



Onderzoekingen in het spectrum van helium

<https://hdl.handle.net/1874/289258>

ONDERZOEKINGEN
IN HET
SPECTRUM VAN HELIUM

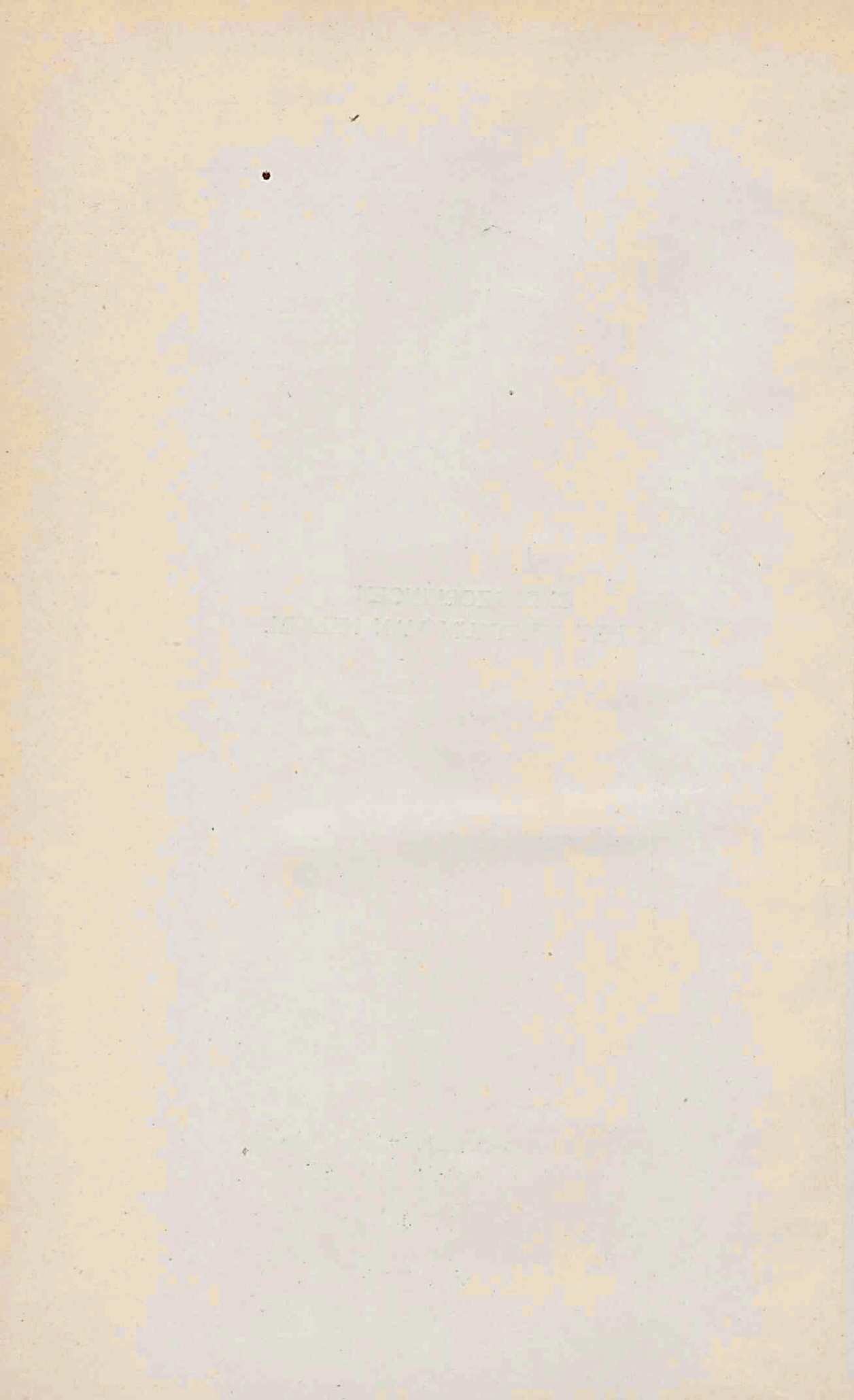
DOOR

D. BURGER

BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.

s.
cht

ONDERZOEKINGEN
IN HET SPECTRUM VAN HELIUM.



Diss. Utrecht 1928

ONDERZOEKINGEN IN HET SPECTRUM VAN HELIUM

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN GRAAD
VAN DOCTOR IN DE WIS- EN NATUURKUNDE, AAN
DE RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT, OP GEZAG
VAN DEN RECTOR MAGNIFICUS DR. B. J. H. OVINK,
HOOGLEERAAR IN DE FACULTEIT DER LETTEREN
EN WIJSBEGEERTE, VOLGENS BESLUIT VAN DEN
SENAAT DER UNIVERSITEIT TEGEN DE BEDENKIN-
GEN VAN DE FACULTEIT DER WIS- EN NATUUR-
KUNDE TE VERDEDIGEN OP MAANDAG 25 JUNI 1928,
DES NAMIDDAGS DRIE UUR, DOOR

DIONIJS BURGER

GEBOREN TE AMSTERDAM

J. MUUSSES
PURMEREND MCMXXVIII

**BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT**

19. JUN. 1928

UTRECHT.

AAN MIJN OUDERS

Bij het voltooiën van mijn proefschrift, zij het mij vergund, dank te zeggen aan allen, die tot mijn wetenschappelijke vorming hebben bijgedragen.

In de eerste plaats dank ik U, Hooggeleerden aan de Universiteiten te Amsterdam en te Utrecht voor het van U genoten onderwijs.

In het bijzonder dank ik U, Hooggeleerde Ornstein, hooggeachte Promotor, niet alleen voor Uw raad en steun bij mijn werk, maar bovenal voor Uw opwekkende belangstelling, die voor mij de onmisbare stuwkracht was bij het dikwijls ontmoedigende wetenschappelijk onderzoek.

Ook U, Zeergeleerde H. C. Burger, dank ik voor Uw raadgevingen en voor de belangstelling, die Gij steeds voor mijn werk toondet.

Ontvang, Waarde Willemse, mijn dank voor de hulp, die Gij met Uw technische kennis mij hebt mogen geven.

Tenslotte dank ik den Heer Kuipers, den glasblazer, wiens kunde op dit onderzoek van grooten invloed is geweest.

Verder dank ik U allen, die door een gemeenschappelijke geest van vriendschap gedreven, op het Physisch Laboratorium te Utrecht een sfeer schept, die het wetenschappelijk werk ten zeerste beïnvloedt.

INHOUD

EERSTE DEEL — DE SCHIJNBAAR DUBBELE LIJNEN IN HET SPECTRUM VAN HELIUM

	blz.
EERSTE HOOFDSTUK	
1 — Inleiding	1
2 — Vroegere onderzoekingen	4
TWEEDE HOOFDSTUK	
3 — De opstelling	13
4 — Wijze van onderzoek	15
DERDE HOOFDSTUK — WAARNEMINGEN EN UITKOMSTEN	
5 — De onderzochte lijnen	21
6 — De eerste lijn van de diffuse reeks	22
7 — De tweede en derde lijn van de diffuse reeks	27
8 — De eerste drie lijnen van de scherpe reeks	29
9 — Bespreking der resultaten	32
10 — Waarnemingen met buisjes met geringe gas- vulling	34
VIERDE HOOFDSTUK	
11 — Nabeschouwingen	38

TWEEDE DEEL — DE LIJNENREEKSEN IN HET SPEC- TRUM VAN HELIUM

EERSTE HOOFDSTUK	
1 — Inleiding	39
2 — Intensiteitsmetingen van vroegere onderzoekers	44
TWEEDE HOOFDSTUK	
3 — De gebruikte instrumenten	59
4 — Wijze van onderzoek	60

DERDE HOOFDSTUK — WAARNEMINGEN EN UITKOMSTEN

5 — Voorloopige waarnemingen	69
6 — Waarnemingen met de spectrograaf van Hilger aan glazen heliumbuisjes	74
7 — Waarnemingen in het rood	79
8 — Waarnemingen met buisjes van kwarts	81
9 — Het intermittentic-verschijnsel	84
10 — De invloed van de omstandigheden	88
11 — Waarnemingen met een glazen buis met een capillair van kwarts	91
12 — Slotbeschouwing	95
SUMMARY	101

EERSTE DEEL

De schijnbaar dubbele lijnen in het spectrum van Helium

EERSTE HOOFDSTUK

1. INLEIDING

Zooals algemeen bekend is, bestaat het spectrum van helium uit twee hoofdgroepen. De eerste, vroeger wel het spectrum van *para-helium* genoemd, bestaat uit enkelvoudige lijnen, de tweede, vroeger het spectrum van *ortho-helium* genoemd, bevat de dubbele lijnen, waarover in dit deel zal worden gesproken. De bekendste dubbele lijn is de gele lijn 5876, die uit twee componenten bestaat, een hoofdlijn met een golflengte van $5875,618 \text{ \AA}$ en een satelliet van $5875,960 \text{ \AA}$ golflengte. Deze lijn is de eerste van de zoogenoemde *eerste bijreeks* of *diffuse reeks*, waarvan de lijnen worden voorgesteld door het symbool $2p\text{-}md$, waarin voor m de waarden 3, 4, 5, enz. moeten worden gesubstitueerd. Een tweede reeks dupletten biedt ons de *tweede bijreeks* of *scherpe reeks*, die door $2p\text{-}ms$ wordt voorgesteld, waarin wederom voor m achtereenvolgens de waarden 3, 4, 5, enz. moet worden ingevuld.

De lijnen van de diffuse reeks ontstaan door een

sprong van een d -niveau naar het $2p$ -niveau, die van de scherpe door een sprong van een s - naar het $2p$ -niveau. Dit eindniveau wordt als een dubbel niveau waargenomen, daar zoowel de leden van de diffuse als van de scherpe reeks tweevoudig zijn. Daar de twee reeksen hetzelfde eindniveau hebben, vindt men bij beide dezelfde splitsing. Nu is het natuurlijk mogelijk, dat ook de beginniveaus gesplitst zijn, maar dat die splitsing zoo gering is, dat deze in onze spectrographen niet is waar te nemen, maar alleen zou kunnen worden geconstateerd, wanneer wij zouden beschikken over spectraalinstrumenten met grooter oplossend vermogen, dan wij ter beschikking hebben. De gebruikte spectraaltoestellen geven ons dubbele lijnen te zien.

Nu is het voor onze kennis van de bouw der atomen van veel gewicht meer aangaande deze lijnen te weten te komen. Het heliumatoom is op dat van waterstof na het eenvoudigst, doordat het uit een kern en slechts twee electronen bestaat. Het is nummer twee van het natuurlijke systeem en het ligt voor de hand, dat onze kennis omtrent de bouw der atomen niet veel voortgang kan hebben, zoolang het helium zich tegen de regels, die wij uit andere spectra meenen te hebben afgeleid, hardnekkig blijft verzetten. Want volgens deze regels verwachten wij bij helium geen dubbellijnen.

De *wisselwet* van Sommerfeld leert namelijk, dat de multipliciteit der spectraallijnen in de opeenvolgende

kolommen van het natuurlijke systeem afwisselend even en oneven is. Bij de alcaliën treden bijvoorbeeld slechts even multipliciteiten op; we noemen slechts de gele natriumlijn, die uit twee lijnen bestaat. Het element helium staat in de kolom, die aan de alcaliën voorafgaat. Hier zou men slechts enkelvoudige lijnen, tripletten, quintetten, enz. verwachten.

In de tweede plaats is door L. S. Ornstein en H. C. Burger¹⁾ reeds opgemerkt, dat de gele heliumlijn in geen geval een gewone dubbellijn is, zooals men bij de alcaliën vindt. De verhouding der intensiteiten der twee lijnen bij deze dupletten is namelijk steeds 1:2²⁾, en voorloopige metingen aan de gele heliumlijn leverden een verhouding van ongeveer 1:6.

Om deze beide redenen ligt de verwachting voor de hand, dat de dupletten in het heliumspectrum geen dupletten zijn, maar complexen uit meer, bijvoorbeeld drie, vijf of zeven, lijnen bestaande, waarvan er enkele zoo dicht opeen staan, dat de spectraalinstrumenten ze niet vermogen op te lossen. Het eenvoudigste geval, dat wij op grond van de wisselwet zouden verwachten, is, dat wij hier met tripletten te doen hebben. De intensiteitsverhouding, die wij dan moeten vinden, is echter 1:3:5. Door samenvoeging van twee componenten kunnen wij dan echter niet tot een verhouding 1:6 komen. Een nader onderzoek

¹⁾ Zie blz. 10.

²⁾ Bij de tweede lijn van de hoofdreeks van caesium bestaat in dit opzicht een nog niet verklaarde afwijking.

van de verhouding der intensiteiten in de dupletten bij helium is dus van groot belang.

2. VROEGERE ONDERZOEKINGEN

Reeds verscheidene malen vindt men in de literatuur de opmerking, dat de gele heliumlijn niet uit twee, maar uit drie componenten zou bestaan. Soms meenden de onderzoekers dit af te kunnen leiden uit de intensiteitsverdeeling over de breedte van de heldere component van het schijnbare duplet, soms uit het gedrag van deze lijn in het magnetische veld, soms ook meenden zij een splitsing van de heldere component te hebben waargenomen. De verschillende verhandelingen, waarin over de splitsing wordt gesproken, zullen wij in chronologische volgorde bespreken.

P. G. Nutting. Line-structure I. Astrophysical Journal 23, 64, 1906.

In dit artikel worden enkele spectraallijnen van verschillende elementen besproken, die dienst kunnen doen voor de bepaling van de golflengten in spectra. Om voor dit doel bruikbaar te zijn, moet een lijn in de eerste plaats smal zijn. De roode heliumlijn 6678, dat is de singulet-lijn $2P-3D$, eigent zich hiertoe volgens de schrijver zeer goed, daar deze zeer scherp en smal is en geen satellieten heeft. Anders is het met de gele heliumlijn, die een tamelijk groote breedte heeft. Evenwel zijn de kanten van de hoofdlijn zoowel

als van de satelliet scherp, en beide zijn vrij van satellieten. Het uiterlijk van de heldere lijn doet echter het bestaan van onopgeloste componenten vermoeden. Er werd een poging in het werk gesteld, een splitsing te vinden door middel van een interferometer volgens Fabry en Perot, maar zonder succes.

De heldere component van de lijn 4472 wordt beschreven als enkel, breed en even scherp begrensd als de heldere component van de gele lijn.

P. G. Nutting. Line-structure III. Relation of width to intensity of normal lines. Astrophysical Journal 24, 111, 1906.

Bij deze onderzoeken werd, evenals bij de hierboven besprokene, gebruik gemaakt van een trappenrooster. Dit instrument, dat uitvoerig in het eerste der drie artikelen van Nutting wordt besproken, was gemaakt door Petitdidier. Het was samengesteld uit 30 platen van 15 mm dikte met treden van 0,5 mm. De platen waren niet achter elkaar in het instrument vastgeklemd, maar lagen los op elkaar om elastische spanningen te voorkomen. Met een gewone monochromator werd een klein deel van het spectrum dwars op de spleet geworpen, waardoor een groter gedeelte van het spectrum tegelijkertijd in het toestel was te zien. Wanneer de spleet van de monochromator 0,2 à 0,3 mm breed was, verschenen de lijnen in het échelon met voldoende lengte om te worden waargenomen. Bij deze opstelling vallen spookbeelden door hun plaats

onmiddellijk in het oog.¹⁾ Een ander voordeel is, dat men tegelijkertijd een grooter deel van het spectrum kan overzien.

De dispersie van het échelon was zoo groot, dat de spectra van verschillende orde in het groen ongeveer een halve Angström-eenheid uit elkaar lagen, waardoor lijnstructuren konden worden bestudeerd tot lijnen van die breedte. Het oplossend vermogen was ongeveer acht maal zoo groot, als van een hol rooster met een kromtestraal van 21 voet.

Ook de gele heliumlijn werd onderzocht. Het helium bevond zich in een buisje van Plücker (Geissler), dat door een 5000 volt transformator werd gevoed. De intensiteit werd gevariëerd door de primaire stroomsterkte te veranderen. De spleet van het échelon was bij de proefnemingen 14 en 24 mikron breed. De lijnbreedte bleek sterk met de intensiteit te variëren en was voor lage intensiteiten hiermee evenredig. Voor groote intensiteit vond men een naar verhouding te kleine breedte. Wanneer men extrapoleerde voor een intensiteit nul, dan was de breedte $0,040 \text{ A}^0$. Visueele waarneming bevestigde dit, want voor intensiteiten, die veel kleiner waren, dan de kleinste, waarbij de breedte met eenige nauwkeurigheid gemeten kon worden, verscheen de lijn

¹⁾ Dit zal de schrijver bedoelen, wanneer hij zegt: With the ordinary arrangement — both slits vertical — a spectral impurity appears as a satellite. With this arrangement the lines due to an impurity appear longitudinally displaced and are easily detected.

meer als een bandje dan als een dunne lijn.

Het voorkomen van de lijn deed vermoeden, dat het een onopgelost complex is. De schrijver beweert, onder buitengewoon gunstige omstandigheden, die echter niet nader worden gedefiniëerd, een zwakke splitsing in twee componenten te hebben gezien. Als de lijn uit twee componenten bestond, ieder van een breedte nul, dan zou volgens de schrijver de gevonden limiet-breedte van $0,040 \text{ Å}^0$ de afstand tusschen de beide componenten voorstellen.

Lord Rayleigh. Some measurements of wavelengths with a modified apparatus. Phil. Mag. (6) 11, 685, 1906.

Deze onderzoeker bepaalde de golflengte van spectraallijnen met een eenigszins gewijzigde interferometer volgens Fabry en Perot (étalon). Bij de gele heliumlijn (5876) vond hij een kleine afwijking. Hij merkt hierbij op, dat de waarnemingen aan deze lijn mogelijkerwijze eenigszins vertroebeld zijn door een component van zwakke intensiteit, die niet van de hoofdlijn kan worden gescheiden, zoodat in zijn toestel de twee lijnen bijna, maar toch niet geheel, samenvallen.

W. Lohmann. Beiträge zur Kenntnis des Zeemanphänomens. Zeitschrift f. wiss. Phot. 6, 1 en 41, 1908.

De splitsing van de lijn 5876 in een magnetisch veld werd waargenomen met een trappenrooster (échelon) van A. Hilger te Londen, dat uit 32, 1 cm dikke, glasplaten bestond. De breedte der

treden bedroeg 1 mm. De splitsing van de lijn bleek ingewikkelder te zijn, dan vermoed werd, waardoor de veronderstelling voor de hand lag, dat de structuur van de hoofdlijn complex is. Behalve een triplet, dat verwacht werd, vond hij zeven lijnen, die te zamen uit de nieuwe trabant zouden voortkomen, die dicht bij de hoofdlijn moet liggen aan de zijde van de groote golflengte.

Het geheel was echter moeilijk te overzien. De onscherpte en lichtzwakte der lijnen, de wederzijdsche storing, doordat de lijnen gedeeltelijk over elkaar vielen, werkten verwarrend. De bovenvermelde splitsing staat, volgens de schrijver, echter vast. Na talrijke onderzoeken met de meest verschillende heliumbuizen is hij steeds weer tot dezelfde verklaring teruggekeerd.

De schrijver toont verder aan, dat het onmogelijk is, het optreden van deze onverwachte lijnen te verklaren uit zelfabsorptie der lijn 5876, evenmin als door geesten of storing door de natriumlijnen, hoewel in het échelon D_2 met de hoofdtrabant van de gele heliumlijn samenvalt. De splitsing van de natriumlijn is veel sterker, en de lichtsterkte der componenten is veel grooter. Bovendien trad het eigenaardige gedrag der gele heliumlijn ook op in geheel nieuwe buizen, voordat zij warm waren geworden en dus, voordat zij de natriumlijn gaven te zien.

Wat het optreden van geesten betreft, hiervan was het échelon, dat hij gebruikte, zoo goed als vrij.

Indien soms bij niet geheel scherpe instelling en bij zeer intensieve lijnen zwakke geesten optraden, dan waren deze gemakkelijk van de werkelijke spectraallijnen te onderscheiden, vooral bij onderzoekingen over het verschijnsel van Zeeman.

Waarnemingen bij de violette lijn 4472, die in dezelfde reeks op de gele volgt, ontbreken. Wel neemt het oplossendvermogen van het échelon met kleine golflengte toe, maar tegelijkertijd neemt de afstand van de hoofdtrabant¹⁾ tot de hoofdlijn in zoodanige verhouding af, dat het verschil in trillingsgetallen voor de gele en de violette lijn hetzelfde blijft; en dit zal voor de nieuwe trabant, naar de schrijver meent, ook wel gelden. Hij nam echter een maximum van intensiteit op de hoofdlijn waar, dat volgens hem wijst op het bestaan van een nieuwe trabant bij de violette lijn. Magnetische splitsing kon hij van deze lijn in het geheel niet verkrijgen, daar hij hier op fotografische waarneming was aangewezen, en de onscherpte der lijnen, de geringe afstand der opvolgende orden in het échelon, de lichtzwakte van de te verwachten componenten en de lange belichtingstijd, 30 minuten, slechts toelieten, dat het triplet van de hoofdlijn en de binnenste dupletten van de hoofdtrabant verkregen werden.

¹⁾ Wij blijven hier voorloopig maar van *hoofdtrabant* spreken, hoewel deze benaming, zooals uit dit proefschrift zal blijken, geheel onjuist is.

A. E. Ruark, P. D. Foote en E. L. Mohler. Inner quantumnumbers for the neutral heliumatom. Journal Opt. Soc. Amer. 8, 17, 1924.

