

MASTER

Het omladen van een protonbundel in een bundel negatieve waterstofionen

Houben, J.W.M.A.

Award date:
1967

[Link to publication](#)

Disclaimer

This document contains a student thesis (bachelor's or master's), as authored by a student at Eindhoven University of Technology. Student theses are made available in the TU/e repository upon obtaining the required degree. The grade received is not published on the document as presented in the repository. The required complexity or quality of research of student theses may vary by program, and the required minimum study period may vary in duration.

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

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Het omladen van een protonbundel in een bundel
negatieve waterstofionen.

Afstudeerverslag van J.W.M.A. Houben.

Werkzaamheden verricht in de sectie kernfysika
van Prof.Dr.O.J.Poppema onder supervisie van
Ir.J.A. van der Heide.

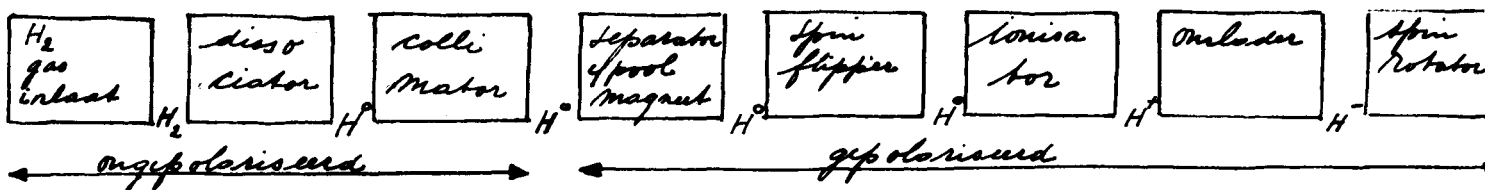
Inhoudsopgave:

Algemene inleiding		pag. 3
Omladingsexperimenten		pag. 3
<u>I</u> Inleiding		pag. 3
<u>II</u> Theorie		
a) algemeen		pag. 4
b) behoud van polarisatiegraad		pag. 4
<u>III</u> Meetopstelling		
a) beschrijving der onderdelen		pag. 6
b) vacuumsysteem		pag. 7
c) voedingsspanningen		pag. 7
d) meetmethode		pag. 9
<u>IV</u> Metingen		
a) aan protonenbron		pag. 11
b) aan bundeltransmissie		pag. 11
c) aan detectiesysteem		pag. 13
<u>V</u> Berekening werkzame doorsneden.		
a) inleiding		pag. 14
b) $H^+ \rightarrow H^-$	m.b.v. kaliumadder- materiaal.	pag. 14
c) $H^+ \rightarrow H^0$	m.b.v. cesiumadder- materiaal.	pag. 15
d) $H^+ \rightarrow H^-$	m.b.v. cesiumadder- materiaal.	pag. 16
<u>VI</u> Foutenbeschouwing		pag. 17
<u>VII</u> Conclusies		pag. 18
<u>VIII</u> Appendix		pag. 19
<u>IX</u> Litteratuur		pag. 23

Algemene Inleiding.

De afstudeerwerkzaamheden kunnen in twee onderdelen verdeeld worden.

- a) Assistentie bij de ontwikkeling van een gepolariseerde protonen- eventueel deuteronebron volgens het "strong field ionizer" principe, zoals die in de sectie kernfysika gebouwd is. (litt 5) Hoe een dergelijke bron werkt, kan als volgt schematisch worden weergegeven:



Molekulaair waterstof wordt in een hoogfrequent E.M. veld gedissocieerd. Met een collimator wordt een atoombundel gemaakt. De atomen met spintoestanden gekarakteriseerd door de kwantumgetallen (m_s, m_l) gelijk $(+\frac{1}{2}, +\frac{1}{2})$; $(+\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})$ worden in een sterk inhomogeen magnetisch veld (Stern-Gerlach principe) van de atomen met $(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})$; $(-\frac{1}{2}, +\frac{1}{2})$ afgezonderd. De spinflipper induceert zodanige overgangen tussen de spintoestanden (litt. 2), dat bij ionisatie in een sterk magnetisch veld theoretisch een polarisatiegraad van 100% bereikt kan worden. Voor gebruik in een tandem versnellingsmachine moeten de protonen omgeladen worden tot negatieve ionen. Dit wordt gerealiseerd door de protonen door een adderfolie of een addergas te schieten, waarbij een zekere kans bestaat, dat ze als negatieve ionen de adder verlaten. In een gekruist elektrisch en magnetisch veld wordt de spinvektor over een hoek van 90° gedraaid.

- B) Gezien de geringe opbrengst aan gepolariseerde protonen (ongeveer $2 \mu A$), die zelfs onder optimale omstandigheden van een dergelijke bron verwacht mag worden, is het zaak iedere stap zo efficiënt mogelijk uit te voeren. Er waren aanwijzingen dat het omladen tot negatieve ionen met een gasadder groter rendement zou opleveren, dan het omladen met een koolstoffolie. Om dit na te gaan zijn met behulp van cesiumdamp en kaliumdamp als elektronenadder omladingsmetingen verricht aan een bundel ongepolariseerde protonen. Door een kamertje gevuld met cesium- of kaliumdamp van een zekere druk, wordt een bundel protonen gestuurd. De verandering in ladingssamenstelling is als functie van de protonenergie, variabel van 2 tot 7 keV, gemeten.

