



Waarnemingen betreffende ionisatie van gassen door licht, van stralende gassen afkomstig

<https://hdl.handle.net/1874/256681>

A 4° 192

Phys 16 Mei 19

H. G. CANNEGIETER.

~~~~~

-- Waarnemingen betreffende --  
ionisatie van gassen door licht, van  
-- stralende gassen afkomstig. --





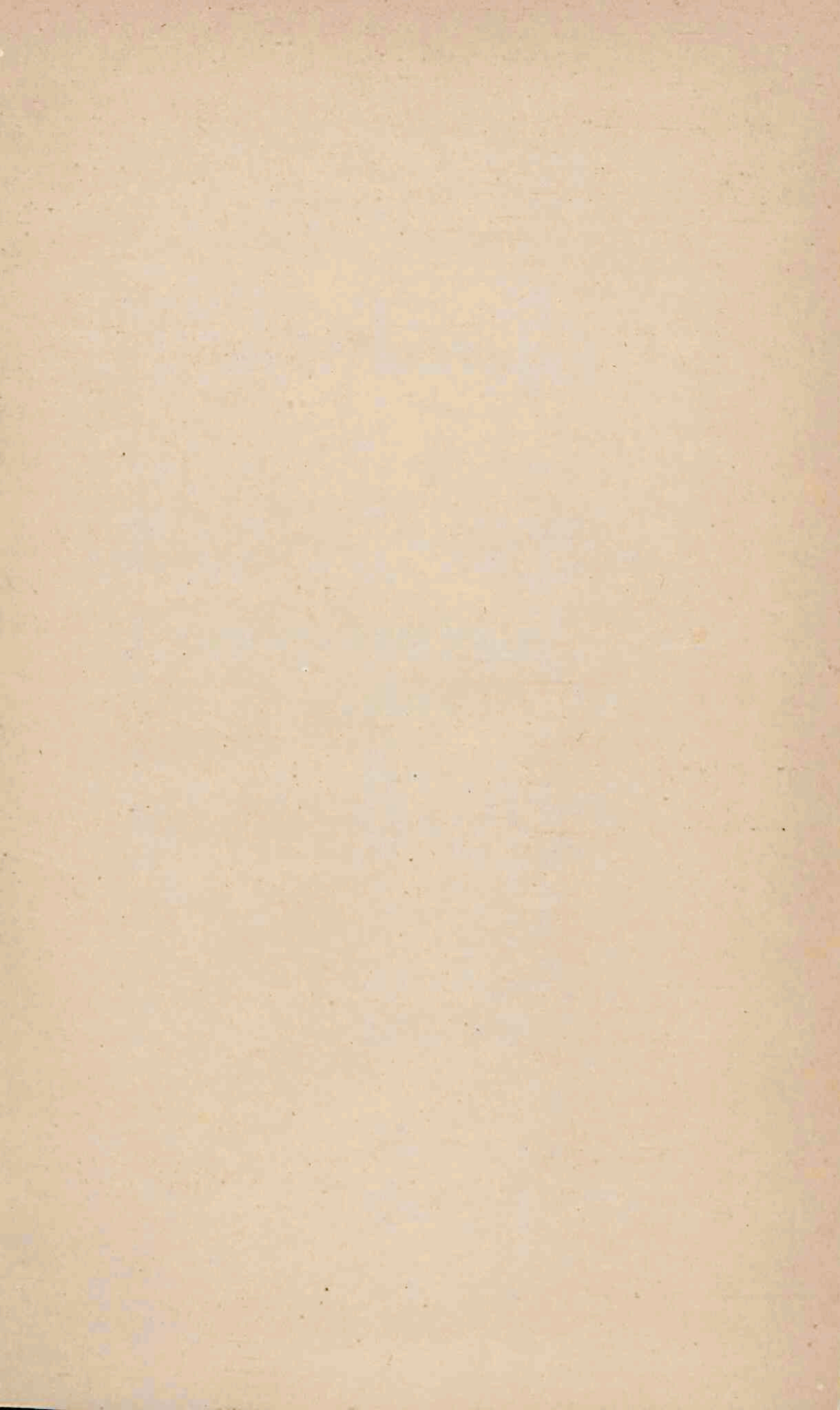














Waarnemingen betreffende ionisatie van gassen  
door licht, van stralende gassen afkomstig.





*Diss. Utrecht 1911*

**Waarnemingen betreffende ionisatie van gassen  
door licht, van stralende gassen afkomstig.**

---

**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

**Mr. D. SIMONS**

HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTSGELEERDHEID

VOLGENS BESLUIT VAN DEN SENAAAT DER UNIVERSITEIT

TEGEN DE BEDENKINGEN DER

FACULTEIT VAN DE WIS- EN NATUURKUNDE

TE VERDEDIGEN

**op Dinsdag 16 Mei 1911 des namiddags te 4 uur**

DOOR

**HENDRIK GERRIT CANNEGIETER**

Geboren te 's-GRAVENHAGE.





AAN DE NAGEDACHTENIS VAN  
MIJNE LIEVE VROUW.





## VOORWOORD.

---

Bij het beëindigen mijner akademische studies rust op mij de taak U allen, Hoogleeraren der Utrechtsche Hoogeschool, met een enkel woord dank te brengen voor het onderwijs, dat ik in de vele jaren, aan de Universiteit doorgebracht, van U heb mogen genieten.

In het bijzonder tot U, Hooggeachte Promotor, Hooggeleerde JULIUS, past het mij een woord van welgemeenden dank te richten. De jaren, die ik als assistent in Uw Laboratorium mocht doorbrengen kan ik tot de meest leersame van mijn studietijd rekenen. Ik heb het steeds als een voorrecht beschouwd onder Uwe persoonlijke leiding te mogen arbeiden; de uitstekende hulpmiddelen, die mij in Uw Laboratorium ten dienste stonden, maakten mij het werken aldaar steeds dubbel aangenaam, terwijl in moeilijkheden nooit tevergeefs een beroep werd gedaan op Uw welwillenden steun en rijke ervaring.

Ook in levensomstandigheden zoowel van vreugdevollen als van zeer droevigen aard, heb ik Uw hartelijke gemeente belangstelling ondervonden. Wees ervan overtuigd, dat Uwe oprechte deelneming in mijn persoonlijke aangelegenheden door mij steeds ten eerste is gewaardeerd.

---





## INHOUD.

---

|                                                                                | Bladz. |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------|
| HOOFDSTUK I.                                                                   |        |
| Inleiding en literatuuroverzicht . . . . .                                     | 1      |
| HOOFDSTUK II.                                                                  |        |
| Gebruikte apparaten. . . . .                                                   | 20     |
| Onderzochte gassen . . . . .                                                   | 25     |
| Overbrengen van het gas in het apparaat voor onderzoek . .                     | 27     |
| Vullen der spectraalbuizen . . . . .                                           | 30     |
| Electrische opstelling en methode der metingen. . . . .                        | 36     |
| HOOFDSTUK III.                                                                 |        |
| Beschrijving van het onderzoek. . . . .                                        | 41     |
| Leidende gedachten. . . . .                                                    | 41     |
| Program der waarnemingen . . . . .                                             | 42     |
| Keuze der onderzoekgassen . . . . .                                            | 43     |
| Foutenbronnen . . . . .                                                        | 44     |
| Voorloopige waarnemingen . . . . .                                             | 49     |
| Definitieve resultaten . . . . .                                               | 52     |
| Metingen van de teweeggebrachte ionisatie . . . . .                            | 55     |
| Absorptiewaarnemingen. . . . .                                                 | 60     |
| HOOFDSTUK IV.                                                                  |        |
| Beoordeeling der waarnemingen en verdere bespreking der<br>resultaten. . . . . | 64     |

---



## HOOFDSTUK I.

### Inleiding en Literatuuroverzicht.

De ontdekking van HERZ <sup>1)</sup> in 1887, dat ultraviolet licht, vallend op eene vonkenbaan, het overspringen der vonken vergemakkelijkt, leidde onmiddellijk tot eene reeks onderzoekingen van HALLWACHS <sup>2)</sup>, HOOR <sup>3)</sup>, RIGHI <sup>4)</sup> en STOLETOW <sup>5)</sup> betreffende het effect van het licht, meer speciaal van het ultraviolette licht, op geladen lichamen. Deze bewezen, dat eene versch gepolijste, negatief geladen zinkoppervlakte snel hare lading, hoe klein die ook zij, verliest bij bestraling met ultraviolet licht, terwijl de geleider, wanneer hij oorspronkelijk geene lading had, zich onder deze omstandigheden positief laadt en het omringende gas de negatieve lading opneemt. Deze positieve lading kan men nog versterken, door een luchtstroom tegen de plaat te blazen. Eene positief geladen zinkoppervlakte verliest daarentegen hare lading niet.

Als lichtbronnen voor dit werkzame ultraviolette licht komen in aanmerking eene booglamp, brandend magnesium, het licht van vonken, overspringend tusschen metaalelectroden. ELSTER en GEITEL <sup>6)</sup>, die uitgebreide onderzoekingen over de lichtelectriche eigenschappen der metalen deden, rangschikten ze, naar de snelheid, waarmee de negatieve lading verstrooid werd, in de volgorde Rb, K, verbinding van K en Na, Na, Li, Mg, Th, Sn. Ook vele andere stoffen, niet metalen, verliezen negatieve electriciteit bij de genoemde bestraling, zooals is onderzocht door G. C. SCHMIDT <sup>7)</sup> en

---

<sup>1)</sup> HERZ. Wied. Ann. **31**, 983, 1887.

<sup>2)</sup> HALLWACHS. Wied. Ann. **33**, 301, 1888.

<sup>3)</sup> HOOR. Repertorium der Physik **25**, 91, 1889.

<sup>4)</sup> RIGHI. C.R. **106**, 1349; **107**, 559, 1888.

<sup>5)</sup> STOLETOW. C.R. **106**, 1149 en 1593; **107**, 95, 1888; 108, 1241, 1889; Physik. Revue **1**, 1892.

<sup>6)</sup> E. en G. Wied. Ann. **38**, 40 en 497, 1889; **41**, 161, 1890; **42**, 564, 1891; **43**, 225, 1892; **52**, 433, 1894; **55**, 684, 1895.

<sup>7)</sup> G. C. SCHMIDT. Wied. Ann. **64**, 708, 1898.



KNOBLAUCH <sup>1)</sup>. Het effect is afhankelijk van den toestand van de bestraalde oppervlakte, is geringer op vuile of ge-oxydeerde metaaloppervlakken, terwijl het zich bij eene geverniste of vochtige oppervlakte niet vertoont.

Betoonen dus in de eerste plaats verschillende metalen, en in 't algemeen zoowel vaste als vloeibare stoffen, zich lichtelectrisch, zoo is het te verwachten, dat ook aan gassen deze eigenschap zal toekomen. Ze zal zich hier evenwel op eene andere wijze moeten openbaren. Eene met ultraviolet licht bestraalde metaaloppervlakte zendt onder invloed der bestraling negatief geladen deeltjes uit, die, zoo de geleider negatief geladen is, de lading naar een anderen geleider kunnen overbrengen, waardoor een «lichtelectrische» stroom tusschen den bestraalden en niet bestraalden geleider mogelijk is. Hierbij moet dan natuurlijk de eerste kathode, de tweede anode zijn. Een gas echter biedt geen te bestralen oppervlakte; de stralen dringen erin door en de werking van het ultraviolette licht, zoo die er is, zal moeten bestaan in eene splitsing der gasmoleculen in negatief en positief geladen deeltjes, in ionisatie van het gas. Terwijl dus vaste en vloeibare lichamen «oppervlakte-ionisatie» vertoonen, zou men bij de ionisatie van gassen van «volume-ionisatie» kunnen spreken. De verschillend geladen deeltjes behoeven hierbij niet dezelfde eigenschappen te hebben, wat betreft b.v. beweeglijkheid.

Om nu te onderzoeken, of het gas al of niet door de bestraling geioniseerd is geworden, kan men drie methoden volgen.

Daar het gebleken is, dat de ionen, in het gas gevormd, in oververzadigden waterdamp gemakkelijk condensatie te weegbrengen, kan men van die eigenschap gebruik maken. Verder kan men het gas na bestraling langs een geladen geleider of door een condensator laten strijken, waarbij dan de geleider of de condensator ontladen worden. Of men kan het gas, dat zich reeds bevindt tusschen de belegsels

<sup>1)</sup> O. KNOBLAUCH. ZS. f. Physik. Chemie 29, 527, 1899.



van een condensator of in de nabijheid van een geleider, bestralen, waarbij het, indien het geïoniseerd wordt, eveneens aanleiding zal geven tot een stroom tusschen de condensatorbelegsels, of den geladen geleider zal ontladen. Bestraling van de metaaldeelen der geleiders moet in dit geval natuurlijk zorgvuldig worden vermeden.

Bij het bestudeeren der literatuur over de lichtelectrische werking van het ultraviolette licht, dringt zich de vraag aan ons op, aan welke trillingen in het ultraviolet de eigenschap toekomt, negatief geladen deeltjes uit de moleculen der bestraalde stof los te maken, en waarop dit verschijnsel berust.

Langs verschillende wegen is getracht op deze vragen een antwoord te verkrijgen. Door selectief absorbeerende stoffen tusschen de lichtbron en de bestraalde stof te brengen en de veranderingen, hierdoor veroorzaakt in het licht-electrisch effect, na te gaan, is, dikwijls met succes, getracht een oordeel te verkrijgen over de golflengten der werkzame stralen. Deze methode kan echter slechts gebieden in het spectrum aanwijzen als bronnen van het werkzame licht; ze geeft geen uitsluitsel op de volgende tweeledige vraag: komt de eigenschap, om eene zekere stof negatieve deeltjes te doen uitzenden toe aan alle stralensoorten binnen de grenzen van zulk een gebied, dan wel aan stralen van zeer bepaalde golflengten, tot dat gebied behorende; en verder: wordt eene andere stof wellicht door andere stralen het gemakkelijkst geïoniseerd? Langs spectroscopischen weg zou men een onderzoek hiernaar kunnen instellen. Daar echter lucht van atmosfeerspanning de ultraviolette stralen sterk absorbeert, is men daarbij aangewezen op een vacuumspectroscop; en daar kwarts in dikkere lagen alleen stralen doorlaat met golflengten grooter dan  $180 \mu$ , dient men, wil men de werkingen der golflengten in het gebied van  $120-180 \mu$  mede in het onderzoek opnemen, gebruik te maken van lenzen en een prisma van vloeispaat. Glas is wegens zijn absorbeerend vermogen geheel uitgesloten. Een spectraal-apparaat met buigingsrooster heeft de nadeelen van geringe

lichtsterkte en ongelijkmatige terugkaatsing in het ultraviolet. Eene andere methode, die in dezen aangewend kan worden, en langs welke men tot de gewenschte uitkomsten kan geraken, bestaat in het opsporen van eventueel optredende selectieve effecten.

Het is toch aannemelijk, zich voor te stellen, dat de electronen in het molecuul der bestraalde stof zullen gaan meetrillen, indien ze getroffen worden door eene trilling, waarvan de periode overeenkomt met eene eigentrilling, die ze, onder bepaalde omstandigheden, zelf kunnen uitzenden. Van dit standpunt bezien is het dus te verwachten, dat het licht van vonken tusschen zinkelectroden op zink eene sterkere lichtelectrische werking uitoefenen zal, dan op b.v. aluminium; terwijl aluminiumvonken juist op aluminium een sterker effect zullen teweegbrengen. De volgorde der op blz. 1 genoemde metalen, gerangschikt naar de lichtelectrische werking, die ze bij bestraling met «ultra-violet licht» vertoonen, zou dus moeten verschillen naar gelang der gebruikte lichtbron; bij Zn-vonken zou dan het Zn, bij Al-vonken het Al bovenaan moeten staan. Beschouwt men de ionisatie van gassen van hetzelfde standpunt, vat men het ioniseeren van een gasmolecuul eveneens op als een resonantieverschijnsel, dan zullen de gassen op dezelfde wijze in volgorde te rangschikken moeten zijn naar de teweeggebrachte ionisatie, indien men als stralingsbronnen voor het werkzame licht neemt gassen in lichtenden toestand. Bij gebruik van ontladingsbuizen als lichtbronnen zal deze volgorde dus verschillen naar gelang van het gas, dat de ontladingsbuis vult; bij elke dergelijke lichtbron zal steeds bovenaan staan hetzelfde gas, dat als ionisator dienst doet.

Een onderzoek, om uit te maken, of dit laatste werkelijk het geval is, is het doel van dit proefschrift.

Aansluitend aan hetgeen boven gezegd is omtrent de op blz. 2 genoemde methoden, om de ionisatie van een gas aan te toonen en te bestudeeren, zij vermeld, dat LENARD <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Ann. der Physik I 486, 1900; 3, 298, 1901.



volgens de beide aldaar eerstgenoemde trachtte aan te toonen, dat een gas, hier lucht, zuurstof, koolzuur, waterstof of lichtgas door ultraviolet licht wordt geïoniseerd, waarmee de reeks van onderzoekingen over dit belangrijk onderwerp werd geopend. Het licht van vonken, overspringend tusschen zinkelectroden, viel door een kwartsvenster in eene zinkplaat op de opening van eene buis, waardoor stoom geblazen werd. Bevond de opening van de buis zich binnen den lichtbundel, dan begon de condensatie onmiddellijk bij de uitmonding; stond de stoomstraal buiten den bundel, dan trad het effect met eene geringe vertraging op. Gebruik makend van de resultaten van een onderzoek van C. T. R. WILSON <sup>1)</sup>, volgens welk in geïoniseerde lucht condensatie van waterdamp sneller plaats vond, waarmede dus werd aangetoond, dat de ionen condensatiekernen voor waterdamp zijn, kon LENARD, uit hetgeen hij zag gebeuren, besluiten, dat de lucht in en om den bundel geïoniseerd was.

Volgens deze methode werd een systematisch onderzoek ingesteld naar de voorwaarden, waaronder ionisatie tot stand komt, en aangetoond, welke stoffen de werking wel, welke haar niet doorlaten. Met eene kwarts-, steenzout-, en vloeispaatlens werden de werkzame stralen in een brandpunt vereenigd; uit de ligging daarvan en de bekende dispersie der genoemde stoffen in het ultraviolet werd afgeleid, dat aan de stralen met golflengten, gelegen tusschen 140 en 190  $\mu\mu$  de sterkste ioniseerende werking moet worden toegeschreven.

Wat betreft het effect op verschillende onderzochte gassen dient vermeld, dat dit, bij afstand van vonk tot venster 10 c.M., hetzelfde was op lucht, zuurstof en koolzuur; minder sterk op lichtgas. Bij waterstof hing de ionisatie af van den afstand tusschen vonk en venster (bij 10 c.M. geen effect, bij 1 c.M. duidelijke, bij 0.1 c.M. krachtige werking) en van het electrodenmetaal (Al- en Cd-vonken sterk, Mg-, Zn- en Sn-vonken geen noemenswaard effect.)

<sup>1)</sup> Phil. Trans. 193, 289, 1899.



Proeven om de ionisatie in de bestraalde gassen aan te toonen, door ze geladen geleiders te doen ontladen, bevestigden de uitkomsten der stoomstraalproeven. Ze bewezen, dat de ontladende werking moet worden toegeschreven, niet aan deeltjes van den geleider in de lucht overgaande, doch omgekeerd aan een toestroomen van geladen deeltjes uit de bestraalde lucht naar den geleider toe. Het licht werkt alleen op de lucht, niet op den buiten den bundel zich bevindenden geleider; eene luchtlaag van bepaalde dikte absorbeert de werkzame stralen <sup>1)</sup>; koolzuur absorbeert minder, waterstof in het geheel niet, eene dunne laag lichtgas alles. Een luchtstroom, naar den geleider gericht, drijft de geladen deeltjes daarheen en versterkt de ontladende werking; een van den geleider af gerichte luchtstroom verzwakt haar, kan ze zelfs geheel opheffen. Gelijksnamig geladen deeltjes worden weggedreven, ongelijksnamig geladen aangetrokken. Een ongeladen geleider, geplaatst tegenover een op — 1550 Volt geladene krijgt, als de lucht tusschen beide bestraald wordt, eene neg. lading (— 32 Volt in 10 sec.) bij 10 Volt verlies van den geladene in denzelfden tijd. De negatief geladen deeltjes blijken, evenals in alle andere gevallen, ook hier beweeglijker dan de positieve; deze blijven achter in de bestraalde lucht, waardoor deze eene positieve lading verkrijgt.

Na vele vergelijkende proeven omtrent de eigenschappen der op deze wijze in de lucht veroorzaakte geladen deeltjes en van de door HALLWACHSEffect in de lucht verbreide, komt LENARD tot de slotsom, dat ultraviolet licht in lucht doet ontstaan:

- 1<sup>ste</sup> negatief geladen deeltjes, geladen moleculen of atomen,
- 2<sup>de</sup> positief geladen deeltjes van grooter afmetingen dan de negatieve,
- 3<sup>de</sup> ongeladen nevelkernen, en
- 4<sup>de</sup> aanleiding geeft tot ozonvorming.

De waarnemingen op het gebied, door LENARD het eerst betreden, bleven langen tijd rusten. Vele onderzoekers

---

<sup>1)</sup> § 44 in de besproken verhandeling van LENARD.

wijdden hunne aandacht aan het Hallwachseffect in verschillende omstandigheden, of bestudeerden de lichtelectrische werking op verschillende vloeistoffen en vaste stoffen, terwijl SCHUMANN <sup>1)</sup> en LYMAN <sup>2)</sup> belangrijke spectroscopische studies maakten van het ultraviolette licht tot de kleinst waarneembare golflengten. EDGAR MEYER <sup>3)</sup> bespreekt in zijne dissertatie de absorptie der ultraviolette stralen in ozon; REGENER <sup>4)</sup> bepaalt voluminometrisch de chemische omzettingen en evenwichten in gassen door bestraling met ultraviolet licht. LYMAN maakt in eene mededeeling op een congres in Michigan <sup>5)</sup> melding van gemeten ionisatie door licht der kleinste golflengten, zonder verdere uitvoerige publicatie.

In de literatuur van het jaar 1908 vinden we melding gemaakt van herhaling der proeven van LENARD in gewijzigden vorm en komt de vraag naar den ioniseerenden invloed van het ultraviolette licht opnieuw ter sprake. De resultaten waren niet in overeenstemming met wat door LENARD gevonden was. In het kort zij hier het werk besproken van E. BLOCH <sup>6)</sup>, G. W. C. KAYE <sup>7)</sup> en F. PALMER <sup>8)</sup>. De eerste bestudeerde de werking van ultraviolette straling van Al-vonken en van eene kwartsglaskwiklamp op lucht. Hij nam twee verschillende proevenreeksen en wel eene met de beschonen lucht tusschen twee condensatorplaten, opgesloten in eene metalen doos met een kwartsvenster van 3.5 m.M. dik; hij bestraalde dus eene in rust zijnde gasmassa; bij de tweede proevenreeks werd de lucht na bestraling in een cylindercondensator geblazen en daar op zijn ionisatietoestand onderzocht. Het resultaat was, dat in

<sup>1)</sup> V. SCHUMANN. Smithsonian Contrib. N. 1413, Vol. 29, 1903.

<sup>2)</sup> TH. LYMAN. Astrophys. J. 27, 87, 1908.

<sup>3)</sup> E. MEYER. Dissertation, Berlin 1903. Ann. der Physik 12, 849, 1903.

<sup>4)</sup> REGENER. Dissertation, Berlin 1903.

<sup>5)</sup> TH. LYMAN. Physik. ZS. 10, 775, 1910.

<sup>6)</sup> E. BLOCH. C. R. 146, 892, 1908.

<sup>7)</sup> G. W. C. KAYE. Proc. Cambr. Soc. 14, 417, 1908.

<sup>8)</sup> F. PALMER. Nature 77, 582, 1908.



het eerste geval het geleidingsvermogen van het gas direct na het inlaten in de doos, waarin het blijft opgesloten, veel grooter is, dan nadat zwevende stofdeeltjes gelegenheid hebben gehad te bezinken. Het zwakke overblijvende geleidingsvermogen schrijft BLOCH toe aan HERZ-effect op de dooswanden. Blaast men lucht in, gefiltreerd door watten, dan komt het geleidingsvermogen niet terug. Het aanwezige geleidingsvermogen kan men dus doen verdwijnen, door eenvoudig te wachten, tot zwevende stofdeeltjes bezonken zijn.

Wordt de lucht na bestraling in een cylindercondensator gebracht, dan is er eveneens een belangrijk verschil tusschen gefiltreerde stofvrije en ongefiltreerde stofbevattende lucht. De eerste geeft in den condensator een stroom practisch 0; de laatste geeft een stroom van belangrijke sterkte. Bij gelijk veld is de stroom sterker als men negatieve, dan wanneer men positieve ladingen verzamelt, overigens is het moeilijk de voorwaarden voor verzadigingsstroom te verkrijgen.

Bij al deze proeven is de lichtbron op afstand van minstens 5 c.M. van het kwartsvenster geplaatst. De genoemde schrijver meent het recht te hebben te besluiten, dat «onder deze voorwaarden het grootste deel van het LENARD-effect toe te schrijven is aan de aanwezigheid van photoelectrische werking op deeltjes, zwevend in het gas». Als het gas van stof gezuiverd is, vertegenwoordigt het LENARD-effect, zoo het al bestaat, slechts een «zeer zwak deel» van het effect, te danken aan stof.

PALMER en KAYE volgden bij hun onderzoek eveneens de methode, om de lucht na bestraling in een cylindercondensator te brengen. Hun methode week echter op een zeer belangrijk punt af van de vroegere waarnemingsmethoden.

Terwijl LENARD en BLOCH de straling eene luchtlaag van atmosfeerspanning, dikwijls verscheidene c.M. dik, lieten doorloopen, vervolgens een kwartsvenster, waardoor alle stralen van golflengten kleiner dan  $180 \mu\mu$  werden tegengehouden, bouwden PALMER en KAYE lichtbron en bestralingsruimte



aan elkaar tot één apparaat. Bij dat van PALMER scheidde een vloeispaat-, bij KAYE een kwartsvenster beide ruimten. De absorbeerende gaslaag werd hierdoor uitgeschakeld. PALMER gebruikte als lichtbron eene ontladingsbuis van het LYMAN'sche model met inwendige capillair en vloeispaatvenster, gevuld met verdunde waterstof, eene stralingsbron bij uitstek rijk aan ultraviolette stralen van de kleinste golflengten tusschen 120 en 190  $\mu\mu$ , die in zuurstof sterk geabsorbeerd worden. Hij vond, dat de bestraalde lucht werkelijk een geleidingsvermogen vertoonde, dat belangrijk toenam bij vermindering van den druk in de bestralingsruimte. De schrijver geeft echter geenequantitatieve resultaten. KAYE onderwierp de lucht aan de straling van den lichtbundel, uitgezonden van eene WEHNELT-kathode bij 300 volt electroden spanning en 0.1 amp. stroomsterkte in de ontladingsbuis; een 0.4 m.M. dik kwartsvenster scheidde de ontladingsbuis van de bestralingsruimte. Lucht, zorgvuldig gedroogd, en stofvrij gemaakt, wordt inderdaad door bestraling geleidend; in den cylindercondensator gezogen, ontlaadde lucht dezen na bestraling 8 maal, koolzuur 16 maal en ammoniakgas 150 maal sneller, dan bij niet bestraling. Een onderzoek, of de werkzame stralen door gassen worden geabsorbeerd, verrichtte KAYE door de bestralingskamer een eigen sluitvenster van kwarts te geven. Bij eene luchtlaag van 1 m.M. tusschen de sluitvensters was het effect nog duidelijk merkbaar, bij 3 m.M. tusschenruimte werd het te klein, om te kunnen worden waargenomen. Eene laag lichtgas van 1 m.M. dikte absorbeerde de werking zeer sterk, zooals ook LENARD reeds had aangetoond. Verschillende deelen van den lichtbundel tusschen kathode en anode betoonden zich verschillend werkzaam; het sterkst actief betoonden zich de stralen, uitgezonden door het licht nabij de kathode.

Aan kritiek op de door de genoemde waarnemers gevonden uitkomsten, ontbreekt het in de literatuur geenszins. Bij het nagaan van de beschrijving der proeven toch, die ten doel hadden het antwoord te verkrijgen op de vraag, of

gassen door ultraviolet licht worden geïoniseerd, treft ons direct het verschil in uitkomsten der verschillende waarnemers, zelfs waar ze dezelfde onderzoeksmethode bezigen.

Zoo betwijfelt STARK <sup>1)</sup>, of het zoogenaamde LENARD-effect wel als directe ionisatie van het gas is op te vatten. Hij veronderstelt, dat het door LENARD waargenomene meer een effect is op zwevende stofdeeltjes of vloeistofdruppeltjes. Den grond voor deze veronderstelling zoekt hij o. a. in het feit, dat de werking op waterstof even sterk is, als die op zuurstof, en verder in de geringe beweeglijkheid der positieve ionen. Blijkens onderzoekingen van SCHUMANN en LYMAN wordt het licht van golflengten kleiner dan  $180 \mu\mu$  door waterstof niet, door zuurstof daarentegen sterk geabsorbeerd. Neemt men, als STARK doet, aan, dat ionisatie steeds gepaard moet gaan met absorptie der ioniseerende stralen, dan is de uitkomst van het onderzoek van LENARD niet te rijmen met het resultaat van de studie van SCHUMANN en LYMAN aangaande het absorbeërend vermogen van enkele gassen voor het ultraviolette licht. Veel waarde hecht STARK aan de uitkomsten van het onderzoek van PALMER. Hier acht hij voor het eerst de ioniseering van een gas (zuurstof) door ultraviolet licht van golflengten grooter dan  $120 \mu\mu$  waargenomen. Want hier was juist de ionisatie te wachten. De zuurstof toch absorbeert de stralen van  $180-120 \mu\mu$ , die door de gebruikte stralingsbron in groote intensiteit worden uitgezonden en door het vloeispaatvenster worden doorgelaten. Intusschen noemt STARK de proeven van PALMER, noch die van KAYE, «ganz einwandsfrei». Hij oppert twijfel, of bij beiden de onderzochte stroomende lucht wel volkomen droog en stofvrij was, terwijl niet onderzocht is, hoe groot bij hunne waarnemingen de invloed van het lichtelectrisch effect was op de bestraalde wanden van het vat. Dit toch kan voor de golflengten van  $120-180 \mu\mu$  veel grooter zijn, dan voor stralen van golflengten grooter dan  $180 \mu\mu$ .

Bij eene bespreking van wat tot nu toe gedaan is, om

<sup>1)</sup> Physik ZS. 10, 614, 1909.



het ioniseerend effect van het ultraviolette licht aan te toonen, verdient de uitgebrachte kritiek eenige nadere beschouwing.

