



Intensiteitsmetingen in het ijzerspectrum

<https://hdl.handle.net/1874/295641>

INTENSITEITS-
METINGEN
IN HET
IJZERSPECTRUM

U

s.
cht

6

INTENSITEITSMETINGEN IN HET
IJZERSPECTRUM

RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT
LIBRARY

RIJKSUNIVERSITEIT TE UTRECHT



2376 286 1

Diss. Utrecht 1926

INTENSITEITSMETINGEN IN HET IJZERSPECTRUM

PROEFSCHRIFT TER VERKRIJGING VAN DEN
GRAAD VAN DOCTOR IN DE WIS- EN NATUUR-
KUNDE AAN DE RIJKS-UNIVERSITEIT TE
UTRECHT, OP GEZAG VAN DEN RECTOR-
MAGNIFICUS MR. J. PH. SUYLING, HOOG-
LEERAAR IN DE FACULTEIT DER RECHTS-
GELEERDHEID, VOLGENS BESLUIT VAN DEN
SENAAT DER RIJKS-UNIVERSITEIT TEGEN
DE BEDENKINGEN VAN DE FACULTEIT DER
WIS- EN NATUURKUNDE TE VERDEDIGEN OP
WOENSDAG 16 JUNI 1926, DES NAMIDDAGS
TEN VIER UUR, DOOR
JOHAN BERNARD VAN MILAAN,
GEBOREN TE LEKKERKERK.

**BIBLIOTHEEK DER
RIJKSUNIVERSITEIT
UTRECHT.**

Bij het beeindigen van mijn academische studie is het mij een groote voldoening mijn oprechten dank te kunnen betuigen aan allen die tot mijn wetenschappelijke vorming hebben bijgedragen.

In 't bijzonder U, Hooggeleerde ORNSTEIN, Hooggeachte Promotor, mijn hartelijken dank voor de steeds zoo welwillende, nooit verflauwende steun, die ik steeds van U mocht ondervinden bij mijn werk. De aangename jaren onder uwe leiding op uw laboratorium doorgebracht, zullen me altijd in onvergetelijke herinnering blijven. Ik beschouw het dan ook als een groot voorrecht, mij uw leerling te mogen noemen.

U, Hooggeleerde Heeren DE VRIES, NIJLAND en WOLFF breng ik dank voor het onderwijs van U genoten.

Zeergeleerde BURGER, steeds wanneer ik met moeilijkheden bij mijn onderzoek tot U kwam, vond ik U dadelijk bereid mij met woord en daad terzijde te staan. Mijn warmen dank hiervoor.

Zeergeleerde BOCKWINKEL, MOLL en VAN CITTERT, ook U mijn dank voor het onderwijs van U genoten.

Zeergeleerde MINNAERT, Uwe vriendschappelijke steun en belangstelling bij mijn werk ondervonden, zal mij steeds in aangename herinnering blijven.

Verder, gij allen uit mijn omgeving op het Physisch Laboratorium, dank ik voor de prettige omgang, die ik steeds met U had.

INHOUD.

| | Bladz. |
|--|---------------------------------------|
| HOOFDSTUK I. | |
| Indeeling van het ijzerspectrum, de intensiteitsformules . . . | 1 |
| HOOFDSTUK II. | |
| De methode van waarneming | 12 |
| HOOFDSTUK III. | |
| Resultaten der intensiteitsmeting voor multiplets | 18 |
| Tabellen voor de intensiteit | |
| van lijnen in het gebied | { |
| | $\lambda = 6411$ tot $\lambda = 6136$ |
| | $\lambda = 5506$ tot $\lambda = 5208$ |
| | $\lambda = 3800$ tot $\lambda = 3680$ |

HOOFDSTUK I.

1. **Indeeling van het ijzerspectrum, de intensiteitsformules.**

In dit proefschrift zal een reeks metingen beschreven worden, die omtrent de intensiteit van multiplets in het ijzerspectrum ver-richt zijn. Behalve de intensiteit van een aantal der multiplets is voor de spectraallijnen in het gebied dezer multiplets gelegen, de intensiteit als functie der stroomsterkte bepaald; het hierdoor ver-kregen materiaal kan waarschijnlijk voor de verdere studie van het ijzerspectrum van eenige beteekenis zijn.

Het doel van de meting der multiplets was: te onderzoeken of de sommenregel voor de intensiteit der multiplets voor ijzer geldt. Geldt zij, dan wordt hierdoor deze belangrijke stelling verder be-vestigd, doch daarnaast levert dit resultaat ook bewijsmateriaal voor de juistheid van de indeeling van het spectrum.

Gelijk bekend is, is het doel der spectroscopisten de energie-niveau's af te leiden, waaruit door het combinatieprincipe dan de spectraallijnen en hunne indeeling in reeksen gevonden kan worden. De niveau's worden door een aantal geheele getallen gekenschetst, de quantengetallen, die hunne modelmatige beteekenis aan de theorie van BOHR en hare uitbreiding door SOMMERFELD, LANDÉ en vele anderen danken. De quantengetallen, het hoofdquantengetal, het azimuthale quantengetal en het inwendige quantengetal bepalen het niveau, en de verbodsregels voor de overgang leggen dan verder de mogelijke spectraallijnen vast.

Voor het ijzerspectrum is de indeeling in reeksen nog niet gelukt. Wel echter heeft men reeds de voornaamste lijnen tot groepen kunnen combineeren die samen multiplets vormen. Hierbij moeten we wel bedenken, dat, wanneer we ons de niveau's van elke gesplitste toestand samengevallen denken, het heele multiplet maar eene lijn van een serie is, waarvan wij de totale quantengetallen

niet kennen, m. a. w. niet de rangnummers, voor de niveauletters, terwijl wij juist die moeten kennen voor de indeeling in reeksen.

Bij ijzer heeft men tot heden triplet, quintet en septet multiplets gevonden.

Een enkel woord moge opgemerkt worden omtrent de verschillende middelen, die men gebruikt heeft bij het rangschikken der lijnen van een zoo lijnenrijk spectrum als ijzer vertoont.

Eén van de eenvoudigste is het voorkomen van gelijke frequentieverschillen.

Beschouwen wij een multiplet dat door het volgende schema gekarakteriseerd is en dat door de overgang van een d tot f een term ontstaat. ¹⁾

| j | d | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1 | a | b | c | | |
| 2 | | d | e | f | |
| 3 | | | g | h | i |
| 4 | | | | j | k |
| 5 | | | | | l |

a, b, c, \dots, l stellen de door de verbodsregels toegelaten overgangen tusschen de verschillende gesplitste niveau's voor, stellen dus spectraallijnen voor.

Beschouwen we nu de lijnen b en c . De lijn b heeft dan een frequentie $\nu_b = f_1 - d_1$ en de lijn c gelijk $\nu_c = f_1 - d_2$. Het frequentieverschil tusschen de lijnen b en c is dus voor te stellen door $\nu_b - \nu_c = d_2 - d_1$.

Beschouwen we nu de lijnen d en e . $\nu_d = f_2 - d_1, \nu_e = f_2 - d_2$. Nu is dus $\nu_d - \nu_e = d_2 - d_1$, m. a. w. de lijnen b en c hebben hetzelfde frequentieverschil als de lijnen d en e .

Evenzoo geldt echter voor deze vier lijnen dat het frequentie-

¹⁾ In al onze tabellen staat steeds het aanvangsniveau boven.

verschil lijnen b en d gelijk moet zijn aan dat tusschen de lijnen c en e . Komen we dus vier lijnen tegen waartusschen een zoodanig verband bestaat in frequentieverschillen, dan mogen we veilig aannemen dat ze tot eenzelfde combinatie behooren. Een dergelijk verband moet natuurlijk ook bestaan tusschen de lijnen e, f, g, h en ook tusschen de lijnen h, i, j en k .

Een andere aanwijzing is de geaardheid der lijnen, bijv. het feit dat zij diffuus zijn. Dit geeft tevens al een sterke aanduiding dat hun aanvangsniveau een niveau met groote k is.

Verder is ook het onderzoek der absorbtie van groot belang, daar hieruit blijkt welk het laagste energieniveau van een element is.

Voor ijzer is dit een d niveau.

Bijzonder belangrijk voor het rangschikken van het ijzerspectrum is het werk van KING ¹⁾ geweest.

Hij nam met behulp van een elektrische oven waar, welke lijnen bij lage temperatuur het eerst verschenen en dan bij verhooging van temperatuur snel in intensiteit toenamen. Naar gelang van deze verschijnselen deelde KING de lijnen in Klassen in. In de klassen I en II werden de lijnen ingedeeld die het eerst opkwamen, de het laatst opkomenden in de klassen IV en V.

Bij ons onderzoek was het noodig de stroomsterkte in de boog over zoo groot mogelijk gebied te varieeren; daarbij veranderde de relatieve intensiteit der lijnen in hooge mate en bleven bij de laagste stroomsterkte vrijwel alleen de door LAPORTE ²⁾ gerangschikte multiplets over (vergelijk de atlas waar in het gebied $\lambda = 3649 - \lambda 3800$ 2 multiplets overgebleven zijn). Bij het opsporen van multiplets kan het varieeren van de stroomsterkte in den boog eventueel gecombineerd met intensiteitsmeting, ongetwijfeld een rol spelen; het geeft gegevens die analoog aan die van het ovenonderzoek van KING zijn; het werk is experimenteel echter veel eenvoudiger.

¹⁾ A. S. KING. *Astrophys. Journ.* 37, 239, 1913,

A. S. KING. *Astrophys. Journ.* 56, 351, 1922.

²⁾ O. LAPORTE. *Z. f. Phys.* 23, 135, 1924.

O. LAPORTE. *Z. f. Phys.* 26, 1, 1924.

Het krachtigste hulpmiddel was echter tot nu toe het Zeeman effect. Het is namelijk gebleken dat eigenschappen van de splitsingen bij het Zeeman effect, onafhankelijk zijn van het element. Zij hangen alleen af van de multipliciteit van het systeem waartoe de waargenomen lijn behoort, dat is dus van het multipliciteitsgetal en verder van het azimuthale quantengetal k en van het inwendige quantengetal j . Het hoofdquantengetal, noch bijzondere eigenschappen van het element spelen verder een rol. Deze stelling is bekend als Prestonsche regel. Heeft men nu dus voor een bepaalde groep uitgemaakt met welke overgang men te doen heeft, dan kan men een andere groep, die het zelfde Zeeman effect vertoont ook identificeeren wat betreft het systeem en de niveau's waartusschen de overgang plaats heeft en de daarbij behoorende j waarden. Zoo zullen dus de Zeeman splitsingen zooals die zich voordoen bij de beide D lijnen van natrium nl. de sp_2 en sp_1 , net eender voorkomen bij alle andere sp combinaties in de HS en nevenserie der alkalien en edele metalen daar die het zelfde multipliciteits getal hebben.

Verder levert ook nog de interval regel van LANDÉ een goed hulpmiddel voor het ordenen der lijnen binnen het multiplet. Deze interval regel luidt

$$\Delta \nu_{j,j+1} \text{ is evenredig met } (j + 1).$$

Het grootste deel der multiplets van het ijzer spectrum is uitgezocht door WALTERS.¹⁾ Deze heeft dat hoofdzakelijk gedaan met behulp van de gelijke frequentie verschillen. Het aantal der geordende multiplets is door LAPORTE met eenige vermeerderd. LAPORTE echter heeft het groote werk gedaan de lijnen quantentheoretisch te ordenen binnen de multiplet schema's. Bij het indeelen der lijnen viel het LAPORTE op, dat de tot een multiplet behoorende lijnen steeds tot één of twee naburige klassen van KING behoorden. Dit leverde hem nog een contrôle die kon helpen om te voorkomen dat lijnen bij een multiplet ingedeeld zouden worden als zij toevallig gelijke frequentie verschillen hadden, iets wat bij het groot aantal lijnen in het ijzer spectrum, gemakkelijk had kunnen

¹⁾ F. M. WALTERS, Journ. Wash. Acad. 13, 243, 1923.

voorkomen. Zijn werk vormde dan ook den grondslag van de door mij gedane intensiteits metingen in het ijzerspectrum.

In aansluiting aan het werk van LAPORTE moet verder nog genoemd worden dat van CATALAN ¹⁾, GOUDSMIT ²⁾, GIESELER en GROTRIAN ³⁾.

De absorbtie spectra van ijzer zijn special door VON ANGERER en Joos ⁴⁾ onderzocht.

DE INTENSITEIT DER LIJNEN IN EEN MULTIPLLET.

Gaan we weer uit van een $f-d$ quintetsysteem.

| | | d | | | | |
|-----|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| f | 1 | a | b | c | | |
| | 2 | | d | e | f | |
| | 3 | | | g | h | i |
| | 4 | | | | j | k |
| | 5 | | | | | l |

Onderstellen wij dat de sprongen van het lichtelectron gaan van het d niveau naar het f niveau dus van $k = 3$ naar $k = 4$.