OMLADINGSEXPERIMENTEN.

I Inleiding.

In een bundel protonen zullen, wanneer een dergelijke bundel door een kamertje met cesium- of kaliumdamp wordt gestuurd, tijdens botsingsprocessen, door het uitwisselen van elektronen tussen de atomen van het addermateriaal en de bundeldeeltes, neutrale waterstofatomen en negatieve waterstofionen ontstaan. Negatieve ionen kunnen gevormd worden doordat een proton in een botsing 2 elektronen of in twee opeenvolgende botsingen 1 elektron opneemt. Na het doorlopen van een zekere afstand door het oventje bij een bepaalde druk komt tussen de diverse componenten een evenwichtsverdeling tot stand.

Er zijn twee redenen waarom de experimenten met cesium respectievelijk kaliumdamp gedaan zijn. In de eerste plaats zullen deze elementen wegens hun geringe ionisatieenergie gemakkelijk elektronen afstaan, zodat een hoog onlaadrendement mag worden verwacht. Bovendien speelt

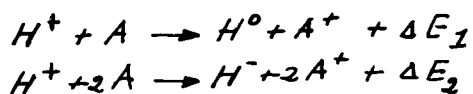
bij de constructie van een gepolariseerde protonenbron die gebaseerd is op de eigenschappen van de $2S_{1/2}$ toestand van het waterstofatoom, cesium een essentiële rol (litt 19). Omdat in de toekomst misschien een bron volgens dit principe gebouwd gaat worden, leek het nuttig ervaring met het materiaal cesium op te doen.

II Theorie.

a) De vorming van negatieve H-ionen en neutrale H-atomen bij doorgang van positieve H-ionen door een gasadder.

De vorming van negatieve H-ionen en neutrale H-atomen zal in de volgende botsingsprocessen tot stand komen.

Voor een volledige beschrijving van hetgeen bij dergelijke processen gebeurt zie litt 1



H: bundeldeelkje

A: elektronenadder materiaal.

ΔE_1 : verschil in ionisatieenergie van het element A en waterstof.

ΔE_2 : verschil in ionisatieenergie van waterstof en twee keer de ionisatieenergie van element A.

Bij deze twee reacties zullen elektronen door element A aan waterstof overgedragen worden. Elementen die geringe ionisatieenergie hebben, zullen op gemakkelijke wijze elektronen aan andere elementen afstaan. Op grond hiervan zullen cesium en kalium met ionisatieenergie 3,87 eV respectievelijk 4,30 eV het eerst in aanmerking komen, als elektronenadder gebruikt te worden.

De neutrale waterstof atomen die bij doorgang van H^+ -ionen door cesiumdamp ontstaan, blijken volgens litt 19 een verzameling H-atomen in de $1S_{1/2}$ toestand en de metastabiele $2S_{1/2}$ toestand te zijn. Het feit dat dit omlaadproces een aanzienlijke concentratie waterstofatomen in de metastabiele $2S_{1/2}$ toestand levert, maakt dat, bij de constructie van een gepolariseerde protonenbron die gebruik maakt van de eigenschappen van het metastabiele $2S_{1/2}$ niveau van waterstof, cesium een essentiële rol speelt.

De vorming van negatieve ionen en neutrale atomen kan ook als volgt beschreven worden:

$$I^0 = \sigma(n,0) \int n dl I^+$$

$$I^- = \sigma(3,-1) \int n dl I^+$$

I^+ : ionen intensiteit (aantal per cm^2)

I^0 : neutrale atomen intensiteit (aantal per cm^2)

I^- : ionen intensiteit (aantal per cm^2)

σ : werkzame doorsnede van het betreffende proces in cm^2

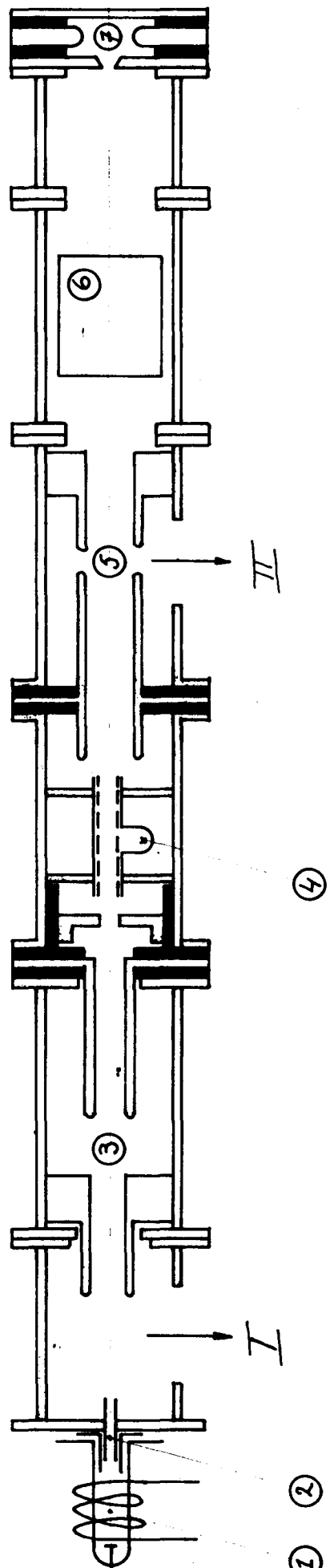
n: aantal adderatomen per cm^3

l: lengte van de gasadder in cm.

