



Onderzoekingen in den koperboog

<https://hdl.handle.net/1874/322572>

A. q. 1923, 1936

ONDERZOEKINGEN IN DEN KOPERBOOG

D. VAN LINGEN

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

as.
cht

ONDERZOEKINGEN IN DEN KOPERBOOG

Diss. Utrecht 1936

ONDERZOEKINGEN IN DEN KOPERBOOG

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. W. VOLLGRAFF, HOOGLEERAAR IN DE
FACULTEIT DER LETTEREN EN WIJSBEGEERTE,
VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAAT DER
UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKINGEN VAN DE
FACULTEIT DER WIS- EN NATUURKUNDE TE VER-
DEDIGEN OP **DINSDAG 7 JULI 1936**,
DES NAMIDDAGS TE 3 LIUR, DOOR

DERK VAN LINGEN

GEBOREN TE LOLLUM (FR.)



1936

DRUKKERIJ Fa. SCHOTANUS & JENS — UTRECHT

**BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.**

Aan mijn Vader.

Aan de nagedachtenis mijner Moeder.

PROMOTOR PROF. Dr. L. S. ORNSTEIN

INLEIDING EN DOEL VAN HET ONDERZOEK.

De metingen in het boogspectrum van koper, waarover in het volgende gehandeld wordt, zijn een voortzetting van een onderzoek, door Ornstein en Vermeulen ingesteld, naar aanleiding van een publicatie van Nottingham¹⁾: Probe and Radiation Measurements in the Copper Arc.

De metingen van Nottingham geschieden photoëlectrisch; hij neemt aan, dat in den koperboog geen zelfabsorptie optreedt en komt dan tot de conclusie, dat de intensiteitsverhoudingen van spectraallijnen in boogspectra den sommenregel niet volgen.

Ornstein en Vermeulen²⁾ hebben eenige van Nottingham's metingen volgens de fotografische methode herhaald en vonden, dat de intensiviteitsverhouding van het 1^2s-2^2p doublet (resonantie doublet $\lambda = 3248$ en $\lambda = 3274$) afhankelijk is van de stroomsterkte in den boog. Hieruit volgde terstond, dat zelfabsorptie in den boog een rol speelt.

Later hebben beide onderzoekers³⁾ de intensiteitsverhouding van genoemd doublet bepaald in een „zuiveren” koolboog.

De koolboog geeft tengevolge van sporen verontreiniging bij voldoende lange belichting de lijnen van dat doublet van koper op de fotografische plaat. Als intensiteitsverhouding werd nu 2:1 gevonden, de waarde die door den sommenregel geëischt wordt.

Tenslotte werd door Ornstein en Vermeulen⁴⁾ nog aangetoond, dat de zelfabsorptie in den koperboog in het centrum het grootst is en afneemt in de zoomen.

¹⁾ N. B. Nottingham. Journal of Franklin-Inst. Vol. 207. No. 3.

²⁾ L. S. Ornstein und D. Vermeulen. Zs. f. Ph. 64, 657, 1930.

³⁾ " " " " " " 66, 490, 1930.

⁴⁾ " " " " " " 70, 564, 1931.

Doel van het onderzoek was:

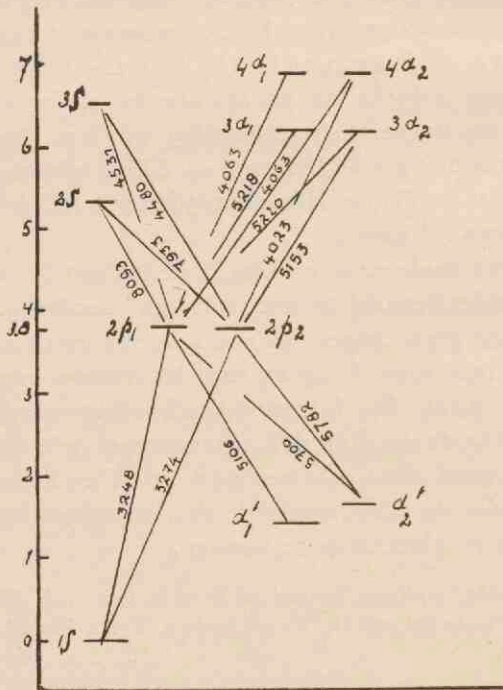
- 1°. het werk van Ornstein en Vermeulen in den koperboog voort te zetten;
- 2°. absorptievrije metingen te doen in het koperspectrum ter controle van den sommenregel;
- 3°. relatieve overgangswaarschijnlijkheden te bepalen.

De eigenaardigheden, die zich voordeden in metaalbogen, waren oorzaak, dat het onderzoek zich ook tot andere problemen moest uitstrekken, die den aard der boogontlading raken.

Gemakshalve wordt hieronder het niveauschema van koper, ontleend aan W. Grotrian, weergegeven.

(Graphische Darstellung der Spektren von Atomen und Ionen mit ein, zwei und drei Valenzelektronen, II, blz. 44 [Struktur der Materie, VII].)

VOLT



HOOFDSTUK I

VOORLOOPIGE METINGEN.

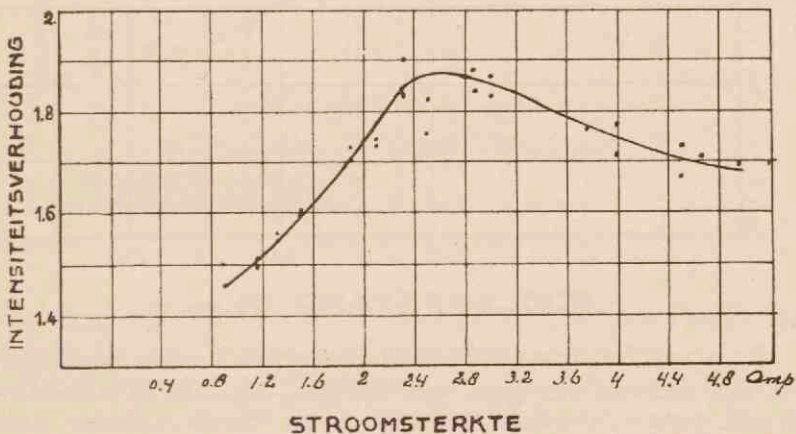
§ 1. Metingen in den koperboog.

Als vervolg op het werk van Ornstein en Vermeulen¹⁾, werd in den koperboog de intensiteitsverhouding van het 2^2p-3^2d doublet $\lambda = 5220$, $\lambda = 5218$ en $\lambda = 5153$ bepaald als functie van de stroomsterkte.

Het spectrum werd gefotografeerd met een Hilger (E_2) spectrograaf, waarbij het midden van den boog afgebeeld werd op de spleet van den spectrograaf.

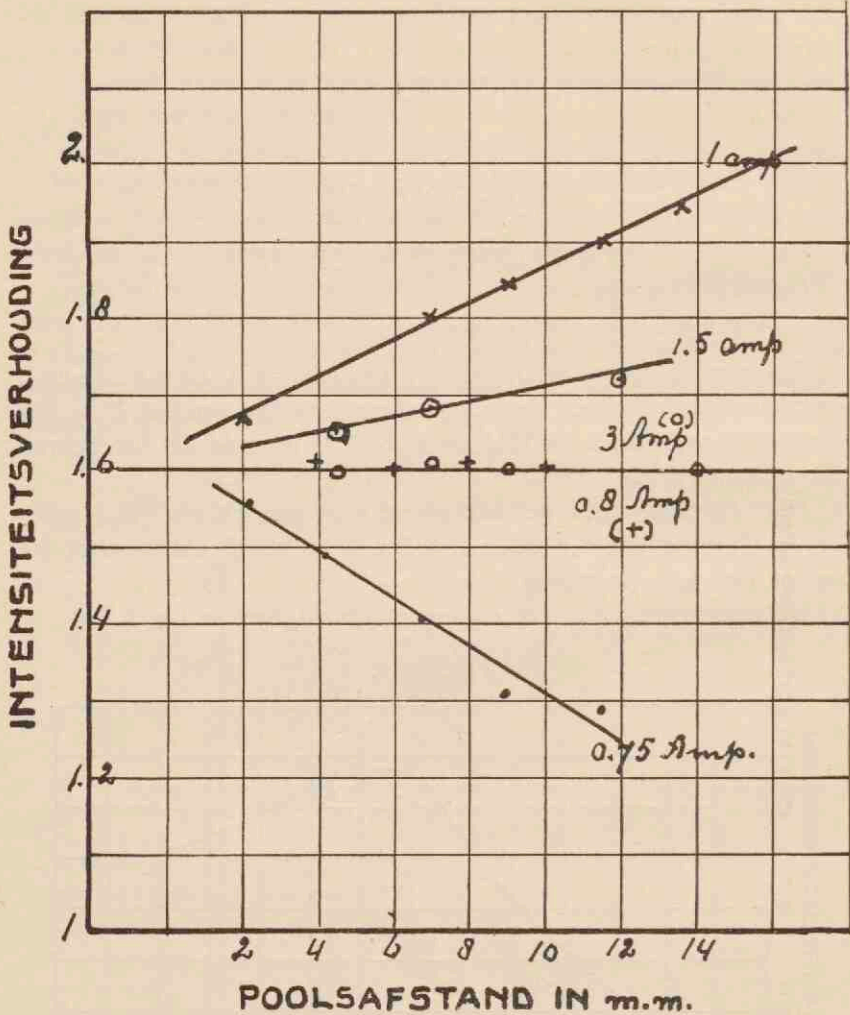
De uitkomsten van deze metingen zijn uitgezet in fig. 1.

FIGUUR 1.



¹⁾ Zie blz. 1.

FIGUUR 2.



Het gevonden verloop van de intensiteitsverhouding komt overeen met dat voor het geval van het 1^2s-2^2p doublet $\lambda = 3248$ en $\lambda = 3274$.¹⁾

¹⁾ Zie blz. 1.

Er treedt dus zeker zelf-absorptie in den koperboog op.

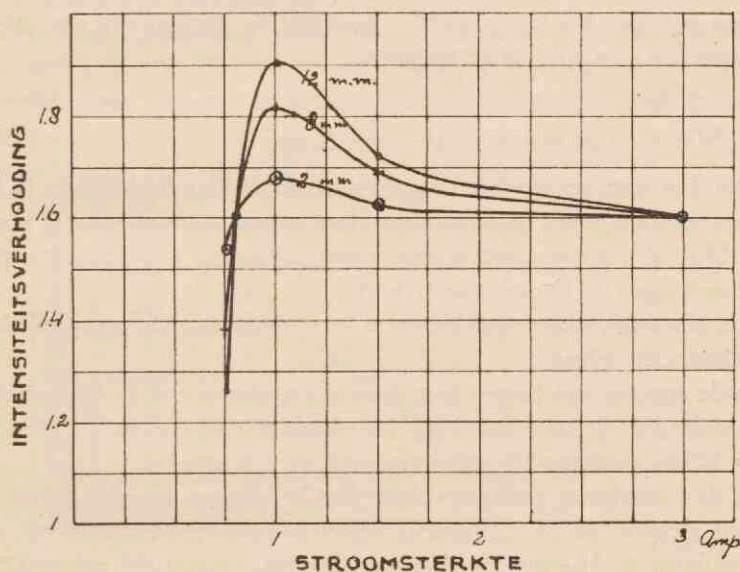
Verder werd de invloed nagegaan van de variatie van den afstand der polen op de verhouding der intensiteiten. Hiertoe werd eveneens het samengesteld 2^2p-3^2d doublet gekozen.

De lijnen $\lambda = 5220$ en $\lambda = 5218$ waren niet te scheiden, zoodat gemeten werd de verhouding:

$$\frac{\text{Int. } 5220 + \text{Int. } 5218}{\text{Int. } 5153}$$

De resultaten van deze metingen worden weergegeven door fig. 2.

FIGUUR 3.



In deze figuur is de intensiteitsverhouding uitgezet tegen den afstand der polen, terwijl de stroomsterkte parameter is.

Het blijkt dus, dat de intensiteitsverhouding in hooge mate afhangt van den afstand der electroden. Eveneens zien we, dat de absorptie bij 0,75 en 0,8 ampère grooter is dan bij 1 ampère.

Daar de vorm van den boog steeds dezelfde was, zou, omdat

absorptie toeneemt met de temperatuur, hieruit volgen, dat de temperatuur bij 0,75 amp. hooger zou zijn dan bij 1 amp.; hetgeen niet zonder voorbehoud aangenomen kan worden.

Verticale doorsneden van fig. 2 geven de intensiteitsverhouding van genoemd doublet als functie van de stroomsterkte.

In fig. 3 is de poolsafstand in m.m. parameter.

In dit verband wordt nogmaals verwezen naar de resultaten van Ornstein en Vermeulen¹⁾ waargenomen aan het 1^2s-2^2p doublet $\lambda = 3248$ en $\lambda 3274$.

Ook in het door hen onderzochte geval bereikte de verhouding bij 1 amp. een maximum.

Uit de metingen in den gebruikten koperboog volgt, dat geen conclusies getrokken kunnen worden omtrent de verhouding der intensiteiten. De absorptie is er te groot.

§ 2. Metingen in een absorptievrijen boog.

Om den sommenregel te toetsen aan verschillende doublets in het koperspectrum, werd gezocht naar electrodenmateriaal, waarin koper in voldoende geringe concentratie aanwezig is om van zelf-absorptie vrije metingen te kunnen verrichten.

Als electrodenmateriaal kwamen in aanmerking de metalen zink, aluminium en zilver.

In de spectra van bogen met deze electroden werd de intensiteitsverhouding 2 : 1 voor het 1^2s-2^2p doublet van Cu ($\lambda = 3248$ en $\lambda = 3274$) gemeten bij stroomen van $\pm 1,5$ ampère.

In den zinkboog ontstaat echter ZnO, hetgeen zeer hinderlijk is, terwijl zich op de aluminiumelectroden aluminiumoxyde vormt, dat een isolator is. Hierom werd zilver electrodenmateriaal gekozen.

Met zilver werd bij constanten poolsafstand van 5 m.m. de intensiteitsverhouding van het 1^2s-2^2p doublet van koper bepaald als functie van de stroomsterkte.

De uitkomsten van deze metingen zijn aangegeven in fig. 4. Hieruit kunnen de volgende conclusies getrokken worden.

¹⁾ Zie blz. 1.