We zien dat tengevolge van de verbodsregel voor de inwendige quantengetallen de lijnen in het schema in drie schuine rijen komen te liggen. Noemen we de diagonaalrij de eerste, en de daarop volgende rijen de tweede en derde diagonaal. Er blijkt nu een merkwaardig verschil te bestaan tusschen de drie rijen. Nemen we een willekeurige lijn uit de eerste rij, bijv. g . Die kan dan voorgesteld worden als $f_3 - d_2$. Het lichtelectron gaat van het

¹⁾ M. A. CATALAN, Nature 113, 889 (1924).

²⁾ GOUDSMIT, Amsterd. Acad. 1924, bl. 107.

³⁾ H. GIESELER und W. GROTRIAN, Zeitschr. f. Phys. 22, 243 (1924).

⁴⁾ E. V. ANGERER und G. JOOS, Naturwissenschaften 12, 140 (1924); en Ann. der Phys. 1924.

d niveau ($k=2$) naar het f niveau ($k=3$), dus het azimuthale quantengetal neemt met één toe. Maar tevens zien we dat het inwendige quantengetal ook met één toeneemt. De sprong van het azimuthale quantengetal is dus gelijk aan die van het inwendige quantengetal. Dit blijkt zoo te zijn voor alle lijnen van de eerste diagonaal rij.

Beschouwen we nu de lijn $e=f_2-d_2$, uit de tweede diagonaalrij. Hier blijkt bij een $\Delta k=+1$ te behooren een $\Delta j=0$.

En gaan we nu naar de derde diagonaalrij, bijv. lijn $f=f_2-d_3$ dan zien we dat hier bij een $\Delta k=+1$ een $\Delta j=-1$ samengaan, dus hier gaat de j sprong juist tegengesteld aan de k sprong. SOMMERFELD heeft nu uit het correspondentie principe de volgende kwalitatieve intensiteits regel gegeven:

De sterke overgangen zijn die waarbij j zich in gelijken zin beweegt als k (hoofdlijnen).

De zwakste overgangen zijn die waarbij j zich in tegenovergestelden zin beweegt als k (satellieten 2^{de} orde). De overgangen waarbij j niet verspringt terwijl de $k+1$ of -1 verspringt, vormen de tusschen gelegen overgangen (satellieten 1^{ste} orde).

Dit alles blijft ook doorgaan voor een $d-f$ overgang (dus k overgang juist andersom). Niet de sprong van een hooger naar een lager, of van een lager naar een hooger azimuthaal quantengetal bepaalt de betrekkelijke intensiteit, maar alleen of het inwendige quantengetal in gelijken zin als het azimuthale quantengetal springt of anders, bepaalt of we te doen hebben met een hoofdlijn of met een satelliet van de 1^{ste} of 2^{de} orde. Bij onze metingen is echter gebleken dat we de beteekenis van deze intensiteitsregel niet te absoluut moeten opvatten. Het kan namelijk heel goed voorkomen dat de satelliet van de 1^{ste} orde h een grootere intensiteit heeft als de lijn a , al is dit een hoofdlijn. De waarde van deze intensiteitsregel is groot geweest bij de rangschikking van multiplets in het schema. Hij heeft echter als contrôle op een meting weinig waarde.

Naar aanleiding van de studie van dubletten en tripletten is de regel voor de intensiteiten opgesteld. Gelijk bekend is, is het p niveau van af het triplet systeem steeds drievoudig, het s niveau

steeds enkelvoudig. De ps combinaties geven dus van af het triplet systeem steeds tripletten. Nu bleek uit de intensiteits metingen dat de intensiteits verhoudingen

| | | | |
|---|-----------------------|------------------|------------------|
| | in een dublet systeem | steeds waren als | 4 : 2 : 0 |
| » | » triplet | » | » » » 5 : 3 : 1 |
| » | » sextet | » | » » » 8 : 6 : 4 |
| » | » oktet | » | » » » 10 : 8 : 6 |

Beschouwen we eerst de verhouding der intensiteiten 5 : 3 : 1 van het tripletsysteem. Als we een element van het tripletsysteem onderzoeken, dan zal het dus tusschen de p en s toestand drie spectraallijnen geven: $s - p_a$, $s - p_b$ en $s - p_c$. De intensiteit van de lijn $s - p$ zal evenredig zijn met het aantal sprongen, dat wil dus zeggen ze zal evenredig zijn met het aantal atomen in den toestand p_a en de kans om te springen van 't p_a niveau naar 't s niveau.

Dezelfde redeneering geldt natuurlijk voor de p_b en p_c toestand. In de intensiteitsverhoudingen van de lijnen van een triplet hebben we dus de waarschijnlijkheid van de overgangen tusschen de verschillende p onderniveau's naar het s niveau. Nu bestaat er een verband tusschen de j waarde van elk onderniveau en de intensiteiten der uitgestraalde spectraallijnen. Bij een triplet systeem is het multipliciteitsgetal $r = 3$. Bekend is dat $r = 2j_s + 1$ dus $j_s = 1$ bij een tripletsysteem.

$$\begin{array}{c}
 k \\
 s \mid 1 \\
 p \mid 2
 \end{array}
 \quad
 j_s = \begin{array}{c}
 1 \\
 \diagdown \quad \diagup \\
 2 \quad 1 \quad 0
 \end{array}$$

De inwendige quantengetallen der 3 p niveau's, zijn dus 2, 1 en 0. We zien nu dat we de verhouding 5 : 3 : 1 krijgen door $(2 \times 2 + 1) : (2 \times 1 + 1) : (2 \times 0 + 1)$ te nemen. Voor elk niveau geven dus de getallen $(2j + 1)$ de statistische gewichten P , voor de betrekkelijke overgangen naar het s niveau.

Voor een quintetsysteem bijvoorbeeld is

$$\begin{array}{c}
 r = 5 \\
 s \\
 p
 \end{array}
 \quad
 r = 2j_s + 1 \rightarrow j_s = 2$$

$$\begin{array}{c}
 j_s = 2 \\
 \diagdown \quad \diagup \\
 3 \quad 2 \quad 1
 \end{array}$$

Dus de statistische gewichten zijn

$$2.3 + 1 = 7 \quad 2.2 + 1 = 5 \quad 2.1 + 1 = 3.$$

Dus zouden de intensiteitsverhoudingen voor een ps triplet bij een quintetsysteem moeten zijn als $7:5:3$, wat met de waarnemingen klopt.

Langs dezen weg komt men dus tot den regel dat in de gevallen van de overgang van een meervoudig niveau naar een enkelvoudig de intensiteiten zich verhouden als de bij de onderniveau's behorende statistische gewichten.

Voor de meer samengestelde gevallen, zooals bijv. bij de samengestelde triplet, samengestelde quintet systemen enzv. kan men aan den gewichtsregel den vorm geven van een sommenregel.

Beschouwen we weer het $f-d$ schema van zooeven.

| P | | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| 3 | 1 | a | b | c | | | 35 |
| 5 | 2 | | d | e | f | | 105 |
| 7 | 3 | | | g | h | i | 175 |
| 9 | 4 | | | | j | k | 245 |
| 11 | 5 | | | | | l | 315 |
| | | 75 | 125 | 175 | 225 | 275 | |

Met P duiden we hier dus weer aan de statistische gewichten, behorende bij de verschillende inwendige quantengetallen. We hebben nu niet meer te doen met overgangen naar of van een enkelvoudig niveau, maar met overgangen tusschen twee, beide samengestelde niveau's. Wel hebben echter de in eenzelfde rij

staande lijnen hetzelfde f niveau als eindniveau; evenals alle in een zelfde kolom staande lijnen een zelfde niveau als aanvangsniveau hebben. Nu hebben de in een zelfde rij staande lijnen hoogstwaarschijnlijk verschillende intensiteiten, we weten er echter niets van. Laten we nu echter de onderniveau's samenvallen, dan vallen dus de intensiteiten van de lijnen a , b en c samen evenzoo die van de lijnen d , e en f enzv. Nu hebben we echter het geval teruggekregen van een enkelvoudig aanvangs- (of eind)-niveau van waaruit (of waar naar toe) overgangen kunnen plaats hebben naar een ander samengesteld niveau. Maar dan verhouden zich de sommen der intensiteiten der lijnen (a , b en c) en (d , e en f) enzv. volgens de gewichtsregel als de statistische gewichten der f onderniveau's dus als $3:5:7:9:11$. Hetzelfde kunnen we nu doen ten opzichte van de kolommen. De sommen der intensiteiten van de kolommen verhouden zich dus als $1:3:5:7:9$. Voor de praktijk is 't nu gemakkelijk de totale som van alle intensiteiten, die in wezen natuurlijk willekeurig is, te nemen gelijk aan het product van de sommen van alle statistische gewichten van alle begin- en eindniveau's. In het voorbeeld wordt die som dus $(3 + 5 + 7 + 9 + 11) \cdot (1 + 3 + 5 + 7 + 9) = 875$. De sommen der rijen worden dan resp. 35, 105 enzv. en de sommen der kolommen worden resp. 75, 125, enzv. Zoo is dus de gewichtsregel tot sommenregel getransformeerd. Zij luidt kort gezegd:

De sommen der intensiteiten van de lijnen van een multiplet met gemeenschappelijk eind- of beginniveau, zijn evenredig met de statistische gewichten van de gemeenschappelijke niveau's.

Behalve voor dubletten en ps gevallen, bepaalt de sommenregel de intensiteiten niet. Bezien we bijvoorbeeld het schema van het samengestelde quintetsysteem van blz. 8 dan heeft de sommenregel hier 10 sommen, dus 9 vergelijkingen met 12 onbekenden, dat wil dus zeggen dat de sommenregel ons hier niet de individueele theoretisch berekende intensiteit der lijnen geeft, uitgezonderd die van de lijnen die aan de uiteinden van de diagonaal van het schema staan.

Dit is de aanleiding geweest voor ORNSTEIN en BURGER om een vergelijking of stel vergelijkingen te zoeken die dit tekortschieten van de sommenregel zou aanvullen.

Voor oneindig groote azimuthale quantengetallen hadden SOMMERFELD en HEISENBERG ¹⁾ reeds afgeleid dat drie lijnen waarbij het inwendige quantengetal respectievelijk veranderde met -1 , 0 en $+1$ een intensiteitsverhouding moesten hebben van

$$I_{-1} : I_0 : I_{+1} = \cos^4 \frac{\Theta}{2} : 2 \sin^2 \frac{\Theta}{2} \cos^2 \frac{\Theta}{2} : \sin^4 \frac{\Theta}{2}.$$

De vergelijking die ORNSTEIN en BURGER nu moesten opstellen moest aan drie eischen voldoen:

- 1^o Voor eindige k waarden moest ze overeenstemmen met de metingen.
- 2^o Voor eindige k waarden moest ze in overeenstemming zijn met de sommenregel.
- 3^o Voor $k = \infty$ moest ze voldoen aan de Sommerfeld Heisenbergsche betrekking.

Zij hebben zulk een betrekking weten op te stellen, die echter niet in alle gevallen voldeed. (Zeitschr. f. Phys. 31 5/6 1925).

SOMMERFELD - HÖNL, ²⁾ en onafhankelijk van deze ook KRONIG ³⁾ en RUSSELL ⁴⁾ hebben daarna, van de publicatie van ORNSTEIN en BURGER uitgaande een ander stel vergelijkingen opgezet dat mathematisch eleganter is.

Deze drie vergelijkingen zijn:

A Voor het geval $k \rightarrow (k-1)$ (bijv. $f-d$)

$$J_{-1} = r \frac{JP(j-1)}{4j j_a}$$

$$J_{+1} = r \frac{Q(j) Q(j-1)}{4j j_a}$$

$$J_0 = \frac{r}{4j_a} \left(\frac{1}{j} + \frac{1}{j+1} \right) Pj Qj.$$

¹⁾ SOMMERFELD und W. HEISENBERG, Die Intensität der Mehrfachlinien und ihrer Zeemankomponenten, Zeitschr. f. Phys. 11, 131, 1922.

²⁾ SOMMERFELD und HÖNL, Sitzungsberichte der Preussischen Academie des Wissenschaften IX 1925.

³⁾ KRONIG, Zeitschr. f. Phys. 31, 885. 1925.

⁴⁾ RUSSEL, Nat. Proceed. Wash. 1925.

B Voor het geval $k \rightarrow \bar{k}$ (bijv. $d - \bar{d}$)

$$J_0 = r \frac{2j_a + 1}{j_a + 1} \left\{ \frac{R(j-1)Rj}{4j j_a} + \frac{R(j)R(j+1)}{4(j+1)j_a} \right\}$$

$$J_{+1} = r \frac{2j_a + 1}{j_a + 1} \cdot \frac{P(j)Q(j-1)}{4j j_a}$$

In deze vergelijkingen is

$$P(j) = (j + j_a)(j + j_a + 1) - j_s(j_s + 1)$$

$$Q(j) = j_s(j_s + 1) - (j - j_a)(j - j_a + 1)$$

$$R(j) = j(j+1)j_a(j_a+1) - j_s(j_s+1)$$

Hierin is $j_a = k - 1$ voor de grootste k van het multiplet.

j_s is voor een bepaald systeem bepaald door $r = 2j_s + 1$.

j moet genomen worden gelijk de grootste j -waarde van een lijn in het schema.

