°. 1	23.438	440	445	439	445	444
" 2	24.356	365	360	365	364	367
	etc.					
" 8	31.422	426	419	423	430	415
cyaanband 4227 AE (roode kant)				40.418	417	413
" 4216		" "		40.780	788	783
" 4198		" "		41.562	560	550
" 4180		" "		42.198	206	202
" 4169		" "		42.739	740	735

HOOFDSTUK III. RESULTATEN.

§ 1. ZELDZAME AARDEN.

Na de uitgebreide beschrijving van de hulpmiddelen van het onderzoek kan de vermelding der resultaten in een korten vorm geschieden. Ik zal mij daarbij alleen houden aan het mededeelen van nieuwe feiten; voor de reeds bekende verwijs ik naar het uitgebreide artikel van BECQUEREL ⁷⁾.

Bij de onderzoekingen welke betrekking hebben op de absorptiebanden en de magnetische draaiing van de zeldzame aarden moet ik echter ook wijzen op een eerlang te verschijnen reeks mededeelingen van J. BECQUEREL, H. KAMERLINGH ONNES en W. J. DE HAAS in de Kon. Ak. te Amsterdam ⁹⁾ waarvan de titel reeds aangekondigd is. Het zij mij vergund, met toestemming van genoemde auteurs, reeds eenige uitkomsten voorloopig mede te deelen, terwijl ik den lezer voor een gedetailleerde behandeling naar genoemde mededeeling verwijs. Men beschouwe de uitgebreide beschrijving der waarnemingsmethoden in het tweede hoofdstuk als een aanvulling van de genoemde verhandeling, waarin uiteraard de beschrijving der verschijnselen meer op den voorgrond staat.

Invloed van de temperatuur op de absorptiebanden van xenotiem.
Roode groep: deze is aanzienlijk vereenvoudigd door de afkoeling op 4° K. De groep van drie banden: 6423, 6435, 6465 is niet veranderd, maar de groep die twee sterke banden heeft bij 6506 en 6523 en zeven zwakkere tusschen 6538 en 6582 bij 20° K., heeft bij 4° K. nog slechts over de sterke banden 6506 en 6523 en twee zwakkere bij 6543 en 6560. Bij den band 6543 is nog een aanduiding van een zeer zwakke roode component, die ook bij 20° K. aanwezig is. De andere lijnen zijn verdwenen.
Geelgroene groep: de twee lijnen 5370 en 5431, bij 20° K. aanwezig, zijn ook bij 4° K. en wel zonder veel verandering aanwezig. Alleen is de intensiteitsverhouding nog toegenomen zoodat de eerst genoemde lijn veel sterker is dan de tweede.
Groene groep: ook deze is vereenvoudigd: de sterke lijn 5215 en de zwakke lijnen 5243 en 5246 zijn verdwenen.

Een verscherping van de lijnen heeft in het algemeen niet of althans niet merkbaar plaats.

De verschijnselen van de *longitudinale splitsing door het magneetveld* zij bij deze uiterst lage temperaturen verrassend mooi. Beschouwen wij weer eerst de *roode groep van xenotiem*. De banden 6423, 6435, 6465 en 6560 die reeds in vloeibare waterstof een sterke intensiteitsdissymmetrie vertoonen, drijven het nu zoover dat bij de bereikte sterke velden van 23000 gauss de roode componenten geheel verdwijnt. Dit verdwijnen geschiedt met het aanzetten van het veld vrij plotseling, waarschijnlijk reeds bij veel zwakker velden dan het genoemde. De banden 6506 en 6523 hebben reeds een sterkere violette componenten bij 20° K.; bij 4° K. is deze echter nog veel sterker geworden.

Volledigheidshalve vermeld ik hier dat de banden: 6423, 6435, 6465, 6523, en 6560 „negatieve” banden zijn, en band 6523 „positief” is ¹⁸⁾.

Geelgroene groep: van de beide banden 5370 en 5431, reeds bij 20° K. sterke intensiteitsdissymmetrie vertoonend, verdwijnen weer de roode componenten.

Groene groep: alle banden hebben een sterkere violette componenten. Slechts de band 5272 vertoont een merkwaardig soort ZEEMAN-effect. Vooropgesteld zij dat deze band „negatief” is, en dat de *violette componenten minder* verschoven is. Bij 20° K. is deze violette componenten een weinig sterker dan de andere, wat klopt met de door BECQUEREL gegeven regels: de minder verschoven componenten sterker, en de violette componenten sterker. ¹⁹⁾ Bij afkoeling tot 4° K. echter wordt de roode componenten sterker, *wat tegen beide door BECQUEREL gegeven regels ingaat*.

Deze greep uit de vele feiten moge een indruk geven van den rijkdom van dit onderzoekingsgebied, dat voor latere onderzoekingen een rijken oogst belooft.

Bij de *magnetische draaiing van het polarisatievlak* kwamen niet minder merkwaardige feiten aan het licht.

De draaiing is het grootst bij tysoniet.

Op een reeks van drie platen is tusschen gekruiste nicols het spectrum gefotografeerd, waarbij de verticale banden van FIZEAU-FOUCAULT (zie pag. 15) bij het aanzetten van het veld tevoorschijn kwamen als aanwijzing voor de draaiing van het polarisatie vlak. Bij sterke velden (23000 gauss) was er een band in het verre rood, die overeenkwam met een draaiing van 4 maal 180°. Bij de golflengte 4200 AE was reeds de band behoorende bij een draaiing van 15 maal 180°. Op de plaat verschenen in het ultraviolet nog meer strepen, zelfs tot een

draaiing van 20 maal 180° aanwijzende. Was er zoo'n streep van FIZEAU-FOUCAULT in de buurt van een absorptiegebied (bijv. degene die bij een draaiing van 11 maal 180° behoorde), dan werd hij vaag. De draaiing in dergelijke gebieden is beter te bestudeeren met de methode van den compensator (zie pag. 14). De horizontale interferentie-strepen gaan bij het aanzetten van het veld scheef loopen als aanwijzing voor de dispersie van de draaiing. Tevens bleken vlak bij de banden de draaiingen groote bedragen aan te nemen, zooals dat reeds bij 20° K. vroeger geconstateerd was ²⁰). De definitieve uitmeting van de op deze onderzoeken betrekking hebbende platen is nog niet beëindigd en wederom moet ik den lezer verwijzen naar de bovengenoemde verhandelingen ⁹).

Neemt de draaiing van het tysoniet omgekeerd evenredig met de absolute temperatuur toe, bij het xenotiem werd gevonden, dat de draaiing zoowel in de buurt der absorptiebanden als daarbuiten bij afkoeling van 20° op 4° K. weer kleiner wordt. Of dit feit samenhangt met de anomalieën die xenotiem bij de ZEEMAN-splitsing vertoont (zie hierboven) zal een nader onderzoek moeten uitmaken. In ieder geval is hier geen proportionaliteit tusschen magnetische draaiing en $1/T$.

Voor de andere stoffen, bastnaesiet, parisiet en robijn, zij het mij vergund te volstaan met de mededeeling, dat de draaiing voor geen van hen bij 4° K. abnormaal groot werd. Ook hangen de definitieve uitkomsten nog van een nauwkeurige uitmeting der platen af.

Daar de apparatuur met den compensator, welke voor deze experimenten in gebruik was, zonder eenige verandering geschikt is om natuurlijke draaiingen te weten, werd van de gelegenheid gebruik gemaakt een opname te maken van de natuurlijke draaiing van het polarisatievlak in cinnaber. Het absorptiegebied hiervan, dat bij minder lage temperaturen van het ultraviolet tot aan het geelgroen reikt, trekt zich bij afkoeling in vloeibaar helium terug tot het groen [tot ongeveer 5515 AE]. De draaiing, neemt zooals de waarneming leert, voor iedere golflengte bij afkoeling toe en neemt in de onmiddellijke nabijheid van het absorptiegebied zeer hooge bedragen aan (van de orde van 360°). De draaiing nam bij het naderen van het absorptiegebied zeer snel toe.

Van kamertemperatuur tot 85° K. was dit reeds door BECQUEREL in 1908 gevonden ²¹). Thans bleek, dat deze zelfde effecten bij temperatuurverlaging tot 20° K. blijven bestaan.

§ 2. URANYLZOUTEN.

1. *Golflengtebepalingen.*

De monochromatische opwekking werd beproefd in de eerste plaats op het autuniet, waarvan echter geen golflengten bekend waren.

Deze stof lokte het meest tot onderzoek aan, daar zoowel fluorescentie- als absorptie-spectrum eenvoudig zijn. Het emissiespectrum bestaat uit vier groepen (zie fig. 7). De meest naar het violet gelegen band van de laatste groep (met de kortste golflengte) kan ook in de absorptie optreden. In deze buurt van het spectrum ligt gewoonlijk de door NICHOLS no. 6 genoemde groep der spectra.

Ofschoon de hier genoemde stof niet door NICHOLS c.s. onderzocht is, wil ik mij toch aan zijn nummering houden en de fluorescentiegroep die het meest naar het violet ligt de zesde groep noemen. De naar het rood gelegen groepen worden dan respectievelijk de vijfde, vierde en derde.

Zooals gezegd, is de meest violette band (5038 AE) omkeerbaar. De aan de violette zijde gelegen andere absorptiegroepen nummer ik door met 7, 8, en 9.

Om een denkbeeld te krijgen van de eenvoudigheid van dit spectrum bedenke men, dat bijvoorbeeld het uranyl-kalium-sulfaat zes fluorescentiegroepen heeft met in het geheel 72 lijnen, terwijl het autuniet in zijn vier groepen slechts 15 lijnen heeft.

Voordat men zich nog eenige voorstelling maakte van het mechanisme, waardoor de emissie tot stand kwam, leek het dus aangewezen met deze stof te beginnen.

Zooals hierna blijken zal, maakt juist het kleine getal lijnen het moeilijk een energieniveau-schema op te stellen, zoodat het ons niet gelukt van deze stof een inzicht in het mechanisme te krijgen, temeer door het niet verwachte resultaat van de monochromatische opwekking.

De emissie en absorptie van het autuniet is wel door H. en J. BECQUEREL en H. KAMERLINGH ONNES onderzocht maar golflengten zijn niet gepubliceerd. NICHOLS heeft deze stof niet onderzocht. Voor het onderzoek der opwekking ter hand genomen kon worden moest dus eerst een golflengte-bepaling der lijnen voorafgaan.

Daartoe werd het emissiespectrum gefotografeerd tusschen twee vergelijkingsspectra, waarvoor nu eens helium, dan weer neon genomen werd. Hetzelfde geschiedde met het absorptie-

spectrum, waarvoor het licht van een booglamp door het kristal gestuurd werd. Om echter een contrôle te hebben ben ik nog een stap verder gegaan en heb de golflengte van de voornaamste emissie- en absorptielijnen van het kalium-uranyl-sulfaat op geheel dezelfde wijze gemeten en vergeleken met de waarden door NICHOLS gepubliceerd. Deze golflengtemetingen geschieden met den spectrograaf van BUSCH.

Voor de golflengten der helium- en neon-lijnen zijn de waarden aangenomen die TWYMAN opgeeft ²²). De uitkomsten zijn dus in Internationale Angströms in vacuo.

Het spectrum moest nu gecalibreerd worden: bij iedere aflezing van den comparator (de veranderlijke y in de hieronder voorkomende formules) moest de golflengte λ of de frequentie ν gevonden kunnen worden.

Een grafische calibratie van het spectrum bleek niet gemakkelijk met de vereischte nauwkeurigheid te kunnen gebeuren. Daarom werd eerst beproefd de formule:

$$y = A + B\lambda^{-2} + \Delta.$$

De Δ 's bleken daarbij te groote bedragen aan te nemen. Toevoeging van een term met λ^{-4} vermeerderde het rekenwerk aanzienlijk, zoodat ik, na eenige andere vruchteloze pogingen een goede aansluiting met algebraïsche ontwikkeling te krijgen, de reeksmethode opgaf.

Thans werd een exponentieele formule geprobeerd. Met:

$$\nu = (y + A)^B + \Delta$$

kwam inderdaad een vlakke kromme voor de afwijkingen Δ te voorschijn. De berekening was echter niet vlot uit te voeren door het groote aantal decimalen van B . Nu bleek echter, dat B steeds in de buurt van .3 lag; daarom scheen het verkieslijk te werken met een formule van de gedaante:

$$\log \nu = .3 \log (y + A) + B + \Delta$$

doch daar de Δ 's nu weer grooter werden, moest nog de volgende modificatie aangebracht worden. De berekening geschiedde met de formule: $\log \nu = .3 \log (y + A) + B$; bij de hieruit te vinden ν 's werden dan de Δ 's opgeteld, zoodat de definitieve vorm werd:

$$\nu = \text{num log} [.3 \log (y + A) + B] + \Delta.$$

Met deze formule met twee constanten kon door betrekkelijk eenvoudige berekening de ν uit de y gevonden worden, en omgekeerd. De afwijkingskrommen hadden daarbij een voor de interpolatie bruikbaren vorm.

Voor iedere plaat werd gebruik gemaakt van deze formule: $\nu = \text{num log} [.3 \log (y + A) + B]$; y is de meetcoördinaat,

A en B zijn constanten om de formule aan de waarnemingen te doen aansluiten, zóó bepaald dat de afwijkingen van deze formule zoo klein mogelijk werden. Dan werd voor iedere lijn uit de coördinaat y het trillingsgetal berekend en zoo de afwijking:

Δ = waargenomen minus berekend trillingsgetal gevonden.

Vervolgens kon dan voor iedere plaat een afwijkingskromme geteekend worden met $y + A$ als abscis en Δ als ordinaat. Uit de waargenomen y 's der uranylijnen kon dan het trillingsgetal uit de formule berekend worden, waarna dan nog Δ erbij opgeteld moest worden.

De afwijkingen van deze formule met twee constanten waren betrekkelijk gering zoodat met zes à tien punten de afwijkingskromme reeds voldoende vastgelegd was.

Hieronder volgen de resultaten.

Plaat Uy13. Uranyl-kalium-sulfaat bij -185° C.

Tweemaal de uranylspectra en driemaal het heliumspectrum staan hierop gefotografeerd.

Het gemiddelde der comparatorinstellingen van de navolgende heliumlijnen was (nadat van ieder der waarden nog de waarde voor de eerste lijn afgetrokken is):

He 5876 AE	.0000 (mm.)
5048	8.682
5016	9.1534
4922	10.6198
4713	14.4138
4471	20.0619

Hiermee werd de formule berekend:

$\nu = \text{num log} [.3 \log (y + 13.5085) + 2.8917624] + \Delta$.

De afwijkingskromme der Δ 's is op fig. 5 gereproduceerd.

Vervolgens werden de uranylspectra op de vergelijkingspectra gereduceerd met behulp van de „cyaanbanden”.

Deze hadden de aflezingsgemiddelden: 76.011 en 76.385.

Hun trillingsgetallen zijn: 2120.88 en 2128.83.

Nu had ik slechts voor ieder dier banden (waarvan natuurlijk op de roode „kant” was ingesteld) als volgt te handelen.

$2120.88 = \text{num log} [.3 \log (76.011-c) + 2.8917624] + \Delta'$.

$2128.83 = \text{num log} [.3 \log (76.385-c) + 2.8917624] + \Delta''$.

De Δ 's konden uit de grafiek genomen worden.

Zoo werd c bepaald en men kreeg de formule:

$\nu = \text{num log} [.3 \log (y-48.134) + 2.8917624] + \Delta \dots (II)$

Hiermee en met de reeds gegeven grafiek voor de Δ 's kon nu uit iedere y het trillingsgetal berekend worden.

TABEL 2.

Uranylkaliumsulfaat bij -185° C.

