



Intensiteitsmeting in het heliumspectrum eener gecondenseerde ontlading

<https://hdl.handle.net/1874/313735>

INTENSITEITSMETING IN HET
HELIUMSPECTRUM EENER GECON-
DENSEERDE ONTLADING.

Diss.
Utrecht

1933

222

INTENSITEITSMETING IN HET HELIUMSPECTRUM EENER GECON- DENSEERDE ONTLADING.

PROEFSCHRIFT

TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD VAN DOCTOR
IN DE WIS- EN NATUURKUNDE AAN DE RIJKS-
UNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN
RECTOR-MAGNIFICUS Dr. C. G. N. DE VOOIJS,
HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER LETTEREN
EN WIJSDERGEERTE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN
SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDEN-
KINGEN VAN DE FACULTEIT DER WIS- EN NA-
TUURKUNDE TE VERDEDIGEN OP MAANDAG 3
APRIL 1933 DES NAMIDDAGS TE 4 UUR, DOOR
HERMAN PIETER BOUWMAN
GEBOREN TE ROOSEDAAL (N. Br.)

DRUKKERIJ G. J. WILLEMSE, DOMPLEIN 11, UTRECHT.

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

AAN MIJN VROUW.

Bij het beëindigen van dit proefschrift is het mij een behoefte U, Hooggeleerde de Vries, Nijland en Moll mijn oprechten dank te betuigen voor het van U genoten onderwijs.

Dankbare herinneringen bewaar ik nog aan de nagedachtenis van de Hooggeleerden Julius en Kapteijn.

Voor allen gaat echter mijn dank uit naar U, Hooggeleerde Ornstein, hooggeachte Promotor, voor al wat gij tot mijn wetenschappelijke vorming hebt bijgedragen en bovenal voor de leiding en steun gedurende zoo langen tijd van U ondervonden bij het onderzoek waarvan dit proefschrift het resultaat is. Uw voortdurende belangstelling zoowel in het werk als in de persoon van Uw leerlingen, maakt dit werk aangenamer en spoort aan tot volhouden in moeilijke oogenblikken.

Zeergeleerde van Cittert voor de van U in velerlei opzichten genoten raad en medewerking, die ik niet licht zal vergeten, betuig ik U mijn welgemeenden dank.

U, waarde Willemse dank ik hartelijk voor de vele, steeds zoo grif verleende hulp bij ontwerp en constructie der apparaten. Voor Uw blijvende vriendschap houd ik mij aanbevolen.

Ten slotte mijn dank aan allen, die mij op eenigerlei wijze bij mijn onderzoek behulpzaam zijn geweest.

INHOUD.

	bladz.
Hoofdstuk I. Inleiding	9
Hoofdstuk II. Principe der methode	11
Hoofdstuk III. De definitieve opstelling	15
Hoofdstuk IV. Voorloopige metingen van enkele lijnen met verzwakkers	22
Hoofdstuk V. Definitieve meting van een aantal lijnen bij een bepaalde Heliumdruk	27
Hoofdstuk VI. Metingen bij verschillende gasdruk	36
Hoofdstuk VII. Enkele vergelijkende metingen met de pyrometer-methode	51
Hoofdstuk VIII. Breedtemeting bij λ 4922 $\text{\AA}$ (2P—4D) bij 20 m.m. gasdruk	55
Samenvatting	64

HOOFDSTUK I.

INLEIDING.

In de laatste jaren zijn vele onderzoeken omtrent de intensiteiten der lijnen in het He-spectrum bij verschillende condities gedaan.

Een overzicht daarvan vindt men in *D. Burger*, Onderzoeken in het spectrum van Helium. Diss. Utrecht 1928, blz. 44—58.

Als latere onderzoeken zijn nog te noemen de onderzoeken van Hodges and Michels. *Intensity measurements in the He-spectrum*. Phys. Rev. 32 — 913 — 1928.

Deze schrijvers hebben een 13-tal lijnen gemeten bij variaties in vullingsdruk van 1.92—34.2 m.m. Hg.

En tenslotte de metingen van W. Elenbaas: *Intensiteitsmetingen in het Heliumspectrum*. Diss. Utrecht 1930.

Elenbaas bepaalde de optische aanslagfunctie en de polarisatietoestand van een 12-tal lijnen in het zichtbare spectrum, waaronder de vonklijn.

De door hem gebruikte methode is deze, dat het gas tot emissie wordt gebracht door het zenden van electronen, van een gloeispiraalkomstig, in een veldvrije ruimte, waarin zich Helium bevindt. De electronensnelheid en de gasdruk konden gevarieerd en gemeten worden.

Tot nu toe ontbreken evenwel onderzoeken over den invloed van de stroomdichtheid op de intensiteit van de uitgezonden spectraallijnen, speciaal bij groote stroomdichtheden, zooals deze te verkrijgen zijn met gecondenseerde ontladingen.

Verloopen daar de intensiteiten, zooals in eerste benadering te verwachten is, evenredig met de stroomdichtheid of treden andere verschijnselen op.

Bij overigens *constante omstandigheden* zal de energie-emissie van een bepaalde lijn evenredig zijn met het aantal aanwezige emissie-centra per volume-eenheid.

Neemt nu in een ontladingsbuis de stroomdichtheid toe, d.w.z. neemt het aantal electronen toe, dat door botsingen tegen de gas-

atomen de lichtemissie veroorzaakt, dan ligt het voor de hand, dat daarmee ook evenredig de uitgezonden energie van iedere spectraallijn zal toenemen.

In een ontladingsbuis is het evenwel onmogelijk alleen de stroomdichtheid te veranderen zonder dat ook de andere omstandigheden daardoor beïnvloed worden.

De volgende invloeden zullen of kunnen zich doen gelden:

- 1e. Bij grootere stroomdichtheid in de ontladingsbuis zal het potentiaal verval in de buis groter kunnen worden, vooral bij het inzetten van de ontlading.
- 2e. Bij zeer groote stroomdichtheden zijn er veel meer electronen per volume-eenheid gedurende de ontlading. Er zullen tegen eenzelfde atoom meer botsingen optreden, voordat het aangeslagen atoom weer in zijn stabiele toestand is.
- 3e. Sterkere ionisatie van het gas zal dus kunnen optreden, waardoor interatomaire velden ontstaan.
- 4e. Andere veldverdelingen kunnen in de capillair optreden.

Door deze omstandigheden zal de bij eerste benadering te verwachten evenredigheid verloren gaan.

De lijnen uit verschillende series zullen verschillend beïnvloed kunnen worden, terwijl dit ook met de lijnen uit één serie het geval kan zijn, en bovendien zullen Stark-effecten kunnen optreden, tengevolge van de ionisatie van het gas.

Het doel van ons onderzoek is experimenteel te bepalen hoe in een ontladingsbuis van de gebruikelijke vorm — een Geiszler'sche buis — de intensiteit van de uitgezonden lijnen samenhangt met de stroomdichtheid.

Omdat de bovengenoemde verschijnselen ook beïnvloed kunnen worden door een verschil in de druk van het gas, zijn voor een aantal lijnen de metingen bij verschillende druk gedaan.

Uit de lijnverbredingen, die bij de grootere drukken optreden, was te concludeeren tot het bestaan van sterke inter-atomaire velden, daar de verbreding wel aan Stark-effect moet worden toegeschreven.

Getracht is daarom in een enkel geval de verbreding van de lijn te volgen.

HOOFDSTUK II.

Principe der methode. ¹⁾

Allereerste metingen. — Bezwaren daartegen.

Nadat verschillende pogingen waren gedaan om een regelbare stroomdichtheid in de capillair van een Geiszler-buis te verkrijgen, o.a. door gebruik te maken van een Wommelsdorf-electriseermachine, die geen van alle bevredigend resultaat opleverden, zijn we tenslotte uitgegaan van het volgende beginsel:

Laat men in een ontladkring de capaciteit en de zelfinductie constant en verandert men alleen de ontladingsspanning, dan zal de stroomdichtheid vrijwel evenredig met de ontladingsspanning veranderen.

Om dit te bereiken gebruikten we de volgende opstelling.

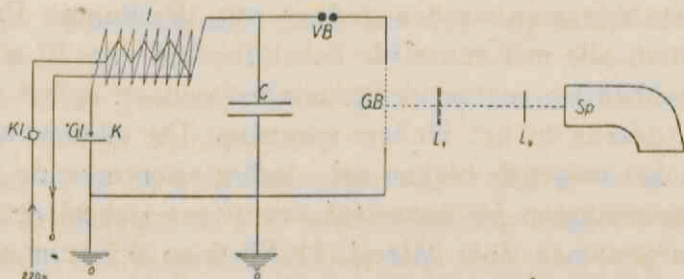


fig. 1.

Een condensator C wordt ontladen door een verstelbare vonkenbaan VB (zie fig. 1) en een Geiszler-buis ($G.B.$)

Als condensator werd gebruikt een cilindrische Leidsche flesch, hoogte van de bekleedsels 30 c.m., straal $6\frac{1}{2}$ c.m., dikte van het glas 0,4 c.m.

De vonkenbaan had 2 bolvormige electroden van 0,5 c.m. middellijn en was naast de condensator afzonderlijk opgesteld.

Daar bij het begin van ons onderzoek nog geen buizen van be-

¹⁾ Vgl. Bouwman: de invloed der stroomdichtheid op de intensiteit van uitgezonden spectraallijnen. Physica III, blz. 183 — 1923.

kende druk voorhanden waren, zijn de eerste metingen gedaan met buizen uit den handel van een onbekende druk.

De condensator werd geladen door den secundaire stroom van een groote inductieklos (*I.*). Daartoe was de secundaire stroom gelijkgericht door aan het andere uiteinde van de draad een gelijkrichter aan te brengen naar aarde.

Als gelijkrichter is gebruikt een speciale Philips' hoogspanningsgelijkrichter (*K*) met gloeikathode, gloeispanning 10 volt, gloeistroomsterkte 8,3 Amp. maximaal.

De klos werd gevoed met 220 V. gelijkstroom met roteerende kwikinterruptor.

De capillair der buis werd via rookglasverzwakkers, die zich tegen de lens *L1* bevinden en de lens *L2* afgebeeld op de spleet van een Fuesz-glas-spectograaf.

De lens *L1* werkte daarbij als condensor, de lens *L2* als afbeeldingslens.

De verhouding der intensiteiten werd uit de verkregen zwartingskrommen bepaald op de gebruikelijke wijze. ¹⁾

De eerste opnamen werden gedaan met Wellington Panchromatische platen, alle met eenzelfde belichtingstijd van 20 minuten.

Eerst hebben we eenige waarnemingen gedaan in het waterstofspectrum, daarna in het Helium-spectrum. De uitkomsten hebben, zooals uit het volgende blijken zal, slechts oriënteerende waarde.

De waarnemingen bij waterstof bevestigen geheel de verschijnselen waargenomen door Wood. ²⁾ Bij 0 en 0,5 m.m. vonkengte trad het veellijnig spectrum helder, dat der Balmer-lijnen zwak op.

Bij 1 m.m. werden de lijnen der Balmer-serie sterker, het veellijnig spectrum zwakker, bij 1,5 en 2 m.m. vonkengte verdween het veellijnig spectrum bijna geheel en werden de Balmerlijnen intens, wat te verwachten was, omdat bij kleine stroomdichtheden het molecuulspectrum, bij grootere het atoomspectrum overheeft.

Bij verdere vergrooting der vonkengte trad een sterke verbreeding der Balmerlijnen op, waarschijnlijk als gevolg van een Stark-effect in de interatomaire velden.

1) Vgl. Ornstein — Moll — Burger. Objective Spektralphotometrie. Vieweg Braunschweig 1932, in het vervolg geciteerd als: Ornstein l.c.

2) R. W. Wood. Atomic hydrogen and the Balmer-serie-spectrum. Phil. mag. 44 — 1922.

Werden buisjes met een andere gasdruk gebruikt, dan waren deze verbredingen geheel anders. Ook bijmengsels veranderden de verschijnselen zeer, zoodat bij definitieve onderzoeken sterk op de zuiverheid van het betreffende gas is te letten.

Beide waarnemingen waren overeenkomstig die van Hulbert ¹⁾ en Newman ²⁾.

De verschillende lijnen werden verschillend beïnvloed.

Van de waarnemingen bij Helium zij alleen vermeld, dat de lijn 4686 Å een sterke afwijking vertoonde van de andere lijnen en veel sterker in intensiteit toenam bij stijgende stroomdichtheden, een waarschijnlijk verloop, daar deze lijn tot het vonkenspectrum van He behoort, terwijl de andere waargenomen lijnen booglijnen zijn.

Dat deze stijging sterk van de omstandigheden afhangt zou in het verdere onderzoek blijken.

Wilden we nauwkeurige waarnemingen omtrent het intensiteitsverloop der spectraallijnen doen, dan kleeften groote bezwaren aan de oorspronkelijke opstelling en waren de in het geding tredende grootheden te weinig gedefiniëerd.

De in het voorloopig onderzoek aan den dag getreden bezwaren waren de volgende:

1e. Bleek het gewenscht over grootere stroomdichtheden in de capillair te kunnen beschikken.

Daarvoor bezat de gebruikte condensator een te kleine capaciteit en was de zelfinductie van de ontladingsketen te groot, zoodat ook de trillingstijd een te groote waarde had.

Door verder opvoeren van de ontladingsspanning was het niet mogelijk de gewenschte grootere stroomdichtheden te verkrijgen, omdat dan bij de gebruikte condensator doorslag optrad.

2e. De ontladingsspanning van de vonkenbaan was slechts weergegeven in de elektrodenafstand en daaruit slechts bij grove benadering af te leiden. Het meten van deze spanning was noodig.

3e. De temperatuur van de capillair was niet constant en nam bij de gebruikte opstelling sterk toe bij toenemende stroomdichtheden.

Dit is een ernstig nadeel, omdat in de eerste plaats de gasdruk

1) Hulbert: The broadening of the Balmer series lines with pressure. Phys. Rev. 22 — blz. 24 — 1923.

2) Newman. The visibility of individual spectra. Phil. mag. 45 — 1923.

in de capillair daardoor beïnvloed wordt, maar ook, omdat de energie-ontwikkeling per tijdseenheid in de capillair dan niet constant is.

Bij bepaalde energietoevoer zal de capillair ook een bepaalde stationnaire temperatuur aannemen. Kan omgekeerd gezorgd worden dat deze temperatuur constant blijft, dan is ook de per tijdseenheid toegevoerde energie constant.

4e. Maken we de opnamen, zooals boven, bij een constante belichtingstijd, dan is het aantal ontladingen, dat waargenomen wordt, zeer verschillend.