De verhouding I^0/I^+ en I^-/I^+ is gemeten als functie van de protonenergie. De grootheid $\int n dl$ is berekend, zodat de werkzame doorsnede eveneens te bepalen is.

b) Behoud van polarisatiegraad.

De polarisatiegraad P van de bundel protonen moet tijdens het omladen tot negatieve waterstof-ionen behouden blijven.



SCHMIDT 1:4

FIGUR 1

- perspex
- MESSING
- GLASWERK

De Polarisatiegraad P is als volgt gedefinieerd:

$$P = \frac{N\uparrow - N\downarrow}{N\uparrow + N\downarrow}$$

N↑: aantal deeltjes met spin parallel aan een voorkeursrichting.
N↓: aantal deeltjes met spin antiparallel aan een voorkeursrichting.

In de appendix is uiteengezet dat de polarisatiegraad ^(voor 97%) behouden zal blijven, wanneer het onladen plaats vindt in een magnetisch veld van 2000 oersted, dat gedurende het onlaadproces evenwijdig aan de protonspinrichting gericht is.

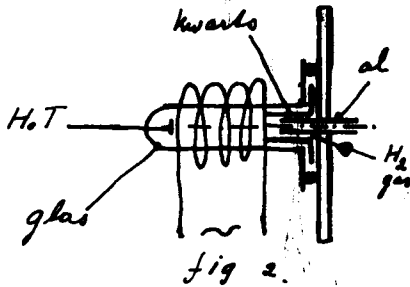
III Meetopstelling.

Aangezien er geen gepolariseerde protonenbron ter beschikking was, zijn de experimenten met ongepolariseerde protonen uitgevoerd.

a) Beschrijving der onderdelen.

Voor een schets van het gebouwde apparaat zie *pag 5*

1 en 2 is een protonenbron analoog aan een ionenbron beschreven door litt 2 voor positive en door litt 3 voor negatieve ionen. Een dergelijke bron werkt als volgt. Via een nikkelventiel wordt



een regelbare hoeveelheid waterstofgas in de ontladingsbuis gelaten. Het nikkelventiel heeft bovendien nog een filtrerende werking. Met de hulp van een hoogfrequent oscillator wordt in de glasbuis een gasontlading opgewekt. Het gasplasma wordt op een bepaalde positieve spanning ten opzichte van het extractorsysteem, dat bestaat uit een aluminium pijpje met afmetingen lengte

45 mm en diameter 3 mm waarover een kwartsbuisje zit dat enige mm in de richting van het plasma uitsteekt, gebracht. Door het potentiaalverschil tussen plasma en extractorsysteem worden positieve ionen (H+, H+) uit het plasma getrokken. Een bepaalde fractie zal door het aluminium pijpje gaande, een bundel vormen. De grootte van deze fractie wordt door de geometrie van het extractorsysteem, dat aan aarde ligt, bepaald.

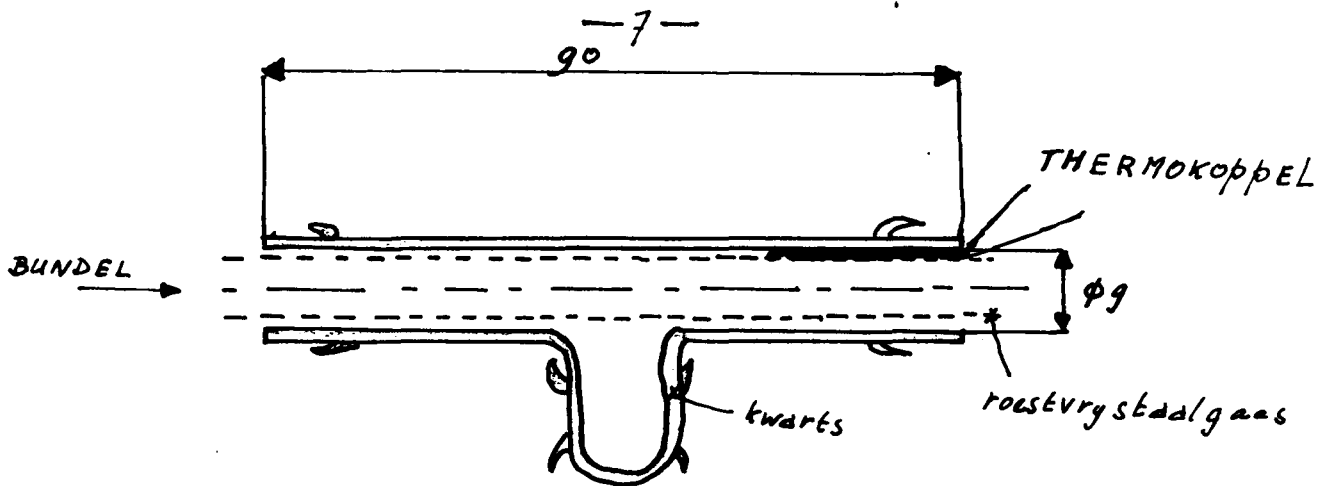
3 is een elektrostatisch lenzensysteem. t dient om de uit het extractorsysteem komende ionen te bundelen. De lens zorgt ervoor dat de ionen op oventje 4 afgebeeld worden.