Gemiddelde der comparatoraflezingen.	Frequentie (uit form. II)	Freq. volgens NICHOLS ²³⁾	Frq. volgens BECQ. en KAM. ONNES Comm. 110. ⁶⁾
63.794 fl.	1780.90	1780.5 —.40	
64.009 "	1788.33	1789.1 +.77	1788.62 +.29
65.6975 "	1844.61	1843.8 —.81	
66.009 "	1854.57	1854.9 +.33	
66.300 "	1863.75	1863.5 —.25	
66.548 "	1871.50	1871.8 +.30	1871.82 +.32
68.406 "	1927.23	1927.2 —.03	
69.093 "	1946.92	1946.7 —.22	
69.367 "	1954.64	1955.4 +.76	1955.11 +.47
71.3 "	2007.0	2004.7 ? —	
72.091 "	2027.39	2026.5 —.89	
72.517 "	2038.13	2038.5 +.43	
72.555 abs.	2039.08	2039.6 +.52	2039.07 —.01
72.89 "	2047.41	2047.9 +.49	
73.600 "	2064.80	2064.4 —.40	
73.890 "	2071.77	2071.9 +.13	
74.52 "	2086.65	— —	
75.417 "	2107.37	2106.8 —.57	
75.535 "	2110.04	2109.3 —.74	
75.860 "	2117.38	2116.4 —.98	
76.691 "	2135.67	2136.4 +.73	
78.530 "	2174.49	2174.0 —.49	
78.767 "	2179.34	2179.4 +.06	
80.153 "	2206.96	2204.6 -2.36	
82.015 "	2242.12	2241.7 —.42	

De contrôle met behulp van de reeds bestaande metingen van NICHOLS blijft nu niet uit en geeft een zeer bevredigend resul-

taat. Het gemiddelde van de afwijkingen, zooals zij in de tabel gegeven worden (NICHOLS' minus eigen waarden) is -.21. Hierbij moet in het oog gehouden worden, wat NICHOLS van de nauwkeurigheid van zijn uitkomsten zegt.

Op p. 123 van zijn monografie staat ¹⁴⁾:

„... The errors of calibration of the spectrograph and spectrometer can hardly exceed 1 A.U., except perhaps in the extreme red end of the spectrum.... In the case of the sharper bands of moderate intensity we feel that the averages that are tabulated are reliable within 1 A.U. In other words, the reciprocal wavelengths are accurate to within about 0.02 per cent.”

De minder gemakkelijk te meten lijnen, dan hier door NICHOLS gekarakteriseerd, de zwakke lijnen en de vagere banden, die vooral in de absorptie weinig scherp begrensd zijn, zullen dus in het algemeen minder nauwkeurig bepaald zijn. Is dus voor de mooie banden de foutengrens ongeveer .3 of .4 eenheden, voor de andere zal een afwijking van 1 eenheid zeker niet behoeven te verontrusten. De eenige grootere afwijking die voorkomt is band 2207 welke echter ook zeer breed en vaag is. Wij mogen dus aannemen dat er geen systematische fout in onze golflengtebepalingen schuilt, daar zij geheel onafhankelijk van die van NICHOLS geschieden zonder dat eenige onderlinge reductie plaats had.

Dit gaf mij de overtuiging dat de golflengtemetingen van het autuniet een waarde hebben, gelijkstaande met die voor andere stoffen door NICHOLS gegeven.

Platen Uy3 en Uy4. Autuniet in vloeibare lucht.

Op plaat Uy3 zijn drie autunietspectra en twee neonspectra aanwezig, op plaat Uy4 één autuniet- en twee neonspectra. Alle metingen van plaat Uy3 werden eerst op die van plaat Uy4 gereduceerd. In de tabel zijn de gemiddelden gegeven van Uy4 en de gereduceerde Uy3. De formule voor de trillingsgetallen is:

$$\nu = \text{num log } [.3 \log (y-48) + 2.9] + A.$$

De afwijkingskromme (op fig. 6 aanwezig) werd door 19 neonlijnen bepaald, en door vier heliumlijnen en een waterstoflijn, die in het licht van het neon-glimlichtlampje aanwezig bleken te zijn.

In de tabel zijn gegeven naast de gemiddelden der aflezingen de frequenties en, voor het gemak van den lezer, de golf-

lengten, natuurlijk weer in Internationale Angströms in vacuo. De omkeerbare band is 1984.79. Ik schat de gemiddelde nauwkeurigheid der bepalingen op .3 frequentie-eenheden.

TABEL 3.

Autuniet in vloeibare lucht.

Gemidd. der aflezingen.	Frequentie	Golfenlengte.	Groep.
13.858	1738.85	5750.93	Fluor. 3
14.956	1778.41	5623.00	" 4
15.292	1790.12	5586.22	" 4
15.594	1800.56	5553.83	" 4
15.866	1809.83	5525.38	" 4
16.184	1820.59	5492.73	" 4
17.346	1858.65	5380.25	" 5
17.748	1871.41	5343.57	" 5
18.118	1882.97	5310.76	" 5
18.441	1892.94	5282.79	" 5
18.7645	1902.79	5255.44	" 5
20.023	1939.99	5154.67	" 6
20.496	1953.54	5118.91	" 6
20.826	1962.86	5094.61	" 6
21.620	1984.79	5038.32	" 6
23.438	2032.68	4919.61	Absorptie 7
24.359	2055.82	4864.24	" 7
26.275	2101.62	4758.23	" 8
27.278	2124.60	4706.77	" 8
27.661	2132.98	4688.47	" 8
29.308	2168.38	4611.74	" 9
30.206	2186.91	4572.66	" 9
30.608	2195.02	4555.77	" 9
30.972	2202.34	4540.62	" 9
31.412	2210.96	4522.92	" 9

Daar de bepaling der golflengten een goed resultaat bleek te kunnen opleveren, zijn nog eenige andere bepalingen op analoge wijze gedaan.

In de eerste plaats bepaalde ik de golflengten der onopgeloste banden van het *kalium-uranyl-sulfaat* bij kamertemperatuur. Plaat Uy10.

Drie Uranylspectra en twee neonspectra.

De afwijkingskromme (zie fig. 6) van de formule:

$$\nu = \text{num log} [.3 \log (y-53.8) + 2.9] + \Delta$$

is bepaald met behulp van vier neonlijnen, van de twee heliumlijnen 5016 en 4471 AE en de waterstoflijn 4861.

Gemidd. afl.	67.770	69.015	71.565	74.380
Frequentie	1704.8	1785.3	1868.8	1952.3
NICHOLS	1700.4	1783.8	1865.7	1949.3
Verschil	4.4	1.5	3.1	3.0

De verschillen zijn dus beduidend grooter dan bij de lagere temperatuur, maar te verwonderen behoeft dat niet, daar de banden bij kamertemperatuur buitengewoon veel breder zijn. De absolute intensiteit, de dispersie der toestellen, en vele andere omstandigheden kunnen ertoe bijgedragen hebben, dat ik steeds het maximum der banden violetter geschat heb dan NICHOLS.

Tenslotte is nog van deze zelfde stof een spectrum bij waterstoftemperatuur uitgemeten.

Plaat Uy15. *Kalium-uranyl-sulfaat* bij -253°C .

Alleen de sterkste lijnen zijn gemeten. Vergelijkingspectrum neon. De twee hierboven genoemde heliumlijnen en zeven neonlijnen dienden voor de bepaling van de afwijkingskromme (fig. 6) van de formule:

$$\nu = \text{num log} [.3 \log (y-48.8) + 2.9] + \Delta$$

TABEL 4.

Gemidd. afl.	63.986	64.223	66.494	66.7485	69.2855	69.573
Frequentie	1781.20	1789.63	1864.22	1872.17	1947.35	1955.46

In het bovenstaande hebben wij nu een homogene reeks waarnemingen aan dezelfde stof met dezelfde instrumenten, met het eenige verschil dat de temperatuur veranderd is. Wij willen de waarnemingen van dit gezichtspunt uit nog eens samenvatten.

TABEL 5.

+18°	— —	1785.3	— —	1868.8	— —	1952.3
—185°	1781.20	1788.65	1864.03	1871.78	1947.17	1954.89
—253°	1781.44	1789.63	1864.22	1872.17	1947.35	1955.46

In deze tabel zijn de waarden voor kamertemperatuur gezet boven de waarden van de sterkste banden, hetgeen neerkomt op de veronderstelling, dat de door de verschillen te geven verschuiving de verschuiving van den sterksten band is.

Wij vinden nu tot onze verwondering, dat er een duidelijk verschil bestaat tusschen de temperatuurverschuivingen van de sterke en van de zwakke banden.

TABEL 6.

	zwak	sterk	zwak	sterk	zwak	sterk	gem. zwak	gem. sterk
Freq. + 18° - freq. -185°	—	-3.35	—	2.98	—	2.59	—	2.97
Freq. -185° - freq. -253°	-.24	-1.02	-.19	-.39	-.18	-.57	-.20	-.66

Men ziet het: tusschen 85° en 20° K verschuift de sterke serie driemaal zooveel naar het violet als de zwakke. De verschuiving van de sterke reeks klopt met de verschuiving, die BECQUEREL daarvoor opgeeft bij die temperaturen, n.l. .54.

Wanneer het later gelukt zal zijn een beeld te vormen van het mechanisme der emissie zal het ook noodig zijn van dit feit een aannemelijke verklaring te geven.

Uit de laatste tabel volgt nog de verschuiving per graad temperatuurdaling. Deze is voor de reeks sterke lijnen tusschen de temperaturen +18° en -185°: .015 en tusschen -185° en -253°: .009. Dit bevestigt de vroeger door de BECQUERELS en KAMERLINGH ONNES gevonden wet, dat de violetverschuiving bij voortgezette daling van de temperatuur steeds langzamer gaat.

Tenslotte wil ik onder het hoofd der golflengtebepalingen nog even vermelden dat op analoge wijze, als hierboven beschreven is, de golflengte bepaald is van de absorptiebanden die bij de monochromatische opwekking een rol speelden.

Dat afkoeling de breede bij kamertemperatuur optredende banden oplost in vele lijnen, is een sinds lang bekend feit. Dat

de lijnen bij verdere afkoeling naar het violet verschuiven, eveneens. In de geciteerde verhandeling der BECQUERELS en KAMERLINGH ONNES is dit reeds nagegaan tot 14° K., het stolpunt van waterstof. Het ware interessant te onderzoeken of deze verschuiving nog verder doorgaat, als men afkoelt tot 4° K. De onderzoekingen in het vloeibaar helium zijn echter aan nauwe tijdgrenzen gebonden, daar met één vulling slechts weinige uren kan worden gewerkt. Daar de andere optische proeven in het vloeibare helium op den voorgrond stonden, is het nog niet tot deze golflengtebepalingen gekomen. Wel heb ik eenige voorloopige fotografieën kunnen maken van de fluorescentie van autuniet bij die temperatuur. Het bleek dat alle sterkere banden in het spectrum aanwezig zijn, maar van de zwakkere kan nog niets gezegd worden, daar de belichtingstijd te kort was om over hun aanwezigheid te beslissen. Visueel heb ik met een klein, lichtsterk zakspectroscopje een aanduiding van de aanwezigheid van deze banden gezien.

2. *Monochromatische opwekking.*

NICHOLS²³⁾ beschrijft reeds proeven, waar de intensiteiten van de verschillende emissiebanden van een uranylzout bestudeerd worden in afhankelijkheid van de golflengte van de kwikbooglamp-lijn waarmee bestraald werd. Deze opwekking kan echter niet monochromatisch genoemd worden, daar de proeven bij kamertemperatuur geschieden en men dus geen scheiding van de componenten van een absorptiegroep heeft. Om een eenduidig resultaat te verkrijgen is het noodig tot lage temperaturen over te gaan en met behulp van een monochromator uit een continu spectrum licht af te zonderen, dat juist de golflengte heeft van één der fijne componenten van een absorptiegroep. Zoo kwamen wij tot de boven (pag. 29) beschreven apparatuur.

Alvorens tot de beschrijving der resultaten over te gaan is het misschien niet ondienstig in het kort een beschrijving der spectra te geven aan de hand van de figuren 7, 8 en 9. De lezer zal daardoor met meer gemak de beschrijving kunnen volgen.

In de figuren zijn de fluorescentie-lijnen door streepjes boven de horizontale lijn aangeduid, en absorptie-lijnen door streepjes eronder. De lengte der strepen is een maat voor de intensiteit van de lijn, maar dit moet men niet te streng nemen want wilde ik bijvoorbeeld een zeer zwakke lijn van de roodste

groep door een streepje van $\frac{1}{2}$ mm. aangeven, dan zou de sterkste lijn van zoo'n groep wel een lengte van 10 mm. kunnen hebben, terwijl de sterkste lijnen in de middelste groepen nog veel sterker zijn, en dus 30 à 40 mm. lang zouden worden. Daarom heb ik u net als NICHOLS in zijn publicaties, de sterkste lijnen van iedere groep ongeveer dezelfde lengte gegeven, en hiernaar de lengte van de andere lijnen geregeld. Men moet dus bij het lezen van de figuren in het oog houden, dat de middelste groepen steeds sterker lijnen hebben, dan de meer naar het violette of naar het roode deel van het spectrum gelegen.

Verder blijken er lijnen te bestaan die zoowel in de emissie als in de absorptie op kunnen treden. Het hangt van de experimenteele omstandigheden af in welken vorm men ze zien zal. Bij kamertemperatuur doet zich daarbij de omstandigheid voor, dat ieder der emissie-banden zijn maximum aan de violette zijde heeft, de absorptiebanden daarentegen aan de roode, zoodat deze sterkere gedeelten elkaar opheffen, en er aan de roode zijde een rest van fluorescentie, aan de violette een rest van absorptie is. Zoo liggen bij de omkeerbare banden de emissielijnen iets meer aan de roode zijde dan de absorptie lijnen; men zie hierover NICHOLS²⁴).

Bij de teekening van het sulfaat dient opgemerkt te worden, dat alleen de door mezelf waargenomen sterkere lijnen zijn opgenomen, en niet alle zwakke lijnen die NICHOLS opgeeft, omdat ik bij de monochromatische opwekking alleen met de lijnen te maken had, die ik duidelijk kon onderscheiden.

Over de opwekking kan nu zeer kort verslag gegeven worden na deze lange inleiding. Een reeks teekeningen is gemaakt, waarin de opwekkende stralen zijn aangeduid door een gearceerd rechthoekje en de daarbij verschijnende emissielijnen telkens aangegeven zijn. Daar de figuren juist onder elkaar staan, is het gemakkelijk te zien met welke banden opgewekt is.

Uit de figuren zijn de volgende resultaten af te lezen.

Het *autuniet*, afgebeeld in fig. 7. De sterkte van de banden bij kamertemperatuur is niet voldoende om een onderzoek met monochromatische opwekking toe te laten. Hier is gegeven hetgeen bij -185° waar te nemen is.

Bestraling met den band 1903 wekt geen waarneembare emissie op. Wordt echter met den omkeerbaren band 1985 bestraald, dan treden de banden bij 1903 en 1821 in emissie op. Ik heb niet kunnen uitmaken of de zwakkere componenten ook uitgezonden worden: de lichtsterkte van de fluorescentie is

bij opwekking met zoo een enkele absorptieband zeer gering. Daarom is in de figuur door bredere verhevenheden aangeduid, dat er op ongeveer die plaatsen waar de sterkere banden zijn, emissie plaats heeft.

Bestraling met den band 2056 doet den band 1985, die zooeven nog in absorptie optrad, in emissie overgaan. Tevens wordt de band 1739 zichtbaar. Of deze band reeds met de vorige bestraling optrad is niet zeer goed uit te maken, daar men altijd aanvoeren kan, dat er bij die emissie nog niet lang genoeg belicht is om hem duidelijk op de plaat te krijgen, maar toch ben ik de overtuiging toegedaan, dat dit *niet* het geval is. De banden 1903 en 1821 immers komen bij een belichtingstijd van 15 min. reeds op de plaat, terwijl de band 1739 zelfs bij belichtingen van meer dan twee uren niet verschijnt.

Een scherper scheiding van de componenten is mij gelukt met het *kalium-uranyl-sulfaat*; zie afbeelding 8.

Zelfs na uiterst langdurige belichting (tot drie uren toe) verscheen geen fluorescentie, wanneer bestraald werd met licht van de frequentie: 1947 tot 1955.

