

Handwritten: A A E 27
Stamp: juli 51

GEZONDHEIDSORGANISATIE T.N.O.

BIBLIOTHEEK
- 4 OCT 1951
CENTRALE ORGANISATIE T.N.O.
5-GRAVENHAGE

METING VAN DE SPECTRALE
ENERGIEVERDELING VAN DE
STANDAARD KWIKLAMP VAN
KREFFT VOLGENS EEN NIEUWE
METHODE

door
Dr L. H. M. VAN STEKELBURG

RAPPORT No. 5

AFDELING
GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

Juli 1951



AFDELING
GEZONDHEIDSTECHNIEK T.N.O.

Rapport no 5
Juli 1951

U.D.C.: 535.24 : 621.327.312

METING VAN DE SPECTRALE ENERGIEVERDELING VAN DE STANDAARD
KWIKLAMP VAN KREFFT VOLGENS EEN NIEUWE METHODE ')

(Measurement of the spectral energy distribution of
the Krefft mercury vapour lamp by a new technique.)

door / by

Dr L.H.M. van Stekelenburg

') Onderzoek uitgevoerd in de Research Afdeling van de N.V.
"KEMA" te Arnhem.
(Investigations carried out in the research department
of the "KEMA" Ltd. at Arnhem, Netherlands)

Gehele of gedeeltelijke publicatie van dit rapport is niet
geoorloofd tenzij daartoe door de Afdeling Gezondheidstech-
niek T.N.O. toestemming is verleend.

Den Haag

Koningskade 12

Tel. 776090

7 350

I N H O U D

	blz
SAMENVATTING	III
SUMMARY	III
1. Inleiding	1
2. Meetmethode	2
2.1 Inleiding	2
2.2 De hogedrukkwiklamp van Krefft	2
2.3 De wolfraambandlamp	3
2.4 De monochromator	3
2.5 De fotocel	3
2.6 Eisen waaraan de meetinrichting moet voldoen	4
3. Metingen	6
3.1 Inleiding	6
3.2 Meting van de continue achtergrond van het kwikspectrum	6
3.3 Meting van intensiteit van de spectraallijnen	7
3.4 Bepaling van het aantal λ per cm	9
3.5 Meetresultaten	9
3.6 Bereikte nauwkeurigheid	11
3.6.1 Systematische fouten	11
3.6.2 Toevallige fouten	13

Samenvatting

Een nieuwe methode is gebruikt voor het meten van de spectrale energieverdeling van de Krefft hogedrukkwiklamp.

De voornaamste bijzonderheden zijn de omzetting van het beeld van de lamp door een roterende vlakke spiegel in een cylinderoppervlak waarvan de over de tijd gemiddelde uitstralingsdichtheid overal dezelfde is, en de gelijktijdige registratie van het spectrum van dit oppervlak en een reeks punten uit het spectrum van de wolfraambandlamp bij hoge temperatuur.

Doordat de straling van beide bronnen in de meetrichting dezelfde weg doorloopt, worden de spectrale eigenschappen van monochromator en fotocel geëlimineerd.

Het gebruik van zeer gevoelige fotocellen (photomultiplier) maakt het mogelijk op deze manier te meten tot 2483 \AA . Men vindt de stralingsopbrengst van de lamp direct in watt/steradiaal.

Summary

For the measurement of the spectral energy distribution of the Krefft mercury vapour lamp a new technique has been developed.

The main features are the conversion of the image of the lamp by means of a rotating mirror into a cylindrical surface with a homogenous time average of radiant density and the simultaneous registration of the spectrum of this surface with a number of intensity marks from an incandescent tungsten strip.

As the optical paths of both radiations are exactly the same, spectral characteristics of monochromator and photocell are cancelled out.

By the use of adequate photomultiplier cells measurements may be extended down to 2483 \AA . The radiation output of the lamp is found immediately in watt/steradian.

METING VAN DE SPECTRALE ENERGIEVERDELING VAN DE STANDAARD
KWIKLAMP VAN KREFFT VOLGENS EEN NIEUWE METHODE

1. Inleiding

In de ultraviolette stralingstherapie worden vele typen van stralingsbronnen toegepast die soms zeer uiteenlopende spectrale eigenschappen en daaraan inherente verschillen in biologische uitwerking vertonen. Om deze reden propageert de Commission Internationale de l'Eclairage de ijking van alle voor medische doeleinden bestemde bronnen van ultraviolette straling¹⁾. Hierbij doet zich het bezwaar voor dat voor een dergelijke ijking uitgebreide en tijdrovende metingen noodzakelijk zijn. Daar voor medische toepassing bijna uitsluitend kwiklampen worden gebruikt zouden de meeste ijkingen aanzienlijk vereenvoudigd kunnen worden indien de mogelijkheid bestond de spectrale energieverdeling van deze lampen te bepalen door vergelijking met een standaardkwiklamp. Van de hiertoe benodigde standaardkwiklamp wordt geëist, dat de spectrale energieverdeling reproduceerbaar en bekend is.

Reeds in 1937 is door Krefft c.s. een hogedruk kwiklamp beschreven die aan deze eisen zou voldoen. Volgens de door deze auteurs gegeven voorschriften moet de lamp verticaal worden opgesteld met de anode beneden, en branden op een gelijkspanning van 250 V, terwijl een zodanige weerstand is voorgeschakeld, dat het netto opgenomen vermogen 250 W bedraagt. Uit metingen aan een viertal lampen van dit type, afkomstig van de N.V. Philips Gloeilampenfabrieken bleek dat het voorschrift van Krefft geen gelijke stralingsopbrengst van de vier lampen waarborgde. De samenstelling van de straling bij de vier lampen was daarentegen tot op 2% dezelfde. De brandspanning lag bij het voorgeschreven vermogen bij alle vier de lampen tussen 120 en 130 V.

Individuele ijking van de lampen is dus noodzakelijk. Afwijkend van de voorschriften werd deze uitgevoerd bij een stroomsterkte van 2,00 A, omdat aan dit voorschrift veel eenvoudiger is te voldoen en omdat wegens de kans op een variabele kathodeval de constante stroomsterkte wellicht ook principieel de voorkeur verdient. Het opgenomen vermogen wijkt bij deze stroomsterkte slechts weinig af van 250 W. Voor het constant houden van de stroomsterkte werd gebruik gemaakt van een variatorbuis Philips 1913, waarmede fluctuaties in de netspanning tot 8 V konden worden opgevangen (zie fig 1)

¹⁾ Mededeling no 7 Commissie U.V.straling N.S.v.V. en T.N.O.-, tevens intern rapport N.V. K.E.H.A.

2. Meetmethode

2.1 Inleiding

De meest gangbare methode voor het meten van de spectrale energieverdeling van een lamp is die waarbij gebruik gemaakt wordt van een monochromator en een fotocel. Voor een rechtstreekse bepaling zou men zowel met de absorptie en verstrooiing in de monochromator als met de gevoeligheid van de fotocel rekening moeten houden. Deze zijn op a priori niet bekende wijze afhankelijk van de golflengte. Het bepalen van deze grootheden vraagt een uitgebreid onderzoek. Het verdient daarom de voorkeur de combinatie van monochromator en fotocel te gebruiken voor het vergelijken van het te onderzoeken spectrum met dat van een stralingsbron waarvan de spectrale energieverdeling reeds bekend is. We behoeven dan de stralingsverliezen en de spectrale gevoeligheid van de fotocel niet te kennen.

De als vergelijkingslichtbron gebruikte wolfraambandlamp heeft het bezwaar dat in het ultraviolette golflengtegebied slechts weinig straling wordt uitgezonden zodat een aanzienlijke versterking van de fotostroom nodig is. De zelfversterkende fotocellen (photomultiplier) waarin door secundaire emissie de fotostroom 10^5 tot 10^6 maal wordt versterkt bleken het meest geschikt.

Hoewel de gebruikte hulpmiddelen in beginsel dezelfde zijn als bij de reeds eerder beschreven metingen (zie med.2) zijn toch enige wijzigingen in de methode aangebracht die niet alleen een nauwkeuriger meting toelaten, maar het tevens mogelijk maken de spectrale energieverdeling rechtstreeks te bepalen in absolute eenheden. De stralingsmeting met de thermozuil (zie med.3) die gebruikt werd om relatieve sterkten van de spectraallijnen tot hun absolute waarden te herleiden wordt hierdoor overbodig en kan eventueel dienen voor een onafhankelijke controle van de gevonden resultaten.

Ter toelichting volgt hier een overzicht van de voor de toegepaste meetmethode belangrijke eigenschappen van de lampen en de gebruikte meetinstrumenten.

2.2 De hogedrukkwiklamp van Krefft

Het spectrum van deze lamp bestaat uit een aantal spectraallijnen en een in het algemeen zwakke continue achtergrond. Alleen in de nabijheid van de omgekeerde lijn $\lambda = 2357 \text{ \AA}$ is het continuum zo sterk, dat de scheiding van lijnen en continuum bemoeilijkt wordt.

Het niet afgeschermd gedeelte van de ontleding is 80 mm lang. Over deze lengte blijft de per cm uitgezonden hoeveelheid straling tot op 1 à 2% constant.

Daar het de bedoeling is de straling van de gehele lamp te meten is het niet geoorloofd de lamp af te beelden op de intreespleet van de monochromator; men zou dan de spectrale energieverdeling meten van het op de spleet afgebeelde gedeelte van de ontleding.

2.3 De wolfraambandlamp

In tegenstelling met het spectrum van de kwiklamp is dat van de wolfraambandlamp continu. De spectrale energieverdeling van de uitgezonden straling wordt bepaald door de temperatuur van het bandje. Op deze energieverdeling moet nog een correctie worden aangebracht wegens de verliezen in het kwartsvenster van de lamp. Bij kleinere golflengten wordt de intensiteit van de straling zo gering, dat het noodzakelijk is het bandje op de intreespleet af te beelden om nog een meetbare hoeveelheid straling op de kathode van de fotocel te krijgen. Bij de hoogste toegelaten temperatuur van de bandlamp is de stralingsenergie per Å aan het kortgolvlige einde van het te onderzoeken golflengtegebied enige duizenden malen zwakker dan aan het andere einde.