Daar juist de per ontlading uitgestraalde intensiteit een karakteristieke grootheid is, is de onder punt 4 genoemde wijze van opnemen ontoelaatbaar.

We moesten dus trachten een opstelling te verkrijgen waarin al de genoemde bezwaren werden vermeden. Deze wordt in het volgende Hoofdstuk beschreven.

HOOFDSTUK III.

§ 1. De definitieve opstelling. ¹⁾

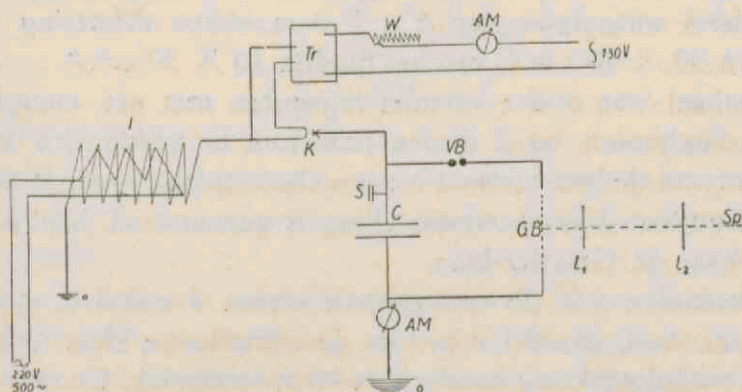


fig. 2

In fig. 2 is de definitieve opstelling weergegeven. Het inductorium werd gevoed door 220 V. 500 perioden wisselstroom. Een ampèremeter (A) was in de primaire stroom opgenomen.

De secundaire stroom van het inductorium wordt via de gelijkrichter (K) naar de hoogspanningscondensator (C) gevoerd.

De gelijkrichter is naar deze zijde verplaatst, omdat gelijkrichting aan de aardzijde een te groot spanningsverschil met de omgeving gaf en vonkoverslag plaats had.

Om het tempo van lading te kunnen regelen, wat later noodig bleek, moest de gloeistroom regelbaar zijn.

De gloeidraad werd daarom gevoed met behulp van een tusschen primaire en secundaire windingen hoog geïsoleerde olie-transformator (Tr) primair bedreven met 130 V.

In de primaire van de transformator was nu een schuifweerstand (W) en een ampèremeter (AM1) opgenomen.

Bepaald is, dat 8,3 Amp. in de gloeidraad overeenkomt met 1,3 Amp. primair.

¹⁾ Het ontwerp van de elektrische apparaten is hoofdzakelijk van den conservator Willemse afkomstig, die de bouw geleid heeft en ook de ijking grootendeels verrichtte.

Vóór de hoogspanningscondensator is een spanningsmeetinstallatie (S) aangebracht.

Aan de laagspanningszijde (aardzijde) is een milli-ampèremeter ingevoegd, waarmee de gemiddelde ladings- of ontladingsstroom te bepalen is.

De condensator bestond uit 6 tegen 7 metaalbelegsels, gescheiden door dubbel spiegelglas van 6 à 7 m.m. dikte. Afmeting van de glasplaten 30×40 c.m.², van het bladtin 20×30 c.m.²

Het geheel was onder vacuum ingegoten met een mengsel van 1 deel colophonium en 2 deelen paraffine in teakhouten kist. De voorwand van de kist bestond uit een ebonietplaat, waarop een olie-vonkenbaan met micrometer-instelling is gemonteerd, benevens een houder voor de Geiszler-buis.

De electroden van de vonkenbaan waren 2 cirkelvormige electroden van staal, straal 1 c.m. Om de zelfinductie klein te houden, was een ontladingskring noodig van klein oppervlak. Daarom waren de vonkenbaan en Geiszler-buis parallel naast elkaar aangebracht op korten afstand en, om vonkoverslag te voorkomen, gescheiden door een ebonieten wand.

De capaciteit van de condensator is op de volgende wijze bepaald (kennis van de waarde was noodig voor het ijken van de spanningsmeetinstallatie.).

Een precisie meettransformator 6000/100 volt werd met zijn hoogspanningszijde aan de condensator verbonden. De primaire van de transformator was verbonden met het 130 V. wisselstroomnet met tusschenschakeling van een voltmeter en frequentiemeter. In de aardleiding van de condensator was opgenomen een wisselstroommeter van Moll. De thermobandjes hiervan waren verbonden met een Siemens-galvanometer zonder voorweerstand.

Volgende aflezingen werden gedaan:

$$V_{\text{prim.}} = 132 \text{ V.}$$

$$\text{frequentie} = 49,7.$$

$$\text{Uitslag van den galvanometer} = 23,0 \text{ m.m.}$$

Daarna werden door den wisselstroommeter achtereenvolgens stroomen gestuurd van 7 en 8 m.amp.; die uitslagen gaven resp. van 20,0 en 26,0 m.m. Hieruit blijkt, dat de galvanometer-uitslagen zuiver kwadratisch van de stroomsterkte afhingen.

Daarna is voor de gemeten uitslag kwadratisch geïnterpoleerd, gevende voor de capaciteitsstroom 7.46 m.amp.

Daar de meettransformator een transformatieverhouding 1 : 60 had was de hoogspanning $60 \times 132 \text{ V.} = 7920 \text{ volt.}$

Hieruit volgde voor de capaciteit van den condensator:

$$C = \frac{I}{V\omega} = \frac{7,46 \times 10^{-3}}{2\pi 7920 \times 49,7} \text{ F}$$

$$C = 0,00303 \mu \text{ F.}$$

§ 2. De spanningsmeetinstallatie.

Het was noodig de spanning van de condensator te kunnen meten op het oogenblik dat de ontlading inzette, dus bij iedere ontlading de topspanning.

Daarom is het niet mogelijk eenig lineair of kwadratisch spanningsmeetinstrument direct aan de toeleiding te verbinden, omdat dan slechts een gemiddelde waarde van de spanning over den tijd wordt gegeven, die bovendien nog afhankelijk zou kunnen zijn van de omstandigheden in de ontladkring.

Om de topspanning te kunnen meten moesten we dus door middel van een of meer ventielen een tweede condensator een spanning geven, evenredig met de topspanning van de hoofdcondensator en de spanning van deze tweede meten.

Om de tenslotte op deze wijze te meten spanningen niet te groot te doen zijn en met kleine gelijkrichters toe te kunnen, was het noodig een spanningsdeeling tot stand te brengen.

Oorspronkelijk was daarvoor de volgende opstelling ontworpen: (fig. 3a)

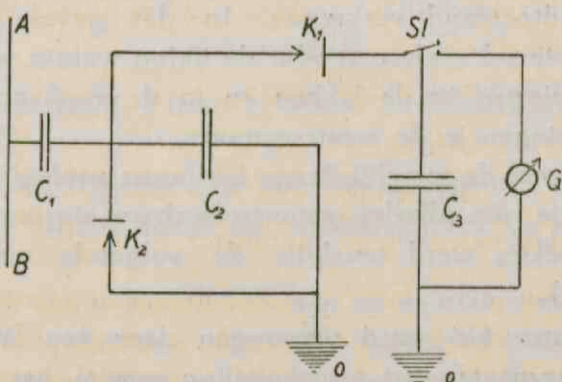


fig 3a.

Aan de toevoerleiding AB van de hoofdcondensator was een luchtcondensator van kleine capaciteit $C1$ aangebracht. Deze was op zijn beurt via een grootere condensator $C2$ aan aarde gelegd. De aan de condensator optredende spanningen verhouden zich nu omgekeerd als hunne capaciteiten.

De hoogspanningszijde van $C2$ werd nu door middel van een gelijkrichter $K1$ en een morsesleutel S aan een derde condensator $C3$ verbonden. Wilde evenwel de laatste condensator werkelijk de maximum potentiaal aannemen, die de tweede condensator kreeg, zonder dat deze met de laatste was verbonden, dan diende de via het ventiel afgevoerde lading op de tweede gesuppleerd te worden. Dit geschiedde via het ventiel $K2$ uit de aarde.

De gemeten eindspanning is nu evenredig met de topspanning van de hoofdcondensator bij de ontlading.

Om de potentiaal van de laatste condensator te meten werd deze door de sleutel S en de galvanometer G ontladen.

Deze opstelling bleek in de praktijk slecht te voldoen, daar de volgende moeilijkheden zich voordeden:

Om namelijk voldoende snel een stationnaire toestand te bereiken moest de derde condensator klein zijn; wilde men dan nog voldoende gevoeligheid verkrijgen, zoo moesten de gebruikte spanningen hoog worden. Dit was voor de gebruikte gelijkrichters bezwaarlijk, daar dan de gloeidraden slap gingen hangen. (Oorspronkelijk werden Philips' E lampen gebruikt met verbonden rooster en plaat, later zijn in het laboratorium speciaal vervaardigde gelijkrichters gebruikt met een gloeispanning van 4 V.).

Verlaagde men de spanning, dan was bijv. na 300 sec. nog geen stationnaire eindtoestand verkregen. In dat geval gaan kleine lekken een groote rol spelen, zoodat de ijking weinig waarde bezit. Kleine veranderingen in de lekken en in de vonksnelheid geven groote veranderingen in de meetconstante.

Bovendien gaven de tamelijk lange leidingen aanleiding tot hoogfrequent inductie, die allerlei oncontroleerbare storingen gaven.

Na eenig zoeken werd tenslotte de volgende opstelling gebruikt. (fig. 3b).

De condensator $C3$ werd vervangen door een Braun-electrometer, de galvanometer met omschakeling verviel, het geheel werd in een kooi geplaatst, direct achter de hoogspanningscondensator.

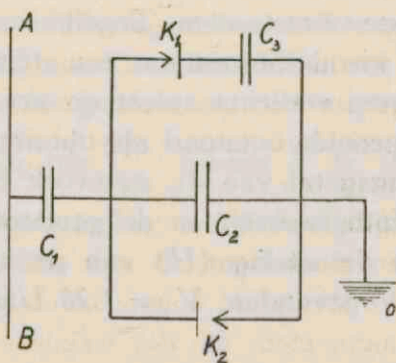


fig. 3b.

Onderzoek naar den invloed van lekken wees uit, dat de meest verschillende vonksnelheden identieke waarden voor de ontladings-spanning gaven.

In de gebruikte gebieden was dus de invloed van lekken te verwaarloozen. Later bleek het noodig, vooral bij hooge spanningen, de meetapparatuur droog te houden, hetgeen door een „Föhn” geschiedde.

De stationnaire toestand werd snel bereikt. Praktisch bleek deze overeen te komen met den insteltijd voor de Braun-electrometer (ongeveer 15 sec.).

De volgende overwegingen leidden tot een methode van ijking van het toestel.

Stel de ontladingsspanning V , het vonkaantal per sec. n en de capaciteit van de condensator C , dan zal men op de milli-ampèremeter, die in de aardleiding van de condensator is opgenomen, een gemiddelde ontlaadstroom aflezen, zoodanig dat:

$$i = nCV.$$

C was reeds bepaald, i is af te lezen; meet men nog n , dan vindt men hieruit V .

Leest men nu tegelijkertijd nog de uitslag van de electrometer af, dan volgt hieruit direct de constante voor de spanningsmeetinstallatie.

Het bepalen van n geschiedde door op de plaats van het Geiszlerbuisje twee vonkpolen aan te brengen op korten afstand van elkaar. Bij iedere ontlading springt hier een vonk over. Deze vonk is afgebeeld op het papier van een sneldraaiende registreertrommel, zoodat

daarop een reeks stippen ontstonden. Tegelijkertijd werd door een spiegeltje, dat op een van de beenen van een stemvork was geplakt, een, door een booglamp verlichte spleet op het papier afgebeeld, zoodat daarop een sinusoïde ontstond als tijdmerk. Op soortgelijke wijze werd het trillingsgetal van de stemvork bepaald.

Uit de gemaakte fotogrammen en de gemeten stroomsterkte is als verband tusschen de uitslag (U) van de electrometer en de ontladingspotentiaal V gevonden. $V = 1,28 U \text{ kV}$.

§ 3. De temperatuurmeting van de capillair.

Om de temperatuur van de capillair te meten werd aan de aardzijde van de capillair van de ontladingsbuis een van de contactplaatsen van een thermo-element bevestigd door middel van een houten klem. De draden werden eenige malen om de capillair gewonden en met de klem vastgezet.

Het thermo-element bestond uit een koper- en een constantaandraad, die elk aan een roodkoperen blokje waren gesoldeerd, waaraan weer de twee aders van een loodkabeltje met geaarden mantel eveneens gesoldeerd waren. Deze voerden naar een galvanometer via een weerstandsbank met shunt en voorweerstand. Als galvanometer was beschikbaar een Siemens galvanometer, die met een voorweerstand van 700 Ohm en een shunt van 200 Ohm ¹⁾ een goed bruikbare gevoeligheid en geschikte dempingstoestand bleek te verkrijgen.

De temperatuur van de capillair werd constant gehouden, door de weerstand (W) in de primaire leiding van de gelijkrichter (K) (zie fig. 2) te regelen. Immers door een zwakkere gloeistroom is de doorlatings-stroomsterkte van het kenotron kleiner en wordt de condensator C langzamer geladen. Het aantal ontladingen per sec. wordt dus ook geringer, waardoor de temperatuur van de capillair daalt.

Het in het vorige hoofdstuk onder 4 genoemde ernstige bezwaar — dat het aantal ontladingen per gegeven tijd niet gelijk is bij de waarnemingen — werd als volgt ondervangen:

Daartoe overweegt men dat het aantal ontladingen per sec. even-

¹⁾ Later is deze galvanometer vervangen door een Moll-galvanometer met 900 Ohm voorweerstand en 100 in shunt.

redig is met de ontladingsstroomsterkte en omgekeerd evenredig met de ontladingspotentiaal. Willen we dus telkens eenzelfde aantal ontladingen fotografeeren, dan moeten de belichtingstijden varieeren, evenredig met $\frac{V}{i}$, waarin V de ontladingspotentiaal en i de ontladingsstroomsterkte voorstelt. Om de i te kunnen meten was in de aardleiding van de condensator een milli-ampèremeter (AM) opgenomen.

HOOFDSTUK IV.

Voorloopige metingen van enkele lijnen met verzwakkers. ¹⁾ Bezwaren daartegen.

De metingen in dit hoofdstuk beschreven zijn gedaan met buizen uit den handel met een onbekende druk gevuld. Spectroscopisch bleek, dat het Helium in de buizen zuiver was, zoodat van verontreinigingen van de gasvulling geen fouten te verwachten zijn.