Bij het vergelijken der uitkomsten van het onderzoek van LENARD, en van de resultaten van het werk van BLOCH, PALMER en KAYE, moet in de eerste plaats in aanmerking genomen worden de soort der gebruikte lichtbron. Is de intensiteit der ultraviolette stralen, uitgezonden door de kwiklamp, door ontladingsbuizen, of door eene WEHNELT-kathode vergelijkbaar met de intensiteit van het vonkenlicht door LENARD gebruikt? De electriche werking van het licht op de lucht eischt bijzonder groote lichtintensiteiten, daar, volgens LENARD, de werking bij toenemende lichtintensiteit in het begin zeer langzaam en daarna sneller dan evenredig hiermede toeneemt. Terwijl KAYE door eene luchtlaag van 3 m.M. geene werking meer waarnam, was het licht der vonken, overspringend tusschen Al-electroden, in staat door eene luchtlaag van 50 c.M. nog merkbare werking op den stoomstraal te geven; bij Zn-electroden begint de werking reeds zwakker te worden, als de afstand tusschen de lichtbron en het kwartsvenster, waarachter de stoomstraal zich bevindt, grooter wordt dan 2 c.M. Waarnemingen van LENARD, om de golflengten der werkzame stralen te bepalen, gaven tot uitkomst, dat de werking te danken was aan stralen van 140—190  $\mu\mu$ , die in de lucht sterk geabsorbeerd worden.

Een later onderzoek naar het absorbeerend vermogen van verschillende stoffen voor ultraviolet licht, uitgevoerd met dezelfde lichtbron en beoordeeld naar de ioniseerende werking op lucht <sup>1)</sup>, toonde aan, dat kwartsglas veel sterker de werkzame stralen tegenhoudt dan kristallijn kwarts. Daar BLOCH werkt met eene kwartsglaskwiklamp behoeft het dus geene verwondering te wekken, dat hij eene andere uitkomst kreeg dan LENARD. Want, al is de kwikboog waarschijnlijk uiterst rijk aan stralen beneden 200  $\mu\mu$ , het kwartsglas laat slechts zeer weinig daarvan door; daarentegen is het juist in hooge

---

<sup>1)</sup> S. SACHS. Dissertatie, Heidelberg 1910.



mate transparant voor die stralen, die de lichtelectrische werking op de wanden van het bestralingsvat en op de zwevende stofdeeltjes veroorzaken.

Dat LENARD geen duidelijk verschil vond tusschen de werking op droge stofvrije en niet gedroogde en stofvrij gemaakte lucht, is vermoedelijk het gevolg van het achterblijven van het lichtelectrisch effect bij het directe effect op de bestraalde lucht. Zeker is, dat de werking van licht op stofdeeltjes alleen, niet voldoende is ter verklaring van de waargenomen verschijnselen; eene onmiddellijke werking van het licht op de lucht zelve moet overheerschen. De proeven, beschreven in § 16 der reeds meermalen genoemde verhandeling in Ann. der Physik (pag. 501), toonen dit duidelijk aan. Deze proevenreeksen zijn juist daarom van bijzonder belang, omdat hierbij dezelfde waarnemingsmethode gevolgd wordt, die BLOCH, PALMER en KAYE bezigden. Laatstgenoemde onderzoekers doen echter geen opgave der door hen gevonden getallen, waardoor hunne uitkomsten ook in dat opzicht slecht met die van LENARD te vergelijken zijn. Daar echter LENARD werkt met een aluminiumbladelectrometer, BLOCH met een zeer gevoeligen Curie-electrometer, hebben we hierin al eene aanwijzing, dat de door den eerste waargenomen effecten veel sterker geweest moeten zijn.

De proeven van LENARD zijn in een, nog niet in zijn geheel gepubliceerd onderzoek, in den zomer van 1910 in het radiologisch instituut der Heidelbergsche Universiteit met eene nieuwe, uiterst intense, en aan ioniseerende stralen rijke lichtbron, herhaald en uitgebreid.<sup>1)</sup> Het werkzame licht werd uitgestraald door vonken, overspringend tusschen Al-electroden, opgewekt door ontladingen van een expresselijk hiervoor vervaardigd, zeer groot inductorium, met voor dit doel juist geschikte, experimenteel bepaalde capaciteit. De

<sup>1)</sup> Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, 28ste und 31ste Abhandlung, 1910.

«Über die Wirkung sehr kurzwelligen ultravioletten Lichtes auf Gase und über eine sehr reiche Quelle dieses Lichtes, 1er und 2er Teil.»



eerste verhandeling beschrijft de nieuwe lichtbron, de tweede de daarmee gedane proeven. Deze hadden ten doel, de grootte van de ioniseerende werking en de absorptie der werkzame stralen in lucht te meten, den invloed na te gaan van stof en vreemde dampen op het effect, en tevens de grootte van het lichtelectrisch effect op de bestraalde wanden van het onderzoekingsvat te bepalen. Verder werd bestudeerd de absorptie in gassen en in vaste stoffen, en, aan de hand van het laatste onderzoek, getracht een oordeel te verkrijgen over de grootte der golflengten der ioniseerende stralen.

De proeven werden gedaan op gassen bij atmosferische spanning; na de bestralingskamer doorloopen te hebben passeerden ze een cylindercondensator, waar ze hunne ladingen afgaven. De electriciteitshoeveelheid, afgegeven aan den condensator + quadrantelectrometer in een bepaalden tijd (10 sec.), diende als maat voor de sterkte der werking.

Het resultaat van het onderzoek was, dat er werkzame stralen door de lichtbron worden uitgezonden, die in lucht zeer sterk, en andere, die onder dezelfde omstandigheden weinig geabsorbeerd worden. De eerste zijn niet in staat eene luchtlaag van 4 c.M. te doordringen, waarom in het vervolg de lichtbron steeds minstens 4 c.M. van het bestralingsvat verwijderd stond. Als electrodenmetaal werd steeds aluminium gebruikt, daar dit, blijkens het vroegere onderzoek, het sterkst actieve licht uitzond. Verontreiniging der onderzochte gassen door sporen van vreemde dampen had zeer grooten invloed op het geleidingsvermogen, vooral aanwezigheid van waterdamp had een zeer sterken invloed. Werd de gefiltreerde lucht vermengd met waterdamp, dan steeg het effect der straling tot het 14-voud. Constante resultaten waren slechts te verkrijgen met buitenlucht, zorgvuldig gedroogd, door lange glasleidingen in het bestralingsvat gezogen. De lichtelectrische werking op de wanden uit zich in eene sterke unipolariteit, wanneer het gas zelf slechts weinig door de werkzame stralen wordt geïoniseerd; bij gassen, die sterk den invloed der straling

ondervinden, als koolzuur en lichtgas, treedt zij geheel op den achtergrond.

Het onderzoek naar het absorbeerend vermogen der onderzochte gassen geeft geheel andere uitkomsten dan dat, in 1900 ingesteld.<sup>1)</sup> Lucht wordt hier volkomen transparant gevonden (verontreinigingen verhoogden, het absorbeerend vermogen), zuurstof, koolzuur en lichtgas absorbeeren resp. 83.2, 67 en 86.5 pc. De laatste drie gassen worden resp. 75, 1000 en 200 maal sterker geleidend dan de zuivere lucht; een zeer merkwaardig resultaat, bij de beoordeeling waarvan echter in aanmerking genomen moet worden, dat de zuurstof en het koolzuur uit stalen kruiken afkomstig waren, dus, evenals het lichtgas, verontreinigd zijn door het metaal der kruik en der kranen. Als bewijs, dat deze omstandigheden het effect abnormaal verhoogden, zij vermeld, dat lucht uit een stalen cylinder zich 15 maal sterker geleidend betoonde dan zuivere gefiltreerde buitenlucht. Toch is het opmerkelijk, dat het resultaat van het onderzoek van 1900 geheel verschilt van de uitkomsten van dat van 1910. Hier betoonde lucht zich 1000 maal minder geleidend dan koolzuur, daar behoorde lucht tot de gassen, die het sterkst den invloed der straling ondervonden, (het effect in lucht was daar bijna even sterk als in koolzuur). Hier liet lucht 100% straling door, terwijl ze zich daar sterk absorbeerend betoonde. LENARD schrijft de groote verschillen geheel toe aan de gewijzigde omstandigheden. Terwijl hier de stralen een weg van minstens 4 c.M. door lucht te doorloopen hadden, werd daar de lichtbron zoo dicht mogelijk bij de bestralingsruimte geplaatst, juist om de absorbeerende luchtlaag zoo dun mogelijk te maken. Bij het onderzoek van 1910 hebben we dus te maken met stralen, behorende tot geheel andere golflengtegebieden. Stralen, die op lucht mede ioniseerend werken, waren hier uitgeschakeld. In dit laatste geval hebben we waarschijnlijk te maken met eené werking van het uiterste ultraviolet. Onderzoekingen,

---

<sup>1)</sup> Ann. der Physik Bnd. 1 en 3.



omtrent het absorbeërend vermogen van verschillende stoffen, waarvan de absorptie in een kwartsspectraalapparaat onderzocht was, werden verder gedaan, om een oordeel te krijgen over de soort der werkzame stralen. Het resultaat was, dat deze golflengten moesten liggen tusschen 185 en 178  $\mu\mu$ , en kleiner moesten zijn dan 90  $\mu\mu$ . Als 2<sup>e</sup> methode tot bepaling der golflengten werd de onderzoeksmethode van 1900 herhaald; door middel van de chromatische aberratie van eene vloeispaatlens, (dezelfde, die bij het vorig onderzoek gebruikt was), werd gevonden, dat het maximum der ioniseerende stralen ligt bij 135  $\mu\mu$ , voor de stralen, die de lichtelectrische werking veroorzaken, bij 142  $\mu\mu$ . Daar deze echter liggen in het gebied der stralen, die door lucht het sterkst worden geabsorbeerd, kunnen deze in werkelijkheid niet de golflengten der hier werkzame stralen geweest zijn. Hier hebben we dus te doen met eene samenwerking van stralen, die in het vloeispaat sterker en minder sterk gebroken worden. Aan de eerste moeten golflengten toegekend worden kleiner dan 120  $\mu\mu$ , waar, volgens LYMAN, de absorptie van het vloeispaat begint. Vloeispaat zou dus verder in het ultraviolet weer transparant worden. Dispersieberekeningen van MARTENS sluiten de mogelijkheid hiervan niet uit.

Hoewel strikt genomen de waarnemingen van PALMER en KAYE niet vergelijkbaar zijn met die van LENARD en BLOCH wegens de andere condities, verkregen door het ontbreken der absorbeerende luchtlaag, naderen de door de beide eerstgenoemden verkregen uitkomsten toch meer tot die van LENARD, dan tot die van BLOCH. Helaas maken de eersten geen melding van controleproeven met vochtige, niet stofvrij gemaakte lucht.

Uit het bovenstaande blijkt ten duidelijkste, hoe weinig nog met zekerheid bekend is inzake de ionisatie van gassen door ultraviolet licht. Weinig waarnemingen zijn daaromtrent gedaan, en die weinige zijn onvolledig en niet met elkaar in overeenstemming. STARK en STEUBING<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Physik ZS. 10, 614, 1909.

publiceerden een gemeenschappelijk uitgevoerd onderzoek omtrent de ionisatie van dampen van enkele organische stoffen. STEUBING <sup>1)</sup> toonde terzelfder tijd langs denzelfden weg aan, dat kwikdamp door bestraling met licht van eene kwartsglaskwiklamp of met licht van Al-vonken geïoniseerd wordt. De bestraalde stof <sup>2)</sup> was opgesloten in eene toegesmolten gascel van kwartsglas, voorzien van electroden. De ionisatie werd aangetoond door deze gascel in te schakelen in eene stroomketen en aldus galvanometrisch het geleidingsvermogen van het gas daarin te bepalen. Door verhitten of afkoelen kon de spanning van den bestraalden damp tusschen de electroden binnen bepaalde grenzen gevarieerd worden. Daar geene bijzondere maatregelen genomen waren ter vermindering van bestraling der kathode, was de gemeten stroom steeds eene superpositie van den lichtelectrischen stroom uit de kathode en den stroom tengevolge van de ionisatie in het gas. Uit den vorm der kromme, die het verloop der verandering van de stroomsterkte bij afnemenden druk aangaf, kon, als de kromme, die het verloop van den lichtelectrischen stroom uit de kathode bij de genoemde verandering bekend was, de stroomsterkte in de gascel bij eene reeks van drukwaarden bepaald worden. De stralingsbron was dicht bij de gascel geplaatst. Eene tusschengevoegde glasplaat van 1.5 m.M. dikte deed den stroom in den galvanometer ophouden. De golflengten van de werkzame stralen liggen dus tusschen 185 en 300  $\mu$ .

De Physical Review van 1911 <sup>3)</sup> bevat eene publicatie van F. PALMER omtrent verdere door hem verrichte onderzoekingen. Zijne lichtbron was eene ontladingsbuis, gevuld met verdunde waterstof; zijne waarnemingsmethode bestond daarin, dat hij een gasstroom langs een bestralingsvenster en vervolgens door een cylindercondensator blies, waar de ionen hunne ladingen afgaven. Hoofddoel van zijn onderzoek was het ioniseerend vermogen der stralen van het uiterste

<sup>1)</sup> Physik. ZS. 10, 787, 1909.

<sup>2)</sup> Dampen van anthraceen, diphenylmethaan,  $\alpha$ -naphtylamin en diphenylamin.

<sup>3)</sup> Phys. Rev. 14, 1, 1911.



ultraviolet te bestudeeren. Hiertoe bezigde hij een toestel bestaande uit eene ontladingsbuis, eene tusschenkamer en eene ionisatiekamer, tezamen één geheel vormend, en van elkander gescheiden door vloeispaatvensters van 1 m.M. dik. De tusschenkamer werd gevuld met zuurstof. Door verandering van den druk hierin werd bereikt, dat de stralen van golflengten 120—180  $\mu\mu$  niet, of slechts zeer bepaalde stralensoorten uit dit gebied, in de ionisatiekamer werden toegelaten. De zuurstoflaag werkte als scherm voor bepaalde stralen; welke stralen werden tegengehouden, en welke in de ionisatiekamer werden toegelaten, hing af van den gasdruk in de tusschenkamer. Immers de photographiën van het absorptiespectrum der zuurstof voor het uiterste ultraviolet, door LYMAN vervaardigd, toonen aan, dat de absorptie van dit gas bij atmosfeerspanning zich uitstrekt over een band, begrensd door bovengenoemde golflengten. Bij vermindering van den druk in de absorbeerende gaslaag krimpt deze band langzaam in; bij 760 m.M. zijn de grenzen 177.0—126.8  $\mu\mu$ , bij 196 m.M. 174.0—128.0  $\mu\mu$ ; daarna wordt hij snel smaller, voornamelijk aan de naar het rood gekeerde zijde. Bij 40 m.M. strekt hij zich uit van 160.0—132.5  $\mu\mu$ , om bij 15 m.M. geheel te verdwijnen. Op deze wijze werd dus getracht een oordeel te verkrijgen, omtrent de ioniseerende werking der stralen van het genoemde gebied.

Zooals te verwachten is, werd eene toename van het geleidingsvermogen van het bestraalde gas waargenomen bij afname van den druk in de tusschenkamer.

In de graphische voorstelling vertoont de lijn, die de stijging van het effect aangeeft, een verloop, dat in overeenstemming is met het karakter der veranderingen in den absorptieband. Zij bestaat uit een vrijwel recht verloopend stuk, overeenkomend met de drukvermindering in de zuurstof van 760 tot 190 m.M., en verder eene steil oplopende, regelmatige, kromme lijn. De stijging gaat over tot een «sharp rise» als de druk in de absorptiekamer onder 20 m.M. daalt.

De gassen werden onderzocht bij atmosfeerdruk. De

nauwkeurigheid bij de enkele waarnemingen bereikt bedroeg 5 %. In het kort saamgevat zijn de resultaten, dat waterstof en stikstof minder sterk geïoniseerd werden dan lucht, en wel resp.  $\frac{1}{12}$  en  $\frac{1}{2}$  van het geleidingsvermogen der lucht verkregen. Het verloop der effectlijnen is verschillend; de lijn voor stikstof verloopt steiler dan die voor lucht.

Eene 2<sup>e</sup> proevenreeks, waarbij het onderzoek zich uitstreckte over lucht, zuurstof, stikstof en waterstof, gaf echter geheel andere uitkomsten. «While air and oxygen show marked ionization, and hydrogen practically none, the ionization which takes place in nitrogen is unexpectedly large, and increases greatly for pressures in the screen cell less than 1 c.M. Moreover, since a given thickness of air is more transparent than the same thickness of oxygen, it might be expected that the air curve of ionization would be lower than that for oxygen, but the opposite has always been found to be the case». Bovenstaand citaat bewijst, dat de proeven onderling geenszins overeenstemmen.

De geringe ionisatie der waterstof is volgens PALMER te verwachten, daar waterstof de ultraviolette stralen zeer weinig absorbeert, terwijl lucht en zuurstof ze sterk absorbeeren; ionisatie en absorptie zullen toch moeten samengaan. Stikstof houdt de stralen van het hier besproken gebied slechts weinig tegen; volgens LYMAN blijft de absorptie der stikstof gering, en neemt ze geleidelijk toe met afname der golflengte, terwijl SCHUMANN eene sterke absorptie vond voor stralen met golflengten 150—130  $\mu\mu$ . Deze zouden dan de ionisatie der stikstof moeten veroorzaken.

De genomen voorzorgen, om het gas van stof en waterdamp te zuiveren, sluiten een effect op deze verontreinigingen uit. Controleproeven gaven tot resultaat, dat vochtig gas alleen bij hooger spanningen sterker geïoniseerd werd dan droog gas. De ionisatiekrommen verliepen minder steil. Bij spanningen van 200 tot 100 m.M. in de absorbeerende zuurstof was de verhouding van het geleidingsvermogen der vochtige lucht tot dat van droge lucht als 5 tot 3, terwijl het effect bij zeer lagen druk in de absorptieruimte



niet verschilde. Vochtig maken der absorbeerende zuurstof had weinig invloed op het effect; slechts eene geringe vermindering was waar te nemen.

De ontladingsbuis was niet gesloten. Het gas er in werd telkens ververscht. De stroomsterkte in de buis bedroeg 30 tot 40 m.A., de gasspanning 1 m.M. De stroomsterkten, in den cylindercondensator waargenomen, waren van de orde  $10^{-11}$  Amp.

Aan het slot der beschrijving der door STARK en STEUBING <sup>1)</sup> bestudeerde ionisatie van dampen van organische stoffen, herinnert STARK aan de resultaten van het vroeger vermelde onderzoek van PALMER <sup>2)</sup>; deze zouden, naast de uitkomsten van het gezamenlijk uitgevoerd onderzoek, en die der studie van STEUBING <sup>3)</sup> over de ionisatie van kwikdamp, het derde geval zijn van de «Lichtionisierung eines Atoms im gasformigen Zustand». De laatstbeschreven onderzoekingen van LENARD en PALMER heffen evenwel allen twijfel aan het bestaan eener ioniseerende werking van het licht van kleine golflengten op. Of echter het antwoord op de vragen, gesteld en besproken op blz. 3, bevestigend of ontkennend zal luiden, daaromtrent geeft de in dit hoofdstuk besproken literatuur geene directe aanwijzingen.

---

<sup>1)</sup> Phys. ZS. 10, 614, 1909.

<sup>2)</sup> Nature 77, 582. 1909.

<sup>3)</sup> Phys. ZS. 10, 787, 1909.

## HOOFDSTUK II.

---

### Gebruikte apparaten.

Voor den onderzoeker, die zich ten doel stelt, de werking van het ultraviolette licht op gassen te bestudeeren, zijn de uitkomsten der vorige waarnemers daar als merkteekens op den te volgen weg. Zij leeren hem, welke bronnen van fouten hij moet trachten te vermijden, indien hij gebruik wil maken van dezelfde, of van eene andere werkwijze.

Om het ioniseerend effect aan te toonen hebben we in de eerste plaats de stoomstraal- en de condensatiemethoden. Qualitatief kunnen deze tot goede uitkomsten leiden, quantitatieve resultaten zijn er echter moeilijk mee te verkrijgen. Daarbij werkt men steeds onder ongunstige omstandigheden door de aanwezigheid van den waterdamp. Is het licht-electrische effect werkelijk voor een deel te danken aan werking op vochtdeeltjes, dan blijft hierdoor in de waarnemingen steeds eene moeilijk te elimineeren fout. De electriche methoden verdienen dus voor qualitatief, zoowel als voor quantitatief werk de voorkeur.

Voor onderzoek langs den electriche weg kan men nu weer twee richtingen inslaan. Men kan een gasstroom laten strijken langs een bestralingsvenster, of wel het licht laten stralen op eene gasmassa in rust, zich bevindend tusschen twee condensatorplaten. Terwijl men, bij beide methoden, steeds nauwkeurig zorg dragen moet, dat het onderzochte gas volkomen droog en stofvrij is, is het bij de laatste gemakkelijker, de omstandigheden bij de verschillende proeven steeds gelijk te maken, en het gas te onderzoeken bij elken willekeurigen druk in de bestralingsruimte, van verscheidene atmosfeeren tot het hoogste vacuum. Ook zal eventueel HERZ-effect onder alle omstandigheden eene zelfde fout geven (cf. blz. 19). Bij de methode



met stroomend gas mist men steeds de controle, of het gas wel volkomen droog en stofvrij was; daarbij is het niet gemakkelijk den druk te varieeren, nog minder dezen in het stroomend gas juist te meten (PALMER geeft geene aanwijzing, hoe hij dit deed), terwijl ten slotte moeilijker is uit te maken, welk aandeel in de gevonden ionisatie is toe te schrijven aan HALLWACHS-effect op bestraalde wanden. Op den weg van de bestralingsruimte tot den cylindercondensator, waarin de ionisatie gemeten zal worden, gaat een deel der ionen door recombinatie en diffusie weer verloren, wat eene oorzaak kan zijn, dat bij snelle strooming een grooter effect gevonden wordt dan bij langzame.

Bij het maken van een apparaat, om de ionisatie van gassen door licht te meten, dient op dit alles gelet. Volgens het bovenstaande is de kans op het verkrijgen van vergelijkbare resultaten het grootst bij het onderzoek van een gas in rust tusschen condensatorplaten. Ter vermindering van fouten, voortvloeiende uit lichtelectrische werkingen, moet bestraling der electroden zooveel mogelijk vermeden worden. Daar glas niet lichtelectrisch bevonden is voor licht van golflengten, die door kwarts worden doorgelaten, zal deze stof geen storingen veroorzaken bij gebruik van kwartsvensters in de afsluitingen van de onderdeelen der toestellen. Bij vloeispaatvensters echter is de mogelijkheid eener dergelijke werking voor stralen van de allerkleinste golflengten niet uitgesloten. Deze is eventueel te bepalen, en komt dan als eene constante fout in de uitkomsten der waarnemingen aan het licht.

Wil men dus de werking mede der uiterste ultraviolette stralen op gassen onderzoeken, dan mogen alleen vloeispaatplaten en hoog geëvacueerde ruimten lichtbron en bestralingsruimte scheiden. Daartoe is het dus noodzakelijk, dat lichtbron, bestralingsruimte en eventueel absorptieruimte in één apparaat vereenigd zijn. Men is daarbij dan aangewezen op het gebruik van ontladingsbuizen als lichtbronnen, daar men bij vonkontladingen steeds te maken heeft met de, mogelijk absorbeerende, gaslaag tusschen de vonk en het

vloeispaatvenster. Als kwiklamp komt, wil men de sterk absorbeerende luchtlaag vermijden, voor een dergelijk apparaat alleen de LUMMER'sche vorm <sup>1)</sup> in aanmerking. Met deze is echter weinig resultaat te verwachten, ten gevolge van de absorptie in de kolom kouden kwikdamp, dien de stralen te doorloopen hebben, en door het beslag van kwik, dat het sluitvenster waarschijnlijk spoedig minder doorzichtig maken zal. Stelt men zich ten doel het onderzoek uit te strekken ook tot de absorbeerende eigenschappen van verschillende gassen, die door de werkzame stralen worden geïoniseerd, ten einde een mogelijk verband te vinden tusschen ionisatie en absorptie, dan moet het te bouwen apparaat bestaan uit drie niet met elkaar communiceerende, door wanden met vloeispaatvensters van elkaar gescheiden ruimten, en wel eene ontladingsbuis van geschikten vorm, eene absorptieruimte, en eene ionisatieruimte, waarin zich de condensator bevindt. Elk der kamers voor zich moet verder voldoen aan de hoogste eischen van luchtdichte sluiting, daar een klein lek, bij waarnemingen met zeer verdunde gassen, zeer storend kan werken, en aanleiding kan geven tot niet constante resultaten. De inrichting van het toestel moet verder zoodanig zijn, dat bestraling der condensatorplaten uitgesloten is.

Een toestel, dat aan deze eischen voldoet, is geschetst op pl. I, fig. 1. Eene cilindrische glazen buis is aan het eene einde afgesloten door de ontladingsbuis, aan de andere zijde door de ionisatieruimte. Het openblijvend middenstuk tusschen deze beide vormt de absorptiekamer. Eene kraan stelt in staat deze te evacueeren, of met andere gassen te vullen.

Fig. 1 geeft tevens den vorm van de ontladingsbuis. Zij is voorzien van eene inwendige capillair en ringvormige aluminium elektroden, gesloten met een vloeispaatvenster van 3 m.M. dikte en 20 m.M. diameter. De vulling is CO, H<sub>2</sub>, of N<sub>2</sub>. De ontladingen van den secundairen klos van een klein inductorium, met stroomsterkte 1,3 Amp. bij 6 Volt spanning in de primaire keten, worden door de buis ge-

<sup>1)</sup> LUMMER ZS. f. Instr. kunde 21, 201, 1901.



zonden; het sterk lichtend einde der capillair kan als bron voor de werkzame straling worden aangenomen. De stroomsterkte in de secundaire keten werd door een zeer regelmatig werkenden interruptor in de primaire constant gehouden en met een milliampèremeter gemeten.

De stroomonderbreking werd bewerkstelligd door eene stemvork, die electromagnetisch in trilling gehouden werd. Op een der beenen was een platinadraad geïsoleerd bevestigd, die telkens door het trillen van de stemvork in een kwikbakje gedompeld werd; deze platinadraad en dit kwikbakje vormden dus den eigenlijken interruptor. Over de kwikoppervlakte stroomde voortdurend water om het contact schoon te houden. Het trillingsgetal der stemvork was 78 trillingen per sec.

De bovengenoemde cilindrische glazen buis van het apparaat verloopt aan de eene zijde recht en eindigt aan de andere in een slijpstuk. In het rechte einde wordt de ontladingsbuis ingekit; deze draagt daartoe een mantel, zooals te zien is in fig. 1. In het slijpstuk past als conus een glasstuk, waarin de condensator is geborgen; dit vormt dus de ionisatie ruimte of condensatorruimte. Deze condensatorruimte vormt een op zichzelfstaand geheel. Aan de eene zijde is zij gesloten door een ingeslepen komvormig glasstukje, waarvan de bodem bestaat uit een opgekit vloeispaatplaatje van 15 m.M. diameter en 3 m.M. dikte; aan de andere zijde is tegen den afgeslepen rand eene spiegelglasplaat gekit, waarin twee gaten geboord zijn. Barnsteendoppen, tegelijk de dragers der condensatorplaten, met kit in de bedoelde gaten vastgezet, sluiten deze af. De kraan, om de ionisatiekamer te kunnen evacueeren, zit op den mantel van het slijpstuk; in den wand der kamer is een gaatje geboord, dat tegenover de kraan wordt gesteld. De afmetingen van het vloeispaatvenster, waardoor het licht de condensatorkamer binnendringt, en de afstand daarvan tot de lichtbron, benevens vorm en afmetingen der condensatorplaten, zijn zoo gekozen, dat geen enkele lichtstraal uit de ontladingsbuis de metaaldeelen kan treffen. Het licht schijnt alleen op de glazen sluitplaat; de rand van den

bundel kan nog juist het barnsteen bereiken. De electroden zijn gemaakt van messing, en vormen deelen van een cylinder, die den kegelvormigen lichtbundel omvat.<sup>1)</sup>

Op deze wijze wordt weliswaar bereikt, dat bestraling der electroden is uitgesloten; hiertegenover staat, dat slechts een gering deel van het licht, uitgezonden door de ontladingsbuis, in de condensatorruimte doordringt. Om meer licht in de ionisatiekamer te krijgen kan men de werkzame stralen door eene lens tot een evenwijdigen bundel concentreren. Men is in het laatste geval echter aangewezen op eene lens van groot oppervlak, wil men werkelijk in voordeelijker conditie komen; tevens mag de brandpuntsafstand niet te groot zijn, daar anders de absorptiekamer noodeloos lang wordt. Door de zeldzaamheid van het vloeispaat is aan deze eischen niet gemakkelijk te voldoen, terwijl tevens het centreeren en justeren in een glazen apparaat moeilijkheden oplevert. Daarbij bestaat het gevaar, dat door reflex op onzuiverheden in het vloeispaat, werkzame stralen de electroden bereiken; groote stukken zuiver vloeispaat, zonder insluitsels of splijtvlakken, zijn niet te verkrijgen.

Een toestel met lens werd gebruikt bij de voorloopige waarnemingen. Het apparaat was gemaakt van koper; de condensatorkamer was aan de eene zijde afgesloten door eene vloeispaatlens van 45 m.M. diameter en 6 c.M. brandpuntsafstand voor het zichtbare licht, aan de andere zijde door eene glasplaat. De electroden waren vlak en op 12 m.M. afstand evenwijdig aan elkaar gesteld. In twee, diametraal tegenover elkaar geplaatste zijbuizen waren barnsteendoppen gekit; door eene boring in het barnsteen waren koperen staafjes naar binnen gevoerd, de dragers der electroden. Direct achter de lens was een diafragma van mica geplaatst, 1 m.M. dik, met eene spleetvormige opening, 3 c.M. lang en 8 m.M. wijd. Opstaande kanten van mica, 8 m.M. hoog boven de spleet uitstekend over de

---

<sup>1)</sup> In de absorptiekamer waren eveneens electroden geplaatst, om ook eventueel de ionisatie hierin te kunnen meten.



condensatorplaten, beschermden de electroden voor stralen, die, ten gevolge van reflexen in de lens, de platen zouden kunnen bereiken.