Een bestraling met licht dat overeenkomt met de banden 2038 en 2039 gaf dadelijk een mooie fluorescentie. Daarbij was ook de zwakkere component van ieder der twee geëmitteerde groepen te zien. Om nu uit te maken, of misschien bij één component van de absorptie groep ook slechts één component der emissiegroepen behoorde, werd het monochromatiegebied vernauwd en bestraald met den band 2038 alleen (bestraling met den zwakken band 2039 had ernstige bezwaren vanwege de geringe intensiteit van dezen band, die zoo'n uiterst zwakke fluorescentie te voorschijn riep, dat wel de sterkere banden 1955 en 1871.5 te zien waren maar niet uit te maken was of de zwakke banden eenvoudig door onderbelichting niet verschenen). Nu bleek tot mijn verwondering, *dat ook nu de zwakke componenten verschenen*. Dit resultaat is gebleken van nut te zijn voor de klassificatie van de lijnen, zooals in het laatste hoofdstuk nader vermeld zal worden. Deze proef geeft antwoord op de verwachtingen die reeds lang omtrent het verband tusschen de componenten van de absorptie- en emissiegroepen waren gekoesterd.

Ook in vloeibare waterstof, dus bij een temperatuur van 20° K., kon hetzelfde verschijnsel vastgesteld worden. Voor het gemak van den lezer is dit laatste nog onder aan dezelfde figuur weergegeven.

Tenslotte werd nog vastgesteld, dat bestraling met licht van

den volgenden sterken absorptie-band den omkeerbaren band in emissie doet verschijnen, en dat een bestraling met licht, waarvan de kleur niet overeen komt met een sterken absorptie-band, slechts een zeer zwakke fluorescentie tevoorschijn roept. Ook deze feiten zijn in de figuur aangegeven.

Gaan wij nu over tot het *kalium-uranyl-sulfaat* bij *kamertemperatuur*. Hiervoor is de figuur 9 geteekend.

Van componenten is hier geen sprake, maar een ander verschijnsel doet hier zijn intrede. De verhooging van temperatuur heeft namelijk ten gevolge *dat de bestraling met den band 1952, die zoo juist geen emissie opwekte, thans den band 1869 doet uitstralen*. De verdere bestralingen geven niets bijzonders en zijn zonder meer uit de figuur af te lezen. Maar het emitteeren van dien band 1869 geeft een nieuw aanknooppingspunt voor de theoretische beschouwingen, zooals in hoofdstuk IV zal blijken bij de behandeling van den temperatuurinvloed op de fluorescentie.

Zoo zien wij dat het eenvoudige autuniet ons niet veel verder gebracht heeft, maar de complexiteit van het sulfaatspectrum, hoewel aanvankelijk afschrikwekkend, van veel nut was.

HOOFDSTUK IV. THEORETISCHE BESCHOUWINGEN.

N' espérons pas d'éclaircir tout.
FRANCE.

Over de spectra van de uranylverbindingen is het mogelijk eenige theoretische opmerkingen te geven. Beginnen wij althans met deze stoffen. Later kunnen wij dan ook over een enkele andere vaste stof een en ander zeggen.

De eerste, die deze stoffen beschouwd heeft in het licht van de theorie der quanta, is Ehrenfest (l.c.). Ook NICHOLS, ofschoon zich in het algemeen buiten theoretische beschouwingen houdende, geeft reeds eenige opmerkingen hieromtrent²⁵; hij veronderstelt de aanwezigheid in vaste oplossing van stralingscentra, die de abnormale lijnen in de spectra van eenige dubbelsalzen van het uranyl zouden veroorzaken. Hierop kom ik straks terug.

Wij kiezen als uitgangspunt van onze theoretische onderzoekingen de energieniveauschema's die van de spectra opgesteld kunnen worden.

De bouw der spectra doet namelijk sterk denken aan de bandenspectra van gassen. Het feit, dat men niveauschema's kan opmaken, en dat er constante verschillen tusschen de energieniveau's optreden, wijst er op, dat men in de richting van een verbinding van electronensprongen en oscillatie-energieën moet zoeken. Van rotaties zal men bij deze kristallen wel af moeten zien.

De door EHRENFEST aangeduide moeilijkheid²⁶, nl. dat de frequentieverschillen waarmee de lijnen in het fluorescentiespectrum en in het absorptiespectrum bij eenzelfde stof verschillende waarden hebben, is opgelost als men deze frequentieverschillen toeschrijft aan de verandering van de oscillatie-energie, en als men dan aan de grondtrilling een andere waarde toekent voor aangeslagen en voor rust-toestanden. De eerste mededeeling hierover is reeds verschenen in de Kon. Ak. v. Wet. Amsterdam²⁷).

Vele pogingen om een waargenomen spectrum op een niveau-

schema te brengen, dat aan de verwachtingen voldeed, bleven aanvankelijk vruchteloos. Het eerst lukte dit echter, toen ik de spectra van het uranylchloride ter hand nam. De met vele lijnen fluoresceerende chloriden zijn door NICHOLS nauwkeurig onderzocht, waarbij aan het licht kwam, dat zoowel de emissie- als de absorptie-spectra dichroïtisch zijn. Neemt men nu de spectra bij één der trillings-richtingen behorende, dan is een niveauschema hiervoor betrekkelijk gemakkelijk op te stellen.

Daar de energieverschillen evenredig zijn met de frequenties, zal er ook dikwijls gesproken worden van een „energie per mm” Dit is dan het aantal golflengten per mm. van het met die energie overeenkomende licht. Is c de lichtsnelheid in cm. dan wordt de energie om gezet in frequenties per mm. met de formule: $f = E : 10hc$.

Niveauschema van Kalium-uranyl-chloride. $UO_2 \cdot Cl_2 \cdot 2KCl + 2H_2O$.

Spectrum bij NICHOLS²⁸).

De twee onderling loodrecht trillende componenten worden onderscheiden in een „witte” en een „groene” componente. De eerste wordt minder geabsorbeerd dan de tweede, welke laatste dus ook het sterkste emissie-spectrum heeft.

Wit spectrum. (Zie fig. 11). De intensiteiten der lijnen zijn in de figuur aangegeven door kleine dwarsstreepjes; vijf streepjes voor een sterke, één voor een zeer zwakke lijn. Rechts de hogere niveau's; links de lagere. De naar links loopende lijnen zijn emissielijnen, de naar rechtsloopende absorptielijnen. Ik ga uit van de spectra bij $+20^\circ C$. Uit de gegevens van NICHOLS werd op millimeterpapier een kaart ervan geteekend, waarop tevens de intensiteiten eenigszins aangegeven waren. De schaal was natuurlijk in frequenties. De intensiteiten stonden op de door NICHOLS gepubliceerde figuren aangegeven, en uit de opmerkingen in den text kon nog een en ander aangevuld worden. De middelste fluorescentiegroepen bevatten bijvoorbeeld altijd de sterkste lijnen; de serie C heeft altijd de sterkste lijnen in een groep, etc. Met deze spectrale kaart werd dan geprobeerd een niveauschema op te stellen, waarbij met aequidistantie der aangenomen niveau's en met de intensiteiten der absorptie-lijnen rekening gehouden werd. Het eindresultaat is op fig. 11 afgebeeld.

De nummering der niveau's beschouwe men voorloopig als een willekeurige; hieronder volgt een uitleg ervan.

Hiermee worden de tien fluorescentie- en de twaalf absorptielijnen geclassificeerd, die door NICHOLS waargenomen

TABEL 7.
Schema voor K. Uy.
chloride, + 20°, wit.

000	0.0 freq. per mm.
001	24.0
010	83.0
011	107
020	166.1
021	190
030	249.1
031	273
100	1993
101	2021
110	2063
111	2089
120	2134
121	2160
130	2202
(150)	2352)
160	2422
(161)	2442)
(180)	2562)
190	2635

zijn met hun polarisatietoestand. Tevens heb ik onderhanden genomen de zwakke lijnen die NICHOLS c.s.²⁹⁾ weliswaar door bijzondere kunstgrepen heeft kunnen waarnemen, maar waarvan hij de polarisatietoestand niet bepaald heeft.

Om nl. zeer zwakke absorptielijnen te kunnen zien heeft hij eenige lagen van kristallen achter elkaar moeten plaatsen. Daar de kristallen niet meer een bepaalde orientatie hadden, was het niet mogelijk te onderscheiden welke de trillingsrichtingen van deze lijnen waren. Of zij dus tot het witte, of tot het hieronder bestudeerde groene spectrum behooren is niet uitgemaakt. Maar daar zij, daar twijfel ik niet aan, wel gepolariseerd zullen zijn, moeten zij op één der niveauschema's, het witte of het groene, een

plaats vinden. Op het witte kon ik nog twee fluorescentie- en tien absorptielijnen plaatsen. Voor vier der laatste moest ik de tusschen haakjes geplaatste niveau's aannemen. Dat hiermee geen willekeurige nieuwe hypothese naar binnen gehaald wordt, moge blijken uit de volgende overweging. De niveau's vertoonen de constante verschillen van 83.0 (per mm.) en 24 (per mm.) voor de lagere, en ca. 70 en 27 voor de hooger gelegen. De nieuw aangenomen niveau's sluiten zich goed bij de overige aan met deze zelfde verschillen.

$$\begin{aligned} \text{Bijv.: } & \text{"160" — "150" = 70} \\ & \text{"190" — "180" = 73} \\ & \text{"161" — "121" = viermaal 70.5} \end{aligned}$$

Dat er gapingen in het schema optreden (bijv. niveau 140

ontbreekt) valt niet te loochenen; voor dit feit heb ik geen verklaring kunnen vinden.

Alle waargenomen lijnen kunnen op dit schema geplaatst worden; de afwijkingen vallen binnen de nauwkeurigheidsgrens der waarnemingen, waarvan NICHOLS, behalve het hierboven aangehaalde (pag. 44), het volgende zegt: ... „it being possible to determine the average *interval* of any series ... within about .2".³⁰⁾

Hierboven kwamen we reeds tot de conclusie, dat de nauwkeurigheid der bepalingen voor de scherp gedefinieerde, sterke lijnen .3 is, en voor de zwakkere, vage banden meer dan 1 kan zijn.

Dat de zwakke lijnen een afwijking van het schema van 1 frequentie-eenheid vertoonen zal dus niet behoeven te verontrusten, en voor de altijd iets vagere absorptie-lijnen zal de overeenstemmig nog minder kunnen zijn. De zeer zwakke lijnen hebben waarschijnlijk een nog wijdere grens. Voor deze laatste is het bovendien mogelijk dat gemiddelde plaatsen waargenomen zijn van twee onderling loodrecht gepolariseerde lijnen, als deze dicht bij elkaar lagen.

Groen spectrum. (Zie weer fig. 11).
Het schema is als volgt (tabel 8).

De verschillen tusschen de niveau's zijn hier 82 en 20 voor de lagere, en 70 en 33 voor de hooger gelegen niveau's.

TABEL 8.
Schema voor K. Uy. chloride, + 20°; groen.

	0	freq. per mm.
000	0	
001	20	
010	82	
011	101	
020	166	
021	184	
030	249	
040	331	
100	2005	
101	2038	
110	2074	
111	2107	
120	2145 ¹ / ₂	
121	2176	
131	2148	
140	2288	
150	2359	
(151)	2388	
(161)	2458	
(170)	2497	
(171)	2527	
(180)	2567	
181	2602	
190	2644	
191	2674	
1-10-0	2715	
1-10-1	2743	

Met dit schema werden van de lijnen, waarvan de polarisatietoestand waargenomen is, twaalf fluorescentie- en negentien absorptie-lijnen geassocieerd. Verder nog drie fluorescentie- en acht absorptie-lijnen, waarvan de polarisatietoestand niet waargenomen is. Voor de twaalf andere zwakke lijnen moesten de tusschen haakjes vermelde niveau's aangenomen worden. Het is hier niet de plaats *alle* geprobeerde schema's te reproduceeren; een andere classificatie dan de hier gegeven zal echter niet gemakkelijk te vinden zijn. Er is in de bezettingsmogelijkheid der laagste niveau's een criterium dat onmiddellijk veel der probeersels terzijde schuift.

Om toch een enkel voorbeeld aan te halen noem ik het feit, dat een niveauschema van dit groene spectrum ook op te stellen is met de intervallen 82 en 18 voor de lagere, en 70 en 40 voor de hooger gelegen niveau'. Maar dit schema vertoont eenige eigenaardigheden die het onmogelijk maken voor de interpretatie der waargenomen

spectra. Immers de absorptielijnen, die van de niveau's 020, 021, 030, uitgaan, zijn niet zwak en dit maakt het schema op grond van later aan te geven gronden (zie p. 000) voor ons onwaarschijnlijk.

In het algemeen zij hier opgemerkt, dat andere mogelijkheden

en varianten wel geprobeerd zijn, ook waar dit niet uitdrukkelijk medegedeeld is, maar dat er bijna steeds geen twijfel kon bestaan, welke keus gedaan moest worden tusschen de verschillende mogelijkheden.

Kalium-uranyl-sulfaat. (Zie fig. 10). Naar beneden loopende lijnen in de figuur stellen emissielijnen voor, naar boven gaande absorptielijnen. Op dezelfde wijze als op fig. 11 zijn de intensiteiten aangegeven.

Formule wordt door NICHOLS opgegeven: $K_2 \cdot UO_2 \cdot (SO_4)_2 \cdot 2H_2O$.

Het kristal is niet pleochroïtisch.

Het spectrum bij NICHOLS³¹⁾.

De nauwkeurigheid der golflengtebepalingen wordt door NICHOLS als iets minder aangegeven dan bij de chloriden, mede door de vaagheid van de absorptiebanden. Door hem zijn de intensiteiten opgegeven voor groep 5 op p. 169 (Carn. Inst. Publ.). Verder is in de lijst der frequenties aangegeven of de lijnen very dim, dim, medium, strong, of very strong zijn. Hierbij moet rekening gehouden worden met het feit, dat de middelste fluorescentiegroepen veel sterker zijn dan de meer naar het rood of violet gelegen. Zoo is een lijn „dim” in groep 5 veel sterker dan een lijn „dim” in groep 2.

Mijn eigen waarnemingen van dit zout, welks golflengtebepalingen kloppen met die van NICHOLS (zie hoofdstuk III), konden tot basis genomen voor het ontwerpen van het niveauschema. De geringe afwijkingen van NICHOLS' waarden, die bovendien niet systematisch zijn, maken het mogelijk zonder nadere reductie ook de door hem opgegeven frequenties direct te gebruiken, hetgeen dan ook geschied is. Eén lijn nam ik waar die door NICHOLS niet gegeven wordt, 2007.0 per mm. Deze schijnt werkelijk aan het zout in kwestie te behooren, het was niet mogelijk haar aan een onzuiverheid toe te schrijven. Er zijn natuurlijk wel zouten die een lijn op deze plaats in het spectrum hebben, maar steeds was dit dan een zwakke lijn, terwijl de sterke lijnen van het zout waar zij dan aan toe zou moeten behooren niet aanwezig waren. Het blijkt echter, dat deze lijn ongedwongen in het niveauschema past.

Dit volgt hierachter.

Dit schema onderscheidt zich, van de anderen door het feit, dat het kleine interval hier ook met het dubbele van zijn bedrag voorkomt.

TABEL 9.

Schema voor K. Uy. sulfaat, - 185°.

	0.0 freq. per mm.
000	0.0
001	7.7
010	83.3
011	91.0
020	166.6
021	174.3
030	250.0
031	257.4
040	333.3
041	340.6
050	416.6
051	423.0
060	496
070	579
100	2038.2
101	2047.1
102	2056.0
110	2106.8
111	2117.5
112	2128.2
120	2174.5
121	2187.0
130	2242.2
131	2255
140	2309.9
141	2323
150	2377.6
161	2460

De intervallen zijn 83.3 en 7 per mm. voor de lagere, en 68.7 en 12 per mm. voor de hooger gelegen niveau's.

Er zijn 49 fluorescentie- en 18 absorptie-lijnen mee geclassificeerd; hiertoe behooren *alle* lijnen die niet als „very dim” zijn aangegeven.

Er zijn nog 23 fluorescentie- en 24 absorptielijnen *niet* geclasificeerd. Maar deze zijn alle zwak of ver naar het violet gelegen.

Reeds gepubliceerde beschouwingen nu voeren tot de conclusie, dat de niveau's in het algemeen niet streng aequidistant behoeven te zijn,⁴¹⁾ en dit ook voor de zeer hooge niveau's niet zullen zijn. Men kan dus voor de zeer violette lijnen wel niveau's opstellen, maar dit heeft niet veel zin, daar de contrôle van de aequidistantie ontbreekt.

