

Intensiteitsmetingen aan spectraallijnen

Citation for published version (APA):

van Gennip, W. N. P. B. (1967). *Intensiteitsmetingen aan spectraallijnen*. Technische Hogeschool Eindhoven.

Document status and date:

Gepubliceerd: 01/01/1967

Document Version:

Uitgevers PDF, ook bekend als Version of Record

Please check the document version of this publication:

- A submitted manuscript is the version of the article upon submission and before peer-review. There can be important differences between the submitted version and the official published version of record. People interested in the research are advised to contact the author for the final version of the publication, or visit the DOI to the publisher's website.
- The final author version and the galley proof are versions of the publication after peer review.
- The final published version features the final layout of the paper including the volume, issue and page numbers.

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

If the publication is distributed under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license above, please follow below link for the End User Agreement:

www.tue.nl/taverne

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us at:

openaccess@tue.nl

providing details and we will investigate your claim.

641 bse

STATISTISCH CENTRUM
ECONOMISCHES BUREAU
E. 1100000000

INTENSITEITSMETINGEN AAN SPECTRAAL-
LIJNEN

W. van Gennip

EEA-13-1967.

Verricht in de groep EMI
van Prof.dr. H. Groenou
door W. van Gennip,
Coach Ir. D. Glas.
uitgevoerd in 1967.

OPDRACHT : Het inrichten voor en het verichten van Intensiteitsmetingen aan spectraallijnen met behulp van een Spectromter en een fotomultiplier.

I. OPSTELLING

Schakeling van de pfotomultiplier X P1002

Principe : Op een lichtgevoelige kathode valt licht van een bepaalde golflengte. Dit veroorzaakt een electronenemissie, die gebundeld en versneld worden. De electronen bereiken van de 1^o dynode, wat een secundaire emissie tot gevolg heeft. De emissiefactor noemt men g voor de p^o dynode. Hebben alle dynoden dezelfde g dan is de versterkingsfactor :

$$G = g^n \text{ bij de } n \text{ dynoden}$$

Fotokathode : De XP 1002 is een buis met een trialkali semi transparante fotokathode op een B-40 glazen venster en is het gevoeligst voor het gebied tussen ultraviolet en rood (zie Fig. 1)

Lichtgevoeligheid : De definitie van de kathode lichtgevoeligheid is :

$$N_k = \frac{\text{foto stroom}}{\text{lumen invallend licht}}$$

Radiantgevoeligheid: Deze is als volgt gedefinieerd:

$$N_r = \frac{\text{fotostroom}}{\text{Watts invallend licht}}$$

Voor de meting van N_k schakelt men de buis als diode.

De uiteindelijke gevoeligheid, de anodegevoeligheid N_a is : $N_a = G \cdot N_k$

Nu is $G > 10^6$ en $I_a < 1 \text{ mA}$ - I_k is klein en is daarom moeilijk te meten $I_k \approx 10^{-10} \text{ A}$

De meting verloopt als volgt : Schakel de multiplier als diode. Verlicht zo sterk dat

$I_k = 0,1 \text{ nA}$. Meet deze stroom. Verminder dan de hoeveelheid licht met een fractie a

Dan is : $G = \frac{I_a}{a \cdot I_k}$ en $a = \frac{I_a}{I_k} \cdot \frac{1}{\text{mindering}}$

I dynode voor vermindering

Donkerstroom :

Tengevolge van lek, thermische emissie enz. krijgt men al een stroom voordat er licht op de kathode valt. Deze stroom neemt na ongeveer een half uur een oostante waarde aan.

Voeding :

Voor de versterkingsfactor G geldt:

$$\frac{dG}{G} = n \frac{dV_b}{V_b} \text{ Bij de XP 1002 is } n = 10$$

Dus de variatie in G is 10 x variatie in V_b . V_b moet dan ook goed gestabiliseerd zijn.

V_b moet zo hoog zijn dat men in het verzadigings gebied van de buis werkt.

De stroom is dan onafhankelijk van V_b . De dynode spanning wordt mede bepaald door de stroom, die door de buis vloeit. Deze stroom moet klein zijn t.o.v. de stroom door de spanningsverdeler. Dit wordt vooral bij de laatste dynoden belangrijk. Het kan daarom wel eens noodzakelijk zijn om voor de laatste trappen stroomvoeding te gebruiken.

Voor I_k geldt bij variatie van lichtinval:

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{I_k}{I_b} \left(\delta^n - \frac{\delta^{n+1}}{(n+1)\delta^n} \right) \approx \frac{I_k}{I_b} \left(1 - \frac{\delta}{(n+1)\delta^n} \right)$$

Wil men dit b.v. kleiner dan 1% houden dan moet $I_b = 100 \times I_k$ zijn.

Dit betekent, dat als men de max. I_k wil hebben, die 1 mA is, dat men door de laatste weerstand van de spanningverdelers 100 mA moet sturen.

De voeding, die voorhanden is kan max. 10 mA afgeven. Uit latere metingen blijkt, dat men $I_b = 1 \text{ mA}$ kan nemen.

- Gegevens buis XP1002 :
- Aantal dynoden 10
 - $N_k = 179 \text{ u} \text{ (} 2854^\circ\text{K)}$
 - $N_R = 16 \text{ mA/W}$ ($\gamma = 6980 \text{ A}^\circ$)
 - $N_a = 710 \text{ A/em}$ ($V_b = 1800 \text{ U}$)
 - Donkerstroom : $\approx 10^{-8} \text{ A}$ ($V_b = 1800 \text{ V}$)

Schakeling XP1002

zie fig 1

$$11,25 V_s = 1800 V \quad V_s = \frac{1800}{11,25} = 160 V.$$

$$R_{s1} \text{ is dan } R_{s1} = \frac{160}{1} = 160 \text{ K} = R_{s2} = R_{s3}$$

$$R_{s10} = \frac{3}{4} \times 160 = 120 \text{ K}$$

$$R_k = R_{s10} = 120 \text{ K}$$

Nu moet $V_{RL} \ll 1 \text{ V}$ en de invloed van de stroom door de R_L te bepalen.

$$I_{RL} \ll 0.01 \text{ mA} \text{ omdat } I_{\text{buis}} \ll \frac{1}{100} I_{\text{brug}}$$

$$\text{Neemt men } R_L = 100 \text{ K dan is } V_{RL} \ll 10^5 \times 10^{-5} = 1 \text{ V}$$

Uit de metingen blijkt, dat $V_{RL} \ll 1 \text{ V}$ is

De ingangsweerstand van de buisvoltmeter is op het bereik van 10 mV ... 1000V, 100 mA

De gekozen R_L is dus toegestaan.

Vermogen, dat door de weerstanden gaat is :

$$W = 10^{-6} 160 \cdot 10^3 = 0.16 \text{ W}$$

Neem weerstanden van 0.5 W

Om de laatste trappen te ontkoppelen zijn hierover condensatoren van 220 μF geschakeld.

Meetopstelling.

De met C_s gevulde diode wordt in een oven geplaatst, waarvan de temperatuur door een variac geregeld kan worden.

De kathode wordt gevoed met een voedingsapparaat

Philips, type E 4807/00. De stroom I_f is gedurende alle metingen 6 A

De spectrometer is een HILGER and WATTS Constant deviation wavelength spectrometer D 186/7.

De buigingspleet heeft een opening van $8 \times 0.025 \text{ mm}$.