Fig. 2 geeft eene afbeelding van het koperen apparaat met lens. De ontladingsbuis was gekit in een koperen ring. Deze ring en de condensatorkamer waren vastgezet op de wijze, in de figuur aangegeven, op een tusschenstuk, dat dus de rol van absorptiekamer vervulde. Terwijl de luchtdichte sluiting van de condensatorkamer, behalve op de dichtheid van het koper, geheel aankwam op de verschillende kitplaatsen (de schroefdraad, waarmee het montuur der lens in de condensatorruimte schroefde, benevens de naad tusschen de lens en haar montuur, waren alle zorgvuldig met kit gedicht) en de kraan, die gelegenheid gaf tot het evacueeren en inlaten van andere gassen, berustte de sluiting van de absorptiekamer op de kwaliteit van het koper en de leeren flenzen tusschen de twee paar sluitvlakken; verder ook op de sluitkraan. Op deze wijze was echter geen voldoende luchtdichte sluiting te verkrijgen. 1<sup>ste</sup> bleek het gegoten koper steeds poreus door kleine en groote gietgaten; 2<sup>de</sup> begonnen de leeren flenzen, die in het begin goed waren, na verloop van korten tijd lucht door te laten, eene fout, die met den tijd toenam. En aangezien, zooals uit de beschrijving der waarnemingen zal blijken, eene kleine verandering van het vacuum, juist bij spanningen omstreeks 1 m.M., eene groote verandering in de absorptie voor lucht geeft, waren met een dergelijk apparaat geene overeenkomende resultaten te verkrijgen; terwijl tevens kleine lekken storend zullen werken bij het bepalen van de absorptie van andere gassen dan lucht, bij lage spanningen.

---

#### ONDERZOCHE GASSEN.

Zooals reeds vermeld werd op blz. 3 had het onderzoek, waarvan de beschrijving in dit proefschrift is vervat, niet alleen ten doel het totale bedrag der ioniseerende werking

te onderzoeken van de straling, uitgezonden door ontladingen in verdunde gassen; het strekt zich ook uit tot het opsporen van eventueel hierbij zich voordoende selectieve effecten.

Voor de bestudeering der teweeggebrachte ionisatie werden daarom in de eerste plaats gekozen dezelfde gassen, waarmede de verschillende GEISSLER'sche buizen waren gevuld, namelijk waterstof, stikstof en kooloxyd; verder lucht en zuurstof. Deze moesten bereid worden met bijzondere zorg wat betreft de zuiverheid. Voornamelijk, indien het gold het bereiden van gas voor vulling van spectraalbuizen, moest met de uiterste nauwkeurigheid verontreiniging voorkomen worden.

De gassen werden telkens in groote hoeveelheden gemaakt en bewaard in gashouders van 3 L. inhoud. Waterstof en zuurstof werden bereid door electrolyse van NaOH-oplossing, kooloxyd uit mierenzuur en zwavelzuur, terwijl de stikstofgashouder gevuld werd met atmosferische stikstof, verkregen door lucht over ferrosulfaat en kaliumhydroxyde, en daarna over gloeiend koper te leiden. Voor de vulling van spectraalbuizen werd de stikstof bereid uit  $\text{NaNO}_2$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , en  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ .

Fig. 3 geeft de teekening der gashouders. De decanteerflesch B heeft eene ingeslepen stop, waarin zijn ingesmolten twee buizen, waarvan de eene reikt tot den bodem der flesch. Beide zijn voorzien van eene kraan. De uitvloeioopeningen der flesschen zijn door eene caoutchoucslang met elkaar verbonden. Wordt de flesch A gevuld met water, dan kan dit bij geopende kranen in de flesch B en de daarin zich bevindende buis opstijgen; door A op te heffen tot boven het niveau der kranen vult B zich geheel met water. Als de vloeistof de kranen bereikt, worden deze gesloten. Vervolgens wordt de zijbuis met kraan I met eene caoutchoucslang verbonden met het gasontwikkelingsapparaat, kraan II (zie fig. 3) gesloten, de flesch A lager gesteld en kraan I geopend; het gas wordt dan uit het ontwikkelingstoestel in den gashouder B gezogen. De ontwikkeling was dan reeds zoo lang in gang, dat aangenomen kon worden, dat



alle lucht uit het ontwikkelingstoestel uitgedreven was. Meest werd echter bij vulling der gashouders met  $\text{CO}$  of  $\text{N}_2$  de rest van het gas, dat nog in den gashouder was, door het ontwikkelingstoestel gedreven, ten einde de zich daarin bevindende lucht, door vulgas te vervangen. Het geheele ontwikkelingsapparaat werd geëvacueerd, daarna het zich nog in den gashouder bevindende gas, erin toegelaten. Was echter de buis met kraan I niet tot de opening, waaraan de caoutchoucslang aangekoppeld werd, met water gevuld, dan bevatten de eerste hoeveelheden gas, die zich in den gashouder verzamelden, nog lucht. Door hoogheffen der kraan A en daarna openen der kraan II werden deze daarom uitgedreven.

Het gas passeerde op zijn weg naar den gashouder eene caoutchoucslang. Daar echter de druk van het gas in de slang zeer weinig verschilde van dien van de omringende lucht, is het gevaar van meezuigen van lucht, diffundeerend door het caoutchouc, zeer gering. Bij het overbrengen van het gas naar het apparaat, waar de ionisatie of de absorptie gemeten moet worden, komt het alleen met glas in aanraking. Het gas bestemd voor ontladingsbuizen mocht in het geheel niet met caoutchouc in aanraking komen. Men zie echter hiervoor de later volgende beschrijving.

---

#### OVERBRENGEN VAN HET GAS IN HET APPARAAT VOOR ONDERZOEK.

Zoowel met het oog op goede luchtdichte sluitingen, als ook ter voorkoming van verontreiniging van het gas door vreemde dampen uit caoutchoucslangen, was het hierbij van belang, alle verbindingen te maken met glazen slijpstukken.

Daartoe was aan het onderzoektoestel (zie fig. 1) een glasstuk aangezet met drie kranen met kwikafsluiting, waarvan fig. 4 eene schets geeft. De zijbuizen A en B, die naar de absorptie- en ionisatieruimte leiden, zijn aangesmolten aan eene tweewegkraan, in de teekening aangeduid

door I. Elke ruimte had daarenboven zijne eigene sluitkraan, voor gevaar van lekken langs den sleutel van kraan I.

Deze kraan I maakt het mogelijk elk der beide kamers afzonderlijk in verbinding te stellen met leidingen aan gene zijde ervan. Door de zijbuis C is zij verbonden met de drie-wegkraan II; van de beide andere zijbuizen hiervan leidt de eene naar een  $P_2O_5$  reservoir, de andere eindigt in een conus, waarvan het bijbehorend slijpstuk zit op de gashouders. (Bovenaanzicht in fig. 4<sup>a</sup>). Van de buis C komt eene zijbuis naar voren, (in fig. 4 naar voren neergeslagen), leidend naar eene twee-wegkraan III, (in de teekening naar rechts omgeslagen) waardoor alles in verbinding gesteld kan worden met de Gaedepomp, voorzien van een vacuummeter, of, met tussenplaatsing van een manometer, met de Gerykpomp, wanneer men bij minder lage spanningen werkt.

Wil men b.v. het absorbeërend vermogen van een gas voor de straling van eene bepaalde stralingsbron onderzoeken, dan gaat men als volgt te werk. Men geeft de kraan I dien stand, waarbij de absorptieruimte in verbinding is met de toestellen rechts van I; de ionisatieruimte is dan geheel afgesloten. Bij juisten stand van II en III is het nu mogelijk alles leeg te pompen tot de uitlaatkraan (II) van den gashouder. Zet men, als dit geschied is, II  $180^\circ$  om, dan kan men het gas in het droogreservoir toelaten. Wanneer het lang genoeg met het  $P_2O_5$  in aanraking geweest is, sluit men III van de pomp af, draait II  $90^\circ$  terug (of verder door, naar gelang men in den zin van den horlogewijzer of tegengesteld daaraan gedraaid heeft), en laat het droge gas in de onderzoekruimte stroomen.

Door manipuleeren met de kranen II en III is het aldus mogelijk de onderzoekruimte met het onderzoekgas eenige malen uit te spoelen.

Ten einde nu het effect te meten bij afnemende spanning, wordt de kraan III geopend naar den manometer. Door eene slang met kraan is deze verbonden met de Gerykpomp. Evacueert men den manometer bij gesloten kraan III,



sluit de kraan tusschen manometer en pomp, en opent daarna III, dan vult de manometer zich met het gas uit de onderzoekruimte, en geeft den daarin heerschenden druk aan. Is de waarneming gedaan, dan opent men voorzichtig de kraan tusschen manometer en pomp, brengt de gasspanning op eene lagere waarde, en doet opnieuw eene waarneming. Op deze wijze kan de spanning in de onderzoekruimte telkens in dezelfde reden verlaagd worden, tot, als de kwikmanometer niet nauwkeurig genoeg meer aanwijst, de kraan III omgezet wordt, en nu verder de spanning verlaagd wordt met de kwikpomp. De heerschende druk wordt nu bepaald met behulp van den thermoelectrischen vacuummeter, geschetst in pl. II, fig. 5.

Een thermoelement, bestaande uit een koperdraadje A C en een constantaan draadje B D, in een kruis over elkaar gelegd, en in het kruispunt aan elkaar gesoldeerd, bevindt zich in een glazen bolletje, dat met een slijpstuk op de pomp gezet wordt. Wordt een stroom gezonden van A naar D, of van A naar B, dan geeft de verwarming van de soldeerplaats op het kruispunt der draadjes aanleiding tot een thermostroom in de richting D C resp. B C, waarvan de sterkte afhangt, behalve van de temperatuur der soldeerplaats, van de sterkte van den verwarmingsstroom, en van de spanning en het warmtegeleidingsvermogen van het gas, dat het kruisje omgeeft. Bij afname van den druk vermindert het warmtegeleidingsvermogen van het gas, waardoor de soldeerplaats in het kruispunt in temperatuur stijgt en de thermostroom in sterkte toeneemt. De vacuummeter was zorgvuldig geijkt met den Mac.Leod-vacuummeter; het verloop der ijkingskrommen was nagegaan bij verschillende waarden van den verwarmingsstroom; verder waren de aanwijzingen vergeleken bij vulling met lucht, zuurstof, stikstof, koolmonoxyd, kooldioxyd en waterstof. Alleen wanneer het laatste gas het thermoelement omgeeft, gedraagt het zich verschillend; de ijkingskrommen voor vulling met de eerstgenoemde vijf gassen bleken gelijk te verlopen. De sterkte van den thermostroom werd afge-

lezen op een wijzer-galvanometer van SIEMENS en HALSKE; de sterkte van den verwarmingsstroom werd zoo geregeld, dat de galvanometernaald bij het hoogst bereikbare vacuum juist een uitslag gaf over de geheele schaal (75 verdeelingen, één verdeelingsstreep correspondeert met eene stroomsterkte van  $3 \times 10^{-7}$  Amp.)

#### VULLEN DER SPECTRAALBUIZEN.

In zijn Handbuch der Spectroscopie, Deel I, zegt KAYSER: «Die Füllung der GEISSLER'schen Röhren ist keine leichte Aufgabe». Andere auteurs en waarnemers, die zich bezig hielden met onderzoek van gasspectra, zijn het in alle opzichten met zijne woorden eens. Zeer veel zorg vereischt het schoonmaken der buizen, de bereiding van het vulgas, en ten slotte het vullen zelf.

Een gevolg van onvoldoend reinigen der spectraalbuizen, zijn de bijspectra, die te voorschijn komen, als ontladingen doorgaan. Het hardnekkigst zijn in dit opzicht het waterstof-, het kooloxyd- en het kwikspectrum, het eerste een gevolg van vocht of waterstof, komend uit de electroden, het tweede van vuil, of van dampen van organische stoffen, aan de buiswanden gehecht, het derde van kwikdampen uit de pomp. De laatste zijn weg te krijgen door bij de vulling van de buis, tusschen deze en de leidingen naar de pomp een bolletje met goudblad gevuld in te schakelen. Van het CO-spectrum vertoont zich het langst een heldere band in het groen, scherp begrensd naar het rood, corresponderend met de golflengte  $520 \mu\mu$ ; verder een band in het blauw met  $484 \mu\mu$  als begrenzingsgolflengte, direct achter  $H\beta$  dus, en nog een in het geel op  $540 \mu\mu$ . Bij verhitten en uitspoelen der buis met lucht verzwakken deze banden, tot zij ten slotte verdwijnen. Wordt dan het vulgas ingelaten, zoo blijven zij weg. Het meeste last veroorzaken de waterstoflijnen. De hoeveelheid waterstof, in de electroden geoccludeerd, kan zoo aanzienlijk zijn, dat het



spectrum van het vulgas, wanneer de ontladingen korten tijd zijn doorgegaan, geheel verdwenen is, en plaats gemaakt heeft voor een zuiver  $H_2$ -spectrum. Zeer hinderlijk is de waterstof bij nieuwe elektroden, of als men eene buis, die met  $H_2$  gevuld geweest is, daarna wil vullen met een ander gas. Herhaald verhitten en uitspoelen met lucht, en vervolgens met het vulgas, is dan noodig om de resten van het  $H_2$ -spectrum, de lijnen  $H_\alpha$  en  $H_\beta$ , te doen verdwijnen. Is de toestand bereikt, dat bij het inlaten van het vulgas in de verhitte buis, het spectrum geheel zuiver verschijnt, zonder CO- of  $H_2$ -lijnen, en sluit men vervolgens de kranen naar de pomp en de vulapparaten, dan blijven de hinderlijke trawanten bij bekoeling meest weg, en de buis kan afgesmolten worden. Wil men echter, hetzij dat de spanning te laag blijkt, of om eenige andere reden, na bekoeling nog gas inlaten of uitpompen, en opent men daartoe de verbindingskranen, dan treden de met moeite weggewerkte  $H_2$ -lijnen soms direct weer op, en men kan van nieuws af aan weer beginnen. Ze zijn dan echter niet meer zoo hardnekkig.

De reiniging der buizen geschiedde, door ze eerst eenigen tijd in eene warme, geconcentreerde oplossing van kaliumbichromaat en zwavelzuur te leggen, ze daarna herhaaldelijk door te spoelen met gedistilleerd water, en vervolgens door te blazen met alcohol damp <sup>1)</sup>, eene reinigingsmethode, die uitstekend bleek te voldoen. Na de spoeling met alcohol damp werden ze gedroogd, vervolgens werd het vloeispaatvenster opgekit, en werden ze met een slijpstuk aan het vulapparaat gezet.

Of echter, na al deze voorzorgen, het spectrum werkelijk zuiver is, ook in het ultraviolet, de straling, waarvan het ioniseerend vermogen vermoedelijk het sterkst zal zijn, is moeilijk uit te maken. Hoe lastig het is eene spectraalbuis te maken, die een werkelijk zuiver spectrum geeft, blijkt uit de ervaringen van SCHUMANN en LYMAN. SCHUMANN <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Phys. ZS. 11, 254, 1910.

<sup>2)</sup> V. SCHUMANN, Smithsonian Contr. 1413, Vol. 29, 1903.

beschrijft daaromtrent een en ander in zijne verhandeling in de *Smithsonian Contributions*. Het gelukte hem niet, welke voorzorgen hij ook nam, of welken vorm hij koos, met eenige spectraalbuis een volkomen zuiver spectrum van waterstof, zuurstof, stikstof of lucht te verkrijgen; steeds bleef eenzelfde bijspectrum in alle gevallen bestaan. Dit bleek te zijn een koolstofspectrum. Hij besluit ook het hoofdstuk: «Difficulties» met de woorden: «It ought not to go unmentioned, that all the tubes were observed with a spectroscop, both during the cleaning and during the photographing of the spectrum without any impurities making themselves noticeable. This shows how little the visible spectrum can serve as a criterium of purity in filling a tube. The most refrangible ultra-violet is far better adapted to the purpose, and according to my observations, the most sensitive spectral reactions belong to the region of the shortest waves».

Nauwkeurig volgen van de door SCHUMANN en LYMAN gegeven voorschriften en het ter harte nemen van hunne wenken, ook betreffende de voorzorgen te nemen bij het bereiden en overbrengen van de vulgassen, is dus eene vereischte. En verder moet omtrent de werkelijke zuiverheid van het spectrum het beste gehoopt worden.

De methode, volgens welke het vulgas in de spectraalbuis gebracht werd, is ontleend aan het werk van BALY <sup>1)</sup>. De toestel is geteekend in fig. 6. Van den glazen bol B gaan vier buizen uit, elk voorzien van eene kraan, in de figuur aangeduid met de nummers I, II, III en IV. De eerste, I, gaat naar de pomp; achter de kraan van II, de naar links wijzende zijbuis, is, met een slijpstuk als verbinding, de te vullen ontladingsbuis aangezet; III gaat recht naar beneden; IV, naar rechts wijzend, is eene lange capillair, naar beneden in U-vorm gebogen. Het omgebogen deel past in eene buis P, van boven verwijd tot eene platte schaal; deze buis P kan om het omgebogen stuk der capillair op en neer

---

<sup>1)</sup> BALY. WACHSMUTH. Spektroskopie. blz. 308.



bewegen, terwijl het vernauwde deel zoo lang gemaakt is, dat de opening der capillair in den hoogsten stand van P zich nog juist hierin bevindt. Wordt P tot in de schaal gevuld met kwik, dan dompelt dus de mond der capillair, als P omhoog gebracht wordt, in het kwik.

P wordt vastgehouden in eene klem. Deze klem is vastgezet op eene stang, bevestigd aan eene steltafel. Eene tweede klem, aan dezelfde stang gezet, houdt eene lange buis Q vast; deze beweegt dus met P op en neer. De buis Q behoort bij een ander toestel en bevat het vulgas voor de spectraalbuis. Wordt nu P zoo hoog mogelijk omhoog gebracht, zoodat de opening der capillair zich in het vernauwde deel onder het kwikniveau bevindt, en vervolgens de buis Q met het vulgas recht boven de capillair vastgezet in de tweede klem, dan steekt het opstijgende been der U, als men P en Q gelijktijdig laat zakken, op in Q, in het vulgas. (De capillair moet hierbij gevuld zijn met kwik, daar anders de zich hierin bevindende lucht het vulgas zou verontreinigen.)

Om het gas, uit de buis Q in de spectraalbuis over te brengen, gaat men als volgt te werk.

De kranen III en IV worden gesloten, I en II geopend, en aldus de bol B en de spectraalbuis geëvacueerd. P wordt omhoog gebracht tot den hoogsten stand, zoodat de opening der capillair zich onder het kwik bevindt. Opent men nu voorzichtig de kraan IV, dan zuigt de capillair zich vol kwik. Vervolgens wordt de buis met vulgas Q in den toestel opgenomen en laat men P en Q zakken, totdat de capillair opduikt boven het kwik in Q. Men opent nu de kraan in IV en sluit haar weer, als de capillair zich met gas gevuld heeft. Brengt men nu P en Q weer omhoog, totdat de opening van de capillair door kwik is afgesloten, en opent weer voorzichtig de kraan in IV, dan verspreidt het gas uit de capillair zich in den bol B en aangrenzende apparaten, terwijl de capillair zich weer vult met kwik. Deze bewerking herhaalt men, totdat het gas in de ontladingsbuis de gewenschte spanning heeft; deze wordt aangewezen

door een thermo-electrischen vacuummeter beschreven op blz. 29. Eventueel kan men het gas in den bol toelaten bij gesloten kranen I en II, teneinde het eerst te drogen, alvorens het in de spectraalbuis en de pomp over te brengen. Vervolgens pompt men den bol en de spectraalbuis weer leeg, laat nieuw gas in, pompt weer leeg, en herhaalt deze bewerking, totdat het spectrum volkomen zuiver is. De ontladingsbuis wordt tijdens de vulling in een luchtbad verhit tot ongeveer  $300^{\circ}$  om sporen van lucht van de wanden te doen loslaten; tijdens de geheele bewerking worden ontladingsdoorgezonden en wordt met den spectroscop het spectrum gecontroleerd. Zijn alle niet tot het gewenschte spectrum behorende lijnen verdwenen, dan wordt het gas op de gewenschte spanning gebracht. Indien dan bij afkoeling het spectrum zuiver gebleven is, wordt de buis afgesmolten.

Tot slot zij beschreven de wijze, waarop het vulgas in de buis Q werd gebracht.

Aangezien hierbij caoutchoucverbindingen wellicht aanleiding konden geven tot verontreiniging in het spectrum <sup>1)</sup> waren deze in de gasontwikkelingsapparaten zooveel mogelijk vermeden. Alleen bij het toestel ter bereiding van de waterstof waren twee sluitingen met caoutchoucstoppen moeilijk anders te maken. Bij het toestel, waarin het kooloxyd en de stikstof werden bereid, vormden de ontwikkelingskolf met zuiveringswaschflesschen één geheel van glas.

Dit, evenals het toestel voor de waterstofontwikkeling, eindigde in een slijpstuk, waarmee het verbonden kon worden met het apparaat, waarvan de buis Q een deel uitmaakt,

---

<sup>1)</sup> SCHUMANN zegt daaromtrent in zijne reeds vroeger aangehaalde verhandeling: «The connections of the apparatus for the evolution of the different gases with absorption tube would have been much easier manipulated if india rubber could have been used for them. But my experiments showed, that such tubing because of its exhalations, if for no other reason, may introduce such impurities into the tube as to render it not fit for use, giving the spectrum a totally different appearance.



en dat geschetst is op pl. II fig. 7. Het bestaat uit een kruis van glas, waarvan elke arm is voorzien van eene kraan. Is het gesteld in den geteekenden stand, dan draagt de naar boven wijzende arm eene schaal, waarin, als de teekening aangeeft, een slijpstuk. De bovenrand van dit slijpstuk is ongeveer gelijk met den bodem der schaal; het open einde der buis Q vormt de passende conus. De naar links en naar beneden uitstekende armen eindigen vrij; aan den laatste is een droogreservoir aangezet. De naar rechts wijzende arm eindigt in een conus, waarmede het toestel aan het gasontwikkelingstoestel verbonden wordt. Dit laatste is daartoe voorzien van het bij dezen conus behorende slijpstuk.

Zijn de genoemde toestellen aldus aan elkaar gezet, dan doet men de gasontwikkeling een aanvang nemen; het ontwikkelde gas drijft de lucht uit. Daartoe laat men het beurtelings door de naar boven, naar links, en naar beneden wijzende armen uitstroomen, opdat het geheele kruis zich vult met het gas. Is de ontwikkeling lang genoeg in gang geweest, zoodat aangenomen mag worden, dat het uitstroomende gas zuiver is <sup>1)</sup>, dan kan worden overgegaan tot vulling der buis Q. Daartoe werd eerst de schaal gevuld met kwik; vervolgens werd de buis Q geheel gevuld met zuivere kwik, en in het slijpstuk in de schaal gezet. Terwijl een krachtige gasstroom doorstroomde, werd de kraan in den bovenarm geopend; door een zacht tikje viel een weinig kwik naar beneden, en steeg eene gasbel op in de buis Q. De kraan werd dan weer gesloten, het kwik, gevallen op de kraan in den ondersten arm, werd afgetapt, eene nieuwe hoeveelheid gas in Q toegelaten, enz., totdat deze geheel met gas gevuld was. Daarna werd ze uit het slijpstuk gelicht en overgebracht naar het apparaat ter vulling van de spectraalbuis, waarbij zorg gedragen werd, dat de opening steeds onder het kwik bleef.

---

<sup>1)</sup> Het geheel apparaat werd meest van te voren gevuld met het te maken gas, op de wijze, beschreven op blz. 27. Tijdens de ontwikkeling werd het ontwikkelde gas weer opgevangen in den gashouder, en deze zodoende tevens opnieuw gevuld.

Bij de bereiding van CO en  $N_2$  was het droogreservoir feitelijk overbodig, daar het gas reeds gezuiverd en gedroogd door de waschvloeistoffen uit het apparaat kwam. Ten overvloede werd het aan de pomp nog in aanraking gelaten met  $P_2O_5$ , alvorens het in de spectraalbuis toe te laten.

Alleen bij de waterstof deed het droogreservoir dienst. Daar werd, daar de ontwikkeling langzamer ging, en de druk in het ontwikkelingstoestel gecontroleerd kon worden, daarbij het gas geene waschflesschen passeerde, het kruis eenige malen geëvacueerd, en daarna gevuld met waterstof uit het ontwikkelingstoestel. Was het gas lang genoeg met het  $P_2O_5$  in aanraking geweest, dan werd een weinig in de buis Q toegelaten. Daarna werd kwik afgetapt (de druk in het kruis moest hierbij natuurlijk grooter zijn dan de atmosfeerspanning, daar anders lucht instroomen zou), het kruis bijgevuld met waterstof, een nieuwe gasbel in de buis Q ingelaten, enz. tot Q ver genoeg gevuld was.

#### ELECTRISCHE OPSTELLING EN METHODE DER METINGEN.

Het principe, volgens hetwelk de metingen geschieden, is reeds vroeger aangegeven. Het gas, dat bestraald wordt door de stralen uit de spectraalbuis, bevindt zich tusschen twee condensatorplaten. De eene hiervan is geladen tot eene constante potentiaal; de andere is verbonden met een electrometer, waardoor de lading, die zij in een bepaalden tijd krijgt, en daarmee de stroomsterkte in het gas, gemeten kan worden.

Bij het onderzoek werd gebruikt een CREMER-EDELMANN-snaarelectrometer. In het midden tusschen twee vlakke zijplaten is een geleidend gemaakte kwartsdraad van ongeveer 3 mikra diameter uitgespannen. Wordt deze op eene constante potentiaal gehouden, verschillend van die der zijplaten, dan staat ze, wanneer de zijplaten tot gelijke potentiaal geladen zijn, juist in het midden tusschen beide. Bestaat echter een



potentiaalverschil tusschen de zijplaten, dan staat de snaar niet meer symmetrisch, doch wijkt uit naar die zijplaat, welker potentiaal het meest verschilt van die, waartoe de snaar geladen is. Door verandering van de spanning en de lading der snaar, benevens door verandering van den afstand der zijplaten, is de gevoeligheid binnen wijde grenzen regelbaar. Het instrument heeft met al dergelijke snaarinstrumenten de aangename eigenschap gemeen van onmiddellijke instelling, waardoor de snelste wisselingen der potentiaal direct gevolgd kunnen worden; verder is de capaciteit gering en verzekeren de barnsteenisoleringen <sup>1)</sup> steeds eene goede isolatie. Een nadeel van de kwartssnaar, waarvan men vrij is bij eene WOLLASTON-platinasnaar, is de verandering der gevoeligheid van den electrometer met de temperatuur van het werkvertrek, veroorzaakt door het verschil in uitzettingscoëfficiënt van de snaar en van de metaaldeelen van den electrometer. Bij stijging van de temperatuur neemt hierdoor de gevoeligheid af. Hier-teenover staat echter het voordeel der kwartssnaar om, zelfs bij de slapste spanning, na eene uitwijking altijd correct in den nulstand terug te keeren, wat bij eene metaalsnaar wel eens te wenschen over laat. Een mikroskoop met oculair-schaal stelt in staat de bewegingen der snaar te volgen, hetzij door directe aflezing, hetzij door projecteeren. Daar verder de ijkingskromme van het instrument niet lineair verloopt, wendt men bij het gebruik zoo mogelijk nulmethoden aan.

Van de condensatorplaten van het vroeger beschreven instrument wordt de eene (linker, zie de schematische teekening op pl. II, fig. 8) op eene constante potentiaal gehouden, wisselend van  $+$  tot  $-$  320, terwijl de ander (rechter) vast verbonden is met een der zijplaten van den electrometer. De linkerzijplaat is daartoe verbonden met een kwikpotje in een paraffineblok. Hieromheen, gelegen op den omtrek van een cirkel, waarvan het bedoelde contact

---

<sup>1)</sup> De ebonietisolatie der zijplaten waarmede het instrument door de firma EDELMANN wordt afgeleverd, werd vervangen door barnsteenisolatie.

het middelpunt vormt, zijn 10 kwikpotjes geboord. Buiten den cirkel bevindt er zich een, dat met de aarde verbonden is. Van de 10 potjes gaan geleiddraden naar de knoppen van eene accumulatorenbatterij. De verbindingen zijn zoodanig gemaakt, dat, als 1 door een sleuteltje met het o-potje wordt verbonden, 2, 3, 4—10 resp. op de potentialen — 20, — 40, — 80, enz. met 40 Volt opklimmend tot op — 320 Volt zijn geladen. Door het middenpotje te verbinden b.v. met 7, en 1 met 0, laadt men dus de linkercondensatorplaat op — 200 Volt; door het midden met 1, en 7 met 0 in contact te brengen, wordt de potentiaal der linkercondensatorplaat + 200 Volt. Op deze wijze is het dus mogelijk de condensatorplaat te laden op elke potentiaal tusschen de genoemde grenzen, opklimmend met 20 Volt. Tegen den messingdraad, die de rechterzijplaat verbindt met den electrometer, rust eene messingstaaf, geïsoleerd bevestigd aan het weekijzer stukje boven den electromagneet van eene gewone elektrische bel. Deze metalen pen is met de aarde verbonden, en wordt, door sluiten van den stroom in den electromagneet, van den verbindingsdraad, waartegen zij rust, afgelicht. Hierdoor wordt het systeem condensator + electrometer van nul geïsoleerd, waarna het zich, wanneer het gas tusschen de condensatorplaten geïoniseerd is, begint te laden.

Van den electrometer zijn de niet met den condensator verbonden zijplaat en de snaar verbonden met de kwikpotten III en VI van een paraffineblok met 7 kwikpotten, in de figuur genummerd van I tot VII. De middelste, I, is aarde <sup>1)</sup>; II en V en IV en VII kunnen gezamenlijk verbonden worden resp. met het negatieve en positieve einde van eene batterij van 100 WESTON-elementen. Stelt men eene met de aarde verbonden stop in het contact der G batterij, dan zijn dus IV en VII van het paraffineblok op  $+60 \times 1,0183$  Volt, en II en V op  $-40 \times 1,0183$  Volt

<sup>1)</sup> De plaatsing is zoo geregeld, dat III en IV ook beide met I verbonden kunnen worden ter controleering van den nulstand.



geladen. Door laksleutels, behoorend bij het paraffineblok, kan men nu door verbinding te maken van VI met V en III met IV, de snaar op  $-40 \times 1,0183$ , de zijplaat op  $+60 \times 1,0183$  Volt laden; door VI met VII en III met II te verbinden, en het nulcontact in de batterij op het contact E te stellen, laadt men de snaar op  $+40 \times 1,0183$  en de zijplaat op  $-60 \times 1,0183$  Volt. De uitwijking blijft dan even groot, en aan dezelfde zijde van de nul der schaal.

Voor werken met potentialen onder 10 Volt werd gebruikt eene kleine batterij met 10 WESTON-elementen. Verbindt men het negatieve einde daarvan met het gelijknamige einde der groote batterij gezamenlijk met de aarde, en verbindt men verder II bv. met het 6<sup>de</sup> contact der kleine batterij, en VII met het positieve einde der groote (eventueel met het positieve einde eener accumulatorenbatterij achter de WESTON-elementen geschakeld), dan laadt men door de verbindingen III met II en VI met VII resp. de rechterzijplaat op  $+5$  Volt en de snaar op  $101.83 (+n)$  Volt. (Voor negatieve lading der rechterzijplaat zet men eenvoudig de kleine batterij om, en verbindt het positieve einde met het negatieve einde der groote batterij gezamenlijk met de aarde. De snaar wijkt dan uit naar de andere zijde van de nul der schaal). De aflezing geschiedde door projectie. Het beeld der snaar en van de oculairschaal van het afleesmikroskoop werd ontworpen op een scherm, en aldus de beweging van de snaar gevolgd. Voor de belichting diende eene kleine booglamp.