4 is het oventje.

Bij de constructie van het oventje moet ervoor gezorgd worden, dat dit aan de volgende eisen voldoet.

- a) De temperatuur moet regelbaar en meetbaar zijn.
- b) De transmissie voor de ionenbundel moet hoog (lieft volledig) zijn.
- c) De potentiaal moet goed gedefinieerd en regelbaar zijn.
- d) De afmetingen moeten vacuümtechnisch zo zijn, dat bij een redelijke dampdruk het dampverbruik aanvaardbaar is.

De volgende constructie komt aan al deze eisen tegemoet. *zie figuur 3.*



figuur 3

De temperatuur wordt met een koper-constantaan termokoppel, dat tussen het roestvrijstaalgas en het kwartspijpje gemonteerd, is gemeten. Het geheel wordt verhit met 1,5 meter $\phi 0,5$ mm weerstandsdraad, dat om het kwartspijpje gewikkeld is.

In eerste instantie is geprobeerd het oventje te verhitten door stroom te voeren door een, op glas opgedampt, laagje tinoxide. Het bleek, dat in vacuum, de levensduur van het laagje te kort was. Bovendien kon op deze manier onvoldoende stookvermogen worden ontwikkeld. Met de weerstandsdradconstructie kan het gehele oventje op een temperatuur van 300°C gebracht worden.

5 is een elektrostatische lens, die de uit het oventje komende ionen op het detectiesysteem focusseert.

6 is een afbuigstelsel.

Omdat we de, uit de omlaadcel komende, geladen deeltjes afzonderlijk willen meten, moeten we de ionen met behulp van een elektrostatisch afbuigstelsel in een pijp sturen, die een hoek van 5° met de bundelas maakt. Wanneer we neutrale atomen detecteren, wordt deze pijp uit de opstelling verwijderd. De ionen worden dan door het afbuigstelsel uit de rechtdoorgaande bundel atomen gestuurd.

7 is de opvangelektrode.

De bundelintensiteiten worden gemeten met een bundelvanger. Deze bestaat uit een diafragma (dient om voor de bundeldefinitie te zorgen) een suppressorelektrode (dient om de secundaire elektronemissie te onderdrukken) en een opvangplaat.

b) Vacuumsysteem.

Voor voldoende vacuum wordt gezorgd door twee oliediffusiepompen op de plaatsen I en II.

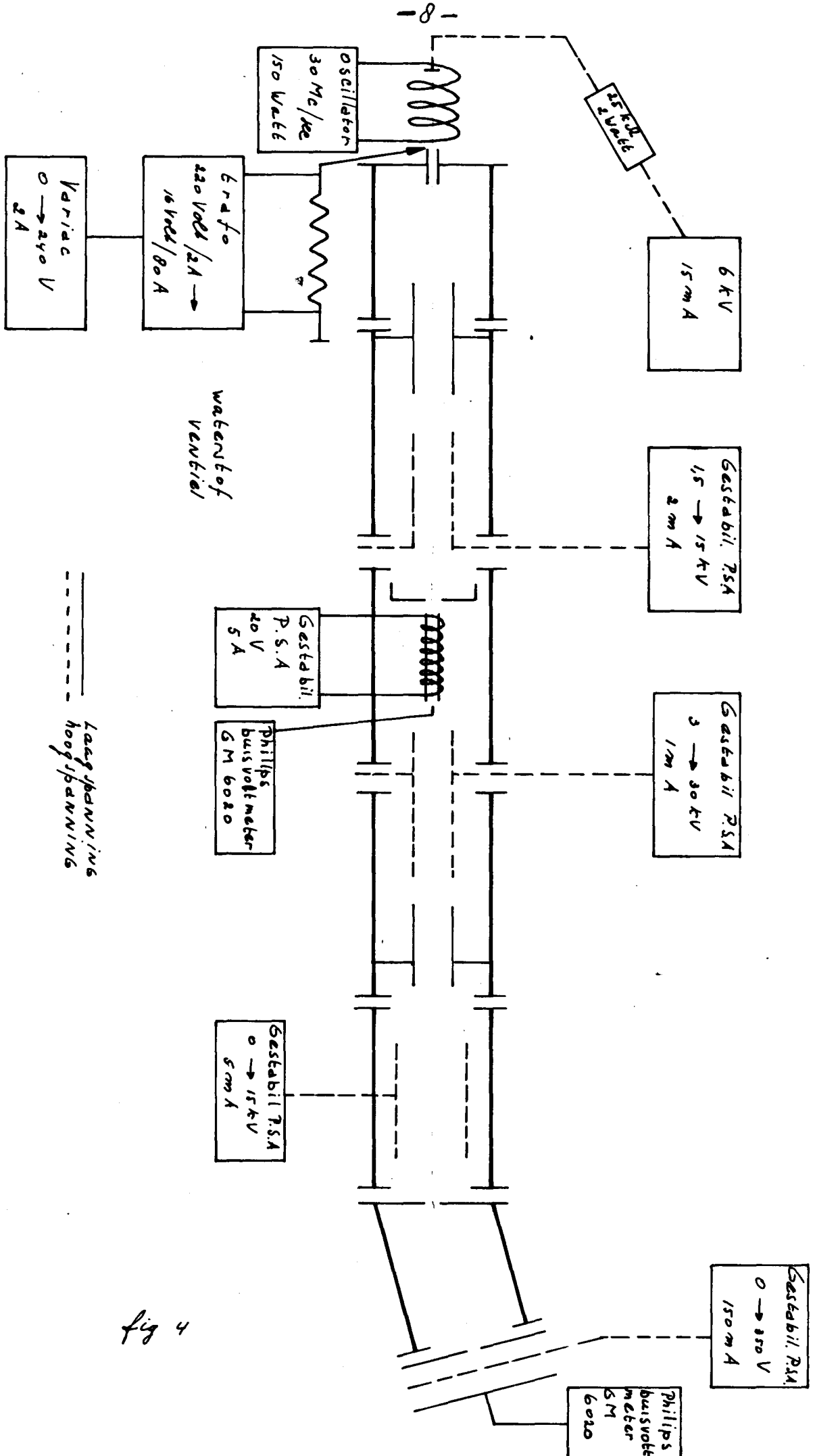
I: Balzers Diff. 500. De pompsnelheid is, indien de pomp met oliëvanger uitgerust is, voor lucht 225 liter per seconde.