De schrijvers bespreken de mogelijkheid, dat de heliumdupletten, door Sommerfeld *onwezenlijke* („uneigentlich”) genoemd, gewone dupletten zijn, waarbij echter de p -niveaus invers zijn. Zij achten de mogelijkheid niet uitgesloten, dat de waarneming van Lohmann berust op geesten in het échelon, en achten het noodzakelijk, dat de waarnemingen met gekruiste échelons zouden worden overgedaan.

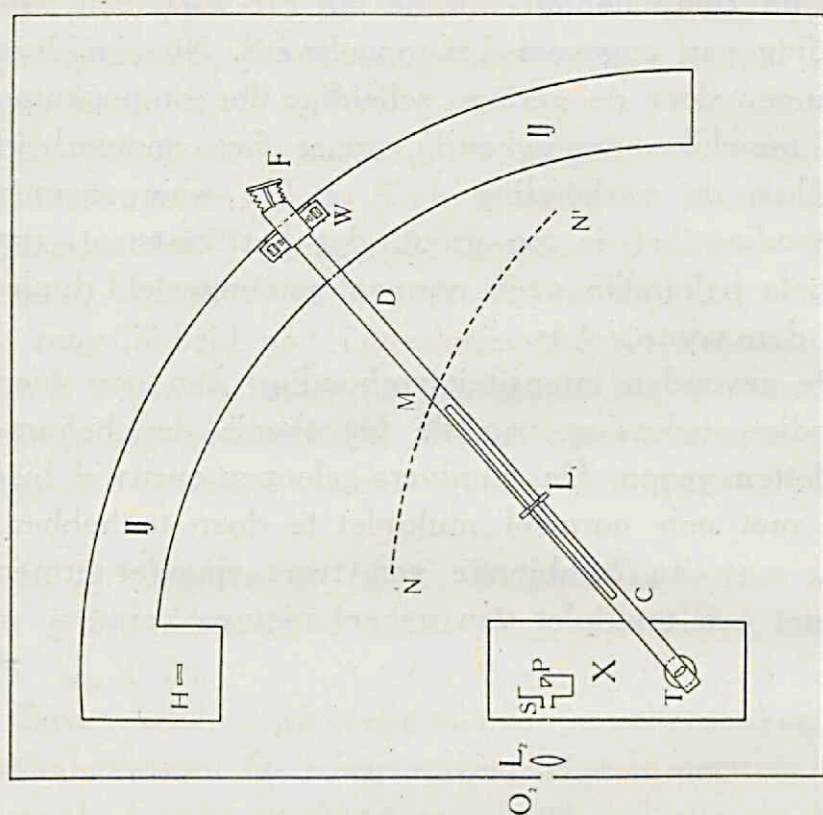
L. S. Ornstein en H. C. Burger. Die Feinstruktur der gelben Heliumlinie 5876 A^0 . Zeitschrift f. Phys. 26, 57, 1924.

Boven hebben wij reeds met een enkel woord op dit artikel gewezen. De schrijvers bestrijden de meening van Ruark, Foote en Mohler, omdat, wil men de gele heliumlijn als een gewoon duplet opvatten, de tegenspraak met de wisselwet van Sommerfeld geenszins is opgeheven. In de tweede plaats zou men dan een intensiteitsverhouding 1:2 tusschen de beide lijnen verwachten. Daar de intensiteiten van alle normale multiplets door eenige eenvoudige regels kunnen worden beschreven, en de verhouding 1:2 van de ongesplitste π - δ -dupletten een bijzonder geval is van de algemeene regels, kan men deze intensiteitsverhouding met groote zekerheid bij al deze normale dupletten verwachten.

Voorloopige metingen hebben voor de intensiteit

van de componenten van de lijn He-5876 een verhouding van ongeveer 1:6 opgeleverd. Nu zijn deze metingen door de geringe scheiding der componenten wel tamelijk onnauwkeurig, maar het onderscheid tusschen de verhouding 1:2 en de waargenomen verhouding 1:6 is zoo groot, dat het vaststaat, dat de gele heliumlijn geen normaal samengesteld dublet van den vorm $\pi-\delta$ is.

De gevonden intensiteitsverhouding kan nog geen volledige oplossing van de beteekenis der helium-dubletten geven. De schrijvers gelooven evenwel, hier niet met een normaal multiplet te doen te hebben, maar met een combinatie van twee singulet-termen of met een multiplet van geheel nieuwe vorm.



B x

$$L, V$$
$$\frac{L_2}{O_2}$$

TWEEDE HOOFDSTUK

3. DE OPSTELLING

De metingen werden verricht met een origineel rooster van Rowland, van $2\frac{1}{2} \times 5$ cm oppervlakte en een kromtestraal van 2 meter. Het rooster bevatte 568 lijnen per mm. Het was opgesteld volgens de methode van Fabry en Buisson, evenwel eenigszins gewijzigd¹⁾. De dispersie bedroeg voor een golflengte van $5400 \text{ \AA}$ ongeveer $5 \text{ \AA}$ in de eerste, $3 \text{ \AA}$ in de tweede en $1,8 \text{ \AA}$ in de derde orde.

De gebezigde opstelling heeft het voordeel stigmatisch te zijn, waardoor het mogelijk is bij de intensiteitsmeting met verzwakkers te werken. Zooals bekend is, geeft een hol rooster van een in het oneindige geplaatste spleet stigmatische beelden in de onmiddellijke nabijheid van de optische as. Aan de eisch, een in het oneindige geplaatste spleet te gebruiken, is te voldoen door de spleet in het brandvlak van een holle spiegel te plaatsen, die het licht op het rooster werpt.

Het licht van de lichtbron B, zie fig. 1, in dit geval de heliumbuis, valt op de verlichtingslens L_1 , waar-

¹⁾ c.f. *Fabry en Buisson*. *Journal de Physique* IV, 9, 933, 1910, en *P. H. van Cittert*. *Zeitschrift f. Instrk.* 41, 116, 1921.

tegen de verzwakkers V zijn geplaatst. Deze worden door de lens L_2 op de spleet S van de spectrograaf afgebeeld. Tusschen L_1 en L_2 bevindt zich een gordijn met opening O_1 , tusschen L_2 en S treedt het licht door het luikje O_2 het vertrek binnen, waar de spectrograaf is opgesteld.

In de gemetselde pijler X is een verticale draaiïngsas T ingesloten, waarom een horizontale ijzeren balk CD draaibaar is. Het andere einde van deze balk rust op een wagentje W , dat op de cirkelvormige muur IJ loopt. Midden boven de draaiïngsas bevindt zich het rooster T met zijn optische as evenwijdig aan de balk. Het licht, dat door de spleet S binnenkomt, wordt door een prisma P naar de holle spiegel H gereflecteerd, die een evenwijdige bundel naar T zendt. Door T wordt het licht afgebogen en een spectrum gevormd, dat bij M volkomen stigmatisch is. Daar bij instelling op een andere golflengte, draaien van het rooster noodzakelijk is, en zich daarbij het punt M langs de kromme NN' verplaatst, is een verschuifbare holle lens L_3 aangebracht, die het spectrum onderschept en op de fotografische plaat F een scherp, vergroot beeld vormt. Bij instelling op een andere golflengte, krijgt men scherpstelling door verschuiving van de lens L_3 , dat door de waarnemer bij de camera kan geschieden.

Er werden fotografische verzwakkers gebruikt, die voor verschillende golflengten waren geijkt.

4. WIJZE VAN ONDERZOEK

De spectra op de fotografische plaat waren door de, op de spleet afgebeelde, verzwakkers in zes strooken verdeeld, die ieder een andere intensiteit vertegenwoordigden. Wij gebruikten bij dit onderzoek twee stel fotografische verzwakkers, die het voordeel hebben, van een gering verschil in doorlatingsvermogen bij een groot verschil in golflengte. Het eerste stel liet het licht in zes trappen door met intensiteiten van 100, 57, 11, 27, 20 en 100 procent; de doorlating van het andere stel bedroeg 100, 41, 8, 20, 56 en 92 procent. Deze waarden variëerden natuurlijk eenigszins met de golflengte.

Bij ons onderzoek vertoonde elk spectrum slechts één spectraallijn met zijn satelliet. De zwartingen werden in alle zes verzwakkingen bepaald, waardoor men voor ieder der lijnen zes punten verkreeg, waaruit de zwartingskromme door grafische interpolatie was af te leiden. De afstand van de kromme van de satelliet tot die van de hoofdlijn geeft de intensiteitsverhouding der lijnen.

Deze wijze van handelen ontmoet geen bezwaar, zoolang men met twee lijnen te doen heeft, wier onderlinge afstand zoo groot is, dat men kan volstaan met het meten en berekenen van de zwarting en de intensiteit in de toppen der lijnen. Wanneer echter de lijnen gedeeltelijk over elkaar vallen, zoodat de top van de satelliet zich boven de voet van de

hoofdlijn bevindt, bestaan er bezwaren tegen deze handelwijze. Ten eerste ligt de schijnbare top van de satelliet dichter bij de hoofdlijn, dan zijn ware top, ten tweede is de schijnbare top hoger dan de ware.

Dit geval trad bij ons onderzoek een enkele maal op. Wij dienden dan eenigszins anders te werk te gaan. In plaats van met de intensiteiten in de schijnbare toppen te kunnen volstaan, moesten we de intensiteitsverdeeling grafisch uitzetten, deze in twee gedeelten splitsen, waarvan het eene tot de hoofdlijn, het andere tot de satelliet behoorde, en de verhouding der oppervlakken bepalen.

De fotometer, een microfotometer volgens Moll, geeft een kromme als in figuur 2 is afgebeeld. Ten einde zoo nauwkeurig mogelijke resultaten te verkrijgen, werd met de kleinste snelheid gefotometreerd terwijl de snelheid van de registreertrommel zoo groot mogelijk werd genomen. De ordinaten in deze figuur, die de zwartingen voorstellen, moeten nu in de intensiteitsverhoudingen in de verschillende punten getransformeerd worden. Daartoe moet in de figuur op onderling gelijke afstanden een groot aantal ordinaten worden getrokken. Op elke ordinaat wordt de zwarting bepaald, en deze wordt door middel van de vooraf bepaalde zwartingskromme in de bijbehorende intensiteit omgezet.

Het trekken van de ordinaten kan men doen door op gelijke afstanden loodlijnen op de nullijn van het fotogram te trekken, maar men kan het ook doen door

gedurende het fotometreeren met regelmatige tusschenpoozen de opening van de trommel te verlichten met een lamp, die naast de galvanometer is opgesteld. Deze laatste methode verdient de voorkeur. Het is namelijk mogelijk, dat de nullijn een geringe helling vertoont. Trekt men hierop nu loodlijnen, dan staan deze niet in de juiste stand. Daarentegen verraaft

nullijn

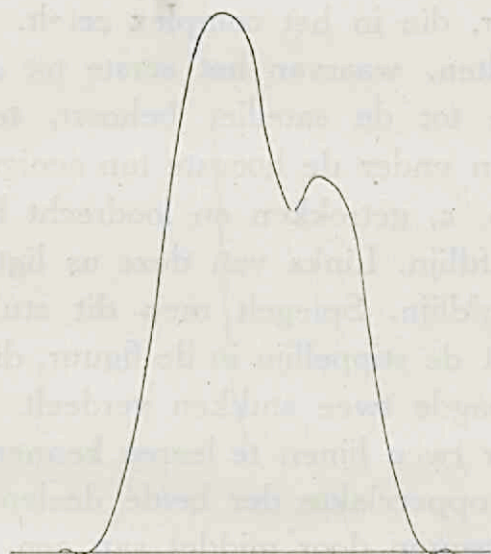


Fig. 2

een helling in de nullijn zich bij de tweede wijze van werken onmiddellijk. Het sluiten en openen van de stroom van de verlichtingslamp kan men ook door het instrument zelf laten doen. Deze methode is reeds eerder toegepast door Moll¹⁾.

¹⁾ c.f. W. J. H. Moll. *Onderzoek van ultra-roode spectra*. Proefschrift Utrecht, 1907, blz. 32.

Bij elke ordinaat wordt dus u en u_0 gemeten en hieruit de zwarting berekend. Door middel van de, uit de topwaarden geconstrueerde, zwartingskromme worden de bijbehorende intensiteiten bepaald, die grafisch worden uitgezet. Zoo ontstaat de kromme, die in figuur 3 is voorgesteld. Deze correspondeert met figuur 2; beide zijn uit dezelfde opname voortgekomen.

De oppervlakte van figuur 3 stelt nu de totale energie voor, die in het complex zetelt. Om deze in twee gedeelten, waarvan het eerste tot de hoofdlijn, het tweede tot de satelliet behoort, te verdeelen, werden even onder de hoogste top eenige horizontale lijnen, a , b , c , getrokken en loodrecht hierop de as van de hoofdlijn. Links van deze as ligt nu de helft van de hoofdlijn. Spiegelt men dit stuk op de as, dan ontstaat de stippellijn in de figuur, die het geheel in de gevraagde twee stukken verdeelt. Om de verhouding der twee lijnen te leeren kennen, heeft men slechts de oppervlakte der beide deelen te bepalen. Dit kan gebeuren door middel van een integrator of door de kromme op niet te dun millimeterpapier te teekenen en beide deelen uit te knippen en te wegen. Deze laatste methode is voldoende nauwkeurig.

In de figuur zijn de stukken van de ordinaten, die tot de satelliet behooren, ook van de grondlijn af uitgezet. Men ziet hierdoor, dat de vorm van de satelliet dezelfde is, als die van de hoofdlijn. Opmerkelijk is, dat zijn top lager is en verder van die van

de hoofdlijn verwijderd, dan de schijnbare top.

Toch kan men ook uit de topwaarden de juiste verhouding berekenen, wanneer de voet van de hoofdlijn onder de top van de satelliet ligt. Men heeft dan een correctie aan te brengen door de topwaarde van de satelliet te verminderen met het bedrag aan intensiteit, dat de hoofdlijn daar ter plaatse heeft.

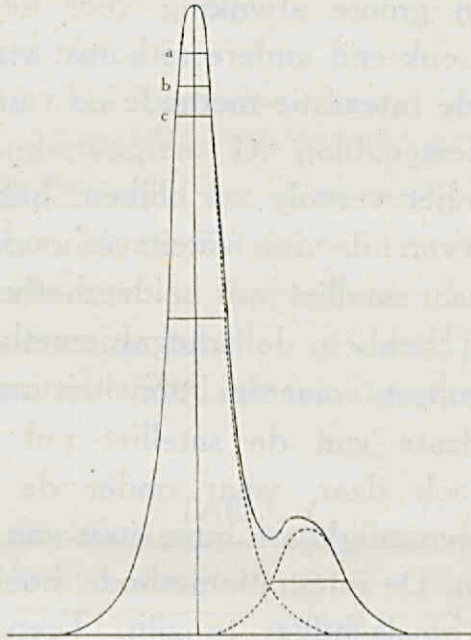


Fig. 3

Deze intensiteit vindt men gemakkelijk door de intensiteit te bepalen, die bestaat in het overeenkomstige punt van de hoofdlijn, dat aan de van de satelliet afgekeerde zijde ligt, d.w.z. evenver van de top van de hoofdlijn als de top van de satelliet. Hoewel het hier slechts een kleine correctie betreft, moet men er dan tevens rekening mee houden, dat de schijnbare

top ten opzichte van de ware is verschoven. Wanneer in het vervolg van dit werk van *topcorrectie* wordt gesproken, wordt de hier beschreven correctie bedoeld.

In figuur 3 is, zoowel bij de satelliet, als bij de hoofdlijn, ter halver hoogte een horizontale lijn getrokken, om te doen zien, dat hun „halfwaarde-breedten” nagenoeg gelijk zijn. Vindt men een enkele maal een vrij groote afwijking voor deze grootheid dan zal men ook een andere uitkomst vinden bij toepassing van de integratie-methode en van de methode der topwaarden.

Zooals uit het vervolg zal blijken, hebben wij bij het bepalen van de intensiteitsverhouding van de hoofdlijn en haar satelliet van beide methoden gebruik gemaakt. Wij hebben de integratiemethode dikwijls ook daar toegepast, waar de intensiteit van de hoofdlijn op de plaats van de satelliet nul was, en de topmethode ook daar, waar onder de top van de trabant nog een merkbare intensiteit van de hoofdlijn lag verscholen. De integratiemethode heeft echter het nadeel, veel omslachtiger te zijn. Toen in de loop van de waarnemingen dan ook bleek, dat de berekening uit de topwaarden op dezelfde nauwkeurigheid aanspraak kan maken, dan die volgens de integratiemethode, zijn de verdere waarnemingen slechts op deze manier verricht.

Voor gevallen, dat men met samengesteldere of nauwere structuren te doen heeft, is de methode van analyse onontbeerlijk.

DERDE HOOFDSTUK

Waarnemingen en uitkomsten

5. DE ONDERZOCHE LIJNEN

Wij hebben de eerste drie lijnen van de diffuse en de eerste drie van de scherpe reeks aan een onderzoek onderworpen. De golflengte van de beide zichtbare componenten van deze zes lijnen vindt men in tabel I vermeld, terwijl daarachter de splitsing in Angström-eenheden is opgegeven. In de laatste kolom vindt men de tabellen genoemd, waarin waarnemingen omtrent de intensiteitsverhoudingen zijn te vinden.

TABEL I

Lijn	Golflengte van de		$\Delta\lambda$	Tabel No.
	hoofdlijn	satelliet		
2p-3d	5875,618	5875,960	0,34	II, III, IV, V, XII, XIV VI, XIII VII
2p-4d	4471,477	4471,689	0,21	
2p-5d	4026,189	4026,358	0,17	
2p-3s	7065,185	7065,677	0,39	X
2p-4s	4713,143	4713,366	0,22	IX
2p-5s	4120,812	4120,981	0,17	VIII

Bij de symbolen der lijnen hebben wij de triplet-indices weggelaten, daar dit hier, waar alle vermelde niveaus triplet-niveaus zijn, geen verwarring kan geven.

6. DE EERSTE LIJN VAN DE DIFFUSE REEKS

De gele heliumlijn 5876, de eerste lijn van de diffuse reeks, kwam natuurlijk in de eerste plaats in aanmerking voor een onderzoek. Alvorens wij overgingen tot de nauwkeuriger waarnemingen met het rooster van Rowland, werd een aantal metingen gedaan met een klein spectraaltoestel volgens Lummer en Gehrcke. Hoewel aan deze waarnemingen minder gewicht moet worden toegekend, meenen wij ze toch te moeten vermelden, omdat uit de langs deze weg verkregen resultaten blijkt, dat men onder zeer verschillende omstandigheden weinig uiteenlopende uitkomsten verkrijgt.

Er werd hier met slechts één verzwakking gewerkt, een rookglaswig, die op de plaats, waar hij de spleet voor de helft afdekte, voor geel licht was geijkt. De lichtbron bestond uit een heliumbuisje van glas, dat door middel van een inductorium met interruptor werd gevoed. De belichtingstijden variëerden van 1 tot 4 uur. Slechts drie platen kwamen in aanmerking te worden uitgemeten. Hierbij werd de integratiemethode toegepast. In tabel II vindt men de uitkomsten. In de eerste kolom staan de nummers van de opnamen, in de tweede getallen, die aangeven hoeveel procent de

intensiteit van de satelliet van die van de hoofdlijn bedraagt.

TABEL II
Lijn 2p-3d, 5876

No.	Verhouding in procenten
2g	22
2j	22
2o	17

Een volgende reeks waarnemingen werd gedaan met de roosterspectrograaf. Hierbij werden trapverzwakkers gebruikt. Als lichtbron dienden verschillende buisjes, die door een inductorium werden gevoed. De resultaten zijn vereenigd in tabel III.

TABEL III
Lijn 2p-3d, 5876

No.	Stroomsterkte in prim.keten	Verhouding berekend in procenten	
		uit toppen	door integratie
3a	2,1 A	22	—
3b	2,1	23	—
3d	2,1	27	—
3e	2,6	24	—
3g	3,1	28	34

In de tweede kolom is de stroomsterkte in de primaire keten aangegeven, om na te gaan, of deze ook invloed op de gevonden verhouding zou kunnen

hebben. Daar deze uitkomsten misschien wel het vermoeden wekken, dat er een zoodanig verband bestaat, maar in geen geval eenige zekerheid daarentrent verschaffen, is de reeks opnamen gemaakt, die in tabel IV overzichtelijk is gerangschikt naar afdalende stroomsterkte in de primaire keten. Evenals bij de zoo juist besproken opnamen, is bij elk de uitkomst uit de topwaarden berekend, terwijl de berekening uit de oppervlakken is nagelaten, wanneer de opname er zich slecht toe leende, bijvoorbeeld, als de zwartingskromme van de plaat minder goed was uitgevallen, wat de kleinere zwartingen bij de analyse noodig betreft.

TABEL IV
Lijn 2p-3d, 5876

No.	Stroomsterkte in prim.keten	Verhouding berekend in procenten	
		uit toppen	door integratie
4b	4 A	25	23
4o	4	27	22
4p	4	25	—
4r	4	35	34
4d	3,6	32	35
4g	3,3	27	22 $\frac{1}{2}$
4e	2,5	24	24
4h	2,2	27	—

Zooals uit de tabel blijkt, is van een regelmatig verloop bij grootere stroomsterkte niets te bespeuren.

Ook deze reeks opnamen is gedaan met de rooster-spectrograaf. In de opstelling werd ditmaal een ander stel verzwakkers gebruikt en een ander inductorium.