Zijn nu de schakelingen gemaakt als boven beschreven, zijn dus de snaar en de rechterzijplaat geladen tot potentialen  $V'$  en  $V$ , dan staat het beeld der snaar niet op de nul der schaal, zoolang de potentiaal der linkerzijplaat van  $V$  verschilt. Laadt men nu de linkercondensatorplaat tot eene potentiaal, gelijknamig met  $V$ , dan zal, wanneer ontladingen door de ontladingbuis gaan, de rechtercondensatorplaat beginnen zich te laden op het oogenblik, waarop zij geïsoleerd wordt.

De snaar zet zich in beweging in de richting van de nul der schaal, en passeert deze, als de potentiaal der linker-

electrometerplaat + rechtercondensatorplaat de waarde  $V$  bereikt heeft. Deze tijd wordt met een arrêterhorloge opgenomen, en geeft eene maat voor het geleidingsvermogen van het gas in de condensatorruimte. Het potentiaalverschil tusschen de condensatorplaten moet steeds zoodanig gekozen worden, dat in het gas verzadigingsstroom heerscht. De waarde van de potentiaal wordt hiernaar geregeld.

De capaciteit van het systeem condensatorplaat + electrometer bedroeg 18 c.M. Eene ladingssnelheid van 1 Volt per sec. kwam dus overeen met een stroom van  $20 \times 10^{-12}$  Amp. in de condensatorkamer.

---



### HOOFDSTUK III.

#### Beschrijving van het onderzoek.

---

##### LEIDENDE GEDACHTEN.

In het eerste hoofdstuk werd reeds met enkele woorden besproken, dat tot nu toe niet met zekerheid te zeggen valt, hoe we ons de werking der ethertrillingen op de moleculen der stof, die het afsplitsen van electronen uit de moleculen ten gevolge hebben, moeten voorstellen. De weg, volgens welken een experimenteel onderzoek geleid zal kunnen worden, ten einde licht in deze zaak te verkrijgen, is eveneens aldaar aangegeven.

Indien namelijk, wanneer we ons beperken tot het ioniseeren van gassen, de splitsing van gasmoleculen in positieve en negatieve ionen berust op een resonantieverschijnsel van trillingen van electronen in het gasmolecuul, dan is het te verwachten, dat de stralen, uitgezonden door een bepaald gas in lichtenden toestand, aan datzelfde gas een grooter geleidingsvermogen zullen geven dan aan eenig ander gas. Worden dus als bronnen voor de werkzame stralen gebruikt ontladingsbuizen, gevuld met verschillende gassen, en wordt de ionisatie onderzocht, door de bestraling teweeggebracht in dezelfde gassen, dan zullen deze, naar het gemeten effect, in eene bepaalde volgorde te stellen zijn, welke volgorde zal afhangen van de gebruikte stralingsbron. Het zal te verwachten zijn, dat steeds hetzelfde gas, als hetwelk de ontladingsbuis vult, in sterker mate den invloed der ioniseerende stralen zal ondervinden dan een der andere gassen.

Doch ook wanneer het absorbeerend vermogen der verschillende gassen voor ioniseerende stralen wordt onderzocht, zullen selectieve effecten te voorschijn kunnen komen. Ionisatie zal toch steeds gepaard moeten gaan met absorptie der ioniseerende stralen. Indien dus een bepaald gas door de

stralen, die het in lichtenden toestand in de GEISSLER'sche buis uitzendt, sterker wordt geïoniseerd dan eenig ander gas, dan zal het absorbeërend vermogen van datzelfde gas voor deze stralen verschillen van dat voor het licht, door andere ontladingsbuizen uitgezonden.

Indien derhalve de condensatorkamer gevuld wordt met hetzelfde gas, dat zich in de ontladingsbuis bevindt, dan zal, wanneer achtereenvolgens verschillende gassen in de absorptiekamer toegelaten worden, waaronder ook datgene, dat ontladingsbuis en ionisatieruimte vult, de absorptie het sterkst bevonden worden, indien alle drie de afdeelingen van het onderzoektoestel dezelfde gassoort bevatten; echter zal, bij vulling der absorptiekamer met een der andere gassen, dit zich, wat betreft zijn absorbeërend vermogen voor de ioniseerende stralen, in dit geval neutraal betoonen. Verder zal steeds, onverschillig of het gas in de ontladingsbuis en de ionisatiekamer hetzelfde is of niet, wanneer het gas in de absorptiekamer verschilt van dat in de ionisatiekamer, het gas in de eerstgenoemde kamer zich indifferent betoonen ten opzichte van de, in het betreffend geval ioniseerende stralen. Alleen wanneer hetzelfde gas de absorptie- en ionisatiekamer vult, zullen we bijzonderheden in de absorptie kunnen verwachten.

Bovenstaande redeneering geldt echter alleen voor het geval, dat de absorptie een gevolg is van de teweeggebrachte ionisatie. Veroorzaken de ioniseerende stralen chemische omzettingen in het gas, of verwarming, dan zal eene sterke absorptie geenszins voorwaarde voor eene sterke ionisatie behoeven te zijn.

---

#### PROGRAM DER WAARNEMINGEN.

Met bovenstaande overwegingen moet rekening gehouden worden bij het opstellen van een program der waarnemingen, die zullen moeten uitmaken, of de te verwachten selectieve effecten zich al of niet voordoen.

Bepaling van de grootte van het ioniseerend effect van



de straling van enkele gassen op dezelfde gassen, onder geheel dezelfde omstandigheden in de absorbeerende gaslagen tusschen stralingsbron en bestraald gas zou op zichzelf voldoende zijn ter beantwoording der gestelde vraag, althans wat betreft de ionisatie; bij de rangschikking der waarnemingen moet dan zorg gedragen worden, dat alle combinaties tusschen de stralende gassen en onderzochte gassen in de lijst der te verrichten waarnemingen voorkomen. Interresant zal het echter zijn, het onderzoek ook uit te breiden tot absorptiewaarnemingen, daar, bij het onderzoek naar de absorptie der gassen, waarin ionisatie van het gas de eenige oorzaak der absorptie is, eveneens selectieve verschijnselen te voorschijn moeten komen, wanneer deze bij het effect gevonden zijn. Het aantal waarnemingen zal dan door het grooter aantal mogelijke combinaties tusschen stralend gas, absorbeerend gas en geïoniseerd wordend gas natuurlijk belangrijk toenemen.

#### KEUZE DER ONDERZOEKGASSEN.

Voor gassen, die bij langdurig doorgaan der ontladingen in de spectraalbuis geen verandering ondergaan, is bovengenoemde uitbreiding van het aantal te verrichten waarnemingen geen bezwaar. Immers eene voorwaarde voor vergelijkbare resultaten is in de eerste plaats, dat de toestand der stralingsbron tijdens de waarnemingen niet verandert. Doordat echter slechts een gering aantal gassen aan dezen eisch voldoet, is de keuze der gassen, waarmee een onderzoek als het bovenbedoelde mogelijk is, beperkt. Onder invloed der ontladingen toch gaan sommige enkelvoudige gassen ( $O_2$  <sup>1)</sup>,  $Cl_2$  <sup>2)</sup>) verbindingen aan met het metaal der electroden. Samengestelde gassen splitsen zich in hunne componenten <sup>2)</sup>. Voor zoover deze componenten vaste stoffen zijn, zetten ze zich als een beslag tegen de wanden der buis af, terwijl het

<sup>1)</sup> PLÜCKER, Pogg. Ann. **104**, 126, 1858.

<sup>2)</sup> H. KAYSER, Handbuch der Spectroscopie, Band. V.

gasvormig bestanddeel, als het de eigenschap, heeft zich met het metaal der electroden te verbinden, in dien vorm uit de buis verdwijnt. Er ontstaat dus eene zelfevacueering, die de buis na korten tijd voor verder onderzoek ongeschikt maakt, en die eene oorzaak is, dat de waarnemingen moeilijk onderling vergelijkbaar zijn, tenzij ze onmiddellijk na elkaar worden gedaan.

Aangezien dit verschijnsel zich niet voordoet bij waterstof en stikstof, werden deze beide gasen voor het onderzoek gekozen, benevens kooloxyd. In dit laatste gas is weliswaar storing door zelfevacueering te verwachten; door bijzondere maatregelen werd echter getracht den invloed hiervan zoo gering mogelijk te maken.

Het effect werd gemeten op dezelfde drie gasen, benevens op lucht en zuurstof. Tevens werd de absorptie der vijf gasen bestudeerd. Alleen de waterstofbuis gaf bij langdurig gebruik genoegzaam constante resultaten, om de waarde van het effect door de verschillende gasen als absorbeerende media te kunnen bestudeeren, en tevens de absorptie onder veranderende omstandigheden in de ionisatiekamer te kunnen bepalen. Bij de stikstofbuis was het effect zeer gering, terwijl in de kooloxydbuis bij de beoordeeling der resultaten rekening gehouden moet worden met de zelfevacueering.

Aan den anderen kant echter heeft de zelfevacueering der kooloxydbuis de aandacht gevestigd op eene bijzondere werking, die schijnt uit te gaan van het directe kathodelicht. Toen bij het leeger worden der buis, het licht om de kathode zich meer en meer uitbreidde, veranderde het geheele karakter, zoowel van de waargenomen ionisatie, als van de absorptie. De beschrijving dezer verschijnselen zij tot later uitgesteld.

#### FOUTENBRONNEN.

Bij de voorloopige onderzoeken deden zich enkele moeilijkheden voor, die door veranderingen in de opstelling en in de inrichting der gebruikte toestellen, grootendeels konden worden overwonnen. Zeer moeilijk bleek het echter



de oorzaak van somtijds plotseling zich voordoende, soms geleidelijk verloopende veranderingen in de ontladingsbuis, zich uitend in veranderingen in het ioniseerend effect, op te sporen en met daaruit voortvloeiende storingen rekening te houden.

Het effect bleek in het algemeen evenredig met de stroomsterkte in de ontladingsbuis te veranderen; deze werd daarom geregeld gecontroleerd. Daar echter veranderingen voorkwamen, waarvan de oorsprong niet eenvoudig uit toe- of afname der stroomsterkte in de buis te verklaren was, werd bij de laatste waarnemingen ook de spanning aan de elektroden nagegaan, en de invloed der zelfevacueering bestudeerd door middel van een aangesmolten thermo-electrischen vacuummeter aan de ontladingsbuis. Om de fouten tengevolge van het laatste verschijnsel zooveel mogelijk te beperken, werd de buis voorzien van een reservoir van 10 maal den inhoud der ontladingsbuis zelve. Werd eene daling der gasspanning merkbaar aan vermindering der stroomsterkte, of aan veranderingen in de sterkte van den thermostroom van den vacuummeter op de buis, dan werd getracht deze verandering te compenseeren door, door verwarmen van het gas in het reservoir, den gasdruk in de buis weer te doen stijgen. Eene koperen buis, passend om het reservoir, en omwonden met eene verwarmingsspiraal, gaf hiertoe gelegenheid.

Van waarnemingen om uit te maken, in hoeverre het ioniseerend vermogen der straling afhangt van de gasspanning in de ontladingsbuis, vinden we alleen melding gemaakt in het laatste artikel van PALMER <sup>1)</sup>. Volgens hem bedraagt de gunstigste spanning in de ontladingsbuis voor waterstof 1 m.M.; indien de druk in de ontladingsbuis van lager waarden stijgt tot 1 m.M., neemt het effect snel toe, om vervolgens langzaam af te nemen, indien de druk verder toeneemt van 1 tot 10 m.M. <sup>2)</sup>

---

<sup>1)</sup> Phys. Review 14, 1, 1911.

<sup>2)</sup> Deze aanwijzingen kwamen ons echter eerst in handen, toen het experimenteele deel van het onderzoek was geëindigd.

De onder beschreven waarnemingen bevestigen het bovenstaande. Kleine veranderingen in de gasspanning bij een gasdruk van omstreeks 1 m.M. bleken werkelijk grooten invloed op het bedrag van het effect te hebben. Wanneer de ontladingsbuis om eene of andere reden na eene reeks waarnemingen moet worden geopend en opnieuw gevuld, is het daarom slechts dan te verwachten, dat herhaling derzelfde waarnemingen tot hetzelfde quantitatieve resultaat zal leiden, indien de gasspanning nauwkeurig weer dezelfde waarde heeft. De onderlinge verhouding der quantitatieve uitkomsten zal echter niet mogen veranderen. Aangezien de thermo-electrische vacuummeter bij vulling met waterstof eerst gevoelig wordt bij vacuum lager dan 1 m.M., was het moeilijk, bij opnieuw vullen van eene buis, juist dezelfde spanning hierin weer te herstellen.

Verder is het niet gemakkelijk te beoordeelen, in hoeverre verontreinigingen in de spectraalbuis invloed zullen hebben op de intensiteit der uitgezonden straling. Zoo gelukte het bij de laatste waterstofvullingen niet, de groene kwiklijn uit het spectrum weg te krijgen. Bij evacueeren tot hoogvacuum tijdens de vulling bleven, als van het waterstofspectrum alleen nog slechts  $H_{\alpha}$  en  $H_{\beta}$  overgebleven waren, steeds de kwiklijnen in den spectroscop zichtbaar. Kleine hoeveelheden kwikdamp of zuurstof hebben grooten invloed op de intensiteit van het zichtbare waterstofspectrum <sup>1)</sup>. Hoewel de onderstellingen, waarvan bij het verrichte onderzoek werd uitgegaan, doen vermoeden, dat de straling der kwiklijnen in de onderzochte gassen weinig ionisatie zal teweegbrengen, kan de aanwezigheid van kwikdamp op het waargenomen effect toch een grooten invloed gehad hebben, wanneer de intensiteitsverzwakking, die ze met zich brengt, zich ook, en wellicht in versterkte mate, doet gevoelen in het ultraviolet.

Van veel belang bleek het verder, dat de stroomsterkte in de ontladingsbuis constant bleef. Onregelmatigheden in

<sup>1)</sup> P. LEWIS, WIED. Ann. 69, 308, 1899.



de stroomsterkte deden onmiddellijk hun invloed gevoelen op het waargenomen effect. Eerst nadat bij het vooronderzoek de mechanische interruptor van het inductorium vervangen was door den stemvorkinterruptor met waterspoeling, beschreven op blz. 23, werd het mogelijk nauwkeurige en betrouwbare waarnemingen te doen. Werde eenzelfde waarneming eenige malen direct na elkaar herhaald, dan verschilden de uiterste waarden zelden meer dan 3 % van het gemiddelde. Hoe regelmatiger de stemvork trilde, hoe constanter het effect.

Om nauwkeurige resultaten te verkrijgen was het verder noodig de ontladingen tijdens de waarnemingsreeksen voortdurend te laten doorgaan. De eerste oogenblikken na sluiting was de stroom in de buis het sterkst, daarna daalde hij tot eene constante waarde. Kleine schommelingen waren met verstellen van het kwikcontact van den interruptor gemakkelijk bij te regelen. Bij herhaling van eenzelfde waarnemingsreeks, bijv. van eene bepaling van het verloop van het effect, of van de absorptie, bij afname der spanning in het onderzochte gas, eenige malen achtereen, lagen de controlewaarnemingen steeds voldoende nauwkeurig op de kromme lijn, die in de graphische voorstelling de resultaten van de waarnemingsreeksen aangaf.

In het effect waren verder langzaam verloopende veranderingen waar te nemen. De meest betrouwbare waarnemingen werden gedaan, als de buis eenige uren in werking geweest was. In de eerste gebruiksuren steeg bij de waterstofbuizen de electrodenspanning, bij constant gehouden stroomsterkte, langzaam tot eene waarde ongeveer 50 % boven de beginwaarde; deze stijging der spanning ging niet alijd gepaard met eene stijging van het effect. Vervolgens bleef de spanning langen tijd constant. In dit stadium werden de best vergelijkbare waarnemingen verricht.

Herhaalde controlewaarnemingen waren steeds noodig om het bedrag der langzaam verloopende veranderingen vast te stellen, ten einde hiermee rekening te kunnen houden bij de beoordeeling der uitkomsten.

Dezelfde veranderingen deden zich ook voor bij de stikstof- en kooloxydbuizen. Bij de eerste vertoonde zich eene langzame afname der stroomsterkte en eene daarmee gepaard gaande vermindering van het effect; bij de tweede deed zich hetzelfde verschijnsel voor, dat hier echter samen gaat met de vermindering van den gasdruk in de buis door zelfevacueering.

Laatstgenoemd verschijnsel werd niet waargenomen in de waterstofbuizen. In de laatstgebruikte waterstofbuis met vacuummeter was na 12 tot 15 gebruiksuren geen merkbare verandering der gasspanning te constateeren.<sup>1)</sup> De eenige stikstofbuis, waarmede gewerkt is, was niet van een vacuummeter voorzien. Toch duidde eene langzame uitbreiding van het kathodelicht en eene verzwakking der stroomsterkte op veranderingen in de buis. Bij kooloxyd gaf de aanwijzing van den vacuummeter zichtbaar de langzame daling der gasspanning aan. Na, naar schatting, 15 gebruiksuren was de gasdruk van 1 m.M. afgenomen tot 0,25 m.M.

Dat in de waterstofbuizen toch veranderingen plaats vinden, bewees de laatstgebruikte buis zonder reservoir. De gasspanning bedroeg bij dichtsmelten ongeveer 1,5 m.M. Na circa 8 gebruiksuren begon kathodeverstuiving zichtbaar te worden; na 2 uur verder gebruik was de glaswand om de kathode met een ondoorzichtigen metaalspiegel bedekt.

Een laatste verschijnsel, waarop tenslotte de aandacht dient gevestigd, en dat mede tot verkeerde beoordeeling der resultaten aanleiding zou kunnen geven, zijn aanslagen op, of veranderingen in de vloeispaatplaatjes. Het vloeispaatvenster, dat de waterstofbuizen afsloot, en dat reeds bij de voorloopige waarnemingen dienst gedaan had, was op den, naar de binnenzijde der ontladingsbuis gekeerden

<sup>1)</sup> Hierbij dient echter vermeld, dat de vacuummeter, die bij ongeveer 1 m.M. spanning in waterstof het gevoeligst was, bij het aansmelten stukging. De andere vacuummeter, die toen opgezet moest worden, stelde, bij de gegeven omstandigheden niet in staat spanningsveranderingen kleiner dan 5% met zekerheid aan te wijzen.



kant, blauw geworden en vertoonde een sterk blauw gekleurd vlekje, juist onder de capillair. De kitranden (bij meer dan eene buis had het plaatje dienst gedaan) teekenden zich duidelijk af als grenzen der verkleuring. Daar polijsten de blauwe kleur niet deed verdwijnen, hebben we hier dus niet met een beslag, doch met eene oppervlakteverandering van het vloeispaat te maken. Bij doorvallend licht was het plaatje helder, bij opvallend licht fluoresceerde het blauw.

Na eene langdurige serie waarnemingen met eene waterstofbuis in het glazen apparaat (pl. I fig. 1) vertoonde zich verder bij hetzelfde plaatje een eigenaardig beslag op de buitenzijde van het venster. Bij reflex was een scherpe rand zichtbaar, die juist de geometrische schaduw van den kitrand volgde. Door oppoetsen verdween deze rand. PALMER maakt in zijn laatste publicatie melding van soortgelijke aanslagen.

Het sluitvenster der stikstofbuis was geheel onveranderd gebleven; het onderzoek hiermede had trouwens weinig langer dan 6 tot 8 uur geduurd. Op dat der kooloxydbuis had zich aan den binnenkant een dun, bruin beslag gevormd, dat zich gemakkelijk door oppoetsen liet verwijderen <sup>1)</sup>.

#### VOORLOOPIGE WAARNEMINGEN.

Het vooronderzoek werd verricht met het toestel beschreven op blz. 24 en geschetst op pl. I fig. 2. Nadat met een toestel van den daar geteekenden vorm met kwartslens en een kwartsplaatje als sluitvenster der ontladingsbuis, het bestaan van het ioniseerend effect op lucht was aangetoond, en geconstateerd, dat het toenam bij afname der drukking in de onderzochte lucht, werd overgegaan tot het maken van een tweede, dergelijk apparaat, waarin eene vloeispaatlens en een vloeispaatvenster de plaats van de kwartslens en het kwartsvenster innamen.

Met dit laatste toestel zijn weinig betrouwbare resultaten

<sup>1)</sup> Ook de capillair der CO-buis bedekte zich met een zichtbaar zwaarder wordend bruin beslag.

bereikt. Toch zijn de waarnemingen, ermee verricht, niet zonder waarde geweest voor het vervolg van het onderzoek.

Bestudeerd werd alleen het effect teweeggebracht door waterstofstraling. Bij de eerste vullingen der spectraalbuis lukte het niet een waterstofspectrum te krijgen, vrij van vreemde lijnen. Steeds bleven de koolstofbanden en de kwiklijnen als verontreinigingen in het spectrum bestaan. Eerst bij de derde vulling, volgens de in het vorige hoofdstuk beschreven methode, werd een werkelijk zuiver waterstofspectrum verkregen. De gasspanning bij het afsmelten was niet nauwkeurig bekend, doch zal naar schatting ongeveer 2 m.M. geweest zijn.

Vele onvolmaaktheden der opstelling zijn bij deze waarnemingen aan het licht gekomen; vele ervaringen werden opgedaan aangaande te vermijden fouten. Het toestel werd tenslotte vervangen door het glazen apparaat (pl. I fig. 1), omdat de leeren flenzen geen blijvende sluiting van de absorptiekamer waarborgden. Aangezien bleek, dat kleine lekken grooten invloed hadden op de uitkomsten der waarnemingen, werd het noodig geoordeeld, de opstelling zoo in te richten, dat de druk in de beide ruimten tot de geringste spanningswaarden nauwkeurig te controleeren zou zijn. De waarnemingen met het nieuwe toestel, die aantoonen, dat de absorptie van lucht merkbaar wordt bij spanning van 0,5 m.M., en sterk toeneemt als de druk stijgt boven 1 m.M., bewezen, dat, zonder eene gegarandeerd goede sluiting der absorptieruimte, geene vergelijkbare waarnemingen mogelijk zijn.

Daar gemeend werd, dat de oorzaak van zich voordoende onregelmatigheden mede te zoeken kon zijn in de ontladingsbuis, werd deze bij het vooronderzoek met het toestel met de vloeispaatlens tweemaal opnieuw gevuld. Alleen na de laatste vulling, als reeds boven is meegedeeld, was het spectrum werkelijk zuiver. Het effect betoonde zich bij de tweede vulling het sterkst; ook was de stroomsterkte in de buis ditmaal grooter dan bij de laatste vulling <sup>1)</sup>. Hieruit

<sup>1)</sup> Bij de waarnemingen met de eerste vulling werd de stroomsterkte niet gecontroleerd.



kan worden opgemaakt, dat bij de tweede vulling de gasdruk waarschijnlijk grooter geweest is, dan de beide andere keeren.

Het onderzoek bepaalde zich tot het meten van het effect op lucht en waterstof van atmosfeerspanning; verder werd het verloop van het effect bij afname der spanning der onderzochte lucht bestudeerd, en de grootte der absorptie van lucht nagegaan bij verschillende spanningen. Tevens werd de geringe absorptie van waterstof van atmosfeerdruk geconstateerd. Alleen op het laatst kwam het tot een vergelijkend onderzoek naar het effect op zuurstof, stikstof, waterstof en kooloxyd. Aangezien we hier met werkelijk zuivere waterstofstraling te maken hebben, zijn alleen deze waarnemingen van het vooronderzoek van waarde in verband met de resultaten van de later mede te deelen onderzoekingen. Dank zij de vervanging van den gewonen interruptor van het inductorium door den stemvorkinterruptor, was de nauwkeurigheid, bij deze waarnemingen bereikt, gelijk aan die, bij de later verrichtte. De absorptiekamer was verbonden met de Gaedepomp; deze werd tijdens de waarnemingreksen, door een motor blijvend in werking gehouden. In de ionisatiekamer werd de druk verlaagd met de Gerykpomp; de laagste drukking, waarbij metingen van het effect werden gedaan, bedroeg 2 m.M.

Het resultaat van deze waarnemingen was, dat in de ionisatie van waterstof, stikstof en kooloxyd weinig verschil was te bespeuren. Het effect was van dezelfde orde, en nam langzaam en geleidelijk toe, indien de druk werd verlaagd van atmosfeerspanning tot 2 m.M. De toename was in waterstof geringer dan in de beide andere gassen; bij hooger waarden van den druk werd de waterstof sterker, bij lagere minder sterk geïoniseerd. De zuurstof gedroeg zich echter geheel anders. Het effect op dit gas, was, vergeleken met dat op de andere gassen bij atmosfeerspanning zeer gering (0,1 %), terwijl het met afname van den gasdruk veel sneller toenam. Bij 2 m.M. verschilde de ionisatie in zuurstof, wat orde van grootte betreft, niet meer van die, teweeggebracht in waterstof, stikstof en kooloxyd.



Verschillende waarnemingsreeksen gaven overigens te zeer verschillende uitkomsten, dan dat ze als quantitatief betrouwbaar kunnen worden geboekt. In hoeverre absorptie in de absorptiekamer hieraan schuld heeft, is moeilijk uit te maken. De toename van het effect met afname van den gasdruk in de ionisatiekamer bleek echter telkens op dezelfde wijze te verlopen. De grootte van de gemeten stroomsterkte in den condensator bedroeg bij waterstofvulling  $100 \times 10^{-12}$  Amp. bij 700 m.M., tot  $300 \times 10^{-12}$  Amp. bij 3 m.M.

#### DEFINITIEVE RESULTATEN.

Het vooronderzoek had geleerd, aan welke eischen het toestel voor de waarnemingen in de eerste plaats moest voldoen. Daar bij de vroegere proeven ter bepaling van het bedrag van het effect en van de absorptie in lucht gebleken was, hoe groote veranderingen beide ondergaan bij geringe veranderingen van den gasdruk, en wel voornamelijk bij zeer lage spanningen, was zekerheid omtrent goede sluiting der beide kamers een allereerste vereischte. Tevens moest de gasdruk steeds tot het hoogst bereikbare vacuum zuiver te controleeren en gemakkelijk te bepalen zijn. De thermoelectrische vacuummeter bleek hiervoor een ideaal hulpmiddel.

De uitkomsten met het glazen apparaat (pl. I fig. 1) zijn, wegens de gewijzigde omstandigheden, a priori kleiner te verwachten dan die met het vorige toestel verkregen. Terwijl bij het koperen toestel door de vlakke condensatorplaten het electrisch veld in de geheele bestraalde ruimte homogeen was, was dit in de ionisatiekamer van het apparaat glazen niet het geval. Door den gebogen vorm der elektroden dringen de krachtlijnen zich hier meer samen aan de randen der platen, en zal dus het veld tusschen de randen het sterkst zijn. Ook is de hoeveelheid werkzame straling, die in de ionisatiekamer kan doordringen, geringer. Bij het koperen toestel zijn de afmetingen van het mica-diafragma ten opzichte van die van de vloeispaatlens zoodanig, dat  $\frac{1}{8}$  van het licht, opgevangen door de lens, toegelaten wordt in de condensatorkamer. Daar de oppervlakte van de



lens zich verhoudt tot de grootte van het vloeispaatvenster, waardoor het licht in de condensatorkamer van het glazen apparaat wordt toegelaten, als 25 tot 1, komt dus bij het nieuwe toestel 3 maal minder licht in de ionisatiekamer dan bij het oude. Daar verder de ionen eene veel dikkere <sup>1)</sup> gaslaag te doordringen hebben, alvorens de condensatorplaten te bereiken, zullen door recombinate meer ionen verloren gaan, en dus minder hunne lading aan de condensatorplaten afgeven. Vooral bij sterk absorbeerende gassen, wanneer de ionisatie bij hooger spanningen beperkt blijft tot de gaslagen onmiddellijk achter het vloeispaatvenster, zullen genoemde invloeden zich sterk op het effect doen gelden.

Het vermoeden, dat de waargenomen effecten met het nieuwe toestel kleiner zouden zijn, werd in werkelijkheid bevestigd gevonden. De maximaal gemeten stroomsterkten in de condensatorkamer van het nieuwe toestel bij waterstofstraling, onder gelijke omstandigheden wat betreft de vulling van absorptie- en ionisatiekamer als in het vorige apparaat, bedroegen 10 tot  $20 \times 10^{-12}$  Amp., dus slechts 10 % van het vroeger gevonden effect. Of echter de omstandigheden ook in de ontladingsbuis, die bij de laatstbedoelde waarnemingen als stralingsbron dienst deed, volkomen dezelfde waren, namelijk, of de gasspanning daarin dezelfde waarde had, en in hoeverre een mogelijk verschil hierin de oorzaak van de kleinere uitkomsten kan zijn, is moeilijk uit te maken. Helaas paste de laatstgebruikte waterstofbuis van het vorige toestel niet in het nieuwe.

Enkele eigenaardigheden, die zich bij het oude toestel hadden voorgedaan, werden bij het nieuwe teruggevonden. Zoo bleek ook hier het effect verschillend naarmate de linkercondensatorplaat <sup>2)</sup> op positieve of negatieve potentiaal

<sup>1)</sup> Gemiddeld 3 à 4 maal zoo dik.

<sup>2)</sup> Wanneer in het vervolg gesproken wordt, van linker- en rechtercondensatorplaat, of linker- of rechterzijplaat van den electrometer, hebben deze aanduidingen betrekking op de schematische teekening pl. II fig. 8. De rechtercondensatorplaat, verbonden met de linkerzijplaat van den electrometer, is dus het systeem, dat zich laadt, indien het gas een geleidingsvermogen krijgt onder invloed der bestraling.



werd gehouden. In het laatste geval was het effect geringer. De verhouding was bij beide toestellen ongeveer gelijk; ze wisselde tusschen  $\frac{2}{3}$  en  $\frac{3}{4}$  en bleek niet te verschillen voor de vijf onderzoeksgassen. Indien de rechterplaat werd geïsoleerd, terwijl de linker op potentiaal nul werd gehouden, verkreeg zij geene lading, noch positieve, noch negatieve, wat bewijst, dat lichtelectricisch effect slechts een geringen invloed kan hebben gehad.

In het nieuwe toestel werd verder opgemerkt, dat het effect in de condensatorkamer eenigszins afhankelijk was van de stroomrichting in de ontladingsbuis. De gemeten ionisatie bleek grooter wanneer de electrode in de buis, die de capillair omvatte, kathode was <sup>1)</sup>, doch zelden meer dan omstreeks 10 %. Bij omgekeerde stroomrichting echter bleek het effect in het algemeen constanter.