1°. Het resonantie doublet vertoont bij stroomsterkten kleiner dan 2,2 amp. geen merkbare zelfabsorptie;

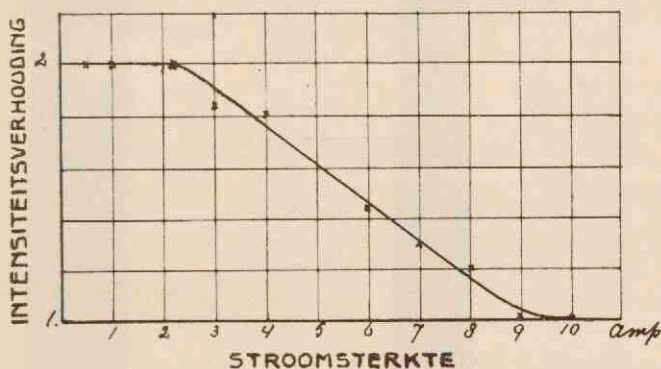
2°. in de andere doublets van koper zal dus bij dezelfde stroomsterkten de zelfabsorptie zeker verwaarloosd kunnen worden.

Tenslotte volgt hieruit ten duidelijkste, dat zelfs bij deze uiterst kleine concentratie van koper absorptie optreedt, wanneer de stroomsterkte maar groot genoeg is.

Bij stroomsterkten kleiner dan 2 amp. werden nu eenige doublets onderzocht. Hierbij werd steeds zoo nauwkeurig mogelijk het gedeelte van den boog midden tusschen anode en kathode afgebeeld op de spleet van den spectograaf.

Voor het onderzoek van het infrarode 2^2p-2^2s doublet ($\lambda = 8093$ en $\lambda = 7933$) werden „Agfa-infrarot rapid 810 Platten” gebruikt, deze werden eerst met een ammoniakoplossing gesensibiliseerd.

FIGUUR 4.

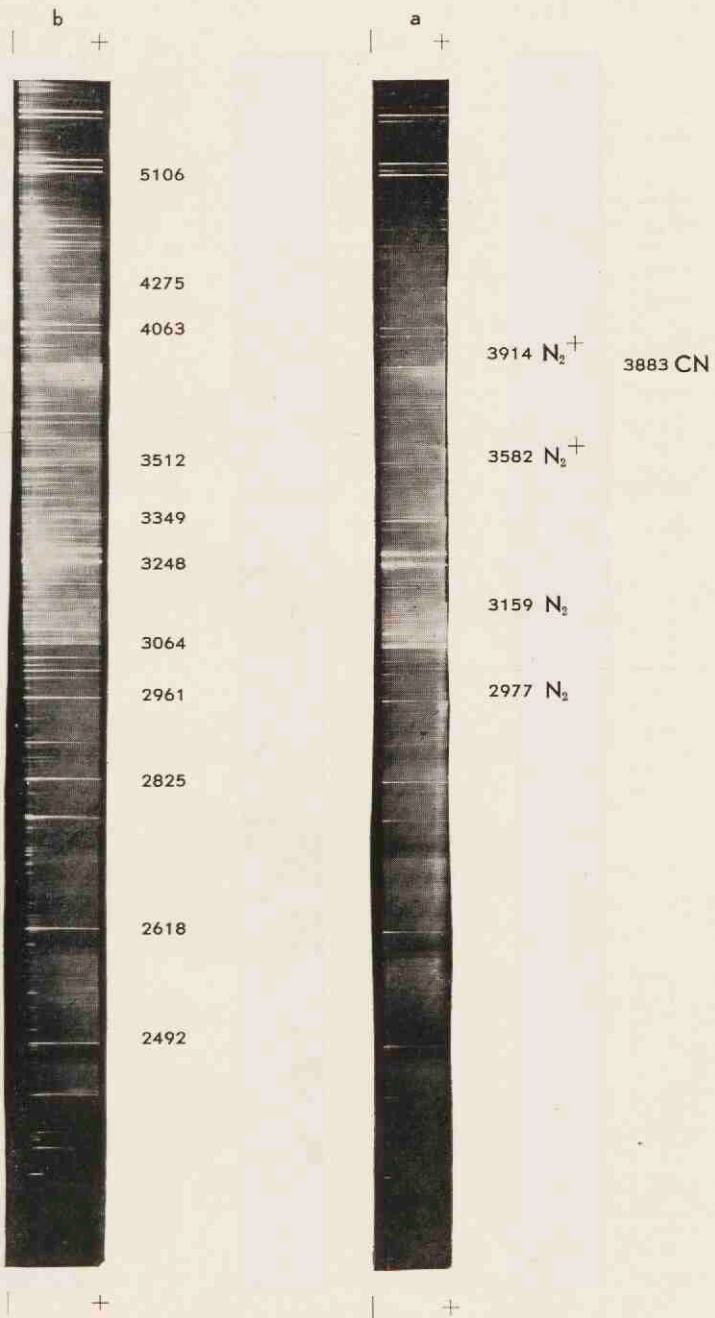


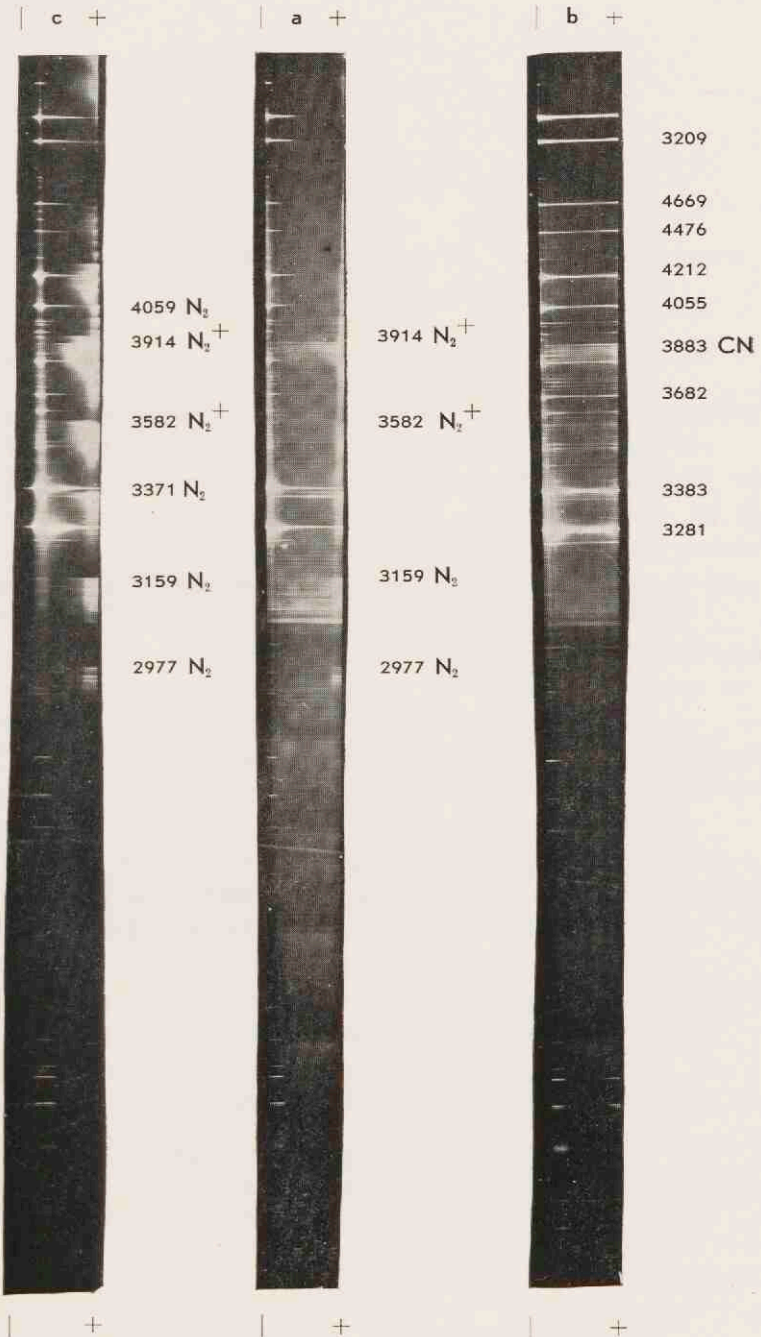
De intensiteitsverhouding was, overeenkomstig den sommenregel 2:1. Deze 2:1 verhouding werd ook gevonden bij het samengestelde 2^2p-4^2d doublet ($\lambda = 4531$ en $\lambda = 4480$).

De verhouding der intensiteiten in het samengestelde doublet $2d'-2^2p$ ($\lambda = 5782$, $\lambda = 5700$ en $\lambda = 5106$) blijkt met de stroomsterkte te veranderen. Evenmin treedt een constante inten-

siteitsverhouding op als men 2 spectraallijnen van verschillende doublets vergelijkt. Dit werd o.a. geconstateerd voor de lijnen $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$; ook in dit geval veranderde de verhouding met de stroomsterkte. Deze veranderlijke verhouding zou men kunnen trachten te verklaren uit verschil in temperatuur bij verschillende stroomsterkte. De temperatuur zou dan echter zeer sterk afhankelijk van de stroomsterkte moeten zijn. Uit opnamen gedaan bij dezelfde stroomsterkte, afkomstig van verschillende instellingen van den boog bleek, dat de gemeten waarden voor de intensiteitsverhouding van deze lijnen een abnormale spreiding vertoonen. Dit laatste feit was aanleiding tot een onderzoek van de gedaante van den boog. ¹⁾

¹⁾ Aan J. Key betuig ik mijn dank voor zijn hulp bij deze voorloopige metingen.





HOOFDSTUK II

ONDERZOEK VAN DE GEDAANTE VAN DEN BOOG IN LICHT.

§ 1. *Boog tusschen koperelectroden.*

Nauwkeurige waarneming van den boog tusschen koperelectroden in lucht vestigde de aandacht op de volgende eigenaardigheden.

Wanneer de electroden nog niet geoxydeerd zijn, ziet men, bij stroomsterkten van de orde van 1 amp., het booggedeelte bij de anode violet, het gedeelte bij de kathode groen gekleurd ¹⁾ (eerste boogvorm). Dit verschijnsel duurt eenige minuten, waarna de boog in zijn geheel groen wordt (tweede boogvorm).

Nadat de electroden geoxydeerd zijn is het onmogelijk den eersten boogvorm terug te krijgen. Van beide boogvormen vindt men een reproductie van het spectrum op de spectraalplaat (blz. 9). ²⁾

Bij constanten poolsafstand van 6 m.m. werden in onderstaande gevallen de stroomsterkte en het spanningsverschil der electroden gemeten.

1°. Anode en kathode niet geoxydeerd: 1e boogvorm, stroomsterkte = 0,98 amp., klemspanning = 105 Volt, na eenige minuten treedt een langzame overgang op naar den 2en boogvorm met stroomsterkte = 0,99 amp. en klemspanning 92 Volt;

2°. kathode alleen niet geoxydeerd: 2e boogvorm met stroomsterkte = 0,99 amp. en klemspanning = 92 Volt;

3°. anode alleen niet geoxydeerd;
dit geval verloopt volkomen als het 1e geval. Blijkbaar is dus het

¹⁾ L. A. Ginsel. 1933. Diss. Utrecht, blz. 1.

²⁾ Voor de zorg, besteed aan de reproducties der spectra op blz. 9 en 11, betuig ik mijn dank aan H. Lobstein.

op de anode gevormde oxydelaagje verantwoordelijk voor het verminderen van de klemspanning met ± 13 Volt.

Wanneer het oxydelaagje werd afgevijld, trad de 1e boogvorm weder op.

Bij kleine stroomsterkten worden in den 1en boogvorm aan de anode behalve CN banden ook die van N_2 en N_2^+ uitgezonden; eenige hiervan zijn aangegeven op blz. 9 (spectrum a).

Bij stroomsterkten van ruim 2 amp. worden alleen de CN banden geëmitteerd (blz. 9 spectrum b).

Tenslotte is nog in het spectrum van den 1en boogvorm waar te nemen, dat de banden van N_3 en N_3^+ alleen vlak bij de anode optreden en dat de intensiteit der koperlijnen afneemt van de kathode naar het midden van het spectrum.

§ 2. Boog tusschen zilverelectroden.

De boog tusschen zilverelectroden in lucht vertoont bij kleine stroomsterkten (c.a. 1 amp.) het zelfde verschijnsel als de koperboog.

De spectraalplaat van blz. 11 geeft een afbeelding van de spectra uitgezonden door den 1en boogvorm bij 0,8 amp. (a) en den 2en vorm bij ruim 2 amp. (b); in het laatste komen alleen banden van CN voor.

In den zilverboog daalde de klemspanning op de electroden, wanneer de 1e vorm in den 2en overging, met ± 15 Volt. Hier moet het optreden van den 2en boogvorm geweten worden aan een stijging van de temperatuur der anode, omdat na afkoeling terstond weer de 1e boogvorm kan verkregen worden en na verloop van eenige minuten branden de 2e boogvorm weer optreedt.

Ook in de spectra van deze 2 boogvormen is eenzelfde afname van intensiteit der metaallijnen te zien als in die van den koperboog.

De verandering van intensiteit der spectraallijnen werd nu in de eerste plaats onderzocht.

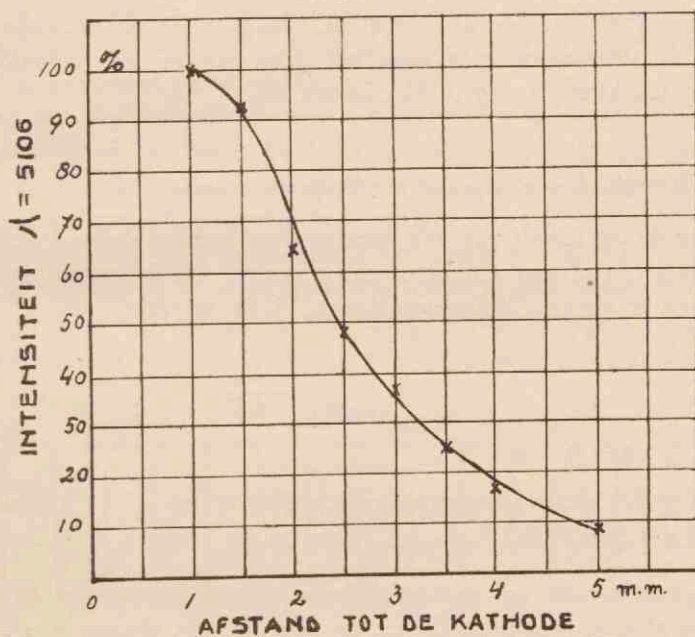
Bij dit onderzoek werden alleen opnamen gemaakt van den 1en boogvorm.