Tot nu toe werd met een interruptor gewerkt. Daar dit bij langdurige belichting onpractisch is, zijn de volgende opnamen gemaakt met een heliumbuisje, waarvan de electroden verbonden waren met de knoppen van de secundaire winding van een groote inductieklos. Door de primaire windingen hiervan werd een wisselstroom van 500 perioden gestuurd. De op deze wijze gedane waarnemingen zijn in tabel V opgeteekend.

Van een merkbare afhankelijkheid van de gevonden verhouding van de primaire stroomsterkte is bij deze waarnemingen geen sprake. Bij de berekening der verhouding uit de topwaarden is bij alle waarnemingen, dus ook bij die in tabel III en IV vermeld, de boven besproken topcorrectie aangebracht voor de energie, die de hoofdlijn nog toebehoort op de plaats van de top van de satelliet. Voor deze verhouding is dus steeds de verhouding in de ware, niet die in de schijnbare toppen genomen. Een regelmatig verschil in uitkomst vindt men bij gebruik van de twee handelwijzen niet. De afwijkingen moeten aan waarnemingsfouten worden toegeschreven. Daar de integratiemethode veel omslachtiger is, dan de andere, hebben we gemeend bij de volgende waarnemingen met de topverhouding te kunnen volstaan.

De gevolgtrekking, die wij uit al deze waarnemingen

TABEL V
Lijn $2p-3d$, 5876

No.	Stroomsterkte in prim.keten	Verhouding berekend in procenten	
		uit toppen	door integratie
5a	1,2-1,1	22	16
5b	1,2	21	—
5c	1,2-1,1	20	22
5d	1,5	19	—
5e	1,5-1,4	20	21
5f	1,8	18	$23\frac{1}{2}$
5g	1,8	20	—
5h	1,8-1,75	19	24
5k	1,0	22	$29\frac{1}{2}$
5l	1,0	17	—
5n	2,2	28	30
5o	1,0	21	29
5p	1,5	22	27
5q	2,2	24	$29\frac{1}{2}$
5r	2,5	24	$27\frac{1}{2}$
5s	3,0	22	$27\frac{1}{2}$
5t	3,5	23	28
5u	0,8	18	—
5v	4,0	23	—

moeten maken is, dat de verhouding der beide zichtbare componenten van de gele heliumlijn $2p-3d$ ongeveer 25% bedraagt, maar de uitkomsten lopen zoo ver uiteen, dat er geen sprake van is, de verhouding der beide lijnen in twee eenvoudige getallen aan te

geven, die ons iets omtrent de samenstelling uit drie, vijf, zeven of meer lijnen kunnen leeren. Wanneer wij alle hier vermelde uitkomsten middelen, krijgen wij 24,4%.

7. DE TWEEDE EN DERDE LIJN VAN DE DIFFUSE REEKS

Het is nu natuurlijk van het grootste belang, na te gaan, hoe de verhouding is tusschen de intensiteiten der componenten van de volgende lijnen in dezelfde spectraalreeks. In de eerste plaats de lijn $2p-4d$, die uit twee lijnen bestaat, wier golflengten $4471,689 \text{ \AA}$ en $4471,477 \text{ \AA}$ bedragen. Deze twee lijnen liggen dus slechts $0,21 \text{ \AA}$ -eenheden uit elkaar. De waarnemingen gaven het resultaat, dat in tabel VI is te zien.

Bij al deze waarnemingen is steeds, indien dit noodig was, een topcorrectie toegepast. De gemiddelde waarde is 14,6%, dus aanmerkelijk lager dan bij de eerste lijn van de reeks.

Verdeelen wij de waarnemingen in twee groepen, door alle metingen, die bij een stroomsterkte van 2,0 ampère of minder genomen zijn, bijeen te nemen en de metingen bij groter stroomsterkte dan 2,0 A, en rekenen wij bij beide met de methode der kleinste kwadraten de middelbare fout uit, dan vinden wij voor de waarnemingen bij kleine stroomsterkte $13,7 \pm 0,9\%$ en voor die met de grootere stroomsterkten $15,75 \pm 2,5\%$. Een stelselmatige afwijking blijkt hier dus niet te bestaan.

TABEL VI
Lijn 2p-4d, 4472

No.	Prim. stroomsterkte	Verh. uit toppen in proc.
6a	1,2 A	13
6b	1,2	14
6c	1,2	14
6d	1,2	14
6e	1,5	13
6f	1,5	13
6g	2,0	12
6h	2,0	14
6j	0,8	15
6k	1,0	15
6l	2,5	15
6m	2,5	13
6n	3,0	17
6o	3,5	15
6p	4,0	17
6q	4,0	16
6r	3,5	18
6s	3,5	15

De derde lijn in dezelfde reeks wordt voorgesteld door het symbool 2p-5d. Deze bestaat uit de beide componenten 4026,358 en 4026,189, waarvan wederom de component met de grootste golflengte de zwakste is. De verhouding der intensiteiten is bij deze waarnemingsreeks uit de topwaarden berekend, terwijl natuurlijk, waar noodig, de topcorrectie is aangebracht.

De stroomsterkte in de primaire keten hebben wij

TABEL VII
Lijn $2p-5d$, 4026

No.	Verhouding uit toppen berekend in procenten.
7a	20
7b	16
7c	15
7d	16
7j	17
7k	13
7l	16
7m	11
7n	16

bij deze reeks niet meer vermeld, omdat uit de voorgaande waarnemingen een afhankelijkheid van deze grootheid niet is gebleken. Wanneer wij de uitkomsten in de tabel middelen, vinden wij voor de verhouding 15,6%.

8. DE EERSTE DRIE LIJNEN VAN DE SCHERPE REEKS

De splitsing van de lijnen van de scherpe reeks is, evenals van die van de diffuse reeks, een gevolg van de meervoudigheid van het $2p$ -niveau. Men kan dus moeilijk anders verwachten, dan dat men hier dezelfde verhouding der intensiteiten zal vinden. Achtereenvolgens hebben wij hierom de lijnen $2p-5s$, $2p-4s$ en $2p-3s$ aan een onderzoek onderworpen.

De lijn $2p-5s$ is de derde van de reeks. Hij is

ongeveer drie maal zoo zwak, als de lijn $2p-5d$ en, daar zijn golflengte $4121 \text{ \AA}$ bedraagt, ligt hij net aan de grens der zichtbaarheid. Door zijn geringe intensiteit is hij daarom niet met het oog waar te nemen. De instelling moet dus fotografisch geschieden en de benodigde belichtingstijden zijn lang, van vier tot tien uur. Daar bij een betrekkelijk geringe onscherpstelling niets op de plaat verschijnt, en de waarnemer dan niet weet naar welke zijde de scherpstelling is te zoeken, is het waarnemen van deze lijn tamelijk tijdrovend. Dit is ook duidelijk te zien aan de hooge volgletters in tabel VIII. De foto's, die tot instelling dienden, zijn hier echter meegeteld. Na de laatste opname was de instelling weer verlopen. Aangezien de gevonden waarden goed overeenstemden, is toen van verdere waarneming van deze lijn afgezien. De primaire stroomsterkte is bij deze reeks tot 7,4 ampère opgevoerd.

TABEL VIII
Lijn $2p-5s$, 4120

No.	Stroomsterkte in prim.keten	Verhouding berekend uit toppen in procenten
8r	3,5 A	13
8w	7,4	$12\frac{1}{2}$
8x	7,4	13
8z	7,4	14

De gemiddelde waarde, die uit deze reeks volgt is $13,1\%$.

Voor de tweede lijn van de scherpe reeks verkregen wij de volgende waarnemingen.

TABEL IX
Lijn $2p-4s$, 4713

No.	Verhouding in procenten
9c	12
9f	11
9g	11
9j	15
9m	13
9n	12
9o	11
9q	12
9r	14
9s	15

De gemiddelde waarde hiervan is 12,6%.

Voor de waarneming van de eerste lijn der reeks, $2p-3s$ met een golflengte van $7066 \text{ \AA}$, die in het rood ligt, werden als platen Illford special rapid panchromatic plates H en D 400 gebruikt. De belichtingstijden variëerden hier tusschen drie kwartier en vier uur. De verkregen uitkomsten vindt men in tabel X.

TABEL X
Lijn 2p-3s, 7066

No.	Verhouding in procenten
10a	16
10b	16
10c	15
10d	15
10e	13
10f	13
10g	10
10h	14
10j	12

Uit deze tabel volgt voor de gemiddelde waarde 13,8%.

9. BESPREKING VAN DE RESULTATEN

Om de uitkomsten beter te kunnen overzien, hebben wij die samengevat in tabel XI.

TABEL XI

Lijn	golflengte	Intensiteit der zwakste lijn in verhouding tot de sterkste in procenten.
2p-3d	5876	24,4
2p-4d	4472	14,6
2p-5d	4026	15,6
2p-3s	7066	13,8
2p-4s	4713	12,6
2p-5s	4121	13,1

Wanneer wij deze tabel bekijken, en bedenken, dat de opvolgende lijnen in dezelfde spectraalreeks zwakker worden en, dat de lijnen van de scherpe reeks zwakker zijn, dan die van de diffuse, dan valt ons op, dat de verhouding, die naar de theorie voorschrijft, voor alle zes lijnen dezelfde had behooren te zijn, naar de zijde der zwakkere lijnen tot een limietwaarde schijnt te naderen. Bedenken wij bovendien, dat wij bij helium geen dupletten verwachten, maar complexen uit een oneven aantal componenten bestaande, en, dat het eenvoudigste geval hiervan het triplet is, waarvan de intensiteitsverhouding 1:3:5 is, welke verhouding overgaat in de verhouding 1:8, als de twee sterkste componenten samenvallen, dan dringt zich de meening aan ons op, dat wij hier met deze verhouding te doen hebben. De verhouding 1:8 is in procenten uitgedrukt $12\frac{1}{2}$ en van deze waarde verschillen de zwaksten der zes waargenomen lijnen maar zeer weinig.

Het is ook niet zoo heel onbegrijpelijk, dat juist de sterkste lijnen van deze waarde een groote afwijking vertoonen, want bij de sterkere lijnen hebben wij bij de waarneming steeds meer last van zelfabsorptie, dan bij zwakkere. Van de twee componenten wordt door de zelfabsorptie de sterkste het meest verzwakt, zoodat men steeds een te kleine verhouding zal vinden. Om de zelfabsorptie te verminderen, hebben wij er steeds voor gewaakt, dat de stroomdichtheid niet te groot was, maar deze voorzorg was blijkbaar niet afdoende.

Zal men nu, als de zelfabsorptie kleiner is, voor de verhouding in de gele lijn een kleinere waarde vinden? En zal die waarde tot de limiet 1:8 naderen voor een zelfabsorptie nul? Deze vragen dienen beantwoord te worden, zal ons oordeel eenige vaste grond hebben.

10. WAARNEMINGEN MET BUISJES MET GERINGE GASVULLING

Om de invloed van de zelfabsorptie te verminderen en, zoo mogelijk, uit te schakelen, hebben wij onze onderzoekingen voortgezet met buisjes, die met zeer weinig heliumgas waren gevuld. Deze buisjes werden op het laboratorium gevuld met helium, dat uit monazietzand werd verkregen.

Wanneer een buisje van Geissler licht geeft, worden er steeds gasatomen aan de glaswand gebonden. Na verloop van eenige tijd is de gasvulling onvoldoende om de stroom te onderhouden, het buisje is „hard” geworden. De buisjes uit de handel hebben gewoonlijk een tamelijk sterke vulling, zoodat de zelfabsorptie in deze buisjes niet gering is. De speciaal voor ons onderzoek, op het laboratorium gevulde, buisjes hadden een zóó geringe vulling, dat het te verwachten was, dat zij na eenige tijd hard zouden worden. Neemt men nu een foto vlak vóór dat de buis hard is, dan is het waarschijnlijk, dat de zelfabsorptie dan nagenoeg nul is, en de aldus gevonden verhouding kan dan als de werkelijke worden beschouwd.

Er werd een drietal buisjes vervaardigd, waarvan het eerste een nog aanmerkelijk sterkere vulling had, dan het tweede, en deze weer meer gas bevatte dan nummer drie. Met het eerste werden 18 opnamen gemaakt van de gele heliumlijn 5876 en twee van de violette 4472. De uitkomsten zijn vereenigd in de tabellen XII en XIII.

TABEL XII

Lijn 2p-3d, 5876. Eerste buisje

No.	Verhouding in procenten
12a	22
12b	19
12c	18
12d	17
12e	12 $\frac{1}{2}$
12f	14
12g	16
12h	16
12j	13
12k	12 $\frac{1}{2}$
12l	12 $\frac{1}{2}$
12m	12 $\frac{1}{2}$
12n	14
12o	15
12p	14
12q	13
12r	14
12s	12

TABEL XIII

Lijn 2p-4d, 4472. Eerste buisje

No.	Verhouding in procenten
13a	13
13b	13

De waarnemingen in tabel XII zijn in dezelfde volgorde genomen, waarin zij zijn vermeld. De beide waarnemingen van de violette lijn zijn genomen tusschen de waarnemingen 12c en 12d in. Zij geven een waarde, die iets lager is, dan de vroeger verkregene, en die van de verhouding $12\frac{1}{2}\%$ al heel weinig verschilt. De laatste kolom van tabel XII ver-
toont een merkwaardige, eenigszins schommelende daling, die zeer merkbaar bij ongeveer $12\frac{1}{2}\%$ een limiet schijnt te bereiken. De laatste tien waarden komen niet meer boven de 15% , hun gemiddelde bedraagt $13,2\%$. Grafisch is het verloop uitgezet in figuur 4.

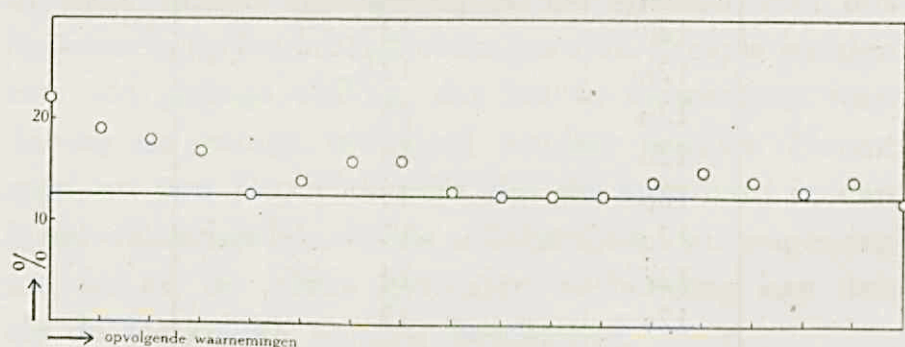


Fig. 4

Het met minder gas gevulde tweede buisje leefde slechts lang genoeg voor één opname van een half uur. De lijn was op de foto nog slechts zwak te zien. In tabel XIV vindt men de uitkomst.

TABEL XIV
Lijn $2p-3d$, 5876. Tweede buisje

No.	Verhouding in procenten
14a	$11\frac{1}{2}$

Het derde buisje was na een half uur reeds hard. Op de plaat was nog niets waar te nemen.

Uit al deze onderzoeken blijkt, dat wij het dus wel als vaststaand mogen beschouwen, dat de intensiteitsverhouding tusschen de componenten der schijnbare dupletten in het heliumspectrum 1:8 bedraagt en, dat deze lijnen gewone tripletten zijn, zooals de wisselwet ook reeds doet verwachten.

VIERDE HOOFDSTUK

11. NABESCHOUWINGEN

Kort na het bereiken van het hierboven beschreven resultaat, dat de schijnbaar dubbele lijnen in het spectrum van helium geen dupletten, maar onvolledig opgeloste tripletten zijn, hebben wij de uitkomst van ons onderzoek gepubliceerd. Men zie hiertoe ons artikel: *Das Intensitätsverhältnis der Komponenten der scheinbaren Heliumdoublets*. Zeitschrift f. Phys. 38, 437, 1926, waarin de bovenvermelde feiten in het kort zijn uiteengezet.

Naar aanleiding hiervan heeft Hansen in de *Physikalisch-Technische Reichanstalt* in Berlijn de lijn 5876 in drie componenten gesplitst door de ontladingsbuis in vloeibare waterstof te koelen. De verhouding der intensiteiten van de componenten beantwoordde aan de verwachtingen. Wij ontleenen deze mededeeling aan een brief van den onderzoeker; van dit onderzoek is nog geen publicatie verschenen.

TWEEDE DEEL

De lijnenreeksen in het spectrum van Helium

EERSTE HOOFDSTUK

1. INLEIDING

Zoowel het singulet-, als het triplet-systeem, vertoont een drietal reeksen van spectraallijnen, die grootendeels in het zichtbare gebied en het daaraan onmiddellijk grenzende ultraviolet gelegen zijn. Deze reeksen worden de *hoofdreeks* en de *eerste* en *tweede bijreeks* genoemd. Door hun ligging en de helderheid van de eerste lijnen eigenen zij zich uitstekend voor een nauwkeurig onderzoek, dat natuurlijk van het hoogste belang is.

De hoofdreeks wordt in het singulet-systeem voorgesteld door het symbool $2S-mP$, in het triplet-systeem door $2s-mp$, de eerste bijreeks of diffuse reeks door $2P-mD$ en $2p-md$, de tweede bijreeks of scherpe reeks door $2P-mS$ en $2p-ms$.¹⁾ In al deze symbolen is m het *loopgetal*, waarvoor achtereenvolgens 3, 4, 5 enz. in de plaats moet worden gezet. Om gemakkelijk te

¹⁾ Zooals overal in dit proefschrift hebben wij de singulet- en triplet-indices weggelaten, daar wij met overgangen tusschen de niveaus van beide systemen niet te doen hebben en verwarring dus is uitgesloten.

zien, met welke reeks en met welke lijn in die reeks wij te doen hebben, hebben wij bovendien de volgende notatie ingevoerd. De lijnen van de hoofdreeks van het singulet-systeem worden door een H, die van de hoofdreeks van het triplet-systeem door een h, die van de diffuse reeksen door een D en een d, die van de scherpe door een S en een s aangeduid, terwijl een daarachter geplaatst cijfer het nummer van de lijn in de reeks aangeeft.

Omtrent het verloop van de intensiteit in de spectraalreeksen is nog maar weinig bekend. Van des te meer belang is het dus, materiaal te verzamelen, waarmee men later een volledige theorie zal kunnen opbouwen. Wel meent men eenige regels te hebben gevonden, die op het intensiteitsverval betrekking hebben. Juist omdat deze regels nog niet op zeer hechte basis staan wegens gebrek aan toetsmateriaal, is het van veel belang, na te gaan of de reeksen in het heliumspectrum zich naar deze regels gedragen, en, zoo er tegenstrijdige regels bestaan, welke het best aan de verhoudingen in het heliumspectrum beantwoorden.

Mejuffrouw Bleeker¹⁾ heeft naar aanleiding van haar metingen in de bijreeksen van de spectra der alcaliën een proefondervindelijke formule voor het intensiteitsverval opgesteld. Deze formule is de volgende: $I = C \frac{(n - n_0)^4}{n^{12}}$, waarin I de intensiteit van de spectraal-

¹⁾ C. E. Bleeker. *Flammenspektren und chemische Reaktion*. Zeitschrift f. phys. Chemie, 120, 63, 1926.

lijn is, die optreedt tengevolge van een overgang van een electron van de baan n naar de baan n_0 en C een evenredigheidsconstante. Bongers¹⁾ heeft deze formule getoetst aan zijn onderzoekingen in de Balmerreeks. Het door hem gevonden intensiteitsverval is echter aanmerkelijk groter en veel beter te beschrijven door de formule: $I = C \frac{(n-n_0)^3}{n^{12}}$. Voor hoge quantum-getallen is de limiet van de formule Bleeker $\frac{1}{n^8}$, die van de formule Bongers $\frac{1}{n^9}$.

L. S. Ornstein en H. C. Burger²⁾ hebben uiteengezet, dat er reden bestaat voor de opvatting, dat de gevonden intensiteiten door ν^4 moeten worden gedeeld, voordat ze worden vergeleken. Men zou namelijk te doen hebben met de tweede machten der amplituden van denkbeeldige resonatoren. Volgens Schrödinger³⁾ is de limiet van $\frac{1}{\nu^4}$ voor hoge quantum-getallen gelijk aan $\frac{1}{n^3}$. Schrödinger heeft hiermee theoretisch de intensiteitsverhouding berekend voor de lijnen in de Balmerreeks. De door Bongers gevonden intensiteiten stemmen hiermede echter niet overeen.

Een ander probleem, dat met het vorige eenigermate samenhangt, is het vraagstuk van de verwantschap tusschen de overeenkomstige lijnen van het singulet-

¹⁾ I. A. Bongers. *Intensiteitsmetingen in de Balmerreeks*. Proefschrift Utrecht 1927.

²⁾ L. S. Ornstein en H. C. Burger. *Die Einheit vom Singulett- und Triplett-system und ihre Interkombinationen*. Zeitschr. f. Phys. 40, 403, 1926.

³⁾ E. Schrödinger. *Quantisierung als Eigenwertproblem*. Annalen der Physik 80, 473, 1926.

en het triplet-systeem. L. S. Ornstein en H. C. Burger¹⁾ hebben de somregel voor multiplets uitgebreid, door er de enkellijnen bij op te nemen.

		p			
j		1	0	1	2
d	2	s		i	i
	1	i	t	t	t
	2	i		t	t
	3				t
l =		3	1	3	5

In nevenstaand diagram is de volledige pd-overgang voorgesteld. Het inwendige quantum-getal j bedraagt in de p-toestand voor de singuletbaan 1, voor de triplet-banen 0, 1 en 2. In de d-toestand is j voor de singulet-baan 2, voor de tripletbanen 1, 2 en 3. De overgangen, die niet door de verbodsregel voor het inwendige quantum-getal worden uitgezonderd, zijn in het diagram aangegeven. De zes lijnen van het triplet systeem zijn met t , de singulet-lijn is met s aangeduid. Bovendien treden in het volledige schema een viertal intercombinatielijnen op, die met i zijn aangegeven. Daar deze in het helium-spectrum echter zeer zwak zijn, mag hun intensiteit worden verwaarloosd.