2.4 De monochromator

De dubbele monochromator volgens van Cittert heeft het voordeel dat door de tweevoudige ontleding de doorgelaten straling een grote spectrale zuiverheid bezit.

Daar staat tegenover dat door het grote aantal instelknoppen de nauwkeurige reproductie van een bepaalde instelling moeilijk te realiseren is. Men kan het ontstaan van fouten door het veranderen van de instelling beperken door de te vergelijken spectra niet na elkaar te onderzoeken maar ze punt voor punt te vergelijken.

Verder zijn de stralingsverliezen in de monochromator niet alleen afhankelijk van de golflengte maar ook van de weg die door de straling doorlopen wordt. Wil men betrouwbare metingen doen dan is het dus noodzakelijk dat de straling van beide lampen in de monochromator dezelfde weg volgt.

De kwartslenzen in de monochromator¹⁾ die tot taak hebben de door de prisma's passerende bundel evenwijdig te maken zijn niet achromatisch. Ze moeten dus voortdurend zo worden bijgesteld, dat de spleten in het brandpunt van de lenzen blijven. Dit maakt het punt voor punt onderzoeken van een spectrum tot een zeer tijdrovend werk; bij een spleetwijdte van 0,1 mm zouden ongeveer 150 verschillende instellingen nodig zijn om het golflengtegebied tussen 6000 en 2500 Å af te tasten.

2.5 De fotocel

Bij de fotocel wordt de plaatselijke gevoeligheid van het kathodeoppervlak zowel beheerst door de eigenschappen van de emitterende laag als door de geometrische situatie²⁾). Hierdoor wordt een sterke ongelijkmatigheid veroorzaakt zodat in nog hogere mate dan bij de monochromator de eis wordt gesteld, dat de straling van beide bronnen dezelfde weg volgt en de kathode op dezelfde plaats treft.

De versterkingsfactor neemt reeds bij een kleine vermeerdering van de aangelegde spanning aanzienlijk toe. Om te voorkomen dat hierdoor fouten worden gemaakt, is het gewenst de beide spectra

¹⁾ Kwartsdubbelmonochromator, fabrikaat KIPP en Zonen.

²⁾ E.W. PETERSON en D.H. HOLLAND. J.O.S.A. 4 - 253 - 1950

niet na elkaar maar gelijktijdig te meten.

De vermoeidheidsverschijnselen die bij deze cellen op treden wanneer ze gedurende enige tijd gebruikt zijn bestaan uit een geleidelijke afnemng van de gevoeligheid en staan dus op een lijn met de gevolgen van een niet constante spanning.

Ook het geleidelijk opwarmen van de potentiometerweerstand, met behulp waarvan de nodige deelspanningen worden verkregen kan van invloed zijn op de gevoeligheid. Wanneer nl. deze spanningen zouden veranderen verandert in het algemeen ook de versterkingsfactor, hoewel de totale spanning dezelfde blijft.

Ondanks de zeer geringe aanwijstijd van de cel wordt door de traagheid van de galvanometer de stroomsterkte over een langere tijd (ongeveer 2 sec.) gemiddeld¹⁾.

De nulstroom van de fotocel is in zoverre hinderlijk dat daardoor bij verandering van de gevoeligheid van de galvanometerschakeling het nulpunt verplaatst wordt. De fluctuaties van de nulstroom zijn evenwel niet merkbaar.

2.6 Eisen waaraan de meetinrichting moet voldoen

Rekening houdend met de in het voorgaande vermelde eigenschappen dient men aan de meetinrichting de volgende eisen te stellen:

a. De bandlamp moet worden afgebeeld terwijl van de kwiklamp de totale straling gemeten moet worden. Dit wordt bereikt door toepassing van een verticaal opgestelde spiegel die om een verticale as draait. Het door deze spiegel gevormde beeld van de kwiklamp Kr doorloopt een cylinderoppervlak waarvan de straal gelijk is aan de afstand van de lamp tot de draaiingsas en de hoogte gelijk aan die van de lamp, dus 80 mm. Daar de straling van de lamp gelijkmatig verdeeld is over de hoogte zal dit cylindervlak ook een gelijkmatige uitstralingsdichtheid bezitten, wanneer deze, zoals geschiedt met de gebruikte galvanometer, over een voldoende lange tijd gemiddeld wordt.

Hiermee is het probleem teruggebracht tot het vergelijken van twee stralende oppervlakken. Via dezelfde spiegel kan het wolfraambandje door een lenzenstelsel worden afgebeeld op de intreespleet van de monochromator M (zie fig 2). Uiteraard geschiedt dit bij stilstaande spiegel. Om de spiegel is een huis H aangebracht voorzien van enige openingen. De opening waaruit de straling naar buiten treedt, vormt een diafragma ter begrenzing van de bundel. Een halve cylinder van messing C die draaibaar om het huis is aangebracht, maakt het mogelijk of de straling van de bandlamp, of (via de draaiende spiegel) de straling van de kwiklamp toe te laten. In de figuur is aangegeven wat de monochromator en dus ook de fotocel ziet resp. van het wolfraambandje en het cylinderoppervlak.

¹⁾ Wanneer we de straling periodiek onderscheppen met een roterende sectorschijf zal dan ook reeds bij lage toerentallen de aanwijzing, evenredig zijn met de doorlatingsfactor van de schijf, ongeacht het al of niet lineair zijn van de fotocel.

Het virtuele cylinderoppervlak bevindt zich niet zoals het wolfraambandje in het focus van het lenzensysteem. Daar de uitstraling per oppervlakteëenheid vergeleken wordt is dat geen bezwaar, indien slechts het oppervlak de openingskegel van het meetinstrument geheel vult.

In beide gevallen zijn er reflectieverliezen aan de spiegel. Deze zijn echter gelijk, te meer omdat gezorgd is dat bij beide lampen de hoek van inval bij de waarneming ongeveer 45° bedraagt.

b. Het is nodig dat de straling van beide bronnen in de monochromator langs dezelfde weg naar hetzelfde gedeelte van de fotokathode gaat. Hieraan is voldaan doordat een diafragma de bundel begrenst. Men kan dit inzien door na te gaan van welke punten van het kathodeoppervlak de in omgekeerde richting lopende straling door het diafragma kan passeren. Het experimentele bewijs krijgt men door achter in de monochromator te kijken de lichtvlek afkomstig van de bandlamp heeft dezelfde gedaante als die van de kwiklamp en beide zijn gelijkmatig van helderheid.

c. Het is gewenst de tijdrovende instelling met de hand te vervangen door een mechanische bediening van de monochromator. Daar de verplaatsingen van de middenspleet en de beide lenzensystemen evenredig zijn kan dit op betrekkelijk eenvoudige wijze geschieden. De monochromator is daartoe geplaatst op een voetstuk, dat drie synchroonmotoren draagt. De middelste daarvan drijft via een paar tandwielen de schroef waarmee de middenspleet verplaatst wordt. De beide andere regelen door het vieren van een snaar de beweging van de lenzen. Deze beweging komt tot stand doordat enige veren zich ontspannen.

Op deze wijze is de monochromator, terwijl het spectrum wordt doorlopen voortdurend scherp gesteld, zodat de mogelijkheid is verkregen de aanwijzing van de galvanometer te registreren.

Het voordeel hiervan blijkt duidelijk in fig 3. Bij registratie verkrijgt men de kromme 1 en de nullijn 2. Men kan de spectraallijn λ_1 van het continuum scheiden door het aanbrengen van de gestippelde lijn (fig 3a).

Bij de oude methode (fig 3b) wordt de breedte van de middenspleet gevarieerd en meten we alleen de intensiteiten overeenkomend met de oppervlakken die tussen de opeenvolgende lijnenparen A, 2A, 3A, 4A liggen ingesloten. De intensiteit van de lijn λ_1 wordt bepaald door naar 0 te extrapoleren (stippellijn). De gedaante van de kromme kan men op deze wijze niet achterhalen, zodat het zwakke lijntje λ_2 ten onrechte bij het continuum wordt gerekend, waardoor een te lage waarde wordt gevonden voor λ_1 . Bovendien geeft het manoeuvreren met de middenspleet op zichzelf reeds aanleiding tot het maken van fouten.

d. Daar de gevoeligheid van de fotocel door verschillende oorzaken (langzame verandering van de bedrijfsspanning, vermoeidheidsverschijnselen, warm worden van de spanningsdeler met dienengevolge enige defocussing in de fotocel) niet steeds constant blijft is het nodig de spectra van de kwiklamp en de wolfraambandlamp gelijktijdig te registreren. Zou men dit niet doen dan zou men niet zeker zijn dat bij de beide spectra bij dezelfde golflengte ook met dezelfde gevoeligheid wordt gemeten.

De registratie van het spectrum van de bandlamp levert een continue gladde kromme. Het is voldoende als we van deze kromme

een zodanig aantal punten registreren dat we de aanwijzing van de galvanometer in de tussengelegen gebieden door interpolatie kunnen vinden. Aan deze eis wordt voldaan wanneer per mm verplaatsing van de middenspleet 5 punten geregistreerd worden. Voor dit doel is een inrichting aangebracht die op regelmatige afstanden de registratie tot stilstand brengt.