De volgende bladzijden bevatten eene beschrijving van de resultaten bereikt met een onderzoek naar de ionisatie, teweeggebracht door de straling van twee waterstofbuizen, gevuld bij verschillende spanningen; verder van eene stikstofbuis en van twee kooloxydbuizen. Met de waterstofbuizen en de laatstgebruikte kooloxydbuis werd ook de absorptie der verschillende onderzoeksgassen bestudeerd. De omstandigheden in de ionisatiekamer waren, bij de absorptiewaarnemingen met de laatstgebruikte waterstof- en kooloxydbuis, dezelfde; hierin was lucht van zeer geringe spanning. Bij de effectwaarnemingen met de tweede waterstofbuis <sup>2)</sup>, de kooloxydbuis en de stikstofbuis werden de omstandigheden in de absorptiekamer gelijk gehouden. Hierin was meest lucht van zeer lage spanning (beneden 0,01 m.M.). Indien

<sup>1)</sup> Daar het toestel steeds werd gebruikt in den stand, waarin het is geteekend op pl. I fig. 1 en 4, zal voortaan over de bovengenoemde electrode worden gesproken als «onderste» electrode. Bovenbeschreven stroomrichting in de ontladingsbuis, zal verder om lange omschrijvingen te vermijden, worden aangeduid met «kathode onder», in tegenstelling met «kathode boven».

<sup>2)</sup> Wanneer in het vervolg de term «eerste» of «tweede» waterstofbuis herhaald zal worden, zal met de «eerste» steeds bedoeld zijn, die, waarin de gasdruk het hoogst, namelijk 1,2 m.M. was. In de «tweede» bedroeg de gasdruk 1 m.M.



echter, zooals een enkele maal voorkwam bij effectbepalingen na absorptiewaarnemingen, zich andere gassen in de absorptiekamer bevonden werd de spanning hierin zoo laag gemaakt, dat de werkzame stralen niet geabsorbeerd werden. De waarnemingen waren in hoofdzaak gericht op het opsporen van selectieve effecten, in de ionisatie zoowel als in de absorptie. Met de eerste waterstofbuis is eene lange reeks waarnemingen gedaan. Effect- en absorptiebepalingen, bij zooveel mogelijk verschillende combinaties tusschen de gassen in ionisatie- en absorptiekamer werden verricht, ten einde wellicht ook op die wijze het eventueel bestaan van selectieve effecten te kunnen aantonen.

Tevens werd ernaar gestreefd langs dezen weg een mogelijk verband tusschen ionisatie en absorptie te vinden.

---

#### METINGEN VAN DE TEWEEGGEBRACHTTE IONISATIE.

De verwachting, dat het onderzoek selectieve effecten in de ionisatie van gassen zou aantonen, is niet uitgekomen. Zoowel bij de waterstofstraling, als bij de stikstof- en kooloxydstraling werd eene afhankelijkheid van het effect van den gasdruk gevonden, terwijl de onderlinge verhouding van het effect op de verschillende gassen eveneens met den gasdruk veranderlijk bleek. De grootte van deze onderlinge verhouding onder verschillende omstandigheden is gegeven in de bijgevoegde tabel <sup>1)</sup>.

Deze geeft aan, dat bij hooger waarden van den gasdruk de waterstof in alle gevallen het sterkst wordt geïoniseerd, vervolgens kooloxyd, stikstof, lucht, zuurstof. Bij daling van de spanning in het onderzochte gas verandert de verhouding. Wat betreft het toenemen van het effect in elk der gassen bij afname der spanning kan worden opgemerkt, dat de lijn, die in de graphische voorstelling het verloop der genoemde verandering aangeeft, bij alle gassen een, bij hooger drukwaarden langzaam, bij lagere in steilheid toenemend, stijgend verloop heeft. Bij zeer lagen gasdruk heeft eene kleine

---

<sup>1)</sup> Bladz. 58.

afname van den druk eene groote verandering in het effect tengevolge.

Bij alle waarnemingen moet echter zooveel mogelijk zorg gedragen worden, dat de sterkte van het electrisch veld tusschen de condensatorplaten steeds zoodanig blijft, dat de gemeten stroomsterkte in de ionisatiekamer verzadigingsstroom is. Vergrooting van het effect door stootioniseering kan bij lagen gasdruk licht tot verkeerde gevolgtrekkingen leiden. Wel werd steeds hierop gelet, en het potentiaalverschil tusschen de condensatorplaten steeds zoo laag gehouden, dat vergrooting der ionisatie door genoemde oorzaak niet dan zeer gering kon zijn. Waarnemingen, om de gunstigste spanningswaarde in het electrisch veld te bepalen, waardoor de kans op dergelijke fouten, waardoor te groote effecten gemeten zouden worden, zoo gering mogelijk zou zijn, wezen echter tevens op eene andere moeilijkheid. De stroomsterkte in den condensator bleek namelijk bij lagen druk in het onderzochte gas zeer afhankelijk van de sterkte van het electrisch veld. De kromme lijn, die het verloop der verandering van de stroomsterkte in den condensator met verandering van het potentiaalverschil tusschen de platen aangaf, naderde bij afnemenden gasdruk tot eene kromme met een buigpunt; de stroomsterkte, corresponderend met dit buigpunt is dan verzadigingsstroom <sup>1)</sup>. Aangezien met afname van den gasdruk zoowel het verloop van deze lijn, als de ligging van het buigpunt op de kromme, veranderen, en daar tevens bovenbedoelde kromme lijn in de verschillende gassen anders verloopt, is aan de verhoudingsgetallen voor 1 m.M. en hoogvacuum in de tabel op blz. 58 niet hetzelfde gewicht toe te kennen, dat toekomt aan de getallen, betrekking hebbend op de verhouding van het effect bij hooger gasdruk. Genoemde invloeden hebben namelijk tot gevolg,

---

<sup>1)</sup> TOWNSEND verkreeg gelijke resultaten bij een onderzoek, ten doel hebbend de verschijnselen der ioniseering door ionenstoot te bestudeeren, indien het gas, (lucht, koolzuur en waterstof) werd geioniseerd door Röntgenstralen.

Phil. Mag. (6) 1, 189, 1901.



dat het verloop der verandering in elk der gassen met afname van den gasdruk, bij lager waarden hiervan meer afhankelijk wordt van de sterkte van het electrisch veld in den condensator. Bij te sterk veld neemt het effect toe tot een maximum en neemt daarna weer af; de gasdruk, corresponderend met het maximum, wordt bepaald door de veldsterkte en komt overeen met den druk, waarbij in de gegeven omstandigheden de invloed der stootioniseering maximaal verwacht kan worden <sup>1)</sup>.

Aangezien bleek, dat bij 60 tot 80 Volt potentiaalverschil tusschen de condensatorplaten geen verschijnselen zich voordeden, die wezen op eene storing tengevolge van stootioniseering, terwijl bij deze veldsterkte bij hooger gasdruk steeds verzadigingsstroom bleek te bestaan, geven de verhoudingsgetallen in de tabel de resultaten van waarnemingen, gedaan bij een constant veld van 80 Volt in den condensator. De linkerplaat werd steeds geladen op + 80 Volt. Waarnemingsreeksen, waarbij de linkerplaat op + 40 Volt werd gehouden, gaven geringer uitkomsten. Toch bleek van 500 m.M. tot hoogvacuum in beide gevallen eene constante verhouding van het effect te bestaan; de kromme lijnen, die het verloop met afname van den gasdruk in de graphische voorstelling aangaven, liepen evenwijdig.

De 1<sup>ste</sup>, 2<sup>de</sup> en 3<sup>de</sup> kolom van de tabel hebben betrekking op de verhouding van het effect gemeten resp. in waterstof, kooloxyd en stikstof tot dat, waargenomen in de beide andere gassen, waarvan eveneens de straling is onderzocht. De 4<sup>de</sup> kolom geeft de verhouding van het effect in waterstof tot dat in lucht en zuurstof.

In de 5<sup>de</sup> kolom zijn de absolute waarden der stroomsterkten gegeven, gemeten in waterstof. De getallen zijn geïnterpoleerd en hebben niet betrekking op waarnemingen, juist bij de genoemde drukwaarden gedaan. De omstandigheden in de absorptieruimte waren steeds dezelfde; de gasdruk hierin was steeds zoo laag, dat geen absorptie der werkzame stralen merkbaar was.

<sup>1)</sup> TOWNSEND, l. c.



| Verhouding<br>van het ge-<br>meten effect | $\frac{H_2}{CO}$ | $\frac{H_2}{N_2}$ | $\frac{CO}{H_2}$ | $\frac{CO}{N_2}$ | $\frac{N_2}{H_2}$ | $\frac{N_2}{CO}$ | $\frac{H_2}{\text{lucht}}$ | $\frac{H_2}{O_2}$ | Absolute waarde<br>van het effect op<br>waterstof. |
|-------------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|
|-------------------------------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|

| voor                   | WATERSTOFSTRALING, gasspanning 1,2 m.M. |             |       |       |       |      |      |        |                            |
|------------------------|-----------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|------|------|--------|----------------------------|
| bij 500 m.M.           | <b>1,17</b>                             | <b>1,17</b> | 0,855 | 1,00  | 0,855 | 1,00 | 6,90 | 55,20  | $3,1 \times 10^{-12}$ Amp. |
| 400 "                  | <b>1,46</b>                             | <b>1,46</b> | 0,685 | 1,00  | 0,685 | 1,00 | 5,23 | 47,64' | $4,3 \times 10^{-12}$ "    |
| 300 "                  | <b>1,66</b>                             | <b>1,66</b> | 0,603 | 1,00  | 0,603 | 1,00 | 4,37 | 44,10  | $5,6 \times 10^{-12}$ "    |
| 200 "                  | <b>1,60</b>                             | <b>1,60</b> | 0,625 | 1,00  | 0,625 | 1,00 | 3,99 | 33,30  | $6,9 \times 10^{-12}$ "    |
| 100 "                  | <b>1,21</b>                             | <b>1,21</b> | 0,826 | 1,00  | 0,826 | 1,00 | 4,05 | 24,90  | $8,5 \times 10^{-12}$ "    |
| 20 "                   | <b>0,77</b>                             | <b>0,77</b> | 1,30  | 1,00  | 1,30  | 1,00 | 2,00 | 8,70   | $10,8 \times 10^{-12}$ "   |
| 10 "                   | <b>0,75</b>                             | <b>0,80</b> | 1,33  | 0,971 | 1,25  | 1,03 | 1,63 | 4,55   | $11,4 \times 10^{-12}$ "   |
| 1,0 "                  | <b>0,82</b>                             | <b>0,60</b> | 1,21  | 0,733 | 1,67  | 1,36 | 0,78 | 2,01   | $13,6 \times 10^{-12}$ "   |
| hoogvac. <sup>1)</sup> | <b>0,94</b>                             | <b>0,52</b> | 1,06  | 0,530 | 1,92  | 1,89 | 0,68 | 0,97   | $16,0 \times 10^{-12}$ "   |

| voor         | WATERSTOFSTRALING, gasspanning 1,0 m.M. |              |       |      |       |       |     |      |                            |
|--------------|-----------------------------------------|--------------|-------|------|-------|-------|-----|------|----------------------------|
| bij 500 m.M. | <b>7,93</b>                             | <b>23,80</b> | 0,126 | 3,00 | 0,042 | 0,333 | —   | —    | $0,71 \times 10^{-12}$ Amp |
| 400 "        | <b>4,00</b>                             | <b>17,33</b> | 0,250 | 4,33 | 0,058 | 0,231 | —   | —    | $0,78 \times 10^{-12}$ "   |
| 300 "        | <b>2,82</b>                             | <b>14,10</b> | 0,355 | 5,00 | 0,071 | 0,200 | —   | —    | $0,85 \times 10^{-12}$ "   |
| 200 "        | <b>2,30</b>                             | <b>12,40</b> | 0,435 | 5,40 | 0,081 | 0,185 | —   | —    | $0,93 \times 10^{-12}$ "   |
| 100 "        | <b>2,06</b>                             | <b>5,25</b>  | 0,485 | 2,55 | 0,191 | 0,392 | —   | —    | $1,05 \times 10^{-12}$ "   |
| 20 "         | <b>1,54</b>                             | <b>2,59</b>  | 0,649 | 1,68 | 0,386 | 0,596 | 4,1 | 16,5 | $1,32 \times 10^{-12}$ "   |
| 10 "         | <b>1,49</b>                             | <b>1,84</b>  | 0,671 | 1,23 | 0,543 | 0,813 | 3,1 | 15,0 | $1,35 \times 10^{-12}$ "   |
| 1,0 "        | <b>1,56</b>                             | <b>1,95</b>  | 0,641 | 1,25 | 0,513 | 0,800 | 2,1 | 2,1  | $1,95 \times 10^{-12}$ "   |
| hoogvac.     | <b>1,07</b>                             | <b>1,29</b>  | 0,938 | 1,21 | 0,774 | 0,834 | 1,0 | 1,0  | $2,40 \times 10^{-12}$ "   |

| voor         | KOOLOXYDSTRALING. |       |             |              |       |       |      |       |                              |
|--------------|-------------------|-------|-------------|--------------|-------|-------|------|-------|------------------------------|
| bij 500 m.M. | 1,30              | 52,00 | <b>0,77</b> | <b>40,00</b> | 0,019 | 0,025 | —    | —     | $0,156 \times 10^{-12}$ Amp. |
| 400 "        | 1,30              | 22,50 | <b>0,76</b> | <b>17,00</b> | 0,045 | 0,59  | —    | —     | $0,225 \times 10^{-12}$ "    |
| 300 "        | 1,39              | 8,31  | <b>0,72</b> | <b>6,00</b>  | 0,120 | 0,17  | —    | —     | $0,291 \times 10^{-12}$ "    |
| 200 "        | 1,39              | 5,52  | <b>0,72</b> | <b>4,00</b>  | 0,181 | 0,25  | —    | —     | $0,348 \times 10^{-12}$ "    |
| 100 "        | 1,32              | 3,33  | <b>0,76</b> | <b>2,54</b>  | 0,301 | 0,394 | 8,00 | —     | $0,420 \times 10^{-12}$ "    |
| 20 "         | 1,21              | 1,90  | <b>0,83</b> | <b>1,58</b>  | 0,526 | 0,632 | 2,52 | 22,50 | $0,540 \times 10^{-12}$ "    |
| 10 "         | 1,15              | 1,56  | <b>0,87</b> | <b>1,38</b>  | 0,641 | 0,724 | 1,84 | 11,59 | $0,585 \times 10^{-12}$ "    |
| 1,0 "        | 1,33              | 1,40  | <b>0,75</b> | <b>1,05</b>  | 0,714 | 0,953 | 0,77 | 4,84  | $0,800 \times 10^{-12}$ "    |
| hoogvac.     | 1,28              | 1,67  | <b>0,78</b> | <b>1,30</b>  | 0,598 | 0,769 | 0,60 | 1,73  | $1,000 \times 10^{-12}$ "    |

| voor         | STIKSTOFSTRALING. |      |       |      |             |              |   |   |                              |
|--------------|-------------------|------|-------|------|-------------|--------------|---|---|------------------------------|
| bij 500 m.M. | —                 | —    | —     | —    | —           | —            | — | — | —                            |
| 300 "        | —                 | —    | —     | —    | —           | —            | — | — | —                            |
| 100 "        | —                 | —    | —     | —    | —           | —            | — | — | —                            |
| 50 "         | 1,35              | 2,13 | 0,741 | 1,60 | <b>0,47</b> | <b>0,625</b> | — | — | $0,054 \times 10^{-12}$ Amp. |
| 20 "         | 1,47              | 1,82 | 0,681 | 1,25 | <b>0,55</b> | <b>0,800</b> | — | — | $0,066 \times 10^{-12}$ "    |
| 10 "         | 1,44              | 1,64 | 0,695 | 1,14 | <b>0,61</b> | <b>0,875</b> | — | — | $0,069 \times 10^{-12}$ "    |
| 5 "          | 1,41              | 1,49 | 0,710 | 1,06 | <b>0,67</b> | <b>0,941</b> | — | — | $0,072 \times 10^{-12}$ "    |
| 1,0 "        | 0,98              | 0,89 | 1,02  | 0,90 | <b>1,13</b> | <b>1,11</b>  | — | — | $0,090 \times 10^{-12}$ "    |
| hoogvac.     | 0,66              | 0,87 | 1,51  | 1,33 | <b>1,15</b> | <b>0,754</b> | — | — | $0,120 \times 10^{-12}$ "    |

<sup>1)</sup> Hoogvacuum beteekent hier, dat de gasdruk in de condensatorkamer kleiner was dan 0,1 m.M.



| Verhouding<br>van het ge-<br>meten effect | $\frac{H_2}{CO}$                        | $\frac{H_2}{N_2}$ | $\frac{CO}{H_2}$ | $\frac{CO}{N_2}$ | $\frac{N_2}{H_2}$ | $\frac{N_2}{CO}$ | $\frac{H_2}{\text{lucht}}$ | $\frac{H_2}{O_2}$ | Absolute waarde<br>van het effect op<br>waterstof. |
|-------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------------------------------|
| voor                                      | WATERSTOFSTRALING, gasspanning 1,2 m.M. |                   |                  |                  |                   |                  |                            |                   |                                                    |
| bij 500 m.M.                              | <b>1,17</b>                             | <b>1,17</b>       | 0,855            | 1,00             | 0,855             | 1,00             | 6,90                       | 55,20             | $3,1 \times 10^{-12}$ Amp.                         |
| 400 "                                     | <b>1,46</b>                             | <b>1,46</b>       | 0,685            | 1,00             | 0,685             | 1,00             | 5,23                       | 47,64'            | $4,3 \times 10^{-12}$ "                            |
| 300 "                                     | <b>1,66</b>                             | <b>1,66</b>       | 0,603            | 1,00             | 0,603             | 1,00             | 4,37                       | 44,10             | $5,6 \times 10^{-12}$ "                            |
| 200 "                                     | <b>1,60</b>                             | <b>1,60</b>       | 0,625            | 1,00             | 0,625             | 1,00             | 3,99                       | 33,30             | $6,9 \times 10^{-12}$ "                            |
| 100 "                                     | <b>1,21</b>                             | <b>1,21</b>       | 0,826            | 1,00             | 0,826             | 1,00             | 4,05                       | 24,90             | $8,5 \times 10^{-12}$ "                            |
| 20 "                                      | <b>0,77</b>                             | <b>0,77</b>       | 1,30             | 1,00             | 1,30              | 1,00             | 2,00                       | 8,70              | $10,8 \times 10^{-12}$ "                           |
| 10 "                                      | <b>0,75</b>                             | <b>0,80</b>       | 1,33             | 0,971            | 1,25              | 1,03             | 1,63                       | 4,55              | $11,4 \times 10^{-12}$ "                           |
| 1,0 "                                     | <b>0,82</b>                             | <b>0,60</b>       | 1,21             | 0,733            | 1,67              | 1,36             | 0,78                       | 2,01              | $13,6 \times 10^{-12}$ "                           |
| hoogvac. <sup>1)</sup>                    | <b>0,94</b>                             | <b>0,52</b>       | 1,06             | 0,530            | 1,92              | 1,89             | 0,68                       | 0,97              | $16,0 \times 10^{-12}$ "                           |

|              |                                         |              |       |      |       |       |     |      |                            |
|--------------|-----------------------------------------|--------------|-------|------|-------|-------|-----|------|----------------------------|
| voor         | WATERSTOFSTRALING, gasspanning 1,0 m.M. |              |       |      |       |       |     |      |                            |
| bij 500 m.M. | <b>7,93</b>                             | <b>23,80</b> | 0,126 | 3,00 | 0,042 | 0,333 | —   | —    | $0,71 \times 10^{-12}$ Amp |
| 400 "        | <b>4,00</b>                             | <b>17,33</b> | 0,250 | 4,33 | 0,058 | 0,231 | —   | —    | $0,78 \times 10^{-12}$ "   |
| 300 "        | <b>2,82</b>                             | <b>14,10</b> | 0,355 | 5,00 | 0,071 | 0,200 | —   | —    | $0,85 \times 10^{-12}$ "   |
| 200 "        | <b>2,30</b>                             | <b>12,40</b> | 0,435 | 5,40 | 0,081 | 0,185 | —   | —    | $0,93 \times 10^{-12}$ "   |
| 100 "        | <b>2,06</b>                             | <b>5,25</b>  | 0,485 | 2,55 | 0,191 | 0,392 | —   | —    | $1,05 \times 10^{-12}$ "   |
| 20 "         | <b>1,54</b>                             | <b>2,59</b>  | 0,649 | 1,68 | 0,386 | 0,596 | 4,1 | 16,5 | $1,32 \times 10^{-12}$ "   |
| 10 "         | <b>1,49</b>                             | <b>1,84</b>  | 0,671 | 1,23 | 0,543 | 0,813 | 3,1 | 15,0 | $1,35 \times 10^{-12}$ "   |
| 1,0 "        | <b>1,56</b>                             | <b>1,95</b>  | 0,641 | 1,25 | 0,513 | 0,800 | 2,1 | 2,1  | $1,95 \times 10^{-12}$ "   |
| hoogvac.     | <b>1,07</b>                             | <b>1,29</b>  | 0,938 | 1,21 | 0,774 | 0,834 | 1,0 | 1,0  | $2,40 \times 10^{-12}$ "   |

|              |                   |       |             |              |       |       |      |       |                              |
|--------------|-------------------|-------|-------------|--------------|-------|-------|------|-------|------------------------------|
| voor         | KOOLOXYDSTRALING. |       |             |              |       |       |      |       |                              |
| bij 500 m.M. | 1,30              | 52,00 | <b>0,77</b> | <b>40,00</b> | 0,019 | 0,025 | —    | —     | $0,156 \times 10^{-12}$ Amp. |
| 400 "        | 1,30              | 22,50 | <b>0,76</b> | <b>17,00</b> | 0,045 | 0,59  | —    | —     | $0,225 \times 10^{-12}$ "    |
| 300 "        | 1,39              | 8,31  | <b>0,72</b> | <b>6,00</b>  | 0,120 | 0,17  | —    | —     | $0,291 \times 10^{-12}$ "    |
| 200 "        | 1,39              | 5,52  | <b>0,72</b> | <b>4,00</b>  | 0,181 | 0,25  | —    | —     | $0,348 \times 10^{-12}$ "    |
| 100 "        | 1,32              | 3,33  | <b>0,76</b> | <b>2,54</b>  | 0,301 | 0,394 | 8,00 | —     | $0,420 \times 10^{-12}$ "    |
| 20 "         | 1,21              | 1,90  | <b>0,83</b> | <b>1,58</b>  | 0,526 | 0,632 | 2,52 | 22,50 | $0,540 \times 10^{-12}$ "    |
| 10 "         | 1,15              | 1,56  | <b>0,87</b> | <b>1,38</b>  | 0,641 | 0,724 | 1,84 | 11,59 | $0,585 \times 10^{-12}$ "    |
| 1,0 "        | 1,33              | 1,40  | <b>0,75</b> | <b>1,05</b>  | 0,714 | 0,953 | 0,77 | 4,84  | $0,800 \times 10^{-12}$ "    |
| hoogvac.     | 1,28              | 1,67  | <b>0,78</b> | <b>1,30</b>  | 0,598 | 0,769 | 0,60 | 1,73  | $1,000 \times 10^{-12}$ "    |

|              |                   |      |       |      |             |              |   |   |                              |
|--------------|-------------------|------|-------|------|-------------|--------------|---|---|------------------------------|
| voor         | STIKSTOFSTRALING. |      |       |      |             |              |   |   |                              |
| bij 500 m.M. | —                 | —    | —     | —    | —           | —            | — | — | —                            |
| 300 "        | —                 | —    | —     | —    | —           | —            | — | — | —                            |
| 100 "        | —                 | —    | —     | —    | —           | —            | — | — | —                            |
| 50 "         | 1,35              | 2,13 | 0,741 | 1,60 | <b>0,47</b> | <b>0,625</b> | — | — | $0,054 \times 10^{-12}$ Amp. |
| 20 "         | 1,47              | 1,82 | 0,681 | 1,25 | <b>0,55</b> | <b>0,800</b> | — | — | $0,066 \times 10^{-12}$ "    |
| 10 "         | 1,44              | 1,64 | 0,695 | 1,14 | <b>0,61</b> | <b>0,875</b> | — | — | $0,069 \times 10^{-12}$ "    |
| 5 "          | 1,41              | 1,49 | 0,710 | 1,06 | <b>0,67</b> | <b>0,941</b> | — | — | $0,072 \times 10^{-12}$ "    |
| 1,0 "        | 0,98              | 0,89 | 1,02  | 0,90 | <b>1,13</b> | <b>1,11</b>  | — | — | $0,090 \times 10^{-12}$ "    |
| hoogvac.     | 0,66              | 0,87 | 1,51  | 1,33 | <b>1,15</b> | <b>0,754</b> | — | — | $0,120 \times 10^{-12}$ "    |

<sup>1)</sup> Hoogvacuum beteekent hier, dat de gasdruk in de condensatorkamer kleiner was dan 0,1 m.M.



Op plaat III is het resultaat der effect-waarnemingen graphisch voorgesteld. In de onderste helft van elk der vierkanten zijn de veranderingen der stroomsterkte met afname der gasspanning vanaf 500 m.M., in de bovenste helft de veranderingen vanaf 50 m.M., in beide gevallen tot hoogvacuum, gegeven. De kromme lijnen in de bovenhelft zijn dus stukken der lijnen uit de onderhelft, 10 maal vergroot in de richting der abscissenas. De ordinaten hebben in de vier figuren niet dezelfde beteekenis; in fig. 1 geven ze de waarden der stroomsterkte aan in  $10^{-12}$  Amp., in fig. 2 en 3 in  $10^{-11}$ , in fig. 4 in  $10^{-10}$  Amp.

De lijnen in de figuren 1 en 2 hebben betrekking op de ionisatie, teweeggebracht in het gas in de condensatorkamer door de straling der beide waterstofbuizen. Fig. 1 behoort bij de 1<sup>ste</sup>, fig. 2 bij de 2<sup>de</sup> waterstofbuis. De fig. 3 en 4 geven resp. het effect der kooloxyd- en stikstofstraling. De ordinaten der stippen langs de waterstoflijn van fig. 1 geven de waarden van het effect bij bepaalde drukwaarden in de ionisatiekamer. Ze geven tevens een oordeel in hoeverre de waarnemingen van de geteekende lijn afwijken. De drie soorten teekens hebben betrekking op drie waarnemingsreeksen, de enkele stippen op eene waarnemingsreeks op 12 Jan. door lucht 0,08 m.M., de stippen met schuine strepen door op twee reeksen op 15 Jan., één door CO 0,27 m.M. en één door H<sub>2</sub> 0,085 m.M. De lijnen voor de verschillende gassen zijn door eene verschillende notatie aangegeven; deze notatie is ook op de verder volgende platen doorgevoerd.

#### ABSORPTIEWAARNEMINGEN.

Evenmin als bij de ionisatiemetingen is het bestaan van selectieve effecten aangetoond kunnen worden bij de absorptiewaarnemingen. Vergelijking der absorptie der ioniseerende stralen in de vijf onderzoekgassen leidt tot het resultaat, dat bij dezelfde omstandigheden in de ionisatiekamer (zeer verdunde lucht), de hoeveelheid geab-



sorbeerde stralingsenergie bij bepaalde drukwaarden, vergeleken met de hoeveelheid, tegengehouden bij hoogvacuum, in zuurstof, lucht, stikstof en waterstof, voor elk dezer gasen nagenoeg dezelfde is, onafhankelijk of de werkzame stralen worden uitgezonden door de waterstof- of door de kooloxydbuis. Alleen voor het kooloxyd blijkt onder de genoemde omstandigheden de absorptie afhankelijk van de stralingsbron. De absorptie van dit gas blijkt in dit geval voor waterstofstraling grooter dan voor kooloxydstraling. De resultaten van dit onderzoek zijn graphisch voorgesteld op plaat IV.

Met de eerste waterstofbuis is tevens de absorptie bestudeerd in lucht, waterstof en kooloxyd bij verschillende omstandigheden in de ionisatiekamer. Geleid door de onderstellingen, geuit op blz. 41, is nagegaan, of waterstof de waterstofstralen, die de ionisatie teweegbrengen in waterstof, kooloxyd, lucht en stikstof, even sterk verzwakt; verder in hoeverre deze zelfde gasen de stralen, die waterstof ioniseeren, tegenhouden. Terwijl ten slotte is bestudeerd, hoe lucht, kooloxyd en stikstof zich verhouden als absorbeerende gasen, door meting van de verzwakking van het effect teweeggebracht in waterstof, kooloxyd, lucht en stikstof. De fig. 1, 2, 3 en 4 van plaat V, benevens fig. 1 van plaat IV geven de uitkomsten van dit onderzoek graphisch weer. In elk der gasen bleek de absorptie afnemend met den gasdruk, voor elk gas echter verschillend; geen der onderzochte gasen hield bij zeer lage spanning de straling merkbaar tegen. In lucht werd de absorptie reeds merkbaar, indien de druk steeg boven 0.5 m.M., in zuurstof bij nog lager drukwaarden. In de andere gasen bleef de absorptie steeds veel geringer, dan die in lucht en zuurstof. De grenswaarde, waarboven de absorptie in waterstof, stikstof en kooloxyd begon toe te nemen, lag boven 1 m.M.

Fig. 1 en 2 van plaat IV geven de resultaten der absorptie-waarnemingen, onder bovengenoemde omstandigheden verkregen met de 1<sup>ste</sup> en 2<sup>de</sup> waterstofbuis, fig. 3 die, verkregen

met de kooloxydbuis, voor het geval namelijk, dat lucht van zeer lage spanning de ionisatiekamer vulde. Het verschil tusschen de absorptie in kooloxyd en waterstof was voor de waterstofstraling veel grooter dan voor de kooloxydstraling. De abscissen in de figuren geven de drukking in de absorptiekamer aan; de ordinaten stellen de hoeveelheid geabsorbeerde stralingsenergie in procenten voor. De ordinaat 75 % beteekent dus, dat de stroomsterkte in de ionisatiekamer  $\frac{1}{4}$  bedraagt van die, gemeten bij den laagsten druk in de absorptiekamer, waarbij in de reeks, waarop de absorptielijn betrekking heeft, het effect werd bepaald.

Aan de plaat IV is verder nog toegevoegd fig. 4. Deze stelt de absorptielijn van lucht van fig. 1 voor, op andere schaal geteekend. De ordinaten hebben in deze figuur dezelfde beteekenis als in fig. 1; echter zijn de abscissen 10 maal grooter genomen, ten einde het verloop der lijn bij lage drukwaarden beter te doen uitkomen.

Plaat V geeft alleen het resultaat van de absorptie-waarnemingen met de eerste waterstofbuis verricht. De figuren zijn verdeeld in strooken; elke strook heeft betrekking op eene bepaalde combinatie van gasen in absorptie- en ionisatiekamer, aangeduid door de chemische symbolen in elke strook geplaatst. Het eerste symbool, duidt steeds het gas in de absorptiekamer aan, het tweede dat in de ionisatiekamer. Een cijfer naast de lijnen vermeldt den gasdruk, heerschend in de ionisatiekamer tijdens de waarnemingen, waarvan de lijn de uitkomsten voorstelt; een datum achter een dergelijk cijfer beteekent, dat eene waarneming op een anderen dag als controle werd herhaald.