Na elke belichting werd de kathode weer vlak geslepen. Alleen

het gedeelte van den boog bij de kathode werd afgebeeld op de spleet van den spectrograaf, terwijl er voor gezorgd werd, dat de kathode zelf niet op de spleet werd afgebeeld en dat verder de kathode geen licht van den boog afschermde.

In fig. 5 zijn de relatieve intensiteiten van $\lambda = 5106$ in de deelen op verschillenden afstand tot de kathode uitgezet voor een stroomsterkte van ± 2 ampère als functie van den afstand tot de kathode; de intensiteit bij een afstand van 1 m.m. is 100 gesteld.

FIGUUR 5.



Ook voor $\lambda = 5782$, 5700 en 5153 werden soortgelijke curven gevonden. Procentueel was echter de intensiteitsafname dezer lijnen onderling niet steeds gelijk.

Hieruit moet dan volgen, dat de intensiteitsverhouding dezer lijnen niet constant is; ze blijkt afhankelijk te zijn van de plaats in den boog. De verandering van de intensiteit van de spectraallijnen

zou verklaard kunnen worden door een afname van de concentratie van koperdamp in den boog; dit is bij den 1en boogvorm duidelijk te zien; dat deze afname van de concentratie een gevolg zou zijn van een zeer groote daling der temperatuur van kathode tot anode is zeer onwaarschijnlijk, omdat juist aan de anode banden optreden.

Behalve de beschouwde afname van de intensiteit der koperlijnen van kathode naar anode, valt het optreden van banden aan de anode op. Het feit, dat deze banden ontstaan, kan doen verwachten, dat de temperatuur hoog genoeg is om ook bij de anode koperlijnen te doen ontstaan.

Daar dit niet het geval is, rijst de vraag, of de temperatuur wel alleen verantwoordelijk is voor het gebeuren in een metaalboog. We komen hierop terug in Hoofdstuk III.

§ 3. De metaalboog opgevat als Boltzmannstraler.

Voor de intensiteit van een spectraallijn, beantwoordend aan een overgang van niveau a naar niveau p , geldt, zoo de metaalboog op te vatten is als een Boltzmannstraler,¹⁾ de formule:

$$I_{a \rightarrow p} \sim A_{a \rightarrow p} \times g_a \times N \times e^{-\frac{E_a}{kT}} \times h \times \nu_{a \rightarrow p}$$

waarin $A_{a \rightarrow p}$ de overgangswaarschijnlijkheid is, g_a = het statistisch

gewicht van het aanvangsniveau, N = het aantal atomen, T = de abs. temperatuur, E_a = de energie van niveau a , $\nu_{a \rightarrow p}$ = de

frequentie van het bij dezen overgang uitgestraalde licht, h = constante van Planck en k = constante van Boltzmann.

¹⁾ Vergelijk L. S. Ornstein en H. Brinkman (Physica, vol. I, 818, 1934).

Met deze formule zouden we voor de intensiteitsverhouding van $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$ vinden:

$$\frac{I_{5106}}{I_{5153}} = \frac{A}{A} \frac{\times g \times \nu}{3d_2 - 2p_2} \frac{E_{3d_2} - E_{2p_1}}{kT} \frac{2p_1 - d'_1}{3d_2 - 2p_2} \frac{\times g \times \nu}{3d_2 - 2p_2} \times e \dots a). < \dots I \dots >$$

Deze verhouding is onafhankelijk van de concentratie.

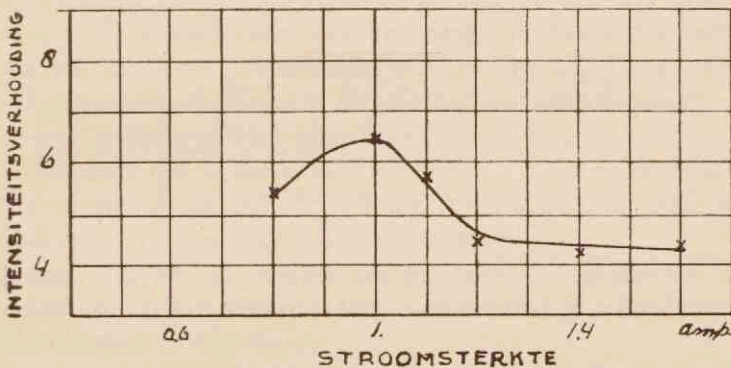
De breuk $\langle I \rangle$ is constant en dus moet deze verhouding kleiner worden naarmate de temperatuur toeneemt.

Om nu onafhankelijk te zijn van de verandering van de koperconcentratie in den boog, werd voorloopig als volgt te werk gegaan. Met zilver als electrodenmateriaal werd, bij een booglengthe van 8 m.m., het gedeelte van den boog, gelegen van 2 tot 3 m.m. vanaf de kathode, afgebeeld op de spleet van den spectrograaf.

In dit booggedeelte werd de intensiteitsverhouding van $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$ bepaald als functie van de stroomsterkte.

De uitkomsten dezer metingen zijn aangegeven in fig. 6.

FIGUUR 6



Wanneer bovenstaande formule geldig is voor een metaalboog, zou uit (a) in verband met bovenstaande resultaten volgen; de

temperatuur neemt af van 0,8 tot 1 amp. en neemt bij grooter stroomsterkten weer toe.

Een dergelijke conclusie is niet zonder bedenking te aanvaarden en daarom is het ook moeilijk om aan te nemen, dat het mechanisme van een metaalboog met dat van den koolboog, zooals het door Ornstein en Brinkman¹⁾ beschreven is, overeenkomt, dus dat het gas van den boog door zijn hooge temperatuur de atomen aanslaat en dat door botsingen van de tweede soort met de deeltjes van het gas een evenwichtstoestand ontstaat, die door de wet van Maxwell-Boltzmann beschreven wordt.

Gesteund door het feit, dat de karakteristieken van metaalbogen dezelfde gedaante hebben als die van ontladingsbuizen, achten we het op grond van onze voorloopige metingen waarschijnlijk, dat in de metaalbogen zoowel temperatuur- als electronenaanslag een rol spelen.

¹⁾ Vergelijk L. S. Ornstein en H. Brinkman (Physica vol. I, 818, 1934).

HOOFDSTUK III

SYSTEMATISCH ONDERZOEK VAN DEN BOOG IN LUCHT VAN 1 ATM.

§ 1. *Optische opstelling en uitkomsten der metingen.*

De optische opstelling bij dit onderzoek is schematisch weergegeven in fig. 7.

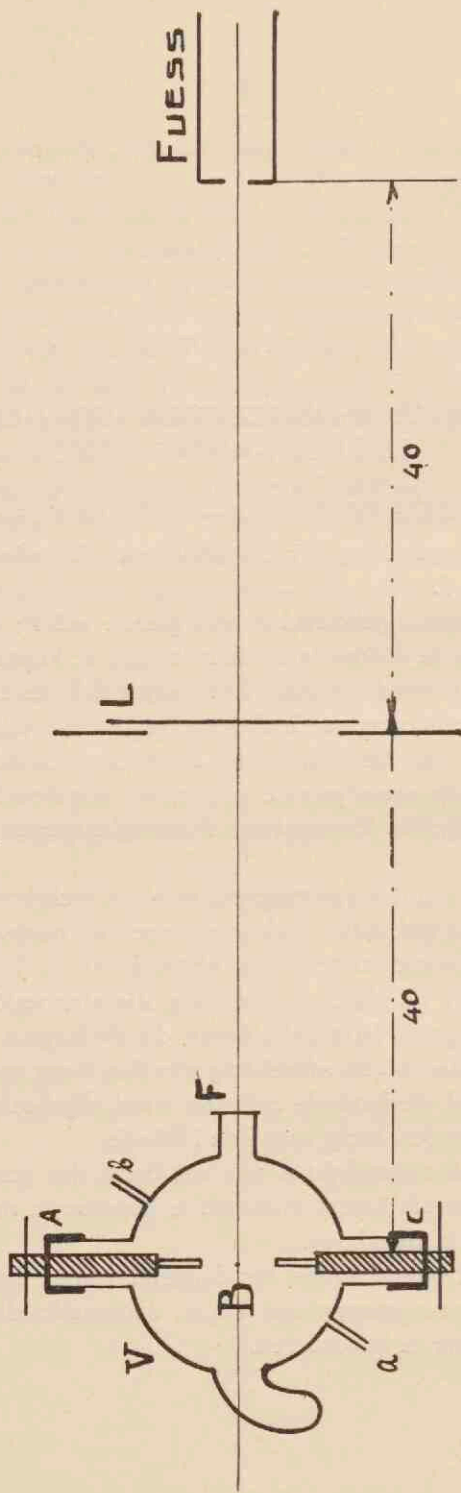
De boog *B* was ingebouwd in een glazen vat *V*; dit is geschied om het mogelijk te maken later de metingen te kunnen herhalen in stikstof. Tevens werd hierdoor het voordeel bereikt, dat de boog geen storende invloeden van luchtstroomen in het vertrek onderging.

Door middel van de lens *L* met brandpuntafstand van 20 c.m. werd de boog op ware grootte (10 m.m.) afgebeeld op de spleet van den spectrograaf. Er werd een Fuess-glasspectrograaf (51263) gebruikt.

Op de spleet van den spectrograaf was een rechthoekig diafragma hoog 8 m.m. aangebracht; hierover waren in horizontale richting haren gespannen met onderlingen afstand van $\pm \frac{1}{2}$ m.m., die het mogelijk maakten de plaats in den boog, die afgebeeld wordt, op de plaat vast te leggen. Met behulp van dit diafragma werd er zorg voor gedragen dat, bij de afbeelding van den boog op de spleet van den spectrograaf, de kathode *zelf* niet werd afgebeeld, maar alleen het gedeelte van den boog vanaf de kathode.

Tevens was het met behulp van het beeld der gespannen haren mogelijk om intensiteitsverhoudingen te bepalen in nauwkeurig bekende plaatsen in den boog.

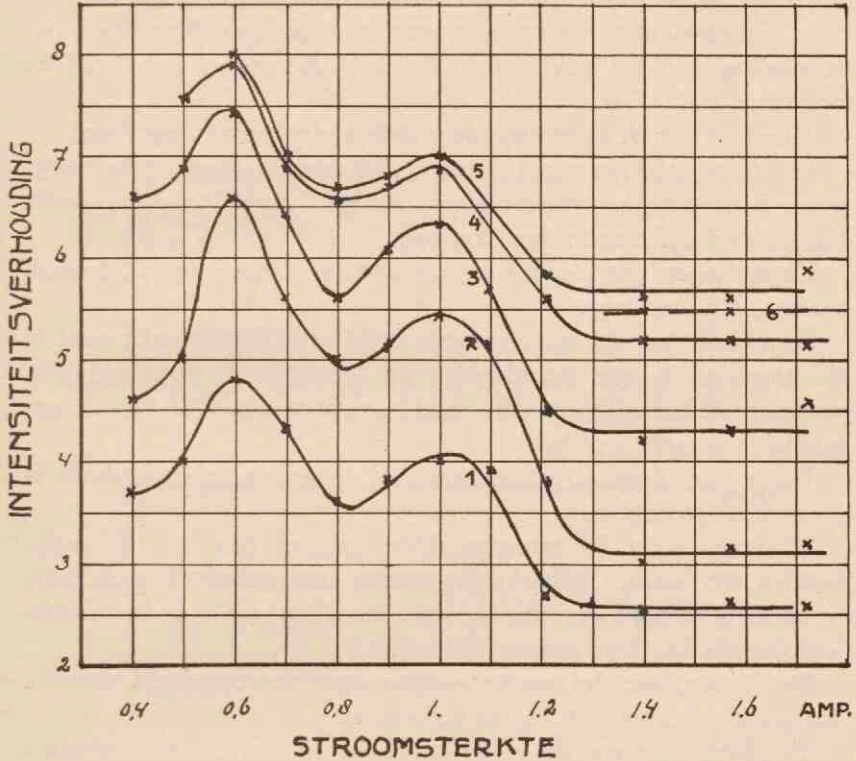
De zilverelectroden hadden een diameter van ± 2 m.m. en waren bevestigd in messingstaven van 1 c.m. doorsnede, die dienden om den warmteafvoer te bevorderen.



Deze messingstaven konden op en neergeschroefd worden in de messingsluitstukken A en C.

Door deze inrichting was het mogelijk de electroden op de juiste hoogte en afstand in te stellen.

FIGUUR 8



Het vat V droeg een venster bij F. Diametraal tegenover dit venster was de glaswand uitgetrokken om te voorkomen, dat het door den glaswand gereflecteerd licht van den boog door het venster F zou uittreden. De openingen a en b dienden voor aanvoer van verse lucht en afvoer van de ontstane gassen.

De metingen werden zooveel mogelijk gedaan aan den 1en boog-

vorm. Het bleek mogelijk dezen boogvorm langer te behouden door het vat V aan den bovenkant met een natten lap af te koelen.

Het doel van dit gedeelte van het onderzoek was de verandering der intensiteitsverhouding van de lijnen $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$ als functie van de stroomsterkte en als functie van den afstand tot de kathode systematisch na te gaan.

De metingen werden verricht bij stroomsterken van 0,4 tot 1,75 amp. De kleinere stroomsterkten werden verkregen door een serie-schakeling van het stadsnet (440 Volt) met een accubatterij en een generator.

Hierdoor kon de spanning tot ± 880 Volt worden opgevoerd.

Bij stroomsterkten van 0,4 tot $\pm 0,8$ ampère bleef de 1e boogvorm behouden, bij grooter stroomsterkten ging de 1e boogvorm tijdens de belichting in den 2en over.

De metingen geschieden bij constanten afstand der electroden, welke 1 c.m. bedroeg.

De uitkomsten der metingen zijn uitgezet in fig. 8; ieder punt in de krommen is een gemiddelde van tenminste 5 waarnemingen, waarvan de spreiding in den regel niet meer dan 6% van de gemiddelde waarde bedroeg.

De getallen 1 tot en met 6 geven de afstanden tot de kathode in $\frac{1}{2}$ mm. uitgedrukt aan.

Waarnemingen bij stroomsterkten grooter dan $\pm 1,75$ amp. konden niet worden verricht; bij grooter stroomsterkten is de boog te onrustig, zoodat een nauwkeurige instelling, die voor het onderzoek noodzakelijk is, onmogelijk wordt.