Voor de lijn g bijvoorbeeld uit het $f d$ -schema van blz. 8 is:

$$j_a = 3$$

$$j_s = 2$$

$$j = 3.$$

De vragen die wij dus stellen moesten zijn:

1° Geldt de sommenregel in het ijzerspectrum, stemt hij overeen met de werkelijke intensiteits metingen in samengestelde gevallen.

2° Zijn de aanvullende vergelijkingen van SOMMERFELD—HÖNL, KRONIG en RUSSELL in staat de intensiteits verhoudingen te beschrijven.

Het beantwoorden van deze vragen was het doel van de hieronder gepubliceerde metingen.

HOOFDSTUK II.

De methode van waarneming.

De meting van de relatieve intensiteit van de spectraallijnen is gedaan volgens de in het Utrechtsch Laboratorium ontwikkelde methode der verzwakkers. De methode is in verschillende publicaties ¹⁾ uiteengezet. Wij beschrijven onze wijze van werken alleen in zooverre als er bijzonderheden voorkwamen bij ons onderzoek die in andere gevallen niet voorkwamen of anders werden behandeld.

Als spectrograaf werd een stigmatische roosteropstelling gebruikt. In verband met de verbouwingen van het Laboratorium was de, op aanwijzingen van Dr. P. H. VAN CITTERT ²⁾ geconstrueerde spectrograaf, niet beschikbaar, daarom werd een eveneens door v. CITTERT ontworpen gewijzigde (ineengevouwen) opstelling gebruikt, die, daar zij minder ruimte beslaat, ook gedurende de verbouwing voldoende stabiel kon worden opgesteld. Deze gebruikte opstelling was als volgt.

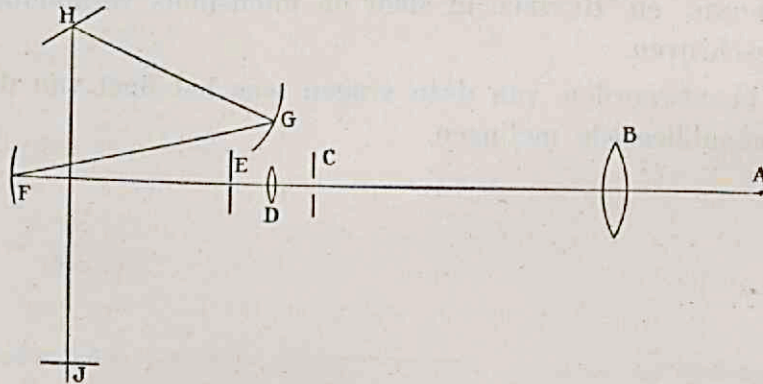


FIG. 1.

¹⁾ Vergelijk het samenvattend overzicht L. S. ORNSTEIN. Intensity of multiple spectrallines: Experiment and Theory. Proc. Phys. Soc. Vol. 37, part 5, 1925.

²⁾ Dr. P. H. v. CITTERT. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 41, S. 116, 1921.

De lichtbron is in *A* opgesteld. Het licht valt eerst op een biconvexe lens *B* waarvoor de verzwakkers staan. Deze lens vormt een beeld van den lichtboog in *C*. Op deze plaats is een diafragma geplaatst, dat dient om de gloeiende deelen van de polen van den boog af te scherpen. Het uit dat diafragma tredende licht valt daarna op de biconvexe lens *D*, die de verzwakkers afbeeldt op de daarachter opgestelde spleet *E* van den spectrograaf. Deze spleet staat in het hoofdbrandpunt van de holle spiegel *F*. Dientengevolge wordt de bundel door de spiegel evenwijdig gemaakt en naar het rooster in *G* gekeerd. Het rooster breekt de stralengang opnieuw. Het licht dat het rooster verlaat wordt teruggekeerd op een vlakke spiegel *H* die het in de richting *J* werpt waar het chassis op gesteld is. Wij vestigen de aandacht er op dat door het aanbrengen van den spiegel *H* de lichtweg samengevouwen wordt.

Het gebruikte rooster was een hol ROWLAND rooster van $2,5 \times 5$ cm². en telde 568 lijnen per m.M.

In de gebruikte opstelling zijn het rooster en de vlakke spiegel bewegelijk opgesteld en wel zoodanig dat men naar willekeur de spectra der eerste, tweede of derde orde op de vlakke spiegel kon laten vallen, terwijl de beweging van den spiegel zoo gekoppeld is met die van het rooster, dat het beeld van het te fotografeeren deel van een spectrum in de richting van het chassis valt.

De plaats waar de spleetbeelden zich vormen is echter voor elken stand van het rooster verschillend, en zij moest dus steeds met een loupe bepaald worden. Met deze spectrograaf konden opnamen voor het geheele spectrum genomen worden in de eerste en tweede orde, terwijl zij in de derde orde nog gebruikt kon worden tot in het geelgroen. Bij opnamen in de tweede orde bleek het naar links teruggeworpen licht van het rooster ook op de fotografische kaart te vallen. Om dit te verhinderen werd een klein kastje over het chassis geplaatst dat het schuin opvallende licht tegenhield.

Als lichtbron is in hoofdzaak de elektrische lichtboog gebruikt. In het begin werd een gewone booglamp gebruikt, waarin de koolspitsen door ijzerspitsen waren vervangen.

De zoo verkregen boog was echter zeer onrustig. Bovendien veranderde tengevolge van het afsmelten der polen de booglengte voortdurend, terwijl door diezelfde oorzaak de boog vaak plotseling uitging. Spoedig werd dan ook overgegaan tot de Pfundsche brander.

De bovenpool bestond uit een staafje ijzer, bevestigd in een zwaar stuk uitgehold koper van ongeveer 7 c.M. lengte en 1,5 c.M. dikte. Het staafje ijzer, vaak een stuk draadnagel van ongeveer 3 m.M. dikte stak \pm 2 m.M. buiten de koperen buis uit en werd hierin geklemd door middel van een schroef.

De onderste pool bestond uit een staafje gietijzer van ongeveer één c.M. dikte. De bovenzijde hiervan was een weinig uitgehold. In deze uitholling lag een ijzerparel. Deze parel werd in het begin gevormd uit het ijzeraanbaksel van de bovenste pool van vorige waarnemingen. Later bleek het echter veel eenvoudiger om voor de ijzerparels rijwieltkogeltjes te gebruiken. Om een rustige boog te verkrijgen, moesten ze eerst gedurende een oogenblik sterk voorverhit worden. Het gebruik der rijwieltkogels leverde tevens het voordeel, dat zij, wanneer ze tengevolge van een lange belichting te veel verbruikt waren, door een nieuwe konden vervangen worden, die weer dezelfde hoogte als de te voren gebruikte had. Hierdoor was het mogelijk de belichting veel gelijkmatiger te houden, ook over een lang tijdsverloop.

Tijdens de vernieuwing der parel werd de lichtweg steeds tijdelijk afgeschermd. Bij belichtingen van één of twee uur, hebben wij vaak tijdens de belichting het kogeltje met behulp van een glazen staafje een weinig in zijn uitholling gedraaid, waardoor telkens weer een glad gedeelte bovenkwam. Wanneer de bovenpool te veel aangebakken was, werd na afscherming van de lichtweg, even kortsluiting in de lantaarn gemaakt. Het aanbaksel smolt dan vast aan de oude parel. Deze werd dan losgetikt van de bovenpool, waarbij als regel het aanbaksel ook mee ging, vervolgens werd hierna de kogel door een nieuwe vervangen. Aan het gebruik van de rijwieltkogels is het nadeel verbonden, dat zij naast het ijzer ook chroom bevatten. Ook dit element heeft een lijnenrijk spectrum.

Het gevolg is dat steeds nagegaan moest worden of geen der

sterke chroomlijnen in de onmiddellijke omgeving der waar te nemen ijzerlijnen vielen. Bij eenige waarnemingen in het ultra violet heeft zich dat geval ook voorgedaan. De fotografische plaat is daar echter zoo gevoelig dat met zeer korte belichtingstijden volstaan kon worden. Er werden in dit gebied dus geen hooge eischen aan de parel gesteld en zoo konden wij er dus toe overgaan om als parel te gebruiken een tot een bolletje samengeknepen plaatje electrolytisch zuiver ijzer van MERCK.

De stroom moet van de ijzerparel naar de bovenste pool loopen. De boog heeft den vorm van een omgekeerden kegel. De met dezen brander verkregen boog was niet lang (± 3 m.M.) maar hij had het buitengewone voordeel van zeer rustig te zijn. Bij een stroomsterkte van 0,3 Amp. kon hij zelfs eenige uren aan één stuk door blijven branden zonder dat hij bijgeregeld behoefde te worden. Bij grootere stroomsterkten vormde zich langzamerhand een gordijn van ijzeroxyde aan de bovenste pool. Dit gordijn moest van tijd tot tijd met een glazen staafje verwijderd worden, daar het anders het licht geheel afschermt. Nog een groot voordeel van deze boog was hare reproduceerbaarheid. Moest later, om één of andere reden, een opname nog eens onder zooveel mogelijk gelijke omstandigheden herhaald worden, zoo ging het zeer gemakkelijk.

Een groot nadeel van alle lichtbogen is de groote absorbtie der geëmitteerde lijnen in het gas van den boog. Voor deze absorbtie, zullen wij, naar analogie met de benaming zelfomkeering voor de absorbtie in het hart van de lijn in gebruik, de term zelf-absorbtie gebruiken. Deze zelfabsorbtie verkleint het contrast der te meten lijnen. Het is gemakkelijk een ijzerspectrum binnen enkele minuten te fotografeeren, doch in den boog, daarbij gebruikt, is de dampdichtheid en dus de zelfabsorbtie zoo groot dat intensiteitsmeting geen waarde heeft. Daarom zijn we er vaak toe moeten overgaan urenlange belichtingen bij zoo laag mogelijke stroomsterkte te gebruiken. Daarom zijn ook eenige opnamen gedaan met een vonk.

De zelfabsorbtie bleek hier echter niet geringer te zijn dan in den boog met zwakke stroom.

Voor de fotografische opnamen werden Ilfordplaten gebruikt.

Voor opnamen in het geelgroen werden Ilford Rapid chromatic H en D 400 gebruikt.

Bij opnamen in de 2^e en 3^e orde moest een filter in den lichtweg geplaatst worden om het ultraviolet van de resp. 3^e en 4^e orde te absorberen. Daartoe werd een cuvet met tartrasine gebruikt.

Voor de opnamen in het ultraviolet werden gebruikt Ilford panchromatic plates special rapid. Bij opnamen in de derde orde viel een gedeelte van het geel van de 2^e orde hierover heen.

De gebruikte platen waren voor de betreffende golflengte zeer ongevoelig zoodat wij daarvan geen bezwaar ondervonden.

In het rood werden gebruikt panchromatische platen Ilford special rapid, extrasensitive H en D 400.

Als ontwikkelaar werd gebruikt een rodinaloplossing 1 : 20, zonder toevoeging van broomkali. In de meeste gevallen werd gedurende tien minuten ontwikkeld.

Daar de uiterste lijnen van elk multiplet gewoonlijk tamelijk veel in golflengte verschilden, werden naast de lijnen spectra opnamen van continue spectra van een wat de energieverdeeling betreft, geijkte lamp opgenomen, teneinde de correctie voor het verschil in gevoeligheid van de fotografische plaat bij verschillende golflengten te kunnen uitvoeren.

De boog bevat toch nog altijd gloeiende deeltjes, derhalve zal, behalve het lijnenspectrum ook nog altijd een zwak continu spectrum aanwezig zijn, waardoor op de fotografische plaat een geringe zwarting ontstaat. Voor de daardoor ontstane continue ondergrond moet uiteraard gecorrigeerd worden.

Als verzwakkers werden eerst stukjes rookglas van ZEISS gebruikt. Deze werden later door gezwarte fotografische platen als verzwakkers vervangen. De laatste voldeden bijzonder goed. Zij hadden zelfs het voordeel, dat zij zoowel in het nabije ultraviolet als in het rood een merkbare, van die in het geel en groen weinig verschillende absorbtie vertoonden. De meting van het doorlatingsvermogen der verzwakkers geschiedde met monochromator, thermoziil en galvanometer.