De opnamen zijn gedaan op Ilford-Special rapid panchromatische platen, als ontwikkelaar werd gebruikt 1 deel glycine op 2 deelen water. De ontwikkeltijd was 6 minuten.

Als verzwakkers zijn gebruikt rookglasverzwakkers, die wij voor de verschillende golflengten geijkt hadden op hunne doorlaatbaarheid.

De spectra zijn opgenomen met een breede spleet. De verhoudingen der intensiteiten mogen dan uit de topzwartingen worden afgeleid, zoolang de breedte van de lijn constant is. Dit was bij de gebruikte buizen en opgenomen lijnen in voldoende mate het geval.

Op de platen was verder als intensiteitsmerk het spectrum van een geijkte standaardlamp opgenomen.

Uit de zwartingskrommen werden op de hier gebruikelijke, meermalen beschreven wijze ²⁾ de intensiteiten afgeleid, uitgedrukt in de relatieve energieën van de energetisch geijkte standaardlamp.

Wilden we nu bij een zekere spanning een opname maken, dan gingen we aldus te werk:

De vonkenbaan werd zoolang uitgeschroefd, tot we met de meetinstallatie de verlangde potentiaal waarnamen. Daarna werd de temperatuur-aanwijzing opgenomen en vergeleken met die van de vorige opname. Deze versilde in het algemeen daarvan.

Nu werd de gloeiweerstand (w) zoolang gewijzigd, totdat de aanwijzing met de vorige voldoende overeenstemde en na eenigen

1) Vergl. Ornstein en Bouwman. Verlauf der Intensität im Heliumspektrum bei kondensierten Entladung. Ztschr. f. Phys. 43, blz. 839, 1927.

2) Vgl. Ornstein l.c.

tijd (± 5 min.) gecontroleerd. Vervolgens werd de ontladingsstroomsterkte opgenomen en de verhouding $\frac{V}{i}$ berekend.

Uit deze verhouding en die van een vorige opname werd dan de benodigde expositietijd vastgesteld. De volgende tabel (1) geeft een overzicht van de bij een bepaalde plaat gedane waarnemingen.

TABEL I.

Helium buis I		Plaat G V 0 st. temp. 14		
Stroomsterkte prim.	Stand. Lamp $V=2,59V$	2,4 A	2,4	2,4
Gloeistroomsterkte		1,05 A	1,03	1,01
Ontladingsstroomsterkte		7m. A	4,5	3
Stand Vonkenbaan		1-8	2-9	3-4
Ontladingspotentiaal		5 kV	10	15
$\frac{V}{i}$		0,71	2,22	5
Belichtingstijd	2"	3' 30"	10'	24'
Spleetbreedte	15	15	15	15
Temperatuur		8,5	8,5	8,5

De resultaten van deze voorloopige metingen van eenige lijnen geeft tabel 2.

De horizontale rij *a* geeft telkens de intensiteit van de lijn vergeleken bij die van de standaardlamp voor dezelfde golflengte; rij *b* geeft de relatieve energieën, afgeleid uit de energie-golflengtekromme van de gebruikte standaardlamp.

De lijnen zijn zoo gekozen, dat we voor hen zoowel de verzwakkers als de standaardlamp gebruiken konden.

De intensiteit bij 500 V is niet betrouwbaar, omdat de belichtingstijd niet voldoende aangepast is, wat noodig was, daar anders bij de hogere spanningen een te groote belichtingstijd gebruikt had moeten worden.

Een grafische voorstelling van deze resultaten geeft fig. 4.

TABEL 2.

λ in Å	5016	4922	4713	4686	ontladingssp.
Serie No.	2S—3P	2P—4D	2p—4s	He+Paschen serie 4e term	in volts
a	143	37	42	0	500
b	10	2	2	0	
a	400	267	227	0	7500
b	29	16	10	0	
a	400	300	244	80	12000
b	29	18	11	4	
a	357	250	208	286	14000
b	26	15	9	13	
a	111	75	65	770	16000
b	8	5	3	34	
a	152	92	80	—	19200
b	11	6	4	—	
a	294	182	174	666	21760
b	21	11	8	30	
a	370	270	228	833	29440
b	27	16	10	37	
a	312,5	213	333	1000	32000
b	22,5	13	15	44	
a	300	198	161	>1000	35890
b	22	12	7	>44	

De sterkte der lijnen beweegt zich van een maximum naar een minimum om daarna weer te stijgen; vervolgens schijnen ze, of-

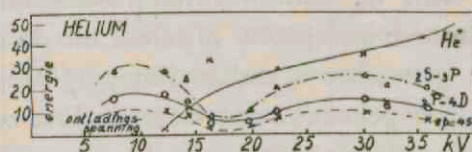


fig. 4.

schoon slechts zeer weinig, naar een minimum te dalen, althans als men van de minder betrouwbare waarneming bij 0,5 kV afziet.

Een uitzondering maakt de He+ ion lijn (4686 Å Paschen-serie)

die pas bij ongeveer 10 kV zichtbaar wordt en dan snel en doorlopend in intensiteit stijgt.

Vergelijken we de lijnen onderling en drukken ze uit in de relatieve energie van de lijn λ 5016 Å (1S—2P) dan verkrijgen we tabel 3.

TABEL 3.

λ in Å	4922	4713	4686
Serie No.	2P—4D	2p—4s	He+Paschen Serie 4e term
500V	20	20	0
7500	55	34	0
8600	61	35	0
12000	62	38	14
14000	58	35	50
16000	62	37	—
19200	55	36	—
21760	52	38	113
29440	58	37	114
32000	53	—	200
35840	54	32	300

In de grafische voorstelling fig. 5 zien we, dat de onderzochte lijnen zich op dezelfde wijze gedragen, terwijl ook hier de He+ ion lijn een uitzondering vormt en gestadig in intensiteit toeneemt.

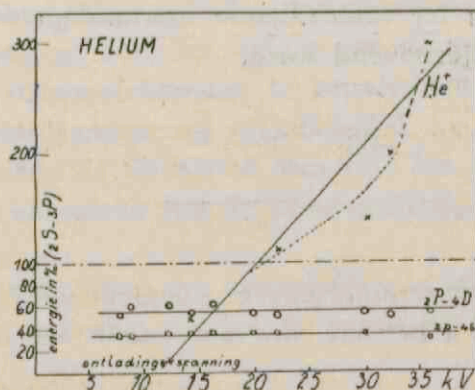


fig. 5.

Aan de gebruikte wijze van opnemen en meten kleefden evenwel nog een aantal bezwaren, waardoor de hier gevonden waarden niet voldoende betrouwbaar zijn en het moeilijk is conclusies uit het materiaal te trekken.

De voornaamste bezwaren waren de volgende:

1. De gasdruk in de buizen was onbekend.
2. De beschikbare verzwakkers bestreken een te klein golflengte-gebied.

3. Door het gebruiken van de verzwakker-methode moeten voor de zwakkere lijnen zeer groote belichtingstijden gekozen worden.

Dit was een belangrijk bezwaar, omdat de groote belichtingstijden juist optreden bij de groote spanningen. De praktijk wees nu uit, dat de condensator een zóó langdurige belichting niet toeliet en ten slotte zelfs doorsloeg, waardoor de opnamen langen tijd onderbroken moesten worden.

4. Het belangrijkste bezwaar, dat ook de grootste invloed had op de betrouwbaarheid der metingen was evenwel het volgende: Om bij een behoorlijk aantal stroomdichtheden te kunnen waarnemen waren vaak 7 à 8 verschillende platen noodig, die met tusschenruimten van verscheidene dagen of nog meer moesten worden opgenomen. Daardoor zijn de omstandigheden nooit volkomen vergelijkbaar. Bovendien worden de platen niet gelijktijdig ontwikkeld, waardoor eveneens fouten kunnen ontstaan. Deze werden wel zoo-veel mogelijk vermeden door op iedere plaat telkens een opname onder dezelfde omstandigheden te doen en die onderling te vergelijken. Alleen die platen werden dan gebruikt, waarbij voldoende gelijkheid optrad.

5. Een gering bezwaar was nog, dat het meten van een grooter aantal lijnen en bij verschillende omstandigheden op deze wijze buitengewoon tijdroovend werd.
-

HOOFDSTUK V.

Definitieve meting van een aantal lijnen bij bepaalde Heliumdruk.

Voor onze eerste definitieve metingen kozen we buizen met een Heliumdruk van 6 m.m. Deze waren in het laboratorium vervaardigd en gevuld met He uit monazietzand verkregen en gereinigd. De lengte van de capillair bedroeg 4.6 c.m., doorsnede inwendig 0.15 c.m. Bij de ontlading werd een luchtvonk inplaats van een olievonk gebruikt. Het was n.l. gebleken, dat de olie bij iedere opname vernieuwd moest worden, daar ze ten deele verkoolde en tenslotte het isoleerend vermogen sterk verminderde.

Van de ontladingsspanning werd een ijkingskromme gemaakt bij verschillende electroden-afstanden, die nu en dan werd gecontroleerd.

Om de in het vorige hoofdstuk genoemde bezwaren te vermijden, moesten we trachten, liefst alle waarnemingen voor een bepaalde lijn op één plaat te krijgen. Na eenig probeeren is ons dat gelukt door gebruik te maken van de methode der spleetbreedte-variatie. ¹⁾

Er konden dan op één plaat 14 spectra bij verschillende ontladingsspanningen worden gefotografeerd en daar tusschen 2 × vijf spectra van de geijkte standaardlamp bij 2 verschillende stroomsterkten en in 5 verschillende spleetbreedten.

De geschikte stroomsterkten moesten zoo gekozen worden, dat voor de betreffende golflengte de zwarting door de lamp en die door de lijn veroorzaakt, onderling meetbaar waren.

Wij stelden ons ten doel het verloop van de intensiteit der lijnen als functie der stroomdichtheden te bepalen. De verhouding van de lijnen onderling hebben wij niet bepaald.

Daarom behoefde de intensiteit van elke lijn slechts uitgedrukt te worden in de energieën van de standaardlamp bij dezelfde golflengte.

Om de ware verhouding der intensiteiten te krijgen voor de verschillende lijnen onderling zouden de gevonden waarden dan met

1) Vgl. Ornstein l.c.

een factor vermenigvuldigd moeten worden, welke factor voor iedere golflengte verschillend is en afhangt van de plaatgevoeligheid en de dispersie van de gebruikte spectrograaf; dit als tenminste gelijke belichtingstijden zouden zijn gebruikt. Daar dit laatste nu niet mogelijk was, omdat de waargenomen lijnen te veel in intensiteit verschilden, zoodat voor iedere lijn, soms voor een groep lijnen, een afzonderlijke belichtingstijd noodig was, is hiervan afgezien. De allersterkste lijnen moesten dan nog verzwakt worden, omdat zelfs bij de kleinste belichtingstijden, die nog betrouwbaar waren af te lezen, de door de lijnen veroorzaakte zwarting te groot was.

De intensiteiten zijn afgeleid uit de topzwartingen en de zwartingskromme van de gebruikte standaardlamp op de in Utrecht gebruikelijke wijze. ¹⁾

De energie-verhouding werd uit de topzwartingen afgeleid; daartoe was het noodzakelijk met een breede spleet te fotografeeren. Ter controle is nog nagegaan of de half en kwart waardebreedten van de lijn in dit geval voldoende constant waren.

Bij de buizen gevuld met grootere druk is dit bij enkele lijnen niet meer het geval. (zie Hoofdstukken VI en VII.)

Bij de keuze van de mogelijke stroomdichtheden waren we beperkt, omdat in de buurt van 35 kV tot tweemaal toe de condensator is doorgeslagen, die dan weer uit elkaar genomen moest worden en van nieuwe glasplaten voorzien, wat zeer veel tijd vorderde.

De aard van het onderzoek brengt mee, dat we geen hooge nauwkeurigheid kunnen bereiken. Het geeft echter een voldoende beeld van het verloop der verschijnselen bij de beschouwde ontleding.

De verschillende omstandigheden zijn slechts binnen, naar schatting, 5 à 10 % constant te houden.

Zoo heeft de milli-ampèremeter, die de ontladingsstroom meet, geen constante aanwijzing, maar schommelt om een bepaalde stand heen, vooral bij de grootste stroomdichtheden.

Bij de grootste ontladingsspanningen zullen ook de gemeten spanningen eenige afwijking van de werkelijke kunnen vertoonen, vooral bij groote vochtigheidstoestand.

Droging door een Föhn verminderde deze fout.

De aanwijzing van de meetinstallatie hebben we bovendien ge-

1) Ornstein l.c.

TABEL 4.

Pl. R 29.	chassis												bel. tijd 30 sec.	
Helium 6 m.m.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Stl. 4,3 A} \\ \text{Stl. 5 A} \end{array} \right\}$ $\left\{ \begin{array}{l} 0 - 1/2 - 1 - 1 1/2 - 2 \\ 6 1/2 - 7 - 7 1/2 - 8 - 8 1/2 \end{array} \right\}$													
	Spleetbr. $\frac{0}{0}$ 25 - 17 - 11 - 7 1/2 - 5 100 - 67 1/2 - 45 - 30 - 20													
Stroomst. prim. in Amp.	2,3	2,3	1,8	16	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4
Ontl. stroomst. in m A.	10	7	5	3,5	3,1	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
Electroden afst. in lucht m.m.	0	1	1 1/2	2	2 1/2	3	3 1/2	4 1/2	5	6	7	8	9	10
Ontl. potent.	0,5	4,5	6,5	8,5	10	12	14	17	19	22	24,5	27,5	30,5	33,5
$\frac{V}{i}$	—	0,65	1,3	2,4	3,1	5,5	7,8	10,6	11,9	14,7	17	19,6	20,7	23,9
temp. aanw.	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bel. tijd	10"	8"	16"	28"	36"	1'4"	1'30"	2'3"	2'17"	2'56"	3'22"	3'48"	3'58"	4'38"

controleerd met een grafiek over het verband tusschen vonk Lengte en ontladingspotentiaal. ¹⁾

Gaven de fotogrammen geen betrouwbare zwartingskrommen, dan zijn de betreffende platen niet gebruikt.

Een enkele maal bij zeer groote of zeer kleine intensiteiten zijn deze door extrapolatie uit de beschikbare zwartingskrommen afgeleid.

De mogelijke fout bleef daarbij zeker binnen de voor dit onderzoek toelaatbare grens.

Van de aldus gedane waarnemingen geven we hierbij een opname-tabel voor een bepaalde lijn.

Resultaten.