II: Leybold D.O. 121. De pompsnelheid van deze pomp, uitgerust met oliëvanger, bedraagt 90 liter per seconde.

Onder bedrijfsomstandigheden heerst in het gehele systeem een druk van ongeveer 10^{-6} torr.

c) Voedingsspanningen.

Voor een schets van de gebruikte voedingsspanningen zie pag. 8.



d) Meetmethode.

1) Meting van de H⁻-ionen intensiteit.

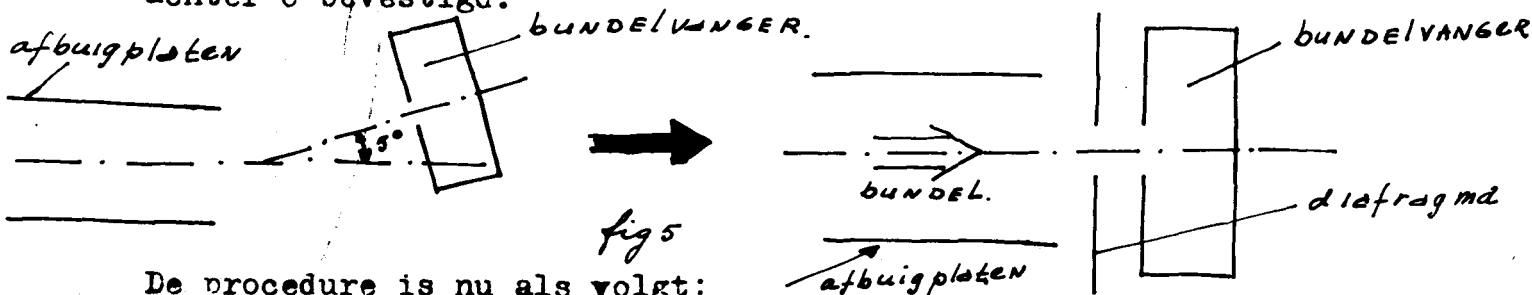
In de bundel is, als het oventje niet aanstaat, reeds een zekere fractie H⁻-ionen en H^o-atomen, naast de H⁻-ionen aanwezig. Via het extractorkanaaltje van de protonenbron, wordt het waterstofgas dat in de glasbuis wordt binnengelaten, afgepompt. In het aldus gevormde waterstofkussen wordt een gedeelte van de H⁻-ionen omgeladen tot H^o-atomen. De aldus gevormde H⁻-ionen hebben dezelfde energie als de H⁻-ionen die in het oventje gevormd worden, als dit aan aarde ligt (hetgeen voor de bundeltransmissie gunstig is gebleken pag 12) en dezelfde energie als de H⁻-ionen. Ze zullen zich bij doorgang door het ionenoptisch systeem precies gedragen als de in het oventje gevormde H⁻-ionen. We hebben nu een mogelijkheid het systeem op optimale H⁻-ionentransmissie in te stellen, zonder dat het oventje aanstaat.

Het meten gaat nu als volgt:

Met behulp van lens 3 wordt de pos. ionenbundel op oventje 4 afgebeeld. Lens 5 en de spanning op de afbuigplaten 6 zorgen voor een goede afbeelding van de ionenbundel op de opvangelektrode. Vervolgens kan de intensiteit van de pos. ionenbundel gemeten worden. De brandpuntsafstand van lens 3 wordt nu constant gehouden. Door lensspanning 5 en de spanning op de afbuigplaten te variëren, worden de reeds aanwezige H⁻-ionen op de opvangelektrode gefocussieerd. Nu wordt het oventje heet gestookt en kan gemeten worden, hoe de I^o gaat veranderen als functie van de temperatuur van het oventje.