¹⁾ L. S. Ornstein en H. C. Burger. l.c.

De splitsing van het d-niveau is zoo gering, dat deze niet is waar te nemen. De lijnen, die worden waargenomen, vinden wij dus door sommatie van de vier kolommen. Hun intensiteiten worden berekend door het tweevoud van het inwendig quantum-getal van de p-toestand met de eenheid te vermeerderen. In het diagram zijn zij onder de kolommen aangegeven.

De intensiteit van de singulet-lijn zal 3 zijn tegen die van de drie componenten van het triplet 1, 3, 5. Wanneer in de spectrograaf het triplet niet gesplitst wordt waargenomen, vindt men hiervoor in het spectrum één lijn met een totale intensiteit 9. De verhouding tusschen de intensiteit van singulet- en triplet-lijn moet dus 1:3 bedragen.

L. S. Ornstein en H. C. Burger hebben deze regel getoetst aan eenige multipletten in de spectra van Ca, Sr en Hg, en aan een multiplet in het spectrum van helium. De uitkomsten, die zij kregen, stemden vrij goed met de verwachting overeen. Er bleek evenwel een regelmatige afwijking te bestaan, wanneer de lijnen van het multiplet in golflengte aanmerkelijk verschilden. Zij meenden deze afwijking te kunnen verklaren door aan te nemen, dat de somregel van toepassing is op de door r^4 gedeelde intensiteiten. Voor het door hen waargenomen helium-multiplet, dat uit de singulet-lijn $2P-5D$ en het triplet-complex $2p-5d$ bestaat, vonden zij de verhouding 1:4,7. Brengt men de genoemde correctie aan, dan gaat deze verhouding over in 1:3,3.

Wanneer het bovenvermeld verband tusschen het singulet- en het triplet-systeem bestaat, moet het verval der door ν^4 gedeelde intensiteiten in de bij elkaar behorende reeksen der beide helium-spectra gelijk zijn.

Al deze hier besproken regels zullen wij aan de uitkomsten van onze waarnemingen toetsen. Tevens is het van belang, na te gaan of de verhouding der intensiteiten van de omstandigheden, waaronder het spectrum is opgewekt, afhankelijk is of niet.

2. INTENSITEITSMETINGEN VAN VROEGERE ONDERZOEKERS

Nauwkeurige intensiteitsmetingen in het helium-spectrum ontbreken vrijwel geheel. De meeste gegevens zijn van dien aard, dat men er een gevolgtrekking uit kan maken voor het gedrag van enkele lijnen op zich zelf beschouwd, maar, dat het geheel en al onmogelijk is de intensiteiten der verschillende lijnen onderling te vergelijken, omdat bij de metingen de gevoeligheid van de fotografische plaat voor de verschillende golflengten niet is bepaald. Veelal is ook met een vergelijking der zwartingen volstaan zonder, dat deze in een aan de intensiteit evenredige maat is omgezet. De verschillende mededeelingen omtrent intensiteiten in het heliumspectrum, die wij in de literatuur vonden, laten wij hier volgen.

Karl Langenbach. Ueder Intensitätsverteilung in Linienspektren. Annalen d. Physik IV, 10, 789, 1903.

De intensiteit der lijnen wordt photometrisch vergeleken met de intensiteit van een lichtbron, waarvan de energie-verdeeling bekend is. Hiertoe werd een gloeilamp gebruikt, die om de vier tot vijf dagen met een dergelijke gloeilamp werd vergeleken en dan op dezelfde intensiteit gehouden door de stroomsterkte bij te regelen. De energie van de lamp was in verschillende gebieden met een thermozuil bepaald. Als fotometer diende een fotometer volgens Glans.

De stroom voor de buisjes werd geleverd door een inductorium volgens Ruhmkorff met 20 cm vonklengte, waarvan de primaire stroom werd geleverd door een batterij van 3, 5, of 6 accumulatoren. Als lichtbron dienden buisjes volgens Geissler, gevuld met helium tot een druk van 5 en van 10 cm Hg. De resultaten vindt men in de volgende tabel:

Aantal accumu- latoren	Spectraallijn:							Druk
	7066 (s-1)	6678 (D-1)	5876 (d-1)	5048 (S-2)	5016 (H-2)	4922 (D-2)	4713 (s-2)	
3	316,1	251,9	378,1	1,78	38,25	13,58	5,18	5mm
4	471,5	393,9	667,8	4,14	87,59	22,55	8,50	
5	634,8	601,8	857,4	5,19	169,89	39,49	12,59	
3	201,4	167,5	294,6	1,22	19,50	6,49	3,38	10mm
4	254,3	232,9	406,6	2,62	39,61	12,58	6,55	
6	436,5	366,4	616,6	4,14	91,02	25,59	12,59	

Uit deze tabel is af te lezen, dat de lijnen met kleinere golflengte sterker toenemen, dan die met grootere golflengte.

Hoewel het cijfermateriaal gering is, meent de schrijver hieruit toch te kunnen besluiten, dat de hoofdreeks van de singuletten met de druk het sterkst toeneemt en de bijreeksen van het singulet-systeem sterker dan die van het triplet-systeem.

Verder deed de schrijver nog onderzoeken met een zelfinductie, een vonkbrug en een capaciteit in de keten.

B. Strasser. Beobachtungen am Dopplereffekt bei Wasserstoffkanalstrahlen. Annalen d. Physik 31, 890, 1910.

Het licht van de kanaalstralen heeft een andere kleur dan het negatieve glimlicht, doordat de spectraallijnen van het gas in beide deelen van de buis verschillende intensiteiten hebben. Het kanaalstralenlicht van helium is geel-rood, het negatieve glimlicht is groen van kleur.

De buis werd afgebeeld op de spleet van de spectrograaf, waardoor men het licht van de verschillende deelen van de buis tegelijkertijd op de plaat kreeg. Door een geel filter werd gezorgd, dat het groene en het blauw-violette deel van het spectrum ongeveer even sterk op de plaat verschenen. Voor de verhouding der groene lijn (5016) en de violette (4472) vond hij de volgende zwartingen.

	5016 (H-2)	4472 (d-2)
Voor de kathode	0,58	0,38
Achter de kathode	0,04	0,39
20 cm achter de kathode	0,02	0,16

Voor de roode en gele lijn werd het onderzoek naar de verhouding der intensiteiten met een stel nicols verricht. Het volgende resultaat werd verkregen.

	6678 (D-1)	5076 (d-1)
In neg. glimlicht	1	1
1-3 cm achter de kathode	0,06	0,95
5-7 cm achter de kathode	zeer zwak	0,54

E. Gehrcke en R. Seeliger. Über das Leuchten der Gase unter dem Einfluss von Kathodenstrahlen. Verh. d. Deutschen phys. Ges. 14, 335, 1912.

Dit artikel handelt over het kleurverschil van kathodestralen bij verschillende snelheden. Wordt bij helium de snelheid der electronen kleiner, dan gaat de groene kleur over in roodachtig geel.

T. R. Merton en J. W. Nicholson. On phenomena relating to the spectra of hydrogen and helium. Phil. Trans. of the Royal Soc. of London (A) 217, 237, 1917, (ingekomen Juni 1916).

Dit artikel is het eenige, dat wij vonden, waarin intensiteitsmetingen worden besproken, die op zoodanige wijze zijn uitgevoerd, dat de intensiteiten der verschillende lijnen onderling te vergelijken zijn, doordat de onderzoekers de gevonden zwarting in intensiteit hebben omgezet.

Vóór de spleet van de spectrograaf werd een wig van „neutraal gekleurd” glas geplaatst. Hieronder verstaan de schrijvers een glassoort, die geen selectieve absorptie vertoont. De absorptie nam evenwel met afnemende golflengte toe. Tegen de donkere wig was een wig van helder glas gekit. De wig stond in de lengte voor de spleet, zóó, dat de lijnen in het spectrum aan één zijde een groote zwarting op de plaat gaven en aan het andere uiteinde in het geheel geen. De lengte der lijnen op de plaat was dus een maat voor de intensiteit. Om deze lengten te meten, werd van het negatief een positief gemaakt, dat vergroot werd door een rooster. Op deze wijze krijgt men dus een vergroot negatief, waarop de lijnen bestaan uit kleine puntjes, een honderdste inch van elkaar. De lengte van de lijn werd nu bepaald door de laatste stip op te zoeken. Dit is een zeer bepaald punt. Volgt men deze weg niet, dan is de persoonlijke fout bij het bepalen van het uiteinde van de lijn zeer groot.

De absorptie van de wig voor de verschillende golflengten werd bepaald door twee prisma's volgens Nicol voor de spleet te plaatsen, eerst evenwijdig,

daarna onder een hoek, zóó, dat $\frac{1}{10}$ van de intensiteit er door viel. De verhouding der aldus verkregen lijnlengten werd voor vijf verschillende golflengten uitgezet. Door de verkregen punten werd een kromme getrokken.

Op dezelfde plaat werd een spectrum opgenomen van de positieve krater van een koolspitsenbooglamp. De absolute intensiteit van deze lamp werd uit de wet van Wien bepaald door als temperatuur van de krater 3750° abs. aan te nemen volgens opgaaf van Harker van het National Physical Laboratory. Voor het continue spectrum werd de dispersie van het instrument in aanmerking genomen. Ter bepaling van de intensiteit van de lijnen werd ook rekening gehouden met de breedte van de lijnen. Hiervoor werd het aantal stippen geteld, waaruit het lijnenbeeld bestond. Een zwartingskromme werd van de plaat evenwel niet opgemaakt.

Op deze wijze verkregen de waarnemers waarden voor de intensiteiten, die konden worden vergeleken. In deze zoogenaamde „absolute intensiteiten” hebben zij de verhouding van een dertiental lijnen uitgedrukt onder drie verschillende omstandigheden. In bijgaande tabel vindt men achter de golflengte der lijnen in onze notatie aangegeven reeks en reeksnummer van de lijn. Daarachter vindt men de intensiteit in drie spectra. Het eerste met *A* aangegeven spectrum, is het spectrum van de capillair van een gewoon heliumbuisje, waarin de gasdruk ongeveer 1 mm was, en

dat gevoed werd door een klos zonder een capaciteit of een vonkenbaan in de keten. Het spectrum *B* is opgenomen, terwijl er een kleine condensator parallel met een kleine vonkbrug in de keten was geplaatst. Het spectrum *C* is afkomstig van een keten met een groote capaciteit en een vonkbrug.

Golflengte	Lijn ¹⁾	Intensiteit		
		A	B	C
7065	s-1	7,61	1,03	zeer-klein
6678	D-1	8,12	2,20	3,30
5876	d-1	14,7	9,58	14,7
5044	S-2	0,498	zeer-klein	zeer-klein
5016	H-2	6,22	1,84	3,71
4922	D-2	1,39	1,25	1,88
4704	s-2	1,47	0,606	1,76
4472	d-2	10,90	36,2	10,90
4388	D-3	0,505	0,737	1,42
4121	s-3	0,678	0,618	1,356
4026	d-3	4,51	11,73	4,51
3965	H-3	2,60	2,60	3,18
3889	h-2	100	23,2	72,9

Wanneer wij deze waarnemingen grafisch uitzetten op de wijze, zooals verderop in dit proefschrift is gedaan, namelijk de logarithmus van de intensiteit tegen het volgnummer van de lijn in de reeks, dan hebben wij eenig overzicht over het verval in de ver-

¹⁾ Zie voor deze notatie blz 40.

schillende reeksen. Het spectrum *A* levert dan een vrij betrouwbaar geheel, al is dit uit wel wat weinig punten samengesteld. Het beeld, dat de beide andere spectra te zien geven, is echter zeer verward. Dit is trouwens voor spectrum *B* reeds direct te zien, daar hier de lijn d-1 zwakker is dan de volgende in de reeks d-2, en H-2 is zwakker dan H-3. De gevolgtrekkingen, die de schrijvers uit deze gegevens maken, hebben dan ook geen waarde.

T. R. Merton en J. W. Nicholson. On intensity relations in the spectrum of helium. Phil. Trans. (A) 220, 137, 1920 (ingekomen April 1918).

Bij een buis met een vlakke kathode van aluminium met een doorsnede van ongeveer een inch, die nauw in de cilindrische buis paste, werd de zwarting bepaald van enkele heliumlijnen op verschillende afstand van de kathode. Daar de uitkomsten niet in intensiteiten zijn omgezet, kunnen de lijnen onderling niet vergeleken worden. Wel blijkt uit de proeven, dat de onderzoekers gevonden hebben, dat de intensiteitsverhouding der verschillende lijnen verandert met de afstand van de kathode. Dit geldt niet alleen voor lijnen van verschillende reeksen, maar ook voor lijnen van eenzelfde reeks.

Verder wordt nog nagegaan de verandering der intensiteiten onder andere omstandigheden van druk en zuiverheid.

L. Hamburger. Über Lichtemission von Gasen und Gasgemischen bei elektrischen Entladungen. Zeitschr. f. wiss. Phot. 18, 1, 1918.

Aan de hand van zijn onderzoekingen toont de schrijver aan, dat de lichtuitzending langzamer toeneemt, dan de stroomdichtheid, en, dat het maximum van de uitgestraalde energie zich bij drukvermindering naar het ultraviolet verplaatst. Lijnen, die tot verschillende reeksen behooren, gedragen zich met betrekking tot de invloed van de druk zeer verschillend.

J. Holsmark. Über den Intensitätsverlauf in Serienspektren bei der Erregung mit Kathodenstrahlen. Annalen d. Physik, IV, 55, 245, 1918.

Naar aanleiding van een reeks proefnemingen met waterstof, waar zij vonden, dat de intensiteitsverhouding van de lijnen H_{β} en H_{γ} onafhankelijk is van de druk in de buis, deden zij eenige waarnemingen met helium. Hier bleek de verhouding der intensiteiten wel degelijk van de druk afhankelijk. Bij grotere druk werden de lijnen van grotere golflengte relatief sterker. Afzonderlijke intensiteiten zijn niet gemeten. De waarnemingen zijn vrij grof.

R. Seeliger en G. Mierdel. Anregung der Atome zur Lichtemission durch Elektronenstoss II. Spectroskopische Studien an der Neon-Glimmlampe. Zeitschr. f. Physik 5, 182, 1921.

Zij merkten op, dat in de glimlamp de gele heliumlijn 5876 opvallend zwak werd uitgezonden. Terwijl

in de positieve zuil van een met helium gevulde ontladingsbuis de intensiteit bij de opvolgende lijnen in de reeks afneemt, is in de glimlamp de intensiteit van de gele lijn merkbaar kleiner, dan die van de op deze volgende 4472. Wanneer men fotometrisch zoo instelt, dat de lijn 4472 in het spectrum van de glimlamp en de positieve lichtzuil ongeveer een even groote intensiteit heeft, dan is de intensiteit van de gele lijn in het spectrum van het glimlicht merkbaar zwakker, dan in dat van de positieve zuil. Ook bij de lijnen 4922 en 4388 deed zich dit verschijnsel voor. Het resultaat van hun metingen is overzichtelijk in de volgende tabel samengevat.

Lijn	5876(d-1)	4472(d-2)	4922(D-2)	4388(D-3)
Zwarting in positieve zuil	1,81	1,71	1,75	0,70
Zwarting in glimlamp	0,85	1,70	0,62	0,70

Soms was er ook een opmerkelijk verschil in intensiteitsverhouding op verschillende afstand van de kathode.

Afstand van de kathode	4472 (d-2)	4026 (d-3)
1,25 mm	1,64	1,16
2,50	1,75	1,08

H. P. Bouwman. De invloed der stroomdichtheid op de intensiteit van uitgezonden spectraallijnen (Verslag Nederl. Natuurk. Ver.) Physica, Nederl. Tijdschr. v. Natuurk. 3, 183, 1923.

Met een opstelling, waarbij een buisje volgens Geissler in serie met een vonkbrug in de ontlaadkring van een condensator staat, die door een uiteinde van de secundaire stroom van een groote inductieklos wordt geladen, die aan het andere uiteinde met een gelijkrichter van Philips is verbonden, werd met een „luchtvonk” bij een maximale ontladingspotentiaal van 15000 V een maximale stroomdichtheid bereikt, die op 30000 ampère/cm² werd geschat. Door de vonk in olie te plaatsen werd de stroomdichtheid nog aanmerkelijk vergroot. Houdt men in de kring de capaciteit en de zelfinductie constant, dan verandert de stroomdichtheid bij benadering evenredig met de ontladingspotentiaal.

De capillair van de heliumbuis werd via verzwakkers van rookglas op de spleet van een spectrograaf van Fuess afgebeeld. Uit de zwartingskrommen werden op de gebruikelijke wijze de intensiteiten bepaald.

De onderzoeker kwam tot het resultaat, dat de lijnen zeer verschillend werden beïnvloed. De lijnen 4922 en 4143 nemen bij groter stroomdichtheid in intensiteit af, de intensiteit van de lijn 4713 neemt daarentegen met de stroomdichtheid toe.

A. Ll. Hughes en P. Lowe. Intensities in the helium-

spectrum. Proc. Roy. Soc. London (A) 104, 480, 1923.

Bij verschillende potentiaal werden de intensiteiten verschillend bevonden. Voor een 18-tal lijnen werd de logarithmus van de zwarting tegen het voltage uitgezet.

De zwartingen van de lijnen der hoofdreeks van het singulet-systeem stijgen snel, als de spanning van 34 tot 60 V toeneemt, dan langzamer en gaan ten slotte vlak loopen (3965) of buigen iets omlaag (5016). Die van de lijnen van de diffuse reeks der singuletten stijgen van 35 tot 65 V en dalen dan langzaam. De hogere volgnummers toonen een steiler verloop. De lijnen van de scherpe reeks van de singuletten geven hetzelfde verloop te zien, maar iets minder steil. Het maximum ligt hier bij 75 V.

Wat de lijnen van het triplet-systeem betreft, de lijn 3889 van de hoofdreeks neemt bij stijgend voltage eerst zeer steil, dan langzaam af. De lijnen 4713 en 4121 der scherpe reeks gedragen zich evenzoo, de krommen loopen echter minder steil. De lijnen 5876, 4472, 4026 der diffuse reeks dalen ook in intensiteit, maar niet zoo snel.

Verband tusschen de verschillende lijnen is uit deze waarnemingen niet op te maken. Intensiteiten werden niet bepaald.

Ook deden onderzoekers waarnemingen bij verschillende druk en stroomsterkte, maar deze waarnemingen zijn, naar de schrijvers zelf verklaren, niet erg nauwkeurig.

Bessy Curry. Relative intensities of heliumlines as a function of current. Phys. Rev. II, 21, 203, 1923.

De schrijfster onderzocht de afhankelijkheid van de intensiteiten der heliumlijnen van de stroomsterkte met een spectrophometer volgens Brace-Lemon. De intensiteitskrommen kunnen worden voorgesteld door $y = ax^n$, waarin a en n constanten zijn, die voor de verschillende lijnen andere waarden hebben en slechts tusschen bepaalde grenzen van de stroomsterkte geldig zijn en bij sommige kritische waarden met een sprong veranderen.

C. B. Bazzoni en J. T. Lay. Intensity relations in the helium spectrum. Phys. Rev. 23, 327, 1924.

Bij verschillend voltage veranderen de intensiteiten der lijnen en ook verandert de verhouding der intensiteiten. De lijnen 4438 (S-3), 4388 (D-3), 4922 (D-2) en 5016 (H-2) groeien in intensiteit met de spanning hoewel niet alle in dezelfde mate. De lijnen 4713 (s-2), 5876 (d-1) en 4472 (d-2) nemen alle af tot een minimum bij ongeveer 50 volt.

Carl Heinrich. Spektralphotometrische Untersuchung der sichtbaren Strahlung des negativen Glimmlichts in Neon und Helium. Ann. d. Phys. IV, 80, 349, 1926.

In het negatieve glimlicht wordt de toeneming der intensiteit bij grooter stroomdichtheid gemeten. De stroomsterkte bedroeg van 40 tot 60 mA. De lijnen 5016 (H-2), 5876 (d-1) en 4472 (d-2) groeien even-

redig met de stroomdichtheid, de lijnen 6678 (D-1) en 4922 (D-2) daarentegen sterker dan de stroomdichtheid. De schrijver wijst er op, dat zijn resultaten juist geheel anders zijn, dan die van Seeliger en Mierdel. Hij schrijft dit toe aan het feit, dat deze onderzoekers met een mengsel van neon en helium werkten, terwijl hij spectraalzuiver helium gebruikte.

L. S. Ornstein en H. C. Burger. Die Einheit vom Singulett- und Triplettssystem und ihre Intercombinationen. Zeitsch. f. Phys. 40, 403, 1926.

Dit artikel hebben wij boven reeds uitvoerig besproken. In dit verband moeten wij alleen nog even opnieuw de meting van de verhouding der beide heliumlijnen 4388 (D-3) en 4026 (d-3) vermelden, waarvoor de schrijvers 1:4,7 vonden. Na deeling door de vierde macht van de trillingsgetallen gaat deze verhouding over in 1:3,3, terwijl de theoretische verwachting 1:3 was.