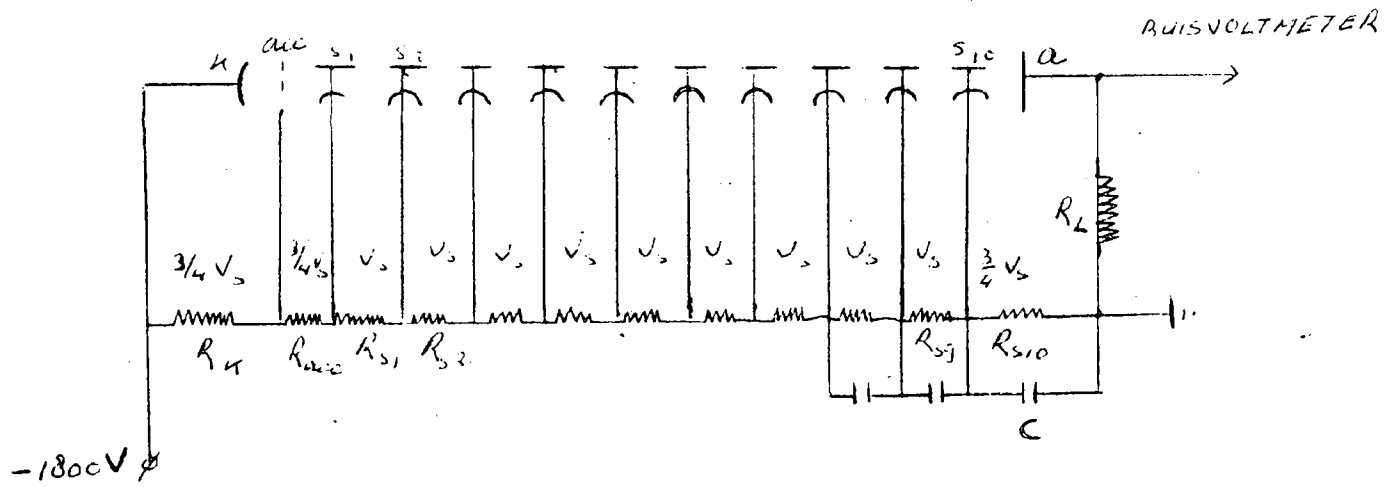


fig 1

gevoeligheid rel. %

Gevoeligheid van een trialkali
zame transparante foto-kathode

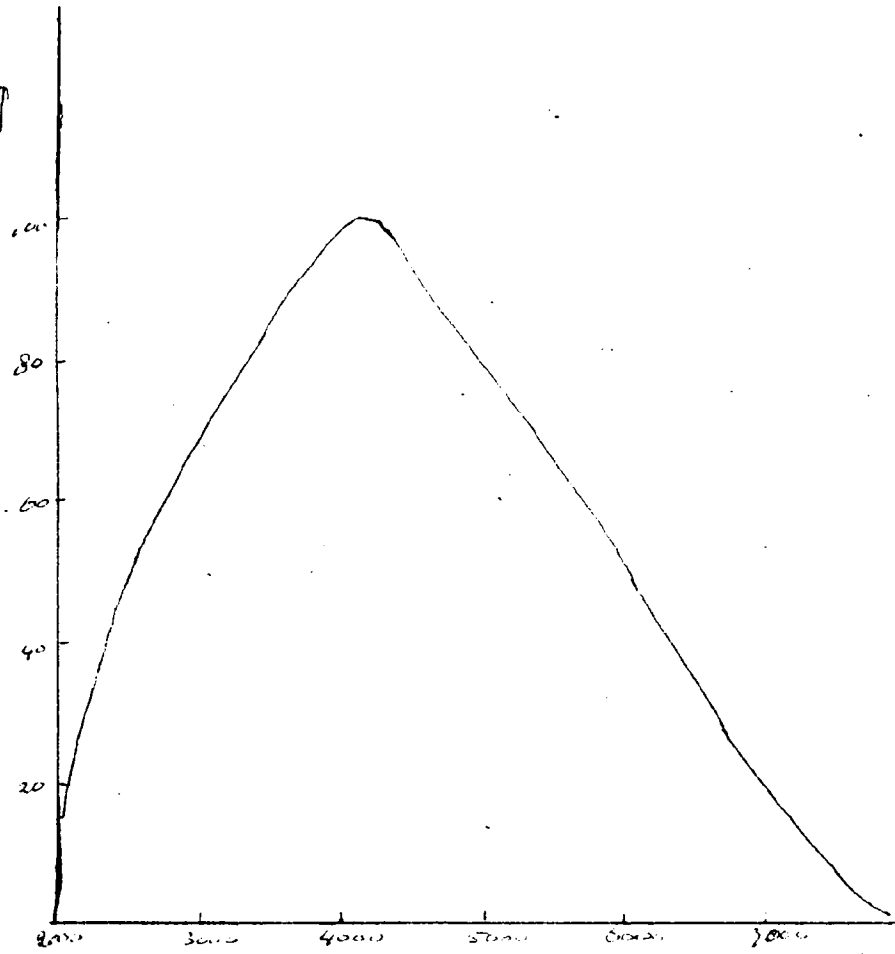


fig 2

→ λ (nm)

Correctiegrafiek voor Wolfram voor
meting met een pyrometer

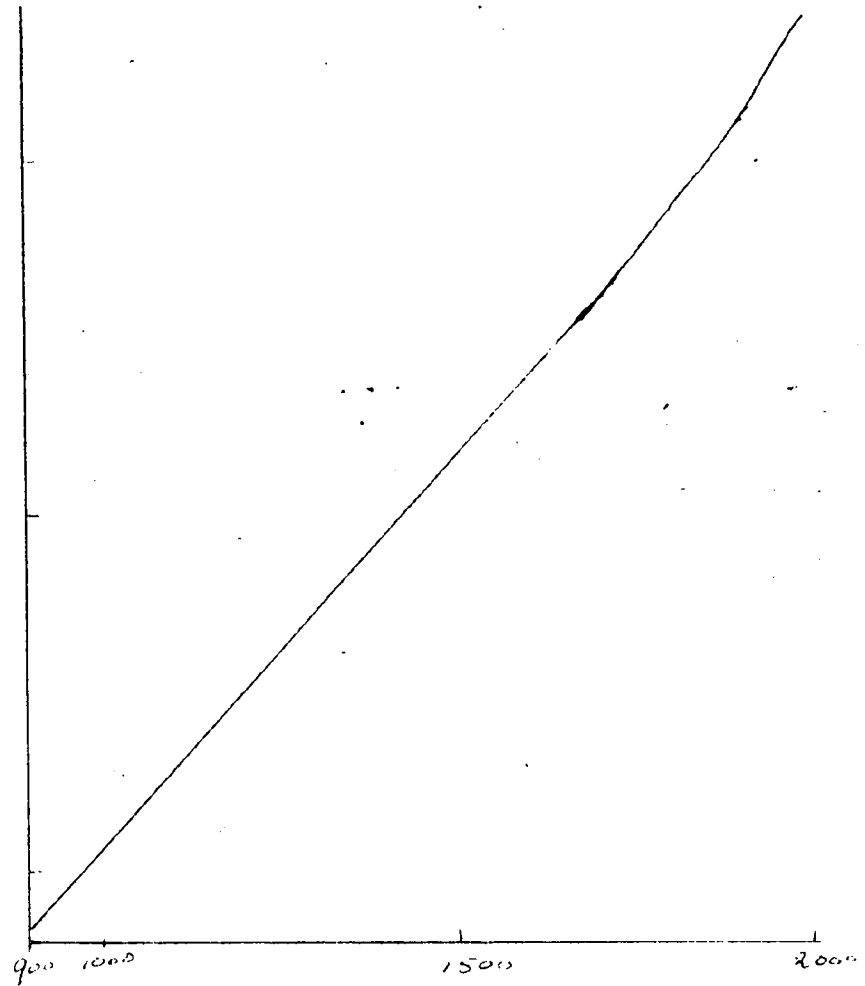


fig 3

→ gemeten T (°C)