De uitkomsten van deze metingen zijn opgegeven in tabel 5. Een grafische voorstelling vindt men in de fig. 6. Daar zijn evenwel slechts een beperkt aantal lijnen geteekend, omdat anders de figuur te onduidelijk wordt.

In de grafische voorstellingen die bij Hoofdstuk VI gegeven worden kan men de andere lijnen vinden.

(Bij tabel en grafische voorstelling moet in aanmerking genomen worden, dat de meting bij 0,5 kV onbetrouwbaar is en slechts oriënteerende waarde heeft.)

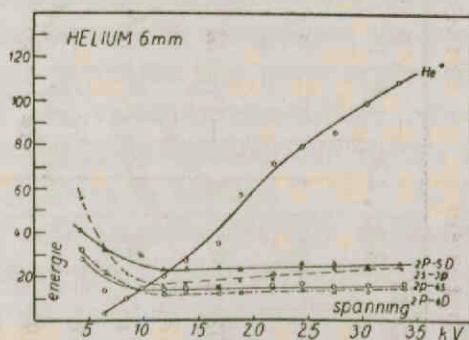


fig. 6.

Uit de figuur zien we, dat de lijnen van een maximum naar een minimum bij ongeveer 14 kV gaan, om vandaar vrijwel constant te blijven of in zeer geringe mate naar een volgend maximum te stijgen.

1) H. Ebert. Lehrbuch der Physik, blz. 620, deel II 1.

TABEL 5.
Helium 6 m.m.

golflengte Å Serie no.	6678 2P-3D	5876 2p-3d	5016 2S-3P	4922 2P-4D	4713 2p-4s	4686 Paschen Serie He + 4e term	4472 2p-4d	4388 2P-5D	4026 2p-5d	3965 2S-4P	3889 2s-3p
ontladingspotent.			relatieve energieteen								
0,5 kV.	—	120	—	70	143	0	—	100	—	—	—
4,5 -	150	—	67	—	28	0	150	42	16	—	56
6,5 -	—	67	43	—	13	3	140	31	15	—	—
8,5 -	119	45	26	18	16	10	80	—	15	36	—
10 -	—	24	16	12	14	15	36	30	28	36	—
12 -	80	15	16	12	15	20	25	24	19	—	16
14 -	78	16	18	12	15	28	22	25	20	—	—
17 -	78	—	14	12	16	35	25	24	17	—	16
19 -	78	20	18	13	20	57	—	20	18	—	19
22 -	—	20	24	16	15	72	25	—	18	37	19
24,5 -	95	23	24	16	17	80	26	27	22	—	25
27,5 -	90	—	18	14	15	85	—	25	19	—	—
30,5 -	95	44	19	14	—	100	36	24	22	37	24
33,5 -	95	51	24	17	17	110	38	27	18	39	27

TABEL 6.

(Verhouding tot intensiteit 4713)

$\text{\AA}$ Serie no.	5016 1S-3P	4922 2P-4D	4388 2P-5D	4026 2p-5d	3889 2s-3p	4713 2p-4s	4686 He ⁺ 4e term
4,5kV	65	127	70	175	80	100	—
6,5	71	83	50	100	75	100	23
8,5	87	110	47	93	70	100	77
10	87	117	47	72	67	100	115
12	88	125	60	78	88	100	154
14	94	123	66	84	100	100	215
17	73	125	60	78	100	100	270
19	71	123	70	84	89	100	440
22	74	113	68	84	84	100	554
24,5	71	113	63	80	74	100	615
27,5	71	121	70	84	72	100	654
30,5	71	121	70	80	72	100	770
33,5	75	110	70	90	72	100	846

Een uitzondering maakt de He⁺ ion lijn, die bij 6,5 kV voor het eerst zichtbaar wordt en dan bij voortduring in intensiteit toeneemt.

Zoeken we van enkele lijnen de verhoudingen ten opzichte van λ 4713 $\text{\AA}$ (2p—4s), dan krijgen we tabel 6.

In de grafische voorstelling (fig. 7) zien we dat deze lijnen vrijwel op dezelfde wijze verlopen. De lijnen zijn uit verschillende seriën gekozen.

Conclusie: Bij vermeerdering van de stroomdichtheid worden bij een druk van het Helium van 6 m.m. de verschillende series ongeveer op dezelfde wijze beïnvloed, al treden kleine afwijkingen op, voornamelijk bij de kleinste stroomdichtheden.

Om de verschijnselen, vooral wat de afwijkingen betreft, beter te kunnen volgen zijn we nu nog op de volgende wijze te werk gegaan:

In de eerste plaats hebben we lijnen uitgezocht met gelijke begin-

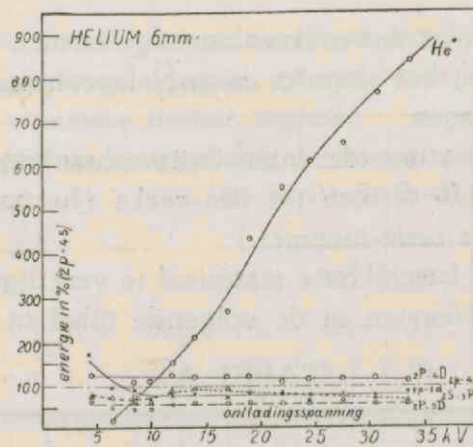


fig. 7.

en eindniveaux, respectievelijk bij het singulet en tripletspectrum van het Helium en daarvan de intensiteitsverhoudingen opgemaakt.

De uitkomsten in % uitgedrukt geeft tabel 7.

TABEL 7.

Ontlaadsp. in K V	4,5	6,5	8,5	10	12	14	17	19	22	24,5	27,5	30,5	33,5
$\frac{2p-4d}{2P-4D}$	470	640	444	270	210	170	191	190	170	173	210	250	223
$\frac{2p-5d}{2P-5D}$	60	63	65	67	61	61	60	60	63	72	68	81	74
$\frac{2s-3p}{2S-3P}$	84	81	95	113	106	94	88	100	90	100	100	100	104

Deze uitkomsten zijn in fig. 8 schaal 1 : 10 uitgezet.

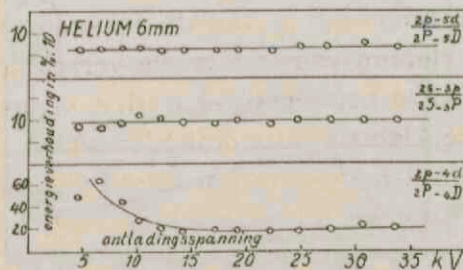


fig. 8.

Uit de figuur volgt dat overeenkomstige termen uit overeenkomstige series zich bij het singulet en tripletspectrum van He op dezelfde wijze gedragen.

Tenslotte hebben we de intensiteitsverhoudingen gezocht van twee opeenvolgende termen uit één reeks (hoogste serie-nummer gedeeld door lager serie-nummer.)

Voor de uit het beschikbare materiaal te verkrijgen verhoudingen vindt men de uitkomsten in de volgende tabel in %:

TABEL 8.

Ont- ladingssp. in kV	4,5	6,5	8,5	10	12	14	17	19	22	24,5	27,5	30,5	33,5
$\frac{2P-5D}{2P-4D}$	128	146	161	207	208	185	200	185	167	167	178	178	153
$\frac{2P-5D}{2P-3D}$	27	24	23	27	31	31	31	31	30	29	28	26	27
$\frac{2p-5d}{2p-4d}$	11	11	19	70	76	77	78	75	76	80	66	60	53
$\frac{2p-5d}{2p-3d}$	25	27	42	75	127	112	95	90	95	89	56	48	39
$\frac{2S-4P}{2S-3P}$	-	84	171	225	231	218	218	206	176	161	117	117	121

De uitkomsten zijn voorgesteld in de fig. 9.

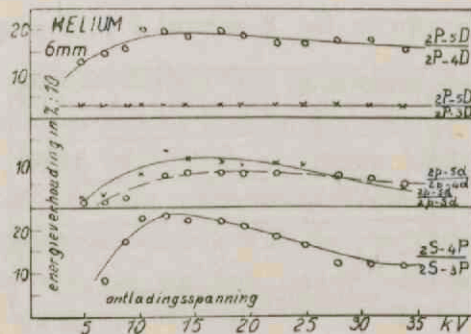


fig. 9.

Daarin zien we, dat de hoogste serie-nummers eerst sterker in intensiteit toenemen dan de lagere tot een zeker maximum, terwijl daarna de lagere nummers sterker stijgen.

De totale stijging is evenwel bij de hoogere nummers grooter dan bij de lagere.

HOOFDSTUK VI.

Metingen bij verschillende gasdruk.

Zooals reeds in Hoofdstuk I is meegedeeld, zal ook de gasdruk invloed op de omstandigheden uitoefenen en zullen de intensiteiten daardoor anders kunnen verloop.

We hebben daarom voor de meeste lijnen de metingen herhaald bij andere gasdruk.

Daarvoor hadden we, behalve de reeds gebruikte van 6 m.m., de gasdrukken van 2, 12 en 20 m.m. gekozen, die voldoende ver uit elkaar liggen, om merkbare veranderingen te kunnen krijgen.

§ 1. De metingen bij 2 m.m. konden slechts voor enkele lijnen gedaan worden en voor sommige nog maar ten deele. Het bleek n.l. dat daarvoor te hooge eischen aan de buizen werden gesteld. Eerst zijn dezelfde buizen van gewoon glas gebruikt als bij 6 m.m., de capillairen sprongen evenwel bij de verwijding stuk bij 12 of 14 kV ontladingsspanning.

Toen zijn buizen van hardglas vervaardigd, die het even langer uithielden, maar bij ± 20 kV sprongen ook die stuk, nu echter bij de insmelting van de electroden.

Daarna zijn buizen gebruikt met dubbele insmelting der electroden, waarvan enkele het tot de hoogst gebruikte spanning uithielden.

Maar nu deed zich een andere moeilijkheid voor. Bij deze lage gasdruk trad sterke verstuiving der electroden op, zoodat na eenige belichtingen de capillair zwart begon te worden en de buis onbruikbaar werd. Dit gebeurde bij electroden van verschillend materiaal.

We hebben zodoende alleen van de sterkste lijnen een volledige opname kunnen doen, omdat we daar met korte belichtingstijden konden volstaan. Van enkele andere konden we slechts het begin van het intensiteitsverloop volgen, daar juist bij de grootste spanningen de langste belichtingstijden noodig zijn.

In het algemeen zijn de waarnemingen bij 2 m.m. minder nauwkeurig, omdat 1e deze niet herhaald konden worden, wanneer om een of andere reden de plaat minder bruikbaar was, 2e, omdat bij

de latere belichtingen eenige aanslag van verstoven electroden-materiaal optrad bij de capillair.

De waargenomen intensiteiten zijn verzameld in tabel 9.

TABEL 9.

golflengte in Å Serie No.	6678 2P-3D	5876 2p-3d	5016 2S-3P	4685 Paschen serie He ⁺ 4e term.	4472 2p-4d	3889 2s- 3p
ontladingssp.						
0,5 kV.	-	200	-	-	-	-
4,5	100	20	110	0	25	37
6,5	16	15	10	6	14	22
8,5	15	17	9	22	14	22
10	5	17	3	29	15	22
12	6	19	4	45	15	22
14	6	16	4	51	14	20
17	10	14	5	68	13	19
19	11	20	6	92	18	23
22	11	21	5	180 [×]	18	23
24,5	14	26	6	210 [×]	22	26
27,5	-	33	-	280 [×]	25	28
30,5	-	39	-	350 [×]	26	28
33,5	-	42	-	400 [×]	27	27

× Door extrapolatie verkregen - relatief groote fout.

Fig. 10 geeft van deze waarnemingen een grafische voorstelling.

We zien, dat de verschillende booglijnen van een maximum naar een minimum gaan bij 8 à 10 kV en vandaar vrijwel constant blijven of zeer weinig in intensiteit stijgen, 5876 (2p-3d) stijgt iets meer, terwijl bij deze gasdruk de vonklijn zeer snel en sterk in intensiteit stijgt.

Een vergelijking bij de verschillende gasdrukken volgt aan het eind van dit hoofdstuk.

Het heeft geen zin hier de lijnen onderling te vergelijken, omdat het materiaal daarvoor te onnauwkeurig is en te beperkt.

§ 2. Bij de metingen bij 12 m.m. gasdruk is op te merken, dat bij de lijnen 4922—4713 en 4016 Å resp. (2P—4D), (2p—4d) en (2p—5d) reeds lijnverbredening begint op te treden als gevolg van Stark-effect, veroorzaakt door inter-atomaire velden. De verbree-

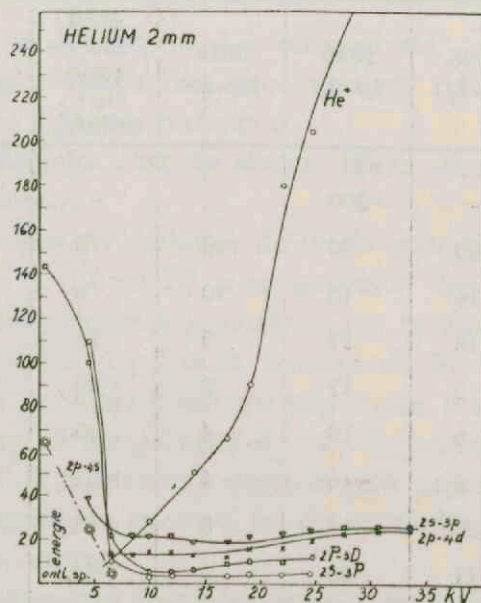


fig. 10.

dingen zijn echter gering en daar met breede spleet is gefotografeerd kan de maximale uitslag toch nog als een maat van de intensiteit dienst doen.

Bovendien blijkt in het volgend hoofdstuk, dat zelfs bij een vrij sterke verbredening de topintensiteit bij opname met breede spleet, op gelijke wijze verandert, als de totale intensiteit.

In tabel 10 zijn de resultaten van deze metingen verzameld, terwijl in fig. 11 enkele lijnen zijn geteekend.

Wij zien, dat het algemeene verloop zóó is, dat de verschillende booglijnen bij benadering lineair met de stroomdichtheid in intensiteit stijgen.

De vonklijn 4685 wordt pas bij 17 kV meetbaar en stijgt zeer langzaam in intensiteit.