De spleet was vaak niet volkomen gelijkmatig belicht. Om daar-

voor een correctie aan te kunnen brengen werd op dezelfde plaat steeds een opname genomen zonder verzwakkers, terwijl in deze opname één van de multipletlijnen op gelijke hoogte als de verzwakkers gecontroleerd werd, wat de zwarting betreft. Bij juiste belichting was de zwarting over de geheele hoogte van de spectraallijn natuurlijk dezelfde. Is zij dit niet, dan kan de afwijking bepaald worden en bij de berekening van de intensiteiten van het multiplet wordt dan een correctie voor deze ongelijkmatige belichting aangebracht.

Bij het bepalen der ligging van de lijnen die tot een multiplet behoren is gebruik gemaakt van bestaande atlanten en tabellen. Deze geven ook intensiteiten der bijbehorende lijnen op. Zij geven echter niet de werkelijke verhoudingen der intensiteiten op, doch meer een indeeling in grootte-klassen. Onze metingen toonen nu echter zeer duidelijk dat de onderlinge intensiteitsverhoudingen in het spectrum zeer sterk afhangen van de stroomsterkte in den boog. Daarom zijn tegelijk met de metingen der multiplets gegevens verzameld over de intensiteit der andere lijnen. Deze zijn verzameld in een tabel van intensiteiten van de lijnen van het ijzerspectrum in de gebieden waar het multiplet ligt, terwijl de metingen zooveel mogelijk bij verschillende stroomsterkten geschied zijn. Het daardoor gedane werk is slechts een begin en kan op volledigheid geen aanspraak maken, doch waar de gelegenheid zich voordeed dit materiaal te verkrijgen, meenden we het niet te mogen achterwege laten.

De sterkste lijn van elk gebied is gelijk aan 100 gesteld. Zijn meerdere malen van een zelfde gebied de intensiteiten opgegeven bij verschillende stroomsterkten dan is in alle gevallen de sterkste lijn = 100 gesteld; de lijn is echter in beide gevallen niet even sterk. Hierbij zij tevens opgemerkt dat in de tabellen voor de multipletten een andere maat gebruikt is om de intensiteitsverhouding van die lijngroepen uit te drukken. Daar is namelijk de som der gemeten intensiteiten van de lijnen van het multiplet gebracht op de theoretische som.

Om eenanschouwelijk beeld te geven van den invloed van de stroomsterkte op de onderlinge intensiteitsverhoudingen, hebben

wij voor een gebied de intensiteiten bij twee verschillende stroomsterkten geteekend. De abcis is de golflengte (Zie de figuren aan het eind van dit proefschrift, waar ook een tabel van de resultaten voor het geheele onderzochte gebied gegeven is).

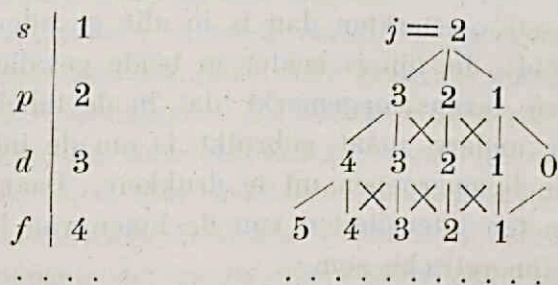
Boven deze figuren is voor beide gevallen vergroot het verloop der continue ondergrond weergegeven. Hier valt het op, dat de sterkte van de continue ondergrond behalve van gloeiende deeltjes in den boog zelf, sterk beïnvloed wordt door het feit of we in een gebied zijn met veel sterke lijnen of dat dit niet het geval is.

Verder geeft fig. 3 de gevoeligheid van de plaat weer. Hierin is als functie van de golflengte een bedrag uitgezet, dat omgekeerd evenredig is met de intensiteit, die een bepaalde, voor alle golflengten gelijke zwarting zou veroorzaken. Dus voor een golflengte, waarbij deze gevoeligheid groot is, is slechts een geringe energie noodig, om een bepaalde zwarting te veroorzaken. Deze plaatgevoeligheidskromme loopt zeer sterk uiteen voor hetzelfde gebied en dezelfde plaatsoort, m. a. w. de kromme moet voor elke plaat steeds weer opnieuw bepaald worden.

3. Resultaten der Intensiteitsmeting voor de multiplets.

Zooals reeds vroeger gezegd is, zijn in het ijzerspectrum triplet, quintet en septetsystemen geconstateerd. Het belangrijkste van deze systemen is het quintetsysteem omdat dit de sterkste lijnen omvat, met andere woorden hierin blijken de grootste overgangswaarschijnlijkheden op te treden.

Bezien wij het schema van het quintetsysteem.



De verbindingsstrepen geven een mogelijke sprong tusschen twee

niveau's aan. Wij zien dus dat een sp combinatie maar 3 lijnen omvat. Een pd combinatie heeft 9 lijnen en een df, fg enz. combinatie 12 lijnen. Nu komen bij ijzer ook zoogenaamde gestreepte termen voor.

Niet gestreepte termen kunnen onderling combineeren, de gestreepte onderling eveneens als $\Delta k = \pm 1$. Wanneer echter $\Delta k = 0$ kunnen gestreepte met niet gestreepte termen combineeren. Dus kunnen voorkomen $d\bar{d}$ en $f\bar{f}$. Deze twee gevallen komen ook voor onder de gemeten multiplets. Bij de ff combinatie zijn de inwendige quantengetallen 1, 2, 3, 4 en 5. De verbodsregel dat $j 0 \rightarrow 0$ niet mag voorkomen verbiedt hier dus geen enkele overgang, m. a. w. de ff combinatie telt 13 lijnen inplaats van 12.

Een overzicht van de doorgemeten multiplets geeft het onderstaand diagram.

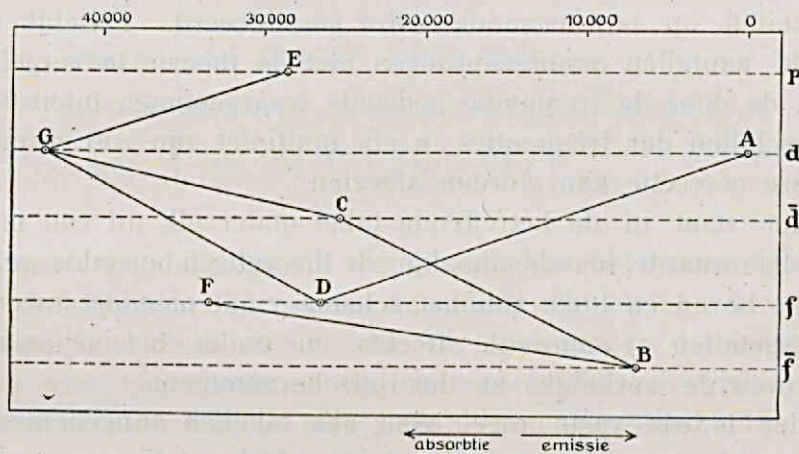


FIG. 2.

In dit schema zijn de gesplitste niveau's allen samen gevallen gedacht tot één niveau. De niveau's zijn aangegeven door evenwijdige horizontale lijnen. De schuine verbindingslijnen duiden de multiplets aan. De horizontale projecties zijn evenredig met de frequenties.

Het eerste multiplet waarvan we de metingen gaan bespreken is een $f - \bar{d}$ (overéenkommende met de lijn CB in fig. 2).

Het omvat de volgende 12 lijnen.

| | | | |
|----------|-------------------------|----------|-------------------------|
| 5506,785 | $\bar{f}_2 - \bar{d}_3$ | 5429,701 | $\bar{f}_3 - \bar{d}_3$ |
| 5501,471 | $\bar{f}_3 - \bar{d}_4$ | 5405,780 | $\bar{f}_2 - \bar{d}_1$ |
| 5497,521 | $\bar{f}_1 - \bar{d}_2$ | 5397,135 | $\bar{f}_4 - \bar{d}_4$ |
| 5455,617 | $\bar{f}_1 - \bar{d}_1$ | 5371,496 | $\bar{f}_3 - \bar{d}_2$ |
| 5446,922 | $\bar{f}_2 - \bar{d}_2$ | 5328,044 | $\bar{f}_4 - \bar{d}_3$ |
| 5434,527 | $\bar{f}_1 - \bar{d}_0$ | 5269,538 | $\bar{f}_5 - \bar{d}_4$ |

De opnamen werden bijna alle genomen in de derde orde. De gebruikte stroomsterkte was bij de eerste waarnemingen 4 à 5 Amp. De uitkomst der meting geeft slechts verhoudingsgetallen der intensiteiten, terwijl het doel dezer metingen is het toetsen van den sommenregel en de deze aanvullende regels van SOMMERFELD-HÖNL, RUSSELL en van KRONIG.¹⁾ Daarom is de uit de meting verkregen som der intensiteiten omgerekend op de theoretische som $\sum P_i \times \sum P_j$.

De in dit hoofdstuk vermelde tabellen bevatten de waargenomen intensiteiten op bovenstaande wijze gereduceerd. Feitelijk dient men de aantallen quantensprongen met de theorie te vergelijken d. w. z. de door de frequentie gedeelde waargenomen intensiteiten. De verschillen der frequenties in elk multiplet zijn zoo gering dat van deze correctie kan worden afgezien.

Verder staat in de betreffende tabel onder elk uit een meting afkomstige waarde, tusschen haakjes de theoretisch bepaalde waarde.

Direct boven en links van het schema vindt men de inwendige quantengetallen (*j*-waarden). Rechts en onder het schema zijn aangegeven de werkelijke en theoretische sommen.

Verder is als vaste regel voor alle tabellen aangenomen dat het aanvangsniveau boven, het eindniveau links verticaal gegeven is.

De uitkomst van een meting bij 4,5 Amp. geeft tabel I.

Zooals men dadelijk ziet is de overeenstemming met de sommenregel zeer slecht. Daaruit moet men echter niet de gevolgtrekking maken dat de sommenregel voor deze meer ingewikkelde gevallen niet geldt. Aanvankelijk werd aan een fout in de metingen gedacht. Daarom werd de spectrograaf nog eens opnieuw ingesteld. Nieuwe opnamen, ook in andere orden gaven echter geen betere

¹⁾ Als hieronder over aanvullende regels gesproken wordt, worden de in de geciteerde verhandelingen afgeleide regels bedoeld.

TABEL I.

| \bar{f} | \bar{d} | | | | | 4,5 Amp. | |
|-----------|-----------|-----|-----|-------|-----|----------|------|
| j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. |
| 1 | 68 | 84 | 19 | | | 171 | 75 |
| 2 | | 91 | 94 | 23,5 | | 208,5 | 125 |
| 3 | | | 94 | 89 | 15 | 198 | 175 |
| 4 | | | | 100 | 85 | 185 | 225 |
| 5 | | | | | 116 | 116 | 275 |
| waarn. | 68 | 175 | 207 | 212,5 | 216 | | |
| ber. | 35 | 105 | 175 | 245 | 315 | | |

uitkomst. De mogelijkheid dat geesten van het rooster de oorzaak voor de slechte overéénstemming zouden zijn, moest ook verworpen worden, daar hun effect door de opnamen in de verschillende orden van het spectrum wel te voorschijn zou gekomen zijn. Bijzondere, ter contrôle met behulp van een kwiklamp gedane opnamen werden genomen om de intensiteit van de geesten te kunnen nagaan. Hunne intensiteiten bleken echter bij het gebruikte rooster zeer gering te zijn. Bezien we echter de tabel zelf eens.

De beide uiterste lijnen van de hoofddiagonaal worden door de sommenregel alleen reeds bepaald. De theoretische intensiteit van $f_1 - \bar{d}_0$ is 35 en die van $f_5 - \bar{d}_4$ is 275.

De gemeten waarden waren echter 68 en 116. Wanneer we nu eens voor een oogenblik onderstellen dat de door de sommenregel bepaalde waarden goed zijn, dan zien wij dat de zwakste lijn veel te sterk en de sterkste veel te zwak gevonden wordt.

Dat wil dus zeggen, het geheele multiplet was veel te sterk ten

opzichte van de sterkste lijn, m. a. w. het contrast der intensiteiten te gering.

Hieruit concludeerden wij de mogelijkheid, dat zelfabsorbtie één van de oorzaken zou kunnen zijn van de niet met de theorie overeenstemmende verhoudingen in het multiplet. Immers volgens KIRCHHOFF heeft de lijn die de sterkste emissie heeft, ook de sterkste absorbtie, daardoor verminderen de contrasten bij groote dampdichtheid en groote weglengte van het licht in de emitterende damp.

De oplossing der moeilijkheid moest dus gezocht worden in een opname met lagere stroomsterkte, daar dan toch de absorbtie geringer is. Daarom werd nu een opname gedaan bij 1,4 Amp. Het resultaat wordt weergegeven door tabel II.