L. S. Ornstein en H. P. Bouwman. Verlauf aer Intensität im Heliumspektrum bei kondensierter Entladung. Zeitschr. f. Phys. 43, 839, 1927.

De heliumlijnen 5016 (H-2), 4922 (D-2) en 4713 (s-2) werden bij verschillende ontladingsspanningen onderzocht, benevens de intercombinatielijn 4384 en de vonklijn 4686. De spanningen variëerden van 500 tot 35840 volt. De intensiteiten werden door middel van de methode der verzwakkers en met gebruik-

making van een standaardlamp nauwkeurig bepaald. De vier booglijnen groeiden met de spanning aan tot een maximum, dat ongeveer bij 10 kV ligt, namen dan af tot zij bij ongeveer 17 kV een minimum bereikten en namen dan weer toe tot een tweede maximum bij ongeveer 26 kV. De intensiteitsverhouding der vier lijnen bleek bij alle spanningen dezelfde te zijn. De vonklijn vertoonde een hiervan geheel afwijkend gedrag.

Samenvattend kunnen wij dus wel zeggen, dat het materiaal op het gebied van intensiteitsmeting in het heliumspectrum niet zeer belangrijk is. Op de laatste onderzoeken van het gedrag der lijnen bij gecondenseerde ontlading na en de meting van de verhouding der beide diffuse lijnen 4388 en 4026, zijn alleen de metingen van Merton en Nicholson een aandachtiger beschouwing waard, omdat geen der overige onderzoekers de verhouding der intensiteiten heeft bepaald, waardoor de intensiteiten der verschillende lijnen slechts vergelijkbaar kunnen worden. Deze metingen van Merton en Nicholson geven echter maar weinig lijnen, die bovendien in twee der drie spectra een zoo groote spreiding vertoonen, dat wij uit de uitkomsten geen gevolgtrekkingen kunnen maken.

TWEEDE HOOFDSTUK

3. DE GEBRUIKTE INSTRUMENTEN

De lichtbron bestond uit een gewoon, met helium gevuld buisje volgens Geissler. Voor nauwkeurige onderzoeken in het ultraviolet hebben wij gebruik gemaakt van buisjes van kwarts of van buisjes met een kwartsvenster. Welke soort van buis werd gebruikt, is telkens bij de proeven vermeld.

Eerst werd een reeks waarnemingen gedaan met een kleine kwartsspectrograaf van Fuess. Hierbij werd steeds van de methode der trapverzwakkers gebruik gemaakt. Toen het bleek, dat met dit kleine instrument niet een voldoende nauwkeurigheid kon worden bereikt, hebben wij de waarnemingen voortgezet met een groote kwartsspectrograaf (E1) van Hilger. Dit is een instrument met autocollimatie. Het heeft een dispersie, die zoo groot is, dat het spectrum in vier, over elkaar grijpende gedeelten op platen van 25 cm lengte wordt opgenomen. Met dit toestel hebben wij de methode van de variatie van de spleetbreedte toegepast. Een enkele keer werkten wij ook hier met verzwakkers om na te gaan of er een afwijking wegens intermittentie aanwezig was.

Als standaardlamp gebruikten wij een met een kwarts-venster uitgeruste lamp met een gloeidraad van

wolframium, later een koolstof-lamp die eveneens van een kwartsvenster was voorzien.

Allè platen werden gefotometreerd met een microfotometer volgens Moll.

4. WIJZE VAN ONDERZOEK

Wanneer met trapverzwakkers wordt gewerkt, kan de intensiteitsverhouding der spectraallijnen op de plaat door inschuiving hunner zwartingskrommen onmiddellijk worden gevonden. De uit de continue spectra van de standaardlamp gevonden zwartingskromme moet natuurlijk met die der lijnen overeenstemmen. Om uit de aldus gevonden intensiteiten de verhouding der intensiteiten voor verschillende golflengten te vinden, moet men ze deelen door de gevoeligheid van de plaat voor de betreffende golflengte.

Weet men voor een bepaalde golflengte: 1^o. de stralingsintensiteit van de lamp, 2^o. de intensiteit van het lampspectrum op de fotografische plaat en 3^o. de dispersie van de spectrograaf, dan kan men de gevoeligheid van de plaat berekenen door het product van de laatste twee grootheden door de eerste te deelen.

Bij de methode van de variatie van de breedte van de spleet worden op de plaat tusschen een aantal heliumspectra van verschillende belichtingstijd een reeks doorlopende spectra van de standaardlamp opgenomen, die bij verschillende spleetbreedte nauwkeurig evenlang belicht zijn (30 seconden). De intensiteiten van

de continue spectra op de plaat kunnen nu evenredig gesteld worden aan de breedten van de spleet. Bij enkele zeer bepaalde golflengten, die bij eenige heldere heliumlijnen worden gekozen, worden de continue spectra doorgemeten. De op deze wijze gevonden zwartingskrommen worden ingeschoven. Hieruit vindt men de zwartingskromme van de plaat, die dient, om de intensiteit der heliumlijnen in de verschillende spectra uit hun zwartingen te bepalen. Uit de inschuiving vindt men tevens de verhouding der intensiteiten op de plaat van de continue lichtbron bij verschillende golflengten.

De dispersie van de spectrograaf hebben wij bepaald door de afstand van de spectraallijnen op de plaat te meten met een comparateur en deze tegen de golflengte uit te zetten. Voor de kleine spectrograaf van Fuess hebben wij volstaan met het trekken van loodlijnen op de kromme door middel van een spiegel-liniaal. De helling van deze lijnen is gemakkelijk op het millimeterpapier uit te meten, waarna hun tangens is te berekenen.

Bij de groote spectrograaf van Hilger zijn wij nauwkeuriger te werk gegaan. Hier hebben wij de dispersiekromme bepaald door middel van de vergelijking $x = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$. Uit de onderlinge afstand van drie lijnen op de plaat hebben wij de constanten a , b en c berekend. Wij vonden $a = 22507$; $b = -2,587.10^{11}$; $c = -1,058.10^{17}$.

Deze constanten bleken goed te voldoen voor enkele andere lijnen, waarmee wij de vergelijking hebben

gecontroleerd. De dispersie $\frac{dx}{d\lambda}$ werd nu voor verschillende golflengten uitgerekend en grafisch uitgezet, voor tusschenliggende golflengten werd hij op de grafische voorstelling afgelezen.

De stralingsintensiteit van de standaardlamp met een gloeidraad van wolframium, hebben wij van de voor de lamp opgemaakte ijkingskromme afgelezen.

De lamp moest daarvoor met een zeer bepaalde stroomsterkte branden. Bij de koolstoflamp hebben wij telkens onmiddellijk na de belichting met een pyrometer de temperatuur van het koolstoflichaam waargenomen en de, bij deze temperatuur bij de verschillende golflengten behorende, intensiteit afgelezen op een nomografie, die volgens de wet van Wien is samengesteld¹⁾.

Het teekenen van de gevoeligheidskromme hebben wij steeds grafisch gedaan. Op de abscis-as wordt de golflengte liniair uitgezet, op de ordinaat wordt een logarithmische schaalverdeeling aangebracht, zie figuur 5. In dit diagram wordt de stralingsintensiteit van de lamp s , de intensiteit van de lamp op de plaat i en de dispersie d voor verschillende golflengten uitgezet. De gevoeligheidskromme g vindt men nu uit de formule $g = \frac{i \times d}{s}$. Daar de schaalverdeeling logarithmisch is, komt vermenigvuldigen overeen met optellen, deelen met aftrekken van een afstand in de ordinaatrichting. Door voor een bepaalde golflengte

¹⁾ Deze nomografie vindt men afgebeeld op blz. 61 van het proefschrift van H. C. van Alphen. *Stralingsmeting aan wolframlampen*. (Utrecht 1927).

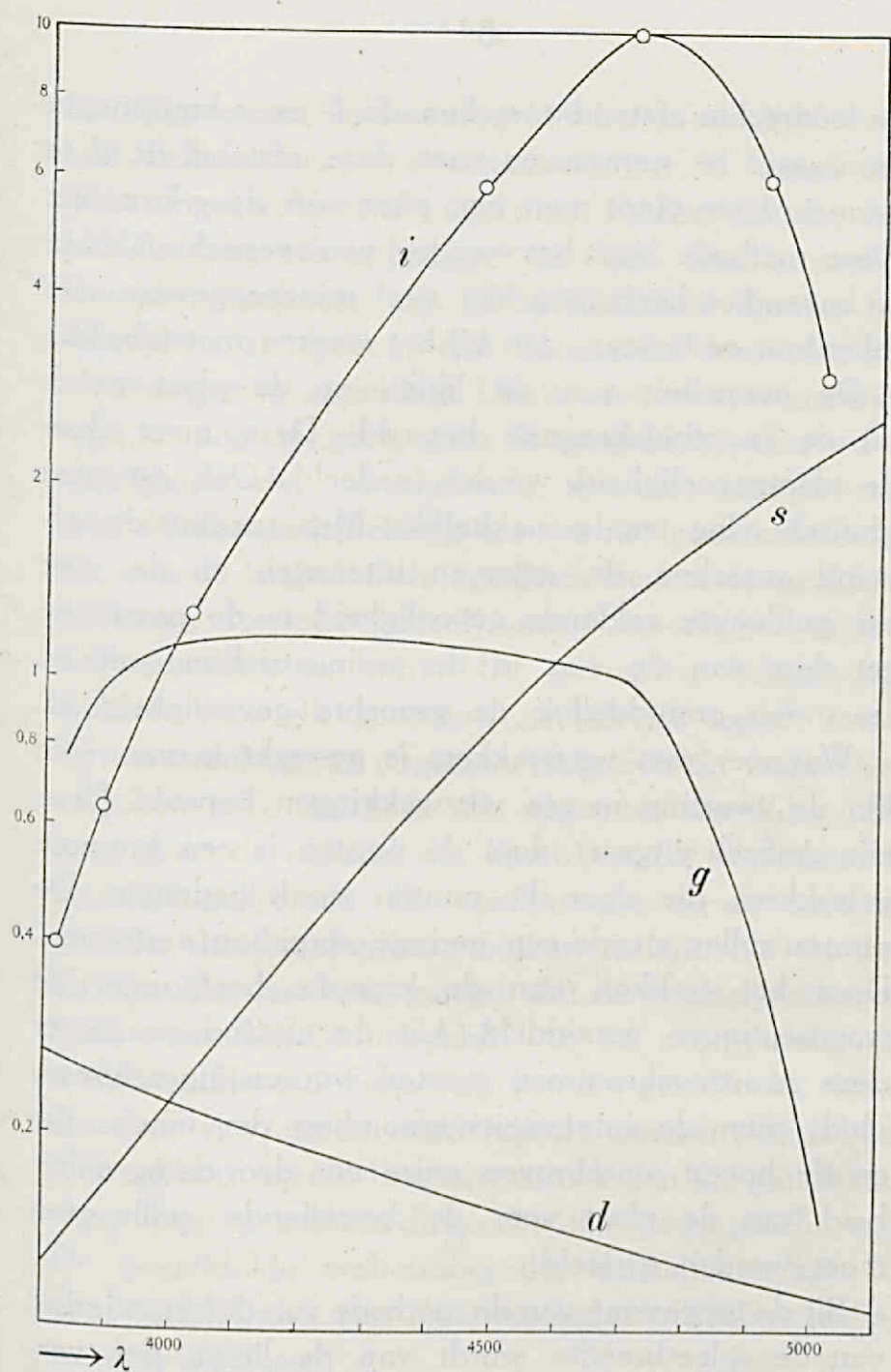


Fig. 5

de loodrechte afstand tusschen de i - en s -kromme in de passer te nemen en met deze afstand de d te vermeerderen vindt men een punt van de g -kromme. Deze methode heeft het voordeel van overzichtelijkheid en bovendien heeft men hier veel minder gevaar, een rekenfout te begaan, dan bij het werken met tabellen.

De intensiteit van de lijnen op de plaat wordt uit de zwartingskromme bepaald. Deze moet door de plaatgevoeligheid worden gedeeld. Ook dit gaat grafisch vlug en gemakkelijk. Men neemt de afstand tusschen de gegeven intensiteit en de voor die golflengte geldende gevoeligheid in de passer en zet deze van de λ -as in de ordinaatrichting uit en leest zoo onmiddellijk de gezochte gevoeligheid af.

Wanneer met verzwakkers is gewerkt is van elke lijn de zwarting in zes verzwakkingen bepaald. Deze zijn grafisch uitgezet, door de punten is een kromme getrokken, die door die punten wordt gedragen. De punten zullen steeds een geringe spreiding vertoonen. Door het trekken van de kromme heeft men de waarnemingen gemiddeld. Uit de afstand, waarover deze zwartingskrommen moeten worden ingeschoven, vindt men de intensiteitsverhouding der lijnen, die op de boven omschreven wijze nog door de gevoeligheid van de plaat voor de betreffende golflengten moet worden gedeeld.

Bij de toepassing van de methode van de verandering van de spleetbreedte wordt van de lijnen der verschillende spectra, die met verschillende belichtingstijd

zijn opgenomen, de zwarting berekend en deze wordt met behulp van de zwartingskromme in intensiteitsmaat omgezet. Voor elk spectrum vinden wij dus een waarde voor de intensiteit van elke lijn. Vergelijkt men de uitkomsten, die de verschillende spectra van dezelfde plaat geven, dan vertoonen deze een min of meer groote spreiding. Dit is niet te verwonderen, daar er nog op geen wijze is gemiddeld. Om nu de uitkomsten der verschillende spectra, waarvan die met de kortste belichtingstijd slechts de sterkste lijnen, die met de lange belichtingstijden slechts de zwakkere bevatten, tot één geheel samen te voegen, gingen wij als volgt te werk. De gevonden intensiteiten werden voor elk spectrum afzonderlijk logaritmisch op een strook papier uitgezet. Aangezien de verhouding tusschen twee lijnen in elk spectrum dezelfde moet zijn, moet de afstand der lijnen op de verschillende strooken gelijk zijn. De configuraties op de strooken moeten dus inschuifbaar blijken te zijn. Nu worden de strooken zoodanig gelegd, dat de overeenstemming „zoo waarschijnlijk mogelijk” is en de punten, die tot eenzelfde lijn behooren, worden gemiddeld, d.w.z. tusschen de punten wordt op de „meest waarschijnlijke plaats” op de bovenste strook een lijn getrokken, waarbij het teken van de spectraallijn wordt geschreven. De gemiddelde verhouding der intensiteiten kan nu door middel van een logaritmische schaalverdeeling worden afgelezen.

Dit middelen der intensiteiten van de lijnen kan

geschieden voor of na het deelen door de gevoeligheid van de plaat.

Het deelen van de intensiteit der lijnen door de vierde macht van het trillingsgetal kan ook het best volgens de grafische methode geschieden. Op de abscis-as, zie figuur 6, wordt de golflengte lineair uitgezet, op de ordinaat-as logaritmisch. Alle ordinaten worden nu vier maal vergroot, waardoor de kromme λ^4 ontstaat, die in de figuur om praktische redenen door een constante is gedeeld. Daar wij bij al onze waarnemingen de intensiteit van de lijn d-3, 4026, gelijk aan honderd hebben gesteld, om de verschil-

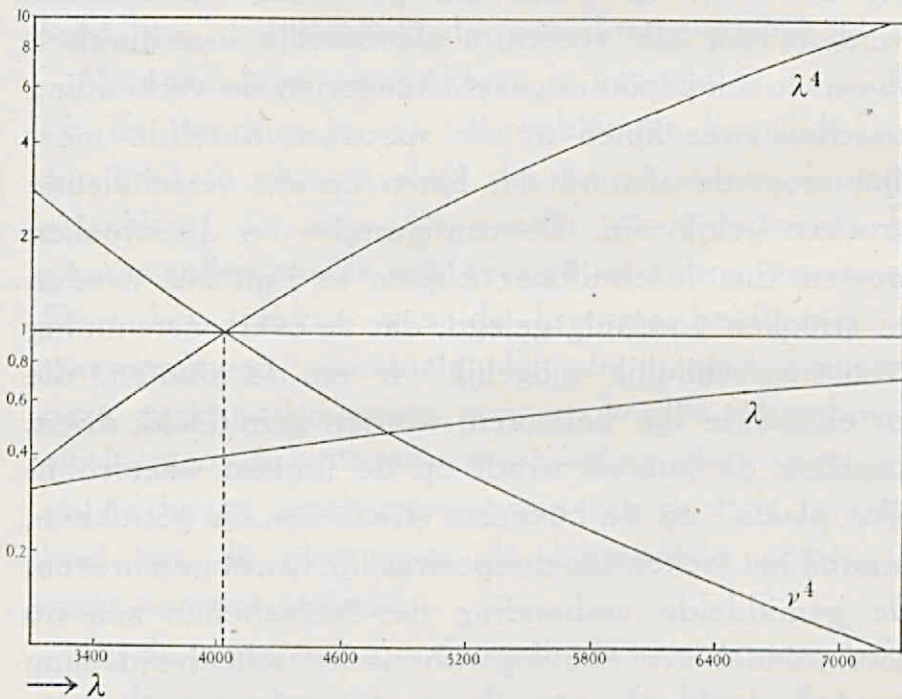


Fig. 6

lende uitkomsten gemakkelijk te kunnen vergelijken, en wij na deeling door ν^4 ook graag weer 100 voor de intensiteit van deze lijn vinden, hebben wij de kromme evenwijdig aan zich zelf verschoven, zoodat hij bij de golflengte 4026 een ordinaat 1 heeft. In plaats van door de vierde macht van de ν te deelen kan men ook met de vierde macht van de λ vermenigvuldigen dat door middel van deze kromme vlug en handig gaat, terwijl de kans op vergissingen klein is. Men heeft slechts de waarde van de intensiteit van de betreffende lijn van de logaritmische schaalverdeling in de passer te nemen, hiermee de ordinaat van de λ^4 -kromme voor deze golflengte te vermeerderen en de grootte van dit product op de ordinaat-as af te lezen. Wil men liever met de kromme voor ν^4 werken, dan is die zeer eenvoudig te verkrijgen door de λ^4 -kromme om de horizontale lijn 1 te spiegelen. Ook deze kromme is in de figuur geteekend, zoodanig dat hij voor een golflengte 4026 een ordinaat 1 heeft.

Soms echter bleken de zwartingskrommen, die uit de spectra van de standaardlamp waren verkregen, niet „inschuifbaar” te zijn. De helling van de krommen was kleiner naarmate de golflengte kleiner was. Daar het hellingsverschil slechts gering is, is dit verschijnsel slechts bij platen met zeer goede zwartingskrommen te constateeren.

Om in dit geval de bij de zwartingen van de lijnen behorende intensiteiten te vinden, moet men voor iedere lijn de bij die golflengte behorende zwartings-

kromme bepalen en op deze kromme de intensiteit van de lijn aflezen. In de praktijk kan men natuurlijk met een beperkt aantal krommen volstaan en de tusschenliggende door interpolatie vinden. De intensiteit van de lijn heeft men op deze wijze uitgedrukt in procenten van de intensiteit van het spectrum van de standaardlamp voor die bepaalde golflengte. Door deze waarde met de uit de nomografie afgelezen intensiteit van de lamp voor die golflengte te vermenigvuldigen, vindt men de werkelijke intensiteit van de spectraallijn.

Deze methode is toegepast bij het bepalen van de intensiteit der lijnen op plaat S, zie paragraaf 11.

DERDE HOOFDSTUK

Waarnemingen en Uitkomsten

5. VOORLOOPIGE WAARNEMINGEN

Zooals wij reeds boven hebben meegedeeld, hebben wij eerst een aantal waarnemingen gedaan met een kleine spectrograaf van F u e s s. Wegens de geringe dispersie van het instrument is de nauwkeurigheid van de uitkomsten niet zeer groot. De zwarting van de spectra van de standaardlamp verschilt namelijk voor de verschillende golflengten nog al aanmerkelijk. Door de kleine dispersie is het verval zeer sterk. Een kleine onjuistheid in de plaats, waar de spectra worden door-gemeten, geeft een betrekkelijk groote afwijking in de gevonden zwartingen. Vooral is dit het geval met de roode lijnen 7281 en 7066, daar in dit gebied de gevoeligheid van de panchromatische plaat naar de zijde van de groote golflengten zeer snel afneemt. In het hier volgend verslag hebben wij deze lijnen dan ook maar weggelaten.

Wanneer men bij een golflengte van 3800 nog een merkbare zwarting van de standaardlamp verlangt, zijn deze spectra bij grootere golflengten te overmatig zwart. De intensiteit hiervan spreidt zich als een diffuse licht-vlek over een groot gedeelte van de kleine fotografische

plaat (6×9 cm) uit, waardoor het opmaken van een juiste zwartingskromme uitermate wordt bemoeilijkt en het resultaat onnauwkeurig wordt.

Bij deze waarnemingen werd met fotografische verzwakkers gewerkt, waarvan de zes trappen achtereenvolgens een doorlatingsvermogen hadden van ongeveer 100, 20, 27, 11, 57 en 100 procent, welke waarden voor de verschillende golflengten eenigszins varieerden.

Als lichtbron dienden gewone glazen buisjes volgens Geissler uit de handel, als standaardlamp een lamp zonder kwartsvenster, met een gloeidraad van wolframium. Deze lamp was geijkt tusschen de golflengten 4500 en 6200. Voor de hierbuiten liggende golflengten werd de ijkingskromme geëxtrapoleerd. Hiertoe hebben wij de kromme geredificeerd door middel van de formule

$$I_{\lambda} = A\lambda^{-5} e^{-\frac{hc}{kT\lambda}}$$

waarin $T = 2240^{\circ}$ absoluut. Er is reden aan de betrouwbaarheid van deze extrapolatie te twijfelen.