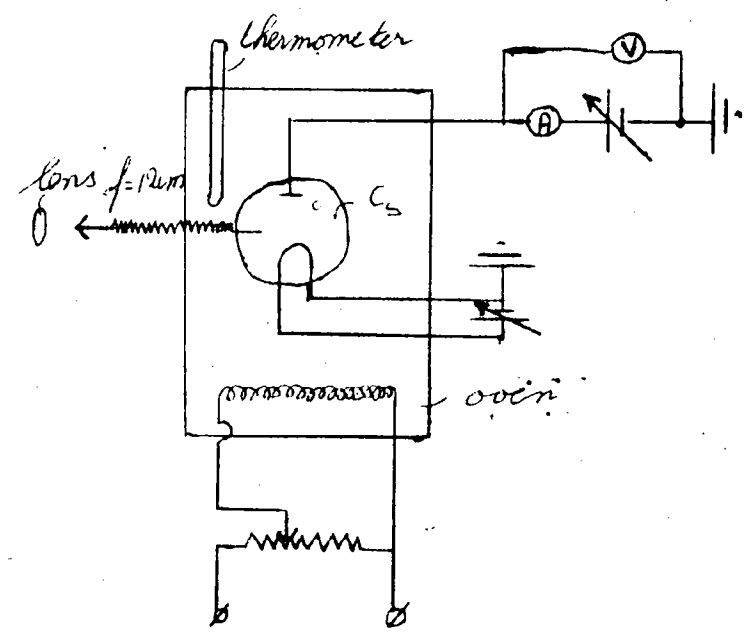
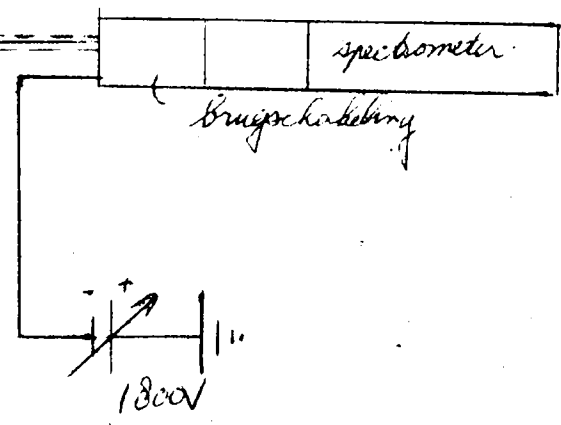
Philips GM-20

bus voltmeter

Photomultiplier

specrometer

Bruggschaltung



Om de spectraallijnen afzonderlijk te kunnen meten is een tweede spleet aangebracht, de adaptor. De opening is hier 0.10 mm.

De -1800V wordt verkregen door een digitaal instelbare voeding.

Een Oltromix ser nr. N 115

De opstelling is geplaatst in een donkere tent, terwijl om de fotomultiplier een donkere zak is gedaan.

II. METINGEN

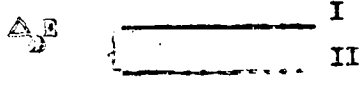
a. Inleiding :

De metingen zijn gedaan om een indruk te krijgen over de bruikbaarheid van de opstelling en om een globaal verloop van de intensiteit van de spectraallijnen als functie van I_a , I_f , U_a , en T te krijgen.

De nauwkeurigheid van de meetresultaten is niet voldoende bekend. Naast de factoren, die bij de berekening van de buisschakeling zijn vernoemd, zijn er ook nog kwesties als:

- a) Instellen op de juiste golflengte
- b) Aflezen van de waarde, dit komt nog ter sprake
- c) Onvoldoende afscherming, de invloed hiervan wordt gedeeltelijk opgeheven door de te volgen meetmethode.
- d) De temperatuur van de oven kan moeilijk op een constante waarde worden gehouden.
- e) Het inkomen van de spectraallijnen is lastig om exact in te stellen.
- f) De donkerstroom van de buis is niet constant.

De intensiteit ϕ wordt hierin mV aangegeven, zijnde de spanning over R_L . Hieruit is de stroom, door de laatste trap van de buis te berekenen en dus het aantal Watts binnenvallend licht van een bepaalde golflengte.



Springt een elektron van baan I naar II, dan komt er een lichtkwant vrij met een energie

$$h\nu = A E$$

Meet men dus het aantal Watts dan is dit dus een maat voor het aantal elektronen, dat per seconde springen.

$$n = \frac{\text{aantal Watts}}{h\nu}$$

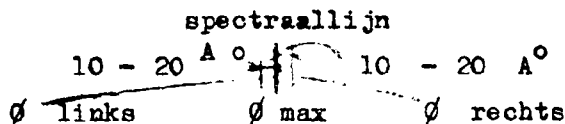
Wil men dus het aantal sprongen vergelijken dat van verschillende plaatsen komt, dan moet men alle meetresultaten terugvoeren tot eenzelfde golflengte b.v. op $\lambda = 8528 \text{ \AA}$. Verder moet om een goede vergelijking te kunnen maken, rekening gehouden worden met de verschillende versterkingsfactoren voor verschillende golflengten van de fotomultiplier (zie fig. 1)

Deze factoren zijn in dit verslag niet ingevoerd, omdat het hier slechts om een globale indruk gaat.

Ook zijn niet alle lijnen genoteerd die meetbaar zijn. Vooral in het geel-groene gebied komen bijzonder veel, swakke, lijnen voor.

Meetmethode:

Meet men aan de ζ_1 -diode, dan meet men ook licht van b.v. de gloeikathode en licht dat van buiten komt. Daarom is de volgende meetmethode toegepast.



1. Bepaal het maximum. Dit is ϕ van de spectraallijn + storing
2. Bepaal de ϕ links en ϕ rechts. Men meet dan de storing.

Deze verschillen bijzonder weinig, zodat men mag aannemen, dat men ook werkelijk alleen het stoorlicht meet.

De opening van de spleet is zodanig gekozen, dat men $10 - 20 A^\circ$ naar links of naar rechts moet om een constante intensiteit te gaan meten. Dit is voor de meeste spectraallijnen geen bezwaar, alleen bij metingen aan dubletten kan dit moeilijkheden opleveren. De spleetopening kan, indien nodig, nog kleiner gemaakt worden.

3. Het verschil tussen ϕ max en het gemiddelde van de ϕ_{links} en ϕ_{rechts} is de ϕ spectraallijn.

b. De kathode temperatuur als functie van I f

De kathodetemperatuur is met een pyrometer gemeten. Deze temperatuur moet gecorrigeerd worden.

Voor de invloed van het glas telt men $50^\circ C$ op.

De pyrometer meet t.o.v. zwart. Voor de wolframkathode moet daarom een correctie, worden aangebracht. (fig. 3 en tabel)

De metingen zijn uitgevoerd bij een $I_f = 6A$. Dit komt overeen met een kathode temperatuur van 1400 °C.

I_f (A)	pyrometer	na glas correctie	na Wolfr.corr.
5	1000	1050	1100
5,2	1080	1130	1180
5,4	1150	1200	1260
5,6	1190	1240	1300
5,8	1240	1290	1360
6,0	1280	1330	1400
6,2	1320	1370	1450
6,4	1380	1430	1500
6,6	1415	1465	1530

De temperatuur van de Wolfrankathode geeft de volgende druk van het cesium volgens Kröher :

$$\log p \text{ (mm Hg)} = 7,53 - \frac{4075}{T}$$

Metingen

1. De intensiteit ϕ en I_a als functie van U_a bij constante temperatuur van enkele frequenties.

Uit de hoeveelheid van spectraallijnen, die men met de meetopstelling vindt, zijn er bij de metingen telkens drie hiervan genomen.