Met de hand wordt dan de spiegel zo geplaatst, dat de bandlamp afgebeeld is op de intreespleet. Om te voorkomen dat het registreerpapier bij het onderbreken van de beweging wordt overbelicht, is de galvanometerlamp zo geschakeld, dat de spanning bij het uitschakelen van de motoren zover wordt vermindert, dat de lichtstreep nog wel zichtbaar is, maar niet meer wordt geregistreerd. Voor het opnemen van de nulstand en van de punten uit het spectrum van de bandlamp moet een knop ingedrukt worden waardoor het galvanometerlampje even de volle spanning krijgt.

e. Bij het overgaan op een andere gevoeligheid van de galvanometerschakeling (wat nodig is omdat de spectraallijnen belangrijk in sterkte verschillen en ook omdat de straling van de bandlamp bij kleinere golflengten belangrijk minder wordt) is het vaak een bezwaar dat daardoor ook de nulstand verandert. Dit kon ondervangen worden door de goed constante nulstroom te compenseren volgens de in fig 4 weergegeven schakeling. Hierdoor komen alle nulpunten op één lijn te liggen.

3. Metingen

3.1 Inleiding

Voor de registratie van het gehele golflengtegebied tussen 6000 en 2400 Å zijn vier stroken papier nodig, wanneer men een behoorlijke dispersie verlangt. Het spectrum kan dus niet in eens geregistreerd worden. De noodzakelijke onderbrekingen kunnen worden benut om de stroom door de wolfraambandlamp zo te kiezen dat steeds een geschikte uitslag van de galvanometer wordt verkregen. Het bleek tenslotte voordelen te hebben nog iets verder te gaan en de spectraallijnen afzonderlijk of in kleine groepjes van dicht bij elkaar gelegen lijnen op te nemen, waardoor bij elke golflengte de gunstigste stroomsterkte van de bandlamp kon worden toegepast.

In fig 6a is een gedeelte van een spectrogram weergegeven. De getrokken lijn correspondeert met de stralingsdichtheid van het virtuele cylinderoppervlak; de punten met de stralingsdichtheid van het wolfraambandje. Deze spectra zijn afzonderlijk weergegeven in fig 6b en 6c.

Bij het bepalen van de spectrale energieverdeling moeten we het continue spectrum van de kwiklamp scheiden van de spectraallijnen. In fig 6c is dit geschied door het aanbrengen van de gestippelde lijnen.

3.2 Meting van de continue achtergrond van het kwikspectrum

De verhouding van de galvanometer aanwijzingen geeft de verhouding van de stralingsdichtheden van het cylinderoppervlak en het wolfraambandje.

Voor dit laatste bestaan tabellen die de uitgestraalde energie geven in erg/cm² sec. Å sterad, gebaseerd op de door HAMAKER gemeten emissiecoëfficiënten. De stralingsdichtheid van het cylinderoppervlak kan dus op zeer eenvoudige wijze bepaald worden.

De door de lamp uitgezonden straling is nu te berekenen op grond van de volgende beschouwing.

De draaiende spiegel verdeelt de door de lamp uitgezonden straling gelijkmatig over een oppervlak,

$$A = 2\pi r h, \quad (1)$$

waarin r = afstand van de lamp tot de as van de spiegel

h = hoogte zichtbare gedeelte van de ontlading

Dit oppervlak wordt doorlopen gedurende een halve omwenteling van de spiegel, gedurende de overige tijd gebeurt er niets (er is gezorgd dat via de achterzijde van de spiegel geen straling in de monochromator valt). We moeten dus de stralingsdichtheid van het cylinderoppervlak vermenigvuldigen met $2A$ om de door de lamp bij de golflengte λ uitgezonden hoeveelheid stralingsenergie $I \lambda$ te vinden in erg/sterad Å sec, of

$$I \lambda = \frac{2 A U_K}{U_w} \cdot E_w = \frac{4 \pi r h U_k E_w}{U_w} \quad (1)$$

Hierin is:

U_K = uitslag van de galvanometer bij de kwiklamp

U_w = idem bij de wolfraambandlamp

E_w = de door het wolfraambandje uitgezonden energie in erg/cm² sterad Å sec, alles bij de golflengte λ

Alle hierin voorkomende grootheden zijn op eenvoudige wijze te meten.

3.3 Meting van intensiteit van de spectraallijnen

De monochromatische straling van de spectraallijnen zou in het ideale geval op het registrogram door een enkele lijn voorgesteld worden. Doordat de spleten van de monochromator niet willekeurig nauw gemaakt kunnen worden, worden de lijnen verbreed tot gelijkbenige driehoeken, die door fouten in de afbeelding of ook doordat de straling niet geheel monochromatisch is (dubbele lijnen) meestal enigszins afgerond zijn en zelfs de klokvorm kunnen aannemen (zie fig 6c). Zolang de opstaande zijden nog een recht stuk bevatten wordt het oppervlak van deze figuren binnen een paar procent benaderd door het product van hoogte en half waarde breedte. Niettemin is om zo groot mogelijke nauwkeurigheid te bereiken het oppervlak steeds met de planimeter bepaald.

Het aldus gevonden oppervlak $O \lambda$ heeft slechts gedeeld te worden door $G \lambda$, de gevoeligheid van het apparaat bij de betrokken golflengte om de stralingsdichtheid te vinden van het door het beeld van de lamp doorlopen cylinderoppervlak.

Voor de berekening van $G \lambda$ wordt gebruik gemaakt van het geregistreerde spectrum van de bandlamp. Het verband tussen de uitslag van de galvanometer en de emissie van de bandlamp wordt

gegeven door:

$$U_w dX = E_\lambda G_\lambda d\lambda \quad (2)$$

waarin U_w = de uitslag van de galvanometer corresponderend met de straling van de bandlamp.

dX = de verplaatsing van de registreertrommel.

E_λ = emissie van het wolfraambandje in $\text{erg/cm}^2 \text{ sec}$.
 Δ sterad bij de golflengte λ .

G_λ = het aantal cm^2 in het geregistreerde spectrum dat overeenkomt met 1 $\text{erg/cm}^2 \text{ sterad sec}$.

$d\lambda$ = het met dX overeenkomend golflengteverschil.

Voor dit golflengteverschil geldt:

$$d\lambda = \frac{d\lambda}{dL} \cdot \frac{dX}{D} \cdot \Delta L \quad (3)$$

waarin $\frac{d\lambda}{dL}$ = aantal Δ per cm in het vlak van de middenspleet van de monochromator.

D = afstand van de punten op het spectrogram (zie fig 6).

en ΔL = de overeenkomstige verplaatsing van de middenspleet
 (= 0,02 cm).

Uit (2) en (3) leiden we af:

$$\frac{1}{G_\lambda} = \frac{E_\lambda \cdot \frac{d\lambda}{dL} \cdot \frac{dX}{D}}{50 U_\lambda dX} = \frac{E_\lambda \cdot \frac{d\lambda}{dL}}{50 U_\lambda \cdot D} \quad (4)$$

De stralingsdichtheid van het cylinderoppervlak in $\text{erg/cm}^2 \text{ sterad sec}$. voor een spectraallijn is dus gelijk aan

$$\frac{O_\lambda}{G_\lambda} = \frac{O_\lambda \cdot E_\lambda \frac{d\lambda}{dL}}{50 U_\lambda \cdot D} \quad (5)$$

Om de door de gehele lamp uitgezonden energie te vinden moet dit nog vermenigvuldigd worden met $4\pi r^2$. Dit leidt tot de uitdrukking

$$I_\lambda = \frac{4\pi r^2 O_\lambda \cdot E_\lambda \frac{d\lambda}{dL}}{50 U_\lambda \cdot D} = \frac{32\pi r \cdot O_\lambda E_\lambda \frac{d\lambda}{dL}}{50 U_\lambda \cdot D} \quad (6)$$

waarin I_λ = de uitgestraalde energie bij de golflengte in erg/sec. sterad .

r = afstand van de lamp tot de as van de spiegel in cm.

O_λ = door lijncontour ingesloten oppervlak in cm^2 .

E_λ = stralingsdichtheid van het wolfraambandje in $\text{erg/cm}^2 \text{ sec. sterad}$.

$\frac{d\lambda}{dL}$ = aantal Δ /cm in het, in het vlak van de middenspleet, gevormde spectrum.

U_{λ} = uitslag van de galvanometer in cm.

D = afstand merken in cm.

Van de in (6) voorkomende grootheden kunnen r , U_{λ} en D_{λ} met een lineaal worden gemeten, O_{λ} met de planimeter en E_{λ} wordt ontleend aan de op metingen van HAMAKER gebaseerde tabellen zodat alleen d_{λ}/dL nog bepaald moet worden.

3.4. Bepaling van het aantal \AA per cm

De bepaling van d_{λ}/dL , het aantal \AA per cm berust op de differentiatie van de kromme die het verband aangeeft tussen de stand L van de middenspleet en de doorgelaten golflengte. Bij de constructie van deze kromme doet zich de moeilijkheid voor dat weliswaar de golflengten van de lijnen in het kwikspectrum zeer nauwkeurig bekend zijn, maar dat de monochromator vaak twee dicht bij elkaar gelegen lijnen gelijktijdig laat passeren (bijv. 5770 en 5791 \AA), zodat toch geen nauwkeurige kromme kan worden verkregen. Met behulp van een aantal andere spectra kan met het aantal geschikte spectraallijnen nog wat uitbreiden, maar toch blijft het moeilijk om de verkregen kromme te differentiëren.

Het bleek evenwel dat door L uit te zetten tegen $1/\lambda^2$ een in vrijwel het gehele onderzochte golflengtegebied rechte lijn werd verkregen, waardoor de bepaling van d_{λ}/dL aanzienlijk wordt vergemakkelijkt (zie fig 7).

Intussen is de op deze wijze verkregen verhouding d_{λ}/dL niet gelijk aan het aantal \AA per cm in het op de middenspleet afgebeelde spectrum. De onderlinge afstand van 2 spectraallijnen is namelijk niet gelijk aan de afstand waarover de middenspleet verplaatst moet worden om eerst de ene en daarna de andere lijn door te laten. Dit blijkt uit fig 8a, waarin is aangegeven hoe zich tegelijk met de middenspleet (1) tengevolge van de beweging van de lenzen (2) ook de spectraallijnen (3 en 4) verplaatsen. Er moet dus een correctie worden aangebracht op het uit de verplaatsing van de middenspleet MS berekende aantal \AA per cm. Deze correctie is het grootst aan de uiteinden van het spectrum. De aan te brengen correctiefactoren zijn weergegeven in fig 8b.