Vergelijking met λ 4713 als 100 geeft tabel 11, waarvan fig. 12 de grafische voorstelling geeft. Ook hier zien we evenals bij 6 m.m.,

TABEL 10.

golflengte Å Serie No.	6678 2p-3D	5016 2S-3P	4922 2P-4D	4713 2p-4S	4686 Paschen serie He+ 4e term.	4472 2p-4d	4388 2P-5D	4121 2p-5s	4026 2p-5d	3965 2S-4P	3889 2s-3p
ontladingssp. 0,5 kV	—	31	—	—	0	154	42	—	45	40	—
4,5	15	16	25	20	0	81	21	10	23	13	36
6,5	25	19	25	20	0	—	22	10	23	20	42
8,5	35	21	26	20	0	68	23	14	23	21	48
10	43	22	26	24	0	68	26	15	24	23	55
12	48	24	27	25	0	68	27	21	25	29	58
14	57	26	28	26	0	72	27	21	25	32	67
17	75	29	28	24	10	—	28	24	24	45	78
19	100	42	28	36	12	90	32	26	26	40	80
22	130	47	30	40	16	93	39	30	27	50	106
24,5	—	49	31	44	17	95	43	36	27	57	—
27,5	—	52	33	47	16	100	46	36	35	65	—
30,5	—	54	35	50	18	102	50	39	42	70	125
33,5	—	—	36	52	18	110	54	41	45	76	126

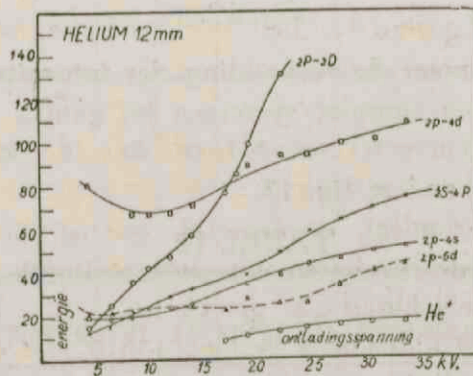


fig. 11.

dat de verschillende lijnen uit de verschillende seriën ongeveer hetzelfde verloop vertoonen, al worden hier de afwijkingen groter dan bij 6 m.m.

TABEL 11.

ontladingssp. kV	5016 2S-3P	4922 2P-4D	4388 2P-5D	4026 2p-5d	3889 2s-3d	4686 He ⁺ 4e term.
4,5	80	125	105	115	175	-
6,5	95	125	110	115	205	-
8,5	105	130	115	115	235	-
10	100	118	114	110	235	-
12	100	113	108	105	242	-
14	104	104	100	93	248	-
17	109	90	98	80	260	32
19	113	80	95	75	261	34
22	118	75	95	68	258	40
24,5	114	70	95	61	252	39
27,5	110	68	95	73	248	34
30,5	108	70	99	82	243	35
33,5	113	70	99	86	242	34

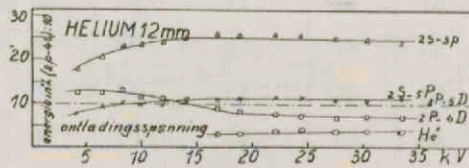


fig. 12.

Tabel 12 geeft weer de verhouding der intensiteiten van enkele lijnen der triplet en singulet systemen bij gelijke begin- en eind-niveaux.

Deze zijn geteekend in fig. 13.

TABEL 12.

ontladingspot. in kV.	4,5	6,5	8,5	10	12	14	17	19	22	24,5	27,5	30,5	33,5
$\frac{2p-4d}{2P-4D}$	320	320	250	234	262	254	320	283	307	320	333	325	303
$\frac{2p-5d}{2P-5D}$	109	105	100	92	92	92	85	81	69	63	76	84	83
$\frac{2s-3p}{2S-3P}$	192	216	224	232	241	239	232	225	217	222	221	221	214

Ook hier kunnen we concludeeren, dat overeenkomstige lijnen uit overeenkomstige seriën zich op dezelfde wijze gedragen. De

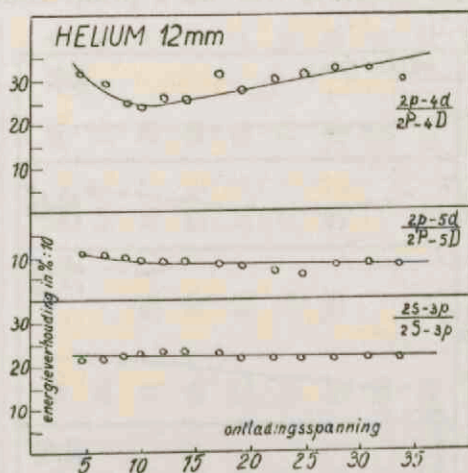


fig. 13.

grootste afwijking treedt ook hier evenals bij 6 m.m. op bij de lijn 2p—4d.

Tenslotte geeft tabel 13 weer de intensiteitsverhouding voor opeenvolgende termen van eenzelfde reeks.

TABEL 13.

ontladingspot. in kV.	4,5	6,5	8,5	10	12	14	17	19	22	24,5	27,5	30,5	33,5
$\frac{2P-5D}{2P-4D}$	80	81	82	81	104	96	112	107	130	143	144	139	150
$\frac{2p-5d}{2p-4d}$	29	30	33	35	37	34	30	31	29	28	35	40	41
$\frac{2S-4P}{2S-3P}$	123	112	100	91	81	90	90	93	94	114	121	127	128
$\frac{2p-5s}{2p-4s}$	80	80	70	70	70	80	70	80	70	80	80	80	80

Uit de grafische voorstelling fig. 14 zien we dat hier het gedrag eenigszins anders is dan bij 6 m.m.

Bij grootere stroomdichtheden neemt de verhouding toe d.w.z. de

hoogere termen stijgen sterker in intensiteit dan de lagere termen van een serie al is die stijging gering.

Wat we hier waarnemen is wat we à priori zouden verwachten,

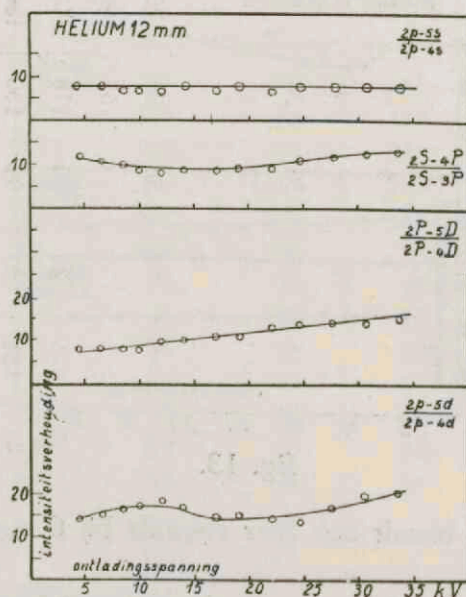


fig. 14.

immers bij vermeerdering van energie-toevoer zullen de hoogere energie-niveaux de voorkeur krijgen.

§ 3. Bij de metingen bij 20 m.m. is op te merken, dat sterke verbreedingen optreden tengevolge van Stark-effect bij de lijnen $4922 \text{ \AA}$, $4472 \text{ \AA}$ en $4026 \text{ \AA}$ (resp. $2P-4D$, $2p-4d$, $2p-5d$), welke verbreedingen met de stroomdichtheid sterk stijgen en in de buurt van 4472 zich tot bij de volgende gemeten lijnen uitstrekken. Door een en ander is de nauwkeurigheid van de meting uit de top-intensiteiten niet zoo groot meer, als bij de lage gasdrukken. Evenals bij 12 m.m. zal evenwel uit het volgende hoofdstuk weer blijken, dat de verandering van de top-intensiteit, ook nu nog, evenredig is met die van de totale intensiteit.

In hoofdstuk VIII wordt in een enkel geval op de verbreeding nader ingegaan.

De resultaten van de metingen bij 20 m.m. geeft tabel 14, terwijl fig. 15 een voorstelling geeft van het verloop van enkele lijnen. $\lambda 5876 \text{ \AA}$ is alleen pyrometrisch opgenomen (zie volgende hoofdstuk.)

TABEL 14.

20 m.m.

golfilngte Å Serie No.	6678 2p-3D	5876 2p-3d	5016 2S-3P	4922 2P-4D	4713 2p-4s	4686 Paschen Serie He+ 4e term.	4472 2p-4d	4388 2P-5D	4121 2p-5s	4026 2p-5d	3965 2S-4P	3889 2s-3p
ontlad. pot. 0,5kV	98	—	35	11	11	0	45	18	3	10	40	188
4,5	24	6	13	14	12	0	—	26	7	16	13	31
6,5	35	8	16	16	13	0	26	41	10	18	20	45
8,5	43	12	20	18	16	0	28	46	12	20	30	45
10	54	19	25	21	20	0	31	52	13	25	47	60
12	70	24	27	26	30	0	30	75	16	35	74	70
14	86	32	37	29	—	—	31	85	20	38	85	80
17	125	43	51	37	58	10	29	105	—	—	105	90
19	142	56	68	—	70	12	37	125	35	70	118	110
22	152	62	100	54	82	15	41	131	51	90	130	130
24,5	160	70	126	60	100	16	52	132	56	100	142	132
27,5	167	78	138	70	114	16	66	142	68	110	155	132
30,5	174	87	—	—	125	17	80	147	76	—	156	143
33,5	184	93	148	76	127	18	120	156	83	114	167	150

De lijnen stijgen nu veel sterker in intensiteit dan bij lagere gasdrukken, alleen de vonklijn begint pas bij 17 kV meetbaar te worden en stijgt dan langzaam in intensiteit.

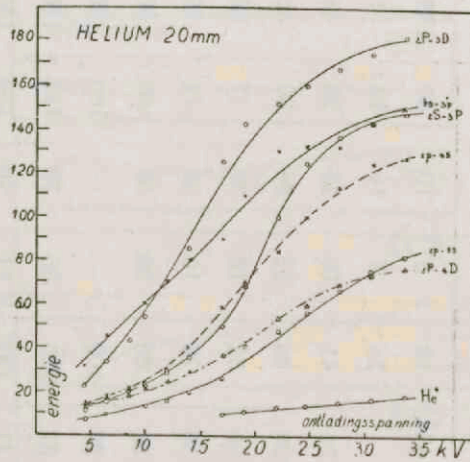


fig. 15.

De verhoudingen tot 4713 Å geeft tabel 15, voorgesteld voor enkele lijnen in fig. 16. De onderlinge afwijkingen zijn hier nog sterker dan bij 12 m.m.

TABEL 15.

λ in Å	5016	4922	4388	4121	4026	3889	4686
Serie N°	2S-3P	2P-4D	2P-5D	2p-5s	2p-5d	2s-3p	He ⁺ 4'term
kV							
4,5	109	100	217	60	125	250	—
6,5	115	115	270	70	138	310	—
8,5	125	113	294	75	125	312	—
10	120	100	295	65	120	245	—
12	107	89	260	57	107	250	—
14	93	75	218	51	98	210	—
17	96	70	200	58	109	194	—
19	94	74	168	54	100	177	18
22	118	64	151	58	104	153	15
24,5	123	61	135	57	100	131	14
27,5	118	60	125	59	97	118	13
30,5	118	60	122	62	91	118	13
33,5	116	60	123	66	87	118	13

De verhouding van enkele lijnen uit triplet en singlet systeem geeft tabel 16, de grafische voorstelling hiervan vindt men in fig. 17.

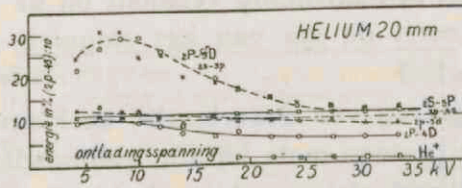


fig. 16.

TABEL 16.

Ontlad. spanning kV	4,5	6,5	8,5	10	12	14	17	19	22	24,5	27,5	30,5	33,5
$\frac{2p-3d}{2P-3D}$	25	24	28	31	41	37	33	34	39	43	47	49	52
$\frac{2p-4d}{2P-4D}$	200	160	160	143	125	107	81	80	77	87	93	108	160
$\frac{2p-5d}{2P-5D}$	45	47	45	46	43	44	47	58	70	73	77	70	74
$\frac{2s-3p}{2S-3P}$	230	250	250	204	250	225	194	148	122	104	100	100	100

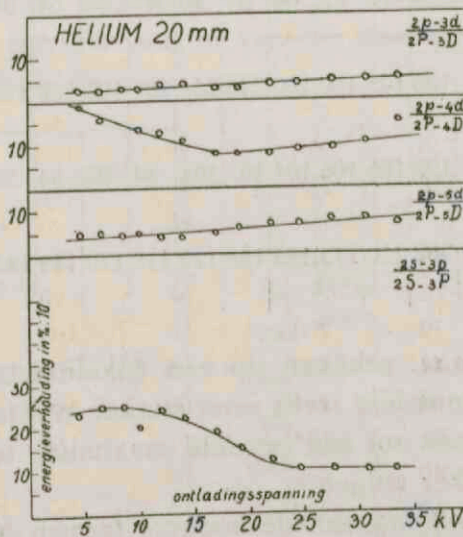


fig. 17.

Het wekt den indruk als zouden de lijnen van het triplet systeem iets sterker stijgen dan die van het singulet systeem, ofschoon de lijn $2p-4d$ daarvan een afwijking vertoont bij de kleinere stroomdichtheden, waar eerst de lijn van het singulet systeem sterker stijgt.

Het afwijkend gedrag van deze lijn bij de kleinere stroomdichtheden doet zich in geringe mate bij alle vullingsdrukken voor.

Een totaal afwijkend gedrag schijnt de lijn $2s-3p$ te vertoonen, waarbij de lijn van het singulet systeem sterker stijgt tot een bepaalde stroomdichtheid, waarna de lijnen van de twee systemen even sterk stijgen.

Tabel 17 geeft weer de verhouding van opeenvolgende termen van een reeks, waarvan fig. 18 de grafische voorstelling is.

TABEL 17.

Ontlad. spanning in kV	4,5	6,5	8,5	10	12	14	17	19	22	24,5	27,5	30,5	33,5
$2P-5D$													
$2P-4D$	185	225	256	262	313	311	286	274	242	226	204	203	205
$2p-5d$													
$2p-4d$	41	65	70	87	107	127	167	207	219	192	170	140	93
$2p-5s$													
$2p-4s$	58	72	75	65	53	50	46	46	54	56	59	60	67
$2S-4P$													
$2S-3P$	100	125	150	200	243	233	201	187	130	113	115	113	114
$2P-5D$													
$2P-3D$	108	106	106	104	107	101	84	82	84	85	85	86	86
$2p-5d$													
$2p-3d$	200	210	175	153	133	122	119	140	149	143	143	127	120

Evenals bij 6 m.m. schijnen op een enkele uitzondering na de hoogere termen van iedere reeks eerst sterker in intensiteit te stijgen dan de lagere termen tot een bepaald maximum, terwijl daarna de lagere termen sterker stijgen.