Nu de schema's voor eenige spectra gegeven zijn kunnen wij eens nader gaan beschouwen wat wij ons bij de licht-

emissie en absorptie bij deze stoffen hebben voor te stellen. Reeds in 1872 kwam E. BECQUEREL tot het resultaat, dat de uraanzouten, die het uranium niet in de verbinding UO_2 bevatten, geen van alle emitteren. Van de talloze UO_2 -verbindingen door NICHOLS onderzocht is er bijna geen die niet emitteert; de spectra van 50 kristalsoorten en van vele oplosingen zijn bij verschillende temperatuur door hem waargenomen. Onveranderlijk blijkt, dat het frequentie-verschil

83 per mm. in het fluorescentiespectrum voorkomt en een frequentieverschil in de buurt van 70 per mm. in de absorptiespectra optreedt.

Onverschillig voor het zuur-ion, en, bij de dubbelzouten, voor het andere aanwezige metaal, ja zelfs bij de oplossingen, zijn de intervallen steeds zeer dicht in de buurt van de genoemde bedragen. Men kan zich dus niet licht losmaken van de voorstelling, dat de lichtemissie zich afspeelt „in” het uranyl-radicaal. Nader gepreciseerd wil dit zeggen, dat we ons voorstellen, dat bij de energieverandering vanwege de electronensprong algebraïsch opgeteld kan worden een gedeelte van de trillingsenergie van het uranyl-radicaal.

De andere atomen van een emitterende verbinding spelen in het algemeen een zeer ondergeschikte rol. Neem bijvoorbeeld de trillingen in een SO_4 -ion. Deze hebben een golflengte van 9 en 16μ ³²⁾ hetgeen overeenkomt met de frequenties 110 en 62.5 per mm. Met de gecombineerde intervallen 110 en 62.5 en de uranyl-frequentie 83.3 is geen niveauschema voor de fluorescentie of de absorptie van het kalium-uranyl-sulfaat op te stellen. Evenmin is het mogelijk de intervallen 110 en 62.5 in het gegeven schema terug te vinden. We komen zoo tot de conclusie, dat de oorsprong van het interval 83.3 in het UO_2 te zoeken is, en dat (althans bij deze stof) inwendige trillingsenergie van de zuurrest niet tot het ontstaan der lijnen medewerkt.

Beschouwen wij nu de mogelijkheid, dat het kleine interval, dat voorkomt in het niveauschema veroorzaakt wordt door trillingen van het kalium-ion.

Op p. 169 van NICHOLS' monografie³³⁾ is een figuur (no. 89), waar de fluorescentie-groep 5 voor de verschillende dubbel-sulfaten bij elkaar staan en wel met de overeenkomstige lijnen juist onder elkaar. Een karakteristieke lijn van het kalium-dubbelzout valt daar in het oog, met de frequentie 1860.8. Werkt nu inderdaad het kalium mede, dan zal speciaal deze lijn ermee verklaart dienen te worden. Maar alle andere komen bij een of meer der andere zouten voor en kunnen dus niet door de aanwezigheid van het kalium verklaard worden.

Conclusie: eventueel zijn er enkele zwakke lijnen toe te schrijven aan het andere metaal van het dubbelzout. *In hoofdzaak zijn we voor de verklaring der spectra aangewezen op het UO_2 .* Aangaande het kleine interval dat bij de schema's optreedt

kunnen we nu nog verschillende veronderstellingen maken. In de eerste plaats bestaat de mogelijkheid, dat er nog een tweede grondtrilling bestaat in het UO_2 , bijvoorbeeld een trilling van de zuurstof-atoomen tegen elkaar. Zoolang we geen model hebben, kunnen we hierover niets speciaals zeggen. Maar ook bestaat de mogelijkheid dat hiervoor verantwoordelijk is de trilling van het UO_2 in het kristalnet.

Is het echter mogelijk dat er in dit laatste geval één frequentie tot uiting komt en niet een heel spectrum? Volgens EHRENFEST is het *wel* mogelijk, dat er slechts enkele kristaltrillingen met den electronensprong combineeren³⁴).

De orde van grootte der intervallen (7.7 per mm. bij het sulfaat, 24 en 20 bij het chloride) komt wel overeen met de reststralfrequenties door RUBENS bij de chloriden waargenomen. — De juistheid van de gemaakte veronderstelling is echter ook te toetsen aan het gedrag van oplossingen.

NICHOLS³⁵) vond dat de uranyl-zouten noodzakelijk gekristalliseerd moeten zijn, willen zij fluoresceeren met nauwe banden, en willen de banden door afkoeling opgelost worden in fijne componenten.

Uraanglas, en vaste oplossingen van uranylfosfaat geven breede banden, die bij afkoeling niet of nauwelijks smaller worden en niet in componenten worden gesplitst.

Een ander voorbeeld geven de oplossingen van uranylfosfaat in fosforzuur, onderzocht bij $-185^\circ C$. Door toevoeging van het zuur aan het fosfaat ontstaat eerst, te midden van de reeds aanwezige banden, waarvan de intervallen $80\frac{1}{2}$ zijn, een nieuwe reeks, breede, banden met een interval van 82.6. Een grotere hoeveelheid zuur maakt het mengsel strooperig bij kamertemperatuur en glasachtig bij $-185^\circ C$. Alleen de vage banden zijn dan nog in de fluorescentie aanwezig. Hun interval is 85.3 geworden. Een nog grotere hoeveelheid zuur maakt het mengsel glasachtig zelfs bij $+20^\circ$; het interval der vijf aanwezige banden wordt nog grooter, 87.0 per mm.

Ook de spectra van vele andere oplossingen zijn door NICHOLS onderzocht, zoodat we over een uitgebreid materiaal beschikken kunnen. Onder andere is ook het uranyl-kalium-sulfaat in water en in zwavelzuur opgelost, bij verschillende temperaturen waargenomen. Het sulfaat in water opgelost fluoresceert bij alle temperaturen alleen met breede banden, waarvan het frequentie-interval niet merkbaar verandert met de temperatuur. Het interval verandert wel sterk met de verdunning.

Gemiddeld interval van een oplossing 1/15 normaal		86.75
	1/150	„ 86.7
	1/1500	„ 83.2
	1/15000	„ 80.2

De oplossing: 1 deel 4/15 normaal in water, verdund met resp. 1/5, 1 en 50 deelen zwavelzuur heeft gemiddeld de intervallen resp.: 85.3, 86.7 en 90.5.

Hierbij doet zich deze bijzonderheid voor, dat de oplossingen bij sterke verdunning met zwavelzuur (waarschijnlijk met het tienvoud aan zuur te beginnen) eenige banden vertoonen, die door afkoeling in vloeibare lucht in componenten gesplitst worden. Het kleine frequentieverschil tusschen de componenten is tien à twaalf per mm. Het is niet onmogelijk dat dit interval zijn oorzaak vindt in kristaltrillingen van het gekristalliseerde zwavelzuur, daar der gelijke trillingen van deze grootte-orde zouden zijn. Maar aan de boven genoemde kleine intervallen, zooals die bij de gekristalliseerde stoffen voorkomen, doen zij door hun grootte in het geheel niet denken.

De andere waarnemingen (met het nitraat, etc.³⁶⁾ mogen hier buiten beschouwing gelaten worden, omdat daar nieuwe complicaties bij komen.

Maar uit het hier aangehaalde materiaal blijkt in ieder geval, dat:

- 1°. de kleine intervallen verdwijnen als de kristalstructuur opgeheven wordt.
- 2°. de groote intervallen blijven bestaan.
- 3°. de banden van oplossingen veel breder zijn dan die van gekristalliseerde stoffen.

Dit laatste feit wordt ongedwongen verklaard, doordat bij de afwezigheid van een regelmatige kristalstructuur de onderlinge beïnvloeding der ionen minder beperkt is, en dus de verbreding door het STARK-effect vanwege de onregelmatige omgeving optreedt. Zie hiervoor de Inleiding, p. 4.

De reden die BORN opgeeft³⁷⁾ voor het feit dat bepaalde lijnen toegeschreven moeten worden aan trillingen van de ionen in het kristalnet, n.l. dat deze lijnen „verschwinden in allen Fällen beim Auflösen des Kristalls” heeft ook hier kracht. Zoo komen we tot het resultaat dat beide intervallen der niveauschema's door het UO_2 veroorzaakt en dat het kleine interval met den kristaltoestand samenhangt.

Bij de chloriden kan naar aanleiding van het laatste nog opgemerkt worden, dat de groote intervallen 83.3 en 70 voor de

twee onderling loodrechte trillingen in het kristal niet veel verschillen, maar dat de kleine intervallen een aanzienlijk onderscheid vertoonen. Dit wijst reeds op een grooten invloed van het kristalverband op de totstandkoming van deze intervallen.

Op grond van bovenstaande overwegingen zijn de niveau's op de volgende wijze genummerd.

Aan ieder der niveau's zijn drie getallen toegekend, m , n , en p . Het eerste, m , is voor de electronen-energie bestemd, en bedraagt 0 of 1. Is m nul dan wil dit zeggen dat men met een niet-aangeslagen niveau te doen heeft; de aangeslagen niveau's hebben $m = 1$.

Het tweede getal duidt aan hoeveel malen de energie van de eerste grondtrilling aanwezig is; n kan alle positieve bedragen doorloopen en zelfs tot 10 stijgen (bij het K-Uy-sulfaat bijvoorbeeld). Het derde getal, p , behoort bij de tweede grondtrilling; p kan nul, 1 of meer zijn. In de gegeven schema's wordt p niet grooter dan 2. Deze nummers zijn in de boven gegeven schema's reeds bij de niveau's geschreven.

De relatieve waarschijnlijkheid van het optreden van een trilling met de energie E is evenredig met $e^{-E/kT}$. Aan de hand van deze wet willen wij eens de intensiteiten der lijnen nagaan. Voor E kunnen wij weer schrijven $10hc \cdot f$; f is dan de in frequenties uitgedrukte hoogte van het beschouwde energie-niveau boven het 000-niveau. De genoemde waarschijnlijkheidsfactor wordt: $e^{-10hc f/kT}$ of: $e^{-14.31 f/T}$.

Vat men nu een bepaald niveau in het oog, bijvoorbeeld 030 (met $f = 250$) van kalium-uranyl-sulfaat, dan heeft voor $T = 85^\circ \text{K}$. deze factor de waarde 10^{-20} . Practisch gesproken zijn er geen sprongen van af dat niveau mogelijk bij die lage temperatuur. Zag men dus op het niveauschema vanaf dit of nog hogere niveau's sterke absorptielijnen afgaan, dan zou dit een bewijs zijn van de ondeugdelijkheid van het schema. Dit is de sterke steun, die men van de intensiteiten heeft en waarop hierboven (p. 56, waar bij vergissing p. 000 staat) gedoeld werd. Gelukkig bleek het, na veel zoeken, mogelijk, schema's op te stellen voor het sulfaat, zoowel als voor de choriden, waar dergelijke overtredingen niet plaats grijpen.

Bij hogere temperatuur ($+ 20^\circ \text{C}$) is de factor, behorende bij het niveau 010 (met $f = 82$) van het kalium-uranyl-chloride: .02. Daar vanaf dit niveau eenige sterke absorptie lijnen gaan behoeft dus niet te verwonderen.

De kleine niveau-verschillen, door het getal p gekenmerkt, zijn

te danken, dit is hoop ik hierboven waarschijnlijk gemaakt, aan kristaltrillingen. Volledigheidshalve zij hier vermeld dat door EHRENFEST hiervoor ook dezelfde letter p is gebruikt³⁸⁾.

Wil men uit analogie met oscillatie-spectra van gassen een inzicht krijgen in de wetten van deze licht-verschijnselen, dan kan het volgende schema misschien diensten bewijzen. Het zijn de beperkingsregels voor de diverse quantensprongen, zooals zij op de schema's voorkomen. Steeds heeft plaats: $m \rightarrow 1$, d.w.z. m neemt met de eenheid toe of af: voor de licht-emissie of -absorptie moet er een electronensprong plaats grijpen. — Tusschen haakjes staan de overgangen, die niet steeds of met zeer zwakke lijnen plaats hebben. Welke conclusies men echter hieruit eventueel zou kunnen trekken, kan ik niet zeggen.

TABEL 10.

<i>Fluorescentie.</i>		<i>Absorptie.</i>	
n	p	n	p
0	$0 \begin{cases} \leftarrow 1 \\ \leftarrow 0 \end{cases}$	0	$0 \begin{cases} \leftarrow 0 \\ \leftarrow 1 \end{cases}$
	$1 \rightarrow 0$		$1 \begin{cases} \leftarrow 0 \\ \leftarrow (1) \end{cases}$
	$2 \begin{cases} \leftarrow 0 \\ \leftarrow 1 \end{cases}$		
1	$0 \begin{cases} \leftarrow (0) \\ \leftarrow 1 \end{cases}$	1	$0 \begin{cases} \leftarrow (0) \\ \leftarrow 1 \end{cases}$
	$1 \rightarrow 0$		$1 \begin{cases} \leftarrow 0 \\ \leftarrow (1) \end{cases}$
	$2 \rightarrow 0$		
2	$0 \rightarrow 0$		
	$1 \rightarrow 0$		

Op een geheel andere wijze tracht NICHOLS³⁹⁾ een verklaring der emissie-lijnen van uranyl-dubbelzouten te vinden. Hij onderzocht of er niet coincidenties op te sporen waren tusschen fluorescentie-lijnen en gasemissie-lijnen van het metaal, waarmee het UO_2 een dubbelzout vormt. Inderdaad is hem dit voor enkele lijnen gelukt en hij knoopt hier de beschouwing aan vast, dat misschien enkele ionen van dit metaal in vaste oplossing in het uranylzout verkeerden en daar een zoo onafhankelijk bestaan leidden, dat zij als gasatomen emitteerden en absorbeerden. Het zou ons te ver voeren, deze behandelingswijze in extenso door te voeren. Daarom moge volstaan worden met de opmerking, dat slechts heel enkele lijnen op deze wijze een verklaring zouden vinden. Om voor de andere een oplossing te vinden worden wij dus weer naar de bovenontwikkelde, van quantentheoretische gezichtspunten uitgaande gedachten gevoerd.

De index 0 bij een der energie toestanden wil niet impliceren, dat de energie van de bedoelde trilling inderdaad nul is. Bijvoorbeeld: $n = 0$ wil niet zeggen: er is geen oscillatie energie aanwezig. Immers is het ook mogelijk dat voor een bepaalde vrijheidsgraad de minimumenergie niet nul is. Met den index 0 is dan steeds bedoeld de toestand met de minste energie, die voorkomen kan.

Het zij mij vergund nog eenige feiten op te noemen, die pleiten voor de juistheid van de gegeven niveauschema's en van de verklaring daarvan.

In de eerste plaats zij vooropgesteld, dat in de drie gevallen, dat een niveauschema opgesteld werd, steeds de frequenties van alle sterke lijnen goed klopten met de uit de aequidistante niveau's volgende waarden, en dat daarbij geen overtredingen van den bezettingsregel optraden.

Verder bleek in tabel 5, dat de temperatuur-verschuiving van de sterkste serie van het kalium-uranyl-sulfaat grooter is dan van de zwakkere reeks emissielijnen. Gaan wij na hoe deze lijnen op het schema (fig. 10) liggen; de sterke lijnen liggen tusschen 100 en resp. 010, 020 en 030; de zwakke tusschen 100 en resp. 011, 021 en 031. Na eenig overleg blijkt daaruit, dat de afkoeling de electronen-sprong iets vergroot heeft, maar tevens (de oscillatie-energie niet veranderend) de kristaltrillings-energie nog iets meer vergroot heeft. Het verschil in verschuiving van de beide reeksen lijnen wijst op het *onafhankelijk* veranderen van de hoogte der energie-niveau's, al naar gelang zij bij electronen-sprongen of bij kristaltrillingen behooren.