1. 8528 Å⁰ - Dit is een lijn in het infra-rode gebied
2. 6975 Å⁰ - idem in het groen-gele gebied
3. 4555 Å⁰ - idem in het violette gebied

150°C

U_a (V)	I_a (mA)	ϕ 8528 Å ⁰	ϕ 6975 Å ⁰	ϕ 4593 Å ⁰
0	0	0	0	0
	0	0	0	0
3,5	30	70	20	5
4,0	70	120	60	15
6,0	85	150	80	30
8,0	90	210	100	40
10,0				
12,0	100	260	120	60
14,0				
16,0	100	280	140	60

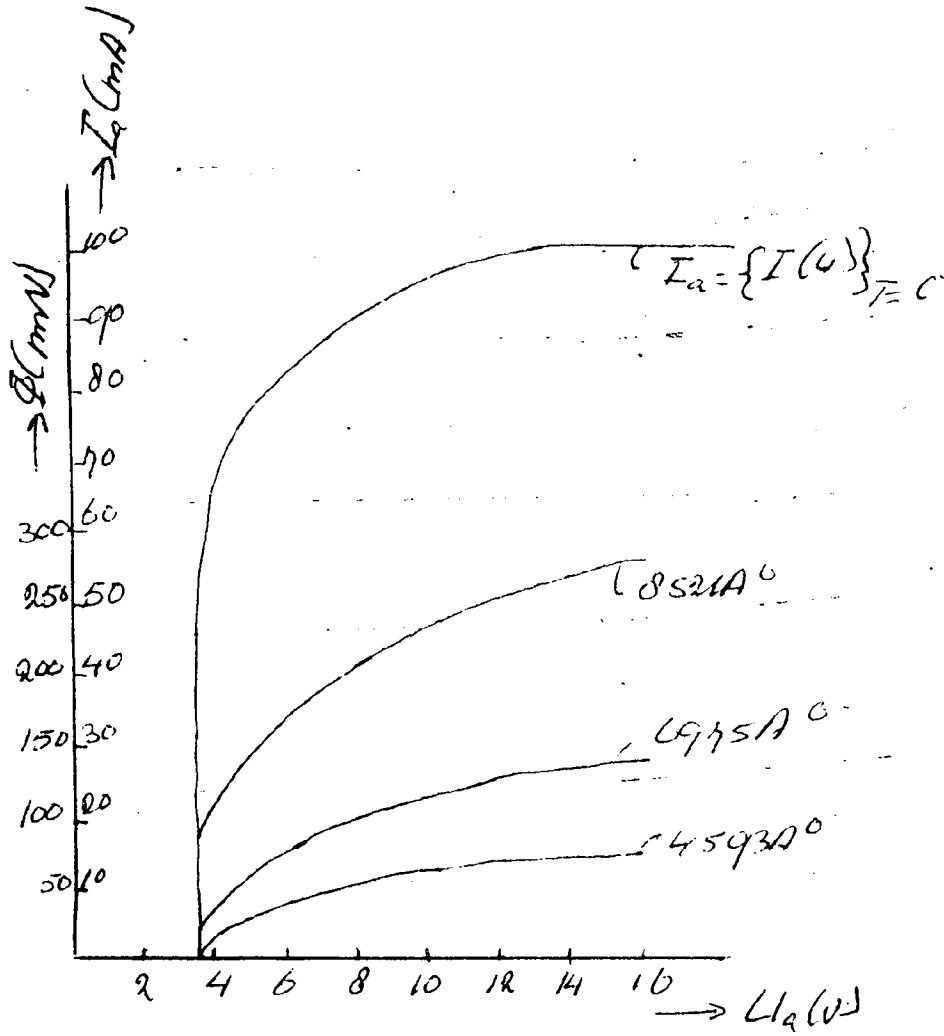
spreng

175°C

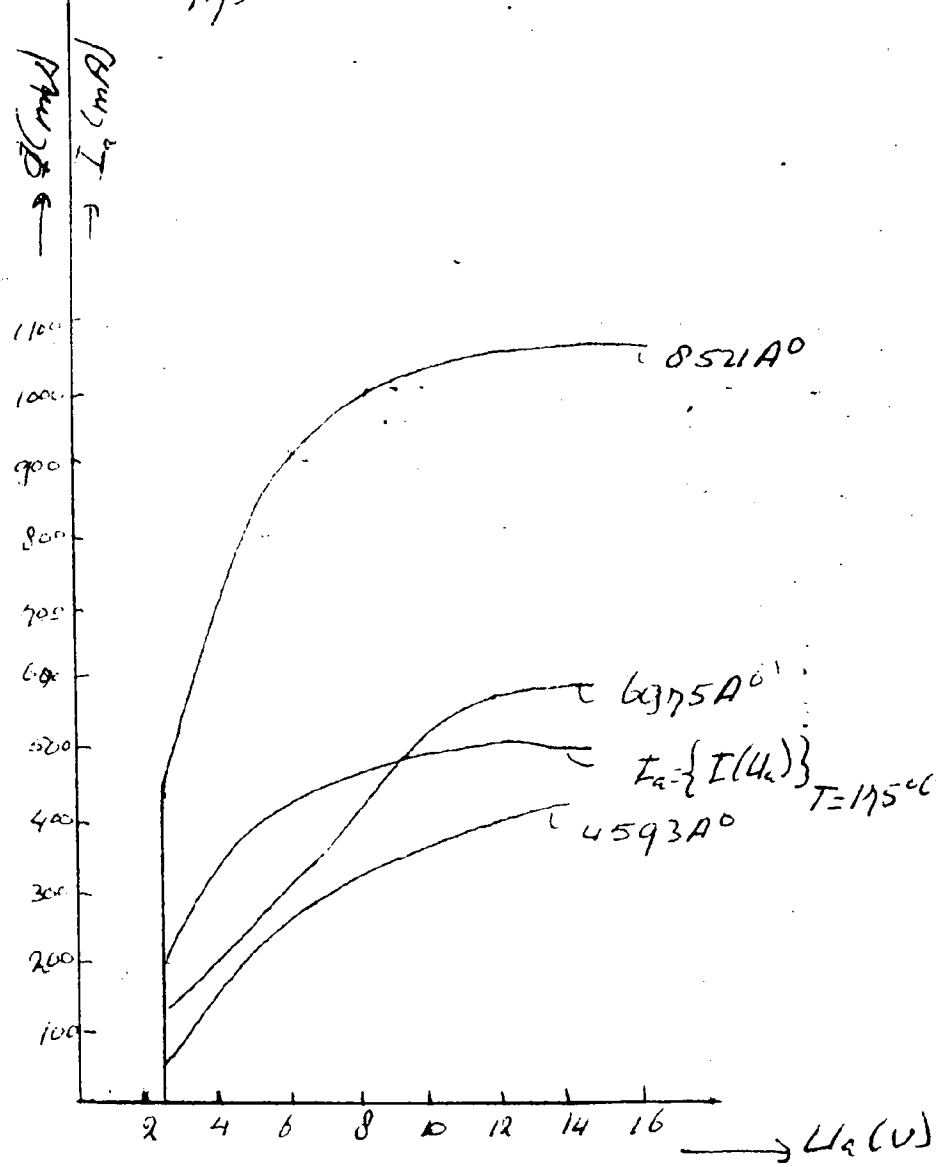
U_a (V)	I_a (mA)	ϕ (mv) 8528 Å ⁰	ϕ (mv) 6975 Å ⁰	ϕ (mv) 4593 Å ⁰
0	0	0	0	0
	0	0	0	0
2,5	200	460	140	60
3,0	250	530	150	75
4,0	350	720	210	170
5,0	380	860	270	230
6,0	420	860	320	300
8,0	450	1000	400	400
10,0	500	1080	550	400
12,0	500	1000	570	400