TABEL II.

| \bar{f} \bar{d} | | | | | | 1,4 Amp. | | |
|---------------------|-----|-----|-------|-----|-------|----------|--------|------|
| | j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. |
| 1 | 42 | 45 | 9,6 | | | | 96,6 | 75 |
| 2 | | 65 | 66 | 11 | | | 142 | 125 |
| 3 | | | 115 | 70 | 7,7 | | 192,7 | 175 |
| 4 | | | | 166 | 58 | | 224 | 225 |
| 5 | | | | | 221 | | 221 | 275 |
| waarn. | 42 | 110 | 190,6 | 247 | 286,7 | | | |
| ber. | 35 | 105 | 175 | 245 | 315 | | | |

Het resultaat is, zooals men gemakkelijk ziet, nog niet zoo, dat men er de juistheid van de sommenregel uit mag besluiten. Wel echter gaf het een zeer sterke aanwijzing dat wij hoogst waar-

schijnlijk in de zelfabsorbtie van de lichtboog de oorzaak moesten zoeken van de sterke afwijking die tabellen I en II vertoonden. De weg was nu gewezen, de stroomsterkte diende nog kleiner genomen te worden. Er werd dan ook een opname gemaakt bij 0,45 Amp. De waarnemingen vinden we in tabel III.

TABEL III.

| $\bar{f} \bar{d}$ | | | | | | 0,45 Amp. | |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|----------------|--------------|-----------|------|
| j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. |
| 1 | 32,5 (35) | 41,5 (35) | 5,1 (5) | | | 79,1 | 75 |
| 2 | | 63 (70) | 60 (50) | 6,5 (5) | | 129,5 | 125 |
| 3 | | | 108 (120) | 70 (52,5) | 3 (2,5) | 181 | 175 |
| 4 | | | | 172 (187,5) | 52 (37,5) | 224 | 225 |
| 5 | | | | | 261 (275) | 261 | 275 |
| waarn. | 32,5 | 104,5 | 173,1 | 248,5 | 316 | | |
| ber. | 35 | 105 | 175 | 245 | 315 | | |

Bij deze stroomsterkte krijgen wij een uitkomst die binnen de grens van de meetfouten een mooie overeenstemming met de sommenregel geeft. Duidelijk zien wij hier hoe in de diagonaal de intensiteit steeds toeneemt tot het maximum rechts beneden.

In de tweede rij (satellieten v. d. 1^{ste} orde) ligt een maximum in het midden, wat met het correspondentie principe in overeenstemming is.

De derde rij bevat de satellieten van de 2^e orde, dus de zwaksten. De verhoudingen zijn nog niet geheel juist, maar het resultaat is toch reeds zoodanig, dat wij mogen aannemen dat wij bij deze stroomsterkte de ware intensiteitsverhouding beginnen te benaderen. Opvallend was nog dat de intensiteit van lijn $\bar{f}_1 - \bar{d}_0$ zwakker is als van lijn $\bar{f}_1 - \bar{d}_1$, hoewel de eerste in de hoofddiagonaal staat. Het volgende door ons onderzochte multiplet gaf hier echter een aanwijzing. Dit was een $f-d$ multiplet. Dit gaf de overeenkomstige lijnen als even sterk. Daarom werd nog eens een controle opname gedaan voor deze beide lijnen bij 0,35 Amp. en nu kregen wij ze ook voor het eerst beschouwde multiplet van gelijke intensiteit, terwijl ook de eerste som geheel in overeenstemming met de sommenregel verkregen werd. (Gemiddelde fout 3%). Het multiplet brengt dus de bevestiging van de sommenregel.

Maar zooals reeds eerder werd gezegd, hebben SOMMERFELD en HÖNL en onafhankelijk van deze beide ook KRONIG en RUSSELL een stel aanvullende vergelijkingen opgesteld voor de sommenregel. Hier moeten we dus toetsen de vergelijkingen van blz. 10 voor $\Delta k = 1$. Nu is de toetsing van zoo'n formule natuurlijk het scherpst voor de zwakke lijnen, daar hier een verschil in uitkomst van bijvoorbeeld een eenheid veel zwaarder weegt als bij een sterke lijn.

Nu moeten volgens de formules deze lijnen $\bar{f}_2 - \bar{d}_3$ en $\bar{f}_1 - \bar{d}_2$ gelijke intensiteit bezitten.

In dit multiplet doet zich de gelukkige omstandigheid voor, dat deze lijnen betrekkelijk dicht bij elkaar liggen, zoodat verschil in plaatgevoeligheid hier geen rol speelt, maar toch zoover van elkaar dat ze volkomen gescheiden zijn. Gelijkheid van lijnen zou dus hier experimenteel zeer scherp te constateeren geweest zijn. Wij hebben bij onze metingen deze twee lijnen nooit gelijk gevonden. Steeds kregen we eenzelfde verhouding met gemiddelde waarde 100:82,5 (± 4), waarbij dus steeds $\bar{f}_2 - \bar{d}_3$ de sterkste van de twee lijnen was.

Vele afzonderlijke opnamen zijn van deze lijnen genomen, onder andere in verschillende orden en bij verschillende stroomsterkten, om na te gaan of superpositie van geesten de eene lijn soms te sterk maakte, maar steeds gaf de meting de twee lijnen als on-

gelijk. Er was nog een mogelijkheid, nl. dat het gebruikte ijzer verontreinigd zou zijn met elementen die lijnen geven vlak in de buurt van deze beide lijnen, zooals dit bijvoorbeeld voor *Mo* en *Mn* het geval is. Daarom is toen nog eens een afzonderlijke opname van deze lijnen met zeer zuiver electrolytisch ijzer van MERCK gedaan.

Maar ook nu kregen we weer de intensiteitsverhouding 100 : 80, een uitkomst die dus binnen de meetfouten geheel overeenstemt met de gemiddelde uitkomst der vorige metingen, zoodat nu wel aangenomen mag worden dat deze lijnen niet gelijk zijn. Maar dan zijn de bovengenoemde formules ook niet juist en geven zij slechts een benadering van de werkelijke intensiteitsverhouding.

Het volgende multiplet dat we behandelen is een $f - d$ multiplet en omvat de lijnen

| λ | | λ | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 5569,631 | $f_2 - d_1$ | 5624,563 | $f_2 - d_2$ |
| 5572,857 | $f_3 - d_2$ | 5658,542 | $f_1 - d_2$ |
| 5576,106 | $f_1 - d_0$ | 5658,836 | $f_3 - d_3$ |
| 5586,772 | $f_4 - d_3$ | 5709,395 | $f_4 - d_4$ |
| 5602,965 | $f_1 - d_1$ | 5712,150 | $f_2 - d_3$ |
| 5615,663 | $f_5 - d_4$ | 5784,69 | $f_3 - d_4$ |

Dit multiplet is gekozen als contrôle op het eerste, want was het eerste een $f - d$, dit was een $f - d$, dus de inwendige quantengetallen zijn gelijk. We kregen dus een zelfde schema en tevens moest hier dus ook de sommenregel doorgaan. Dit multiplet had het voordeel dat het niet, als het vorige, het grondniveau tot onderste niveau heeft. Een groot nadeel was echter dat de lijnen $f_1 - d_2$ en $f_3 - d_3$ zóó vlak bij elkaar lagen dat het rooster ze niet scheiden kon, terwijl de lijn $f_1 - d_2$ juist één van de criteriumlijnen was voor de sommenregel aanvullende formules. Van de beide andere zwakste lijnen kon alleen $f_2 - d_3$ gemeten worden. De lijn $f_3 - d_4$ stond zoover in het geel dat we hem nooit op een plaat hebben kunnen krijgen, hoewel we één keer zelfs 84 uur belicht hebben.

Het multiplet kon door ons in de derde orde niet in zijn geheel opgenomen worden, omdat het gedeeltelijk buiten het gebied lag wat de spectrograaf nog gaf van de derde orde. Het gedeelte

van het multiplet dat met de spectrograaf echter nog in de derde orde kon worden gefotografeerd is opgenomen en doorgerekend omdat het een mooie contrôle gaf voor de metingen in de tweede orde.

Wij hebben door de ondervinding opgedaan bij het vorige multiplet, steeds de werkwijze gevolgd van eerst een opname bij vrij groote stroomsterkte te nemen. Daarna een volgende bij kleinere stroomsterkte enz. om te zien of we in de limiet de uitkomsten krijgen die met de sommenregel overeenstemmen.

We hebben, zooals reeds gezegd is, bij deze tabellen niet de beschikking gehad over de volle som der 12 lijnen, daar vaak één of twee ontbraken. Dit waren echter de zwaksten, en daarom hebben we dan, om toch 't geheel op de som te kunnen omrekenen, voor de ontbrekende zwakke lijnen in evenredigheid van de waarden in het vorige multiplet, waarden ingevuld. Daar het toch maar zwakke lijnen zijn, maakt één eenheid verschil weinig uit op de totale som. Waar echter de intensiteit van $f_1 - d_2$ gesommeerd was met die van $f_3 - d_3$ is de intensiteit van deze laatste steeds verminderd met die waarde die we voor $f_1 - d_2$ ingevuld hebben.

Het resultaat van deze metingen vinden we in de hieronder volgende tabellen IV, V en VI.

| $f-d$ | | TABEL IV. | | | | | 2,5 Amp. | |
|--------|----|-----------|-------|-------|-------|--------|----------|--|
| j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. | |
| 1 | 62 | 57,5 | 3,8 | | | 123,3 | 75 | |
| 2 | | 86 | 69 | 5,1 | | 160,1 | 125 | |
| 3 | | | 127 | 61 | 2,3 | 190,3 | 175 | |
| 4 | | | | 172 | 20 | 192 | 225 | |
| 5 | | | | | 210 | 210 | 275 | |
| waarn. | 62 | 143,5 | 199,8 | 238,1 | 232,3 | | | |
| ber. | 35 | 105 | 175 | 245 | 315 | | | |

TABEL V.

| $f-d$ | | | | | | 1,2 Amp. | |
|--------|------|-------|-------|-------|-------|----------|------|
| j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. |
| 1 | 42,5 | 37,7 | 4,7 | | | 84,9 | 75 |
| 2 | | 64,5 | 48 | 5,6 | | 118,1 | 125 |
| 3 | | | 127 | 47,5 | 2,6 | 177,1 | 175 |
| 4 | | | | 198 | 24 | 222 | 225 |
| 5 | | | | | 277 | 277 | 275 |
| waarn. | 42,5 | 102,2 | 179,7 | 251,1 | 303,6 | | |
| ber. | 35 | 105 | 175 | 245 | 315 | | |

TABEL VI.

| $f-d$ | | | | | | 1,0 Amp. | |
|--------|------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------|------|
| j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. |
| 1 | 36 (35) | 35,5 (35) | 6,1 (3) | | | 77,6 | 75 |
| 2 | | 68 (70) | 46,8 (50) | 8,3 (5) | | 123,1 | 125 |
| 3 | | | 130 (120) | 39,6 (52,5) | 4,7 (2,5) | 174,3 | 175 |
| 4 | | | | 205 (187,5) | 24,5 (37,5) | 229,5 | 225 |
| 5 | | | | | 280 (275) | 280 | 275 |
| waarn. | 36 | 103,5 | 182,9 | 252,9 | 309,2 | | |
| ber. | 35 | 105 | 175 | 245 | 315 | | |

Wij zien hier bij 1 Amp. weer een fraaie overeenstemming met de sommenregel. Het was ook de overeenstemming in Tabel VI van de lijnen $f_1 - d_0$ en $f_1 - d_1$ (resp. 36 en 35,5) die aanleiding gaven de meting van de beide overeenkomstige lijnen in het multiplet $f - d$ nog eens over te doen bij 0,35 Amp. en toen ook tot uitkomst gaven dat ze beiden gelijk waren. Een toetsing van de aanvullende regels mag hier natuurlijk niet op de satellieten van de 2^a orde ondernomen worden, daar die hier naar analogie van Tabel III geinterpoleerd zijn wat betreft de lijnen $f_1 - d_2$ en $f_3 - d_4$.

Waar bij beide multiplets de sommenregel zeer goed blijkt op te gaan, zien we dat onderling nog sterke afwijkingen voorkomen tusschen de Tabellen III en VI (bijv. de lijnen $f_4 - d_4$ en $f_4 - d_4$).

Het volgende multiplet was een $\bar{d} - d$. Het omvat de lijnen

| λ | | | |
|-----------|-------------------|----------|-------------------|
| 5208,610 | $\bar{d}_3 - d_2$ | 5273,178 | $\bar{d}_0 - d_1$ |
| 5215,195 | $\bar{d}_2 - d_1$ | 5283,634 | $\bar{d}_3 - d_3$ |
| 5217,405 | $\bar{d}_4 - d_3$ | 5302,315 | $\bar{d}_1 - d_2$ |
| 5229,84 | $\bar{d}_1 - d_0$ | 5324,196 | $\bar{d}_4 - d_4$ |
| 5253,479 | $\bar{d}_1 - d_1$ | 5339,949 | $\bar{d}_2 - d_3$ |
| 5263,321 | $\bar{d}_2 - d_2$ | 5393,185 | $\bar{d}_3 - d_4$ |

Dit was gekozen om ook eens een type $\Delta k = 0$ te onderzoeken.