2) Meting van de H^o-atomen intensiteit.

Ten behoeve van het meten van de intensiteit I^o van de neutrale atomen, is de pijp, die een hoek van 5° met het afbuigstelsel (6) maakt, verwijderd. De bundelvanger is, voorzien van een diafragma $\phi 10$, direct achter 6 bevestigd.



De procedure is nu als volgt:

Met de lenzen 3 en 5 wordt de pos. ionenbundel op de opvangelektrode afgebeeld. Door de suppressorspanning nul of een weinig negatief te maken en de optredende stroomafname te meten, kan de secundaire emissiecoëfficiënt δ gemeten worden. (δ aantal secundaire elektronen per opvallend ion). Als dit gebeurd is, wordt door de spanning op de afbuigplaten 6 te variëren, de geladen bundel voor de opvangelektrode weggebogen. Alleen neutrale atomen kunnen op de elektrode terecht komen. Nu wordt de oven ongestookt. De toename van het aantal secundaire elektronen ten gevolge van dit opstoken wordt gemeten. Onder de aanname, dat het aantal secundaire elektronen per ion en per atoom gelijk is kan I^o bepaald worden. De op deze manier gemeten waarde moet nog gecorrigeerd worden. De I^o intensiteit hebben we gemeten door de bundel m.b.v. lens 5 op de opvangelektrode af te beelden. De neutrale

atomen kunnen niet op een dergelijke manier op de opvangelektrode gefocusseerd worden. Het aantal neutrale atomen dat gemeten is, zal kleiner zijn dan het aantal dat in de bundel aanwezig is. Om een indruk te krijgen van de verhouding aantal neutrale atomen dat er gemeten wordt, tot het totale aantal neutrale atomen in de bundel aanwezig, zijn de volgende metingen verricht. De pos. ionenintensiteit is gemeten, wanneer de bundel op de opvangelektrode door lens 5 gefocusseerd wordt. Deze intensiteit is I_1^+ . Vervolgens worden de elektroden van lens 5 op aardpotentiaal geplaatst. De intensiteit I_2^+ wordt nu op de opvangelektrode gemeten. Wanneer we voor ons geval aannemen dat de verhouding I_2^+/I_1^+ voor pos. ionen en voor neutrale atomen dezelfde is, kunnen we het aantal neutrale atomen, dat bij doorgang van de bundel I^+ door het oventje ontstaat, bepalen.

E: prot. (keV)	I_1^+ (μA)	I_2^+ (mA)
3.0	0.35	54
4.0	0.38	39
4.6	0.46	56
5.0	0.45	68
6.0	0.47	80

Cesium en kalium zijn beide elementen, die in lucht makkelijk ontbranden en met water zeer snel en heftig reageren. Op de volgende wijze zijn de materialen in het systeem aangebracht.

In het oventje is een plasje benzeen gespoten. Vervolgens wordt cesium of kalium in het vloeistoflaagje aangebracht. Dan wordt het oventje gemonteerd. Wanneer aan het systeem gepompt wordt, zal eerst de benzeen verdampen en afgepompt worden. Dit gaat vrij makkelijk, omdat benzeen een grote verdampingsnelheid heeft. Als alle benzeen uit het oventje verdwenen is, zal de druk in de opstelling reeds zo laag zijn, dat de kans dat cesium resp. kalium gaat ontbranden erg klein is.

IV Metingen.

De gepolariseerde protonenbron waar de omlaadcel voor gebouwd is, heeft een intensiteit van enige malen 0,1 μA tot 1,0 μA aan protonen. Om deze reden werd een intensiteit van enige μA protonen, zoals die door de ter beschikking staande protonenbron geleverd werd, geschikt geacht.

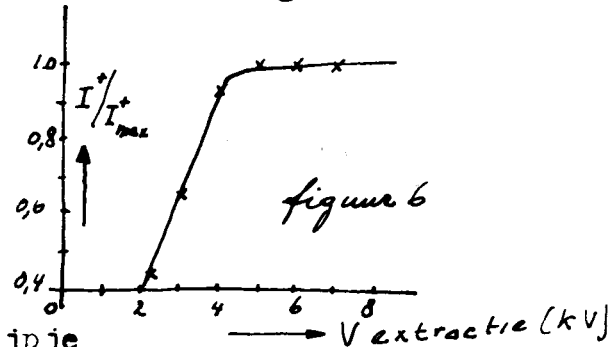
a) Protonenbron.

Wanneer we kijken naar de beschrijving van de h.f. protonenbron, zien we dat de volgende parameters te variëren zijn.