Fig. 1 geeft de absorptie der waterstof, indien zich in de ionisatiekamer bevinden waterstof, kooloxyd, lucht of stikstof. Geen sprekend verschil is in de absorptielijnen op te merken. In fig. 2 en 3 bleven de omstandigheden in de ionisatiekamer steeds dezelfde en wisselde het gas in de absorptiekamer. Terwijl ten slotte fig. 4 betrekking heeft op de absorptie in



kooloxyd en stikstof, in beide gevallen bij effect op stikstof. <sup>1)</sup>

In de laatste drie figuren komt eenzelfde verschil in het verloop der absorptielijnen voor de verschillende gassen voor den dag, als in de lijnen op plaat IV. Lucht en kooloxyd betoonen zich echter geenszins indifferent voor de waterstofstralen, die waterstof ioniseeren (zie fig. 2). Verder blijkt het karakter der absorptielijnen van waterstof en lucht hetzelfde te blijven, onverschillig of de verzwakking van het effect in waterstof, kooloxyd, lucht of stikstof wordt nagegaan (zie fig. 1, resp. fig. 2, 3 en plaat IV fig. 1), en blijkt hun verloop afhankelijk van den gasdruk in de ionisatiekamer.

In het kooloxyd is een verschil merkbaar in zooverre, dat het de stralen, die waterstof en stikstof ioniseeren minder sterk absorbeert dan die, welke het effect in lucht en kooloxyd teweeg brengen (zie fig. 3 en 4); verder blijkt het verloop der absorptielijnen ook hier af te hangen van den gasdruk in de condensatorkamer. De conclusies, waartoe deze verschillen leiden, benevens de gevolgtrekkingen, die te maken zijn uit het verschillend verloop der absorptielijnen, indien de druk van het gas in de condensatorkamer een andere is, zullen in het volgend hoofdstuk nader worden besproken.

De punten in de lijnen op plaat IV en V geven de waarnemingen aan, die de lijn bepalen. Aan elk gas is hierbij een eigen teeken toegekend. Meermalen werd, na afloop van eene waarnemingsreeks, alvorens tot eene volgende, met een ander gas over te gaan, nogeens hetzelfde gas, tot een willekeurigen druk, ingelaten, en aldus eene controlewaarneming gedaan. Dergelijke controlepunten op de lijn zijn aangegeven door een dubbelen ring om het waarnemingsteeken.

---

<sup>1)</sup> Fig. 1 van plaat IV is op te vatten als behoorend bij fig. 2, 3, en 4 van plaat V, daar hier eveneens tijdens de absorptiewaarnemingen het gas in de ionisatiekamer voortdurend hetzelfde bleef (lucht; de cijfers bij de lijnen hebben ook hier betrekking op den druk in de ionisatiekamer).

## HOOFDSTUK IV.

### Beoordeeling der waarnemingen en verdere bespreking der resultaten.

De tot hiertoe gedane mededeelingen bepaalden zich tot het beschrijven der verrichtte waarnemingen en het vermelden der resultaten. De vraag, welke beteekenis is te hechten aan de verschillende gevonden uitkomsten is, tot nu toe hier en daar slechts even aangeroerd.

In het volgende zullen we daarom in de eerste plaats bespreken, op welke wijze de meegedeelde resultaten zijn verkregen; hiernaar kan tevens beoordeeld worden welk gewicht aan elk kan worden toegekend.

De vorige hoofdstukken bevatten reeds een en ander omtrent de voorzorgen, die genomen zijn, om fouten te voorkomen en omtrent foutenbronnen, die desnietteenstaande moeilijkheden bleven opleveren. Hiertoe behoorden in de eerste plaats veranderingen in de ontladingsbuis, zich uitend in eene langzame afname der uitgezonden hoeveelheid stralingsenergie. Tijdens de waarnemingsreeksen was geen verandering van het effect merkbaar; werd eenzelfde waarnemingsreeks echter na eenige uren rust herhaald, bij dezelfde omstandigheden in de absorptiekamer, dan was het verloop der verandering van het gevonden effect gelijk aan dat, eenige uren tevoren waargenomen; in de absolute waarden van de gemeten stroomsterkten in het bestraalde gas was echter dikwijls een verschil, soms tot 25 %, te bemerken. Het minst storend waren deze veranderingen bij de eerste waterstofbuis; bij de kooloxydbuis gaan ze gepaard met de zelfevacueeringsverschijnselen.

Keeren we daarom nog eens terug tot de waarden, genoemd in de tabel op blz. 58, en de daarbij behorende lijnen op plaat III.



Van de verhoudingsgetallen, die de resultaten geven, verkregen met de eerste waterstofbuis (fig. 1) dient gezegd, dat de lijnen voor lucht, waterstof en kooloxyd eene voorstelling zijn van directe waarnemingen op vier achtereenvolgende dagen, namelijk 12, 13, 14 en 15 Januari.

De vijf geteekende lijnen geven allen het verloop van het effect in de verschillende gassen en zijn getrokken door punten, door interpolatie bepaald (zie tabel blz. 58). Alleen naast de waterstoflijn zijn de waarnemingen ingevuld. Bij de andere lijnen, en ook in de andere figuren van plaat III, is dit nagelaten, om eene onontwarbare ophooping van allerlei verschillende teekens te voorkomen; de teekens naast de waterstoflijn geven voldoende een denkbeeld omtrent de aansluiting der getrokken lijn aan de directe waarnemingen. De beteekenis der drie soorten teekens is reeds vermeld op blz. 49. Op grond der goede overeenstemming van deze waarnemingsreeksen kunnen we veilig aannemen, dat het effect in de tusschenliggende dagen weinig anders geweest kan zijn. Effectlijnen voor waterstof, op andere data bepaald, geven een in hoofdzaak gelijk verloop te zien. Bij vermeerdering van de stralingsenergie werd de stijging van het effect bij afname van den druk iets minder sterk, bij vermindering iets sterker.

De geteekende lijnen voor lucht en kooloxyd stellen het resultaat van waarnemingsreeksen op 14 Januari (door lucht van 0.20 m.M.) en op 13 Januari (door CO van 0.5 m.M.) voor. De waarnemingen van het effect op stikstof en zuurstof vielen op andere data. Het effect was in dien tijd veranderd. Controlewaarnemingen op waterstof, kooloxyd en lucht stelden echter in staat de grootte der veranderingen vast te stellen. Het feit echter, dat tweemaal bij waarnemingsreeksen ter bepaling van het verloop van het effect in stikstof en kooloxyd, direct na elkaar gedaan op verschillende dagen, telkens onder dezelfde omstandigheden dezelfde verhouding van het effect in beide gassen werd gevonden, geeft het recht te veronderstellen, dat de verandering van het effect op stikstof, bij eene bepaalde verandering der uit-



gezonden hoeveelheid stralingsenergie, weinig zal verschillen van de verandering, door deze omstandigheden teweeggebracht in het effect in kooloxyd. Gegeven dus de bekende verhouding van het effect in beide gassen, onder dezelfde omstandigheden bij verschillende gelegenheden gevonden, mogen we in de figuur eene stikstoflijn teekenen, waarvan de ordinaten berekend zijn door vergelijking met die der kooloxydlijn. Aangezien echter deze verhouding beide malen bepaald is in een stadium, dat de ioniseerende straling een sterker effect veroorzaakte dan op den 15<sup>en</sup> Januari, is het, met het oog op het resultaat van later verrichte waarnemingen bij minder intense waterstofstraling (fig. 2), niet onmogelijk, dat eene stikstofwaarneming op dezen datum een grooter verschil met de kooloxydwaarnemingen van dien dag gegeven zou hebben. De geteekende stikstoflijn zou misschien een juister beeld van de werkelijkheid geven, indien het stuk dat onder de kooloxydlijn gelegen is, iets steiler onder deze daalde.

De zuurstoflijn in fig. 1 is evenzoo geconstrueerd door vergelijking met de geteekende luchtlijn. De verhouding van het effect in lucht en zuurstof was bepaald na 15 Januari. Het effect bleek namelijk na dezen datum afnemende. Hiermede ging samen een langzaam verzwakken van den stroom in de ontladingsbuis. Getracht werd, deze afname der stroomsterkte tegen te gaan door verwarmen van het gas in het reservoir. Dit had echter tengevolge, dat bij de oorspronkelijke waarde der stroomsterkte in de ontladingsbuis het effect toenam boven de vroeger hiervoor gevonden waarden. De toename was grooter bij hoogen, dan bij lagen druk in de condensatorkamer, waardoor het verloop der effectlijnen iets vlakker werd.

De waarnemingen met de tweede waterstofbuis hadden ten doel enkele der waarnemingen, met de eerste gedaan, nog eens te herhalen, en tevens, door middel van den vacuummeter op de buis, te zien, in hoeverre de energieveranderingen een gevolg konden zijn van afname der gasspanning. De lijnen voor lucht en zuurstof in fig. 2 zijn geconstrueerd op dezelfde wijze als de stikstof- en zuurstoflijn in fig. 1.



In fig. 3 hebben de waterstof-, kooloxyd- en stikstoflijn betrekking op waarnemingen in deze zelfde volgorde op één dag dadelijk na elkaar gedaan, zonder controlewaarnemingen er tusschendoor. De stroomsterkte in de ontladingsbuis daalde tijdens de waarnemingsreeksen van 5 tot 4 m.A. bij gelijkblijvende electrodenspanning. Op den daarop volgende dag werd het gas in het reservoir verwarmd; de stroomsterkte in de buis steeg daardoor tot 6 m.A. Eene stikstofwaarneming, ter vergelijking van de grootte van het effect met dat, gemeten op den vorigen dag, gaf onder deze omstandigheden 35 % hooger waarden. Een lucht- en zuurstofwaarneming werden direct na deze stikstofwaarneming gedaan, teneinde de verhouding van het effect in stikstof, lucht en zuurstof vast te stellen.

De geteekende lijnen voor lucht en zuurstof zijn berekend met behulp der hierbij gevonden verhouding, uitgaande van de stikstoflijn van den vorigen dag.

Het effect der stikstofstraling bleek uiterst zwak; daarbij nam het in den loop der waarnemingen nog sterk af. Door de geringe waarde van het effect was het niet gemakkelijk de kleine stroomsterkten in den condensator juist te meten. Deze omstandigheid maakte tevens het juist bepalen van kleine energieveranderingen moeilijk. De geteekende lijnen zijn het resultaat van drie waarnemingsreeksen, onmiddellijk na elkaar gedaan, die wat betreft vergelijkbaarheid het meeste vertrouwen verdienen.

Bij de vermelding van de uitkomsten der absorptiewaarnemingen in het vorig hoofdstuk is reeds de aandacht gevestigd op het algemeene resultaat in verband met de vraag, in hoeverre hieruit gevolgtrekkingen te maken zijn aangaande het al of niet bestaan van selectieve effecten. Het groote aantal waarnemingen, met de eerste waterstofbuis gedaan omtrent absorptie en effect onder verschillende omstandigheden, zij in het volgende nog eens afzonderlijk besproken, daar ze duidelijke aanwijzingen geven betreffende het verband, dat er bestaat tusschen ionisatie en absorptie.

Beginnen we met na te gaan in hoeverre bij de methode, waarop hier de absorptie werd gemeten, een samengaan van het verloop der absorptielijn met dat der effectlijn te verwachten is.

De absorptie werd bepaald naar de toename van het effect in de ionisatiekamer bij afname van den druk in de absorptiekamer. Geen effect boven een bepaalden druk in de absorptiekamer kan dus aangeduid worden door een ordinaat 100 % der absorptielijn.

Gesteld beide kamers zijn gevuld met hetzelfde gas. We hebben de absorptielijn bepaald bij hoogvacuum in de ionisatiekamer en gaan nu het verloop van het effect bij drukafname in de condensatorkamer onderzoeken, indien de druk in de absorptiekamer eene waarde heeft, overeenkomend met absorptie nul.

Van tevoren is nu reeds te voorspellen, dat de effectlijn, op dezelfde coördinaten geteekend als de absorptielijn, zoodanig dus, dat de ordinaten de procentische verhouding geven van het effect, gemeten bij een bepaalden druk in de ionisatiekamer, tot dat, waargenomen bij hoogvacuum aldaar, een minder steil verloop zal vertoonen dan de absorptielijn <sup>1)</sup>. Immers, indien we, bij hoogvacuum in de ionisatiekamer en bij een bepaald gas in de absorptiekamer, boven een bepaalde drukwaarde geen effect meer waarnemen, zullen we daarentegen, wanneer we de absorptiekamer tot hoogvacuum evacueeren en hetzelfde gas tot een druk, boven de bovenbedoelde kritieke waarde, in de ionisatiekamer inlaten, nu waarschijnlijk wel een effect vinden. De ionisatie-toestand, die nu in de ionisatiekamer blijkt te bestaan, bestond toen in de absorptiekamer. Hieruit volgt, dat een ordinaat nul der reciproke absorptielijn geenszins overeenkomt met een ordinaat nul der effectlijn. Bij den druk in de absorptie-

---

<sup>1)</sup> Het beste zal dit uitkomen, als we de absorptielijn reciprook teekenen, namelijk zoodanig, dat de ordinaten, in plaats van de hoeveelheid geabsorbeerde straling, de bij bepaalde drukwaarden doorgelaten hoeveelheid straling aangeven. De reciproke absorptielijn eindigt dus bij de ordinaat 100 in plaats van in den oorsprong der coördinaten.



kamer, waarbij, bij hoogvacuum in de ionisatiekamer, het eerst een effect merkbaar wordt, wordt, bij hoogvacuum in de absorptiekamer, een effect van bepaalde sterkte gevonden, wanneer in de ionisatiekamer hetzelfde gas, als zooeven de absorptiekamer vulde tot denzelfden druk, als even te voren in de laatstgenoemde kamer heerschte, wordt toegelaten. Met het punt van de abscissenas, waar de reciproke absorptielijn zich van de as begint te verheffen, correspondeert dus een ordinaat van bepaalde grootte van de effectlijn. Van hier af zullen beide lijnen met verschillend steil verloop stijgen naar het gemeenschappelijk eindpunt. Beide lijnen zullen echter een superpositie zijn van verschillende lijnen, die het verloop aangeven van de absorptie voor, en het effect teweeggebracht door verschillende stralensoorten, die in ongelijke mate worden geabsorbeerd, en verschillend ioniseerend vermogen bezitten. De reciproke absorptielijnen voor de minst doordringende stralen zullen in het algemeen het steilst naar de abscissenas dalen; het verloop der effectlijnen voor deze stralen zal eveneens een steilen val vertoonen, daar bij stijging van den druk in de condensatorkamer de ionisatie, door deze stralen veroorzaakt, beperkt blijft tot de lagen direct achter het vloeispaatvenster. Al spoedig zullen deze stralen, door de absorptie in de eerste gaslagen, niet meer tot op den bodem kunnen doordringen, en het aandeel, dat ze aan de ionisatie in het gas tusschen de condensatorplaten, bijbrengen, zal dus slechts gering meer zijn. Dit zal echter de oorzaak zijn, dat het verloop der absorptielijn niet hetzelfde gevonden zal worden, wanneer zij bepaald wordt bij hoogen, of bij lagen gasdruk in de ionisatiekamer. In het eerste geval toch is, wat we meten, in hoofdzaak de verzwakking van het effect der meest doordringende stralen, in het laatste die van de ionisatie teweeggebracht door alle werkzame stralen. De absorptielijn zal in het eerste geval een vlakker verloop hebben, dan in het laatste. Doch ook het verloop der effectlijn zal veranderen, indien de gasdruk in de absorptiekamer verhoogd wordt. Dan toch zullen de minder doordringende stralen de ionisatiekamer



niet meer kunnen bereiken, en het effect aldaar zal uitsluitend teweeggebracht worden door de meer doordringende stalen, die ook in de condensatorkamer zelve minder geabsorbeerd worden. Het gevolg zal zijn, dat de effectlijn een vlakker verloop zal vertoonen, naarmate de druk in het gas in de absorptiekamer hooger is.

Bovenstaande onderstellingen werden meermalen door de uitkomsten der waarnemingen bevestigd gevonden. Een voorbeeld hiervan geeft plaat VI.

In de bovenhelft der teekening zijn de absorptie- en effectlijn voor kooloxyd gegeven bij lagen druk, in de onderhelft dezelfde lijnen bij hoogen druk in de ionisatie-resp. absorptiekamer. Eene lichtere lijn geeft de reciproke absorptielijn aan. Bij de absorptielijnen waren de gas-spanningen in de ionisatiekamer resp. 1 m.M. en 442 m.M., bij de effectlijnen bedroeg de druk in de absorptiekamer resp. 0,5 m.M. en 251 m.M. Duidelijk blijkt uit de figuur, dat de absorptielijnen in beide gevallen steiler verlopen dan de effectlijnen, en tevens, dat in de onderhelft het verloop der lijnen vlakker is dan in de bovenhelft.

Ook in andere gassen werd het bovenstaande meermalen waargenomen. Wat betreft de absorptielijnen zouden de fig. 1 ( $H_2 H_2$ ), 2 ( $H_2 H_2$ , lucht  $H_2$ ), 3 ( $CO CO$ ), en 4 ( $CO N_2$ ), van plaat V de plaat VI overbodig maken, indien deze niet nog eene andere bedoeling had. Zij geeft namelijk tevens duidelijk aan, hoe, al is er onder de gegeven omstandigheden geen gelijk verloop van effectlijn en absorptielijn te verwachten, de eigenaardigheden van de eerste in die van de laatste terug te vinden zijn. In het volgende zal nog een enkele maal hierop nader de aandacht gevestigd worden.

Stellen we ons na al het bovenmedegedeelde de vraag: mogen we uit het niet vinden van selectieve verschijnselen bij het verrichte onderzoek besluiten tot het niet bestaan ervan?

Een gevolgtrekking in dezen zin zou vooralsnog voorbarig genoemd moeten worden.



Immers naast de bovenstaande vraag kunnen we nog deze stellen: kunnen we, na de ervaringen bij het onderzoek opgedaan, van de gebruikte apparaten zeggen, dat ze voldeden aan alle eischen, waaraan de toestellen voor een onderzoek als het bovenbeschrevene moeten voldoen? Is de reden van het negatieve resultaat niet toe te schrijven aan oorzaken, gelegen in de opstelling?

De uitkomsten van het onderzoek toch, en wel voornamelijk die der absorptiewaarnemingen, leeren aangaande de geschiktheid der gebruikte hulpmiddelen, dat de vorm der ontladingsbuis hier geenszins de ideale was, en dat het volstrekt niet onmogelijk is, dat de sterkst ioniseerende stralen, die werkelijk ionisatie door resonantie veroorzaken, reeds worden geabsorbeerd in de gaslagen, die het licht in de spectraalbuis zelve te doorloopen heeft, alvorens door de absorptiekamer de ionisatiekamer te bereiken.

Bezien we nog eens de absorptielijnen voor waterstof en kooloxyd op plaat IV, dan worden we door het verloop der kooloxydlijnen aldaar in ons vermoeden versterkt. Reeds vroeger is, zonder dieper hierop in te gaan, de aandacht gevestigd op het schijnbaar zonderlinge verschijnsel, dat de absorptie in kooloxyd en waterstof voor kooloxydstraling zeer weinig verschilt, terwijl daarentegen het verschil in absorbeerend vermogen der beide gasen voor waterstofstraling aanzienlijk is. In het verloop der effectlijnen op plaat III vinden we deze zelfde eigenaardigheden terug.

Terwijl toch in fig. 1 en 2 van plaat III het verloop der kooloxydlijn sterk verschilt van dat der waterstoflijn, blijft in fig. 3 de verhouding der ordinaten voor beide lijnen steeds gelijk (zie de tabel op blz. 58 1<sup>ste</sup>, 2<sup>de</sup> en 3<sup>de</sup> rij, 1<sup>ste</sup> en 3<sup>de</sup> kolom). Indien we dus de effectlijnen voor waterstof en kooloxyd van fig. 3 teekenen als op plaat VI, zoodanig namelijk, dat de ordinaten de procentische toename van het effect aangeven, dan zullen genoemde lijnen nagenoeg saamvallen, evenals nu de waterstof- en kooloxydlijn in fig. 3 van plaat IV. Eene verklaring van bovengenoemde eigenaardigheden ligt voor de hand, als we in aanmerking

nemen, dat we, bij een toestel van den vorm als hier gebruikt werd, eigenlijk te maken hebben met twee absorptiekamers, waarvan de ontladingsbuis zelve er ééne vormt. Het is toch duidelijk, dat de absorptielijn in fig. 3 van plaat IV slechts het verloop der absorptie voor die kooloxydstralen geeft, die in staat zijn nog ionisatie teweeg te brengen na de beide absorptiekamers doorloopen te hebben. De ordinaten der eigenlijke absorptielijn van kooloxyd voor kooloxydstraling zouden we krijgen door aan elke ordinaat der kooloxydlijn in fig. 3 een stuk toe te voegen, dat dan de absorptie in de ontladingsbuis voorstelt. Het verschil der kooloxyd-absorptielijnen in de gevallen weergegeven op plaat IV geeft echter ontwijfelbaar te kennen, dat de absorptie van de gaslaag in de ontladingsbuis geenszins te verwaarloozen is.

Bij de waterstof komt een dergelijk verschil niet sprekend voor den dag; de absorptielijnen van waterstof in de drie gevallen verschillen slechts weinig.

Als verdere aanwijzing omtrent de juistheid van de hypothese betreffende den absorbeerenden en daardoor storenden invloed van de gaslagen tusschen de opening van de capillair en het vloeispaatvenster, zij hier aan het voorafgaande eene beschrijving toegevoegd van de afwijkende verschijnselen, waargenomen met de kooloxydbuizen, en reeds vermeld op blz. 44 in het vorig hoofdstuk.

Deze verschijnselen worden merkbaar indien de onderste electrode in de kooloxydbuis kathode is, en de gasdruk in de buis zoover is afgenomen, dat het licht om de kathode zich tot het vloeispaatvenster uitbreidt. Toen, na afloop der beschreven serie waarnemingen met de tweede kooloxydbuis bij kathode boven, de stroom hierin werd gecommuteerd, ten einde na te gaan of dezelfde afwijkende verschijnselen zich ook hier op dezelfde wijze vertoonden, bleek dit inderdaad het geval te zijn.

Het bijzondere bestond hierin, dat het effect, dat tot nu toe zeer zwak geweest was, onder de beschreven omstandigheden bij bepaalde waarden van den gasdruk in de



condensatorkamer, plotseling onmeetbaar groot werd, om bij lagere waarden weer meetbaar te worden. De grenzen van dit gebied van drukwaarden, waarbinnen het effect  $\infty$  was <sup>1)</sup>, waren meest scherp begrensd <sup>2)</sup> en bleken verder afhankelijk van den gasdruk in de condensatorkamer, en wel de bovengrens meer dan de benedengrens.

Werd de gasdruk in de absorptiekamer op zoodanige waarde gehouden, dat het effect meetbaar bleef, dan vertoonde het eene steile stijging tot een maximum, daarna eene zeer steile daling <sup>3)</sup>. Bij effect  $\infty$  laadde het geïsoleerde systeem zich binnen een meetbaren tijd tot de potentiaal van de linkercondensatorplaat, onverschillig of deze positief of negatief, hoog of laag was.

Het plotseling ontladen van den condensator zou kunnen worden toegeschreven aan stootioniseeringsverschijnselen die het ionisatieeffect der bestraling versterkten. Eene waarneming, om uit te maken, of dit werkelijk het geval was, deed echter zien, dat bij potentiaalverschil van — 200 Volt tot — 320 Volt in lucht van 0.37 m.M., de drukking, waarbij invloed van stootioniseering het sterkst te verwachten is, verzadigingsstroom heerschte, althans vergrooting van het effect door genoemden invloed bij potentiaalverschillen van deze orde gering was. Daar verder het effect bij waarden van den gasdruk in de condensatorruimte, waarbij ionisatie door ionenstoot slechts een minimalen invloed kan hebben en het ontladen van den condensator bij lage, zoowel als bij hooge potentiaalverschillen der platen, met dezelfde snelheid geschiedde, kan dus wel gezegd worden, dat we hier te maken

---

<sup>1)</sup> De maximaal meetbare stroomsterkte in den condensator bedroeg  $1000 \times 10^{-12}$  A.

<sup>2)</sup> Bij hoogvacuum lucht in de absorptiekamer lagen deze grenzen voor lucht bij 11.0 m.M. en 0.53 m.M., voor CO bij 7.0 m.M. en 0.18 m.M., voor H<sub>2</sub> bij 20.0 m.M. en 0.75 m.M.

<sup>3)</sup> Bij CO in beide kamers werd dit maximum gevonden bij 0.54 m.M.; de gasdruk in de absorptiekamer bedroeg 4.0 m.M. Werd de druk hierin verlaagd tot 0.54 m.M., dan lagen de grenzen voor het effect  $\infty$  bij 13.0 m.M. en 0.39 m.M.

hebben met ionisatie alleen door het licht, en niet door andere oorzaken teweeggebracht. Waarnemingen werden gedaan, ter bepaling van het effect op en de absorptie in lucht, kooloxyd en waterstof. Het verloop der absorptielijnen met afnemenden druk in het absorbeërend gas bleek af te hangen van de spanning en van de soort gas in de ionisatiekamer. De afname der absorptie met de gasspanning vertoont hetzelfde algemeene karakter als de toename van het effect, en wel een plotselingen, of een geleidelijken, in het laatste geval vanaf een bepaalden druk steil afnemenden overgang tot absorptie nul.

Een verschijnsel, waarop verder de aandacht gevestigd dient te worden is de fluorescentie, die te zien is in de absorptiekamer.<sup>1)</sup> Deze fluorescentie wordt merkbaar bij den druk corresponderend met dien, waarbij het effect in het gas, wanneer dit in de ionisatiekamer onderzocht wordt,  $\infty$  wordt; ze neemt vervolgens toe, om bij zeer kleine waarde van den gasdruk weer af te nemen. De fluorescentie is het sterkst bij den druk waarbij het effectmaximum gevonden wordt. Wordt, wanneer de druk in de absorptiekamer zeer laag is, gas ingelaten, dan neemt de fluorescentie weer toe tot een maximum, en neemt bij verhooging van den druk weer af. Bij snel inlaten van het gas, ziet men het fluorescentielicht even opflitsen. De mogelijkheid bestaat, dat we bij de waargenomen verschijnselen in de ionisatiekamer hebben te maken of met de straling van het gas in de ontladingsbuis, of met stralen, uitgaande van het sterk fluoresceërend vloeispaatvenster, of soms met een effect veroorzaakt door het fluorescentielicht van het gas in de absorptiekamer. De laatste onderstelling is echter niet waarschijnlijk, daar het effect  $\infty$  zich ook voordeed bij gasspanningen in de absorptiekamer, waarbij het gas niet fluoresceerde. Daar, bij commuteeren van den stroom in de ontladingsbuis, geen of slechts een zeer zwak effect in de

---

<sup>1)</sup> Of een dergelijk verschijnsel zich ook voordeed in de ionisatiekamer kon door de inrichting van het toestel niet worden waargenomen.



ionisatiekamer werd waargenomen, is de mogelijkheid der tweede veronderstelling niet uitgesloten; in dit geval fluoresceerde namelijk het vloeispaat niet. Voor de eerste onderstelling pleit echter het feit, dat, bij hooger gasdruk in de buis, het effect bij kathode onder zich steeds, (ook bij het onderzoek met de stikstof- en de waterstofbuizen), eenigszins grooter betoonde dan in het tegenovergestelde geval. Of verschijnselen als de bovenbeschrevene zich ook voordoen bij ontladingsbuizen, gevuld met waterstof en stikstof bij zeer lagen druk, is niet onderzocht.

Bij een onderzoek van LYMAN <sup>1)</sup> dat ten doel had uit te maken, welk deel van het licht tusschen anode en kathode van ontladingen in verdunde waterstof het meeste ultraviolette stralen uitzendt, bleek, dat dit het licht om de kathode is. In het eerste hoofdstuk wordt beschreven, dat KAYE bij zijne proeven het licht om de WEHNELT-kathode het meest actief vond. Deze feiten verleen een grond aan de onderstelling, dat we hier werkelijk te maken hebben met eene straling van de sterk lichtende aureool om de kathode.

Volledigheidshalve zij ten slotte vermeld, dat het algemeen resultaat van deze waarnemingen evenwel ook hier niet met zekerheid duidt op het bestaan van selectieve effecten. Toch waren de omstandigheden in dit geval gunstiger, dan bij de vroeger beschreven waarnemingen. Terwijl anders het licht in de spectraalbuis zelve reeds eene niet lichtende, absorbeerende gaslaag te doorloopen had, was hier het gas lichtend tot aan het vloeispaatvenster. Hier was de bron voor de werkzame straling niet beperkt tot de onmiddellijke omgeving van den mond der capillair, doch al het gas onmiddellijk achter het vloeispaatvenster was in lichtenden toestand. Toch is het effect op kooloxyd niet het sterkst bevonden; waterstof werd sterker geïoniseerd, lucht minder sterk.

Evenmin is de absorptie in kooloxyd het sterkst. Ver-

---

<sup>1)</sup> Astrophys. J. 28, 53, 1908.

gelijking der absorptie in lucht en kooloxyd bij effect op kooloxyd doet zien, dat, hoewel het verloop der absorptie verschillend is, kooloxyd meer werkzame straling doorlaat dan lucht. Dat lucht de stralen, die lucht ioniseeren, sterker zou absorbeeren dan kooloxyd, was te verwachten; dat echter lucht de stralen, die kooloxyd ioniseeren, meer zou tegenhouden dan kooloxyd, volgens de vroeger geuite veronderstellingen niet.

---

Aan het slot van dit proefschrift volbrengt de schrijver gaarne de op hem rustende plicht hen, die hem in den loop van het onderzoek hun hulp verleenden, daarvoor zijn welgemeenden dank te brengen.

Vooreerst U, Hooggeleerde WERTHEIM SALOMONSON, ben ik veel verplicht voor de welwillende wijze, waarop ge mij indertijd uwe kostbare vloeispaatlens ter beschikking steldet. Ze is mij van groot nut geweest bij mijn onderzoekingen.

Ook U, collega's assistenten van het Fysisch Laboratorium, wil ik een woord van hartelijken dank wijden. Nooit heb ik te vergeefs mij tot U gewend, MOLL en BERGANSIUS, wanneer ik uw hulp of raad inriep; gij, jongere collega's SPIJKERBOER en VAN DER PLAATS, hebt mij vooral in den afgeloopen winter een grooten dienst bewezen, door zooveel in uw vermogen was mij de gelegenheid te geven mij rustig te kunnen wijden aan mijn eigen onderzoekingen.

---





## ERRATA.

---

- Op blz. 38 regel 22 van boven staat: «elecrometer» lees: «electrometer».
- Op blz. 48 regel 12 van boven staat: «vucuummeter» lees: «vacuummeter».
- Op blz. 51 regel 18 van boven en eveneens op blz. 64 regel 2 van boven staat: «verrichtte» lees: «verrichte».
- Op blz. 51 regel 20 van boven staat: «waarnemingreeksen» lees: «waarnemingsreeksen».
- Op blz. 52 regel 8 van onder staat: «apparaat glazen» lees: «glazen apparaat».