3.5. Meetresultaten

Met de hierboven beschreven methode werd van 2 lampen de spectrale energieverdeling gemeten in een richting loodrecht op de as van de lamp. De voor de spectrallijnen gevonden waarden zijn weergegeven in tabel I.

Tabel I.

Golflengte in Å	Bestralingssterkte in mW/sterad		verhouding lamp 12/ lamp 11	
	lamp 11	lamp 12	berekend	rechtstr. gemeten ⁹⁾
5770-91	526	491	0,93	0,92
5461	600	573	0,96	0,92
4916	8	-	-	-
4358	496	447	0,90	0,93
4047-78	305	283	0,93	0,95
3906	7	-	-	-
3663-50	698	658	0,94	0,93
3341	53,4	46,8	0,88	0,92
3132	462	414	0,90	0,93
3022	200	177	0,89	0,91
2967	107	98	0,92	0,91
2925	10,9	9,8	0,90	0,91
2894	40,5	38,2	0,94	0,90
2804	75,1	69,9	0,93	0,90
2753	24,5	22,7	0,93	0,89
2699	30,3	26,8	0,89	0,89
2650	165	143	0,87	0,88
2483	60,9	56,8	0,93	0,87
gebied tussen 2620 en 2520	509	460	0,91	0,90

In de laatste beide kolommen is de verhouding van de bestralingssterkten van deze lampen ~~getoetst~~ aan de vroeger verrichte rechtstreekse metingen, waarbij een gemiddelde afwijking wordt gevonden van minder dan $2\frac{1}{2}\%$.

Het continue spectrum van lamp 11 is weergegeven in tabel II. De nauwkeurigheid van deze metingen is geringer, daar de lijnen hier een storing opleveren die groot is ten opzichte van de te meten stralingsenergie. De enkele punten die gemeten zijn bij lamp 12 zijn dan ook niet toereikend om tot een verschil van de beide spectra te concluderen.

⁹⁾ Zie mededeling no 7 Commissie UV-straling N.S.v.V. en T.N.O.

Tabel II.

Golflengte in Å	Stralingssterkte van het continuüm in $\mu\text{W}/\text{Å}$ sterad.	Golflengte in Å	Stralingssterkte van het continuüm in $\mu\text{W}/\text{Å}$ sterad.
6000	58	3400	330
5800	55	3300	370
5600	52	3200	360
5400	49	3100	330
5200	48	3000	290
5000	48	2950	280
4800	48	2900	260
4600	48	2850	250
4400	51	2800	250
4200	55	2750	280
4000	54	2700	440
3900	52	2650	850
3800	67	2600	1500
3700	97	2550	-
3600	145	2500	500
3500	240	2450	650

3.6 Bereikte nauwkeurigheid

Door verschillende oorzaken kunnen bij de meting fouten geïntroduceerd worden, die we onderscheiden in systematische fouten en toevallige fouten. Om een indruk te krijgen van de bij de meting bereikte nauwkeurigheid moet een schatting gemaakt worden van de grootte van de mogelijke fouten.

3.6.1 Systematische fouten

Deze fouten ontstaan door het gebruik van onjuiste gegevens of een onjuiste meettechniek. De reproduceerbaarheid van de meetresultaten wordt er niet door aangetast.

a. De temperatuur van de bandlamp is gegeven als functie van de stroomsterkte. Wanneer de temperatuur afwijkt van de opgegeven waarde zal bij de berekening van de door de lamp uitgestraalde energie een fout gemaakt worden. De mogelijke fout wordt bij 2700°K geschat op 5° wat overeenkomt met een fout van 3% in de berekende emissie. Getracht is deze fout zoveel mogelijk te elimineren door voor zover daarvoor gelegenheid was steeds te meten bij verschillende temperaturen van de bandlamp.

b. De door het wolfraambandje in een gegeven golflengtegebied uitgestraalde energie wordt gevonden door de overeenkomstige emissie van een zwart lichaam van dezelfde temperatuur te vermenigvuldigen met de emissiecoëfficiënt van wolfram. Deze grootte is een functie van de golflengte en de temperatuur. Voor de waarden van de emissiecoëfficiënten worden verschillende getallen opgegeven. Hier is gebruik gemaakt van de coëfficiënten volgens HAMAKER, die door thans door DE VOS verrichte onderzoeken slechts ten dele bevestigd schijnen te worden. Indien

betrouwbaarder waarden bekend worden kan een correctie worden aangebracht op de meetresultaten.

c. Het kwartsvenster van de bandlamp is oorzaak dat een gedeelte van de straling verloren raakt. Daar deze verliezen niet bekend zijn, en ook niet gemeten kunnen worden zonder de lamp te vernielen is voor deze verliezen een compensatie aangebracht door ook in de weg van de straling van de bandlamp een kwartsvenster aan te brengen (zie fig 2). Beneden 2600 Å begint naast verlies door reflectie ook verlies door absorptie op te treden en bestaat de kans dat kleine fouten (1 à 2%) gaan optreden.

d. De traagheid van de galvanometer die het voordeel biedt dat de methode van de draaiende spiegel gebruikt kan worden, is van de andere kant oorzaak dat het spectrum enigszins vertekend wordt. Dit heeft echter geen invloed op de met de spectraallijnen overeenkomende oppervlakken, behalve wanneer de registratie onderbroken wordt. De door de hierbij optredende discontinuïteiten (zie fig 5) veroorzaakte fouten zijn echter zeer klein, en bovendien tegengesteld gericht voor de dalende en stijgende delen van de registratiekromme. Bij de registratie van de bandlamp treedt dit effect niet op.

e. De niet-lineariteit van de galvanometer (tangens correctie) speelt slechts een geringe rol daar de maximale uitslag 10 cm bedraagt op een afstand van 100 cm. De grootste fout in de afzonderlijke spectra wordt daarbij 0,5%. Daar meestal met kleinere uitslagen wordt gewerkt en een zekere mate van compensatie optreedt schatten we de door deze oorzaak optredende fout op hoogstens 0,2%.

f. De lineariteit van de fotocel is een strikte eis voor de hiervoor beschreven meetmethode. Het is te verwachten dat de lineariteit het meest in het gedrang komt bij de registratie van de Krefftlamp met de draaiende spiegel.

De topwaarden van de anodestroom zijn in dit geval belangrijk groter dan de gemiddelde stroomsterkte. Dank zij de korte duur van deze lichtflitsen ($< 10^{-3}$ sec) worden de fotocel en de bijbehorende potentiometer niet overbelast. Met behulp van een condensator van 0,15 μ F wordt voorkomen dat de spanning tussen de 2 laatste dynoden van de fotocel gedurende de lichtflitsen te veel zou dalen.

De lineariteit is gecontroleerd bij draaiende spiegel door bij verschillende stroomsterkten van de bandlamp de uitslag van de galvanometer te bepalen. Ter verhoging van de meetnauwkeurigheid werd deze uitslag telkens gedurende enige seconden geregistreerd. De meting werd verricht bij 4800 Å. De resultaten zijn weergegeven in tabel III (zie ook fig 5).

Tabel III

T bandlamp K	E ₄₈₀₀	Uitslag mm	U/E
1755	8,72	1,5	0,172
1922	37,5	6,4	0,171
2073	116	20,2	0,174
2210	286	49,1	0,172
2335	582	101,5	0,174
2456	1090	187,5	0,172
2577	1935	326	0,168
2696	3220	513	0,160

Bij galvanometeruitslagen van 200 mm (volle gevoeligheid) bedraagt de gevonden afwijking van de lineariteit slechts 0,6%. Deze afwijking zal ten dele nog veroorzaakt worden door meetfouten. Eerst bij grotere uitslagen blijkt de gevoeligheid van de fotocel af te nemen. Om deze reden is steeds gezorgd dat de uitslag beneden de genoemde waarde blijft.

g. De toegepaste meetmethode berust op de gelijkmatige verdeling van de uitgezonden energie over de lengte van de Krefftlamp. Indien er afwijkingen ontstaan in deze verdeling zullen de meetresultaten daardoor beïnvloed worden.

Uit metingen bij verschillende golflengten is gebleken dat het uitgestraald vermogen per cm van de buis binnen 2% constant is.

Bij de metingen wordt het gemiddelde genomen van minstens 4 cm uit het midden van de buis. We mogen aannemen dat de fout hierdoor kleiner wordt dan 1%.

Wanneer we afzien van de sub 2 genoemde onzekerheid in de emissiecoëfficiënten, waarvoor de correctie na afloop van het onderzoek van de VOS kan worden aangebracht moeten we nog rekening houden met een mogelijke fout van ruim 3% door de overige onzekerheden.

3.6.2 Toevallige fouten

De toevallige fouten kunnen allerlei oorzaken hebben. Zij maken de meting onreproduceerbaar, maar hun invloed wordt verminderd door over een groter aantal afzonderlijke metingen te middelen. Als mogelijke oorzaken dienen genoemd te worden:

a. De fout bij de aflezing van de stroomsterkte door de bandlamp. De aflezing kan geschieden tot op $1/100$ A nauwkeurig. De temperatuur van de bandlamp is daardoor tot op 1° gedefinieerd en de emissie tot op 0,5%.

b. De stroom door de Krefftlamp is tot op 0,02 A nauwkeurig te regelen. De afwijkingen van de intensiteit zijn evenredig met de afwijkingen van de normale stroomsterkte en bedragen dus hoogstens 1%.

c. De registreertrommel wordt aangedreven door een asynchrone motor en gelijktijdig mechanisch geremd met de bedoeling de trommel zo snel mogelijk tot stilstand te brengen wanneer de registratie wordt onderbroken. Het blijkt dat de snelheid van de trommel daarbij niet geheel constant is maar in de verschillende intervallen tot 2 of 3% uiteenloopt. Daar de snelheid berekend wordt uit de afstand van de op de registreerstrook aangebrachte merken, wordt vanzelf met deze variabele snelheid rekening gehouden. De resterende fout is zeker een grootte orde kleiner.

d. De scherpstelling van de monochromator wordt automatisch geregeld doordat de bewegingen van de lenzen en de middenspleet via de synchroommotoren elektrisch gekoppeld zijn (zie afb 7).