Een derde feit, dat wijst op de juistheid van het schema voor het sulfaat, is het verschijnen van de zwakkere lijnen als monochromatisch opgewekt wordt. Immers zoowel de sterke als de zwakke lijnen, welke men bij die opwekking zag verschijnen, zijn op het schema aanwezig als lijnen die vanaf het niveau 100 naar beneden gaan. Dit is het laagste aangeslagen niveau. Met welk licht men ook opwekt, steeds zullen beide reeksen lijnen in emissie verschijnen. Het negatieve resultaat van de monochromatische opwekking, n.l. dat *niet alleen de sterke componenten van de groepen verschenen*, is dus een bevestiging van de hier gegeven schema's.

De op figuur 9 gegeven uitkomst van de monochromatische opwekking bij kamertemperatuur geeft nog een nadere bevestiging. Immers de temperatuur is nu zoo hoog dat het niveau 010 behoorlijk bezet zal zijn. Bestraalt men met de groep die één groep rooder ligt dan de omkeerbare groep, dan bestraalt men met absorptielijnen die van dit niveau 010 uitgaan. Het is dus niet te verwonderen dat die bestraling *wel* fluorescentie opwekt bij kamertemperatuur, maar niet bij 85° K. (Zie fig. 8).

Eenige conclusies zijn nog uit de niveauschema's te maken. De aequidistantie der niveau's wijst op het gelden van de wet van HOOKE, zooals reeds uiteengezet is in de verhandeling van EHRENFEST⁴⁰⁾ en ook in de mededeeling in Kon. Ak. Amsterdam⁴¹⁾.

Het volgende moge nog een oogenblik de aandacht verdienen. De oscillatie sprong, door n gekenmerkt, is in niet-aangeslagen toestand 83, in aangeslagen toestand (n') 70, zooals dit met gasmoleculen ook het geval is. Waarom echter de door p gekarakteriseerde kristaltrillingsenergie in den niet-aangeslagen toestand steeds *kleiner* is dan in den aangeslagen (in de tabel door p' aangegeven) is mij onbekend, maar dit feit verdient hier wel vermelding.

TABEL 11.

	n	n'	p	p'
chloride: „wit”	83	70	24	26
„ „groen”	82	70	20	33
sulfaat	83.3	68.7	7.7	12

In het bovenstaande hoop ik eenige waarschijnlijkheid gegeven te hebben aan de voorstelling, dat zoowel kristaltrillings-energie als UO_2 -oscillatie-energie deel uit kan maken van de licht-emissie- en -absorptie-energieën.

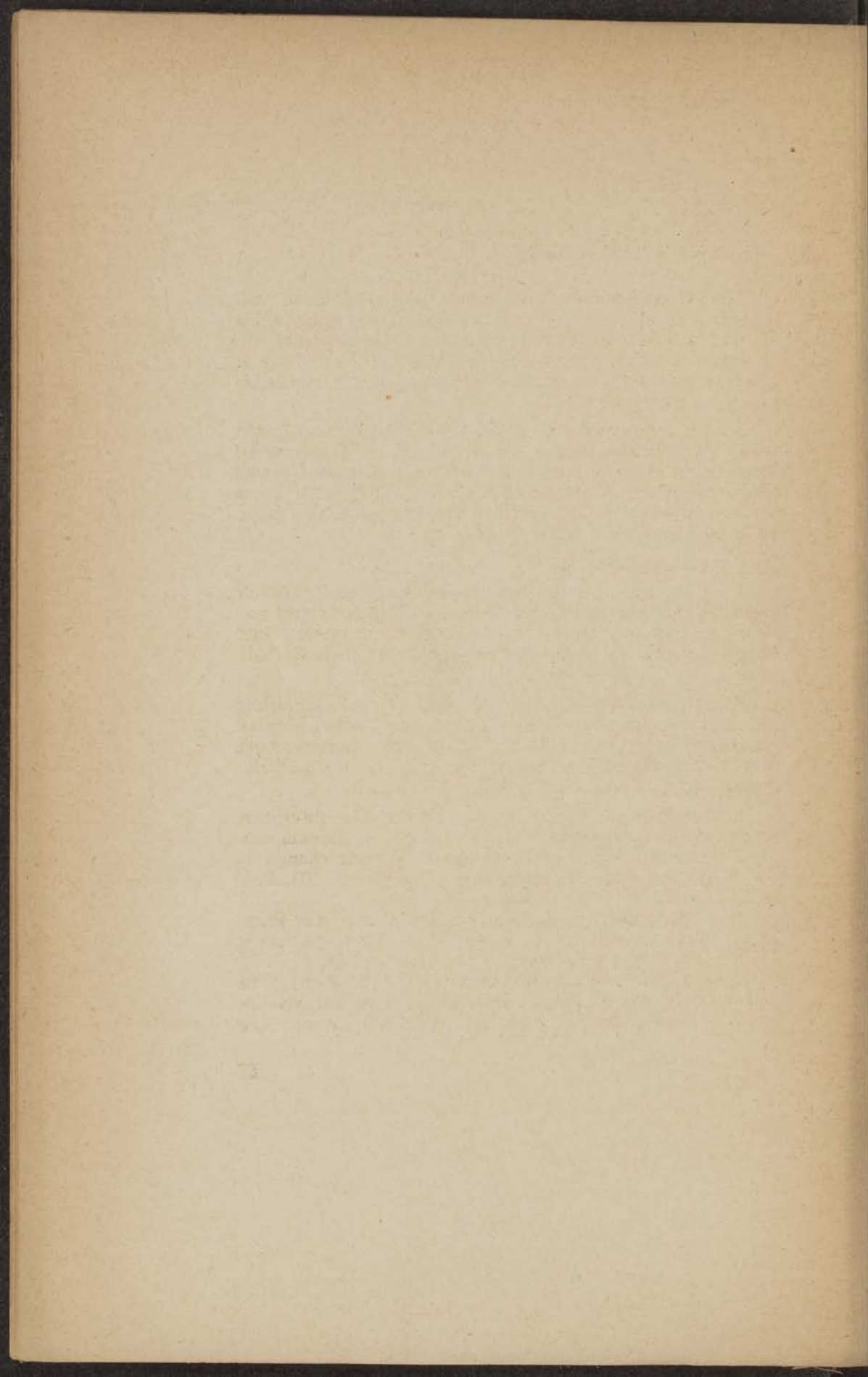
Er is nog één stof, waarvan mij een dergelijk discontinu spectrum (in oplossing) bekend is. Dit is het kaliumpermanganaat. [Waarnemingen van HAGENBACH en PERZY⁴².] Het hier optredende frequentieverschil is 75. Een nauwkeuriger analyse van dit verschijnsel zal moeten uitmaken, welke overeenkomstige trekken het gemeen heeft met UO_2 . Het schijnt wel voor de hand te liggen, dat voor het genoemde frequentieverschil weer een oscillatie verantwoordelijk gesteld moet worden. In welke binding deze echter gezocht moet worden, zou ik niet kunnen zeggen.

Toch lijkt me een nader onderzoek van de gekleurde Mn en C verbindingen met het oog op deze vragen gewenscht.

Absorbeert en fluoresceert de vaste oplossing van chroomoxyde niet ook met fijne lijnen (robijn)?

SAMENVATTING DER UITKOMSTEN.

1. Het absorptie-spectrum van xenotiem bij 4° K. heeft enkele banden minder dan bij 14° K.; de banden worden bij deze afkoeling niet nauwer.
2. Longitudinaal Zeeman-effect van xenotiem in vloeibaar helium: verdwijnen van de meeste roode componenten; echter is er een uitzondering in de groene groep: de roode component van band 5272 AE is sterker dan violette, hoewel zij bovendien minder verschoven is.
3. De magnetische draaiing van het polarisatievlak in tysoniet is bij 4° K. buitengewoon groot, zoowel in de absorptiegebieden als ver daarbuiten.
4. De magnetische draaiing van xenotiem neemt tusschen 14° en 4° K. niet toe.
5. De natuurlijke draaiing van cinnaber neemt bij afkoeling tot 4° K. sterk toe voor ieder spectraal gebied. Het absorptiegebied trekt zich hierbij terug van het geelgroen (bij 85° K.) tot het groen, 5515 AE (bij 4° K.).
6. De golflengten van de fluorescentie- en absorptielijnen van autuniet bij 85° K. worden gegeven op pag. 45.
7. De verschuiving naar het violet van de sterkste fluorescentielijnen van kalium-uranyl-sulfaat bij afkoeling van 85° tot 20° K. bedraagt in frequenties: .66. Voor de zwakkere reeks lijnen, die uitgemeten is, is deze verschuiving: .20.
8. De emissie van autuniet bij 85° K., wanneer met diverse absorptiebanden opgewekt wordt, is aangegeven in figuur 7.
9. Het zelfde voor kalium-uranyl-sulfaat bij 85° en bij 20° K. is te zien op figuur 8.
10. Figuur 9 geeft hetzelfde voor kalium-uranyl-sulfaat bij $+ 18^{\circ}$ C.
11. De niveau-schema's voor de beide spectra van het kalium-uranyl-chloride zijn vermeld in tabel 7 en 8 en gereproduceerd op figuur 11.
12. Het niveau-schema voor het kalium-uranyl-sulfaat is te vinden in tabel 9 en op figuur 10.
13. De energie-verschillen 83 en 70 in de niveauschema's zijn toe te schrijven aan oscillatie-energie-veranderingen binnen de UO_2 -groep.
14. De kleinere in de niveau-schema's voorkomende verschillen moeten toegeschreven worden aan kristaltrillings-energie-veranderingen van de UO_2 -groep.



LITTERATUUROPGAVEN.

- 1) Het Natuurkundig Laboratorium der Rijksuniversiteit te Leiden in de jaren 1904—1922. Gedenkboek aangeboden aan H. KAMERLINGH ONNES, 1922 (hieronder geciteerd als: Gedenkboek 1922); p. 362—368: P. EHRENFEST, Theoretische opmerkingen over absorptie- en emissiebanden in kristallen bij lage temperaturen.
- 2) Fourth International Congress of Refrigeration, London 1924; First International Commission of the International Institute of Refrigeration; Reports and Communications presented by H. KAMERLINGH ONNES; p. 149—155: J. DE WIERUSZ KOWALSKI, Rapport sur la luminescence et absorption de la lumière á basse température.
- 3) Gedenkboek 1922, p. 367.
- 4) Voor een zeer volledige lijst van de uitgebreide litteratuur over deze twee klassen fosforesceerende stoffen zij de lezer verwezen naar de opgaven in: P. PRINGSHEIM, Fluorescenz und Phosphorescenz im Lichte der neueren Atomtheorie, 2e Aufl. 1923.
- 5) Reports I. I. R.; p. 129—148. Een latere verhandeling verscheen nog in: Communications from the Leiden Physical Laboratory, no. 175, 1925; L. VEGARD, The Luminescence from solidified Gases down to the Temperature of liquid Hydrogen and its Application to cosmic Phenomena.
- 6) J. BECQUEREL en H. KAMERLINGH ONNES, The absorption spectra of the compounds of the rare earths at the temperatures obtainable with liquid hydrogen, and their change by the magnetic field; Communications Leiden, no. 103; Proceed. Amsterdam, 1908, p. 592.
H. en J. BECQUEREL, en H. KAMERLINGH ONNES, On Phosphorescence at very low temperatures; Communications Leiden, no. 110; Proceed. Amsterdam, 1909, p. 76.
P. LENARD, H. KAMERLINGH ONNES en W. E. PAULI, The behaviour of the phosphorescent sulphides of the alkaline earths at various temperatures, and particularly at very low

temperatures; Communications Leiden, no. 111; Proceed. Amsterdam, 1909.

7) Gedenkboek 1922; p. 268—361: J. BECQUEREL, Absorption de la lumière et phénomènes magnéto-optiques dans les composés de terres rares aux très basses températures.

Vermelding te dezer plaatse verdient het feit, dat in deze verhandeling niet verwerkt zijn de resultaten van: DUBOIS en ELIAS, Ann. d. Phys. 27, 1908, p. 233; 35, 1911, p. 617.

8) J. FORRER, Untersuchung eines Laboratoriumsmagneten für starke Felder; diss. T.-H., Zürich, 1919.

9) De titels van deze verhandelingen zijn reeds aangeboden in de zitting van de Akademie van Juni 1925; zie: Versl. p. 657. J. BECQUEREL en H. KAMERLINGH ONNES, De absorptiebanden van de verbindingen der zeldzame aarden en hunne wijziging door het magneetveld bij lage temperatuur.

J. BECQUEREL, H. KAMERLINGH ONNES en W. J. DE HAAS, Verdere proeven met vloeibaar helium. Magnetische draaiing van het polarisatievlak bij verbindingen van zeldzame aarden. De absorptiebanden van de verbindingen van zeldzame aarden en hunne wijziging door het magneetveld.

10) Gedenkboek 1922; p. 328.

11) Men zie hiertoe vooral de in noot 7 geciteerde verhandeling van J. BECQUEREL, p. 299—303.

12) P. ZEEMAN, Metingen over het verschijnsel van Kerr bij polaire terugkaatsing op ijzer, kobalt en nikkel, in 't bijzonder over Sissingh's magneto-optisch phaseverschil; diss. Leiden, 1893. Ook in: Arch. Neerl. T. 27, p. 252.

13) Gedenkboek 1922; p. 291.

14) Voor wien dit werk niet gemakkelijk te bereiken is mogen hier eenige aanwijzingen volgen omtrent de oorspronkelijke artikels van NICHOLS en zijne medewerkers HOWES, MERRITT, WICK en WILBER.

Proc. Nat. Ac. Sc. 1, 1915, p. 449; Phys. Rev. 33, 1911, p. 354; (2) 3, 1914, p. 457; 5, 1915, p. 418; 6, 1915, p. 192, 358; 7, 1916, p. 394; 8, 1916, p. 364, 675; 9, 1917, p. 113, 143, 292; 10, 1917, p. 348; 11, 1918, p. 66, 121, 285, 421; 14, 1919, p. 202, 293.

H. BECQUEREL publiceerde zijn voornaamste mededeeling over de spectra van de verbindingen van het uranium in 1885; C. R. Paris, no. 101; in de C. R. 144, p. 671, staan zijne waar-

nemingen over de gepolariseerde spectra; verder zijn nijn belangrijke mededeelingen van zijn hand: C. R. 151, 1910, p. 151, 981; 152, 1911, p. 511; en met H. KAMERLINGH ONNES de in noot 6 geciteerde verhandeling.

¹⁵⁾ Zie de in noot 6 genoemde Communication Leiden no. 110.

¹⁶⁾ Zie daarover de inleiding van de verhandeling: A. C. S. VAN HEEL, Over de monochromatische opwekking van fluorescentie, in de Versl. Kon. Ak. Amsterdam, 36, p. 654, 1925, waar ook de eerste resultaten gepubliceerd zijn.

¹⁷⁾ F. L. O. WADSWORTH, Fixed-arm spectroscopes, Phil. Mag. 38, p. 337, 1894.

¹⁸⁾ Met negatieve banden zijn bedoeld banden, welker componenten in het magneetveld een polarisatietoestand hebben, zooals die uit de eenvoudige theorie van LORENTZ volgt voor negatieve geladen deeltjes.

¹⁹⁾ Zie noot 7. De regels voor het optreden van de dissymmetrieën in intensiteit en verplaatsing bij de diverse lijnen zijn aldaar gegeven op. 332:

1. Is voor een band de roodere componenten de sterkste, dan is deze ook minder verschoven.

2. Is de violette component van een band minder verschoven dan is deze bij alle temperaturen de sterkste.

3. Is de roode component minder verschoven, dan kan al naar gelang van veld en temperatuur of deze of de violette component de sterkste zijn.

Op pag. 333 worden deze samenvattende regels gegeven:

A. De minder verschoven component is in het algemeen de sterkste.

B. De violette component is in het algemeen de sterkste; dit laatste zeker, als de temperatuur laag is.

²⁰⁾ Gedenkboek 1922, p. 347.

²¹⁾ J. BECQUEREL, C. R. 147, 1908, p. 1281.

²²⁾ TWYMAN, Wave length Tables for Spectrum Analysis, 1923.

²³⁾ Carn. Inst. Publ. 298, p. 173.

²⁴⁾ Carn. Inst. Publ. 298, p. 24.

²⁵⁾ Carn. Instit Publ. 298, p. 82.

²⁶⁾ Carn. Inst. Publ. 298, p. 151.

²⁷⁾ Gedenkboek 1922, p. 366.