In totaal is de stijging van de hoogere termen het grootst.

Een mogelijke onderstelling ter verklaring van dit gedrag is deze,

dat bij hogere stroomdichtheden de herhaalde botsingen een groo-
tere rol spelen, waardoor eerst weer de lagere niveaus worden aan-
geslagen.

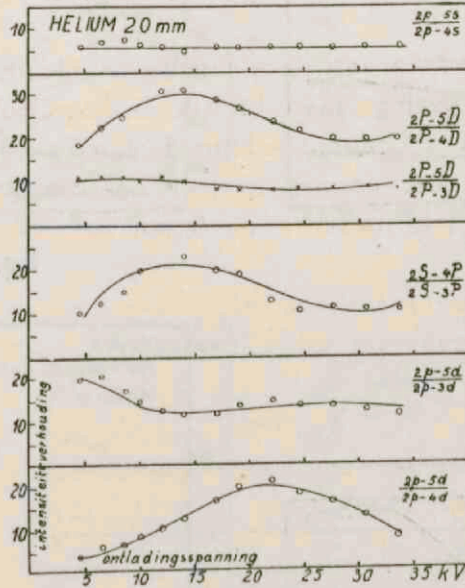


fig. 18

Bij verschillende gasdrukken liggen de maxima niet op dezelfde plaats.

Tenslotte geven de figuren 19—30 het verloop van de intensi-
teiten van iedere lijn als functie van de stroomdichtheden bij de
verschillende gasdrukken.

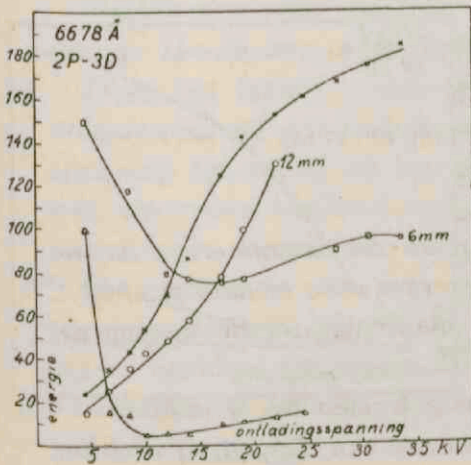


fig. 19.

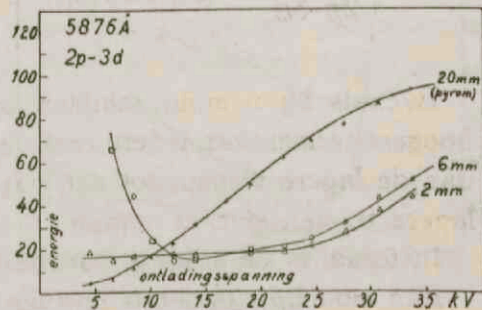


fig. 20.

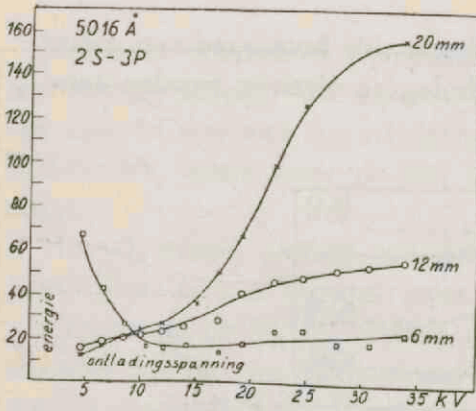


fig. 21.

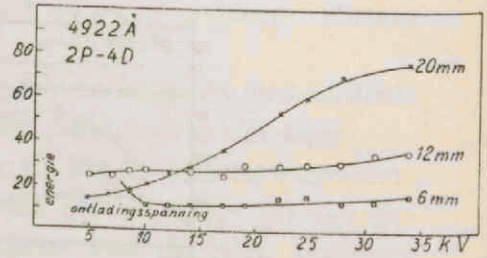


fig. 22.

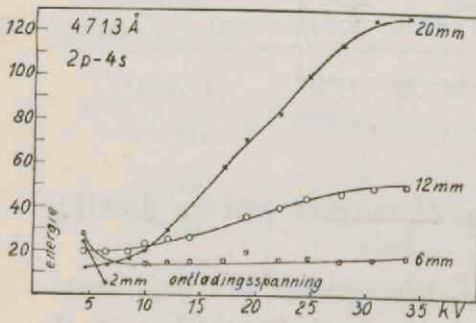


fig. 23.

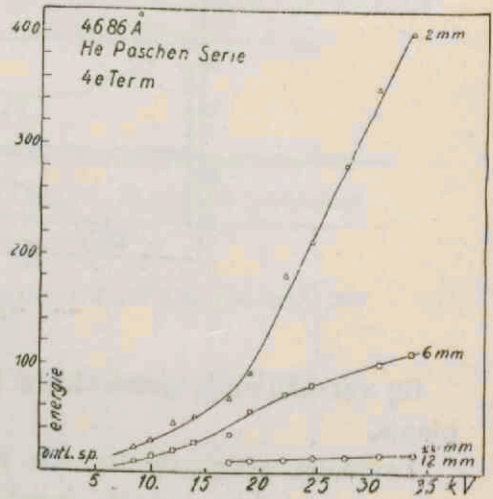


fig. 24.

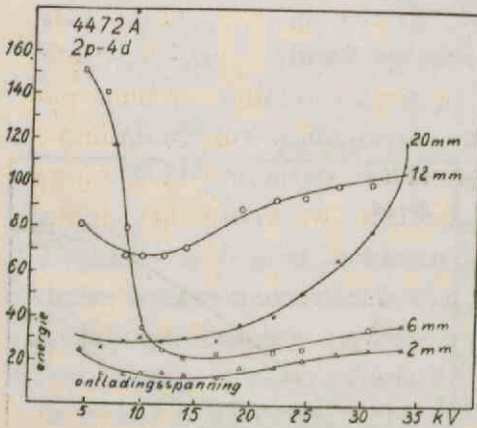


fig. 25.

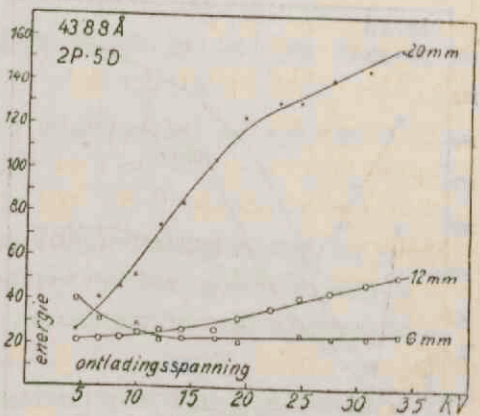


fig. 26.

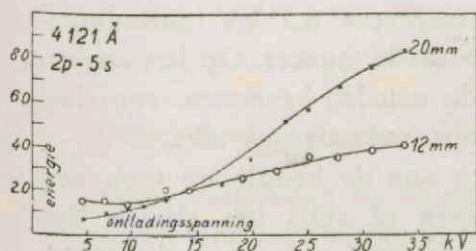


fig. 27.

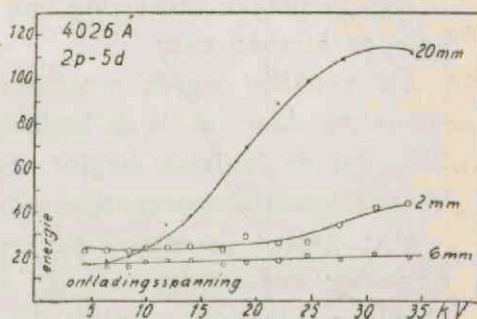


fig. 28.

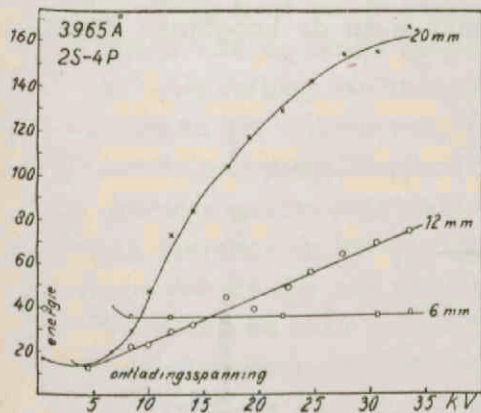


fig. 29.

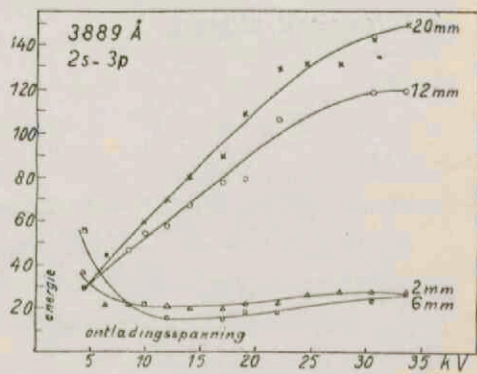


fig. 30.

Uit deze figuren zien we dat de stijging in intensiteit van iedere lijn grooter wordt bij grootere gasdruk.

Verhooging van gasdruk vergroot evenredig het aantal aanwezige He-atomen, maar verkleint de gemiddelde vrije weglengte.

Door het laatste zullen verhoudingsgewijs minder atomen per volume-eenheid aangeslagen worden. Verhooging van ontladingsspanning zal vooral bij het begin van iedere ontlading verhooging van elektronen-snelheid tengevolge hebben, waardoor het aantal aangeslagen atomen per volume-eenheid stijgt.

De combinatie van deze stijging met die, veroorzaakt door de toenemende stroomdichtheid, zal een sterkere stijging dan bij de lagere drukken tengevolge kunnen hebben.

Tenslotte is het nog opmerkelijk, dat bij de lagere drukken de intensiteiten zich eerst naar een minimum bewegen.

Een mogelijke verklaring van dit verschijnsel zou in het volgende gelegen kunnen zijn:

De vonklijn wordt meetbaar bij ongeveer 6,5 kV ontladingspanning, daarvóór is de ionisatie dus reeds ingezet. Op het oogenblik, dat de ionisatie begint, dalen de aanslag-krommen; een deel van de beschikbare energie wordt voor ionisatie gebruikt.

Dat daarna de intensiteitskrommen van de booglijnen toch nog ongeveer evenwijdig aan de as loopen of zelfs iets stijgen kan hierdoor verklaard worden, dat de toeneming van stroomdichtheid, de energie meer doet toenemen dan voor de ionisatie wordt gebruikt.

Bij hogere gasdrukken is de procentueele ionisatie veel geringer, zooals duidelijk aan het verloop van de vonklijn is te zien, zoodat de oorspronkelijke daling niet merkbaar is en de booglijnen direct in intensiteit stijgen.

HOOFDSTUK VII.

Enkele vergelijkende metingen met de pyrometer-methode.

Als aanmerkingen op de in de vorige hoofdstukken meegedeelde metingen zou men nu kunnen aanvoeren.

1e. Dat de zwartingsmerken gegeven zijn door een continue lichtbron, terwijl de relatieve energieën bepaald zijn voor een intermitteerende belichting.

De vraag is of nu de energieën van de laatste uit de zwartingskrommen van de eerste mogen worden afgeleid.

2e. Als verloop der energieën bij verschillende stroomdichtheden is genomen het verloop van de top-energieën voor iedere lijn, zooals die uit de zwartingskrommen zijn afgeleid. Dit laatste is vooral bij de grootere gasdrukken zeer riskant, daar hier groote lijnverbredingen optreden en het daardoor niet waarschijnlijk is, dat de totale energie van de lijn nog evenredig met die van de top verandert.

We waren nu in de gelukkige omstandigheid, dat op het Utrechtsche laboratorium een methode is uitgewerkt om de totaal uitgezonden relatieve energie van een bepaalde golflengte visueel te bepalen. Wat de methode betreft zij naar de betreffende publicatie verwezen. ¹⁾

Hierdoor waren we in de gelegenheid te toetsen of bovengenoemde bezwaren een storende invloed op de fotografisch gedane waarnemingen hebben gehad.

Daartoe zijn voor enkele lijnen met de bovengenoemde methode de relatieve energieën uit de oppervlakte-helderheden bepaald. ²⁾ Daarbij moet evenwel overwogen worden, dat we met een intermitteerende belichting te maken hebben, die visueel wordt waargenomen.

Willen we nu de relatieve energieën kunnen vergelijken, dan

1) L. S. Ornstein, Frl. J. G. Eymers und D. Vermeulen: „Eine visuelle spektroskopische Methode für heterochrome Photometrie“. Zs. f. Phys. LXXV, 575 — 1932.

2) Mej. Eymers en Vermeulen zij hier nog mijn dank betuigd voor hun vriendelijke hulp.

moeten we bedenken dat bij opeenvolgende ontladingspotentialen het interval tusschen twee ontladingen steeds grooter wordt. Bij visueele waarneming wordt dan de energie van de ontlading over steeds grootere tijdsintervallen verdeeld. Als we dus de intensiteiten der lijnen per ontlading willen vergelijken, dan zullen we de waargenomen energie volgens de wet van Talbot ¹⁾ moeten vermenigvuldigen met de verhouding van interval en ontladingsduur.

De verhouding van de opeenvolgende intervallen was bekend en wel evenredig met $\frac{V}{i}$ (zie hoofdstukken III en IV). Vermenigvuldigen we dus de uit visueele waarnemingen afgeleide intensiteiten met de verhoudingen der belichtingstijden dan krijgen we de relatieve energieën bij iedere ontlading. ²⁾

In tabel 18 vinden we van enkele lijnen de resultaten. Kolom a

TABEL 18.

λ	20 m.m. He									12 m.m. He		
	5876			5016			4922			5016		
	a	b		a	b	c	a	b	c	a	b	c
ontl. pot.												
4,5	87	57		105	68	14	68	44	6	79	51	19
6,5	66	78		68	88	18	70	91	12	26	34	13
8,5	52	125		45	109	22	46,5	112	14	23,5	55	21
10	60	186		46	143	29	42	130	17	16	50	19
12	42	242		33	182	36	35,5	195	25	12,5	68	27
14	41	320		25	195	39	32,5	256	33	11,4	89	34
17	42	444		36	382	76	31	329	43	10,4	110	40
19	43	512		34	405	81	27	321	42	—	—	—
22	42	617		33	485	97	26	382	50	6,5	96	37
24,5	41	697		27	459	92	27,7	431	56	5	85	33
27,5	40	784		34	666	133	28	549	71	6	117	45
30,5	40	868		32	704	141	27	586	76	6,5	131	50
33,5	39	932		34	813	163	28	669	87	6,5	155	59

¹⁾ Wet van Talbot. Hdb. d. Phys. XIX, 486.