Het was schijnbaar een mooi gelegen multiplet in 't groen blauwe deel van het spectrum, dus waar de plaat vrij gevoelig is. Het komt overeen met de lijn $G C$ uit fig. 2. Bij de opnamen bleek het echter een buitengewoon zwak multiplet te zijn, te midden van sterke lijnen. Bij een stroomsterkte van 2 Amp. moesten we 8 uur belichten om een behoorlijk gezwarte plaat te krijgen. Het gevolg was dat er natuurlijk een zeer sterke, bovendien zeer onregelmatig verloopende continue ondergrond aanwezig was, waar voor dus een groote correctie aangebracht moest worden. Hieronder geven wij de uitkomst van de eerste meting.

TABEL VII.

| $\bar{d} \ d$ | | | | | | 2 Amp. | |
|---------------|------|------|-------------------|-------|-------|--------|------|
| j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. |
| 0 | | 12,5 | | | | 12,5 | 15 |
| 1 | 22,5 | 14 | 39,5 | | | 76 | 75 |
| 2 | | 24,2 | 22 | 50,4 | | 96,6 | 125 |
| 3 | | | 106 ¹⁾ | 92 | 30,6 | 228,6 | 175 |
| 4 | | | | 19,8 | 192 | 211,8 | 225 |
| waarn. | 22,5 | 50,7 | 167,5 | 162,2 | 222,6 | | |
| ber. | 25 | 75 | 125 | 175 | 225 | | |

Waar de belichtingstijden zoo lang waren werd besloten een tweede opname bij iets minder stroomsterkte te nemen n.l. bij 1,7 Amp.

Het resultaat van de tweede meting wordt gegeven door de volgende Tabel.

¹⁾ Over de lijn $\bar{d}_3 - d_2$ valt een sterke lijn van Cr. De tweede meting geschiedde met chroomvrij ijzer.

TABEL VIII.

| $\bar{d} - d$ | | | | | | 1,7 Amp. | |
|---------------|------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|----------|------|
| j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. |
| 0 | | 25,5 (25) | | | | 25,5 | 25 |
| 1 | 26 (25) | 7,5 (6,25) | 44,5 (43,75) | | | 78 | 75 |
| 2 | | 32 (43,75) | 25 (31,25) | 563 (50) | | 113,3 | 125 |
| 3 | | | 34 (50) | 88 (87,5) | 54,5 (37,5) | 176,5 | 175 |
| 4 | | | | 25,5 (37,5) | 205 (187,5) | 230,5 | 225 |
| waarn. | 26 | 65 | 103,5 | 169,8 | 259,5 | | |
| ber. | 25 | 75 | 125 | 175 | 225 | | |

De waarneming is, gelijk men ziet bij lager stroomsterkte gedaan, en wederom is de overeenstemming met de sommenregel beter, ook indien men de lijn $\bar{d}_3 - d_3$ in tabel VII vervangt door een plausible waarde (bijv. 34). Opvallend is de assymetrie in de nevendagonalen, die in beide metingen op den voorgrond treedt.

Waar nog een multiplet aanwezig was met het d niveau als aanvangsniveau, maar dat te gelijktijd afweek van de vorige, daar dit een $p - d$ overgang was, werd dit ook doorgemeten. Als $p - d$ combinatie telt het maar 9 lijnen. Het komt overeen met lijn GE van fig. 2.

Het omvat de volgende lijnen:

| λ | | λ | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|
| 6411,674 | $p_2 - d_3$ | 6301,524 | $p_2 - d_2$ |
| 6408,044 | $p_1 - d_2$ | 6246,344 | $p_3 - d_3$ |
| 6400,021 | $p_3 - d_4$ | 6232,667 | $p_2 - d_1$ |
| 6336,844 | $p_1 - d_1$ | 6141,73 | $p_2 - d_2$ |
| 6302,512 | $p_1 - d_0$ | | |

Dit multiplet ligt in het rood. Nu deed zich hier de moeilijkheid voor dat de standaardlamp maar geijkt was tot $\lambda = 6200$. Daar we toch, gezien het groote verschil in golflengte van de uiterste lijnen van het multiplet een correctie voor de plaatgevoeligheid aan moesten brengen, moesten we overgaan tot extrapolatie van de standaardlampkromme.

Nu geldt voor het absoluut zwarte lichaam

$$I_\lambda = \frac{A \lambda^{-5}}{e^{\frac{hc}{k\lambda t}} - 1}$$

Voor groote waarden van de exponent van e kan men de 1 in den noemer verwaarloozen, dan kunnen we dus schrijven

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

Onderzocht moest nu worden of de standaardlampkromme bij benadering aan een vergelijking van dit type voldeed.

Daarvoor werd genomen

$$\log I_\lambda = \log A - 5 \log \lambda - \frac{hc}{kt} \cdot \frac{1}{\lambda} \text{ of}$$

$$\log I_\lambda + 5 \log \lambda = -\frac{hc}{kt} \cdot \frac{1}{\lambda} + \log A$$

Dit is een lineaire vergelijking in $\log I_\lambda + 5 \log \lambda$ en $\frac{1}{\lambda}$

Bij een bepaalde λ was de I_λ gegeven door de bekende standaardlampkromme. Wanneer dus de standaardlampkromme aan bovengenoemde stralingsformule zou voldoen, moesten de waarden van $\log I_\lambda + 5 \log \lambda$ en $\frac{1}{\lambda}$ respectievelijk uitgezet als ordinaten en abscissen, punten bepalen die op een rechte lijn lagen. Dit bleek werkelijk vrij exact het geval te zijn. Wij hebben toen ondersteld

dat de standaardlampkromme ook in het niet geijkte gebied aan bovengenoemde stralingsformule zou voldoen, m. a. w. we hebben de rechte in dat gebied geextrapoteerd, en daaruit de bij verschillende golflengte's behorende energiën bepaald. Daar de standaardlamp slechts voor correcties gebruikt wordt, laat zich een eventueele afwijking slechts in geringe mate voelen.

Het gebied waar dit multiplet in lag is niet zeer lijnenrijk. Het spectrum heeft daar echter een zeer sterke continue ondergrond, die echter zeer gelijkmatig verloopt, dus weinig moeilijkheden bij de correctie geeft. Het resultaat was direct zeer goed zooals onderstaande tabel IX direct te zien geeft.

TABEL IX.

| $p - d$ | | | | | | 2 Amp. | |
|---------|----|------|------|-------|-----|--------|------|
| j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. |
| 1 | 16 | 32,8 | 23,5 | | | 72,3 | 75 |
| 2 | | 13,9 | 43,5 | 60 | | 117 | 125 |
| 3 | | | 8,7 | 42,5 | 135 | 186,2 | 175 |
| waarn. | 16 | 46,7 | 75,7 | 102,5 | 135 | | |
| ber. | 15 | 45 | 75 | 105 | 135 | | |

Voor contrôle is echter nog een opname genomen van dit multiplet bij 1,5 Amp. Dit gaf de volgende uitkomst.

TABEL X.

| $p - d$ | | | | | | 1,5 Amp. | |
|---------|------------|-----------------|-----------------|------------|--------------|----------|------|
| j | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | waarn. | ber. |
| 1 | 17 (15) | 32,6 (33,75) | 22,4 (26,25) | | | 72 | 75 |
| 2 | | 13 (11,25) | 45 (43,75) | 60 (70) | | 118 | 125 |
| 3 | | | 10,4 (5) | 44 (35) | 131 (135) | 185,4 | 175 |
| waarn. | 17 | 45,6 | 77,8 | 104 | 131 | | |
| ber. | 15 | 45 | 75 | 105 | 135 | | |

Het nu volgende multiplet is een $\bar{f} - f$ (lijn FB Fig 2). Dit is de combinatie die 13 lijnen bevat. Het omvat de volgende lijnen

| λ | | | |
|-----------|-------------------|----------|-------------------|
| 3687,458 | $\bar{f}_5 - f_4$ | 3763,792 | $\bar{f}_2 - f_2$ |
| 3709,250 | $\bar{f}_4 - f_3$ | 3767,194 | $\bar{f}_1 - f_1$ |
| 3727,622 | $\bar{f}_3 - f_2$ | 3787,880 | $\bar{f}_1 - f_2$ |
| 3734,869 | $\bar{f}_5 - f_5$ | 3795,004 | $\bar{f}_2 - f_3$ |
| 3743,356 | $\bar{f}_2 - f_1$ | 3798,512 | $\bar{f}_4 - f_5$ |
| 3749,487 | $\bar{f}_4 - f_4$ | 3799,548 | $\bar{f}_3 - f_4$ |
| 3758,234 | $\bar{f}_3 - f_3$ | | |

Dit multiplet ligt in 't ultraviolet. Ook voor dit gebied moest de standaardlampkromme geextrapoleerd worden. Voor dit en ook voor het volgende multiplet is het ons niet gelukt zoover tot de limiet te komen dat de intensiteiten aan de sommenregel beantwoordden, zooals de volgende uitkomsten der waarnemingen aantoonen.

TABEL XI.

| $\bar{f} - f$ | | | | | | | 1,5 Amp. | |
|---------------|-------|-------|-----|-----|-----|--------|----------|--|
| j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | waarn. | ber. | |
| 1 | 107,5 | 91 | | | | 198,5 | 105 | |
| 2 | 83 | 112 | 96 | | | 291 | 175 | |
| 3 | | 83,5 | 118 | 81 | | 282,5 | 245 | |
| 4 | | | 70 | 119 | 77 | 266 | 315 | |
| 5 | | | | 61 | 128 | 189 | 385 | |
| waarn. | 190,5 | 286,5 | 284 | 261 | 205 | | | |
| ber. | 105 | 175 | 245 | 315 | 385 | | | |

TABEL XII.

| $f - \bar{f}$ | | | | | | | 0,9 Amp. | |
|---------------|-----|-------|-----|-------|-----|--------|----------|--|
| j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | waarn. | ber. | |
| 1 | 107 | 48 | | | | 155 | 105 | |
| 2 | 68 | 125 | 69 | | | 262 | 175 | |
| 3 | | 78,5 | 136 | 62,5 | | 277 | 245 | |
| 4 | | | 92 | 148 | 41 | 281 | 315 | |
| 5 | | | | 65 | 185 | 250 | 385 | |
| waarn. | 175 | 251,5 | 297 | 275,5 | 226 | | | |
| ber. | 105 | 175 | 245 | 315 | 385 | | | |

$\bar{f} - f$

TABEL XIII.

0,54 Amp.

| j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | waarn. | ber. |
|--------|-----|-----|-----|-------|-------|--------|------|
| 1 | 107 | 40 | | | | 147 | 105 |
| 2 | 61 | 131 | 47 | | | 239 | 175 |
| 3 | | 79 | 163 | 43,5 | | 285,5 | 245 |
| 4 | | | 79 | 187 | 29,5 | 295,5 | 315 |
| 5 | | | | 48 | 213 | 261 | 385 |
| waarn. | 168 | 250 | 289 | 278,5 | 242,5 | | |
| ber. | 105 | 175 | 245 | 315 | 385 | | |

 $\bar{f} - f$

TABEL XIV.

0,3 Amp.

| j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | waarn. | ber. |
|--------|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|------|
| 1 | 90 (70) | 25,5 (35) | | | | 115,5 | 105 |
| 2 | 41 (35) | 133 (88,5) | 35 (52,5) | | | 209 | 175 |
| 3 | | 55,5 (52,5) | 190 (137,8) | 32,5 (54,7) | | 278 | 245 |
| 4 | | | 54 (54,7) | 233 (221,8) | 25,6 (38,5) | 312,6 | 315 |
| 5 | | | | 46 (38,5) | 256 (346,5) | 302 | 385 |
| waarn. | 131 | 214 | 279 | 311,5 | 281,6 | | |
| ber. | 105 | 175 | 245 | 315 | 385 | | |

Lager dan 0,3 Amp. konden wij met den boog niet gaan. Uit de tabellen is wel duidelijk te zien dat de sommen in de richting verlopen die de sommenregel eischt, maar gelijk wij reeds opmerkten wordt de limiet niet bereikt. Zeer opmerkelijk is de assymmetrie in het laatste schema die met de ook bij de $\bar{d} - d$ gevondene overeenkomt. De sommenregel en de aanvullende regels eischen symmetrie. Terwijl nu met het dalen der stroomsterkte wel steeds beter aan de sommenregel wordt voldaan, wordt de assymmetrie steeds grooter. De in het eerste schema tamelijk wel aanwezige symmetrie is in het laatste geheel afwezig. Zelfabsorbctie kan hiervan de oorzaak niet zijn. Dit feit komt bij het $\bar{d} - d$ multiplet ook voor. Het maakt den indruk van reëel te zijn.

Daarna hebben we het nog eens geprobeerd met een vonk. Het resultaat vindt men in de onderstaande Tabel.