150°C

$L = \dots \rightarrow T = L$



175°C



200°C

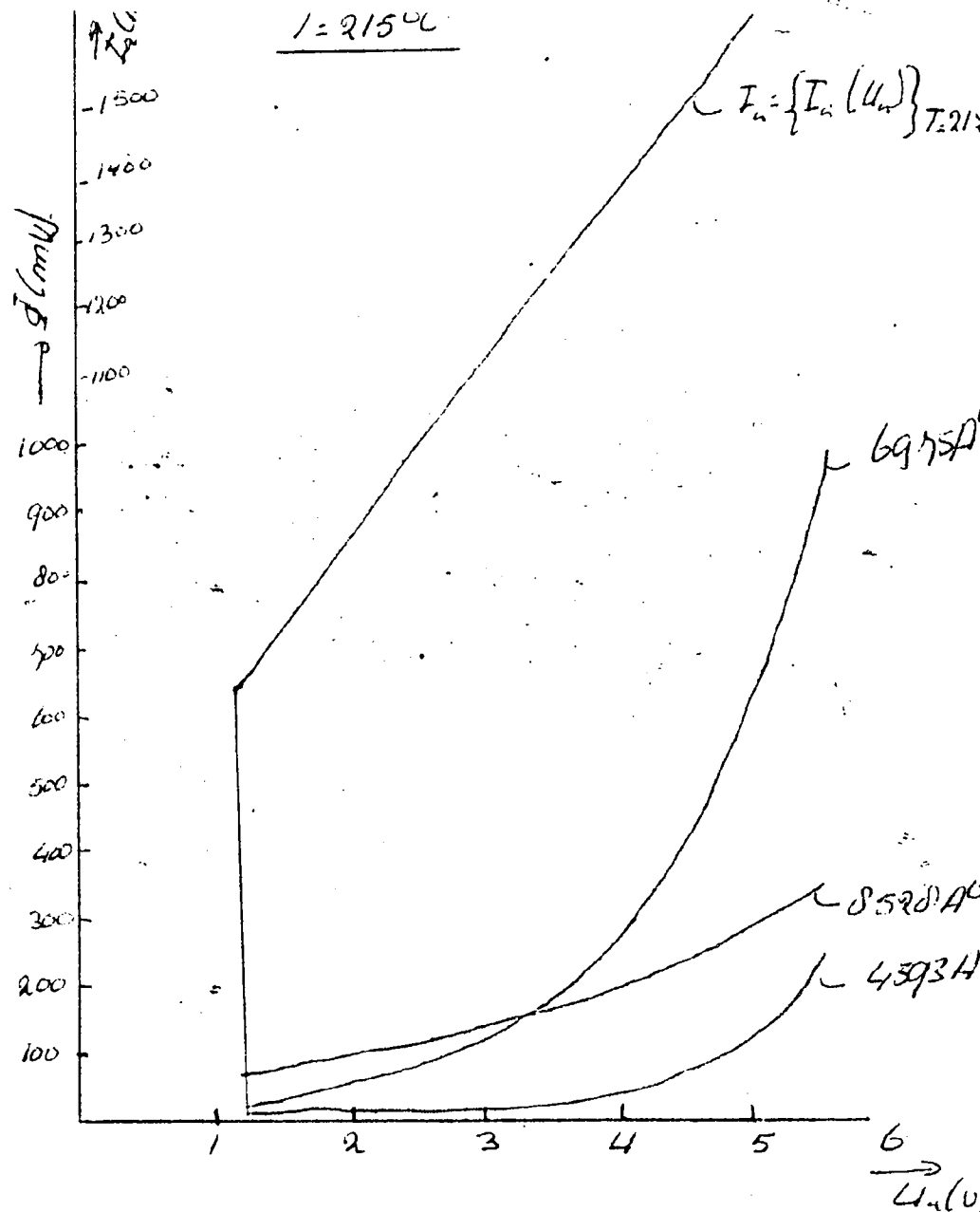
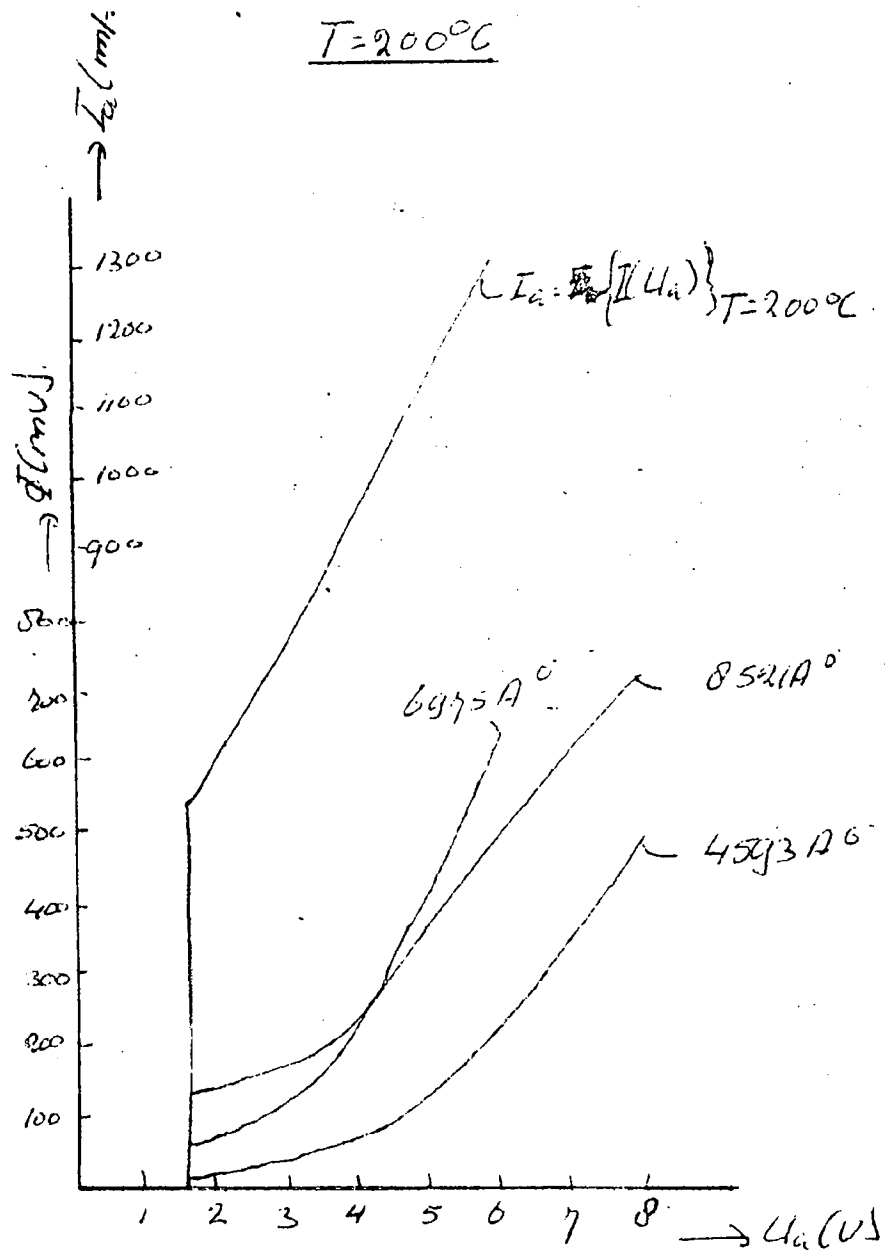
U_a (V)	I_a (mA)	ϕ (mv) 8523A	ϕ (mv) 6975A	ϕ (mv) 4593A
0	0	0	0	0
	0	0	0	0
1,6	550	140	65	4
2,0	600	150	65	10
2,5			85	
3,0	700	150	120	25
3,5	900	190	160	40
4,0	950	240	230	50
5,0	1200		430	110
6,0	1300	550	650	215
8,0	1900	720		500

215°C

U_a (V)	I_a (mA)	ϕ (mv) 8523A	ϕ (mv) 6975A	ϕ (mv) 4593A
0	0	0	0	0
	0	0	0	0
1,2	650	70	15	3
2,0	1080	90	40	8
3,0	1000	135	110	13
3,5	1250	165	170	24
4,0	1400	200	270	40
4,2	1450	215	300	
4,5	1500	250	390	65
5,0	1700	310	600	115
5,5	1900	320	1000	230

$I = 325^\circ\text{C}$

U_a (V)	I_a (mA)	ϕ (mv) 8523A	ϕ (mv) 6975A	ϕ (mv) 4593A
0	0,7	0	0	0
	0,7	0	0	0
1,1	650	21	8	2
2,0	850	21	17	4
2,5	1050	60	46	
3,0	1220	80	56	5
3,2	1300	90	61	
3,5	1500	120	70	
4,0	1750	165	70	14
4,2	1820	190		18
4,4	1900	190	120	



Opvallend bij deze metingen is het feit, dat alle lijnen bij een bepaalde spanning U_a , die afhankelijk van de temperatuur is, tegelijk inkomen. Met de intensiteit van de spectraallijnen vertoont ook de stroom I_a een sprong.