- 1) Druk in de ontlading. Met behulp van het nikkelventiel is deze zo ingesteld, dat de opbrengst aan pos. ionen in de bundelvanger maximaal is.
- 2) Het vermogen geleverd door de h.f. oscillator. Deze wordt eveneens afgesteld op maximale ionenstroom in de bundelvanger.
- 3) Het aanbrengen van een staafmagneetje boven de extractor van de bron deed de pos. ionenstroom met 30% toenemen.
- 4) Instellen van het extractorsysteem. Hier speelt de grootte van de extractorspanning een rol, hetgeen door tabel 1 en figuur 6 tot uitdrukking wordt gebracht. $I_{max}^+ = 1,5 \mu A$.

tabel 1.

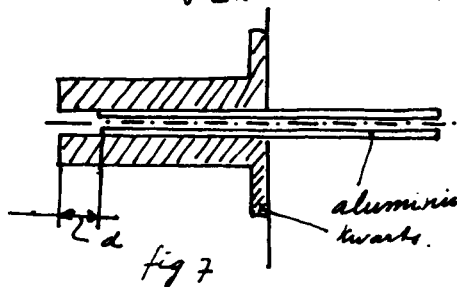
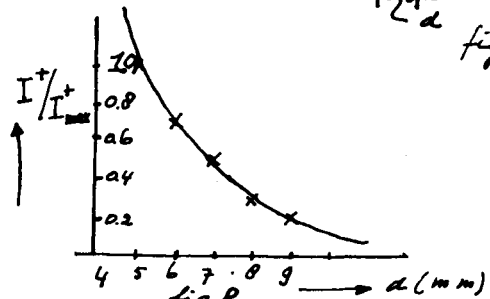
V extractie	I^+ / I_{max}^+
2,1 kV	0,445
3,0 kV	0,650
4,0 kV	0,930
5,0 kV	1,000
6,0 kV	1,000
7,0 kV	1,000



De afstand d (afstand tussen aluminiumpijpje en kwartsbuisje van ionenextractor) zie fig. 7 bepaald eveneens de opbrengst aan pos. ionen zie tabel 2. Voor d is een afstand van 5 mm gekozen. d kleiner dan 5 mm maken is bezwaarlijk, omdat dan bij 7 kV doorslag op gaat treden. Deze 7 kV is nodig om aan de gewenste energievariatie te komen.

tabel 2.

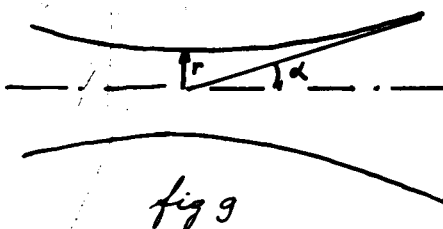
d in mm	I^+ / I_{max}^+
9 mm	0,2
8 mm	0,3
7 mm	0,5
6 mm	0,7
5 mm	1,0



b) Bundeltransmissie.

Een volgend zeer essentieel punt is de bundeltransmissie door het gehele systeem. Ook de bundeltransmissie wordt door een aantal parameters bepaald.

- 1) Lagrange product (litt 10)



Figuur 9 toont de bundelbeschrijvende van een ionen bundel. Het lagrange product L zegt: het product van de straal van de bundel r , de tangens van hoek α en de wortel uit de energie is constant, ter plaatse van de insnoering.

De maximale waarde die het lagrange product kan hebben wordt in ons geval door het extractorkanaaltje bepaald. Daar is de waarde van L gelijk aan :

$$L = 0,05 \sqrt{U} \quad \text{mm rad (keV)}^{1/2}$$

immers: r is gelijk aan 1,5 mm
l (lengte) is 45 mm
de energie U keV
 $\tan \alpha = \frac{1,5}{45} = 0,033 \text{ rad.}$

2) De diameter van het oventje.

De minimum R^2/l (met R diameter en l lengte) van het adder kanaal ligt vast door het lagrange product, omdat de energie van de deeltjes ter plaatse van het oventje, voor een goede ionentransmissie (zie pag 12), gelijk moet zijn aan de energie ter plaatse van de extractor.

We zagen $L = 0,05 \sqrt{U} \quad \text{mm rad (keV)}^{1/2}$
 $\frac{R^2 \sqrt{U}}{l} > 0,05 \sqrt{U} \quad \rightarrow R > 0,244 l$

Een ander punt is, dat in het oventje een zekere dampdruk moet heersen, die zonder al te groot dampverbruik gerealiseerd moet worden. Voor berekening van de dampdruk zie pag 15 e.v.

Een lengte van 90mm en een diameter ϕ 9 blijken aan beide eisen redelijk tegemoet te komen.

3) De omlaadenergie.

Zoals uit tabel 1 volgt, is de opbrengst aan H⁺-ionen afhankelijk van de extractorspanning van de ionenbron. Voor lagere spanningen is de opbrengst lager. Op de volgende manier hebben we deze opbrengst proberen te vergroten. We stellen de ionenbron zo in, dat protonen met een energie van 6keV geleverd worden. Het oventje wordt op pos. spanning (dus afremmend) van enige kV gezet, om aan de gewenste lage energie te komen. Metingen hebben evenwel aangetoond, dat de H⁺-ionenopbrengst op de opvangelektrode nog kleiner is, dan wanneer de protonen bij gewenste energie geextraheerd worden en het oventje op aardpotentiaal blijft. Met andere woorden de ionentransmissie blijkt het grootst te zijn als het oventje op aardpotentialaal geplaatst wordt.