TABEL XV.

| $\bar{d} - d$ | | | | | | Vonk. | |
|---------------|-----|-----|------|------|-------|--------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | waarn. | ber. |
| 1 | 91 | 43 | | | | 134 | 105 |
| 2 | 45 | 120 | 57,5 | | | 222,5 | 175 |
| 3 | | 60 | 180 | 57,5 | | 297,5 | 245 |
| 4 | | | 46,5 | 220 | 33,5 | 300 | 315 |
| 5 | | | | 28,5 | 240 | 268,5 | 385 |
| waarn. | 136 | 223 | 284 | 306 | 273,5 | | |
| ber. | 105 | 175 | 245 | 315 | 385 | | |

Dit resultaat is niet beter als wat met den boog bereikt werd.

Een tweede opname bij kleinere energie gaf nog slechtere uitkomsten, zooals hieronder blijkt.

TABEL XVI.

| $\bar{d} - d$ | | | | | | Vonk | |
|---------------|-----|-------|-----|-----|-----|--------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | waarn. | ber. |
| 1 | 112 | 57 | | | | 169 | 105 |
| 2 | 67 | 132 | 70 | | | 269 | 175 |
| 3 | | 87,5 | 140 | 65 | | 282,5 | 245 |
| 4 | | | 79 | 145 | 41 | 265 | 315 |
| 5 | | | | 59 | 179 | 238 | 385 |
| waarn. | 179 | 276,5 | 289 | 269 | 220 | | |
| ber. | 105 | 175 | 245 | 269 | 285 | | |

Onze hulpmiddelen lieten ons hier in den steek om nog tot betere benadering van den sommenregel te komen.

Het zelfde valt op te merken van het multiplet $d - f$ (lijn DA , Fig. 2) dat in dezelfde omgeving ligt. Wij geven van dit multiplet twee tabellen.

Het omvat de lijnen

| | | | |
|-----------|-------------|-----------|-------------|
| λ | | λ | |
| 3649,308 | $d_1 - f_3$ | 3722,565 | $d_2 - f_2$ |
| 3679,915 | $d_4 - f_4$ | 3733,319 | $d_1 - f_1$ |
| 3683,056 | $d_3 - f_2$ | 3737,135 | $d_3 - f_4$ |
| 3705,567 | $d_3 - f_3$ | 3745,563 | $d_2 - f_3$ |
| 3707,828 | $d_2 - f_1$ | 3745,900 | $d_0 - f_1$ |
| 3719,938 | $d_4 - f_5$ | 3748,264 | $d_1 - f_2$ |

$d - f$ TABEL XVII. 1,5 Amp.

| j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | waarn. | ber. |
|--------|-------|-----|-------|-----|-----|--------|------|
| 0 | 68 | | | | | 68 | 35 |
| 1 | 62 | 68 | | | | 130 | 105 |
| 2 | 43,5 | 56 | 82 | | | 181,5 | 175 |
| 3 | | 16 | 48,5 | 88 | | 152,5 | 245 |
| 4 | | | 20,5 | 38 | 87 | 145,5 | 315 |
| waarn. | 173,5 | 140 | 151,0 | 126 | 87 | | |
| ber. | 75 | 125 | 175 | 225 | 275 | | |

$d - f$ TABEL XIX. 0,54 Amp.

| j | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | waarn. | ber. |
|--------|-----|-------|-------|-----|-----|--------|------|
| 0 | 89 | | | | | 89 | 35 |
| 1 | 67 | 76 | | | | 140 | 105 |
| 2 | 14 | 67 | 96 | | | 177 | 175 |
| 3 | | 55 | 54 | 98 | | 157,5 | 245 |
| 4 | | | 10,5 | 33 | 95 | 138,5 | 315 |
| waarn. | 170 | 148,5 | 160,5 | 131 | 95 | | |
| ber. | 75 | 125 | 175 | 225 | 375 | | |

De uitkomsten van deze metingen zijn zeer slecht in overeenstemming met de berekende. Waar echter hier het eindniveau het grondniveau van het ijzerspectrum is, is hier zooveel absorbtie, dat het resultaat niet beter te verwachten was.

Letten wij op het schema van fig. 2, dan zien wij dat de door GD , GC en GE voorgestelde spectraallijnen $f-d$, $\bar{d}-d$ en $p-d$ een gemeenschappelijk beginniveau hebben. In dat geval is het te verwachten dat de intensiteiten der betreffende lijnen een van de omstandigheden onafhankelijke verhouding hebben; afgezien van de absorbtie door de atomen die zich in de toestanden D , C , E bevinden. Daar deze absorbtie in dat geval gering is, scheen het ons de moeite waard de verhouding der multipeltes te vergelijken, deze verhouding toch zal karakteristiek voor het ijzeratoom zijn. De verhouding der lijnen in elk multiplet is karakteristiek bekend, daarom hebben wij de som der intensiteiten voor elk multiplet genomen en deze drie sommen vergeleken. Experimenteel is de som verkregen door in het spectrum van de eerste orde daarvoor geschikte lijnen en met elkaar te vergelijken en gebruik makend van de boven bepaalde verhoudingen binnen het multiplet is dus de verhouding der sommen berekend.

Hiervoor wordt gevonden

$$I_{f-d} : I_{\bar{d}-d} : I_{p-d} = 3 : 3 : 1.$$

Uit het correspondentie principe zou men kunnen verwachten dat de overgang $p-d$ sterker is dan $f-d$ daar bij de eerste k daalt en bij de tweede deze grootheid toeneemt.

Een mogelijke verklaring voor het feit dat $I_{fd} > I_{pd}$ is, zou kunnen zijn dat het niveau E een grooter totaal quantengetal dan het niveau D heeft.

Tabel der relatieve intensiteiten van $\lambda = 6411 - \lambda = 6136$.

Stroomsterkte 2 Amp.

| B O O G. | | | | | |
|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|
| Golflengte. | Notatie. | Intensiteit. | Golflengte. | Notatie. | Intensiteit. |
| 6411,67 | $p_2 - d_3$ | 44,5 | 6254,26 | | 14 |
| 08,04 | $p_1 - d_2$ | 17,5 | 52,56 | | 57,5 |
| 00,02 | $p_3 - d_4$ | 100 | 46,34 | $p_3 - d_3$ | 31,5 |
| 6393,61 | | 82,5 | 40,65 | | 6,5 |
| 80,75 | | 3,5 | 32,67 | $p_2 - d_1$ | 10,5 |
| 53,68 | | 7 | 30,73 | | 90 |
| 55,04 | | 6,5 | 19,29 | | 20 |
| 44,16 | | 4,5 | 15,15 | | 1,5 |
| 36,84 | $p_1 - d_1$ | 24 | 13,44 | | 10 |
| 35,34 | | 29 | 00,32 | | 7 |
| 22,70 | | 8,5 | 6191,57 | | 74 |
| 18,03 | | 29 | 88,04 | | 5 |
| 15,81 | | 5,5 | 80,22 | | 7 |
| 15,32 | | 7,5 | 73,35 | | 6 |
| 02,51 | $p_1 - d_0$ | 12 | 70,5 | | 7 |
| 01,52 | $p_2 - d_2$ | 32 | 65,37 | | 4 |
| 6297,80 | | 10 | 57,73 | | 6 |
| 90,97 | | 4 | 51,63 | | 1,5 |
| 80,62 | | 6,5 | 47,84 | | 1,5 |
| 70,23 | | 3,5 | 41,73 | $p_3 - d_2$ | 6,5 |
| 65,14 | | 14 | 37,70 | | 78 |
| 56,37 | | 9 | 36,62 | | 100 |

Tabel der relatieve intensiteiten van $\lambda = 5506 - \lambda = 5208$.

Stroomsterkte 2 Amp.

B O O G.

| Golflengte. | Notatie. | Intensiteit. | Golflengte. | Notatie. | Intensiteit. |
|-------------|-------------------------|--------------|-------------|-------------------------|--------------|
| 5506,78 | $\bar{f}_2 - \bar{d}_3$ | 5 | 5341,03 | | 4,7 |
| 01,47 | $\bar{f}_3 - \bar{d}_4$ | 3,5 | 39,95 | $\bar{d}_2 - d_3$ | 2,57 |
| 5497,52 | $\bar{f}_1 - \bar{d}_2$ | 4 | 32,90 | | 1,27 |
| 55,62 | $\bar{f}_1 - \bar{d}_1$ | 20,5 | 30,00 | | 1,02 |
| 46,92 | $\bar{f}_2 - \bar{d}_2$ | 29,5 | 28,54 | | 15,7 |
| 45,04 | | 3 | 28,04 | $\bar{f}_4 - \bar{d}_3$ | 75,3 |
| 34,53 | $\bar{f}_1 - \bar{d}_0$ | 19 | 24,19 | $\bar{d}_4 - d_4$ | 9,42 |
| 29,70 | $\bar{f}_3 - \bar{d}_3$ | 32 | 02,31 | $\bar{d}_1 - d_2$ | 2,07 |
| 24,39 | | 5,5 | 83,64 | $\bar{d}_3 - d_3$ | 4,05 |
| 15,42 | | 4 | 81,62 | | 3,06 |
| 11,12 | | 2,5 | 73,19 | $\bar{d}_0 - d_1$ | 1,18 |
| 05,78 | $\bar{f}_2 - \bar{d}_1$ | 29,5 | 70,35 | | 10,8 |
| 5397,34 | $\bar{f}_4 - \bar{d}_4$ | 26 | 69,54 | $\bar{f}_5 - \bar{d}_4$ | 100 |
| 93,18 | $\bar{d}_3 - d$ | 2,5 | 66,57 | | 6,1 |
| 89,68 | | 0,33 | 63,32 | $\bar{d}_2 - d_2$ | 1,13 |
| 83,58 | | 6,3 | 53,48 | $\bar{d}_1 - d_1$ | 0,33 |
| 73,72 | | 1,6 | 50,64 | | 0,66 |
| 71,49 | $\bar{f}_3 - \bar{d}_2$ | 52 | 35,39 | | 0,28 |
| 69,96 | | 3,35 | 32,95 | | 15,5 |
| 67,46 | | 2,45 | 29,84 | $\bar{d}_1 - d_0$ | 1,08 |
| 65,43 | | 0,47 | 26,87 | | 17,5 |
| 64,89 | | 2,08 | 17,40 | $\bar{d}_4 - d_1$ | 1,08 |
| 62,76 | | 0,19 | 13,59 | | 2,3 |
| 53,39 | | 0,19 | 15,19 | $\bar{d}_2 - d_1$ | 1,5 |
| 43,44 | | 0,14 | 08,62 | $\bar{d}_3 - d_2$ | 1,55 |

Tabel der relatieve intensiteiten (van $\lambda = 3680$ — $\lambda = 3800$).

| Golflengte. | Notatie. | INTENSITEIT. | | |
|-------------|-------------|--------------|-----------|-------|
| | | 1,5 Amp. | 0,54 Amp. | Vonk. |
| 3679,92 | $d_4 - f_4$ | 30,5 | 24 | 21 |
| 80,78 | | 1 | | |
| 82,23 | | 6 | | |
| 83,06 | $d_3 - f_2$ | 13 | 4 | 11,5 |
| 84,11 | | 7 | 2 | 9 |
| 85,99 | | 7 | 2 | 7 |
| 87,46 | $f_5 - f_4$ | 47,5 | 22,5 | 33 |
| 89,45 | | 5 | | 7,5 |
| 90,45 | | 1,5 | | 4,5 |
| 94,01 | | 7,5 | | 9 |
| 95,04 | | 2,5 | | 5,5 |
| 97,43 | | 1,5 | | 3,5 |
| 3701,08 | | 9 | | 9 |
| 02,02 | | 1 | | 3 |
| 03,53 | | 3 | | 6 |
| 04,43 | | 4,5 | | 6 |
| 05,56 | $d_3 - f_3$ | 39 | 39 | 34 |
| 07,04 | | 4 | | |
| 07,83 | $d_2 - f_1$ | 35 | 10 | 19 |
| 09,25 | $f_4 - f_3$ | 55 | 37 | 44 |
| 11,21 | | 3 | 1,5 | 3 |
| 15,90 | | 2 | | |
| 16,44 | | 7 | 2 | 8,5 |
| 18,40 | | 4 | 2 | 8,5 |
| 19,93 | $d_4 - f_5$ | 70 | 69 | 74 |
| 21,53 | | 2,5 | 1 | 4,5 |
| 22,56 | $d_2 - f_2$ | 45 | 48 | 37 |
| 24,37 | | 9,5 | 3 | 8 |
| 26,05 | | 4 | 3,5 | 4,5 |