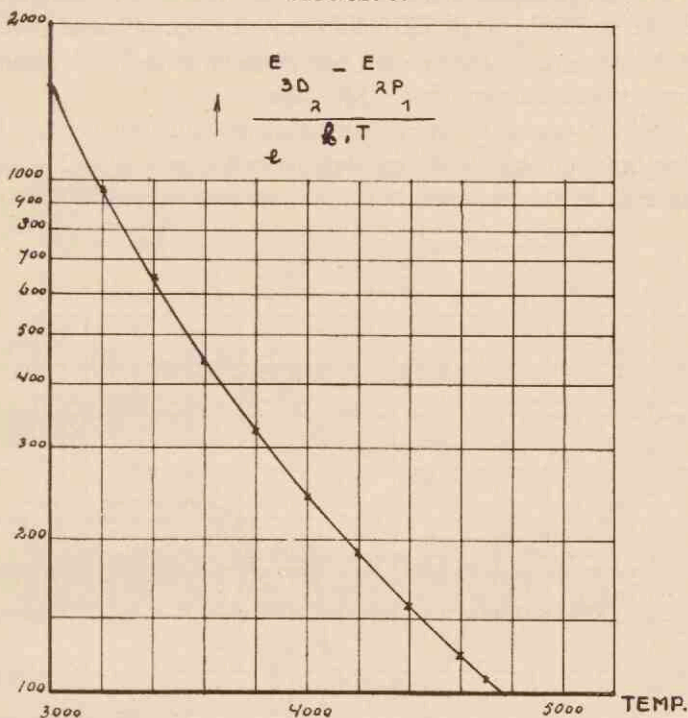
Bij de discussie der waarnemingen moet vooropgesteld worden, dat merkbare absorptie buitengesloten is.

Tenslotte vestigen wij er de aandacht op, dat curve 6 beneden curve 5 ligt.

§ 2. *Bespreking van de resultaten wanneer zij als gevolg van temperatuuranslag opgevat worden.*

Wanneer de intensiteit eener spectraallijn beschreven kan worden door een Boltzmanntemperatuur, geldt voor de intensiteitsverhouding van $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$:

FIGUUR 9.



$$\frac{I_{5106}}{I_{5153}} = C. \times e^{\frac{E_{3d_2} - E_{2p_1}}{k.T}} \quad \text{zie blz. 17.}$$

Voor temperaturen van 3000° tot 5000° werd de Boltzmannfactor

$$e^{\frac{E_{3d_2} - E_{2p_1}}{k.T}}$$

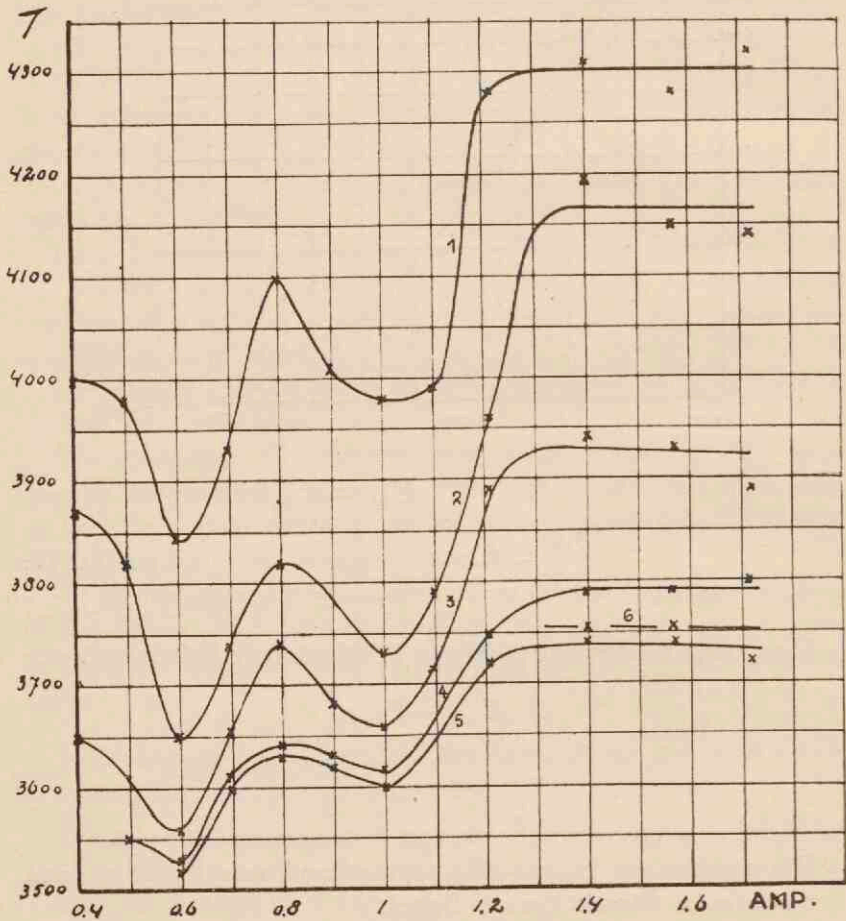
berekend en uitgezet als functie van de temperatuur. Fig. 9.

De waarde van $E_{3d_2} - E_{2p_1}$ is ontleend aan Bacher and Goudsmit, Atomic Energy States.

Om een denkbeeld te krijgen van het verloop van de temperatuur, zooals dat zou volgen uit de resultaten van fig. 8, nemen we aan, dat bij 0,4 ampère in den eersten halven m.m. vanaf de kathode een temperatuur heerscht van b.v. 4000° abs.

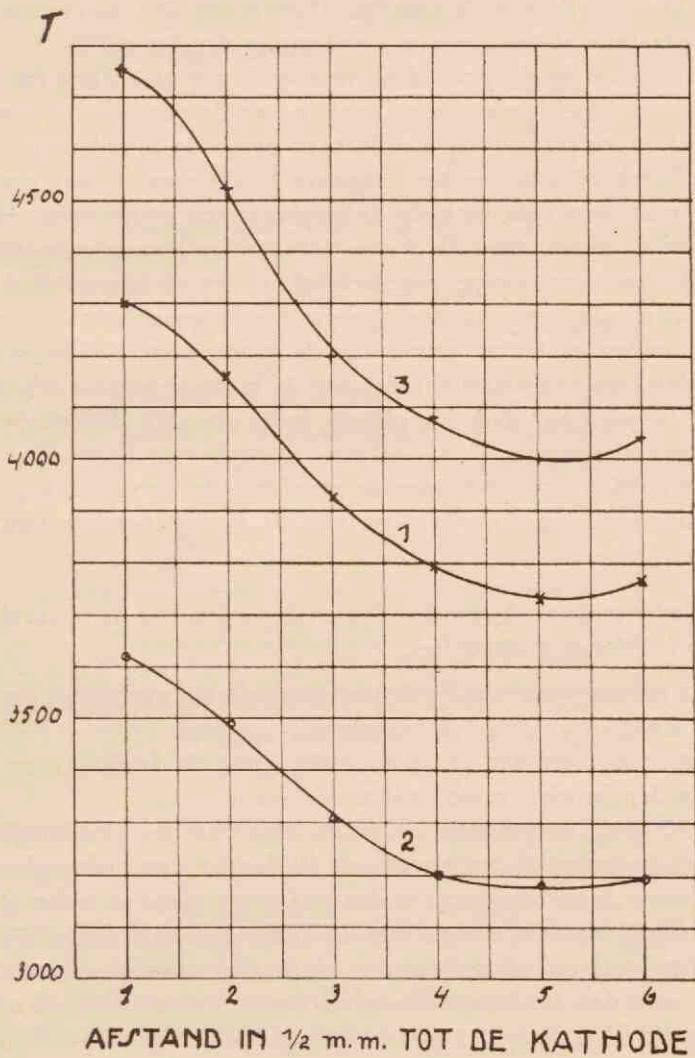
Met behulp van deze aangenomen temperatuur en met de Boltzmannfactoren uit fig. 9 is het dan mogelijk een waarde voor de constante C te vinden.

FIGUUR 10.



Met behulp van deze waarde van C werden nu, uit de gevonden verhoudingen van fig. 8, de „temperaturen”, behoorende bij die verhoudingen, d.m.v. kromme van fig. 9 bepaald.

FIGUUR 11



De aldus gevonden temperaturen zijn in fig. 10 uitgezet als functie van de stroomsterkte; de afstand tot de kathode in $\frac{1}{2}$ m.m. is weer als parameter gebruikt. Een afdoende verklaring van het verloop van de temperatuur in een gefixeerd punt van den boog als functie van de stroomsterkte is bezwaarlijk te geven.

Een verticale doorsnede van fig. 10 geeft ons de verandering van de temperatuur als functie van de plaats in den boog.

Curve 1 van fig. 11 geeft deze verandering voor 1,5 ampère.

De curven 2 en 3 van deze figuur geven de verandering van de temperatuur als functie van de plaats in den boog bij 1,5 amp., zooals die berekend zou worden, wanneer bij 0,4 amp. in den eersten halven m.m. vanaf de kathode de temperaturen 3400° resp. 4400° abs. werden aangenomen. Volgens deze curven zou de temperatuur bij de kathode een hooge waarde bezitten, tot op een afstand van $\pm 2\frac{1}{2}$ m.m. afnemen, om daarna weer toe te nemen.

We zouden echter op grond van de groote concentratie van de metaaldamp en den warmteafvoer aan de kathode juist verwachten, dat de temperatuur daar ter plaatse lager zou zijn dan op eenige m.m. afstand daarvan.

De gevonden feiten wettigen de conclusie, dat in metaalbogen de temperatuur aanslag door het gas niet de eenige oorzaak van het gebeuren is.

§ 3. *Nader onderzoek van den 1en en 2en vorm van den zilverboog in lucht van 1 atmosfeer.*

De opnamen, waarvan fig. 8 de meetresultaten geeft, zijn van 0,4 tot 0,8 ampère van den 1en boogvorm.

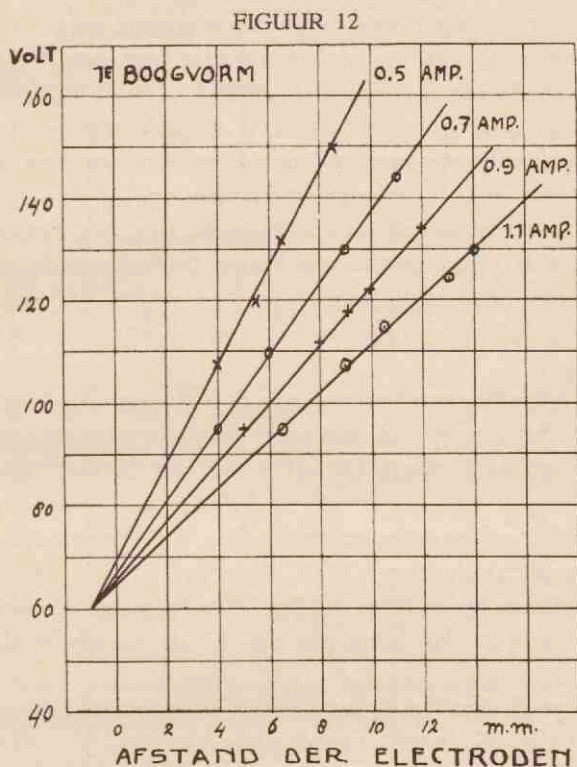
Bij stroomen grooter dan 0,8 ampère ging de 1e boogvorm gedurende den belichtingstijd in den 2en vorm over.

Fig. 12 geeft voor eenige stroomsterkten van den 1en boogvorm het spanningsverschil der electroden als functie van de booglengthe.

Wanneer de 1e boogvorm in den 2en overgegaan is, is het spanningsverschil der electroden met 15 Volt gedaald; dit is bij alle stroomsterkten en afstanden der electroden waargenomen. Een grafiek voor den 2en boogvorm wordt dus verkregen door alle rechten over 15 Volt naar beneden te verschuiven.

De 2e boogvorm wordt bij 0,4 amp. niet gevonden.

Wanneer de stroomsterkte in den 2en boogvorm van 2 ampère langzaam verminderd wordt tot 0,4 amp., ontstaat de 1e boogvorm weer.



Bij stroomen vanaf ongeveer 1,5 amp. is de 1e boogvorm zeer kort van duur.

Bij dezen overgang van den 1en in den 2en boogvorm breidt het groene booggedeelte zich geleidelijk van de kathode uit tot de anode.

Deze verandering begint reeds spoedig, nadat de stroom gesloten is, bij stroomsterkten vanaf $\pm 0,8$ ampère.

Bij kleinere stroomsterkten treedt deze overgang veel later op.

Zoodra het groene booggedeelte in blijvend contact is gekomen met de anode, is het spanningsverschil der electroden met 15 Volt verminderd.

Dit groene booggedeelte bevat metaaldamp; de kathode verdampt snel, de anode verdampt bij den 1en boogvorm uiterst weinig. Bij den 2en boogvorm verdampt de anode eveneens snel.

Omdat afkoeling van vat *V* het optreden van den 2en boogvorm vertraagt, kan de oorzaak van den overgang van den 1en naar den 2en boogvorm gezocht worden in een stijging van de temperatuur in den boog vanaf het oogenblik, dat de stroom gesloten wordt.

Hierop duidt ook de volgende waarneming:

Wanneer de zilverboog in de vrije lucht, dus niet in vat *V* is opgesteld, blijft de 1e boogvorm veel langer bestaan; in dit geval voert de omringende lucht de warmte snel af.

Is de boog in vat *V* opgesteld, dan is de warmteafvoer door de lucht gering.

Het niet optreden van banden aan de kathode wordt veroorzaakt door het verdampen van de kathode; de aanwezigheid van metaaldamp verlaagt de temperatuur dermate, dat banden niet kunnen optreden.

Het verschijnsel aan de anode bij den 1en boogvorm doet zich voor als een glimontlading.

Uit de helling der rechten in fig. 12 is gemeten de verandering van de spanning in den boog per c.m. bij de verschillende stroomsterkten.

Fig. 13 geeft het resultaat; hierin is uitgezet het spanningsverschil per c.m. als functie van de stroomsterkte.

Duidelijk blijkt hieruit, dat het spanningsverschil per c.m. in den boog met toenemende stroomsterkte afneemt.