Niettemin zullen er afwijkingen optreden door de volgende oorzaken:

1. De beginstand wordt met de hand ingesteld,
2. Bij het onderbreken van de registratie behoeft de uit-

loop van de motoren niet gelijk te zijn, zodat ze uit de pas kunnen raken. Dit blijkt evenwel geen nadelen op te leveren.

Bij kleine afwijkingen van de optimale scherpstelling zullen de lijnen in het kwikspectrum onscherp worden, maar evengoed zal dezelfde energieflex de middenspleet passeren zodat het oppervlak van de spectraallijn in eerste instantie niet beïnvloed wordt. Dit gaat pas veranderen indien het beeld van de intreespleet hoger wordt dan de uittreespleet van de monochromator, dus bij zeer grote onscherpte.

De invloed op het spectrum van de bandlamp is te vergelijken met die van een verbreding van de spleten; in beide gevallen wordt het oplossend vermogen minder. De doorgelaten energie blijft echter in eerste benadering dezelfde.

Berekening leverde voor een ongunstig geval een mogelijke fout $\frac{1}{4}\%$.

e. De afstandsmeting van de lamp tot de spiegel kan tot op 1 mm nauwkeurig geschieden met behulp van een lineaal en een schietlood. De grootte van deze afstand lag altijd in de buurt van 250 mm. Daar de afstand tot de eerste macht voorkomt in de berekening van de intensiteit wordt dus een fout gemaakt kleiner dan $\frac{1}{8}\%$.

De afstandsmetingen op de registreerstrook zijn evenals het planimetrenen geschied met een nauwkeurigheid die binnen 1% ligt.

De hierboven genoemde toevallige fouten gelden voor de afzonderlijke metingen. Door over meerdere metingen te middelen krijgen we een resterende onnauwkeurigheid van minder dan 2%, zoals blijkt uit de goede overeenstemming van de kolommen 4 en 5 in tabel I. Het verschil van beide kolommen ontstaat door de fouten in de afzonderlijke intensiteitsmetingen van de twee lampen en de onnauwkeurigheid bij de directe bepaling van de verhouding, welke laatste ca. 1% bedraagt.

Bij de meting van het continuum is deze nauwkeurigheid lang niet bereikt, door de storende invloed van de sterke spectraallijnen. We moeten hier rekenen met een fout die een orde groter is. Wegens de geringe bijdrage van continuum tot de totale straling van de lamp ($\ll 10\%$) is deze geringere nauwkeurigheid evenwel toelaatbaar.