$U_a = U(T)$ inkomen	T (°C)	140	150	160	170	180	190	200
	U_a (V)	4,15	3,55	3,30	3,10	2,9	2,10	1,40
	T (°C)	210	220	230	240			
	U_a (V)	1,65	1,40	1,10	1,10			

$I_a = \left(I_a(T) \right)$ $U_a = 4v$	T °(C)	140	150	160	170	180	190
	I_a (mA)		115	195	270	500	670

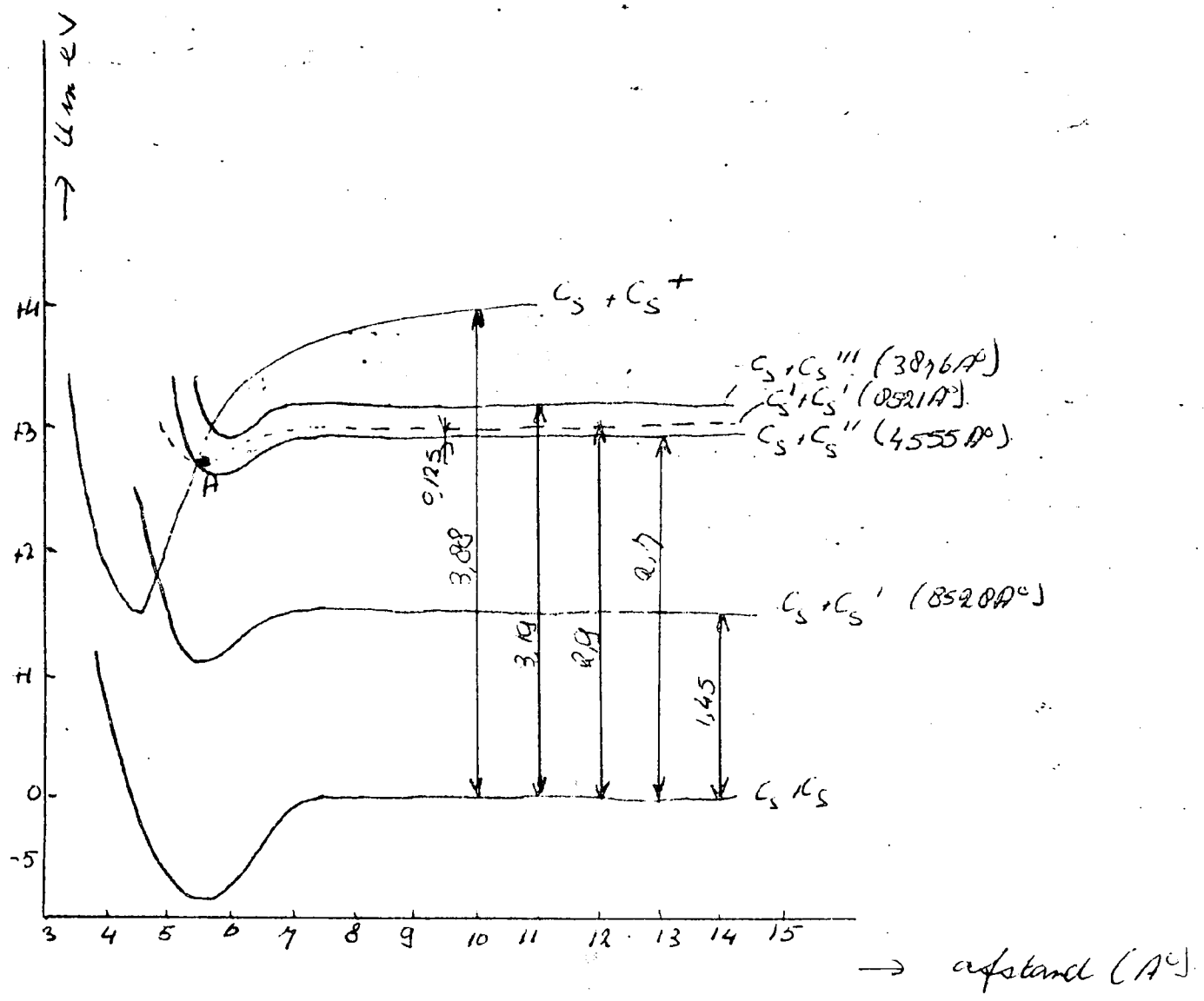
T °(C)	200	210	220	230	240	
I_a (mA)	850	1050	1350	1650	1750	

De verwachting is dat bij een bepaalde spanning U_a b.v. $U_a = 1,45$ V alleen de lijn in het infrarood van 852 \AA of van een grotere golflengte er in komt. Een mogelijke verklaring voor het inkomen van alle lijnen tegelijk is de volgende: Uit bijgaande tabel en figuur blijkt, dat bij 1,45 V er cesium atomen worden aangeslagen. Deze kunnen molekulen gaan vormen met cesium atomen of met andere aangeslagen atomen. Neemt men b.v. 2 aangeslagen Cs atomen, die van 0 - 1,45 e V zijn gebracht, dan is het potentiaalverloop als de gestippelde lijn in de figuur. Bij punt A ontstaat deze de potentiaal kromme van ($Cs + Cs^*$) molekuul. Volgens S. Frank kan er een grote waarschijnlijkheid, dat zij in de laatste toestand overgaan. Valt het aangeslagen atoom terug in zijn grondtoestand, dan straalt het licht uit met een golflengte van 4555 \AA . Nu zijn er bij 1,45V ook al andere aangeslagen atomen. (zie tabel). Het is dan mogelijk dat combinaties van deze aangeslagen atomen, genoemde spectraallijnen tot gevolg hebben. Snijden de potentiaal-krommen de lijn van $Cs + Cs^*$, dan kan het Cs atoom een elektron afstaan en krijgt men een $Cs + Cs + e$.

Om over dit verschijnsel een verantwoorde uitspraak te doen zal de diode anders moeten worden ingericht. De diode waaraan gemeten is, heeft nl. een direct verhitte cathode. Het gevolg is dat er een potentiaalverloop over de cathode is van enkele volts. Als de buis ontsteekt heeft men dan glimlicht. Spanningen van $U_a \rightarrow U_a \approx 15V$, zijn dan aanwezig.