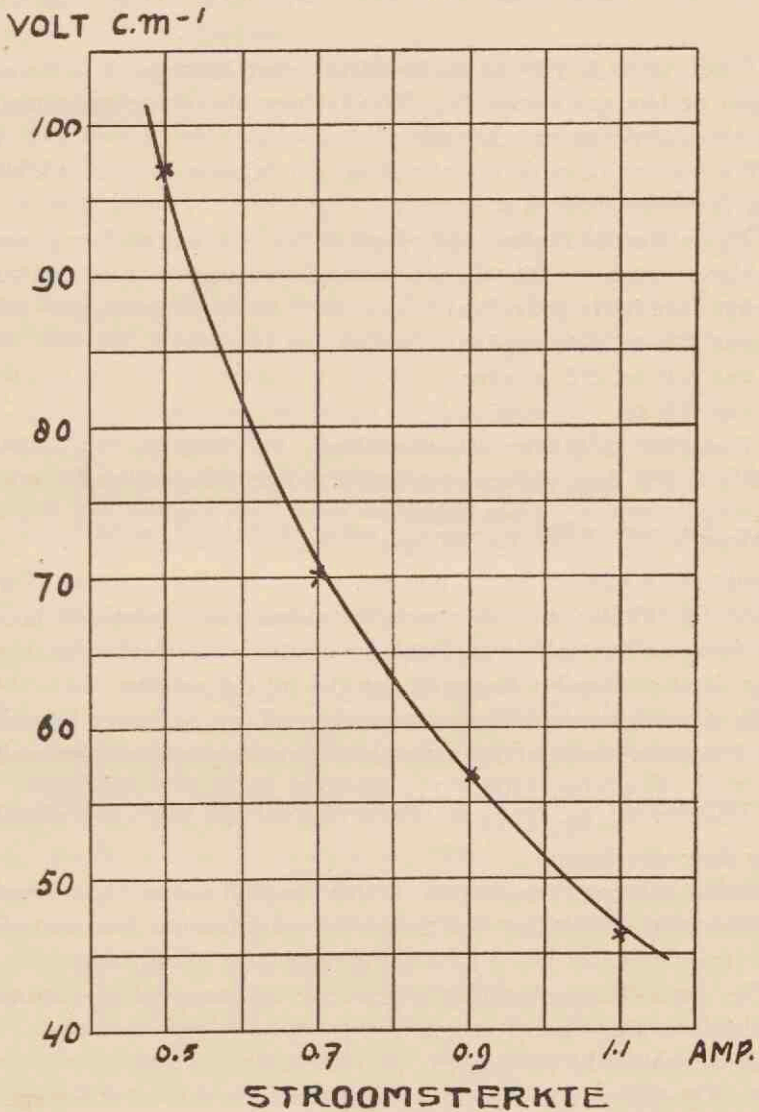
Op grond hiervan mag ook vastgesteld worden, dat de veldsterkte in den boog kleiner wordt, wanneer de stroomsterkte toeneemt.

De verandering van de spanning per c.m. in den boog als functie van de stroomsterkte is bij den 2en boogvorm volkomen dezelfde als voor den 1en vorm; fig. 13 geldt dus zoowel voor den 1en als voor den 2en boogvorm.

Tenslotte kunnen we nog vaststellen, dat in den 1en boogvorm

de kathode- en anodeval samen 15 Volt hooger zijn dan in den 2en boogvorm.

FIGUUR 13.



§ 4. *Qualitatieve verklaring der resultaten met behulp van de onderstelling, dat naast temperatuuraanslag door het gas ook aanslag door electronen optreedt in metaalbogen.*

Zooals reeds in § 2 van dit hoofdstuk werd betoogd, is in metaalbogen de temperatuuraanslag door het gas niet de eenige oorzaak van de optredende verschijnselen.

We voeren nu in de onderstelling, dat in metaalbogen ook aanslag door electronen kan optreden.

Om de meetresultaten, vastgelegd in fig. 8, kwalitatief te kunnen verklaren, gaan we uit van een parametercurve bijv. no. 2 en verdeelen deze in de gedeelten:

1e van 0,4 tot 0,6 ampère,

2e van 0,6 tot 0,8 ampère,

3e van 0,8 tot 1 ampère,

4e 1 ampère en grooter stroomsterkten.

We zullen deze gedeelten achtereenvolgens bespreken.

1e. De verhouding $\frac{\text{Int. } 5106}{\text{Int. } 5153}$ neemt vanaf 0,4 ampère toe en bereikt een maximum bij 0,6 ampère.

Uit fig. 13 kan men de conclusie trekken, dat de veldsterkte in den boog en dus ook de snelheid der electronen snel afneemt, wanneer de stroomsterkte toeneemt van 0,4 tot 0,6 ampère.

Bij deze afname van de stroomsterkte zal het 3^2d niveau minder, het 2^2p niveau relatief meer worden aangeslagen door electronen.

De verhouding: $\frac{\text{Int. } 5106}{\text{Int. } 5153}$ zal dus toenemen tengevolge van den aanslag door electronen.

Omdat echter de temperatuur in den boog bij toenemende stroomsterkte stijgt, wordt het 3^2d niveau bij aangroeiende stroomsterkte in vergelijking met het 2^2p niveau steeds meer aangeslagen.

De intensiteitsverhouding moet dus bij toenemende stroomsterkte een maximum bereiken.

Dit geschiedt bij 0,6 ampère.

2e. De intensiteitsverhouding neemt af van 0,6 tot 0,8 ampère.

De steeds hooger wordende temperatuur bij toenemende stroomsterkte en de steeds kleiner wordende snelheid der electronen zijn oorzaak, dat de temperatuuraanslag door het gas den aanslag door electronen gaat overheerschen. Dit is de reden waarom de intensiteitsverhouding afneemt.

3e. De verhouding zou dus bij stroomsterkten grooter dan 0,8 amp. monotoon dalend — tenminste niet stijgend — moeten zijn; toch neemt deze toe vanaf 0,8 amp. om bij 1 amp. een maximum te bereiken.

De oorzaak hiervan moet gezocht worden in het feit, dat gedurende de belichting de 1e boogvorm overgaat in den 2en, waarbij de spanning op de electroden daalt met 15 Volt.

Bij deze stroomsterkten is de snelheid der electronen betrekkelijk klein; het 3^2d niveau zal dus relatief minder door electronen aangeslagen worden dan het 2^2p niveau.

Omdat nu tijdens de belichting de spanning nog met 15 Volt is gedaald, zal tenslotte het 3^2d niveau practisch niet meer aangeslagen kunnen worden door electronen, terwijl dit nog wel het geval is met het 2^2p niveau en dit temeer, daar het aantal electronen, dat de kathode verlaat, toeneemt, omdat de stroomsterkte grooter wordt.

De, met grooter wordende stroomsterkte, toenemende temperatuur is weer oorzaak, dat een maximum van de intensiteitsverhouding wordt bereikt.

Dat dit maximum niet hooger ligt, wordt veroorzaakt door het zich uitbreiden van het groene booggedeelte tijdens de belichting. Wat als intensiteitsverhouding gemeten wordt in een bepaald gedeelte van den boog, stel bijv. in den 3en halven m.m. vanaf de kathode, is de waarde zooals die geworden is door het opschuiven van het groene booggedeelte vanuit plaatsen dichter bij de kathode gelegen.

Omdat dichter bij de kathode de intensiteitsverhouding kleiner is, vinden we dus een waarde, die te laag is.

4e. Na het maximum bij 1 amp. neemt de intensiteitsverhouding af. Omdat, wanneer de stroomsterkte vanaf 1 amp. toeneemt, het bestaan van den 1en boogvorm van steeds korter duur wordt, zal de invloed van den electronenaanslag steeds minder tot uiting komen

in de meetresultaten; hierdoor zal de intensiteitsverhouding gaan afnemen.

Ook een verticale doorsnede van fig. 8 kan op deze wijze worden verklaard.

In den kathodeval is de snelheid der electronen groot. Dicht bij de kathode zal dus het 3^2d niveau relatief meer aangeslagen worden door electronen dan het 2^2p niveau.

Op grooter afstand van de kathode is het aantal snellere electronen verminderd en dus neemt de aanslag van het 3^2d niveau meer af dan die van het 2^2p niveau. Hierdoor zal de intensiteitsverhouding gaan toenemen. Omdat, bij toenemenden afstand tot de kathode, de invloed van den electronenaanslag verminderen moet, zal de temperatuuraanslag gaan overheerschen.

De intensiteitsverhouding zal dus, na een maximum bereikt te hebben, weer gaan afnemen.¹⁾

¹⁾ Aan J. W. Br a a k, die mij bij het werk, meegedeeld in Hoofdstuk III en IV, ter zijde stond, breng ik mijn dank.

HOOFDSTUK IV

METINGEN IN STIKSTOF.

Inleiding.

Het onderzoek in stikstof had een tweeledig doel.

In de eerste plaats was het voornemen de metingen aangaande de intensiteitsverhouding van $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$ te herhalen in stikstof, omdat bekend was, dat de boogvorm in stikstof eenigszins overeenkomt in gedaante met den 1en boogvorm in lucht.

Vervolgens zou de temperatuur nauwkeurig bepaald kunnen worden in de verschillende booggedeelten met behulp van den in het spectrum voorkomenden N_2^+ band ($\lambda = 3914$), die door de gebruikte Fuess voldoende werd opgelost.

Om metingen in stikstof te kunnen verrichten, werd de toevoer (zie fig. 7) verbonden met een stikstofbombe; aan *b* bevond zich een gummislang met klemkraan om het doorstroomen van de stikstof te kunnen regelen.

Bij alle waarnemingen stroomde de stikstof zeer langzaam door, zoodat de druk in vat *V* practisch 1 atmosfeer was; dit werd nog gecontroleerd met een manometer, die bij *a* was aangebracht.

Bij den boog in stikstof is het aan de anode uitgezonden licht paars; het aan de kathode uitgezondene groen. De oppervlakte van de kathode is in haar geheel groen gekleurd, terwijl een „punt“ van de anode intensief paars is.

Wanneer de boog eenigen tijd brandt, breidt zich het anodelicht gaandeweg verder uit ten koste van het kathodelicht. Tenslotte is het kathodelicht geheel verdwenen. De boog is dan, vooral op de kathode, zeer onrustig en slaat over in een soort glimontlading. Metingen in dezen laatsten ontladingsvorm zijn niet verricht.

Wanneer de electroden volkomen glad zijn, kan de boog echter gedurende langen tijd, soms meer dan 25 minuten, rustig blijven branden bij een stroomsterkte van $\pm 0,9$ amp. Het anodelicht strekt zich dan over de geheele booglengte uit, terwijl alleen de oppervlakte van de kathode groen is.

Het spectrum van den boog, bij uitzending van het kathode- en anodelicht, is op blz. 11 gereproduceerd (spectrum c).

Deze reproductie toont, evenals bij het spectrum van den 1en boogvorm in lucht, de metaallijnen uitgezonden worden door het kathodelicht, de banden door het anodelicht.

§ 1. *Bepaling der intensiteitsverhouding voor de lijnen $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$.*

De optische opstelling was bij de meting van deze verhouding dezelfde als bij het onderzoek van de genoemde verhouding in lucht.

Doordat de belichtingstijden ± 2 maal zoo groot waren als bij het onderzoek in lucht, zou de kathode gedurende een serie opnamen van dezelfde stroomsterkte sterk verdampen en een juiste instelling zou onmogelijk worden. Om deze moeilijkheid te ontgaan, werd de stand van de volkomen vlak geslepen kathode vastgelegd, door de oppervlakte ervan nog juist af te beelden op het diafragma, dat op de spleet van den spectrograaf was aangebracht; deze stand bleef gedurende het onderzoek dezelfde.

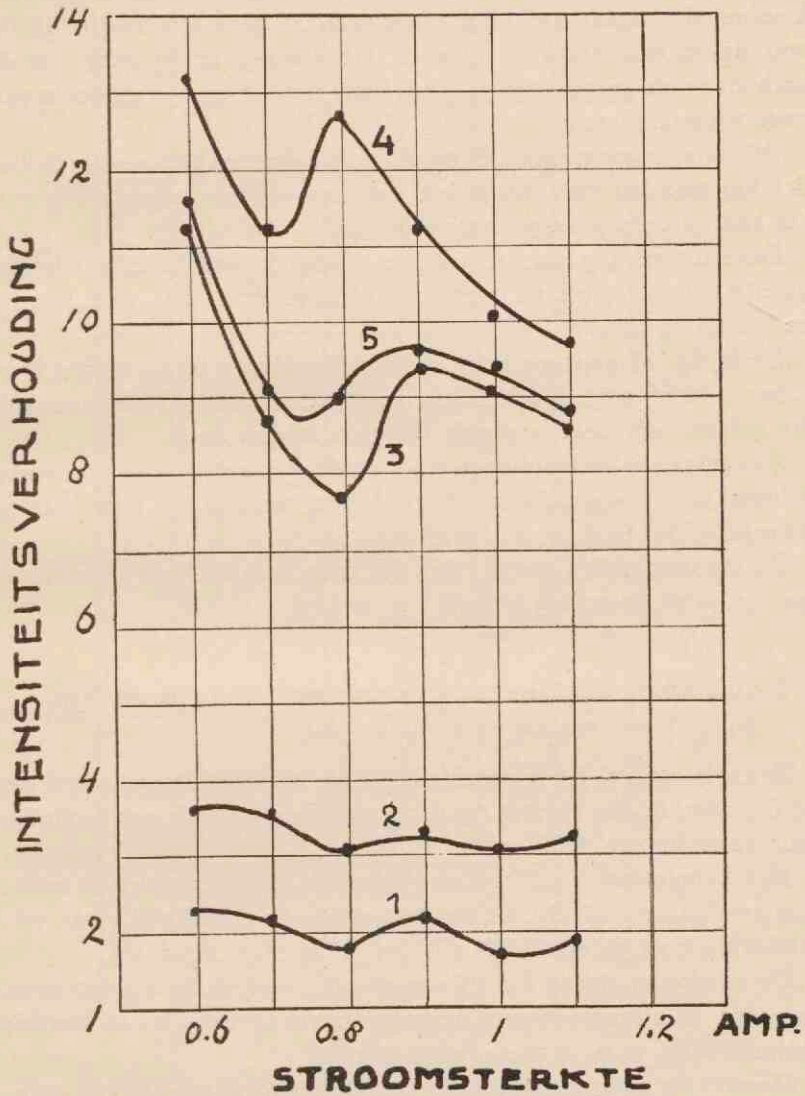
De afstand van de anode kon door het scherpe paarse lichtpunt steeds weer nauwkeurig worden bepaald. De afstand der electroden was weer 10 m.m. Achtereenvolgens werden nu drie platen belicht.

Op de eerste plaat werden voor elk van de stroomsterkten 0,6 en 0,7 amp. 2 spectra gefotografeerd.