Van de genomen foto's kwam een vijftal voor nauwkeurige uitmeting in aanmerking, te weten:

Plaat I. Ilford Special Rapid Panchromatic Plate, backed.

Op deze plaat werd één standaardlampspectrum opgenomen, benevens twee heliumspectra, beide van hetzelfde buisje, gevoed door een wisselstroom van 500 perioden, spectrum A met een belichtingstijd

van 10 minuten, spectrum B met een van 20 seconden.

Plaat II. Ilford Special Rapid Panchromatic Plate, backed.

Hierop werden tusschen twee standaardlampspectra een heliumspectrum opgenomen. 500 perioden. Belichting 3 seconden.

Plaat III. Ilford Special Rapid Panchromatic Plate, backed.

Deze plaat bevatte twee standaardlampspectra, benevens één heliumspectrum met een belichtingsduur van 30 minuten. Wisselstroom van 500 perioden.

Plaat IV. Ilford Special Rapid Plate, backed, H. & D. 400.

Op deze plaat namen wij één spectrum van de standaardlamp en twee spectra van helium van twee verschillende buisjes, ieder met een belichting van 30 seconden. 500 perioden.

Plaat V. Ilford Special Rapid Plate, backed, H. & D. 400.

Eén spectrum van de standaardlamp benevens twee heliumspectra, ieder 30 seconden belicht. Spectrum A werd opgenomen terwijl het buisje werd gevoed door middel van een inductorium met interruptor, spectrum B terwijl een wisselstroom van 500 perioden door het buisje werd gestuurd.

TABEL XV

Lijn		λ	Intensiteit in de spectra:								Gemiddeld		Merton en Nicholson	
			I A	I B	II	III	IV A	IV B	V A	V B	I	I/ν^4	I	I/ν^4
S-1	2P-3S	7281												
s-1	2p-3s	7066											169	1550
D-1	2P-3D	6678		6400	17600						11000	80000	180	1320
d-1	2p-3d	5876		72500	66000						69000	310000	325	1480
S-2	2P-4S	5048	37			57	31	41	32	41	39	100	11,1	28
H-2	2S-3P	5016		1250	3250		1760	1000	780	840	1300	3200	138	340
D-2	2P-4D	4922	540	350	860	690	520	300	190	220	400	920	31	70
s-2	2p-4s	4713	410	330	580	370	330	210	137	170	290	560	32,5	62
d-2	2p-4d	4472		1900	2800				500	590	1100	1660	240	360
S-3	2P-5S	4438	5,3			3,8	3,9	6,0	5,1	5,9	4,9	7,1		
D-3	2P-5D	4388	50	41		42	45,5	45	28	35	41	58	11,2	15,7
S-4	2P-6S	4169				0,39		0,60			0,49	0,56		
D-4	2P-6D	4144	6,3			5,5	3,9	4,7	6,5	6,8	5,5	6,1		
s-3	2p-5s	4121	19			17,3	13,1	12,6	15	18	16	17,5	15	16,5
d-3	2p-5d	4026	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
D-5	2P-7D	4009				0,61		1,22			0,86	0,61		
H-3	2S-4P	3965	43	35		37	49	32	48,5	43	40	35	58	54
h-2	2s-3p	3889		4400	2800		4000	1020	630	560	1600	1400	2200	1950
s-4	2p-6s	3868				0,73					0,73	0,59		
d-4	2p-6d	3820	14			3,8		3,7			2,7	2,2		

De resultaten van de metingen zijn bijeengevoegd in tabel XV. In de eerste kolom vindt men de lijnen aangeduid met onze verkorte notatie, zooals die op blz. 40 is beschreven. Daarnaast staan de gebruikelijke symbolen, waarbij de singulet-lijnen door hoofdletters, de tripletlijnen door kleine letters zijn aangeduid. De singulet- en triplet-indices zijn echter weggelaten. In de derde kolom vindt men de golflengten. Dan volgen in acht kolommen de intensiteiten van de lijnen in de verschillende spectra op de hierboven besproken platen. In elk spectrum is de intensiteit van de lijn d-3 gelijk aan 100 gesteld, waardoor het mogelijk is de resultaten te vergelijken.

De gemiddelde waarden vindt men in de twaalfde kolom, waarbij men heeft op te merken, dat deze waarden natuurlijk niet de rekenkundige gemiddelden van de verschillende waarden voorstellen, maar door inschuiving zijn verkregen op de wijze als op blz 65 is uiteengezet. Daarnaast staan dezelfde waarden gedeeld door de vierde macht van het trillingsgetal, vermenigvuldigd met een evenredigheidsfactor, zóó, dat de waarde voor de lijn d-3 wederom 100 bedraagt.

Ter vergelijking hebben wij de uitkomsten van Merton en Nicholson er naast gezet, in twee kolommen. De eerste kolom bevat de intensiteiten, de laatste de waarden van I/ν^4 , terwijl wij weer voor d-3 100 hebben genomen.

Wanneer wij deze tabel aan een aandachtige beschouwing onderwerpen, dan merken wij op, dat de

gevonden waarden nog al sterk uiteenloopen. Vooral geldt dit voor de verhouding van twee lijnen, die tot verschillende reeksen behooren.

Uit de kolom der gemiddelden zien wij, dat tusschen een triplet-lijn en de daarbij behorende singulet-lijn een verhouding bestaat, die bij de eerste lijnen in de reeks grooter is dan 3 en bij de volgenden tot ver beneden 3 daalt. De getallen loopen te sterk uiteen om te kunnen beslissen of de verhouding der intensiteiten in een andere buis anders is of niet, en ook of de wijze van opwekking de verhouding der intensiteiten beïnvloedt.

Wat de waarden van Merton en Nicholson betreft, merken wij op, dat deze de indruk maken minder juist te zijn en, dat voornamelijk voor de lijnen met groote golflengte door hen een te kleine intensiteit is gevonden.

De hier besproken waarnemingen kunnen wij niet anders, dan als voorloopig beschouwen.

6. WAARNEMINGEN MET DE SPECTROGRAAF VAN HILGER AAN GLAZEN HELIUMBUISJES

Ten einde de boven opgesomde bronnen van onnauwkeurigheid te vermijden, hebben wij de waarnemingen voortgezet met een groote spectrograaf van Hilger (E 1). Bij de eerste platen werd een standaardlamp met een gloeidraad van wolframium gebruikt, die voorzien was van een kwartsvenster, bij de latere een koolstaaflamp, die eveneens van een kwarts-

venster was voorzien. De waarnemingen met de wolframiumlamp deden namelijk het vermoeden rijzen, dat de door middel van de wet van Wien berekende energie-verdeeling niet geheel juist was. Daarom werd een foto genomen om beide lampen te vergelijken.

Plaat E. Ilford Iso-Zenith Plate. H & D. 700. (10 × 25 cm).

Op deze plaat namen wij acht spectra van de koollamp en acht van de wolframiumlamp. Deze spectra werden met verschillende spleetbreedte genomen. De belichtingstijd bedroeg steeds 30 seconden. Bovendien werden op de plaat twee vergelijkingspectra van helium genomen.

De zwartingskrommen bleken goed inschuifbaar te zijn. Door gebruik te maken van de zwartingsmerken van de koollamp werd de gevoeligheidskromme van de plaat opgemaakt. Evenzoo werd gehandeld met de spectra van de wolframiumlamp. De beide, aldus gevonden gevoeligheidskrommen bleken tot een golflengte van $3750 \text{ \AA}^0$ volkomen samen te loopen, doch weken daarna sterk uiteen.¹⁾ Wij hebben de waarden van de koollamp als juist beschouwd en de met de wolframiumlamp genomen foto's door middel van de op plaat E gevonden afwijking gecorrigeerd.

Terwijl als lichtbron glazen heliumbuisjes dienden, hebben wij de volgende platen genomen:

¹⁾ c.f. H. C. van Alphen. l.c. blz. 71 vv.

Plaat A. Ilford Special Rapid Plate, backed. H. & D. 400 (9×10 cm).

Op deze plaat namen wij zeven standaardlamp-spectra met verschillende spleetbreedte, terwijl de wolframiumlamp brandde met een stroomsterkte van 6,3 A, en vier spectra, terwijl door de lamp een stroom van 5 A ging, met een belichtingstijd van 30 seconden, benevens vier heliumspectra met belichtingstijden van 30 sec., 2 min., 8 min. en 32 minuten.

Plaat B. Ilford Special Rapid Plate, backed. H. & D. 400 (9×10 cm).

Spectra van de wolframiumlamp als op plaat A. Verder vier spectra van helium van twee verschillende buisjes, telkens met belichtingstijden van $2\frac{1}{2}$ minuut en 1 uur. De waarden, die uit de spectra van het eerste buisje zijn berekend, zullen wij aanduiden met B_1 , die van het andere met B_2 .

Plaat C. Ilford Iso-Zenith Plate. H. & D. 700 (10×25 cm).

Spectra van wolframiumlamp als bij plaat A, verder vier heliumspectra met belichtingstijden 10', 30', $1\frac{1}{2}$ uur en 4 uur.

Plaat D. Ilford Iso-Zenith Plate. H. & D. 700 (10×25 cm).

Op deze plaat namen wij elf standaardlampspectra van de koollamp en vier heliumspectra, die achter-

eenvolgens gedurende 10 minuten, 30 minuten, $1\frac{1}{2}$ uur en $4\frac{1}{2}$ uur waren belicht.

Plaat F. Ilford Iso-Zenith Plate. H. & D. 700 (10×25 cm).

Deze plaat bevatte 14 spectra van de koollamp en 6 van helium. Belichtingstijden $3''$, $10''$, $30''$, $130''$, $4\frac{1}{2}$ min. en $13\frac{1}{2}$ minuut.

Plaat G. Ilford Iso-Zenith Plate. H. & D. 700 (10×25 cm).

Elf spectra van de koollamp, 6 van helium, waarvan 3 bij zwakke stroomsterkte zijn genomen met belichtingstijden van $1''$, $3''$ en $9''$, en 3 met iets grotere stroomsterkte, belichtingstijden $\frac{1}{3}''$, $1''$ en $3''$. De uitkomsten van de laatste drie spectra hebben wij gemiddeld, wij zullen deze aanduiden met G_1 . De gemiddelden van de eerste drie geven wij aan met G_2 .

De resultaten van al deze metingen zijn in tabel XVI vereenigd. De voorlaatste kolom bevat de „gemiddelde” waarden van de platen C, D, F en G, de laatste deze zelfde waarden gedeeld door de vierde macht van het trillingsgetal. Steeds is voor de lijn d-3 de waarde 100 genomen.

Uit de tabel is niet af te leiden, of een geringe verandering van de stroomsterkte eenige invloed heeft op de verhouding der intensiteiten, evenmin of de verhouding bij verschillende buisjes anders is, de

intensiteitsverhouding op de verschillende platen loopt daartoe te sterk uiteen. De afwijking, die de verschillende platen te zien geven, is tenminste grooter, dan die tusschen de beide spectra van plaat B en van plaat G.

Het verval in de hoofdreeks der singulettten blijkt veel sterker te zijn, dan dat in de vier andere reeksen. (Van de hoofdreeks der tripletten valt maar één lijn binnen het onderzochte gebied). Dit verschijnsel hebben wij steeds teruggevonden. Het verval in de vier andere reeksen is vrijwel gelijk.

De S-reeks verkeert in een tamelijk ongunstige conditie om te worden gemeten. De lijn S-5 (4024) is niet te scheiden van de lijn d-3 (4026), die meer dan honderd maal zoo sterk is. De lijnen S-7 en S-8 zijn ongunstig gelegen, daar zij zich te dicht bij de zeer intense lijnen h-2 (3889) en d-4 (3820) bevinden. De lijn S-9 ten slotte wordt steeds te sterk waargenomen, daar met deze lijn de verboden lijn $2s-3d$ (3809,09) samenvalt.¹⁾

Gaan wij de verhouding na tusschen de bij elkander behorende lijnen van het singulet- en het triplet-systeem, dan vinden wij voor de eerste lijnen een verhouding, veel grooter dan 3. Deze verhouding neemt bij de hogere nummers af en wordt bij de diffuse reeks zelfs kleiner dan 1. Bedenken wij, dat de tripletlijnen een veel kleinere golflengte hebben dan de singuletlijnen, dan ligt de veronderstelling

¹⁾ c.f. C. Runge en F. Paschen. *Astroph. Journ.* 3, 15, 1896, Anm. 1. en F. Paschen. *Sitz.Ber.d.Preuss.Akad.v.Wiss.* 16, 1926, pg. 135.

voor de hand, dat hier de absorptie van het glas het resultaat vertroebelt. Ons streven is dan ook geweest, de metingen met kwartsbuizen te herhalen.

7. WAARNEMING IN HET ROOD

Om de eerste lijnen der scherpe en diffuse reeksen van het singulet- en het tripletsysteem te meten, hebben wij een foto genomen met een panchromatische plaat.

Plaat I. Ilford Special Rapid Panchromatic Plate, backed.

Behalve 10 spectra van de standaardlamp, namen wij hierop 5 spectra van helium. Voor dit doel diende een gewoon glazen buisje volgens Geissler, daar wij in dit gebied met de absorptie van glas geen rekening behoeften te houden. De belichtingstijden van de heliumspectra bedroegen 20'', 1', 3½', 13' en 30. De resultaten vindt men in tabel XVII.

Plaat I

TABEL XVII

Lijn		Golflengte	Intensiteit
S-1	2P-3S	7281	85
s-1	2p-3s	7066	1050
D-1	2P-3D	6678	220
d-1	2p-3d	5876	1610
S-2	2P-4S	5048	18,4
H-2	2S-3P	5016	330
D-2	2P-4D	4922	102
s-2	2p-4s	7134	127

Daar de gevoeligheid van de plaat in het gebied van de roode lijnen een groote gradient vertoont, is de nauwkeurigheid van de uitkomsten gering. Een klein verschil in de plaats van doormeting wijzigt de uitkomsten aanmerkelijk. Om deze reden hebben wij later de meting voor de roode lijnen herhaald met speciale platen, die tot veel verder in het infra-rood gevoelig zijn.

Plaat P. Special Plate Infra-red Sensitive. Made by Research Laboratory, Eastman Kodak Company, Rochester N.Y.

Naast deze plaat plaatsten wij in de plaathouder:

Plaat P'. Ilford Rapid Chromatic Plate, backed. H. & D. 400.

Deze tweede plaat diende om de roode en gele lijnen te kunnen vergelijken met lijnen, die wij reeds hadden gemeten. De twee platen werden te zamen ontwikkeld. De continue spectra van de standaardlamp, die tegelijkertijd op beide platen waren opgenomen, maakten een vergelijking der intensiteiten op de twee platen mogelijk. Het toeval wilde, dat de zwartingskrommen van beide platen zeer goed inschuifbaar bleken te zijn. Dit vergemakkelijkte de berekeningen zeer.

Het resultaat is neergelegd in tabel XVIII.

Plaat P en P'

TABEL XVIII

Lijn		Golflengte	Intensiteit
S-1	2P-3S	7281	250
s-1	2p-3s	7066	5200
D-1	2P-3D	6678	3850
d-1	2p-3d	5876	32500
S-4	2P-6S	4169	0,49
D-4	2P-6D	4144	4,1
s-3	2p-5s	4121	13,4
d-4	2p-6d	3820	19

8. WAARNEMINGEN MET BUISJES VAN KWARTS

Het boven beschreven verschijnsel, dat de lijnen van kleine golflengte te zwak worden waargenomen, doordat het glas licht van deze golflengte absorbeert, is slechts te vermijden door gebruik te maken van buisjes van kwarts. Er werden op het laboratorium twee buizen gemaakt, geheel van kwarts. Zij werden gevuld met helium, dat uit monazietzand werd gestookt. Met deze buisjes werden de volgende platen genomen.

Plaat K. Ilford Iso-Zenith Plate H. & D. 700 (10×25 cm).

11 standaardlampspectra en 9 spectra van helium. Belichtingstijden: $\frac{1}{2}$ ", 2", 5", 15", 45", 2', 7', 20' en 60. Het kwartsbuisje werd gevoed door een inductorium met interruptor. Primaire stroomsterkte 3 A.

Plaat L. Ilford Iso-Zenith Plate H. & D. 700 (10×25 cm).

Deze plaat bevatte 12 spectra van de standaard-lamp benevens 4 spectra van helium, die 3', 9', 22' en 1 uur belicht waren, waarbij de primaire stroomsterkte varieerde tusschen 0,8 en 1,3 A. Verder vier heliumspectra bij een primaire stroomsterkte van 5,0 tot 5,5 A, met belichtingstijden: 1', 2', 8' en 20'. De spectra, die met zwakke stroomsterkte zijn genomen hebben wij „gemiddeld”; het resultaat stellen wij voor door L_1 , die met grootere stroomsterkte zijn samengevoegd tot L_2 .

Het bleek, dat bij de belichting van een uur reeds zooveel verontreiniging in het spectrum optrad, dat langere belichting geen zin had, daar de zwakste lijnen dan niet meer nauwkeurig te meten zouden zijn. De oorzaak hiervan moet ongetwijfeld gezocht worden in het feit, dat slechts de capillair van de buisjes van doorzichtig kwarts was gemaakt, de reservoirs om de electroden van melk-kwarts, waardoor het onmogelijk was de buis geheel schoon te pompen.

Om dit euvel te vermijden hebben wij de metingen voortgezet met een buis van glas, die van een kwartsvenster was voorzien. Ook deze buis is in het laboratorium geblazen en met helium gevuld. Om te groote verhitting van het venster te vermijden was de capillair wijd gehouden. Hierdoor zijn echter in het spectrum, dat bij een belichting van twaalf uur

is verkregen, niet veel lijnen meer te zien, dan bij de vroegere buizen na een belichting van één uur. Hier was bovendien de verontreiniging reeds zoo sterk, dat een langduriger belichting geen beter resultaat zou opleveren. De volgende foto werd met deze buis genomen:

Plaat M. Ilford Iso-Zenith Plate H. & D. 700. (10×25 cm).

Op deze plaat werden 11 spectra van de standaard-lamp en 9 heliumspectra genomen. Belichtingen: 7", 20", 1', 3', 9', 27', 1u20', 4u en 12u. De spectra werden in deze volgorde zonder eenige pauze genomen. De glazen, van een kwartsvenster voorziene, buis stond aan een inductorium met interruptor. Hierdoor was het den waarnemer onmogelijk, zich van de opstelling te verwijderen.

Het resultaat van de metingen is in tabel XIX te overzien. Daar wij over de intensiteit in de verschillende spectra op één plaat nader willen spreken, hebben wij de intensiteiten van de lijnen in de 9 spectra van plaat K volledig vermeld. Daarachter staan de gemiddelde waarden van K, L_1 , L_2 en M. In deze laatste vier kolommen is de intensiteit van de lijn d-3 steeds gelijk aan 100 gesteld.

Omtrent de twee reeksen waarnemingen, L_1 en L_2 , die met groote en kleine stroomsterkte zijn genomen, moeten wij als vroeger opmerken, dat het verschil

slechts gering is en niet van dien aard, dat wij daaruit kunnen afleiden, of de stroomsterkte de intensiteits-verhouding beïnvloedt. De waarnemingen met verschillende buizen gedaan, vertoonen een aanmerkelijk grootere afwijking.

Beschouwen wij de waarnemingen van één en dezelfde plaat, dan valt het op, dat de intensiteiten niet een kleine spreiding vertoonen, maar, dat er een regelmatig verloop merkbaar is. In de tabel XIX is dit direct te zien aan de verhouding tusschen de lijnen d-2 en h-2. Deze verhouding bedraagt achtereenvolgens 1:5, 1:7 en 1:13. Dit verschijnsel heeft tot een nauwkeurig onderzoek aanleiding gegeven.

9. HET INTERMITTENTIE-VERSCIJNSEL

De oorzaak van de in de vorige paragraaf besproken afwijking zou gezocht kunnen worden in het optreden van een intermittentie-verschijnsel. De standaardlamp toch brandt op gelijkstroom, terwijl de heliumbuisjes gevoed worden door een inductorium met interruptor. Nu is het bekend, dat een intermitteerende belichting een andere zwarting op de plaat veroorzaakt, dan een continue. Daar vorige onderzoekers gevonden hadden, dat een intermittentie van 50 perioden door een interruptor veroorzaakt, een zwarting geeft, die nagenoeg overeenkomt met die van een continue belichting, hebben wij alle hierboven besproken foto's genomen, terwijl het buisje stond op een inductorium met interruptor, die primair werd gevoed door een 12 volts

wisselstroom van 50 perioden. Natuurlijk is het werken met een transformator op de 500-perioden-stroom veel aangenamer.

Daar nu evenwel een systematische fout optrad in de zwarting der lijnen, die toenam met de belichtingstijd, was de mogelijkheid niet uitgesloten, dat wij hier met een intermittentie-verschijnsel te doen hadden. Om dit na te gaan, werd een opname gemaakt met verzwakkers.

Plaat O. Ilford Iso-Zenith Plate H. & D. 700 (10 × 25 cm).

Op deze plaat werden door middel van een helium-buisje van glas, behalve een vergelijkingsspectrum zonder verzwakkers om de gelijkmatige verlichting van de spleet te controleeren, drie spectra gebracht, twee terwijl het buisje gevoed werd door middel van een transformator, waardoor primair een wisselstroom liep van 500 perioden 1 ampère. De belichtingstijden bedroegen 1 en 7 minuten. Verder een heliumspectrum van hetzelfde buisje, terwijl het aan de transformator stond, waardoor primair een stroom van 50 perioden en 8,5 ampère liep. Hiervan duurde de belichting 1 minuut.