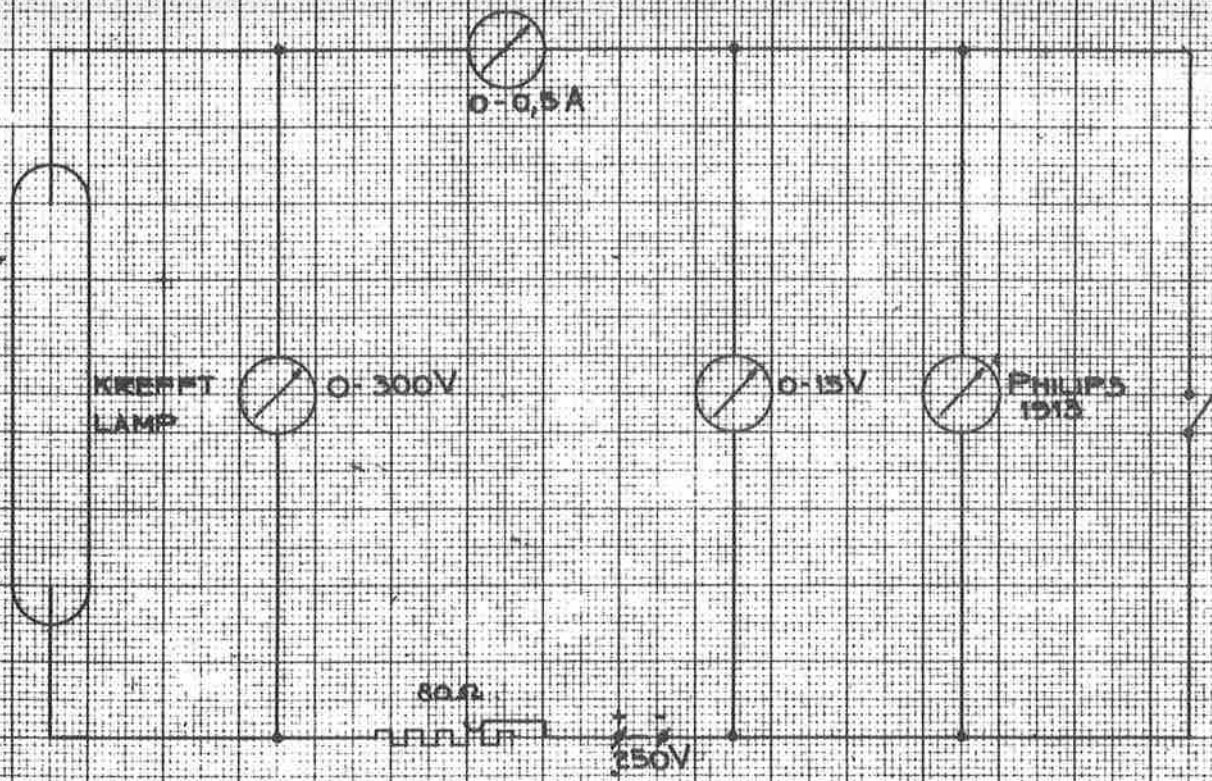


FIG 1^a

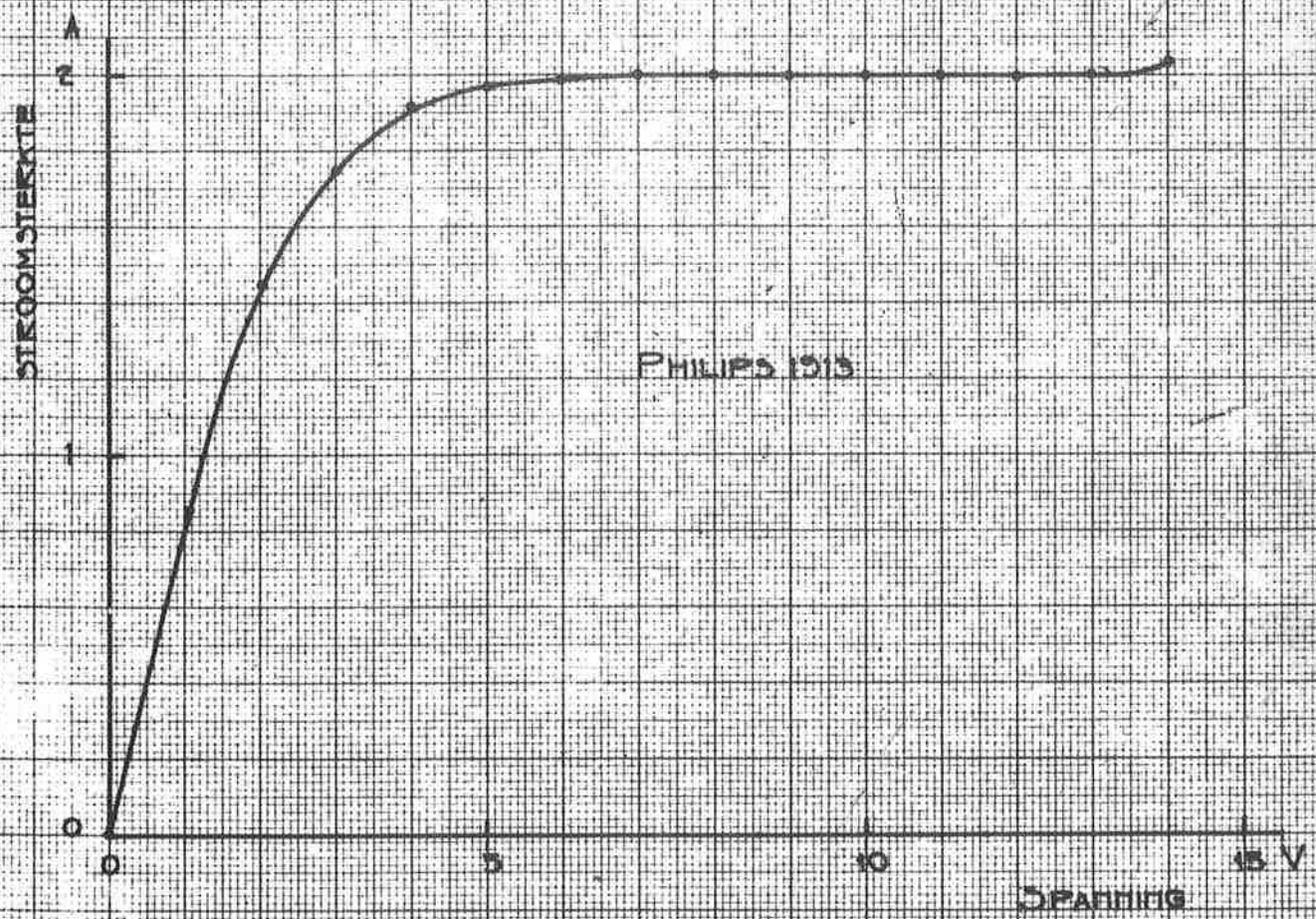


FIG 1^b

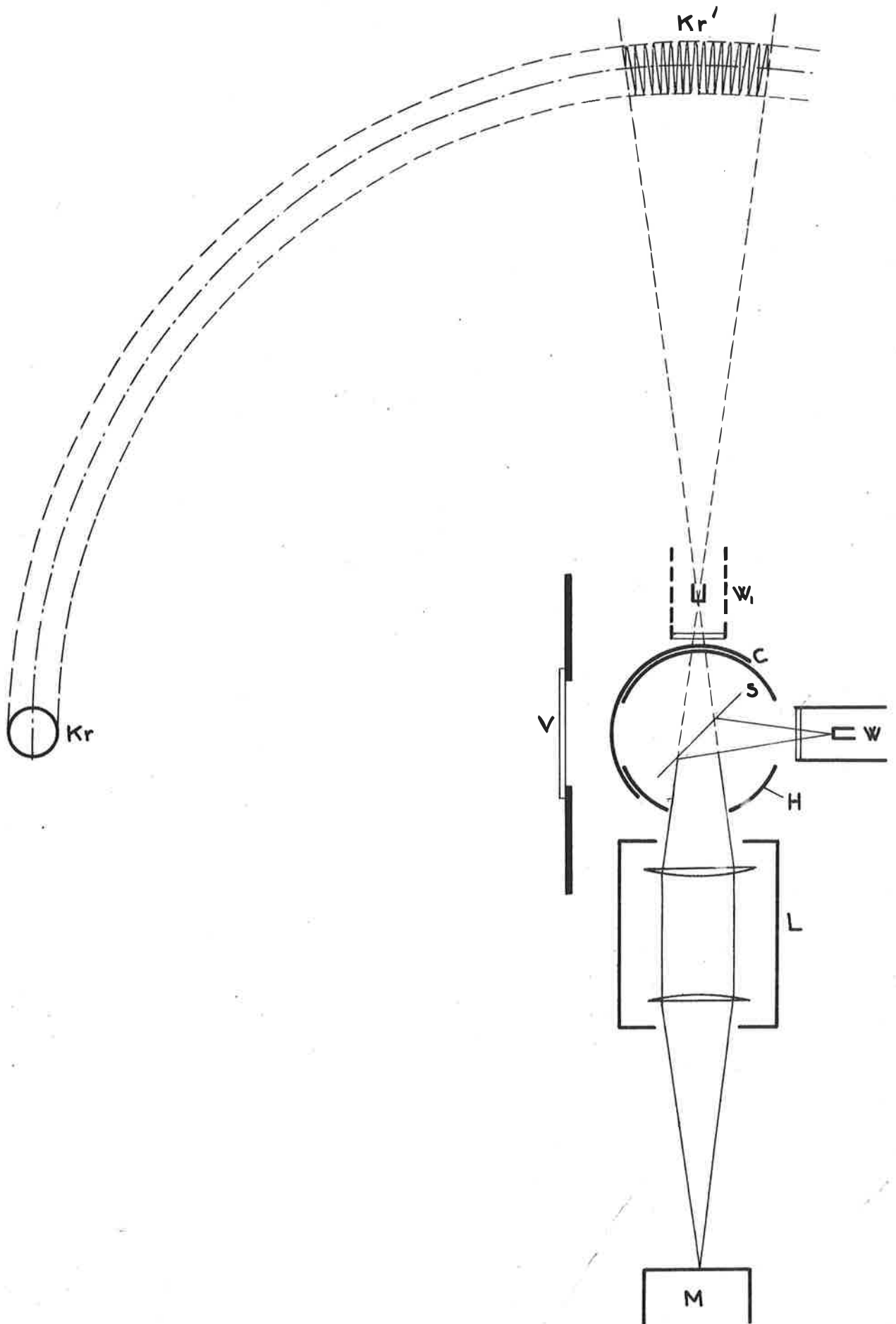


FIG. 2.

KEMA ARNHEM	Get: <i>Schreier</i>	Gec:	Beh. bij INTERN RAPPORT N ^o 121/51	Bestaat uit:	Formaat	Nummer E206-02
	10-6-51			A0; A1; A2; 2A3; 5A4;	A 4	