Nu werd de eerste plaat vervangen door een tweede, waarop bij elk van de stroomsterkten 0,8 en 0,9 amp. 2 spectra werden genomen. Tenslotte werd de tweede plaat door een derde vervangen, waarop werden opgenomen bij 1 en 1,1 amp. elk 2 spectra. Steeds werd de stroom uitgeschakeld, nadat een opname voltooid was. Het vat *V* kreeg dan gelegenheid tot kamertemperatuur af te koelen.

Hierna werden achtereenvolgens op deze 3 platen de zwartingsmerken en vergelijksspectra van een koperboog opgenomen.

FIGUUR 14



Door deze handeling werd bereikt, dat de instelling van den boog gedurende het onderzoek practisch dezelfde bleef.

De meetresultaten zijn weergegeven in fig. 14, waarin de verhouding der intensiteiten der lijnen $\lambda = 5106$ en $\lambda 5153$ als functie van de stroomsterkte is uitgezet. De afstand in $\frac{1}{2}$ m.m. tot de kathode is als parameter gekozen. Ieder punt is een gemiddelde van twee waarnemingen.

Bij de stroomsterkten 0,6 en 0,7 amp. was er gedurende de belichting van het zich uitbreiden van het anodelicht ten koste van het kathodelicht weinig waar te nemen.

Deze uitbreiding was echter zeer duidelijk waarneembaar bij de grootere stroomsterkten, het kathodelicht trok dan zich tijdens de belichting terug.

De in fig. 14 gegeven intensiteitsverhoudingen bij stroomsterkten vanaf $\pm 0,75$ amp. moeten dus niet opgevat worden als waarden, die gelden voor zeer bepaalde plaatsen in den boog.

De gemeten verhoudingen zijn mede afkomstig van waarden, geldend voor booggedeelten, die zich over een bepaald punt hebben teruggetrokken tijdens de belichting.

Bij stroomsterkten grooter dan 1,1 amp. was de boog te onrustig om een juiste instelling mogelijk te maken.

§ 2. *Bespreking van de resultaten wanneer zij als gevolg van temperatuur-aanslag opgevat worden.*

Evenals op blz. 24 is geschied, is ook nu weer aangenomen dat bij 0,6 amp. in den eersten $\frac{1}{2}$ m.m. vanaf de kathode een temperatuur heerscht van 4000° abs.

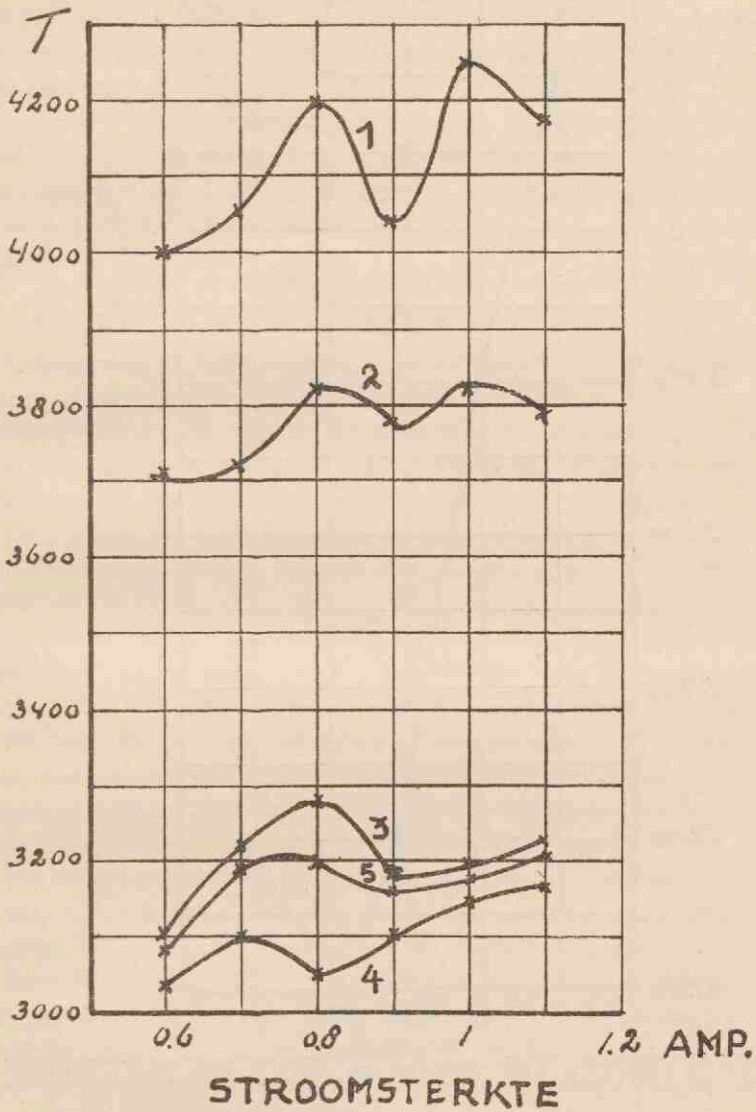
Met behulp van fig. 9 zijn ook nu uit de waarden voor de intensiteitsverhouding uit fig. 14 de „temperaturen” berekend in de verschillende booggedeelten bij alle gebruikte stroomsterkten.

De resultaten zijn in fig. 15 voorgesteld, waarin de absolute temperatuur is uitgezet tegen de stroomsterkte; de afstand tot de kathode in $\frac{1}{2}$ m.m. is weer parameter.

Hoewel de verandering van de temperatuur, die langs een parametercurve af te lezen is, veel geringer is dan het geval was bij den boog in lucht (fig. 10), is zij toch te groot om haar reëel te achten.

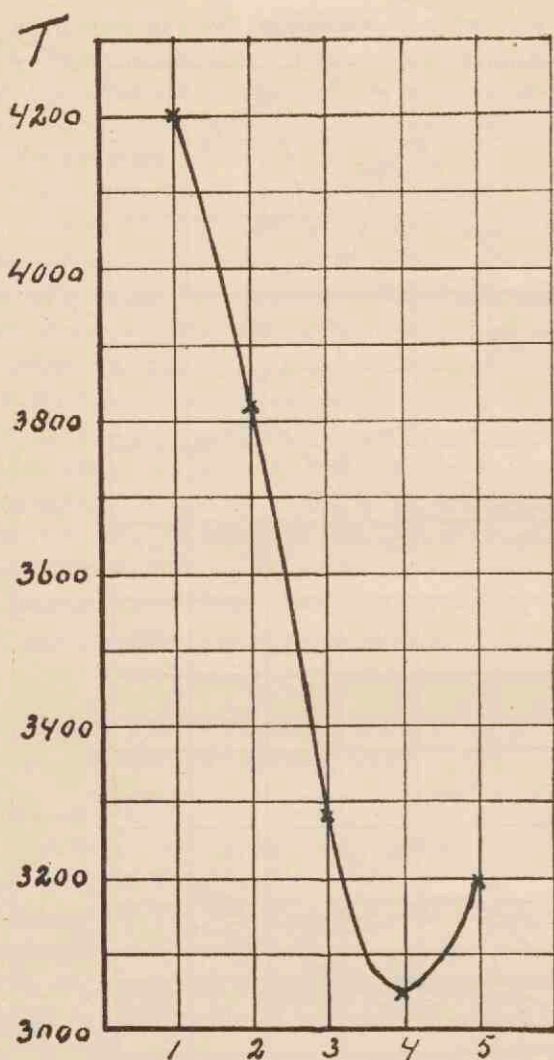
In fig. 16 is een verticale doorsnede van fig. 15 bij een stroom-

FIGUUR 15



sterkte van 0,8 amp. weergegeven. Het is onwaarschijnlijk dat in den

FIGUUR 16



AFSTAND IN $\frac{1}{2}$ m.m. TOT DE KATHODE

boog de temperatuur vanaf de kathode tot op een afstand van 2 m.m. daarvan $\pm 1200^\circ$ zou dalen.

Ook in den stikstofboog is de concentratie van metaaldamp het grootst aan de kathode; op grond hiervan alleen zou verwacht mogen worden, dat de temperatuur aan de kathode het laagst zou zijn.

Evenals bij het onderzoek van den boog in lucht komen we ook voor den boog in stikstof tot de conclusie, dat de temperatuur van het gas van den boog geen voldoende grondslag levert om de gevonden verschijnselen te verklaren.

§ 3. *Qualitatieve verklaring der resultaten met behulp van temperatuur- en electronenaanslag.*

Tusschen de karakteristieken van den boog in stikstof en die van den 1en boogvorm in lucht bestaat geen wezenlijk verschil.

De verklaring, die wij van de verschijnselen in dezen boog voorstellen, kan dus in hoofdzaak parallel loopen met degene, die wij van de resultaten in lucht gaven (zie blz. 30).

De verhouding der intensiteiten van de lijnen $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$ neemt af van 0,6 amp. tot $\pm 0,75$ amp., omdat, bij aangroeiende stroomsterkte, de electronensnelheid kleiner wordt en tevens de temperatuur in het booggas toeneemt. De aanslag door de moleculen van het heete gas zal den aanslag door electronen gaan overheerschen, zoodat de genoemde verhouding moet afnemen.

Het feit, dat de verhouding bij stroomsterkten grooter dan 0,75 amp. aanvankelijk weer gaat toenemen, wordt veroorzaakt door de omstandigheid, dat bij deze stroomsterkten het groene booggedeelte gedurende de belichting teruggedrongen wordt.

Dit terugdringen toch heeft tengevolge, dat de uitkomst van de meting in een bepaald deel van den boog beïnvloed wordt door gedeelten, die op grooter afstand van de kathode gelegen zijn.

Daar bij de beschouwde stroomsterkten het terugdringen van het groene gedeelte zeer spoedig na het sluiten van den stroom een aanvang neemt, zijn de verhoudingen, die gevonden zijn op $\pm 1\frac{1}{2}$ m.m. en grooter afstand tot de kathode, op te vatten als een soort gemiddelde van de verhouding, zooals die in het gefixeerde punt van den boog geweest is in verschillende momenten van het begin tot het eind van de belichting.

Ook de vorm van de verticale doorsneden van fig. 14 kan eenvoudig verklaard worden. In de onmiddellijke nabijheid van de kathode is de snelheid der electronen ten gevolge van den kathodeval zeer groot. De electronen veroorzaken daar een sterken aanslag van het 3^2d niveau en dus zal de intensiteitsverhouding klein zijn.

De snellere electronen zullen dus voor een groot gedeelte hun werking vlak bij de kathode uitoefenen.

Op eenigen afstand van de kathode komen de snelste electronen niet meer voor en daardoor zal het 2^2p niveau daar sterker door de gemiddeld langzamere electronen worden aangeslagen dan het 3^2d niveau. De intensiteitsverhouding zal dan dus toenemen.

Vanaf een afstand van 2 m.m. tot de kathode neemt de verhouding weer af, omdat daar ter plaatse de aanslag door het warme gas den aanslag der electronen overheerscht.

In stikstof ligt parametercurve 5, reeds beneden curve 4, in lucht ligt curve 6 beneden curve 5.

Dit verschil is te verklaren uit het tegengesteld gedrag van het groene booggedeelte, dat zich in lucht langzaam uitbreidt, maar zich in stikstof betrekkelijk snel terugtrekt.

§ 4. *Bepaling van de temperatuur in den stikstofboog met behulp van het bandenspectrum.*

In het Utrechtsche Laboratorium worden reeds sedert geruimen tijd temperaturen in ontladingen met behulp van bandenspectra bepaald; het lag voor de hand dit ook in ons geval te doen. Bij dit onderzoek werd de optische opstelling van fig. 7 gebruikt.

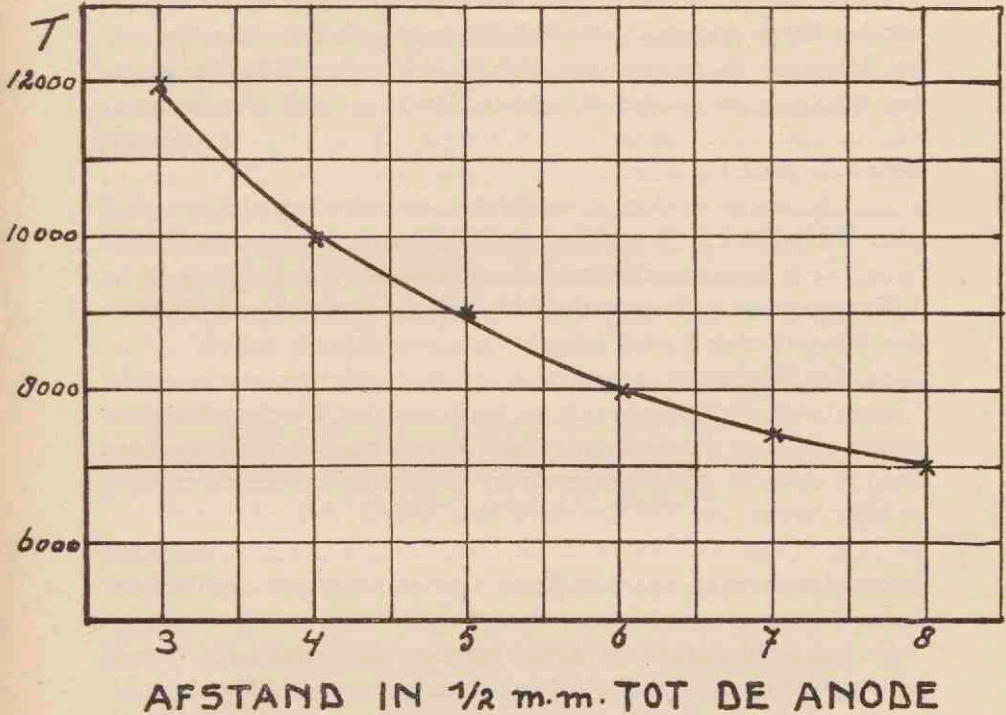
Echter werd nu het gedeelte van den boog vanaf de anode afgebeeld op de spleet van den spectrograaf; de oppervlakte van de anode werd nog juist afgebeeld op het diafragma, dat op de spleet was aangebracht.

De temperatuur werd bepaald uit de intensiteitsverhoudingen van de rotatielijnen van den N_2^+ band $\lambda = 3914$, volgens de methode door Ornstein en van Wijk aangegeven.¹⁾

¹⁾ L. S. Ornstein und W. R. van Wijk. Temperaturbestimmung in elektrischen Bogen aus dem Bandenspektrum. Proceedings Vol. XXXIII, No. 1, 1930.

In de eerste plaats werd de temperatuur bepaald als functie van de plaats in den boog bij een stroomsterkte van 1,05 amp.