- Op blz. 60 regel 24 van boven staat: «stippen met schuine strepen door» lees: «stippen met schuine strepen».
- Op blz. 63 regel 20 van boven staat: «absortielijnen» lees: «absorptielijnen».
- Op blz. 70 regel 2 van boven staat: «stalen» lees: «stralen».



STELLINGEN.

## STELLINGEN.

---

### I.

Eene nauwkeurige bestudeering der lichtelectrische verschijnselen, veroorzaakt door ultraviolet licht, kan leiden tot gevolgtrekkingen omtrent de natuur van het licht.

### II.

De zoogenaamde «lichtelectrische vermoeienis» vindt zijn oorzaak in inwerking van ozon op de bestraalde oppervlakte.

### III.

Bij het vaststellen van eene eenheid van radioactiviteit dient, naast eene absolute eenheid, eene met eenvoudige instrumenten gemakkelijk te bepalen relatieve eenheid te worden ingevoerd.

### IV.

Een indeeling van de ultraviolette stralen op de wijze, als door LENARD <sup>1)</sup> is voorgesteld, is vooralsnog voorbarig te noemen.

---

<sup>1)</sup> Sitzungsberichte der Heidelberger Akademie der Wissenschaften 31<sup>er</sup> Abhandlung, 35, 1910.



## V.

Hoewel de veronderstelling van EINSTEIN, dat de energie van het licht discontinu over de ruimte verdeeld is, in staat stelt, van vele waargenomen verschijnselen eene bevredigende verklaring te geven, en enkele gevolgtrekkingen, gegrondvest op gedachten als bovenstaande, inderdaad bevestigen zijn gevonden, mogen toch de bedenkingen, die tegen eene dergelijke hypothese van het standpunt der electromagnetische lichttheorie zijn aan te voeren, niet worden onderschat.

## VI.

De afwijkingen van de wet van DULONG en PETIT kunnen op eene bevredigende wijze verklaard worden met behulp der lichtquantenhypothese.

## VII.

Er bestaat geen reden om bij structuurbepalingen een invloed van sterische belemmering aan te nemen.

## VIII.

Diamant kristalliseert in de holoedrische afdeeling van het reguliere stelsel.

## IX.

Eene grondige discussie van het in 1905 en 1906 op Mount Wilson verkregen waarnemingsmateriaal had ABBOT en FOWLE moeten weerhouden de meening uit te spreken omtrent een besliste veranderlijkheid der zonneconstante.

## X.

De definitie, die RAFFY in zijn «Leçons sur les applica-

tions géométriques de l'analyse» geeft voor het raakvlak aan een regelvlak, is onbevredigend.

## XI.

De methode van GRÄFFE voor de benadering der wortels eener hoogere machtsvergelijking, is te verkiezen boven de in LABATTO'S «Lessen over de hoogere algebra» behandelde van NEWTON-HORNER.

## XII.

Het voorkomen van vrije electrische ladingen in de onderste lagen der aardatmosfeer en een periodiek stijgen en dalen van de lagen, waarin zich vrije ladingen kunnen ophoopen, kan beschouwd worden als de oorzaak van de dagelijksche periode in de intensiteit van het electrische veld der aardatmosfeer op verschillende hoogten boven de aarde.

---



f14705

# Beschrijving der toestellen.

|           |           |          |
|-----------|-----------|----------|
| Fig. I.   | . . . . . | blz. 22. |
| Fig. II.  | . . . . . | » 25.    |
| Fig. III. | . . . . . | » 26.    |
| Fig. IV.  | . . . . . | » 27.    |
| Fig. VI.  | . . . . . | » 32.    |

PLAAT I

FIG: I.

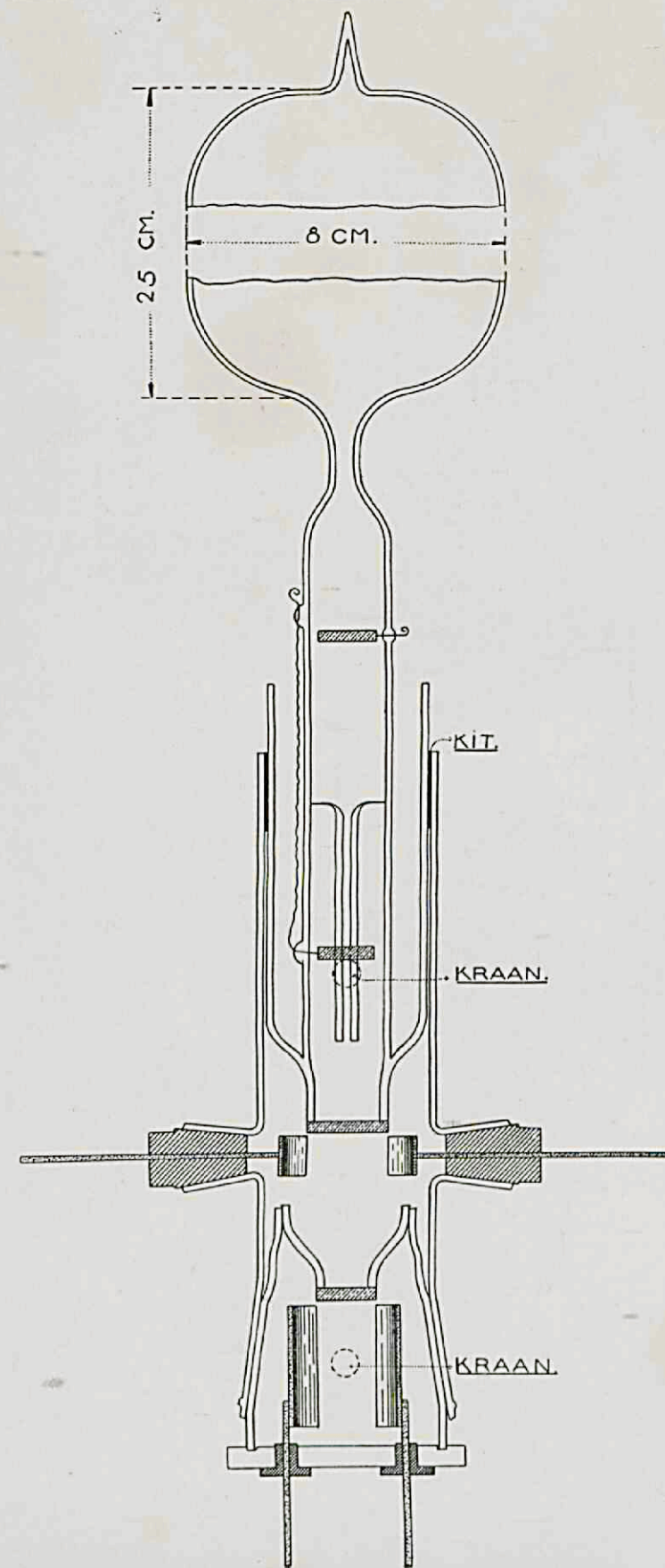


FIG: II.

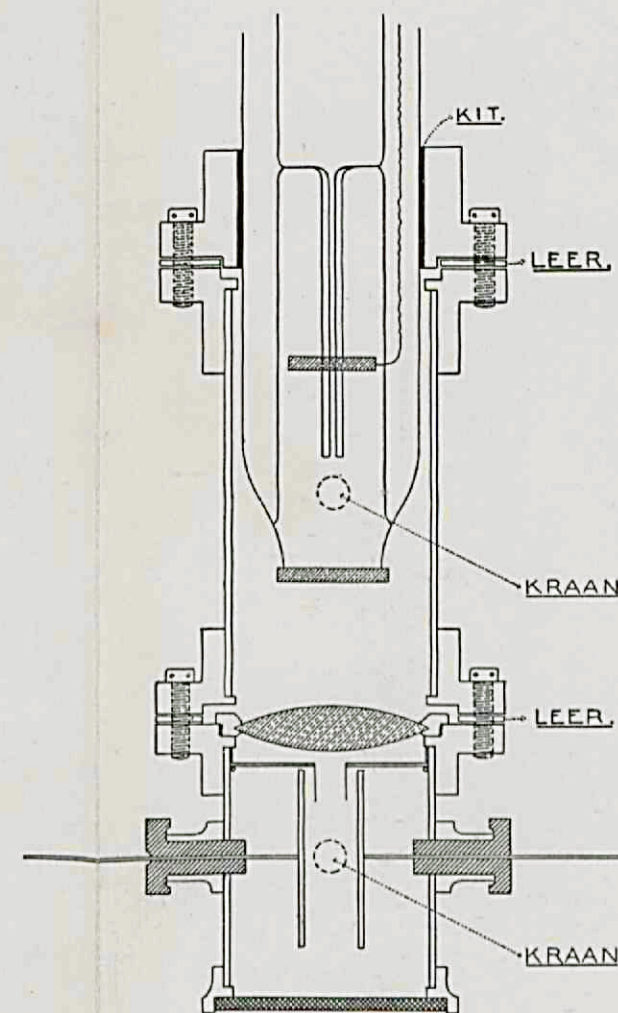


FIG: III.

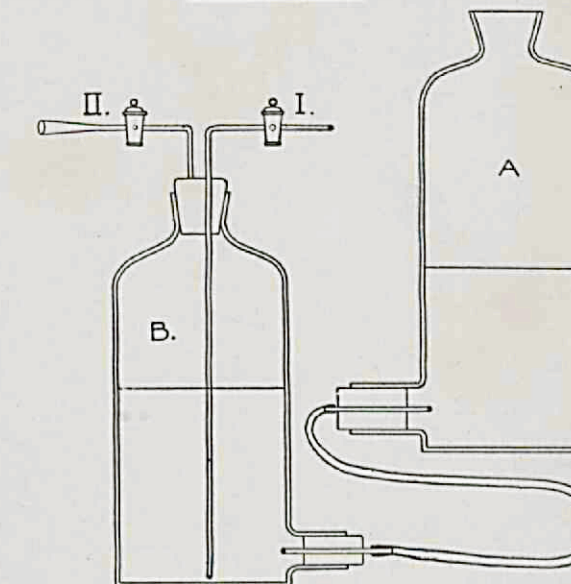


FIG: VI.

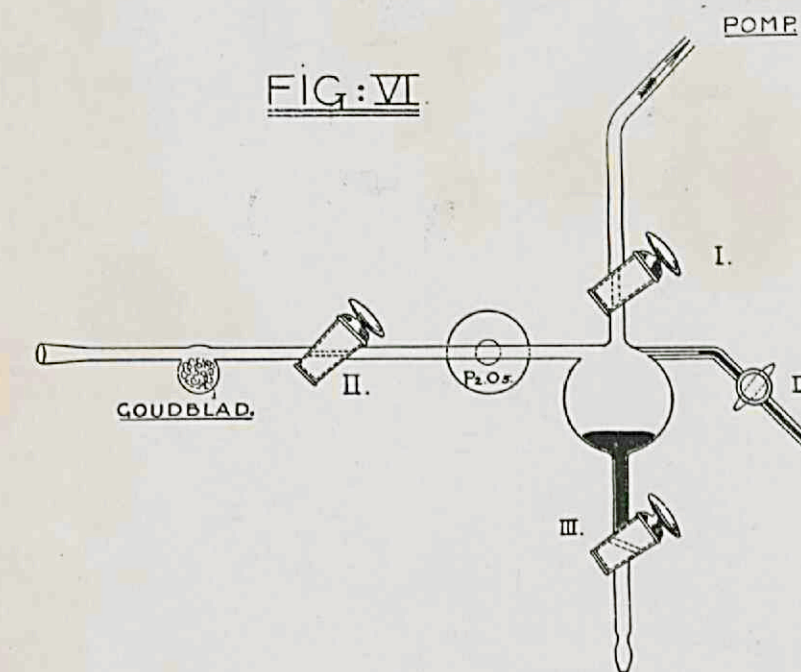


FIG: IV.

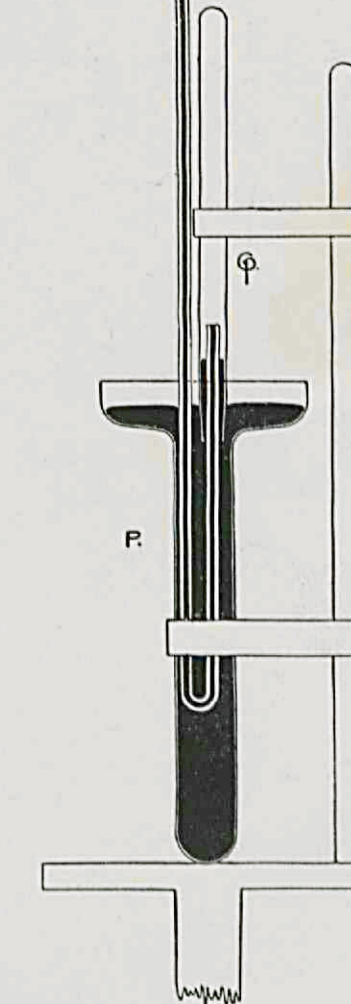
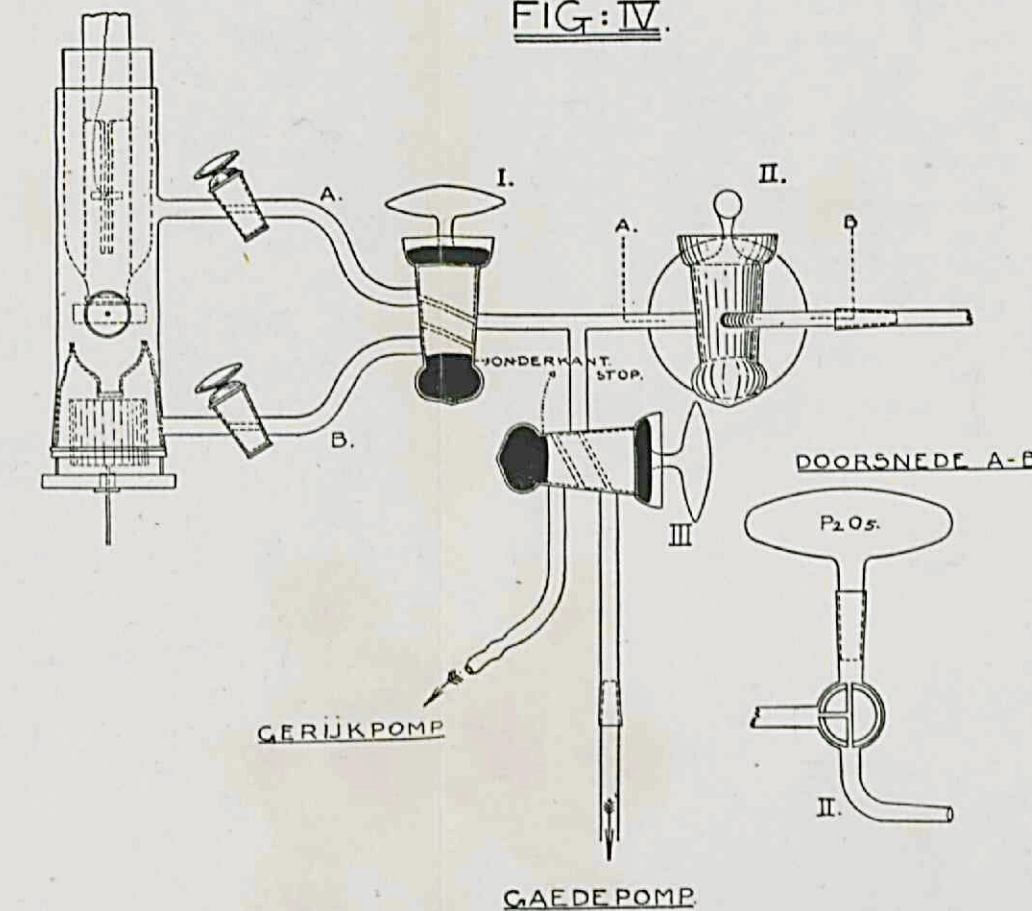
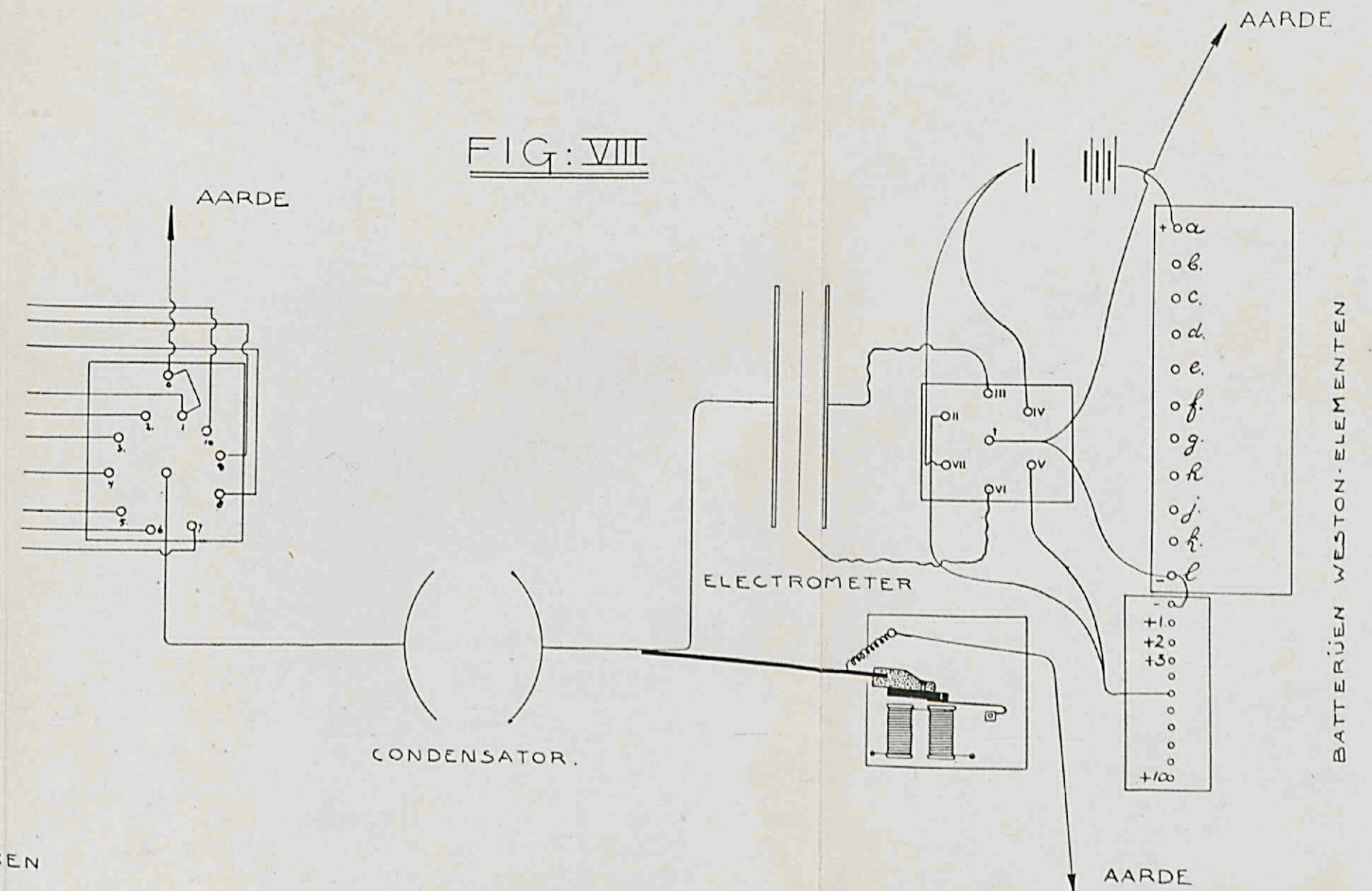
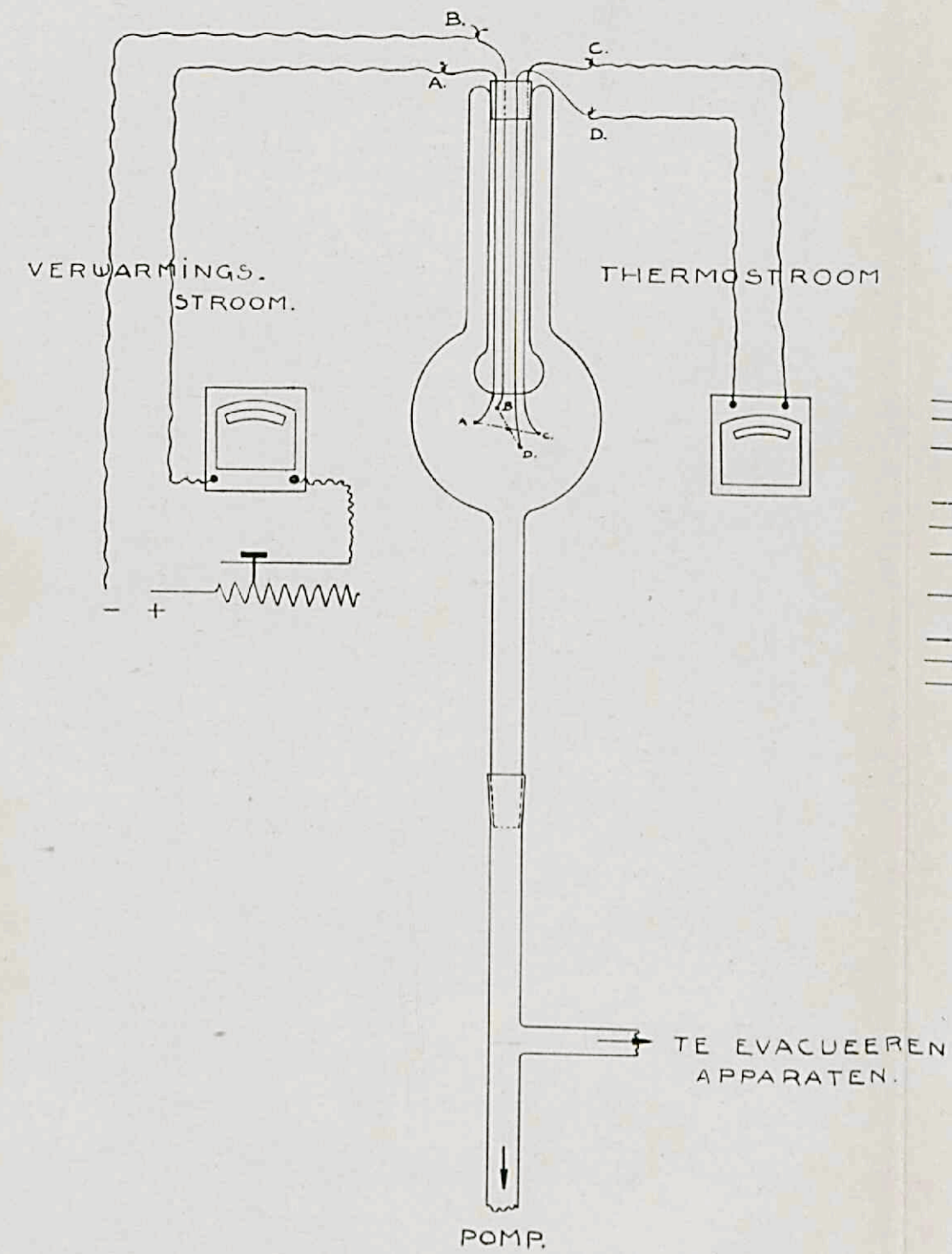
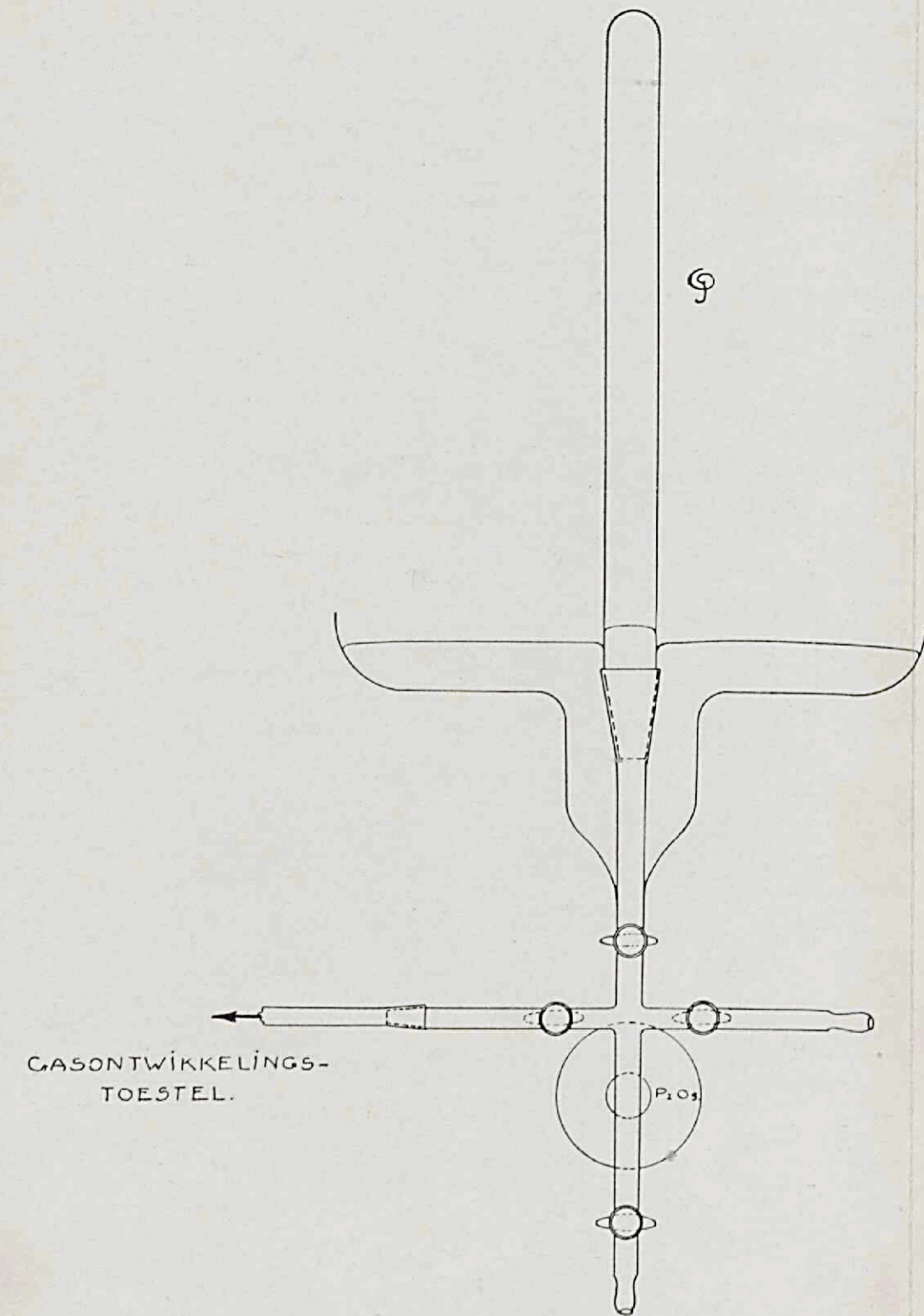




FIG: VII.

FIG: VIII

Fig. VIII. . . . » 37.





1<sup>e</sup> Waterstofbuis.  
Gasspanning 1,2 m.M.

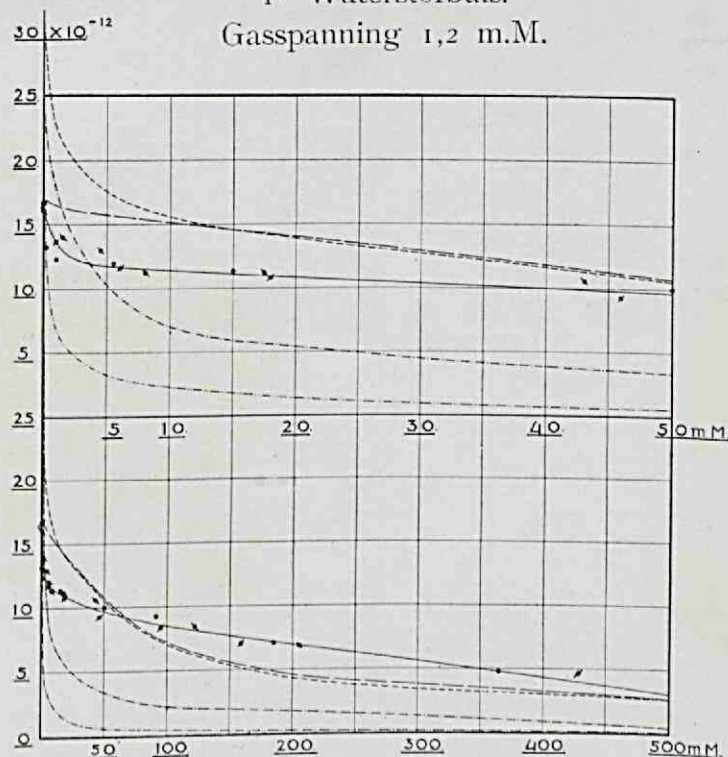


Fig. 1.

Kooloxydbuis.

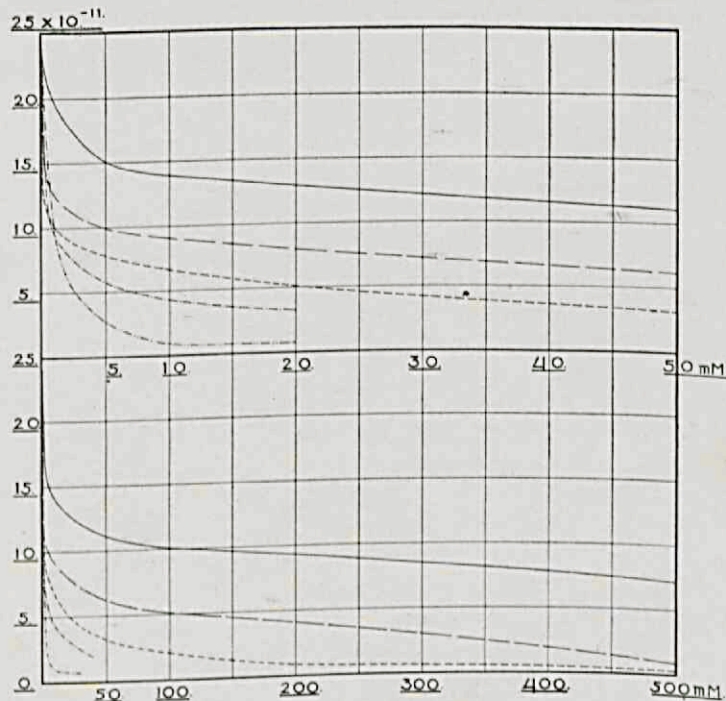


Fig. 3.

— Waterstof,  
- - - Kooloxyd.  
▲ Stikstof.

2<sup>e</sup> Waterstofbuis.  
Gasspanning 1,0 m.M.