| Golflengte. | Notatie. | INTENSITEIT. | | |
|-------------|-------------------|--------------|-----------|-------|
| | | 1,5 Amp. | 0,54 Amp. | Vonk. |
| 3726,91 | | 6 | | 6,5 |
| 27,62 | $\bar{f}_3 - f_2$ | 65 | 37 | 49 |
| 30,38 | | 3 | | 2,5 |
| 31,37 | | 4 | 3,5 | 4 |
| 32,39 | | 15,5 | 2,5 | 10 |
| 33,32 | $d_1 - f_1$ | 50 | 48 | 39,5 |
| 34,87 | $\bar{f}_5 - f_5$ | 100 | 100 | 100 |
| 37,13 | $d_3 - f_4$ | 71 | 67,5 | 66 |
| 38,29 | | 8,5 | 4 | 15,5 |
| 42,61 | | 2,5 | | 1 |
| 43,36 | $\bar{f}_2 - f_1$ | 65 | 29 | 37,5 |
| 45,55 | $d_2 - f_3$ | 66 | 69 | 62 |
| 45,90 | $d_0 - f_1$ | 55 | 64 | 50 |
| 48,26 | $d_1 - f_2$ | 55 | 55 | 51,5 |
| 49,49 | $\bar{f}_4 - f_4$ | 92,5 | 88 | 81 |
| 51,08 | | 3,2 | 3,5 | 5 |
| 53,61 | | 8 | 1 | 4 |
| 54,48 | | 1,5 | 1 | 2 |
| 58,23 | $\bar{f}_3 - f_3$ | 92 | 76,5 | 78 |
| 60,04 | | 10 | | |
| 60,67 | | 4 | | |
| 62,20 | | 4 | 3 | 7 |
| 63,79 | $\bar{f}_2 - f_2$ | 87,5 | 61,5 | 74 |
| 65,54 | | 27 | 10 | 42 |
| 67,19 | $\bar{f}_1 - f_1$ | 84 | 50,5 | 62,5 |
| 69,79 | | 1,5 | 1 | 2 |
| 74,81 | | 1,5 | | |
| 76,44 | | 1,5 | | |
| 85,94 | | 1 | 1 | 0,5 |
| 86,66 | $\bar{f}_1 - P_0$ | 8 | | 0,5 |

| Golflengte. | Notatie. | INTENSITEIT. | | |
|-------------|-------------------|--------------|-----------|-------|
| | | 1,5 Amp. | 0,54 Amp. | Vonk. |
| 3787,88 | $\bar{f}_1 - f_2$ | 71 | 19 | 32 |
| 90,09 | $\bar{f}_2 - P_1$ | 22,5 | 2,5 | 7 |
| 91,50 | | 2,5 | | 2 |
| 93,47 | | 4 | 1 | 3 |
| 94,48 | | 4 | | 2 |
| 95,00 | $\bar{f}_2 - f_3$ | 75 | 22 | 39 |
| 96,61 | | 5,5 | 1 | 4 |
| 97,51 | | 10 | 1 | 14,5 |
| 98,51 | $\bar{f}_4 - f_5$ | 60 | 14 | 23 |
| 99,55 | $\bar{f}_3 - f_4$ | 63 | 20,5 | 36 |

Bezien we het totale resultaat van de metingen, dan is onze conclusie dat alles er op wijst dat de sommenregel, ook voor de meer samengestelde gevallen mits $\Delta k \neq 0$ doorgaat.

Voor de gevallen $\Delta k = 0$ geldt de sommenregel slechts bij benadering.

Als een belangrijk, met vrij groote zekerheid geconstateerd feit moeten wij wijzen op de assymetrie der $\bar{d} - d$ en $f - f$ multiplets. Deze assymetrie is in strijd met de sommenregel. Merkwaardig is dat aan de sommenregel beter schijnt te worden voldaan voor de sommen die betrekking hebben op een gemeenschappelijk eindniveau (horizontale rijen in de tabellen). Nadere overweging leert dat dit niet aan zelfabsorbtie kan worden toegeschreven.

Vergelijkt men echter de uitkomsten van de aanvullende formules met de metingen, dan blijken zij met de metingen niet in overeenstemming te zijn.

STELLINGEN.

STELLINGEN.

1.

De proeven van RUPP (Annalen der Physik 79, I, 1926) geven de gezochte cohaerentie lengte niet.

2.

De discussie die PENNING van zijn proeven geeft is onvoldoende. Physik. Zeitschr. 27, 187, 1926.

3.

Het HALL-effect is een kristaleigenschap.

4.

De blijvende vervorming en de elastische nawerking van polykristallijne lichamen is te verklaren uit de eigenschappen der elementaire kristallen.

5.

De thermozuil heeft overwegende voordeelen boven den bolometer.

6.

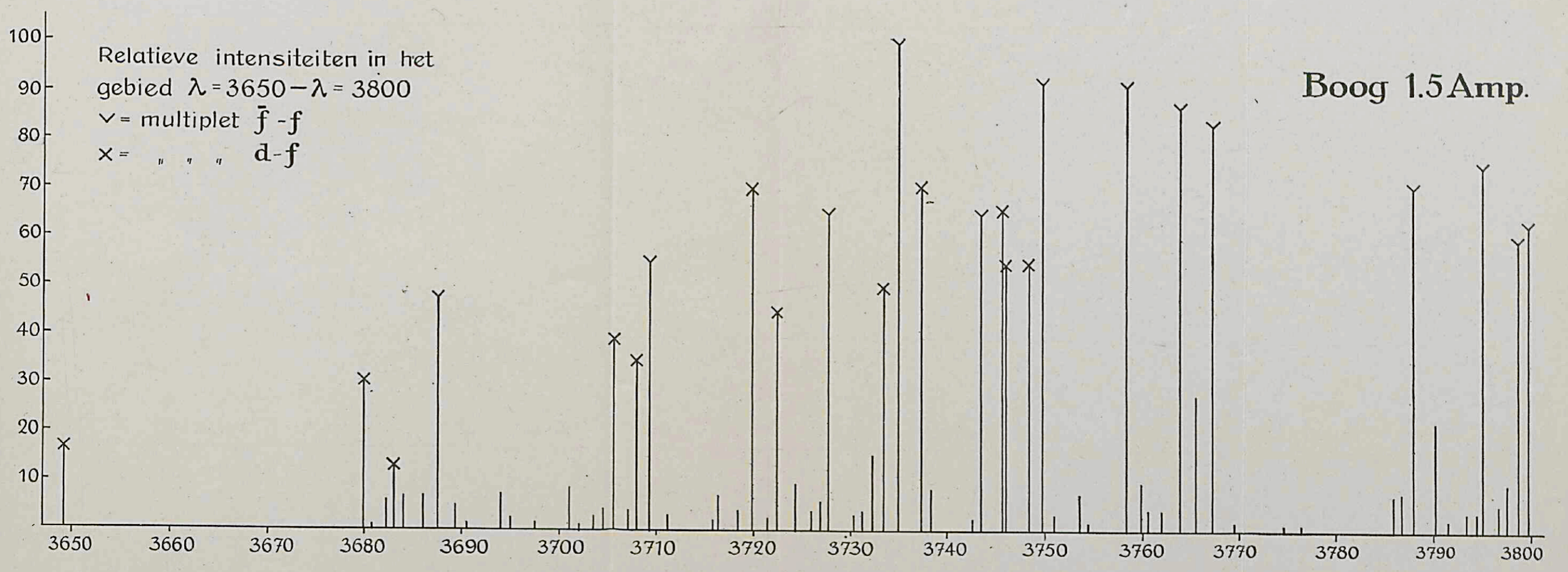
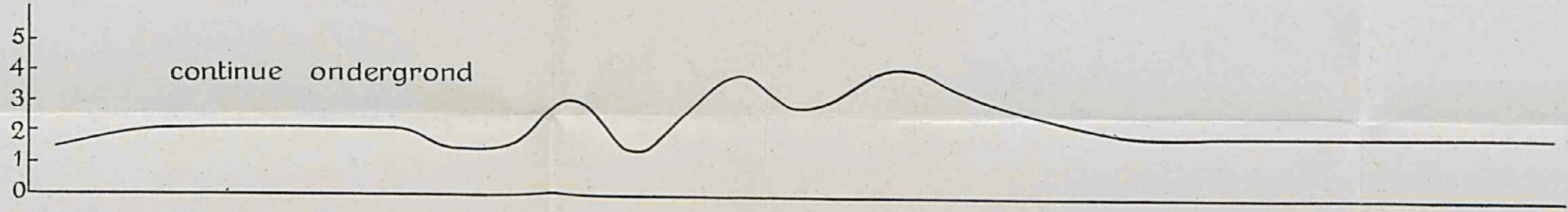
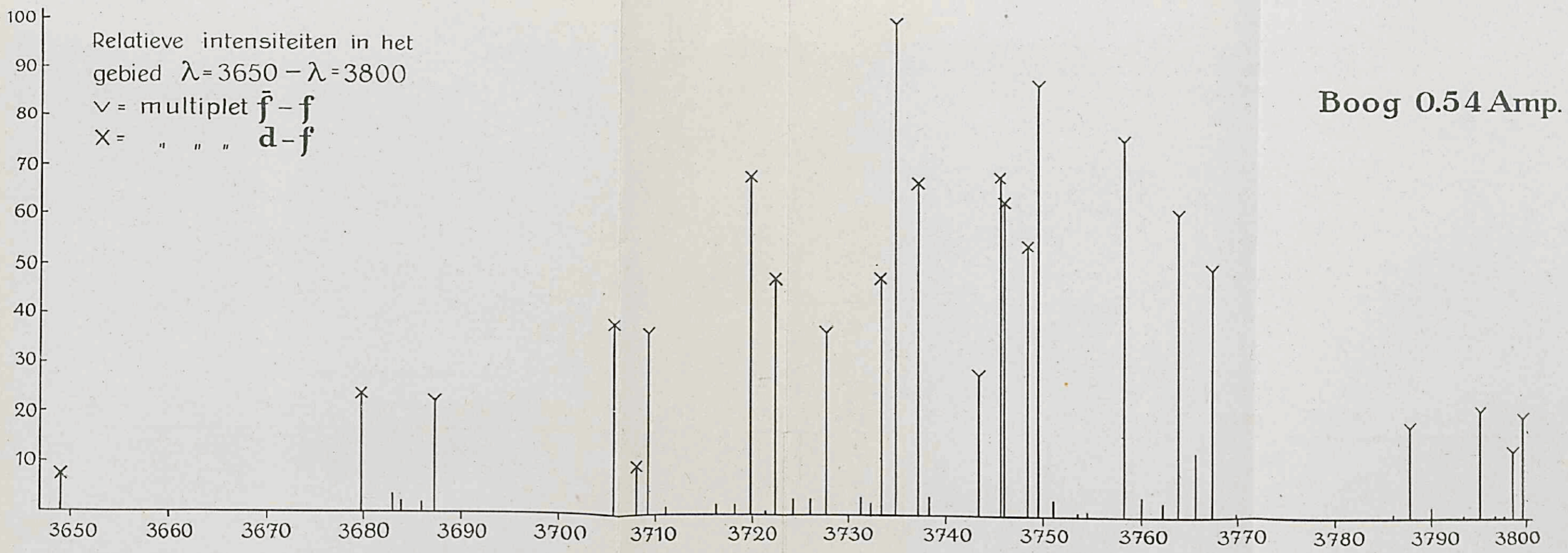
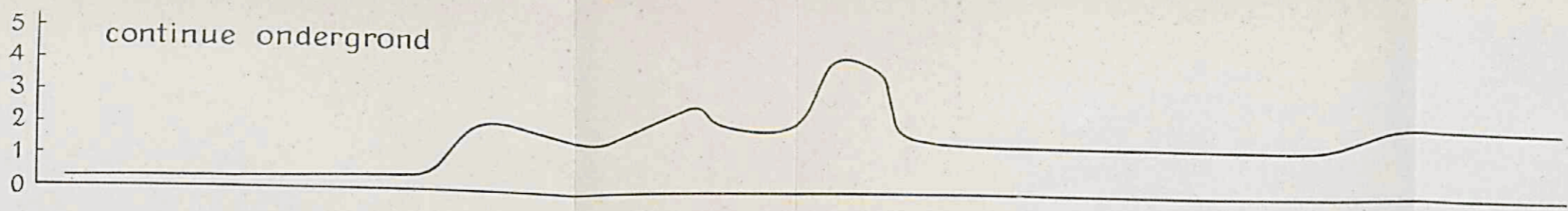
Het is mogelijk en noodzakelijk de nomographie uit te breiden tot ruimten van meer dan twee afmetingen.

7.

Het is af te keuren dat in een leerboek der algebra (Dr. FR. SCHÜH *Lessen over de Hoogere Algebra*) de stelling van het bestaan van een reële wortel van een oneven machtsvergelijking met reële coëfficiënten, terug gevoerd wordt op een algemeene stelling betreffende continue functie's.

8.

De theorie der protuberanties van R. K. SUR is onbevredigend. (A. J. 1926, **63**, 111).



Vonk

Relatieve intensiteiten in het gebied $\lambda = 3650 - \lambda = 3800$

∨ = multiplet $\bar{f} - f$

× = " " " $d - f$