FIGUUR 17



Het resultaat van deze metingen is weergegeven in fig. 17, waarin de gemeten absolute temperaturen zijn uitgezet tegen den afstand in $\frac{1}{2}$ m.m. tot de anode.

In den 1en en 2en halven m.m. vanaf de anode werden geen metingen verricht, omdat de spectra daar een te sterke continue grond vertoonen.

Daar deze hoge temperaturen onwaarschijnlijk leken, zijn de metingen met de grootste voorzorgen herhaald.

De bij de nauwkeurige metingen uit den N_2^+ band volgende tem-

peraturen bleken echter weer volkomen overeen te stemmen met de eerste die in fig. 17 zijn weergegeven.

De vraag moet overwogen worden of de gevonden temperaturen werkelijke in het gas voorkomende temperaturen zijn.

Er zijn bezwaren tegen, te onderstellen, dat de uit de banden gevonden hoge temperaturen werkelijk in het gas aanwezig zijn, n.l.: 1e. Wanneer de temperatuur vlak bij de anode 12000° is, zijn in het spectrum ter plaatse de spectraallijnen van zilver en koper te verwachten; deze spectraallijnen komen echter bij de anode *niet* voor (zie plaat blz. 11.c.).

2e. De anode verdampt, vergeleken met de kathode, practisch niet. Dit is bij een dergelijke hoge temperatuur onwaarschijnlijk.

3e. Zelfs van een zichtbaar warm worden van de anode is bij 1,05 amp. niets te bespeuren; dit is bij grootere stroomsterkten in den boog, evenals bij den boog in lucht, wel waar te nemen.

4e. De belichtingstijden noodig voor het verkrijgen van spectrale fotografieën, die fotometreerbare lijnen van het koperspectrum bezitten, zijn voor den boog in stikstof 2 maal zoo groot als voor den boog in de lucht. Hieruit zou volgen, dat de temperatuur in den boog in lucht hooger zou zijn dan die in den boog in stikstof.

De metingen die wij nader in Hoofdstuk V zullen beschrijven geven daarentegen juist een lager temperatuur voor den boog in lucht.

De genoemde bezwaren geven recht er aan te twijfelen, dat de temperatuur voor de ontlading bepalend is.

Uitgaande van de gedachte, dat bij lager stroomsterkten de temperatuur zeker niet hooger kan zijn, werden vervolgens temperaturen bepaald in den N_2^+ band $\lambda = 3914$ bij 0,75 amp.

Op een afstand van 4 m.m. vanaf de anode werd nu een temperatuur van tenminste 12000° bepaald.

Het is merkwaardig dat bij 0,75 amp. een temperatuur gemeten wordt, die bijna 2 maal zoo hoog is als die bij 1,05 amp.; dit kan men zich van een ware gastemperatuur nauwelijks voorstellen.

Ook zou bij een temperatuur van meer dan 12000° de stikstof voor meer dan 99 % gedissocieerd moeten zijn. ¹⁾

¹⁾ D. Th. J. ter Horst, Diss. Utrecht, 1934, blz. 41.

Men zou dus in het spectrum, uitgezonden door het gedeelte van den boog bij de anode, lijnen van het atoomspectrum van stikstof moeten waarnemen. Deze atoomlijnen zijn in de onderzochte spectra echter niet gevonden.

Wij constateeren, dat tegen de wijze, waarop uit de intensiteit der stikstofbanden een temperatuur wordt bepaald, niets is in te brengen. De verdeeling van de N^+_{2} niveaux wordt blijkens onze experimenten zeer goed door een Boltzmann-temperatuur beschreven.

Deze $B.T.$, welke het partieele evenwicht der aangeslagen niveaux beschrijft, heeft voor de ontlading niet die insnijdende beteekenis, als de $B.T.$ in den koolboog in het werk van *Ornstein* en *Brinkman*¹⁾ bleek te bezitten; zij kan niet gelijk door *Ornstein* en *Keij*²⁾ is geschied voor het bepalen van overgangswaarschijnslijkheden gebruikt worden.

Het probleem rijst, wat hare beteekenis is en hoe zij verklaard kan worden.

§ 5. *Discussie van de resultaten van de bepaling van de temperatuur uit den N^+_{2} band $\lambda = 3914$.*

De in § 4 opgesomde bedenkingen tegen het feit, dat de gemeten temperaturen werkelijk in het booggas voorkomen, leiden tot de conclusie, dat de verdeeling over de rotaties van de stikstof-ionen bezwaarlijk alleen door botsingen in het gas bepaald kunnen worden. Daar het electriche veld in de boog te zwak is, zal de energie der electronen niet groot genoeg zijn om de rotaties van een stikstofion in voldoende mate te beïnvloeden, om de onderstelling te wettigen, dat een electronengas van hooge temperatuur deze verdeeling veroorzaakt.

Zooals te zien is op de reproductie van het spectrum van den stikstofboog (zie blz. 11.c.) zijn de intensiteiten der rotatielijnen van alle banden en dus ook van den ionband $\lambda = 3914$ het grootst in de onmiddellijke nabijheid van de anode, terwijl de intensiteiten geleidelijk afnemen naar het midden van den boog.

¹⁾ Zie blz. 16.

²⁾ L. S. Ornstein und J. Keij. Physica Vol. I, 945, 1934.

Het is dus waarschijnlijk, dat aan de anode de meeste stikstofionen gevormd worden.

Hierbij kan men zich voorstellen, dat bij het ionisatie-proces tevens de molecuulionen in verschillende rotatietoestanden ontstaan, zoodanig, dat in verband met de ongeordendheid der vormende processen een quasi temperatuur-evenwicht optreedt.

Indien een specifiek mechanisme den ionentoestand vormt, is het te verwachten, dat de temperatuur gemeten aan molecuulbanden beduidend lager zou kunnen zijn dan de temperatuur, die gemeten wordt aan ionbanden uit hetzelfde spectrum.

Deze temperatuur-bepalingen zijn uitgevoerd.

§ 6. *Temperatuurbepaling aan den N^+_{2} band $\lambda = 3914$ en aan den molecuulband $\lambda = 3371$.*

In verband met het in § 5 opgemerkte is het nu van belang de Boltzmann temperatuur ook voor de banden van het niet geïoniseerde molecuul te bepalen. Bij deze meting werd het venster F van het vat V uit fig. 7 vervangen door een kwartsvenster, omdat de molecuulband bij $\lambda = 3371$ het meest in aanmerking kwam voor temperatuurmetingen.

Daar het oplossend vermogen van den kwartsspectrograaf Hilger No. 2 te klein was, werden opnamen gemaakt op het groote rooster van het Fysisch Laboratorium, Rowland 14439/inch ($R = 565$ c.m.).¹⁾

Hiertoe werd het booggedeelte vanaf de anode tot het midden van den boog afgebeeld op de spleet van het rooster.

Het rooster is astigmatisch; de uit de spectra volgende temperaturen zijn dus gemiddelden van de temperaturen, die heerschen in de verschillende punten van het afgebeelde booggedeelte.

Door de electroden volkomen glad te maken, gelukte het gedurende langen tijd den rustigen boogvorm te behouden. De stikstof-druk bij de proeven was 1 atmosfeer.

De opnamen werden gemaakt op twee verschillende platen (Double X-press) bij een stroomsterkte van 0,85 amp.

¹⁾ Voor de zorg hieraan besteed, betuig ik mijn dank aan K. R. Postma.

De belichting geschiedde in 3 gedeelten; eerst werden nl. beide platen 23 minuten belicht, daarna werd de plaat voor de opname van band $\lambda = 3371$ nog resp. gedurende 22 en 28 minuten belicht. In den tijd tusschen deze belichtingen werden de electroden weer volkomen glad gehamerd; het vat *V* koelde af tot kamertemperatuur.

Vervolgens werden op beide platen met behulp van den kwarts-spectrograaf Hilger No. 2. zwartingsmerken en vergelijksspectra opgenomen.

Uit het fotogram van den band bij $\lambda = 3914$ bleek dat de rotatielijnen van den *P* en *R* tak voldoende gescheiden waren.

Van het fotogram van den band bij $\lambda = 3371$ werden de twee lijnen met de kortste golflengte van de tripletten uitgemeten en wel voor die tripletten, welke door de quantumgetallen 31 tot en met 40 gekenschetst zijn. Dit geschiedde op deze wijze, daar de eerste lijn van elk triplet gestoord was door de lijnen van den er bijna mee samenvallenden *P* tak.

De temperaturen werden weer op de vroeger gebezigde wijze bepaald. ¹⁾

Het resultaat is dat, uit den N^+_{2} band een temperatuur van 14000° en uit den N_2 band een temperatuur van 7200° bepaald werd.

Het zou mogelijk zijn, dat dit temperatuurverschil samenhangt met verschil in plaats van emissie der banden.

Daarom werd onderzocht, door op den kwartsspectrograaf Hilger No. 2 een dwarsopname van den stikstofboog te nemen, op welke plaatsen in den boog de ion- en de molecuulbanden worden geëmitteerd.

Het blijkt dat de banden alle in den kern van den boog het sterkst zijn en dat de intensiteit naar de zoomen afneemt.

Over de geheele breedte van den boog worden ion- en molecuulbanden geëmitteerd en de temperatuur, die op een bepaalde plaats in den boog uit den ionband gemeten wordt, is veel hooger dan die-

¹⁾ L. S. Ornstein und W. R. van Wijk. Temperaturbestimmung in electrischen Bogen aus dem Bandenspectrum. Proceedings, Vol. XXXIII, No. 1, 1930.

gene, die in dezelfde plaats in den boog uit den molecuulband gemeten wordt.

Uit dit experiment mogen we de conclusie trekken, dat de aanslag in den metaalboog in stikstof niet zonder meer door de temperatuur van het gas gegeven wordt.

Tenslotte merken we nog op, dat van Engel en Steenbeck¹⁾ in den gestabiliseerden stikstofboog bij 2 amp. een temperatuur bepaald hebben van $5200^{\circ} \pm 450^{\circ} K.$ (zie ook blz. 48).

Op grond hiervan kunnen we besluiten, dat de temperatuur van 7000° , door ons gemeten aan den molecuulband ($\lambda = 3371$), waarschijnlijk te hoog is; dit feit kan veroorzaakt worden door recombinaatie der stikstofionen met electronen.

¹⁾ v. Engel und Steenbeck. Phys. Rev. 37. 1554. 1931.

HOOFDSTUK V

METINGEN IN DEN 2en BOOGVORM IN LUCHT.

§ 1. *Onderzoek van den 2en boogvorm.*

Het ligt voor de hand nu ook een onderzoek in te stellen naar den aard van den 2en boogvorm.

Op grond van de in Hoofdstuk III meegedeelde verschijnselen werd vermoed, dat de 1e boogvorm in den 2en overgaat door stijging van de temperatuur in den boog vanaf het oogenblik dat de stroom gesloten wordt.

De 2e boogvorm treedt het spoedigst na het ontsteken op bij grootere stroomsterkten. Dit was aanleiding, om bij groote stroomsterkten te werken en wel bij zulke, waarbij nog zekerheid bestond, dat van absorptie geen sprake was. In verband met de in fig. 4 voorgestelde gegevens werd hiervoor 2,25 amp. gekozen.

De optische opstelling bij het onderzoek was de reeds in fig. 7 weergegevene en in Hoofdst. III § 1 beschrevene. De bedoeling was nu voor den 2en boogvorm bij 2,25 amp. eerst de intensiteitsverhouding der lijnen $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$ te bepalen. Vervolgens zou de temperatuur in den boog bepaald kunnen worden uit den, in het spectrum voorkomenden, CN band $\lambda = 3884$, die zich in dezen boogvorm uitstrekt van anode tot kathode.

De gemeten intensiteitsverhoudingen in bepaalde plaatsen van den boog en de daar waargenomen temperaturen zullen dan de beslissing brengen, of er in den 2en boogvorm nog merkbare electronenaanslag naast temperatuuraanslag door het booggas optreedt.

De afstand van de electroden werd bij dit onderzoek 8 m.m. gekozen. Het diafragma, aangebracht op de spleet van den spectro-

graaf, was eveneens 8 m.m. hoog; het werd door horizontaal gespannen haren in 8 nagenoeg gelijke deelen verdeeld.

In vier spectra werd nu de intensiteitsverhouding der genoemde lijnen bepaald in de verschillende deelen van den boog.

In elk der vier spectra bleek de verhouding practisch constant te zijn.

Resp. werden gevonden als gemiddelde waarden over de vier spectra: 6,7; 7,0; 6,88; en 7,04.

De waarden gevonden in de afzonderlijke gedeelten van een spectrum verschilden hoogstens 7 % met het gemiddelde voor dat spectrum. Uit deze waarnemingen werd de conclusie getrokken, dat de intensiteitsverhouding constant en gelijk aan 6,9 is.

Daar thans de verhouding onafhankelijk van den afstand tot de kathode is — in tegenstelling met wat in den 1en boogvorm het geval bleek — kunnen we besluiten dat de electronenaanslag in den 2en boogvorm in ieder geval een onbeteekenenden invloed uitoefent.

Om dit nader te toetsen moet worden nagegaan of de temperatuur in alle plaatsen van den kern van den boog nu ook dezelfde is.

Met behulp van den CN band $\lambda = 3884$ werd de temperatuur bepaald in drie spectra, afkomstig van een boog, die op 2,25 amp. brandt.

Achtereenvolgens werden voor deze drie spectra de gemiddelde temperaturen 5380° , 5295° , en 5090° gevonden.

De temperaturen, gemeten in de afzonderlijke gedeelten van een spectrum, verschilden minder dan 500° met het, voor dat spectrum gevonden, gemiddelde.

De betrekkelijk geringe afwijkingen geven het recht om te besluiten, dat de temperatuur in den 2en boogvorm constant is.

Het onderzoek van den 2en boogvorm voert dus tot de conclusie, dat de invloed van electronenaanslag hier te verwaarloozen is en dat de boog in dezen vorm thermisch genoemd mag worden.

Als temperatuur in den boog werd vastgesteld 5260° bij 2,25 amp. Een dergelijke temperatuur werd door v. Engel en Steenbeck¹⁾ in een gestabiliseerden koperboog in lucht langs geheel anderen weg bepaald.

¹⁾ v. Engel and Steenbeck. Phys. Rev. 37, 1554, 1931.

Bij een stroomsterkte van 2 amp. en een booglenkte van 5 c.m. bepaalden deze onderzoekers met behulp van de absorptie van Röntgenstralen de dichtheid van het booggas en berekenden uit deze dichtheid een temperatuur van $5000^{\circ} \pm 400^{\circ} K$.