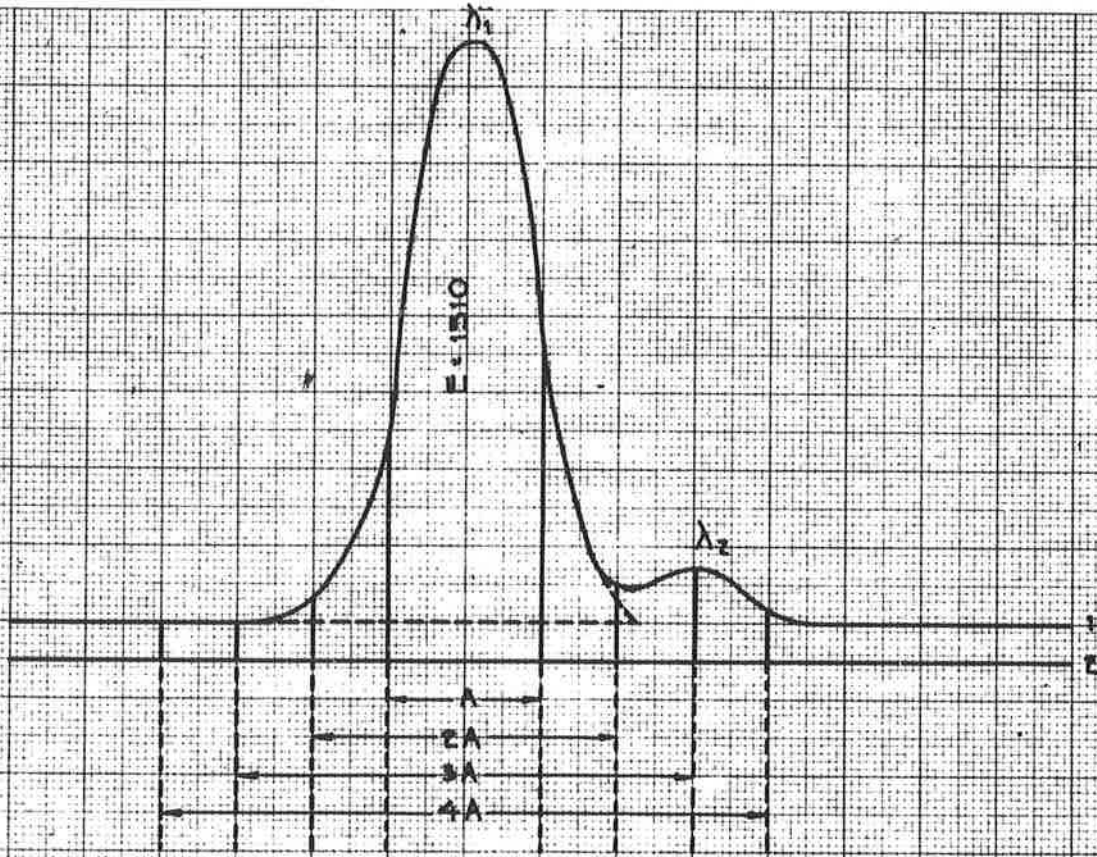


FIG. 3^B

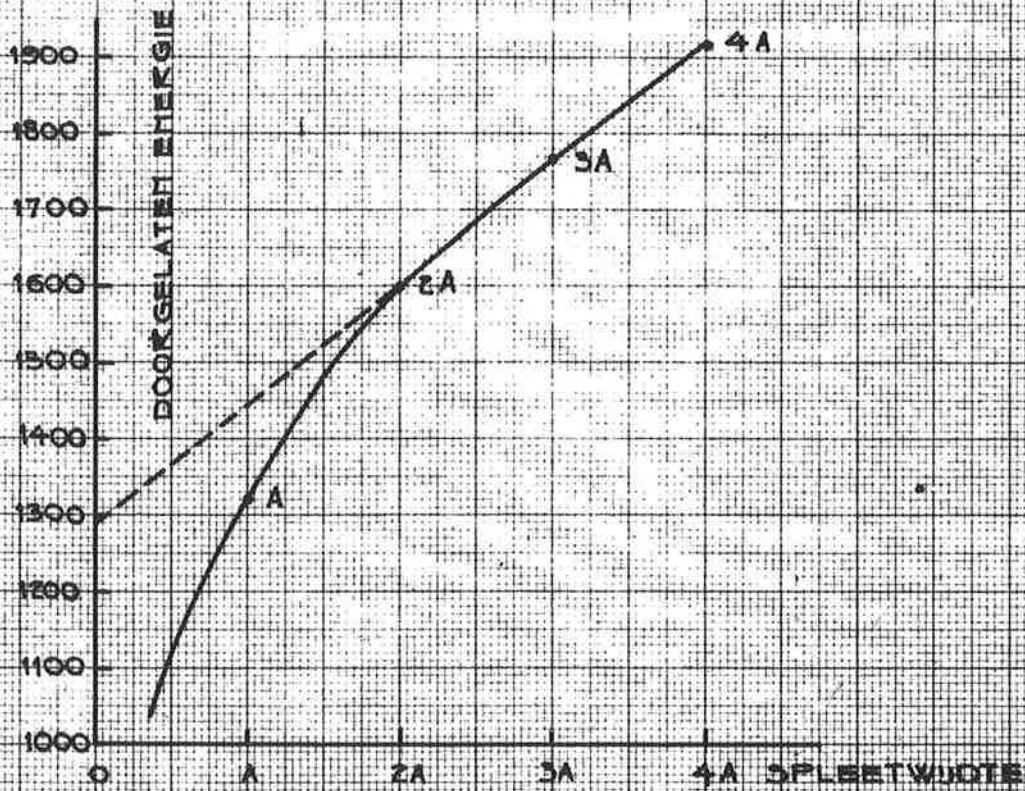


FIG. 3^b

Y-RIJKE MULTIPLIEK

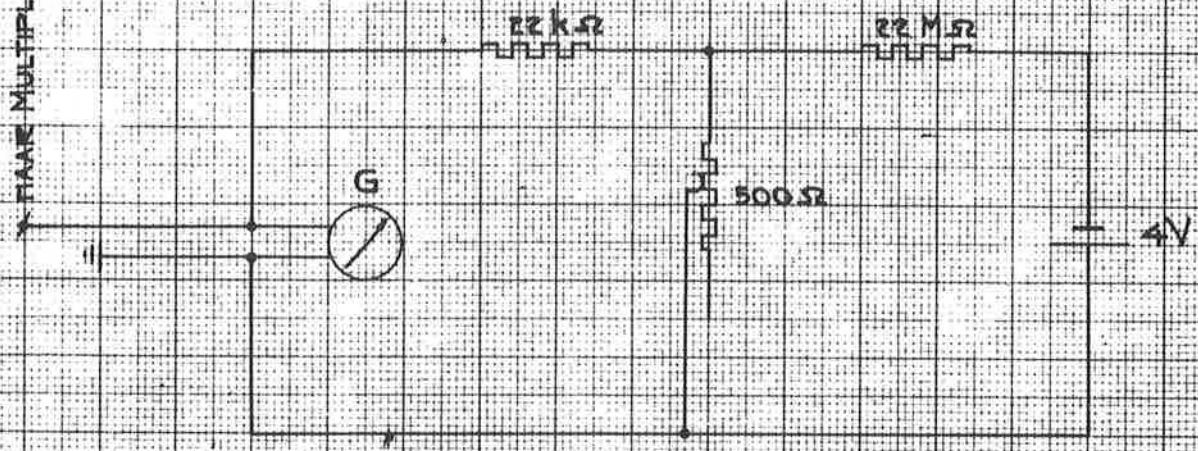


FIG. 4

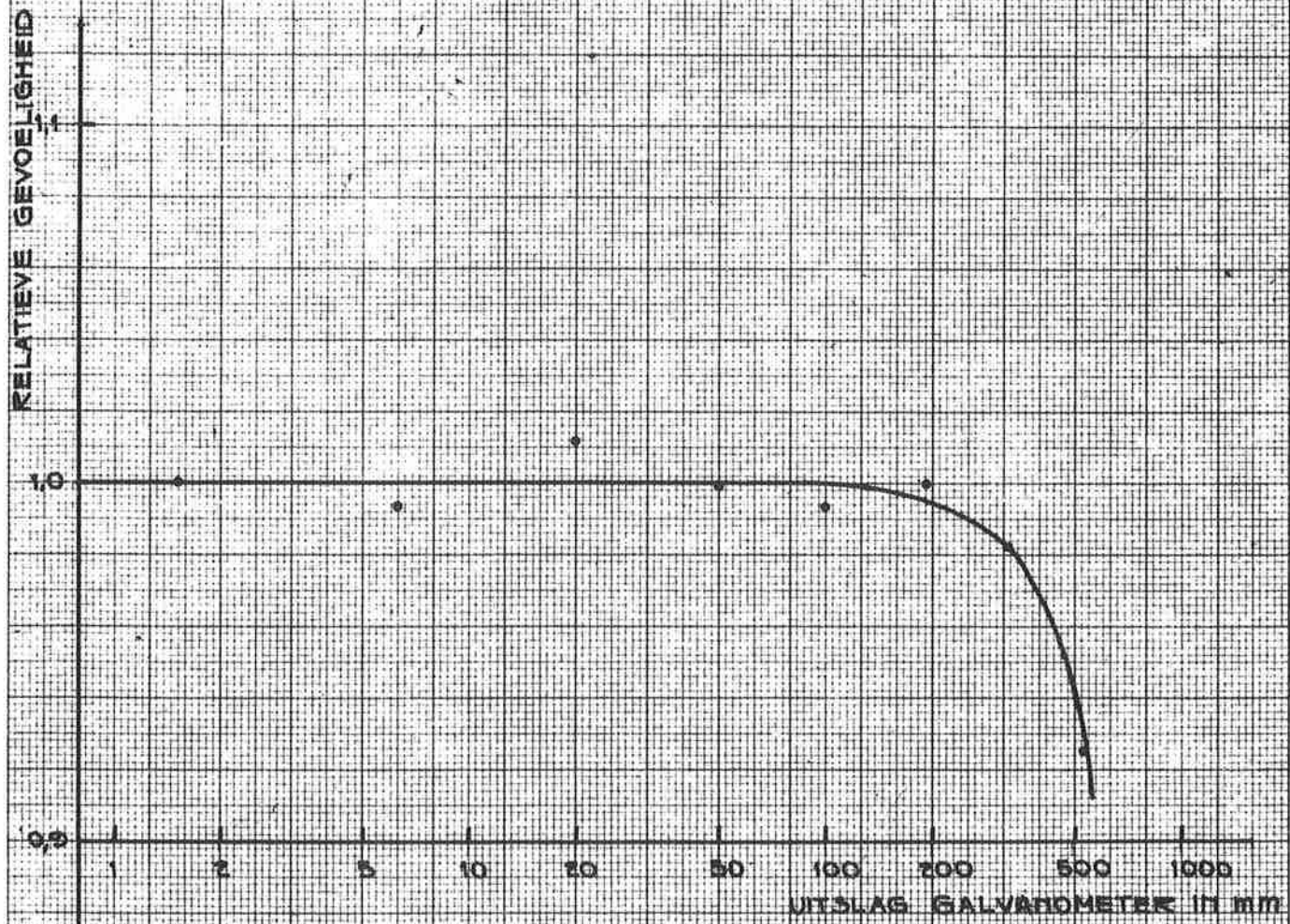


FIG. 5

FIG 6^a