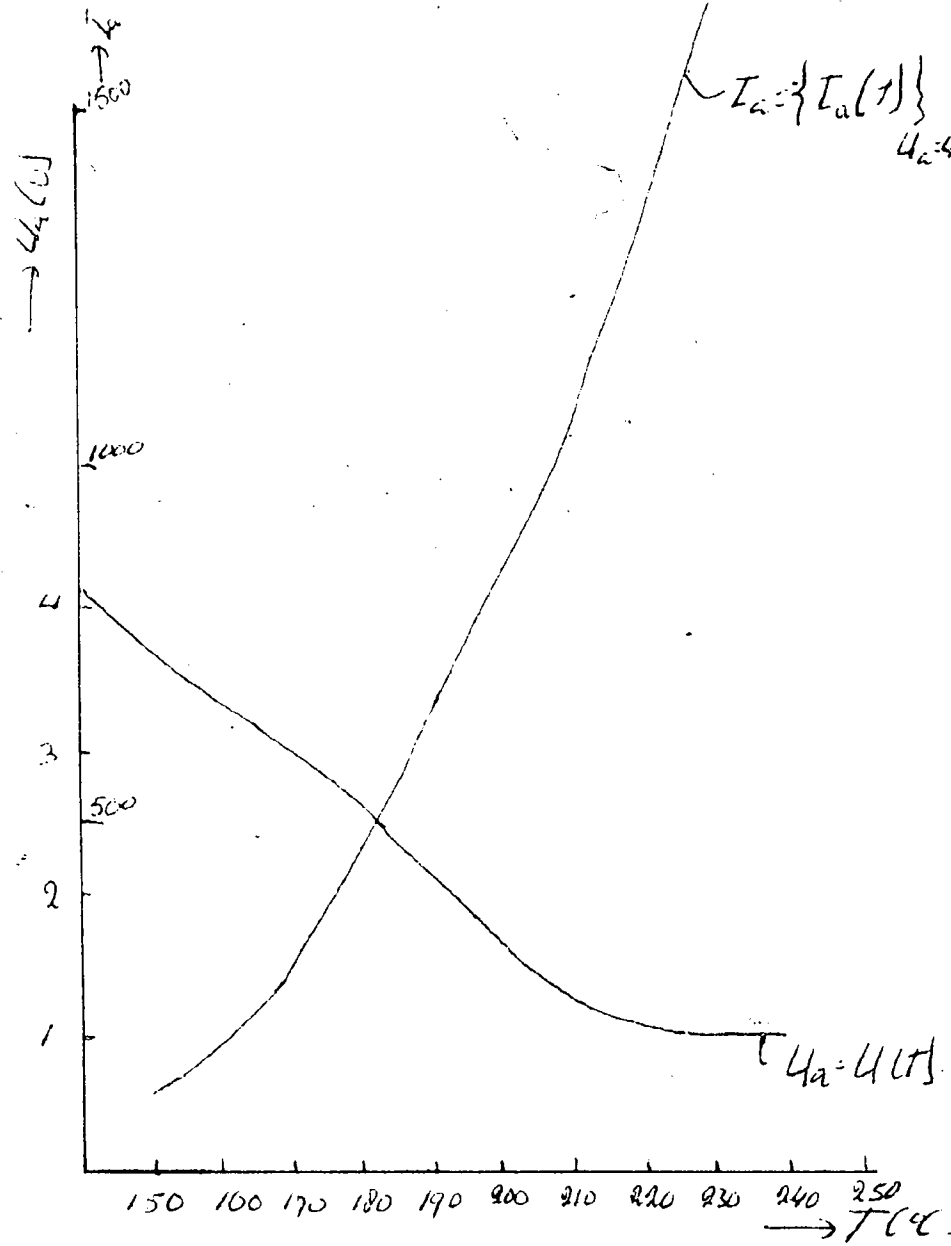
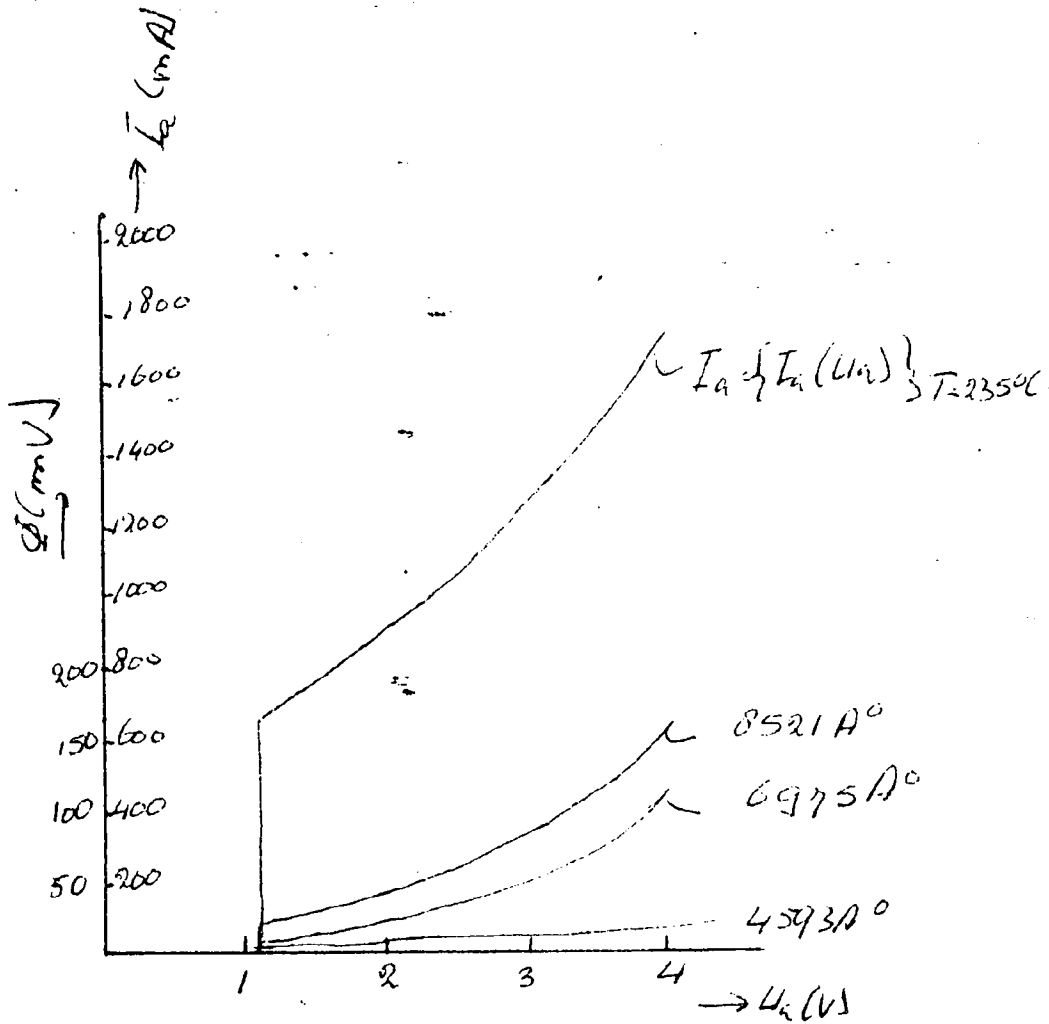
Het is daarom van belang om eerst een buis met een indirect verhitte cathode te maken, die een weinig geconstrueerd is, dat men een equipotentiaal cathode heeft. Verder moet men onderzoeken of het verschijnsel niet uit de Maxwell-verdeling van de elektronensnelheid kan komen.

Potentialabmessungen



$T = 235^\circ\text{C}$

$I_a = \{I_a(u_a)\}_{T=235^\circ\text{C}}$



CESIUM

golflengte	Energie	
4555,36	o	- 21947
4593,18	o	- 21766
5663,8	11178	- 28829
5844,7	1132	- 28836
6010,33	11178	- 27811
6034,09	11732	- 28300
6212,87	11732	- 27823
6217,27	11732	- 27811
6354,98	11177	- 26911
6586,51	11722	- 26911
6723,28	11178	- 26048
6973,29	11732	- 26069
6983,49	11732	- 26048
7609,01	11178	- 24317
8015,71	14500	- 26911
8079,02	14599	- 26971
8521,10	b	- 11732
8761,38	11178	- 22589
0943,50	o	- 11178

De Intensiteit als functie van de temperatuur.