Bovendien werden drie spectra met de standaard-lamp opgenomen, die ieder 5 minuten belicht werden. De stroomsterkte door de lamp bedroeg 21,1 A. Bij één dezer spectra was vóór de spleet een door een motor gedreven roteerende schijf met 50 tanden op-

TABEL XX

Lijn	λ	N ₁	N ₂	O 50	O 500	Q c	R c	Q a	R a	Q k	R k
H-2	5016	600	1100	820	400	685	730		98	1450	590
D-2	4922	130	200	160	100	147	171		27	159	22,5
s-2	4713	130	137	86	96	142	131	124	191	77	43
d-2	4472	1050	1330	840	710	1010	1350	1380	1030	770	1090
D-3	4388	12,2	20	17,3	14,6	3,85	16,3			45	
D-4	4144									7,7	
s-3	4121	10,9	24,5	9,7	13,8		5,15			2,5	
d-3	4026	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
H-3	3965	36	56	59	38,5	43,5	49,5		6,6	82	38
h-2	3889	4250	4250	5000	4300	6600	5500	16700	6500	3700	3100
d-4	3820	22	23,5	16,8	19,2	7,1	22			17,3	54

gesteld, die 1000 maal per seconde het licht afschutte en doorliet. De vorm van de tanden was zoo gekozen, dat de tijden van licht en duister vrij goed overeenkwamen met de tijden van licht en duister van de spleet, wanneer de heliumbuis op de 500-perioden-stroom stond. Dit is in een draaiende spiegel gemakkelijk na te gaan. Bij het tweede spectrum werd het licht 100 maal per seconde afgeschut en doorgelaten. De omwentelingen van de schijf werden met een periodenteller gecontroleerd. Bij het derde spectrum was de spleet continu verlicht.

Bij al deze spectra waren op de spleet fotografische verzwakkers afgebeeld, die achtereenvolgens 100, 41, 8, 20, 56 en 92 procent doorlieten. Deze waarden varieerden natuurlijk eenigszins met de golflengte.

Het spectrum, dat met de 500-perioden-stroom was genomen en gedurende 1 minuut was belicht, gaf een slechte zwartingskromme. Het is verder niet in aanmerking genomen. Van alle andere spectra, vijf in getal, werd een zwartingskromme opgemaakt. Deze bleken slechts een zeer gering verschil in helling te hebben. Hieruit blijkt wel, dat het hierboven vermelde verschijnsel niet in de intermittentie van de lichtbron zijn oorzaak kan vinden.

De intensiteiten der lijnen in de beide heliumspectra vindt men in tabel XX, waarbij vermeld staat welk spectrum bij 50, welk bij 500 perioden is opgenomen.

10. DE INVLOED VAN DE OMSTANDIGHEDEN

Zooals wij boven vermeldden, hebben wij reeds eerder pogingen gedaan, om na te gaan of de verhouding der lijnintensiteiten van de omstandigheden, waaronder het spectrum is opgewekt, afhankelijk is. Zoo werden op plaat B, G en L spectra genomen met verschillende stroomsterkte. De volgende foto diende tot hetzelfde doel.

Plaat N. Ilford Iso-Zenith Plate H. & D. 700 (10 × 25 cm).

Bij het belichten met de standaardlamp was voor de spleet van de spectrograaf de roteerende schijf opgesteld, die voor evenveel lichtflitsen per seconde zorgde, als de plaat van de heliumlichtbron ontving, die op de transformator met de 500 periodenstroom was geschakeld. Als heliumbuisje diende een gewoon buisje van glas uit de handel. Dit gaf geen bezwaren, daar slechts lijnen van betrekkelijk groote golflengte werden gemeten.

Bij een primaire stroomsterkte van 1 ampère werden vier spectra opgenomen met belichtingstijden van $\frac{1}{2}$ ", 2", 5" en 15". De uitkomsten zijn in tabel XX vermeld onder N_1 . Bij een primaire stroom van 5 ampère werden vier spectra opgenomen, die $\frac{1}{10}$ ", $\frac{1}{2}$ ", 2" en 5" belicht zijn. De uitkomst hiervan is in de tabel te vinden onder N_2 .

De onderlinge afwijkingen tusschen N_1 en N_2 is

wederom zoo gering, dat hieruit niets valt af te leiden. Vergelijkt men de gegevens van twee spectra, die op twee verschillende platen zijn opgenomen dan vindt men veel grootere verschillen.

Om na te gaan, of het spectrum van de verschillende deelen van de buis eender is, hebben wij twee foto's genomen:

Plaat Q. Ilford Iso-Zenith Plate. H. & D. 700 (10 × 25 cm).

Behalve tien spectra van de standaardlamp, die de spleet continu verlichtte, werden vier spectra genomen van de capillair met belichtingstijden $\frac{1}{10}$ ", $\frac{1}{2}$ ", 2" en 5". Het gemiddelde resultaat hiervan is in tabel XX aangeduid met Q c. Verder namen wij op de plaat drie spectra van het licht van de anode, gedurende 40", 2' en 6'. Het resultaat vindt men onder Q a. Ten slotte vier spectra van het kathodelicht met belichtingen van 40", 2', 6' en 13'. Het resultaat is gemerkt Q k.

Als heliumbuisje gebruikten wij een buisje van glas, dat op het laboratorium met helium was gevuld tot een druk van 12 mm Hg. Het werd gevoed met gelijkstroom met een spanning van 440 V. De stroomsterkte in de buis bedroeg 10 mA. De ontlading werd ontstoken door een wisselstroom van een inductorium, waarvan de eene pool met een van de elektroden van het buisje was verbonden. De andere maakte door middel van een stukje bladtin contact

met de buitenzijde van het reservoir van de andere electrode.

Plaat R. Deze is volkomen gelijk aan plaat Q.

Uit de tabel blijkt, dat er geen noemenswaard verschil bestaat tusschen de spectra van de verschillende deelen van de buis. Of het kleurverschil, dat ons oog meent op te merken, niet reëel is, of van de intensiteit van andere lijnen afhangt, die niet zijn gemeten, valt hieruit niet af te leiden. Misschien hebben de gele lijn en de roode lijnen in de verschillende deelen van de ontladingsbuis een merkbaar andere intensiteit.

Wat het vraagstuk betreft van de afhankelijkheid van de omstandigheden, kunnen wij hier niet anders zeggen, dan dat deze zeer gering is, bij de geringe veranderingen, die wij bij onze waarnemingen hebben aangebracht. Intusschen hebben andere onderzoekers op het Fysisch Laboratorium te Utrecht het onderzoek in die richting ter hand genomen. Het is hierbij reeds gebleken, dat dit probleem een uitgebreid onderzoek vereischt¹⁾.

Waarnemingen met een thermo-relais hebben uitgewezen, dat de verhoudingen in de buis gedurende de ontlading langzaam veranderen. Hieraan is het

¹⁾ Een voorloopige mededeeling omtrent dit uitvoerige onderzoek van L. S. Ornstein en H. C. Burger vindt men in *Physica, Nederl. Tijdschr. v. Natuurk.*, April 1928.

verloop der verhoudingen te wijten, waarmee wij ons in paragraaf 8 hebben bezig gehouden. Daar de spectra op plaat K opvolgend langer zijn belicht, werd deze afwijking op de plaat als een systematische fout merkbaar.

II. WAARNEMINGEN MET EEN GLAZEN BUIS MET EEN CAPILLAIR VAN KWARTS

Intusschen werden de pogingen voortgezet om een heliumbuis te construeeren, die ons in staat zou stellen, de hogere lijnen in de reeksen waar te nemen. Een glazen buis met een glazen capillair, die van een venster van kwarts was voorzien, waaromheen als waterkoeling een mantel van glas, die eveneens van een kwartsvenster was voorzien, bleek na korten tijd te hebben gelekt. Een glazen buis, waarin een capillair van kwarts was gekit, waaromheen wederom een waterkoeling met kwartsvenster, voerde evenmin tot het gewenschte resultaat.

Tenslotte is het gelukt een buis te fabriceeren, waarvan de reservoirs bij de electroden van glas waren, waartusschen door middel van AgCl een capillair van kwarts was gekit, die aan de verwachtingen voldeed. Door het aanhechtingsoppervlak tusschen glas en kwarts groot te nemen en daar ter plaatse de buis niet te nauw te maken, was een watermantel overbodig. Met deze buis werd de volgende foto genomen:

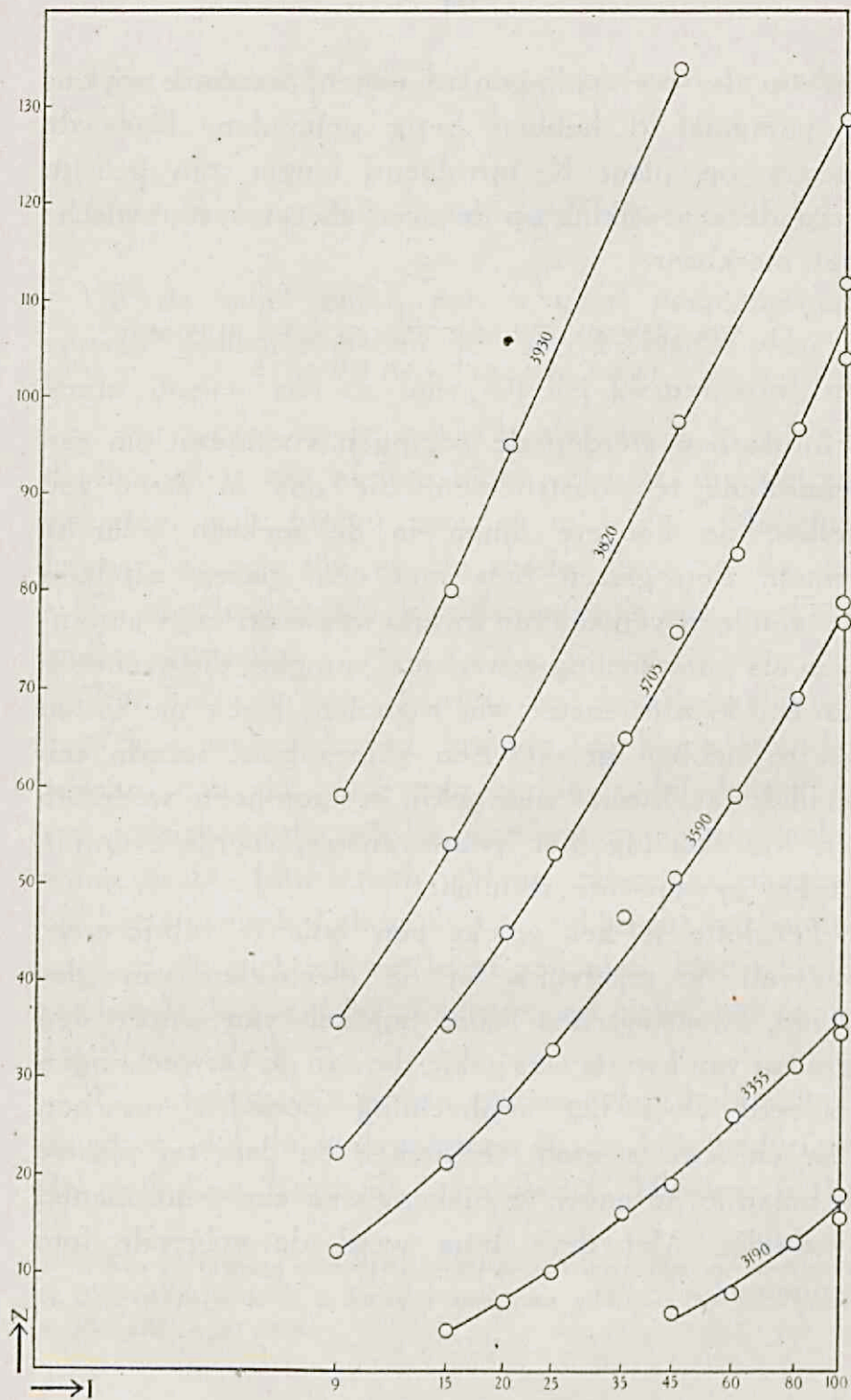


Fig. 7

Plaat S. Ilford Iso-Zenith Plate H. & D. 700
(10 × 25 cm).

Op deze plaat werden 10 spectra genomen van de koollamp, die met een stroomsterkte van 21,0 A brandde. Deze spectra zijn ieder gedurende 60 seconden belicht. De heliumbuis werd gevoed met gelijkstroom van 780 V, terwijl de stroomsterkte door de buis 20 mA bedroeg. Hiertoe werd een voorschakelweerstand aangewend van 19000 ohm. De belichtingstijden bedroegen 15', 35', 2 $\frac{1}{4}$ uur en 6 $\frac{1}{2}$ uur.

De continue spectra werden bij zes verschillende golflengten doorgemeten. De zwartingskrommen vindt men in figuur 7 afgebeeld. Men merkt in deze figuur duidelijk op, dat de krommen bij kleinere golflengte minder steil verlopen. Daarom is hier bij de bepaling van de intensiteiten der lijnen de methode toegepast, die aan het einde van paragraaf 4 is beschreven.

Het „gemiddelde” van de vier spectra vindt men onder S in tabel XXI. In figuur 8 is de logarithmus van de intensiteit van elke lijn tegen het volgnummer in de reeks uitgezet. Men ziet hieruit, dat de H-reeks steiler verloopt, dan de andere reeksen. De 7e, 8e en 9e term van de S-reeks hebben wij om de vroeger vermelde redenen weggelaten, zoodat op de lijn S-6 de lijn S-10 volgt. Voor de hoge termen in de diffuse reeksen is de verhouding tusschen triplet en singulet vrij nauwkeurig gelijk aan drie. Dit is bij de scherpe reeks niet het geval; ter hoogte van de tiende term is de verhouding reeds kleiner dan 2.

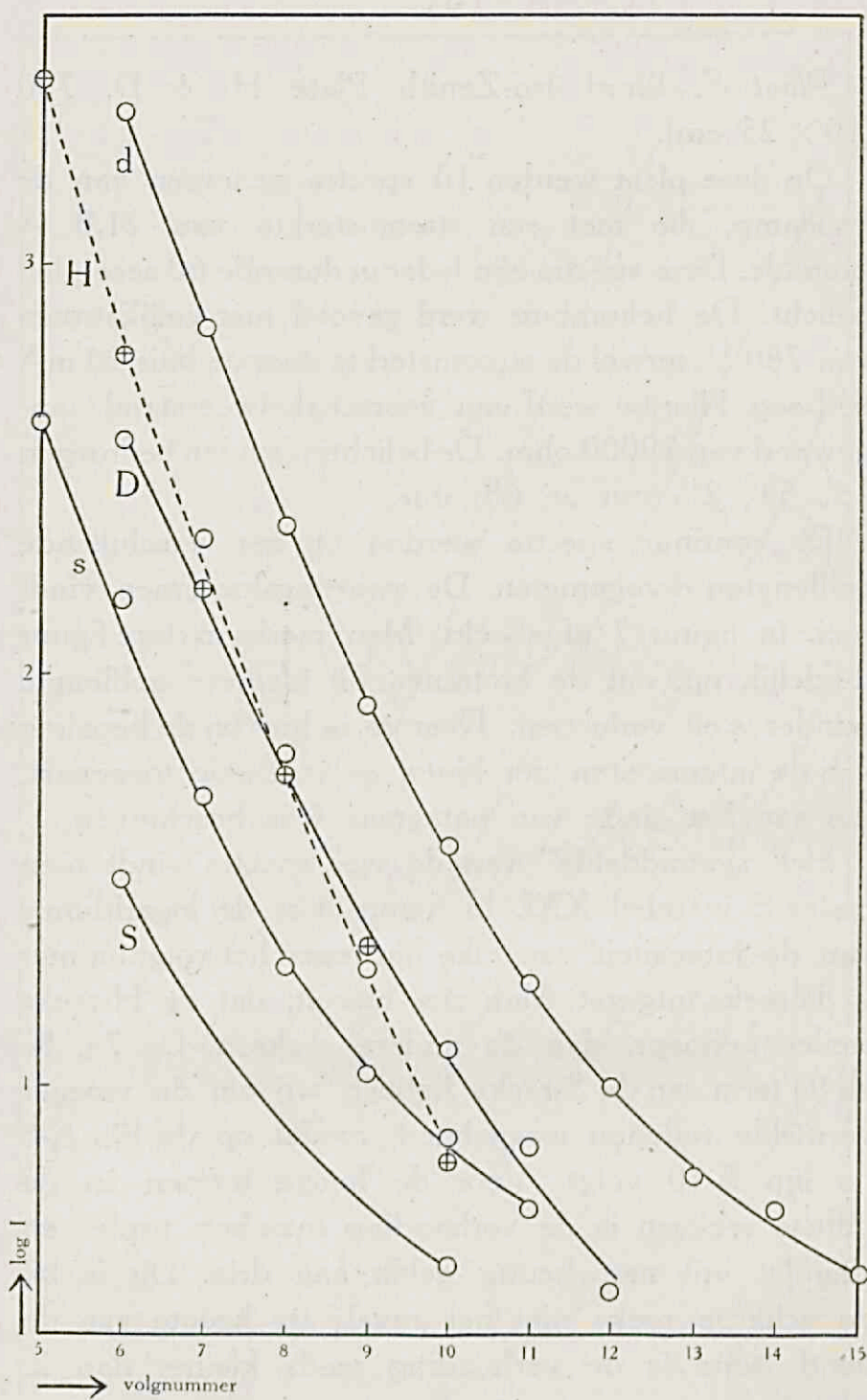


Fig. 8

Laten wij echter de lijn S-10 buiten beschouwing, daar deze wellicht door de een of andere oorzaak niet op de juiste waarde is bevonden, dan blijft van de S-reeks slechts over de term S-6, die tot s-6 in de verhouding 1:4,4 staat. Deelen wij de intensiteiten door de vierde machten van de trillingsgetallen, dan worden de verhoudingen bij de diffuse reeksen voor de hooge termen kleiner dan 3.

12. SLOTBESCHOUWING

In tabel XXI zijn naast elkaar de uitkomsten van de platen K, L, M, S en P gezet. De waarden uit de beide kolommen voor L_1 en L_2 in tabel XIX zijn hiertoe „gemiddeld”, daar er geen reden bestaat, deze plaat een tweemaal zoo groot gewicht toe te kennen dan een van de andere.

Bij het middelen der resultaten is rekening gehouden met het feit, dat de helling van de reeksen op verschillende platen ongeveer gelijk is, maar dat de onderlinge afstand der reeksen wel eens anders wordt bevonden. Daar nu de zwakke lijnen alleen op plaat S voorkomen, zouden wij in de grafische voorstelling een onnatuurlijke sprong te zien krijgen, als wij de gevonden waarden voor elke lijn eenvoudig logaritmisch middelden. Daarom is hierbij eenigszins anders te werk gegaan.

De lijnen H-2, H-3, en H-4 komen bijvoorbeeld alleen op de platen K, L en M voor, de lijn H-5 op de platen K, L, M en S, de volgende lijnen in deze

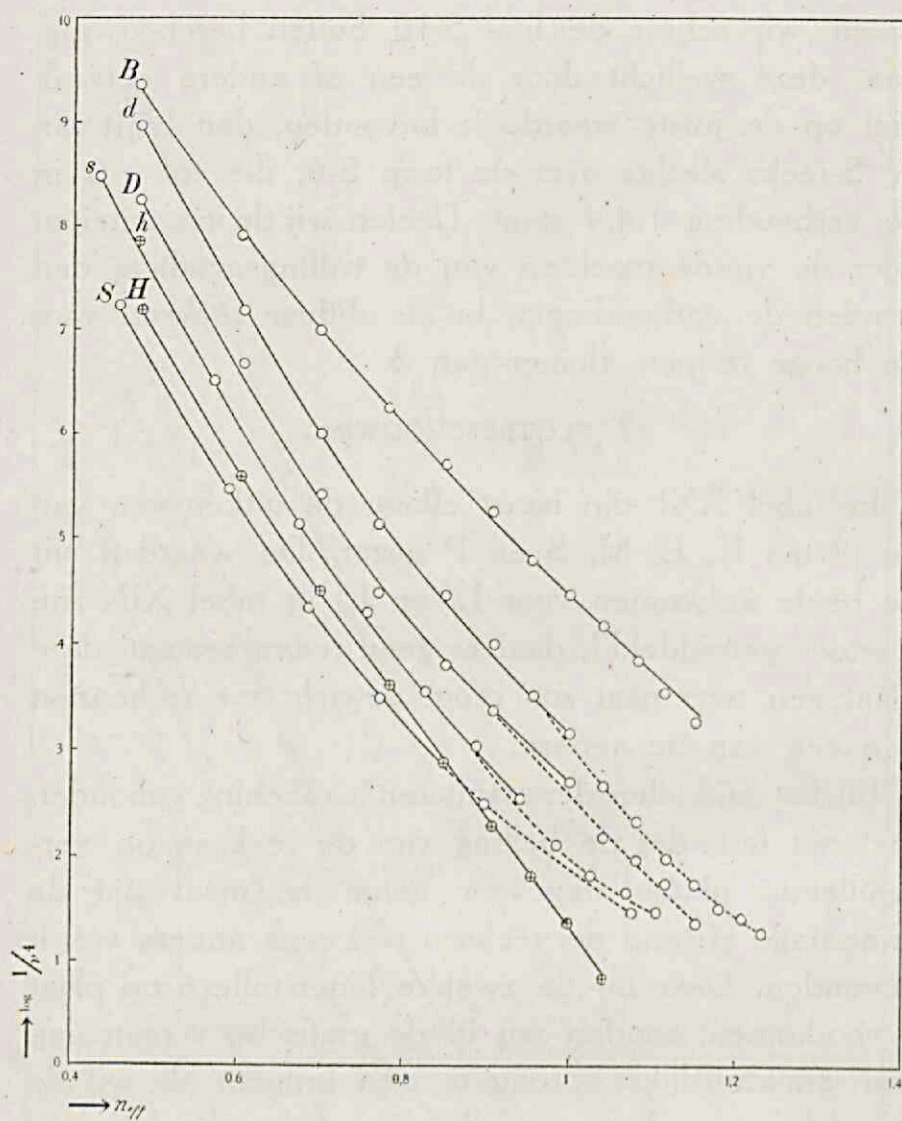


Fig. 9

reeks alleen op plaat S. Nu hebben wij de „gemiddelde” waarden van de lijnen H-2, H-3, H-4 en H-5 bepaald uit de uitkomsten van de platen K, L en M en vervolgens de uitkomsten van plaat S zóó verschoven, dat de lijn H-5 op deze samenvalt met het gemiddelde van H-5 op de platen K, L en M. Voor de andere reeksen is op analoge wijze te werk gegaan, echter met dien verstande, dat de beide diffuse reeksen en eveneens de beide scherpe reeksen, niet als van elkaar onafhankelijk zijn beschouwd.