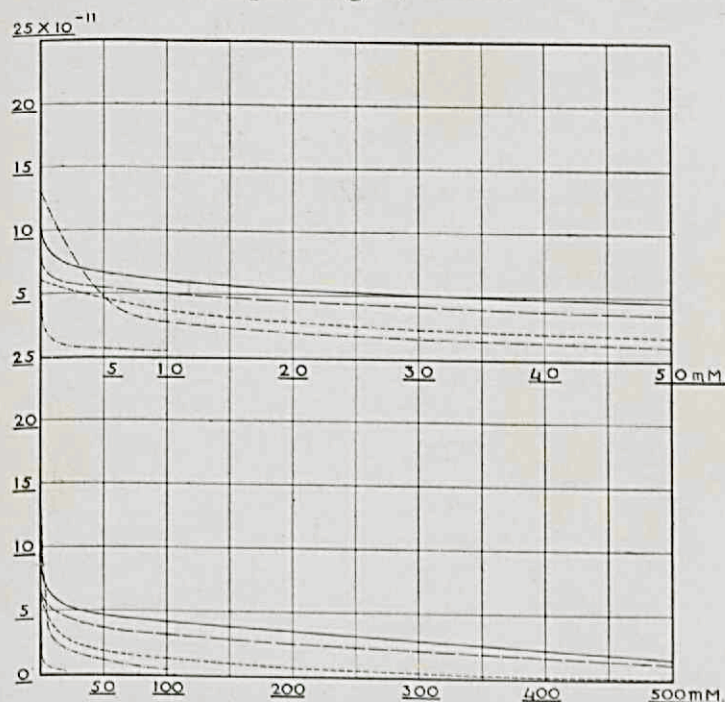


Fig. 2.

Stikstofbuis.

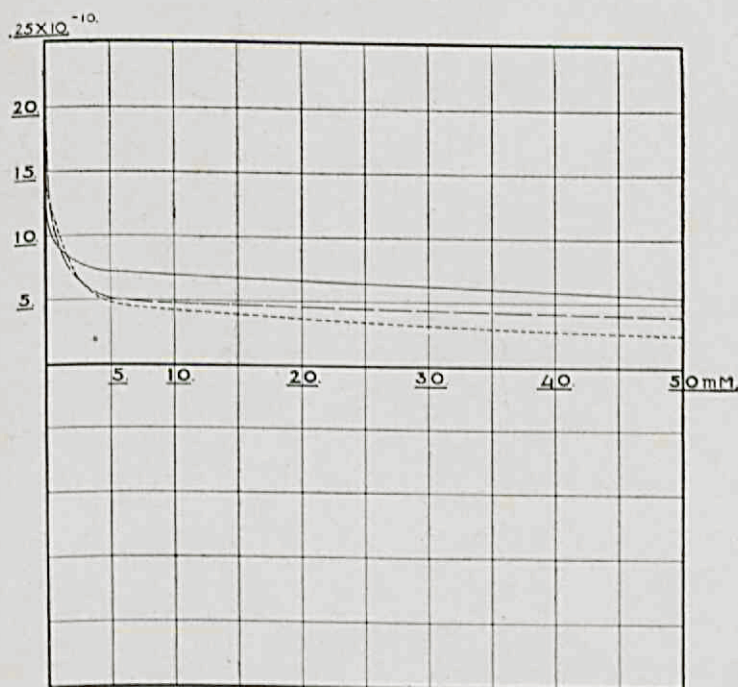


Fig. 4.

- - - Lucht.  
- - - Zuurstof.

In de absorptiekamer steeds zeer lagen gasdruk.

In de ionisatiekamer  $H_2$ ,  $CO$ ,  $N_2$ , lucht,  $O_2$ , bij afnemende spanningen van 500 m.M. tot hoogvacuum.



1<sup>e</sup> Waterstofbuis.

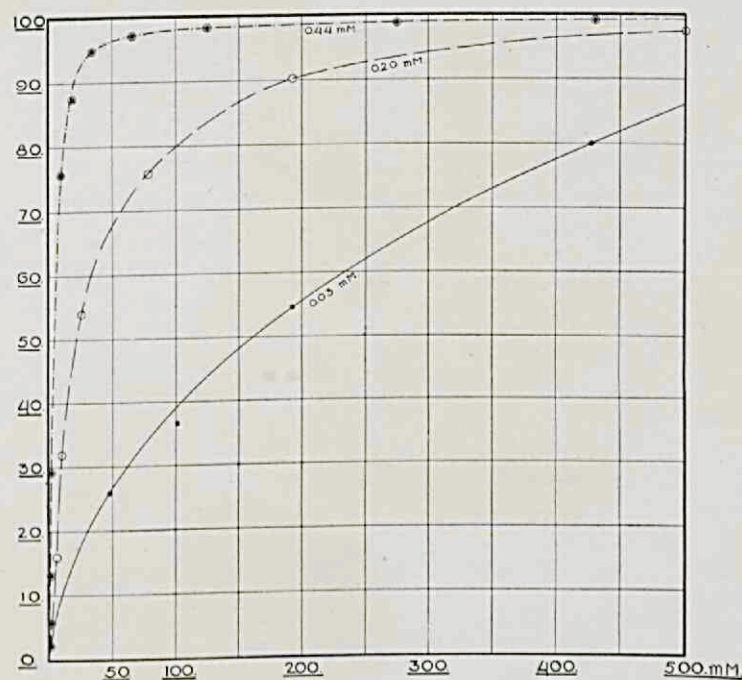


Fig. 1.

2<sup>e</sup> Waterstofbuis.

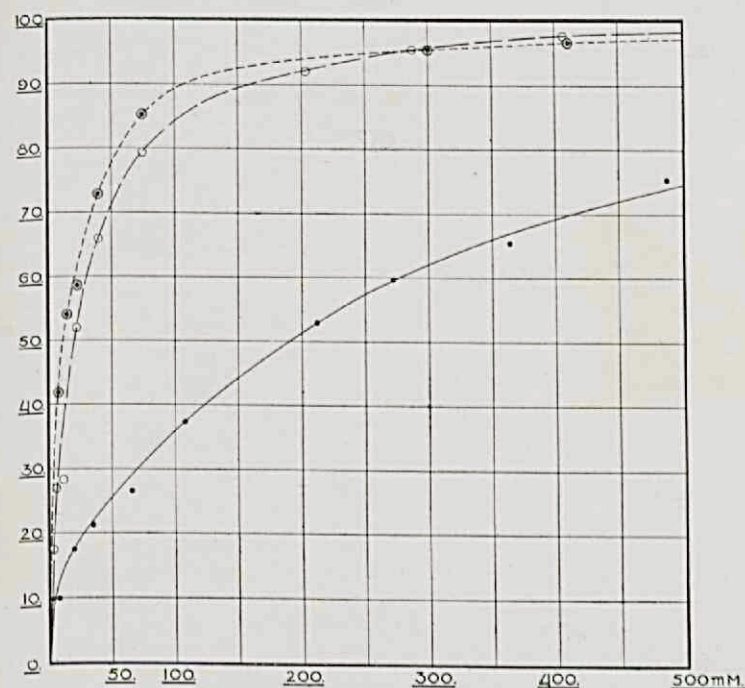


Fig. 2.

kooloxydbuis.

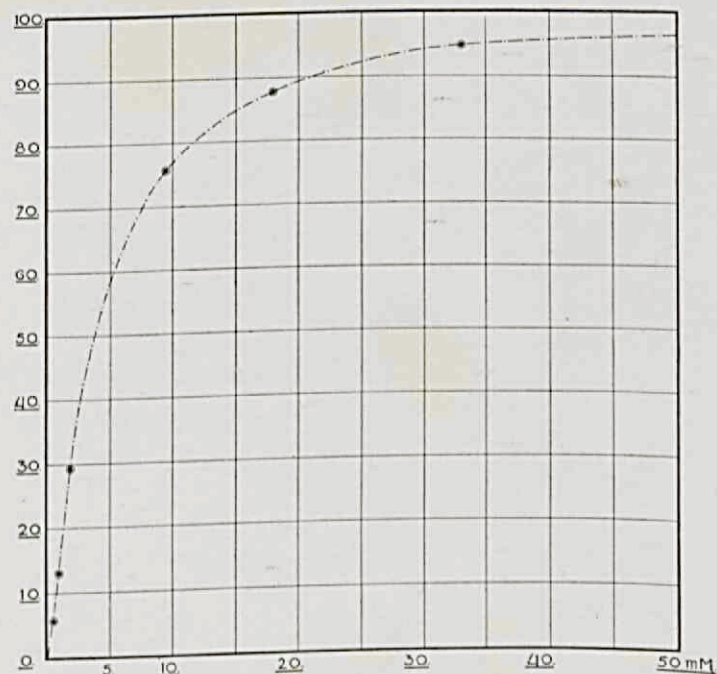


Fig. 4.

Geeft de luchtlijn van fig. 1 tot 50 m.M.

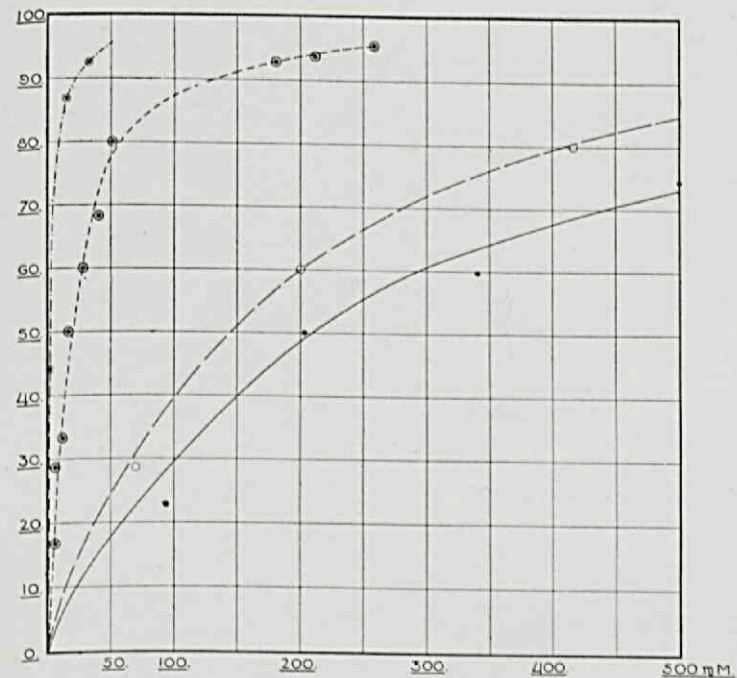


Fig. 3.

In de absorptiekamer  $H_2$ ,  $CO$ ,  $N_2$ , lucht,  $O_2$ , bij spanningen van 500 m.M. tot hoogvacuum.  
In de ionisatiekamer steeds lucht van lage spanning.



# ABSORPTIEWAARNEMINGEN MET 1<sup>e</sup> WATERSTOFBUIJS.

PLAAT V.

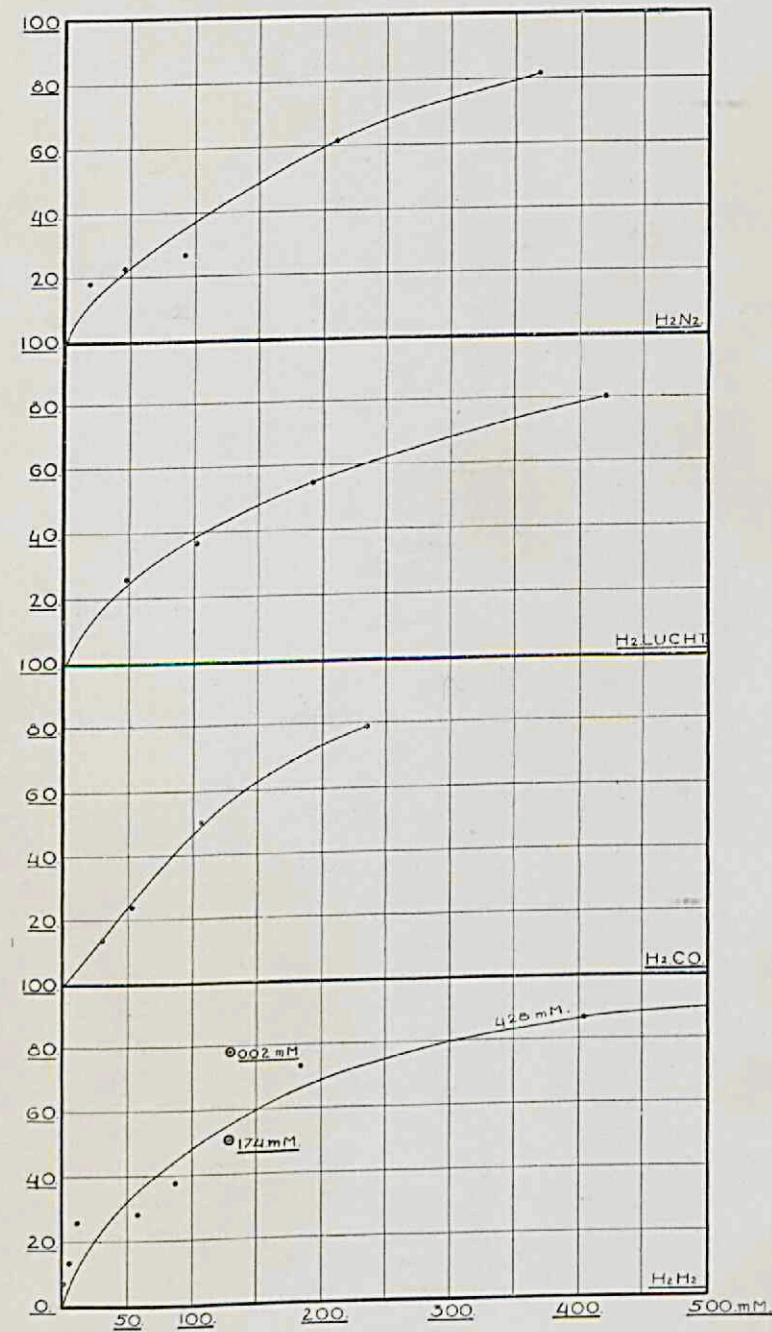


Fig. 1.

In de absorptiekamer  $H_2$ .  
In de ionisatiekamer  $H_2$ , CO, lucht,  $N_2$ .

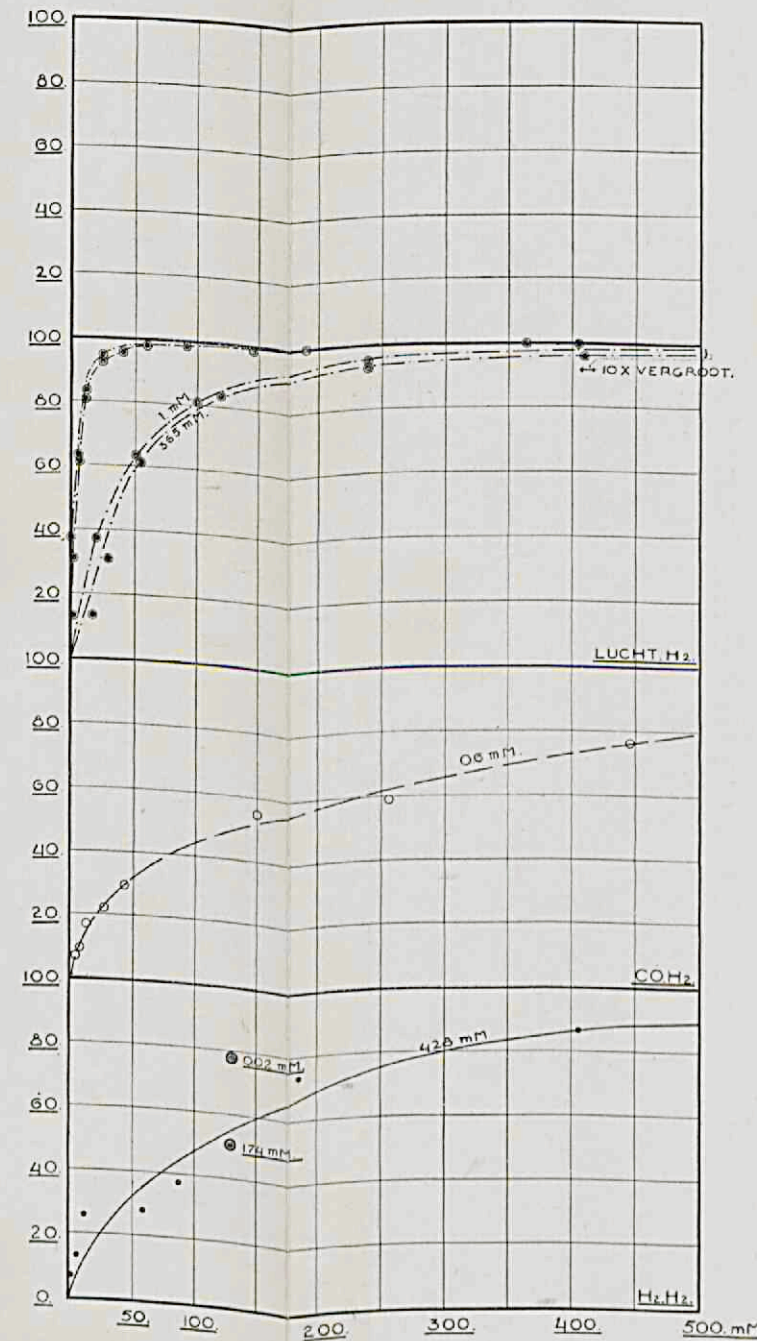


Fig. 2.

In de absorptiekamer  $H_2$ , CO, lucht, ( $N_2$  ontbreekt).  
In de ionisatiekamer  $H_2$ , (gasdruk bij de lijnen  
aangegeven).

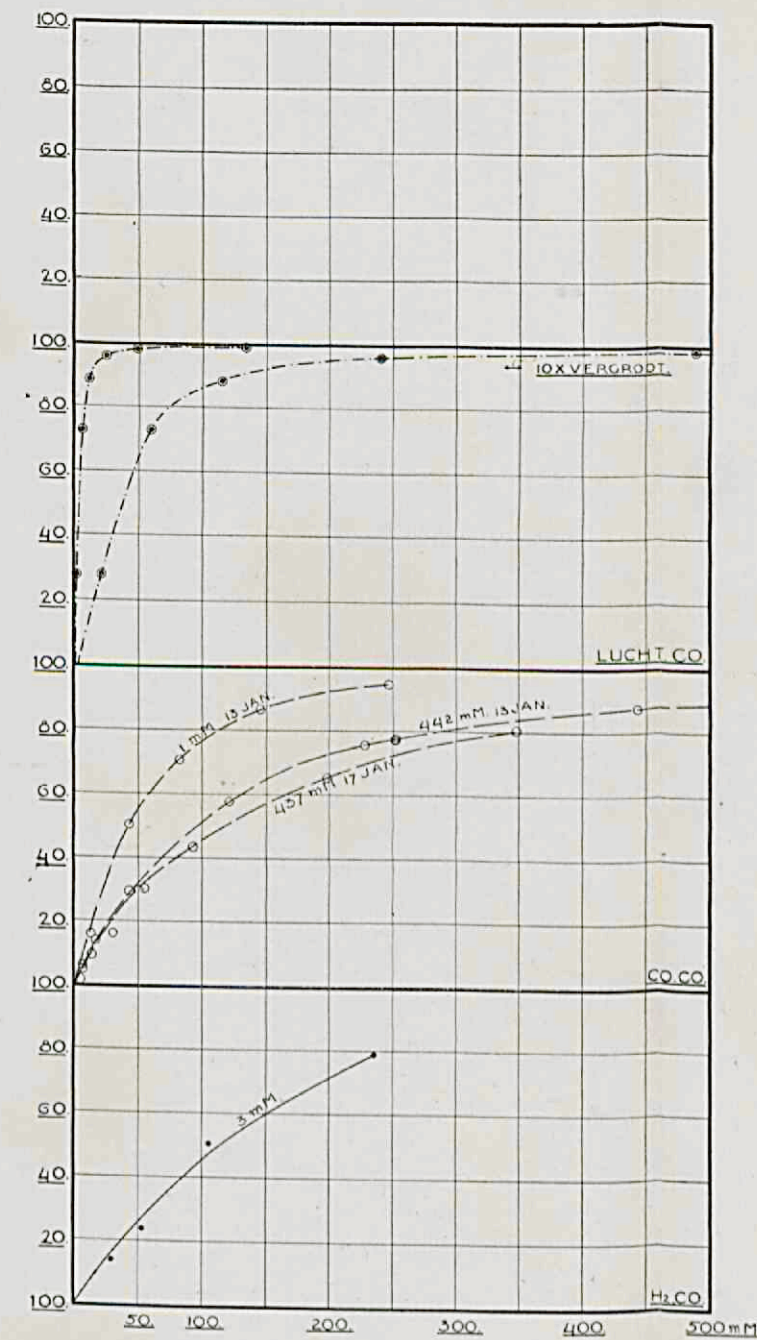


Fig. 3.

In de absorptiekamer  $H_2$ , CO, lucht, ( $N_2$  ontbreekt).  
In de ionisatiekamer CO, (gasdruk bij de lijnen  
aangegeven).

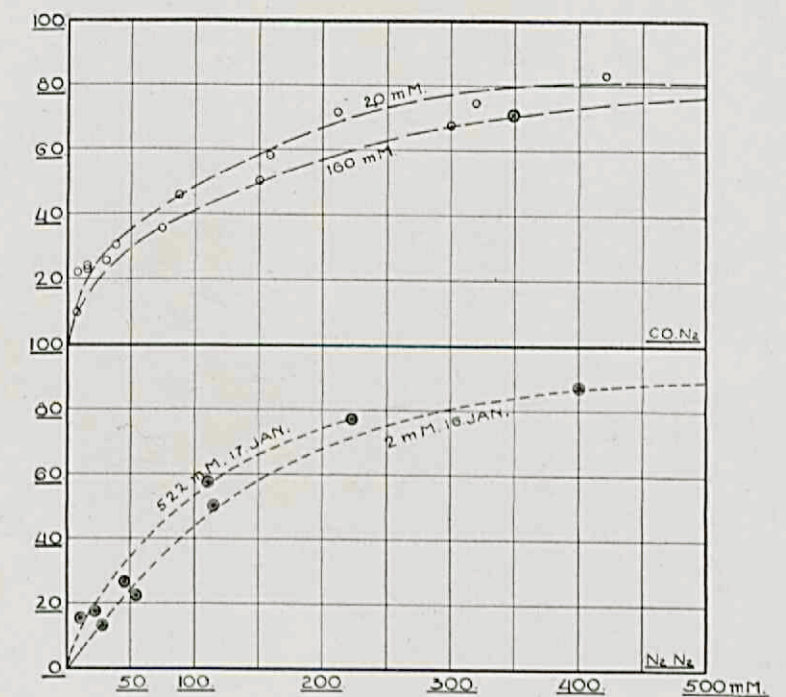
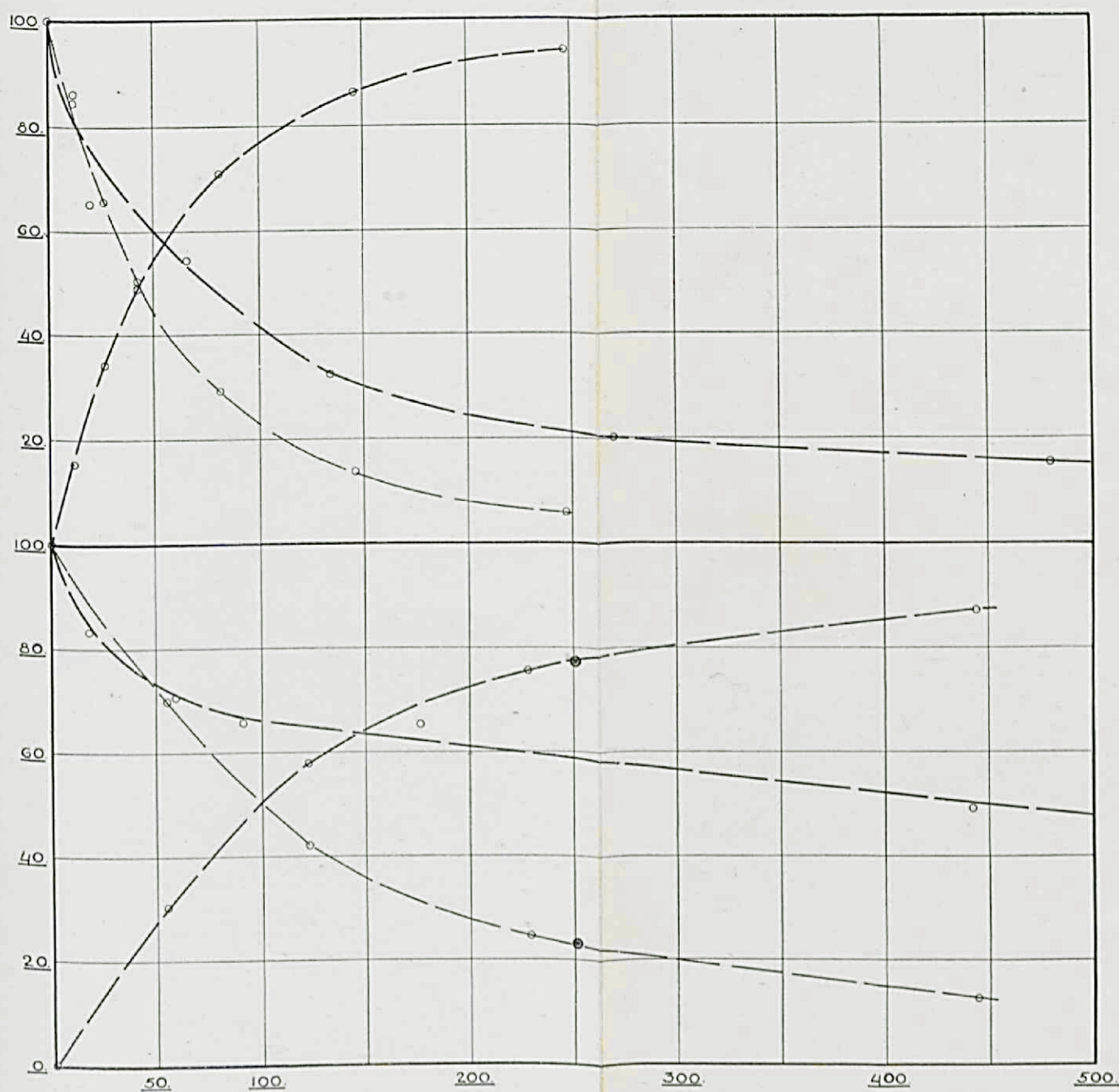


Fig. 4.

In de absorptiekamer  $N_2$ , CO.  
In de ionisatiekamer  $N_2$ , (gasdruk bij de lijnen  
aangegeven).





Vergelijking der absorptie- en effectlijnen voor kooloxyd.

Stralingsbron 1<sup>e</sup> Waterstofbuis.

|            |              |                           |                           |
|------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
| Bovenhelft | effectlijn   | bij lagen gasdruk in de   | absorptiekamer (0,5 m.M.) |
|            | absorptielyn | ionisatiekamer (1,0 m.M.) |                           |
| Onderhelft | effectlijn   | bij hoogen gasdruk in de  | absorptiekamer (251 m.M.) |
|            | absorptielyn | ionisatiekamer (442 m.M.) |                           |

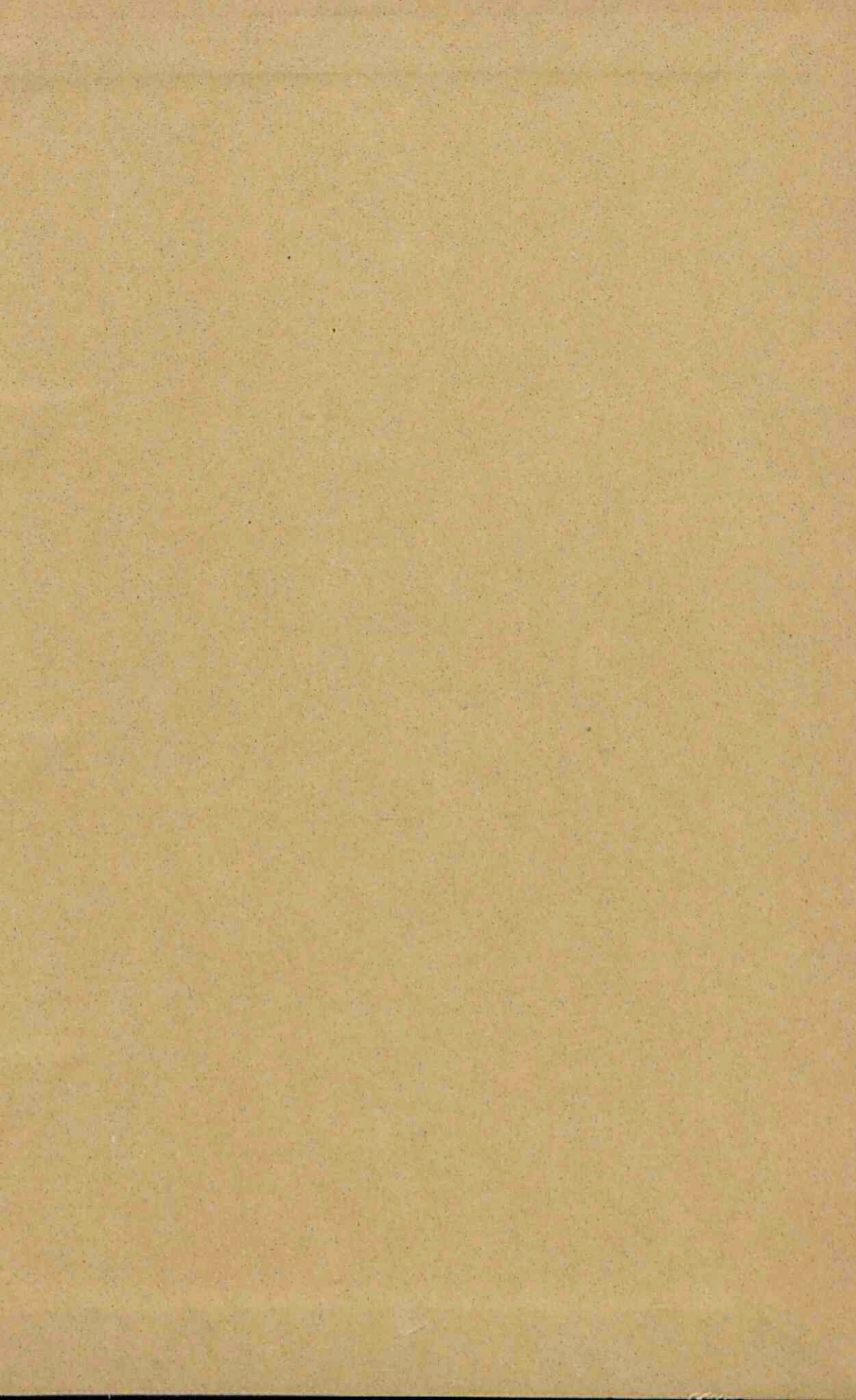
De lichtere dalende lijn geeft de reciproke absorptielyn.













U  
1