²⁾ De juistheid van de wet van Talbot is door Hyde geverifieerd. Hij vond, dat voor wit licht de afwijkingen binnen 0,3 % lag — voor gekleurd licht was deze iets grooter. Waar hier een dergelijke nauwkeurigheid niet wordt vereischt mag de wet zeker worden toegepast. Cf. Ph. Rev. XXIII 195 — 1906.

geeft de uit de pyrometrische waarnemingen afgeleide intensiteiten. Kolom b deze intensiteiten vermenigvuldigd met de verhouding $\frac{V}{i}$, zooals ze zijn te vinden in tabel 4, terwijl in kolom c de relatieve energieën zijn opgeteekend, overgebracht in een met de fotografische waarnemingen vergelijkbare schaal.

Daartoe zijn de intensiteiten van kolom b opgeteld en eveneens de overeenkomstige bij fotografische waarneming. Hun verhouding is dan gedeeld op de getallen van kolom b.

De lijnen 5016 en 4922 liggen wat hun kleur betreft voor de visuele waarneming gunstig.

Van de lijn 5876 Å bestond geen betrouwbare fotografische waarneming. Het verloop dat hier gevonden is, is dan ook voor de verhoudingen in Hoofdstuk VI gebruikt.

In fig. 31, 32, 33, 34 vinden we de grafische voorstelling van het verloop bij fotografische en pyrometrische waarneming. Op een enkele uitzondering na zijn de punten zoo gelegen, dat hun gemeen-

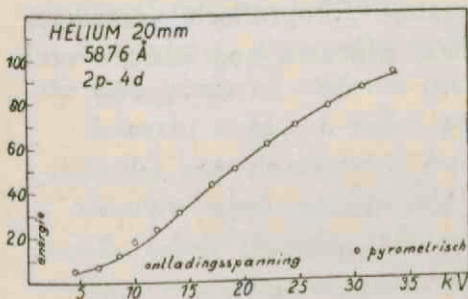


fig. 31.

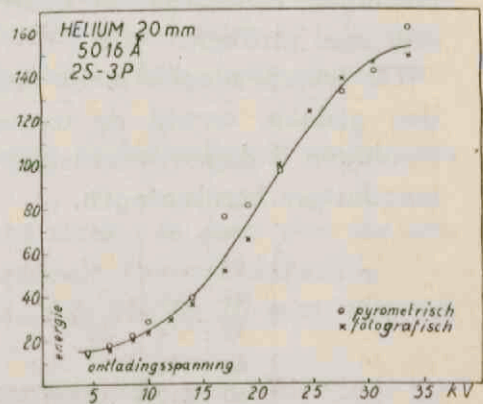


fig. 32.

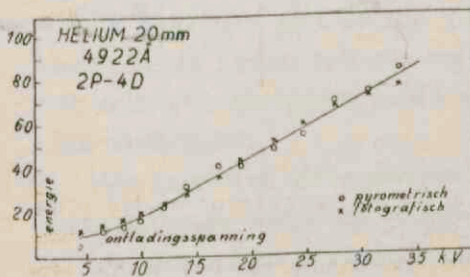


fig. 33.

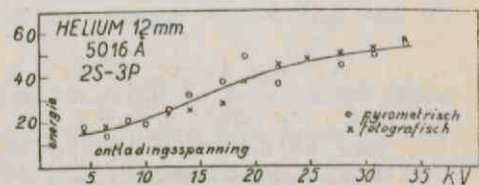


fig. 34.

schappelijk verloop telkens door één kromme kan worden weergegeven, welke krommen bovendien nagenoeg dezelfde zijn als de overeenkomstige uit hoofdstuk VI.

We kunnen dank zij de pyrometrische waarnemingen dus concluderen, dat voor onze onderzoekingen een eventueel intermitentie-effect geen rol speelt.

Opmerkelijk is ook de waarneming bij λ 4922 Å bij 20 m.m. gasdruk. Deze lijn vertoont een sterke verbreeding en toch zien we dat met beide meetmethoden praktisch gesproken identieke uitkomsten worden verkregen.

De top-energieën van de met breede spleet gefotografeerde lijnen geven dus het juiste verloop van de totale energieën dier lijnen.

Omgekeerd volgt uit de in dit hoofdstuk meegedeelde waarnemingen weer de geldigheid van de wet van Talbot.

Tenslotte blijkt uit alles wat in dit hoofdstuk is meegedeeld het belang van de hier gebruikte spectroscopisch-pyrometrische methode, als contrôle-middel voor op andere wijze verrichte waarnemingen; belangrijk ook daarom, omdat de contrôle op deze wijze zeer snel verloopt.

De waarnemingen in dit hoofdstuk beschreven zijn b.v. in één dag gedaan, terwijl de overeenkomstige fotografisch verkregen resultaten 8 dagen waarnemen eischen, afgezien nog van de veel langduriger berekeningen.

HOOFDSTUK VIII.

Breedtemeting bij λ 4922 (2 P — 4 D) bij 20 mm.

Zooals reeds in de vorige hoofdstukken is opgemerkt, vertoonen zich bij de gasdrukken van 12 en 20 m.m. verbredingen van de lijnen 4922 Å, 4472 Å, 4026 Å, resp. 2P—4D, 2p—4d, 2P—5D.

Deze verbredingen nemen bij grotere stroomdichtheden toe. Zij worden veroorzaakt door Stark-effecten, opgewekt door de sterke inter-atomaire velden. Het is onwaarschijnlijk, dat Doppler-effect de oorzaak der verbreding is, omdat er dan bij groter stroomdichtheden geen aanwijsbare reden voor een zoo sterk toenemende verbreding zou zijn; bovendien is het niet te verwachten dat alleen de genoemde lijnen het verschijnsel zouden vertoonen en tenslotte zouden de verbredingen naar de korte golflengte moeten toenemen.

Bij de groote gasdrukken bevinden de geïoniseerde en niet-geïoniseerde atomen zich betrekkelijk dicht bij elkaar, zelfs bij een procentueel geringe ionisatie.

Bij grotere stroomdichtheden neemt de ionisatie toe en worden de waargenomen effecten groter.

Getracht is in een enkel geval een meting te doen over de verandering van de lijnvorm bij toenemende stroomdichtheden.

Daartoe werd een opname gedaan van He bij 20 m.m. met een smalle spleet (breedte 0,05 m.m.).

De zoo opgenomen plaat werd nu langzaam gefotometreerd met snelle registreertrommel, waardoor we de grootst mogelijke vergroting in de golflengterichting verkregen.

Te beginnen met de top van de geregistreerde kromme werd nu naar beide zijden telkens om de 1 m.m. op de gebruikelijke wijze de relatieve energie bepaald en aldus de energie-verdeeling van de lijn verkregen.

We trachtten deze meting uit te voeren bij λ 4472, maar door verschillende oorzaken waren deze waarnemingen niet bevredigend.

De lijnvormen vertoonden een niet zeer betrouwbaar aspect.

Het is mogelijk dat het apparaat de ware energie-verdeeling

eenigszins vervormt, omdat ieder rechthoekig strookje van een bepaalde $d\lambda$ niet door een rechthoekje wordt weergegeven, maar door een bepaalde kromme, de z.g. apparaatkromme.

We moeten dus uit de verkregen schijnbare energie-verdeeling via de apparaat-kromme trachten de ware energie-verdeeling terug te vinden. Door Burger en v. Cittert is een methode aangegeven om dit met een apparaat te doen ¹⁾. Dr. v. Cittert was zoo vriendelijk deze methode op de onderzochte lijnen toe te passen.

Hierbij bleek, dat de schijnbare en ware energie-verdeeling in ons geval gelijk gesteld mochten worden, behoudens een kleine topcorrectie, die voor het verdere onderzoek geen beteekenis heeft. Dat dit zoo was is hieraan te danken, dat de apparaatkromme zeer smal was en naar de voet slechts een zeer geringe verbreeding vertoonde.

Als apparaatkromme is de betreffende lijn opgenomen in de gebruikte opstelling, maar het buisje bedreven door een gewone inductor.

Een veel betrouwbaarder aspect vertoonden de fotogrammen van de lijn $4922 \text{ \AA}$ (2P—4D).

De dispersie van de spectrograaf is niet in staat de optredende splitsingen te scheiden. We moeten dus trachten door analyse van de verkregen lijnvorm iets van deze splitsingen te weten te komen.

Deze analyse is nu aldus geprobeerd:

Om de lijn in goede golflengteschaal uit te zetten is uit de dispersiekrommen van de spectrograaf en via de plaat-fotogrammen-vergrooting van de fotometer afgeleid, dat 1 m.m. van het fotogram overeenkomt met $1,7 \text{ \AA}$.

Daar het hier te doen is om de verandering van de lijnvorm en de ligging van de splitsingsmaxima, zijn de lijnen bij de verschillende stroomdichtheden eerst op dezelfde schaal gebracht.

In tabel 19 vindt men de resultaten van de waarneming en berekening der intensiteiten. In kolom a zijn de relatieve energieën opgeteekend te beginnen met de top en dan telkens met $1,7 \text{ \AA}$ opklimmend, in kolom b met $1,7 \text{ \AA}$ afdalend.

¹⁾ Burger en v. Cittert: Wahre und scheinbare Intensitätsverteilung in Spektrallinien. Zsch. f. Ph. 79 — 722 — 1932.

TABEL 19.

$k V.$	0,5		8,5		14		19		22		24,5		30,5		33,5	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
top	39		22		28		45		54		54		67		72	
1,7	25	12	19	19	23	21	39	36	48	43	52	50	64	66	70	70
3,4	14	5	15	12	19	18	36	32	43	39	48	43	58	58	64	64
5,1	6	1	10	10	16	15	33	32	39	36	43	39	52	52	60	58
6,8	0	0	6	5	15	13	29	22	36	29	39	32	48	48	58	52
8,5	—	—	3	2	11	10	25	20	33	27	36	29	45	43	56	48
10,2			0	0	8	9	22	18	29	24	33	27	43	39	52	43
11,9			—	—	6	9	20	16	24	20	29	25	39	36	48	39
13,6					3	7	18	15	22	18	28	23	36	33	43	36
15,3					3	4	15	14	19	18	25	21	33	31	41	35
17							13	13	17	16	22	20	29	29	39	33
18,7							12	12	15	16	20	18	27	28	36	33
20,4							11	11	13	15	19	16	24	27	33	29
22,1							8	11	13	14	17	16	22	24	29	28
23,8							7	9	11	13	15	15	20	23	27	27
25,5							5	9	9	12	13	14	18	22	24	25
27,2							3	8	7	11	12	14	16	21	22	24
28,9							2	6	7	10	11	12	15	20	20	23
30,6							2	6	6	9	9	11	13	18	18	21
32,3							0	5	4	8	7	11	12	18	16	20
34								5	3	8	7	10	12	16	15	19
35,7								4	0	7	6	10	11	16	14	18

In tabel 20 vindt men deze intensiteiten alle op dezelfde top-hoogte gebracht en overigens op dezelfde wijze opgeteekend. De tabellen zijn niet verder voortgezet dan tot waar de volgende berekeningen mogelijk waren.

Hebben we nu met Stark-effect te maken, dan kunnen we in een bepaalde maat de waarschijnlijkheid van bepaalde inter-atomaire velden uit de intensiteiten van de gesplitste lijnen vinden.

We kunnen daarbij onderstaande redeneering volgen:

Zij de waarschijnlijkheid van het voorkomen van een bepaalde veldsterkte F , gelijk aan $W(F)dF$ voor het interval tusschen F en $F + dF$ en de intensiteit van een van de componenten bij het optreden van deze veldsterkte $I(F)$, dan is over het interval dF de intensiteit $W(F)I(F)dF$.

TABEL 20.

kV	0,5		8,5		12		19		22		24,5		30,5		33,5	
top.	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
	100		100		100		100		100		100		100		100	
1,7	64	31	86	86	82	75	87	80	89	80	96	93	96	98	97	97
3,4	36	12	68	55	68	64	80	71	80	72	89	80	87	87	89	89
5,1	15	26	45	45	57	54	73	71	72	67	80	72	78	78	84	81
6,8	0	0	27	23	54	47	65	49	67	54	72	59	72	72	81	72
8,5			13	9	39	36	56	45	61	50	67	54	67	64	78	67
10,2			0	0	29	32	49	40	54	44	61	50	64	58	72	60
11,9					21	32	45	36	45	37	54	46	58	54	67	54
13,6					11	25	40	33	41	33	52	43	54	49	60	50
15,3					11	14	33	31	35	30	46	39	49	46	57	49
17					7	14	29	29	32	30	41	37	43	43	54	46
18,7						11	27	27	28	28	37	33	40	42	50	46
20,4						0	24	24	24	26	35	30	36	40	46	40
22,1							18	24	24	24	32	30	33	36	40	39
23,8							16	20	20	22	28	28	30	33	38	37
25,5							11	20	17	20	24	26	27	33	33	35
27,2							7	18	13	19	22	26	24	31	30	33
28,9							4	13	13	17	20	22	22	30	28	32
30,6							4	13	11	15	17	20	19	27	25	29
32,3							2	11	7	15	13	20	18	27	22	28
34							0	11	6	13	13	19	18	24	21	26
35,7								9	2	11	11	19	16	24	19	25

Uit de geconstrueerde intensiteitskrommen vinden we bij een bepaalde golflengte (hoorende bij een bepaalde component) een intensiteit $I(\lambda)$ en dus over een zeker interval $d\lambda$ een intensiteit $I(\lambda) d\lambda$.

Deze waargenomen intensiteit moet gelijk zijn aan de uit de waarschijnlijkheid veldsterkte berekende en dus moet:

$$I(\lambda) d\lambda = W(F) I(F) dF, \text{ waaruit:}$$

$$W(F) = \frac{I(\lambda)}{I(F)} \cdot \frac{d\lambda}{dF}.$$

Weten we dus verder $I(F)$ en $\frac{d\lambda}{dF}$ dan kunnen we $W(F)$ berekenen.

In een publicatie van Foster ¹⁾ konden we nu voor eenige waarden van F deze $I(F)$ en $\frac{d\lambda}{dF}$ vinden.

Daarbij moet nu nog het volgende worden opgemerkt. Foster geeft de $I(F)$ ²⁾ voor ieder der gepolariseerde subcomponenten van de splitsingscomponenten S , D , F en P ; de S componenten die voor onze metingen te ver liggen hebben we weggelaten.