In de laatste kolom staan de intensiteiten gedeeld door de vierde macht van de trillingsgetallen. De uitkomsten van deze kolom zijn in figuur 9 logaritmisch uitgezet tegen de logaritmus van het effectieve quantumgetal van de beginbaan.¹

Zooals altijd verloopt de H-reeks steiler dan de andere reeksen. De helling van de reeksen komt vrij goed overeen met de helling, die Bongers vond voor de reeks van Balmer, die als een gemiddelde van de zes reeksen in het spectrum van helium is te beschouwen²). Deze kromme is ter vergelijking in de grafische voorstelling uitgezet en met B aangegeven.

Ter vergemakkelijking van het overzicht, hebben wij in Tabel XXII de opeenvolgende lijnen van de diffuse reeksen onder elkaar gezet, in tabel XXIII die van de scherpe. Men vindt hier in één kolom de intensiteiten, in de volgende deze waarden gedeeld

¹) In fig. 9 is bij de abscis $n_{eff.}$ i. p. v. $\log n_{eff.}$ gezet.

²) I. A. Bongers. *Intensiteitsmetingen in de Balmerreeks*. Proefschrift Utrecht, 1927. blz. 49.

TABEL XXII

Diffuse reeks					
	Lijn	Golf- lengte	I	I/ν^4	Ver- houding
Triplet systeem	d-1	5876	21000	95000	
	d-2	4472	990	1500	
	d-3	4026	100	100	
	d-4	3820	16,5	13,5	
	d-5	3705	3,9	2,85	
	d-6	3634	1,46	0,98	
	d-7	3587	0,49	0,31	
	d-8	3554	0,23	0,14	
	d-9	3530	0,076	0,045	
	d-10	3513	0,036	0,021	
	d-11	3499	0,017	0,0096	
	d-12	3488	0,0096	0,0054	
	d-13	3479	0,0059	0,00325	
	d-14	3472	0,0048	0,0026	
	d-15	3466	0,00345	0,0019	
Singulet systeem	D-1	6678	2450	1800	1 : 5,3
	D-2	4922	200	460	1 : 3,3
	D-3	4388	18,8	26	1 : 3,8
	D-4	4144	2,70	3,0	1 : 4,5
	D-5	4009	0,64	0,62	1 : 4,6
	D-6	3927	0,25	0,23	1 : 4,25
	D-7				
	D-8	3834	0,062	0,0505	1 : 2,8
	D-9	3806	0,0186	0,0148	1 : 3,05
	D-10	3785	0,012	0,0094	1 : 2,25
	D-11	3769	0,0069	0,0054	1 : 1,8
	D-12	3756	0,0030	0,0023	1 : 2,35

TABEL XXIII

Scherpe reeks					
Triplet systeem	Lijn	Golf- lengte	I	I/ν^4	Ver- houding
	s-1	7066	3300	30500	
	s-2	4713	167	320	
	s-3	4121	12,5	13,5	
	s-4	3868	2,25	1,95	
	s-5	3733	0,46	0,34	
	s-6	3652	0,154	0,105	
	s-7	3599	0,054	0,034	
	s-8	3563	0,0205	0,0125	
	s-9	3537	0,0112	0,0067	
	s-10	3517	0,0078	0,0045	
	s-11	3502	0,0053	0,0030	
Singulet systeem	S-1	7281	162	1700	1 : 18
	S-2	5048	11,4	29	1 : 11
	S-3	4438	1,46	2,15	1 : 6,3
	S-4	4169	0,265	0,30	1 : 6,5
	S-5				
	S-6	3936	0,034	0,031	1 : 3,4
	S-7				
	S-8				
	S-9				
	S-10	3787	0,0038	0,0030	1 : 1,5

door de vierde macht van het trillingsgetal. Bij de lijnen van het singulet-systeem is achter deze kolom een derde opgenomen, waarin de verhouding van deze laatste waarden tot die van de overeenkomstige lijnen van het triplet-systeem is vermeld.

Behalve bij de laatste termen in enkele reeksen komt de verhouding 1:3, die wij tusschen de lijnen van de singuletten en die van de tripletten verwachtten vrij goed uit. In de hogere termen is deze verhouding merkbaar kleiner dan 3. Dit zijn juist de zwakste lijnen, die alleen op plaat S voorkomen. Ondanks de voorzorgen bij het „middelen”, is hier toch een merkbare knik in de krommen te constateeren, die daarvan een gevolg moet zijn. dat het verval in de reeksen op plaat S een weinig afwijkt van dat op de andere platen. Of de verhouding hier werkelijk kleiner is dan 3, zal een nauwgezet onderzoek moeten uitmaken. Hiertoe zal men in de eerste plaats meer moeten weten omtrent de verandering der verhoudingen bij wijziging der omstandigheden.

Intusschen zullen wij ons gelukkig achten, iets te hebben bijgedragen tot de kennis van het spectrum van helium, dat tot steun kan dienen bij verdere onderzoekingen.

SUMMARY

I. — Double lines occur in the Spectrum of Helium. This fact is at variance with Sommerfeld's rule, which states that the spectra of the elements in the columns of the Periodical System exhibit alternately singulets, triplets, a.s.o. and doublets, quadruplets, etc. Besides this the ratio of the intensities of the components of a doublet is always 1:2, but it has been shown that the ratio between the components of the yellow line of Helium is much greater.

On an investigation of the first three lines of the diffuse series and the first three of the sharp series being made, the following results are obtained.

Line	Ratio of Intensities
5876	24,4 : 100
4472	14,6 : 100
4026	15,6 : 100
7066	13,8 : 100
4713	12,6 : 100
4121	13,1 : 100

The ratio of the intensities of a common triplet is 1:3:5. If the apparent doublets of Helium were in fact triplets, where the two most intense lines were

not resolved, the ratio ought to have been 1:8 or 12,5:100. As selfabsorption could have played a part in determining the above ratios, it was decided to repeat the measurements with tubes at low pressure. On this being done the ratio 22:100 was found for the yellow line. This diminished slowly with pressure, and with the tube "hard" ratio was 12:100.

II — The intensities of 56 lines of the different series in the spectrum of Helium were determined. Among these there was only one line of the principal series of the triplets (3889), but many of each of the other series. Of the diffuse series of the triplets fifteen lines were measured.

The falling-off of intensity in the principal series of the singulets was much greater than in any of the other four series. In these the falling-off was nearly the same and in good agreement with the result Bongers found for the Balmer Series.

According to L. S. Ornstein and H. C. Burger the ratio of the intensity of a line of the diffuse series of the singulet system to the corresponding line of the triplet system, divided by the fourth degree of the oscillating number, should be 1:3. This should also hold for the lines of both of the sharp series. It was found that this was very closely the case, though the weakest lines exhibited a ratio which was a little smaller.

J. G.

TABEL XVI

Lijn		λ	Intensiteit in de spectra:								Gemiddeld:	
			A	B ₁	B ₂	C	D	F	G ₂	G ₁	I	I/p ⁴
S-2	2P-4S	5048						9,2	13,3		12,7	32
H-2	2S-3P	5016						520	420	385	425	1070
D-2	2P-4D	4922						134	100	88	115	260
s-2	2p-4s	4713						120	104	118	127	245
d-2	2p-4d	4472						920	480	530	890	1340
S-3	2P-5S	4438	8,4	1,4	3,5		1,88	1,25	4,1	2,05	1,59	2,35
D-3	2P-5D	4388	37	21,7	24,5		8,7	15	22	14,5	14,6	21
S-4	2P-6S	4169	1,25		0,48	0,25	0,25	0,17			0,25	0,285
D-4	2P-6D	4144	7,8	2,45	4,2		2,15	2,4	5,4	5,1	2,5	2,8
s-3	2p-5s	4121	18,8	11,3	12,7		6,45	8,1	15,5	15,5	8,0	8,7
d-3	2p-5d	4026	100	100	100			100	100	100	100	100
D-5	2P-7D	4009	3,05	0,39	1,05	0,52	0,475	0,51			0,55	0,54
H-3	2S-4P	3965	61	60	45			40	57	47	40	37,5
S-6	2P-8S	3936			0,0315	0,0117	0,0125	0,0112			0,0137	0,0125
D-6	2P-8D	3927	1,22		0,295	0,139	0,138	0,123			0,146	0,132
h-2	2s-3p	3889						2700	1140	1330	2700	2850
S-7	2P-9S	3878				0,0080	0,0099				0,0104	0,0090
D-7	2P-9D	3872	0,31		0,091	0,048	0,043	0,045			0,049	0,041
s-4	2p-6s	3868	4,4	1,5	2,2	0,79	0,79	0,875	2,6		0,90	0,76
S-8	2P-10S	3838				0,00158	0,00152				0,00181	0,00147
D-8	2P-10D	3834	0,17			0,0147	0,0152	0,0142			0,0169	0,0136
d-4	2p-6d	3820	22	11,4	12,7		8,2	10,3	22,5	20,5	9,9	7,9
S-9	2P-11S	3809				0,0024	0,0046				0,00375	0,0030
D-9	2P-11D	3806				0,0054	0,0065	0,0049			0,0064	0,0051
D-10	2P-12D	3785				0,00235	0,00355				0,00345	0,0027
D-11	2P-13D	3769				0,00125	0,0021				0,00178	0,00134
D-12	2P-14D	3756				0,00091	0,00135				0,00128	0,00095
D-13	2P-15D	3746				0,00054					0,00064	0,00047
s-5	2p-7s	3733	0,91	0,203	0,295	0,141	0,135	0,123			0,153	0,112
d-5	2p-7d	3705	5,4	2,02	2,7		1,42	1,67	6,1	4,9	1,65	1,15
s-6	2p-8s	3652	0,172		0,056	0,023	0,024	0,0215			0,026	0,0175
d-6	2p-8d	3634	1,31	0,4	0,57	0,23	0,28	0,29			0,29	0,182
H-4	2S-5P	3614	5,15	2,9	3,2		1,78	2,3	8,3	4,9	2,1	1,33
s-7	2p-9s	3599				0,0052	0,0080	0,00605			0,0064	0,0040
d-7	2p-9d	3587	0,31	0,172	0,15	0,064	0,081	0,077			0,076	0,048
s-8	2p-10s	3563				0,0022	0,0026				0,00275	0,0017
d-8	2p-10d	3553	0,125		0,076	0,0166	0,0245	0,0223			0,0223	0,0134
s-9	2p-11s	3537				0,00096	0,00105				0,00116	0,00068
d-9	2p-11d	3530			0,0455	0,0057	0,0092	0,0077			0,0077	0,0045
d-10	2p-12d	3513				0,0022	0,00435	0,00187			0,0036	0,0021
d-11	2p-13d	3499				0,00109	0,00198				0,00181	0,00103
d-12	2p-14d	3488				0,00064	0,000435				0,00075	0,00042
H-5	2S-6P	3448				0,120	0,158	0,198			0,184	0,098

TABEL XIX

Lijn	λ	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K	L_1	L_2	M
S-2	5048	10,3	42						780	3700	14,1	9,3	14,3	9,1
H-2	5016			205	430	1220	5400	50000			1450	500	810	255
D-2	4922				67	200	1230	4100	14200		260	179	250	146
s-2	4713			20	49	160	710	5900			158	210		125
d-2	4472			190	670	5700					1630			600
S-3	4438								60	280	1,04	1,74	2,1	1,72
D-3	4388					19	49	235			19,3	18,6	22,5	17,5
S-4	4169								10	22	0,126	0,23		0,49
D-4	4144						9,4	25	80	480	1,82	2,6	3,0	4,15
s-3	4121					11,8	28	106	540		10	14,4	11,8	22,5
d-3	4026			15	28	83	320	2700			100	100	100	100
D-5	4009							8,8	19,5	64	0,355	0,52	0,91	1,08
H-3	3965			6,1	16,4	38	112	630			45,5	33	48	39,5
S-6	3936													0,102
D-6	3927								11,7	26	0,137	0,188		0,375
h-2	3889	52	300	2500							10600			6400
s-4	3868						9,7	19	55	220	1,22	2,7	2,7	3,4
D-8	3834													0,325
d-4	3820					18	38	136	750		13,9	17,9	14,3	21
D-9	3806													0,170
D-10	3785													0,086
s-5	3733								15,2	41	0,193	0,52	0,565	1,07
d-5	3705							32	107	670	2,2	4,5	4,2	6,1
s-6	3652									17,5	0,065	0,135		0,405
d-6	3634							10,5	35	130	0,63	1,32	1,76	2,15
H-4	3614						12,6	57	178	1080	4,0	4,2	6,3	5,6
s-7	3599													0,156
d-7	3587								11,4	45	0,182	0,45	0,94	0,75
s-8	3563													0,040
d-8	3554									24	0,089	0,167	0,61	0,415
s-9	3537													0,029
d-9	3530									6,8	0,025			0,205
d-10	3513													0,115
H-5	3448								35	112	0,50	0,53	1,22	1,10

TABEL XXI

Lijn	Golf- lengte	Intensiteit in de spectra:					Gemiddeld:	
		K	L	M	S	P	I	I/ν^4
S-1	7281					162	162	1700
s-1	7066					3300	3300	30500
D-1	6678					2450	2450	18000
d-1	5876					21000	21000	95000
S-2	5048	14,1	11,1	9,1			11,4	29
H-2	5016	1450	610	255			610	1500
D-2	4922	260	210	146			200	460
s-2	4713	158	225	125			167	320
d-2	4472	1630		600			990	1500
S-3	4438	1,04	1,8	1,72			1,46	2,15
D-3	4388	19,3	19,6	17,5			18,8	26
S-4	4169	0,126	0,25	0,49		0,32	0,265	0,30
D-4	4144	1,82	2,65	4,15		2,70	2,70	3,0
s-3	4121	10	12,6	22,5		8,7	12,5	13,5
d-3	4026	100	100	100			100	100
D-5	4009	0,355	0,66	1,08			0,64	0,62
H-3	3965	45,5	38	39,5			41	38,5
S-6	3936			0,102	0,0315		0,034	0,031
D-6	3927	0,137	0,20	0,375	0,37		0,25	0,23
h-2	3889	10600		6400			8200	7200
S-7	3878				0,102		0,11	0,095
D-7	3872				0,21		0,265	0,225
s-4	3868	1,22	2,7	3,4			2,25	1,95
D-8	3834			0,325	0,064		0,062	0,0505
d-4	3820	13,9	15,5	21		12,2	16,5	13,5
S-9	3809				0,052		0,056	0,045
D-9	3806			0,170	0,0190		0,0186	0,0148
S-10	3787				0,0036		0,0038	0,0030
D-10	3785			0,086	0,012		0,012	0,0094
D-11	3769				0,0070		0,0069	0,0054
D-12	3756				0,0031		0,0030	0,0023
s-5	3733	0,193	0,53	1,07	0,41		0,46	0,34
d-5	3705	2,2	4,3	6,1			3,9	2,85
s-6	3652	0,065	0,143	0,405	0,15		0,154	0,105
d-6	3634	0,63	1,45	2,15	2,3		1,46	0,98
H-4	3614	4,0	5,0	5,6			4,8	3,1
s-7	3599			0,156	0,050		0,054	0,034
d-7	3587	0,182	0,64	0,75	0,68		0,49	0,31
s-8	3563			0,040	0,0192		0,0205	0,0125
d-8	3554	0,089	0,34	0,415	0,225		0,23	0,14
s-9	3537			0,029	0,0105		0,0112	0,0067
d-9	3530	0,025		0,205	0,083		0,076	0,045
s-10	3517				0,0073		0,0078	0,0045
d-10	3513			0,115	0,0375		0,036	0,021
s-11	3502				0,00495		0,0053	0,0030
d-11	3499				0,0174		0,017	0,0096
d-12	3488				0,0098		0,0096	0,0054
d-13	3479				0,00595		0,0059	0,00325
d-14	3472				0,0049		0,0048	0,0026
d-15	3466				0,0035		0,00345	0,0019
H-5	3448	0,50	0,77	1,10	2,8		0,74	0,40
H-6	3355				0,59		0,156	0,074
H-7	3297				0,16		0,042	0,019
H-8	3258				0,056		0,0148	0,0064
H-9	3231				0,0215		0,0057	0,00235
H-10	3211				0,0064		0,0017	0,00069

STELLINGEN

I

Ter bepaling van de absorptiekans (de B van Einstein) is meting van de absorptie te verkiezen boven meting van de anomale dispersie of magnetische rotatie.

II

Het bezwaar, dat Heymans heeft tegen het opvatten van het relativiteitsbeginsel als een „afsluitend resultaat”, ligt in een overschatting van het begrip *waarheid* door hierin de *adaequatio rei et intellectus* te zien.

G. Heymans. *Gesetze und Elemente des wissenschaftlichen Denkens*. 3e druk, 1915, blz. 15.

III

Bolland geeft in *De Natuur* geen zuivere natuurkennis, noch zuiver natuurbegrip.

G. J. P. J. Bolland. *De Natuur. Proeve van toegepaste redeleer*. 1915.

IV

De beschrijving, die Hk. de Vries geeft van de kromme van Peano, is fout.

Dr. Hk. de Vries. *Leerboek der differentiaal- en integraalrekening en van de theorie der differentiaalvergelijkingen II*, blz. 151 vv.

V

Het bewijs, dat Osgood geeft van de stelling van het gemiddelde bij harmonische functies, is niet elegant.

Dr. W. F. Osgood. *Lehrbuch der Functionentheorie I*, blz. 621.

VI

De opvatting van Schulze en Ahlborn over de werking van asymmetrische zwemstaarten is onjuist.

F. E. Schulze. Über die Abwärtsbiegung des Schwanztheiles der Wirbelsäule bei Ichthyosauren, Sitzungsab. der Berl. Akad. 1894, blz. 1133.

Fr. Ahlborn. Über die Bedeutung der Heterocerkie und ähnlicher unsymmetrischer Schwanzformen schwimmender Wirbelthiere für die Ortsbewegung. Zeitschrift für wiss. Zoologie, 61, 1, 1896.

D. Burger en J. Metzelaar. A propos du fonctionnement des queues nata-toires asymétriques. Archives Néerl. de Physiologie de l'homme et des animaux, 4, 347, 1920.

VII

De onderzoeken van Biltz geven geen bewijs, dat zwavelkleurstoffen bij het verfsproces in colloïdalen vorm op den plantaardigen vezel gaan.

W. Biltz. Dialyse der Lösungen von Immedialfarben. Berichte der Deutschen Chem. Ges. 38, 1915.

VIII

De bewering van H. Burger, dat „de ontelbare betrekkingen tusschen ziel en lichaam door geen monisme worden verklaard”, is voor de verschillende vormen van materialistisch monisme juist, wat het psychisch monisme betreft onaanvechtbaar.

Prof. Dr. H. Burger. Het teleologisch denken in de geneeskunde. Rede uitgesproken op den 26sten verjaardag van de stichting der Doorluchte School te Amsterdam. 1928, pg. 10.

IX

In aansluiting met het voor de gymnasia bepaalde dient in het aanhangige wetsontwerp tot regeling van het voorbereidend Hooger en algemeen vormend Middelbaar Onderwijs de bepaling te worden opgenomen, dat voor de betrekking van rector van een

H.B.S. slechts zij in aanmerking komen, die in het bezit zijn van den graad van doctor, behaald aan een Nederlandsche Hoogeschool of universiteit.

X

Het is wenschelijk en alleszins rationeel, dat uit artikel 28, 6e lid van het aanhangige wetsontwerp tot regeling van het voorbereidend Hooger en algemeen vormend Middelbaar Onderwijs de zinsnede: „en van hen, die op grond van andere examens tot het geven van voorbereidend hooger of algemeen vormend middelbaar onderwijs bekwaam kunnen worden geacht,” geschrapt worde.

XI

In het belang van het onderwijs in de exacte vakken dienen daarbij vraagstukjes, die „mooi uitkomen” te worden vermeden. In verband hiermee is het aanbevelenswaardig, het werken met de rekenliniaal bij het onderwijs verplicht te stellen en het gebruik van dit instrument bij het schriftelijk eind-examen voor te schrijven.