§ 2. *Bepaling van de intensiteitsverhouding der lijnen $\lambda = 3248$ en $\lambda = 5106$.*

Bij het bepalen van deze intensiteitsverhouding der genoemde lijnen werd de Fuess spectrograaf vervangen door een Hilger kwartsspectrograaf No. 2. Om echter deze lijnen te kunnen vergelijken, moest de zeer sterke resonantielijne $\lambda = 3248$ verzwakt worden. Als verzwakker werd aanvankelijk een kwartscuvet gevuld met een oplossing van chininesulfaat gekozen; deze oplossing veranderde echter door de belichting.

Tenslotte bleek een oplossing van $K_2Cr_2O_7$ in water te voldoen. Met behulp van dezen verzwakker kwam $\lambda = 3248$ in zwarting vergelijkbaar met $\lambda = 5106$ in het spectrum voor.

Bij het bepalen van den verzwakkingsgraad voor de golfenkte $\lambda = 3248$ voor het gebruikte filter traden groote moeilijkheden op, zoodat van de opstelling, in fig. 18 schematisch aangegeven, gebruik gemaakt moest worden.

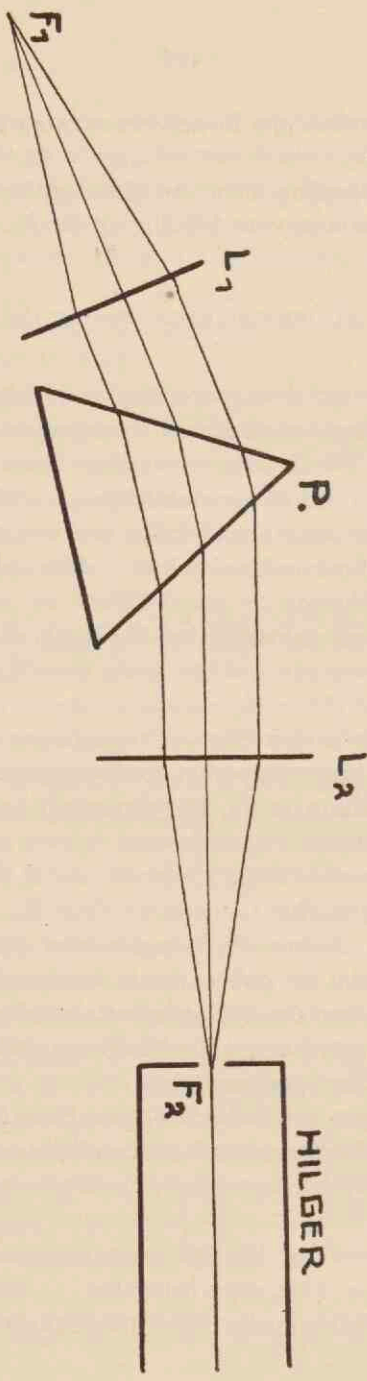
Van een kleinen kwartsspectrograaf werd het chassisgedeelte weggenomen; het gedeelte aangegeven door F_1 , L_1 , P en L_2 resp. spleet, lens, prisma en lens bleef op den voet den oorspronkelijken stand innemen, zoodat het geheel dus in vaste onderlinge positie der deelen ten opzichte van den Hilger-spectrograaf te verplaatsen was.

Voor spleet F_1 werd een koperboog opgesteld en nu werd de Hilgerspectrograaf zoo geplaatst dat,

1e $\lambda = 3248$ scherp werd afgebeeld op spleet F_2 en 2e deze golfenkte duidelijk zichtbaar uittrad uit den Hilger-spectrograaf, hetgeen scherp beoordeeld kon worden met behulp van een fluorescentieschermpje.

Voor de spleet van den Hilger was een smal diafragma opgesteld, dat alleen $\lambda = 3248$ door liet gaan.

De volgende serie opnamen werd nu gemaakt.



FIGUR 18

1e Opname ter bepaling van de verzwakking door het filter van $\lambda = 3248$.

2e Opname ter bepaling idem van $\lambda = 5106$.

3e Definitieve opname ter vergelijking van de intensiteiten van $\lambda = 3248$ en $\lambda = 5106$ met filter.

Hierbij werd het filter niet gebruikt bij de opnamen van de zwartingsmerken.

4e Opname als 2e.

5e Opname als 3e.

Deze volgorde werd gekozen om nauwkeurig te kunnen nagaan of het filter gedurende de belichting veranderde.

Bij de 1e opname werd eerst weer de juiste instelling bepaald met behulp van den koperboog; daarna werden opnamen gemaakt van de vergelijkingspectra van den koperboog.

De koperboog voor spleet F_1 werd nu vervangen door een kwartsbandlamp en nu werden een serie opnamen gemaakt van kleine stroomsterkten (8—9,5 amp.) zonder filter en een serie van groote stroomsterkten (13,5—16 amp.) met filter.

De belichtingstijd was 45 minuten.

Op de fotografische plaat waren van de vergelijkingspectra, afkomstig van den koperboog, alleen de golflengten $\lambda = 3248$ waar te nemen en juist daartusschen de zwartingen afkomstig van de kwartsbandlamp. Op de plaat kon dus geconstateerd worden, dat de instelling juist was geweest.

Later uitgevoerde metingen leverden 2 zwartingskrommen van deze opnamen, waarvan de kromme, afkomstig van de opnamen zonder filter, met 620 vermenigvuldigd moest worden om volkomen samen te vallen met de zwartingskromme, afkomstig van de opnamen met filter. Het filter verzwakt $\lambda = 3248$ dus 620 maal. Bij de 2e opname werd dezelfde methode gevolgd voor $\lambda = 5106$. De verzwakking van $\lambda = 5106$ werd gemeten op 1,6.

De 3e opname werd nu gemaakt met een opstelling als in fig. 7 is aangegeven.

De Fuess werd vervangen door den Hilgerspectrograaf en lens L

door een kwartslens $f = 35$ c.m. Hiermee werd de boog op ware grootte afgebeeld op de spleet van den spectrograaf.

Bij de 4e opname was de opstelling als in de 2e, de verzwakking van $\lambda = 5106$ werd gemeten op 1,66.

De 5e opname verliep volkomen als de 1e en de verzwakking van $\lambda = 3248$ werd gemeten op 620.

De resultaten van de 1e, 2e, 4e en 5e opname toonden aan, dat het filter gedurende de belichting niet veranderde.

De verzwakkingsfactor van het filter werd voor $\lambda = 3248$ en $\lambda = 5106$ vastgesteld op resp. 620 en 1,63.

Uit de 3e opname werd vervolgens de intensiteitsverhouding der lijnen $\lambda = 3248$ en $\lambda = 5106$ op 393,4 bepaald.

§ 3. *Bepaling van eenige andere intensiteitsverhoudingen en berekening van de relatieve overgangswaarschijnlijkheden.*

Bij een stroomsterkte van 2,25 amp. werden nu met de opstelling van fig. 7. de volgende intensiteitsverhoudingen gemeten in den 2en boogvorm:

$$a. \quad \frac{I/\nu}{2p_1 - d_1' (5106)} = 3,54. \quad \frac{I/\nu}{2p_2 - d_2' (5782)} = 5,3. \\ \frac{I/\nu}{2p_2 - d_2' (5782)} \quad \frac{I/\nu}{2p_1 - d_3' (5700)}$$

Hieruit volgt:

$$\frac{I/\nu}{2p_1 - d_1' (5106)} : \frac{I/\nu}{2p_2 - d_2' (5782)} : \frac{I/\nu}{2p_1 - d_3' (5700)} = 18,76 : 5,3 : 1.$$

De afwijking van de verwachte 9 : 5 : 1 verhouding kan veroorzaakt worden door een storing van de d' niveaus.

Zeker is, dat genoemde verhoudingen veranderen, wanneer de 2e boogvorm overgegaan is in dien vorm, waarin de groene boog door een breede gele mantel is omgeven.

Een nader onderzoek van de verhoudingen dezer intensiteiten is zeer gewenscht.

$$b. \quad \frac{I/\nu}{3d_2 - 2p_1 (5220)} + \frac{I/\nu}{3d_1 - 2p_1 (5218)} = 2 : 1. \\ \frac{I/\nu}{3d_2 - 2p_2 (5153)}$$

Op grond van deze 2 : 1 verhouding is aangenomen, dat voor dit samengesteld doublet de sommenregel geldt en dat dus:

$$I/\nu \quad : I/\nu \quad : I/\nu \quad = 9 : 5 : 1.$$

$$3d_1 - 2p_1 (5218) \quad 3d_2 - 2p_2 (5153) \quad 3d_2 - 2p_1 (5220)$$

$$c. \quad I/\nu \quad : I/\nu \quad : I/\nu \quad =$$

$$2s - 2p_1 (8093) \quad 2s - 2p_2 (7933) \quad 2p_1 - d_1' (5106) =$$

$$= 2 : 1 : 8,29.$$

$$d. \quad \text{De verhouding } I/\nu \quad : I/\nu$$

$$2p_1 - d_1' (5106) \quad 3d_2 - 2p_2 (5153)$$

is vroeger bepaald op 6,9 : 1. (zie blz. 48).

Daar wij aangetoond hebben, dat de boog in den 2en boogvorm thermisch is, kunnen deze intensiteiten gebruikt worden om de overgangswaarschijnlijkheden te berekenen. Daarbij wordt een temperatuur van 5260° abs., gelijk deze bepaald is in § 1 van dit hoofdstuk, aan den boog toegekend en worden de Boltzmannfactoren:

$$\exp. - \frac{E}{k.T} \text{ voor deze temperatuur berekend.}$$

De frequenties der verschillende aanvangsniveaux zijn ontleend aan Bacher and Goudsmit.¹⁾

In onderstaande tabel worden de resultaten van deze berekening in kolom 3 medegedeeld.

λ	Overgang	$\exp. - \frac{E_a}{k.T}$	I/ν	A.g
1	2	3	4	5
3248	$2p_1 - 1s$	0,000229	7380	7380
3274	$2p_2 - 1s$	0,000245	3690	3450
5106	$2p_1 - d_1'$	0,000229	18,76	18,76
5153	$3d_2 - 2p_2$	0,00000347	2,72	179,5
5218	$3d_1 - 2p_1$	0,00000309	4,9	363,1
5220	$3d_2 - 2p_1$	0,00000347	0,544	35,9
5700	$2p_1 - d_2'$	0,000229	1	1
5782	$2p_2 - d_2'$	0,000245	5,3	4,96
7933	$2s - 2p_2$	0,00000793	2,26	65,26
8093	$2s - 2p_1$	0,00000793	4,52	130,52

¹⁾ Bacher and Goudsmit. Atomic Energy States.

In kolom 4 staan de waarden voor I/v waarbij $(I/v)_{5700} = 1$ is gesteld.

In kolom 5 zijn geplaatst de producten van overgangswaarschijnlijkheid en statistisch gewicht van het aanvangsniveau, waarin

$$(A.g)_{5700} = 1 \text{ is aangenomen.}$$

INHOUD

BLADZ.

Inleiding	1
HOOFDSTUK I. Voorloopige metingen.	
§ 1. Metingen in den koperboog	3
§ 2. Metingen in een absorptievrijen boog	6
HOOFDSTUK II. Onderzoek van de gedaante van den boog in lucht.	
§ 1. Boog tusschen koperelectroden	13
§ 2. Boog tusschen zilvelectroden	14
§ 3. De metaalboog opgevat als Boltzmannstraler	16
HOOFDSTUK III. Systematisch onderzoek van den boog in lucht van 1 atmosfeer.	
§ 1. Optische opstelling en uitkomsten der metingen	19
§ 2. Bespreking van de resultaten wanneer zij als gevolg van temperatuuraanslag door het gas opgevat worden	22
§ 3. Nader onderzoek van den 1en en 2en vorm van den zilverboog in lucht van 1 atmosfeer	26
§ 4. Qualitieve verklaring der resultaten met behulp van de onderstelling, dat naast temperatuuraanslag door het gas ook aanslag door electronen optreedt in metaalbogen	30
HOOFDSTUK IV. Metingen in stikstof.	
Inleiding	33
§ 1. Bepalingen der intensiteitsverhouding voor de lijnen $\lambda = 5106$ en $\lambda = 5153$	34
§ 2. Bespreking van de resultaten wanneer zij als gevolg van temperatuuraanslag door het gas opgevat worden	36
§ 3. Qualitieve verklaring der resultaten met behulp van temperatuur- en electronenaanslag	39

§ 4. Bepaling van de temperatuur in den stikstofboog met behulp van het bandenspectrum	40
§ 5. Discussie van de resultaten van de bepaling van de temperatuur uit den N_2^+ band $\lambda = 3914$	43
§ 6. Temperatuurbepaling aan den N_2^+ band $\lambda = 3914$ en aan den molecuulband $\lambda = 3371$	44

HOOFDSTUK V. Metingen in den 2en boogvorm in lucht.

§ 1. Onderzoek van den 2en boogvorm	47
§ 2. Bepaling van de intensiteitsverhouding der lijnen $\lambda = 3248$ en $\lambda = 5106$	49
§ 3. Bepaling van eenige andere intensiteitsverhoudingen en berekening van de relatieve overgangswaarschijnlijkheden	52

STELLINGEN

I.

De pyrometer volgens het principe van den verdwijnenden draad levert bij temperatuurmeting voor technische doeleinden betrouwbaarder waarden dan de totaalstralingspyrometer.

II.

Bij de studie der wegverlichting moet meer aandacht worden geschonken aan het natte wegdek.

III.

Het is ongeoorloofd een metaalboog in lucht bij kleine stroomsterkten op te vatten als een Boltzmannstraler.

IV.

De door Arens en Eggert aangegeven donkerekamerverlichting is fout; donkerekamerverlichting moet monochromatisch zijn.

(Zeitschr. f. wiss. Phot. XXIV. 1926, 235).

V.

Uit art. 2 van de Nederlandsche Geloofsbelijdenis is af te leiden, dat het voorbereidend universitair onderwijs voor a.s. theologen de B richting van het gymnasium moet zijn.

VI.

Zelfs het roode achterlicht van automobielen biedt onvoldoende veiligheid.

VII.

De toenemende absorptie in de resonantielijnen van koper bij afnemende stroomsterkte is door electronenaanslag te verklaren.

(L. S. Ornstein und D. Vermeulen, Zs. f. Ph. 64, 657, 1930).

VIII.

Bij het ionisatieproces in metaalbogen ontstaan de molecuul-ionen in verschillende rotatietoestanden; de ongeordendheid der vormende processen is oorzaak, dat een quasi-temperatuurevenwicht optreedt.

Ut
19