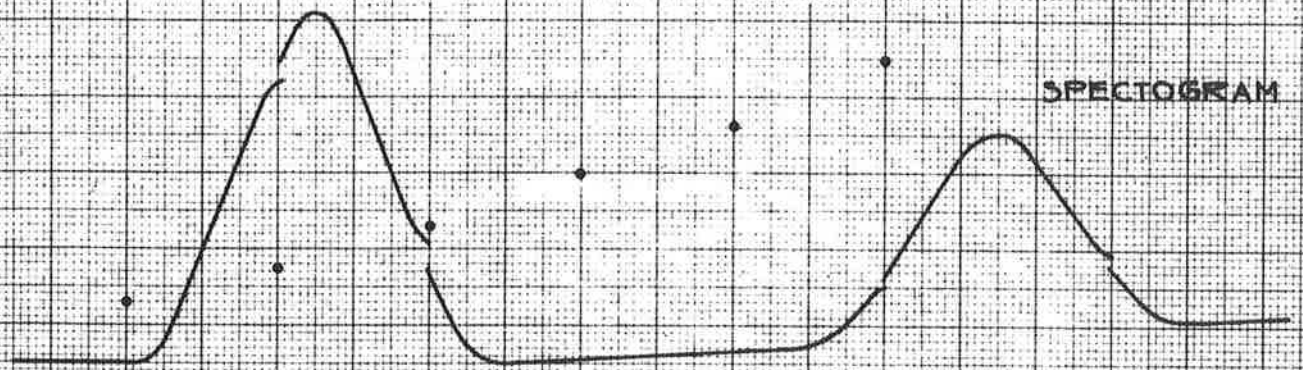


FIG 6^b

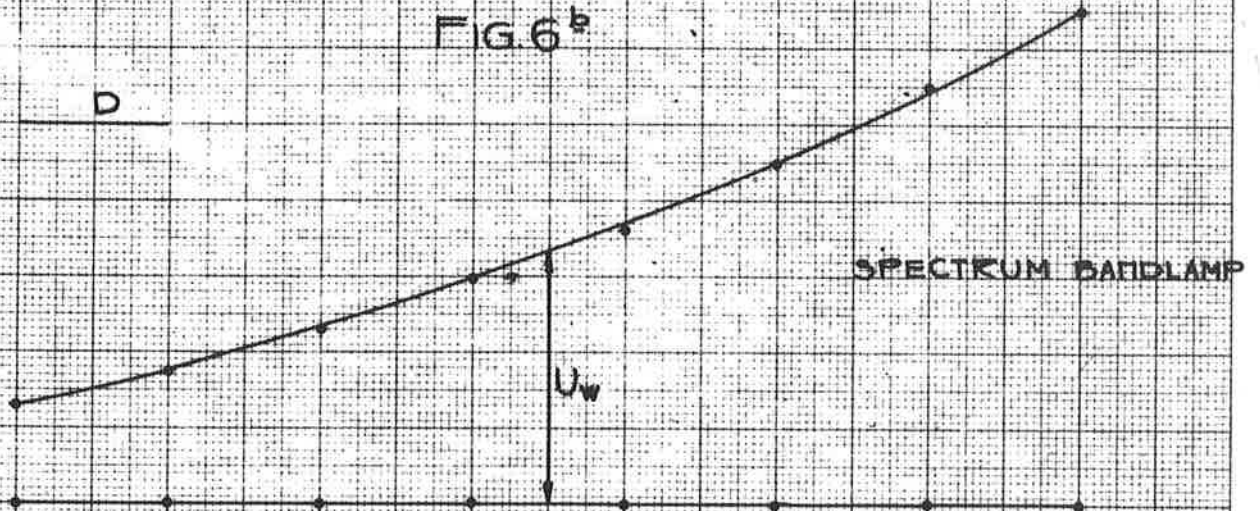


FIG 6^c



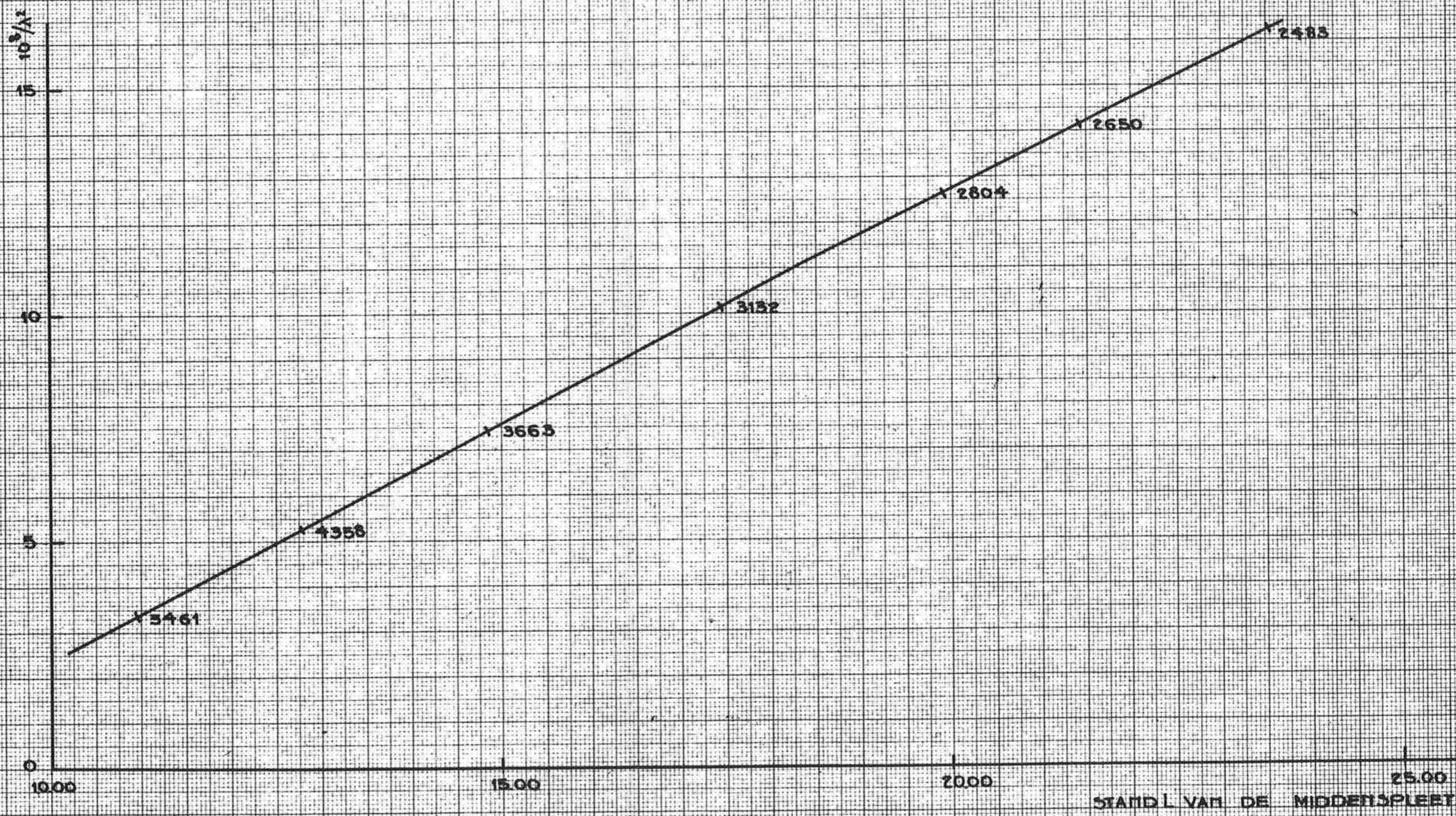


FIG. 7

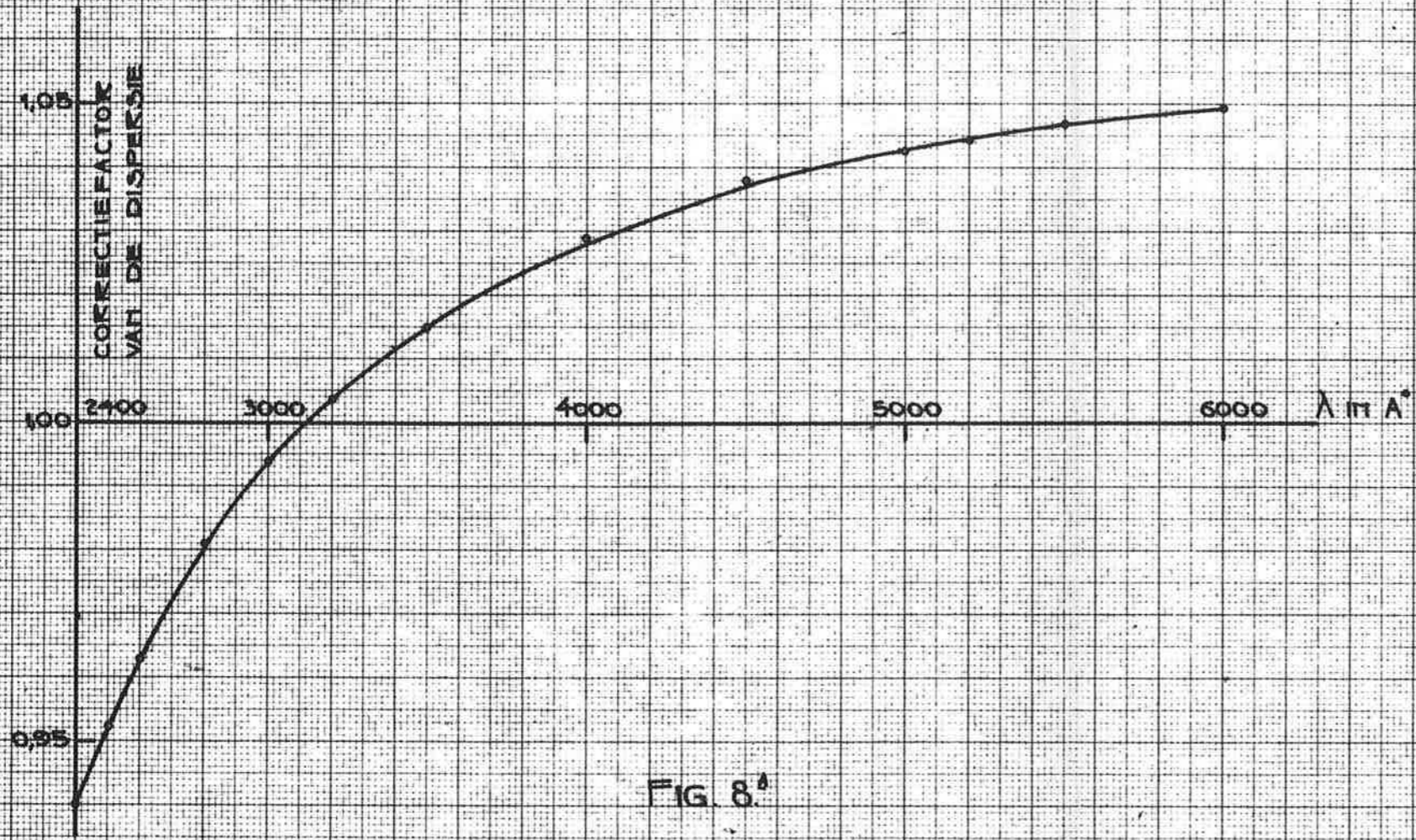


FIG. 8^a

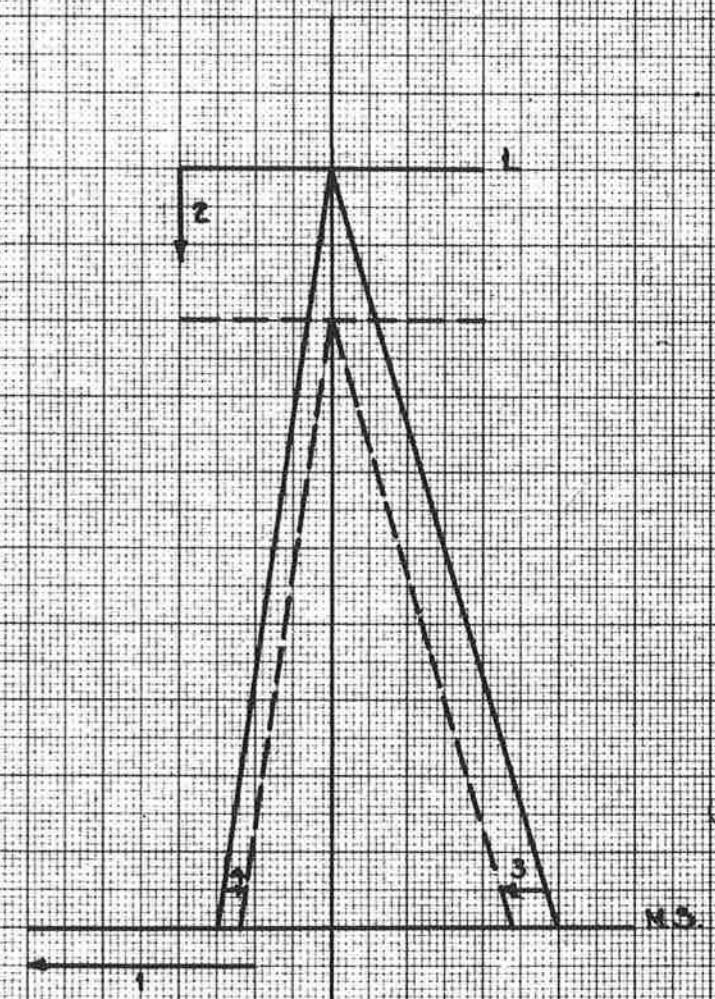


FIG. 8^b