- 28) G. H. DIEKE en A. C. S. VAN HEEL, Over het verschil van de fluorescentie- en de absorptie-spectra der uranylzouten, Versl. Kon. Ak. Amsterdam, 36, 1925, p. 652.
- 29) Carn. Inst. Publ. 298, p. 73 („new” bands).
- 30) Carn. Inst. Publ. 298, p. 118.
- 31) Carn. Inst. Publ. 298, p. 173.
- 32) BORN, Atomtheorie des festen Zustandes, p. 623; daar worden SCHAEFER en SCHUBERT geciteerd, Ann. d. Phys. (4), 50, 1916, p. 283.
- 33) Carn. Inst. Publ. 298.
- 34) Zie vooral de noot op pag. 365 van de in noot 1 geciteerde verhandeling in het Gedenkboek 1922.
- 35) Carn. Inst. Publ. 298, p. 205.
- 36) Carn. Inst. Publ. 298, p. 190—204.
- 37) In het (noot 32) geciteerde boek, p. 623.
- 38) Gedenkboek 1922, p. 364.
- 39) Carn. Inst. Publ. 298, p. 151.
- 40) Gedenkboek 1922, p. 365.
- 41) De in noot 28 geciteerde mededeeling.
- 42) HAGENBACH en PERZY, Détermination quantitative de l'absorption de la lumière par une solution de permanganate de potassium dans l'eau, Arch. Sc. phys. et nat.; Soc. Suisse de physique, 1920, p. 241.
-

STELLINGEN.

1. In de lichtemissie en -absorptie van de uranylverbindingen speelt de bindingsenergie binnen het UO_2 -radicaal een overheerschende rol.
2. In sommige gevallen komt in de spectra der uranylverbindingen de kristaltrillings-energie tot uiting.
3. Het is waarschijnlijk dat bij de lichtabsorptie van sommige mangaanzouten het mechanisme veel overeenkomst vertoont met dat der uranylverbindingen.

HAGENBACH en PERZY, Arch. Sc. phys. & nat.; Soc. Suisse de physique, 1920, p. 241.

4. Door het opstellen van schema's van energie-niveau's voor de spectra der uranylzouten zijn de reeksen, waarin NICHOLS de lijnen van deze spectra rangschikte, van secundaire beteekenis geworden.

NICHOLS, e.a., Fluorescence of the Uranylsalts; Carn. Inst. Publ. Wash. No. 298, 1919.

5. De methode van autocollimatatie levert bij gebruik van lenzen ernstige bezwaren op, zoodra groote lichtsterkten in het spel zijn.
6. De kristalanalyse met behulp van Röntgenstralen zal in staat zijn te beslissen of bij de lichtemissie van de uranylzouten kristaltrillings-energieën een rol spelen.
7. Het is niet doelmatig aan te nemen, dat bij de beweging van electronen in edele gassen onder invloed van een electrisch veld in hoofdzaak een snelheidsverdeling van MAXWELL optreedt.

K. T. COMPTON, Phys. Rev. 1923, 22, p. 333.

8. Bij de bepaling van den brekingsindex van vloeibaar gemaakte gassen door AUGUSTIN en MEISSNER is door deze onderzoekers over het hoofd gezien, dat weliswaar een uitdooving, maar niet de uitdooving van de doorgelaten straal vanwege totale reflectie is gebruikt. Dit feit maakt een niet verwaarloosbare correctie van de door hen opgegeven waarden der brekingsindices noodzakelijk.

W. MEISSNER, Verh. D. phys. Ges., 15, p. 540, 1913.

H. AUGUSTIN, Ann. d. Phys. 1914, p. 419.

9. Bij de stigmatische opstelling van een concaaf tralie is de focale kromme niet een cirkel (zie bijv. MEGGERS en BURNS, Sc. Pap. Bur. of Stand. No. 441, 1922). RUNGE en PASCHEN (Ann. d. Phys. 1896, p. 641) beweren dit. De door hen gebruikte uitdrukking „Brennpunkt des Gitters" geeft daar tot onduidelijkheid aanleiding.

10. De door KOWALSKI voorgestelde onderscheiding van de beteekenis der uitdrukkingen fluorescentie en fosforescentie is doelmatiger dan de tot nu toe gebruikelijke.

J. WIERUSZ KOWALSKI, Reports I. I. R. 1924, p. 149.

11. Het verdient aanbeveling op instrumenten voor spectraal onderzoek frequenties inplaats van golflengten te vermelden.

12. Het heeft geen zin het principe van d'ALEMBERT te formuleeren voordat men het systeem in kwestie definieert.

13. De bewering van POINCARÉ: „ce qui ne se mesure pas ne peut être object de science" sluit een waardeering van het begrip wetenschap in zich, die thans niet meer gangbaar behoorde te zijn, zelfs niet in de exacte wetenschappen.

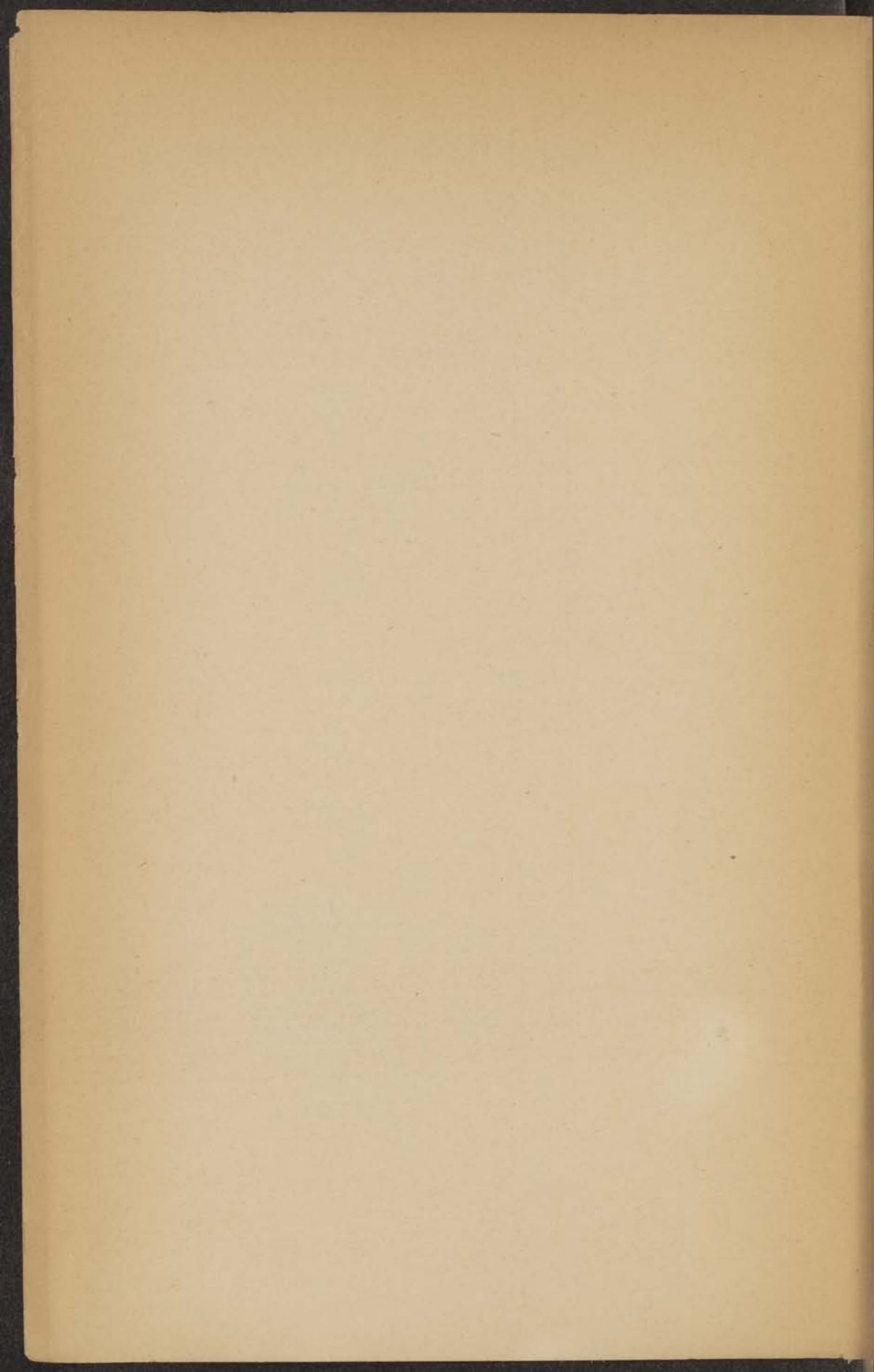
Dernières Pensées, p. 41.

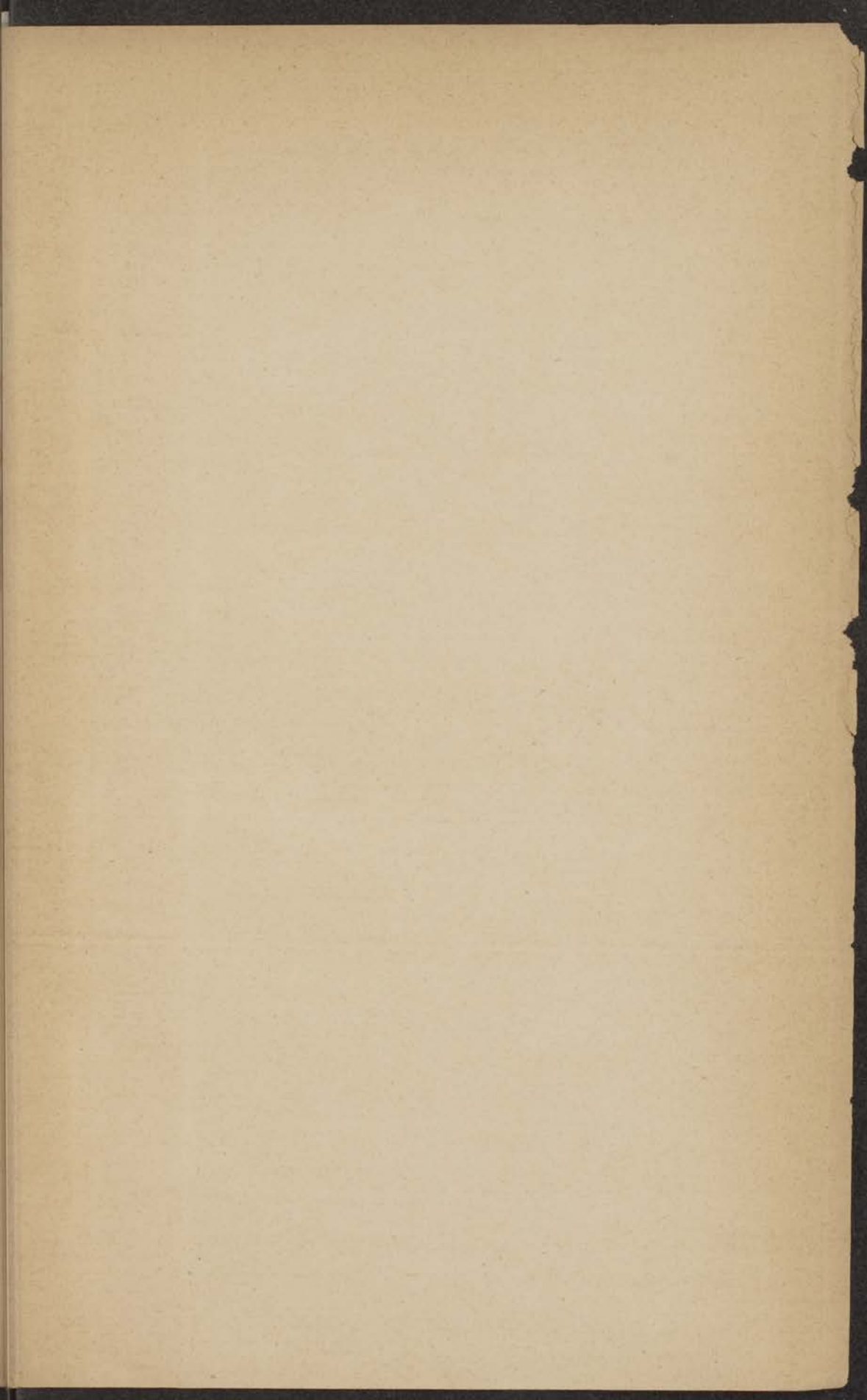
14. Bij het verklaren van de spectra der sterren zal rekening gehouden moeten worden met resonantiestraling.

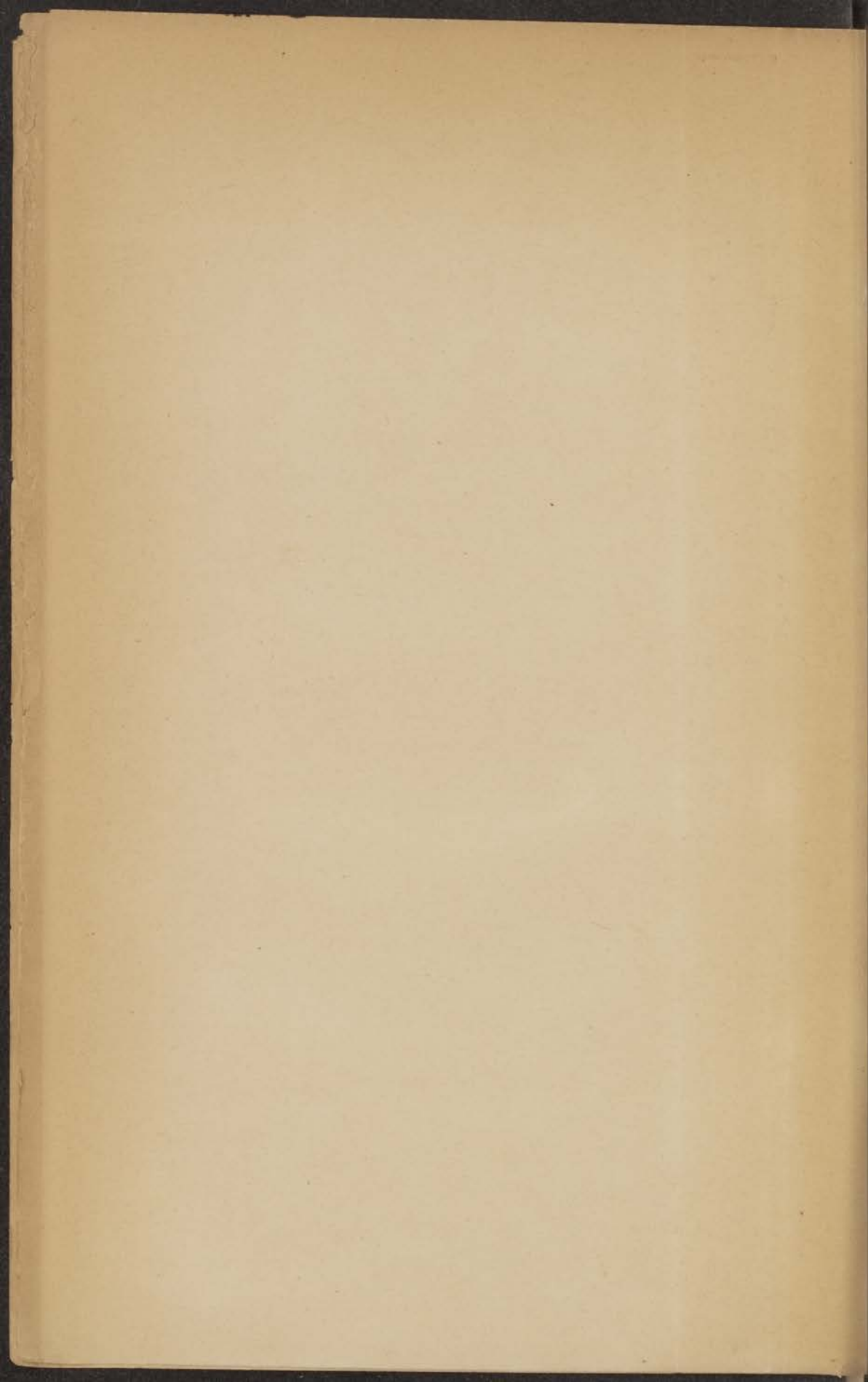
15. Het licht dat men met gesloten oogleden waarneemt is niet rood, zooals men zou verwachten, maar „wit", d.w.z. kleurloos.