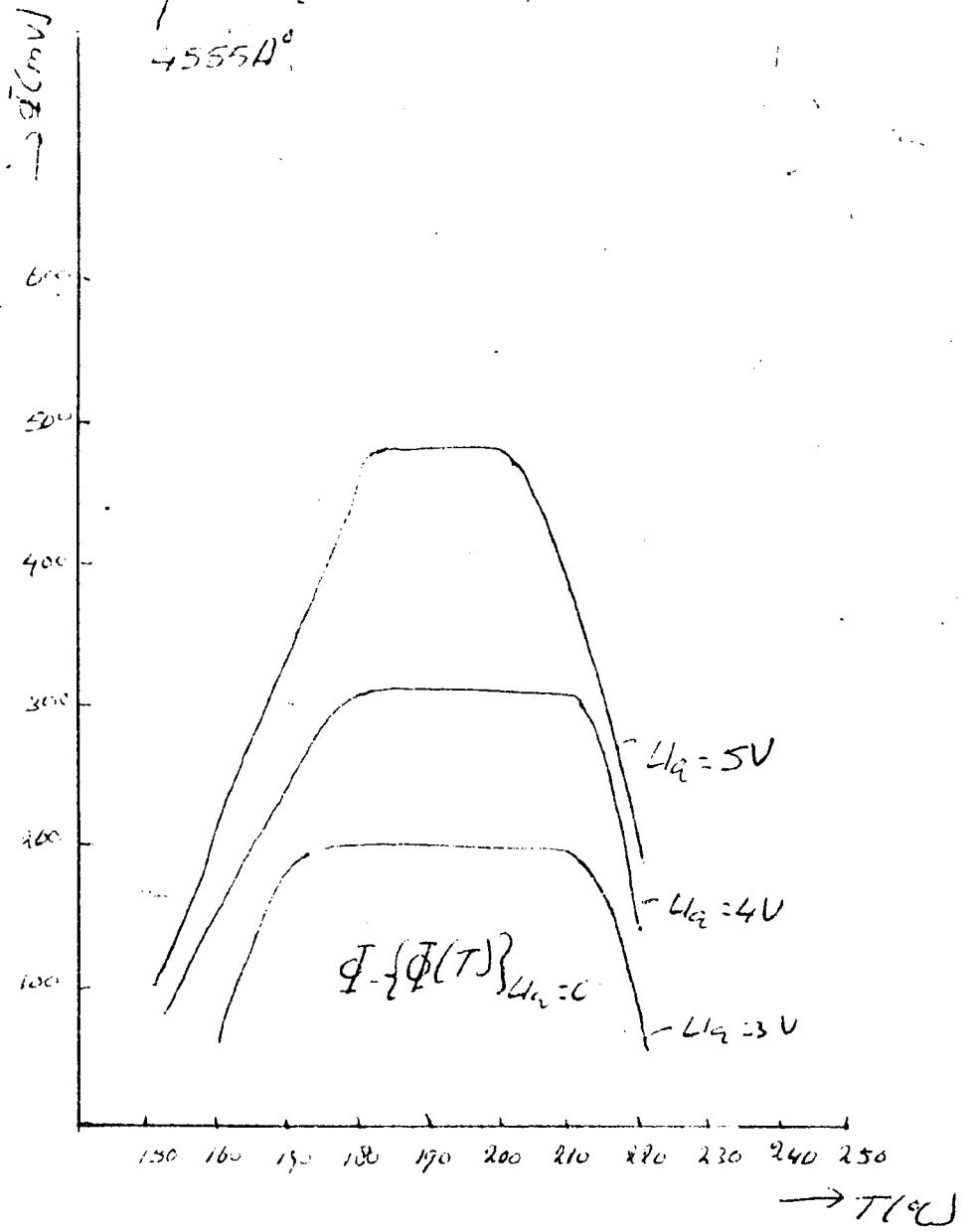
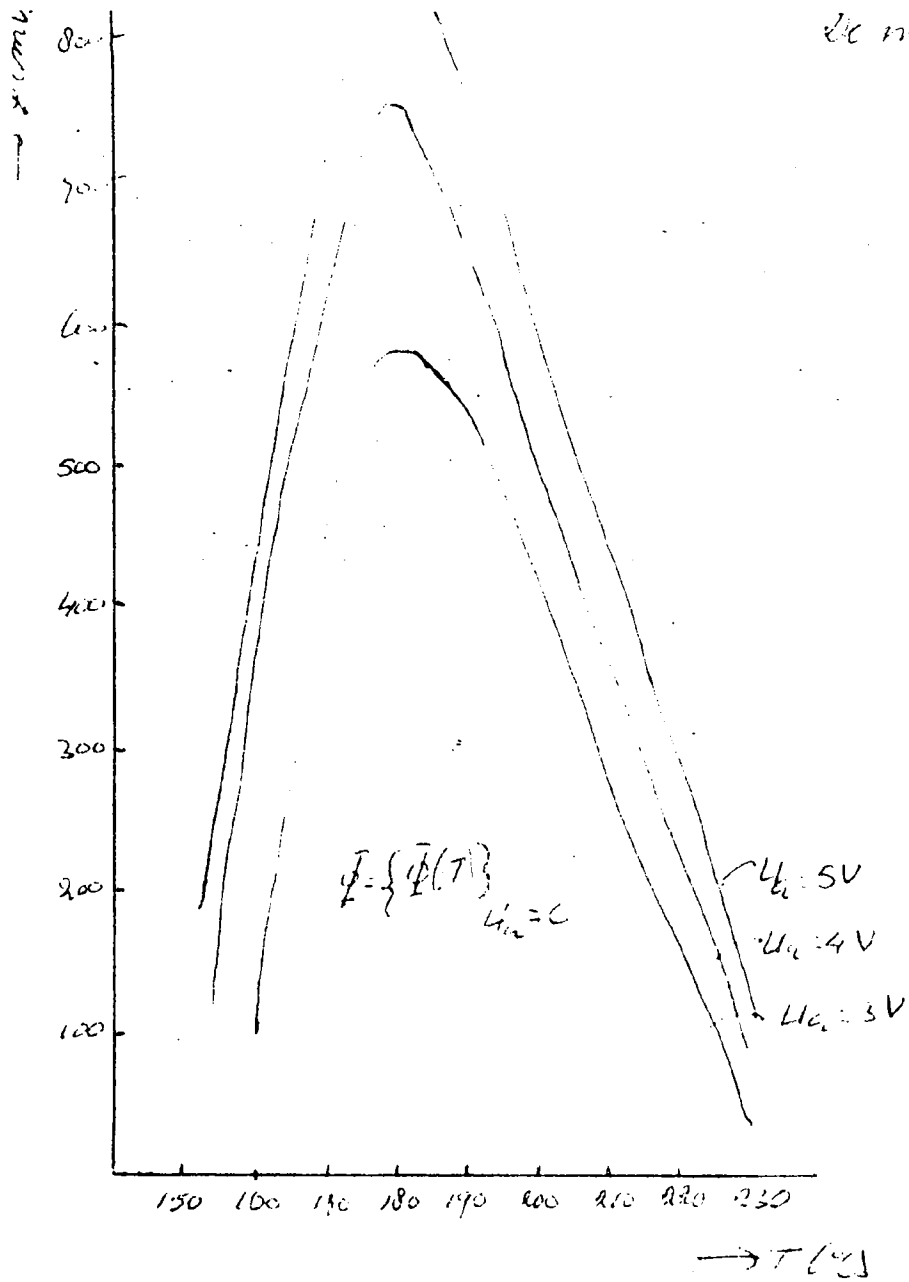
$$\phi = \left(\phi (T) \right) \quad U_B = 0$$

T(°C)	8521A°			4555A°		
	ϕ (mV) U _A = 3V	ϕ (mV) U _A = 4V	ϕ (mV) U _A = 5V	ϕ (mV) U _A = 3V	ϕ (mV) U _A = 4V	ϕ (mV) U _A = 5V
140						
150	0	120	190	0	80	110
160	100	290	420	60	160	200
170	440	500	680	180	250	320
175	560	720	840			
180	580	750	850	200	310	480
190	550	660	730	200	310	400
200	410	500	580	200	310	480
210	300	380	470	200	310	480
220	150	190	200	50	140	190
230	30	80				
240						

De metingen $\phi = \phi (I)$ vertonen een top in de buurt van de 180°C. Bij deze metingen in U_A en I_f constant gehouden. Dit betekent dat de stroom door de buis niet constant is tijdens de meting. Er zijn daarom 2 variabelen. De I_A kan constant gehouden worden door I_f te variëren. Het verschijnsel is als volgt te verklaren. Men kan te maken hebben met zelfabsorptie of afname van de vrije weglengte. Een elektron dat een energie $< h\nu$ bezit en botst, is niet in staat een atoom aan te slaan. Neemt de temperatuur en dus de druk toe, dan kan het zijn, dat een elektron botst voor het voldoende energie heeft gekregen.

Die Intensität als Funktion der Temperatur

4555 \AA



17

Bij lage temperatuur is het aantal botsingen klein. Stijgt de temperatuur, dan neemt het aantal botsingen toe en het aantal aangeslagen atomen ook, totdat het aantal botsingen zo groot is, dat de energie van het elektron te laag wordt.

CONCLUSIES

De opstelling is in staat de vereiste metingen uit te voeren. De meetresultaten wettigen een nader onderzoek hiervan. Het is dan echter een eerste vereiste een equipotentiaal-kathode te ontwikkelen.

Tevens kan het nuttig zijn de afgeleide van ϕ te bekijken. Dit geeft misschien een beter inzicht in het verloop van de intensiteit als functie van U_a .

Het heeft ook zin om de intensiteit als functie van I_a te meten, waarbij U_a constant is.

Om een duidelijk beeld van $\phi = \phi(T)$ te krijgen moet men zowel U_a als I_a constant houden.

Bij het berekenen van de vrije weglengte moet men rekening houden met de lage druk. In Physical Review, volume 130, blz. 658 staat hiervoor een berekening door W.R. Garrett en R.A. Mann.

Lit. Electron Emission and Absorption
Phenomena by De Boer.