Daar de spectrograaf een te geringe dispersie heeft, zijn de subcomponenten niet te scheiden en daarom is als $I(F)$ genomen de som van de intensiteiten der sub-componenten. Ze zijn vereenigd in tabel 21.

TABEL 21.

F k V/cm.	D	F	P
0	1,00	0	0
10	1,68	0,31	0,01
40	1,28	0,57	0,15
100	1,16	0,42	0,42

De $\frac{d\lambda}{dF}$ is afgeleid uit de tabel, die de liggingen der componenten geeft bij bepaalde veldsterkten; daartoe is als ligging van de D , F en P component genomen het zwaartepunt van de subcomponenten, de intensiteiten hiervan als gewichten nemend.

Waar verder Foster de afwijkingen geeft in ν (cm.^{-1}) is dit voor het betreffende gebied omgerekend voor λ in $\text{\AA}$, wat hier eenvoudig kan door door 4 te deelen

$$\left(\frac{dF}{d\lambda} = \frac{dF}{d\nu} \cdot \frac{d\nu}{d\lambda} = \frac{dF}{d\nu} \left(-\frac{1}{\lambda^2} \right) \right). \text{ Van het betreffende gebied is nu } -\frac{1}{\lambda^2} = -4.$$

1) J. S. Foster. Application of Quantum Mechanics to the Stark Effect in Helium. Proc. R. S., A., 117 — 1927 — 137.

2) L. c. tabel bl. 155.

De volgende tabel (22) geeft $\frac{dF}{d\lambda}$ bij enkele veldsterkten en voor de D , F en P componenten evenals hierboven voor de zwaartepunten hiervan.

TABEL 22.

F kV/cm.	D	F	P
10	24	31	100
40	10	25	11
100	9,4	36	7,7

TABEL 23.

F kV/cm.	D	F	P
0	0	+ 1,4	+ 11,6
10	— 0,42	+ 1,7	+ 11,7
40	— 3,1	+ 3,4	+ 13,2
100	— 10,3	+ 5,3	+ 20,5

De ligging van de componenten bij bepaalde veldsterkte ten opzichte van de oorspronkelijke ongesplitste lijn geeft tabel 23 in Å.

Ten slotte moest nu nog $I(\lambda)$ uit de intensiteitskrommen worden afgelezen. Deze kunnen we vinden in fig. 35.

De krommen geven de intensiteitsverdeling voor de bij iedere kromme genoteerde ontladingsspanning.

Horizontaal zijn uitgezet Å eenheden, naar links afdalend en naar rechts opklimmend ten opzichte van de top (4922 Å).

Verticaal zijn uitgezet de intensiteiten in procenten van de top-intensiteit (in de voor de meting gebruikte tekening was 1 Å = 1 c.m. en intensiteit 100 % = 50 c.m.).

Gezien de ligging van de componenten is daarbij nog het volgende op te merken:

De $I(\lambda)$ voor de D component kan direct worden afgelezen.

De F component heeft ten opzichte van de nullijn al een verplaatsing bij veldsterkte 0 en wel 1,4 Å. Door de lijnvorm komt daardoor al een zekere energie op de plaats van 1,7 Å en 3,4 Å. Om de $I(\lambda)$ dus te vinden is van de gemeten $I(\lambda)$ op de plaats van de component afgetrokken, wat er zou moeten liggen bij veld 0. Daarvoor is genomen de $I(\lambda)$ bij 0,5 kV ontladingsspanning, waarbij nog geen merkbare ionisatie optreedt.

De P component is bij veldsterkte 0 ook verplaatst en wel 11,6 Å ten opzichte van de nullijn, maar uit de vorm bij 0,5 kV blijkt de

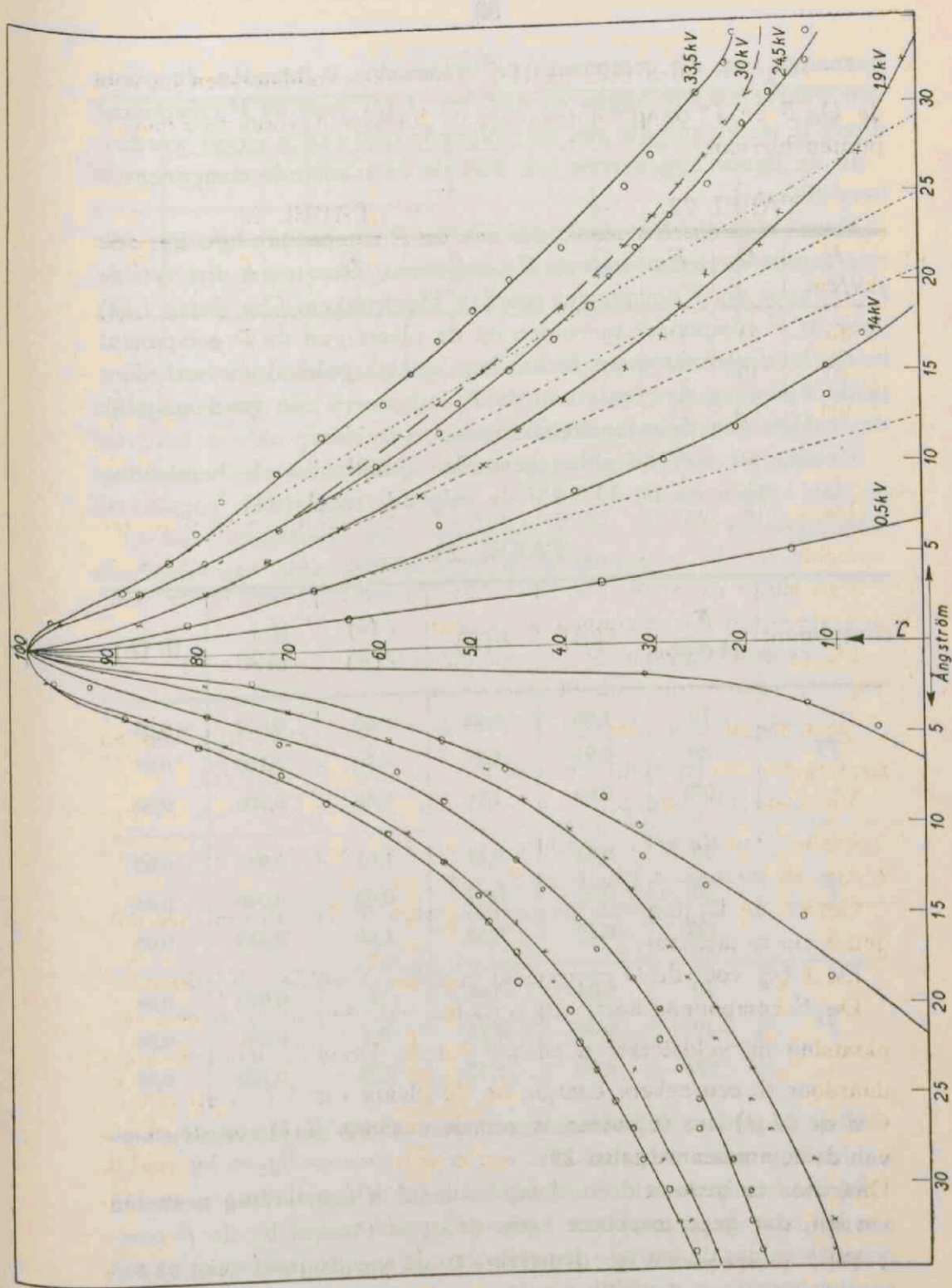


fig. 35.

intensiteit van die component bij veldsterkte 0 beneden de grens van waarneming te liggen en dus zou $I(\lambda)$ voor de P component direct te meten zijn als niet het volgende overwogen moest worden:

In de figuur liggen voor een deel de verschillende componenten over elkaar.

Daar waar dus het maximum van de P component ligt, ligt ook nog eenige intensiteit van de F component. Deze moet dus van de $I(\lambda)$ voor de P component worden afgetrokken. Om deze $I(\lambda)$ voor de F component te vinden op de plaats van de P component is de intensiteitskromme recht door geëxtrapoleerd en wel door in de figuur op de plaats van de F component zoo goed mogelijk de raaklijn aan de intensiteitskromme te trekken.

Voeren we met de aldus gevonden grootheden de berekening uit dan krijgen we bij 33,5 kV de volgende tabel (24).

TABEL 24.

component	F kV/cm.	$I(\lambda)$	$I(F)$	$\frac{I(\lambda)}{I(F)}$	$\frac{d\lambda}{dF}$	$W(F)$
D	10	1,00	1,68	0,60	0,042	0,03
	40	0,91	1,28	0,70	0,100	0,07
	100	0,60	1,16	0,52	0,106	0,05
F	10	0,33	0,31	1,07	0,032	0,03
	40	0,54	0,57	0,95	0,040	0,04
	100	0,70	0,42	1,66	0,029	0,05
P	10	0,04	0,01	4	0,010	0,04
	40	0,06	0,15	0,4	0,091	0,04
	100	0,16	0,42	0,36	0,130	0,05

Voor de andere ontladingsspanningen, alleen de uitkomsten vermeldende, vinden we tabel 25.

Bij het beschouwen der uitkomsten moet in aanmerking genomen worden, dat de extrapolatie soms groot is (vooral bij de P component) en dat de geringe dispersie van de spectrograaf geen nauwkeurige metingen mogelijk maakt.

TABEL 25.

F in kV/cm	33,5 kV			30,5kV			24,5 kV			19 kV			14kV		
	D	F	P	D	F	P	D	F	P	D	F	P	D	F	P
10	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,22
40	0,07	0,04	0,04	0,07	0,04	0,04	0,06	0,04	0,03	0,06	0,03	0,04	0,05	0,02	0,1
100	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,07	0,03	0,03	—

Dit overwegende zijn de uitkomsten niet onbevredigend. De berekeningen van $W(F)$ uit de D , F en P componenten, die hetzelfde resultaat moeten geven, vertoonen in het algemeen voldoende overeenstemming, zoodat het zeker is dat Stark-effect hier de verbreedingen veroorzaakt. ...

De bovengenoemde onnauwkeurigheid laat niet toe verdergaande conclusies aan deze berekeningen te verbinden.

SAMENVATTING.

In dit proefschrift is een methode beschreven om de intensiteiten van spectraallijnen te meten bij gecondenseerde ontladingen door een Geizlersche buis bij verschillende gasdrukken en bij constante temperatuur van het gas.

Het onderzoek, uitgevoerd voor Helium, leverde de volgende resultaten op:

- 1e. Het intensiteitsverloop is in het algemeen niet evenredig met de stroomdichtheid.
- 2e. Het verloop hangt af van de gasdruk.
Bij de lagere gasdrukken daalt de intensiteit bij toenemende stroomdichtheid tot een minimum om daarna vrijwel constant te blijven.
Bij de grootere gasdrukken neemt de intensiteit in het geheele waarnemingsgebied toe bij stijgende stroomdichtheid.
Bij de lagere gasdrukken treedt als gevolg van ionisatie reeds spoedig de vonklijn op, die voortdurend in intensiteit stijgt; bij de hoogere gasdrukken komt deze lijn later te voorschijn en stijgt slechts zeer langzaam.
- 3e. De overeenkomstige lijnen van het triplet en singulet-systeem gedragen zich op dezelfde wijze; alleen bij de hoogste gasdruk (20 m.m.) schijnen de lijnen uit het triplet-systeem iets sterker te stijgen dan die uit het singulet-systeem.
- 4e. Wat de termen uit één reeks betreft, stijgen de hoogere termen uit de reeks in totaal meer in intensiteit dan de lagere. Hierbij vertoont zich de eigenaardigheid dat bij de drukken van 6 en 20 m.m. eerst de hoogere nummers veel sterker stijgen dan de lagere tot een bepaald maximum, waarna de lagere weer sterker stijgen.
- 5e. Het bestaan van sterke interatomaire velden, die Stark-effect veroorzaken, is bij een gasdruk van 20 m.m. aangetoond door de intensiteitsmeting van de verbrede lijn $4922 \text{ \AA}$.
De waarschijnlijkheid van het voorkomen van bepaalde veldsterkten is berekend en geeft voor de verschillende componenten bevredigende overeenkomst.
- 6e. Ten slotte is de bruikbaarheid van de visueel optisch-pyrometrische methode als contrôlemiddel voor op andere wijze gedane intensiteitsmetingen aangetoond.

STELLINGEN.

I.

Formeel is elke vergelijking van Fredholm:

$$f(x) = \int_a^b N(xs) \varphi(s) ds$$

van de eerste soort door toevoeging van een „Zackenfunction” aan de kern om te zetten in een vergelijking van Fredholm van de tweede soort.

Aan deze omzetting kan heuristische waarde niet ontzegd worden.

(Vergel. Burger en v. Cittert: Wahre und scheinbare Intensitätsverteilung in Spektrallinien. Ztschr. f. Ph. 79—1932, blz. 722.

II.

Ten onrechte meent Dobell, dat het noodzakelijk geweest is, dat van Leeuwenhoek „Dunkelfeldbeleuchtung” gebruikt moet hebben.

(Cl. Dobell: Antony v. Leeuwenhoek and his little animals. Amsterdam 1932, blz. 330).

III.

De metingen van J. Lasz over de polarisatiegraad bij aanslag door electronenbotsingen zijn onnauwkeurig en weinig voor uitbreiding vatbaar.

(J. Lasz. Methode zur Messung der Polarisation bei Electronenstoszeuchten. Ann. d. Ph. V — 3 — 701.)

IV.

Voor meting van monochromatische verlichtingssterkte heeft het gebruik van de internationale lux geen zin.

V.

Wanneer het de bedoeling is de geschiktheid van verschillende

oliesoorten als transformatorolie te beoordeelen zijn tegen de methode van Evers en Schmidt over de „veroudering” van olie ernstige bezwaren aan te voeren.

(J. Evers en R. Schmidt, Die künstliche Alterung von Mineralölen. Ztschr. „Petroleum” XXIX — 4 Jan. 1933.)

VI.

De beschouwingen van E. H. Synge over het fonkelen der sterren zijn weinig betrouwbaar,

(E. H. Synge. Phil. Mag. XI — 7 blz. 957 — 1931.)

VII.

Het is wenschelijk, dat op de H.B.S. B het aantal wekelijksche lesuren „cosmografie” weer van 1 op 2 worde gebracht.

VIII.

Het eventueel verplichte gedeelte van een opleiding tot het leeraarsambt blijve beperkt tot het verwerven van eenige kennis der psychologie, speciaal die der jeugd, en van eenige practische ervaring als docent.