INHOUD.

	Blz.
HOOFDSTUK I. INLEIDING	1
§ 1. Emissie- en absorptie-spectra	1
§ 2. Overzicht van de verschillende soorten vaste lichamen met een discontinu spectrum	5
§ 3. Magnetische draaiing van het polarisatievlak	6
HOOFDSTUK II. EXPERIMENTEEL ONDERZOEK. WAARNEMINGS METHODEN	8
§ 1. Verwezenlijking van de lage temperaturen	8
§ 2. Het onderzoek van de absorptie banden en van de magnetische draaiing	10
§ 3. Het instrumentarium voor het fluorescentie onderzoek	28
§ 4. De comparator	35
HOOFDSTUK III. RESULTATEN VAN HET EXPERIMENTEEL ONDERZOEK	37
§ 1. Zeldzame aarden	37
§ 2. De uranyl-zouten	40
HOOFDSTUK IV. THEORETISCHE BESCHOUWINGEN	52
SAMENVATTING	67







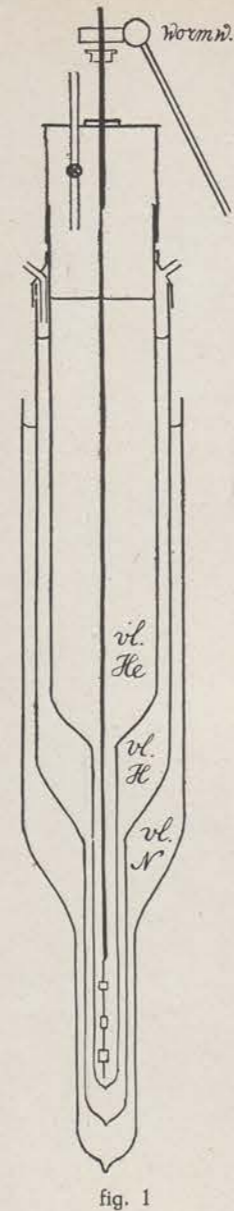


fig. 1

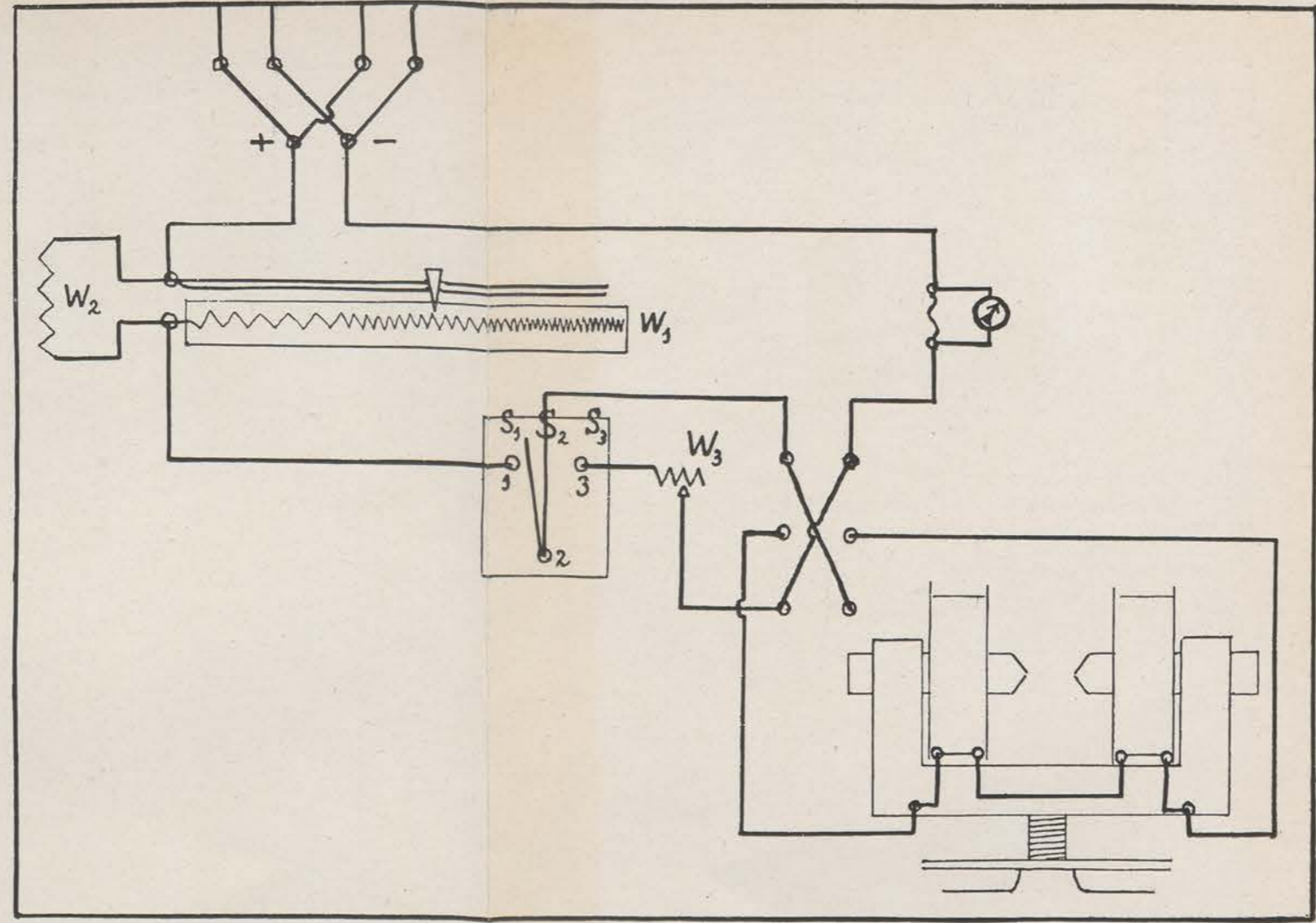
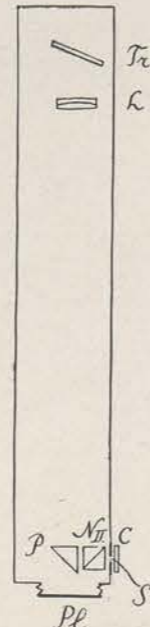


fig. 2



Bij figuur 3:
 Opstelling voor het onderzoek van de magn. draaiing en van de abs.-banden.
 B Booglamp
 L₁ t.m. L₅ lenzen
 K kristal in den cryostaat, tusschen de poolschoenen v.d. magneet
 C compensator van Babinet, M micaplaatje $\frac{1}{4} \lambda$
 N_I en N_{II} nicols
 Links: de spectrograaf met: S spleet, P totaal reflect. prisma
 L achrom. lens, Tr. tralie, Pl. fotografische plaat in den plaathouder.

fig. 3

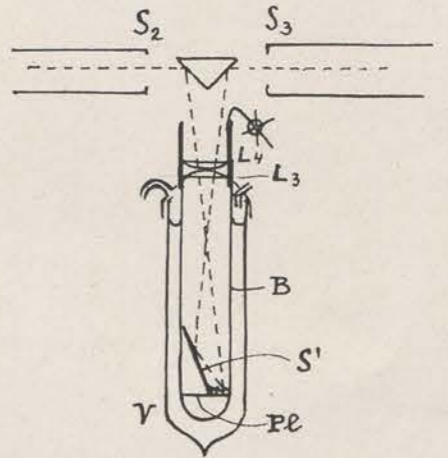
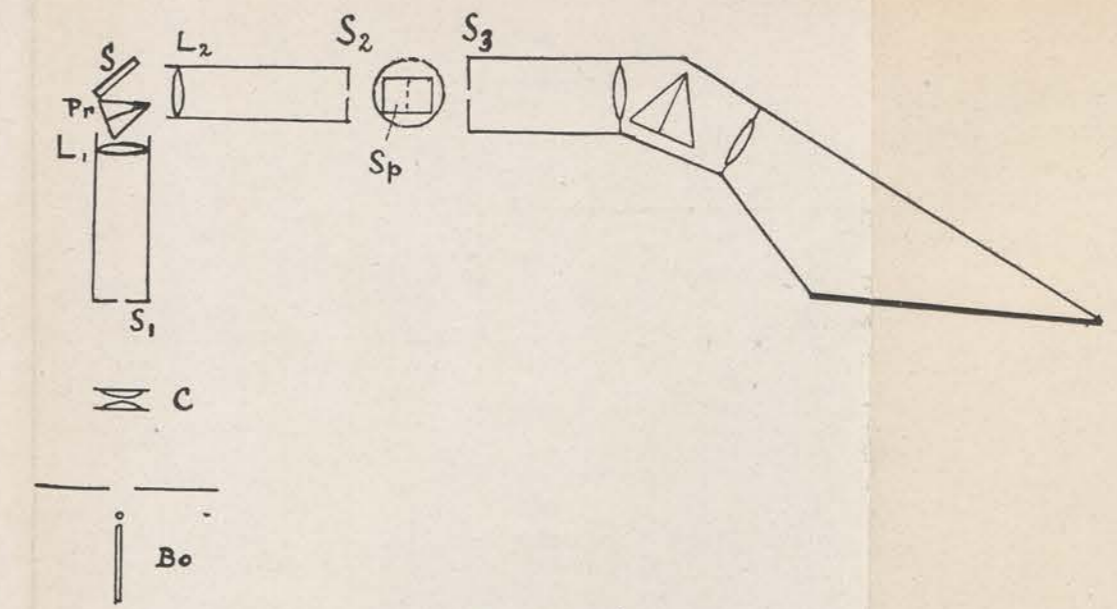


fig. 4

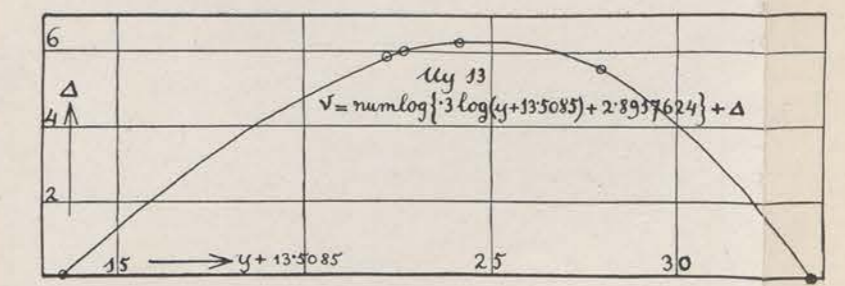
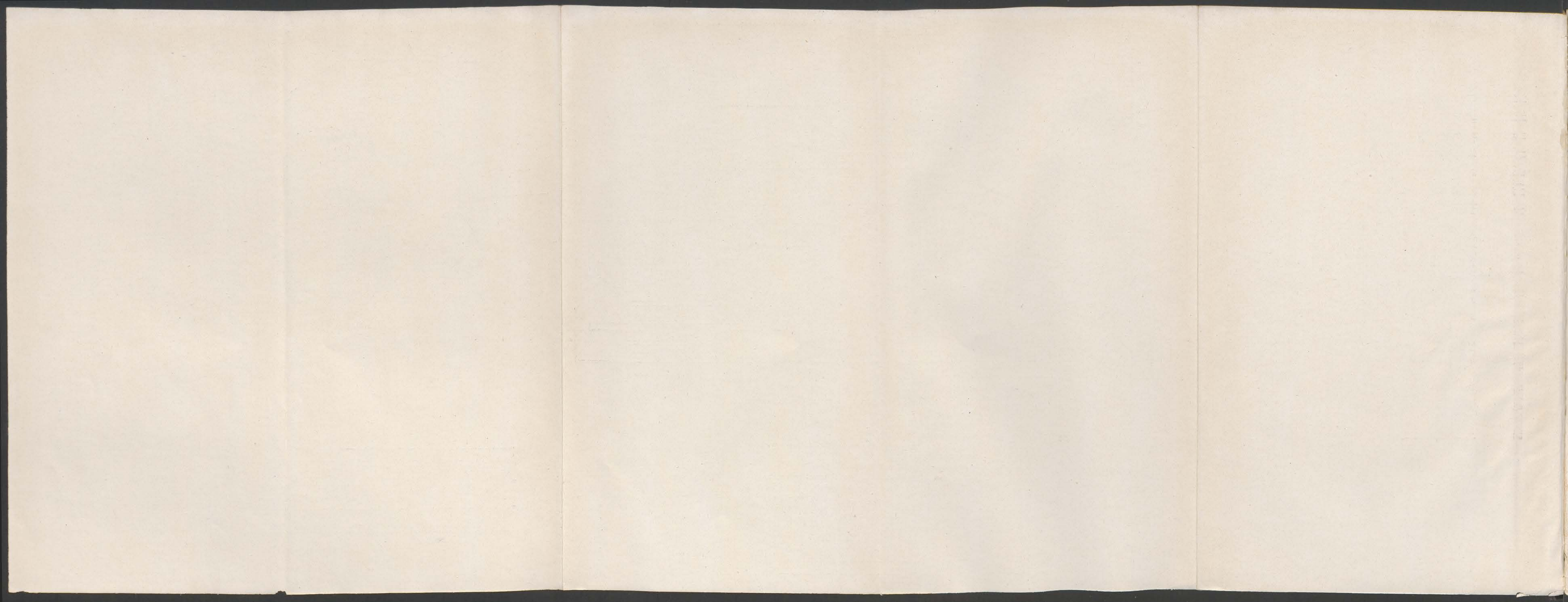


fig. 5



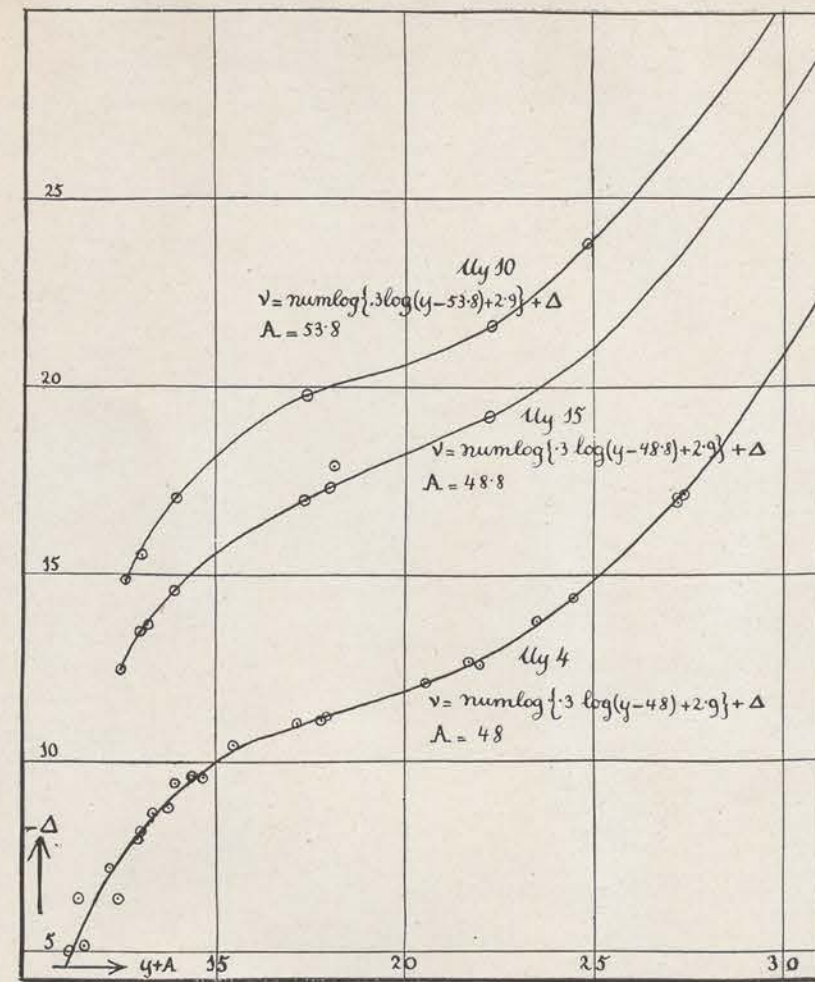


fig. 6

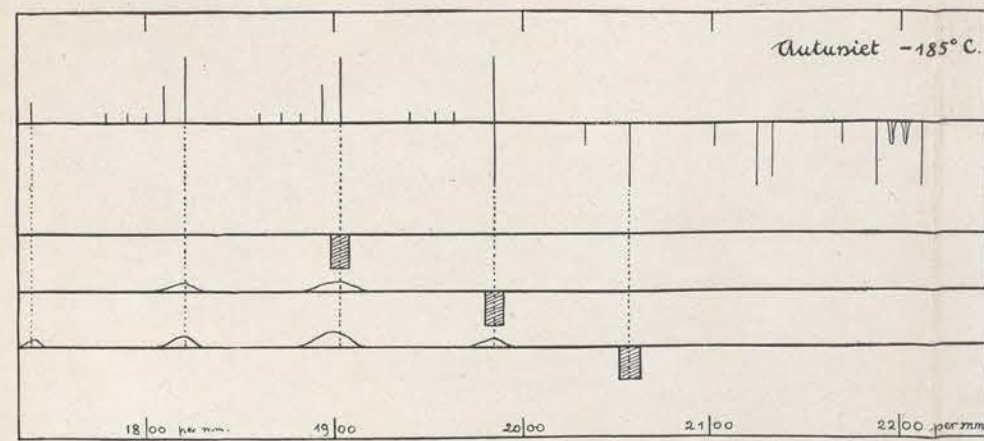


fig. 7

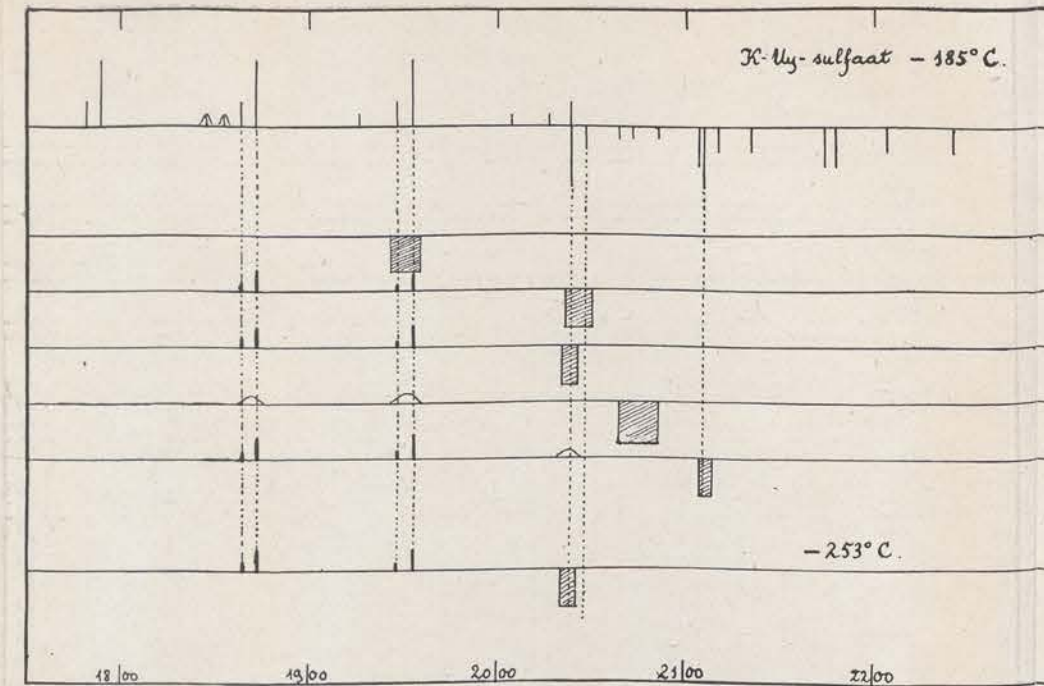


fig. 8

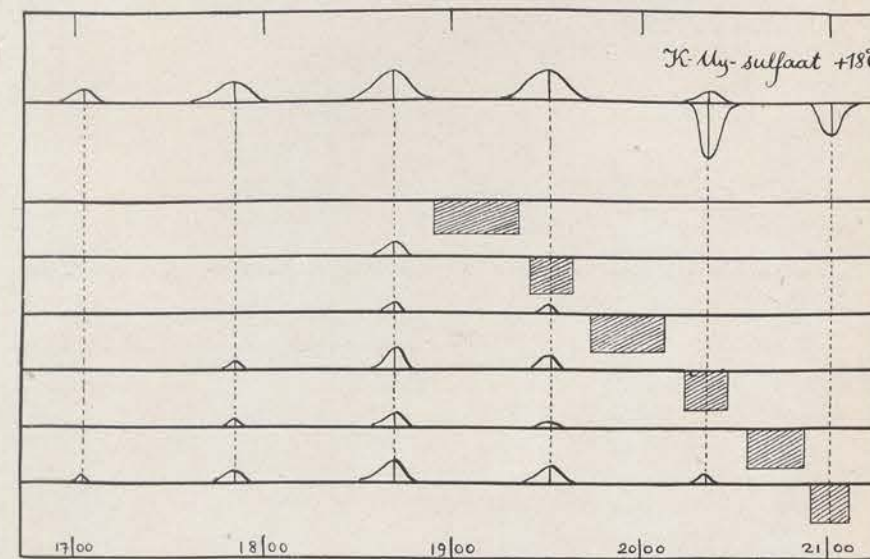


fig. 9

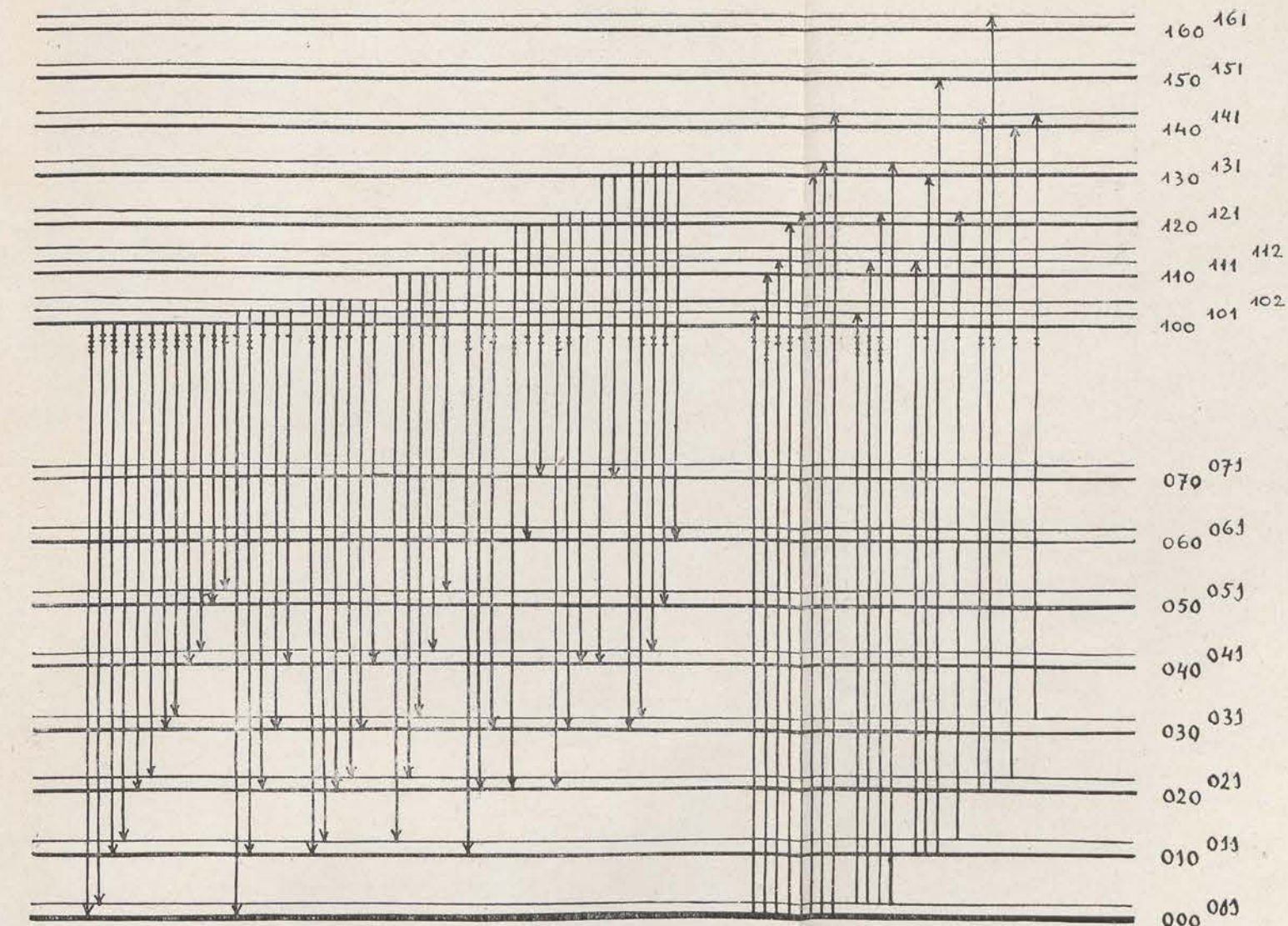
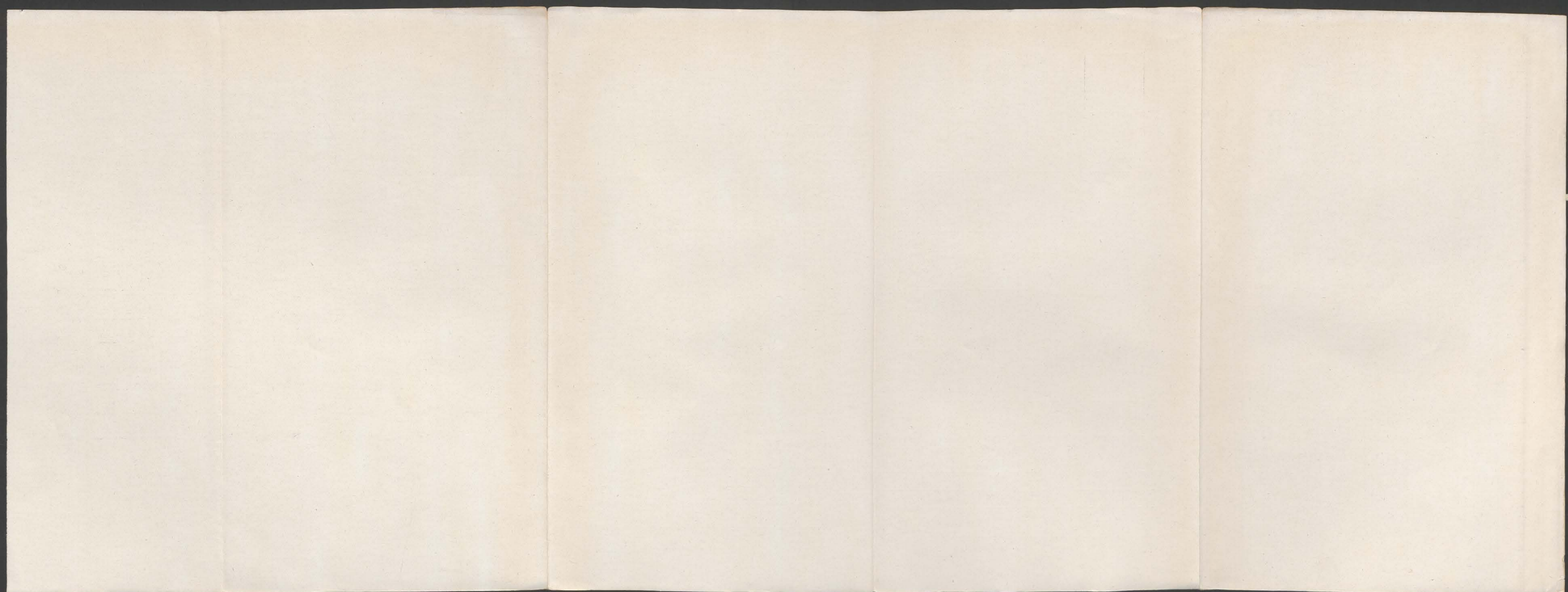


fig. 10



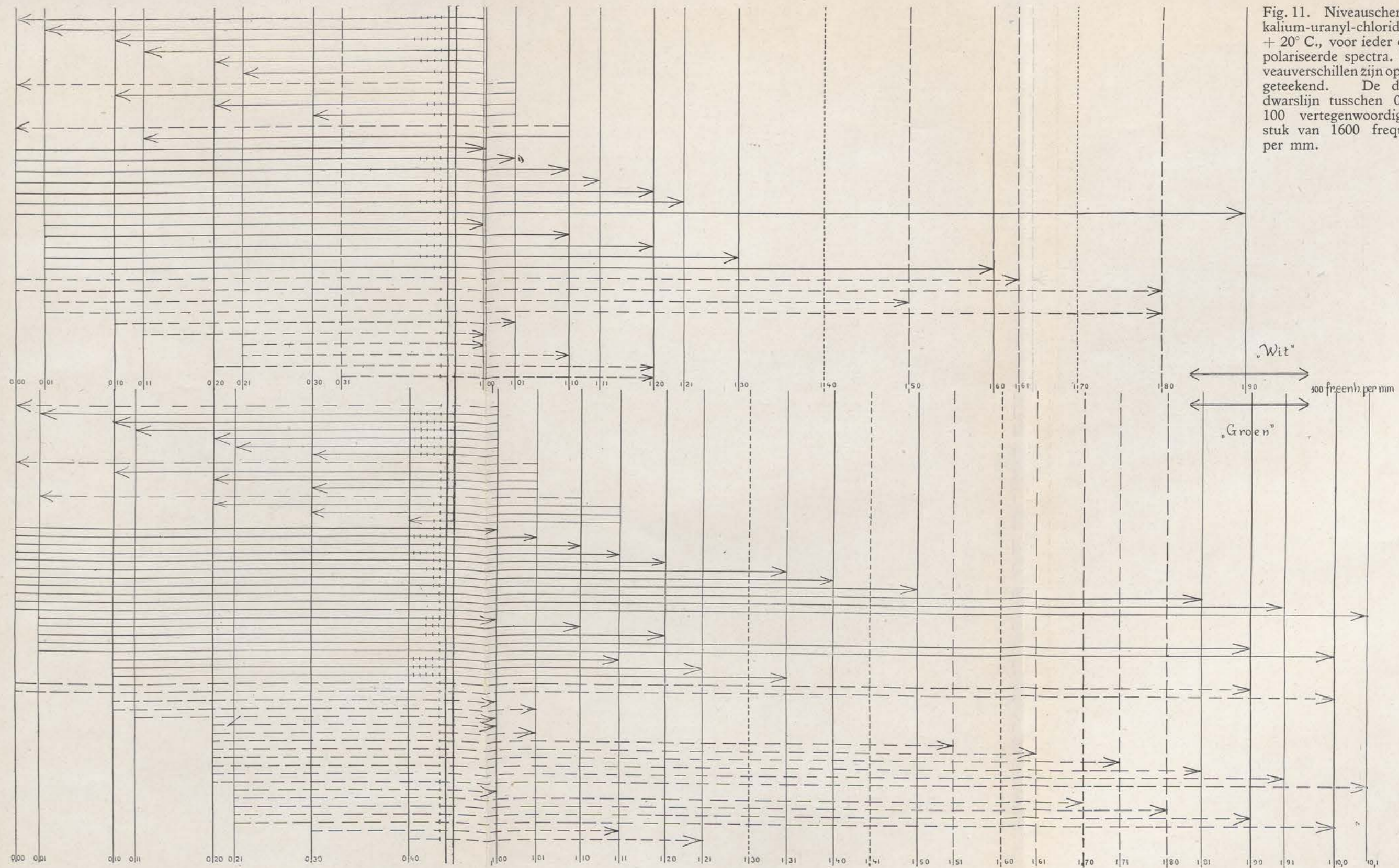


Fig. 11. Niveauschema van kalium-uranyl-chloride bij + 20° C., voor ieder der gepolariseerde spectra. De niveaoverschillen zijn op schaal geteekend. De dubbele dwarslijn tusschen 040 en 100 vertegenwoordigt een stuk van 1600 frequenties per mm.