4) Het lenzensysteem.

Lens 3 is zo geconstrueerd dat een goede afbeelding van de bundel, die uit het extractiesysteem komt, op het oventje geleverd wordt. Voor de lens is een dergelijke lengte breedte verhouding gerealiseerd, dat een goede convergerende werking van de lens geen lensspanningen groter dan 4 kV eist. Lens 5 zorgt voor een goede afbeelding van de bundel, die uit het oventje komt, op de opvangelektrode.

5) De diafragmakeuze.

Voor het meten van de H⁰ bundel moeten de geladen deeltjes in de bundel afgebogen worden. Achter de afbuigplaten wordt een diafragma geplaatst, dat de afgebogen deeltjes moet onderscheppen. De diameter van het diafragma is zo groot, dat we een redelijke I⁰ intensiteit overhouden en dat het mogelijk is met een spanning van maximaal 500 Volt de geladen bundel uit de opvangelektrode te sturen. Het toegepaste diafragma was ϕ 10mm.

Berekening:

De baan van een deeltje dat langs en // aan de as binnenkomt.

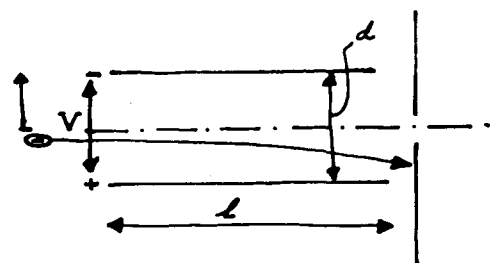


fig 10

$$l = 90 \text{ mm}$$

$$d = 40 \text{ mm}$$

$$y = \frac{1}{2} a t^2$$

$$a = \frac{qV}{md} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} y \rightarrow \frac{1}{2} \frac{qV}{md} \frac{l^2}{v^2}$$

$$t = \frac{l}{v}$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = eU \quad U \text{ extractorspanning.}$$

$$y = \frac{qV}{2eU} \frac{l^2}{d} \frac{1}{2}$$

$$V = 500 \text{ Volt}$$

$$U_{\text{max}} = 7 \text{ kV.}$$

$$y_{\text{min}} = \frac{0,5}{7} * \frac{9^2}{4} * \frac{1}{2}$$

$$= 0,72 \text{ cm}$$

$$= 7.2 \text{ mm.}$$

We zien dat diafragma $\phi 10$ dit deeltje nog tegenhoudt.

c) Detectiesysteem.

Er zijn metingen verricht om te kijken op welke spanning de suppressorelektrode ingesteld moet worden, opdat de secundaire elektronen onderdrukt worden. Het blijkt dat bij een tegenspanning van 20 Volt de secundaire elektronen geheel verdwenen zijn. (litt 11) fig 10^a
De secundaire emissiecoëfficiënt is gemeten zie tabel 3

E proton keV	$I^+ (\mu A)$	$I_{\text{sec}} (\mu A)$	$\delta = \frac{\text{secundaire}}{\text{primaire}}$
2,5	0,68	0,72	1,05
3,0	0,74	0,64	0,87
3,5	0,50	0,60	1,20
4,0	0,58	0,67	1,15
4,5	0,64	0,61	0,95
5,0	0,62	0,63	1,01
5,5	0,78	0,61	0,78
6,0	0,88	0,60	0,68

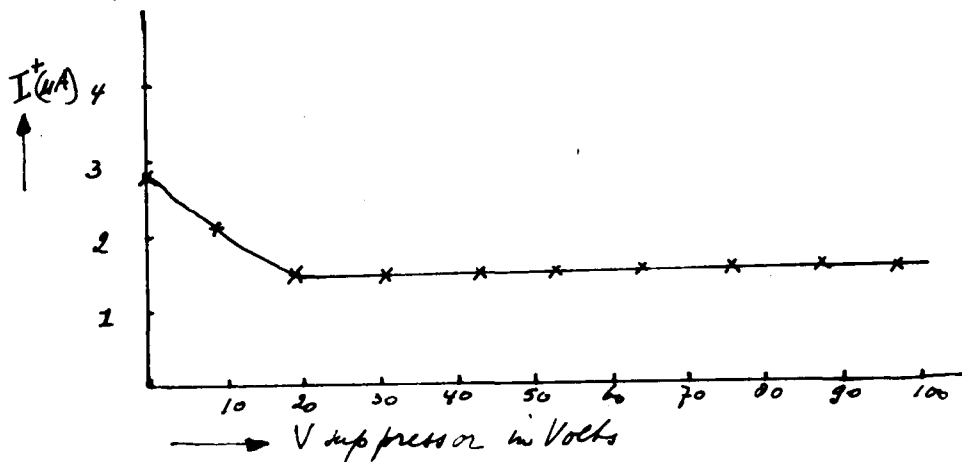


fig 10^a

V Berekenen van de werkzame doorsnede en meten van de verhouding I^-/I^+ respectievelijk I^0/I^+

Er zijn drie soorten metingen verricht met protonenergieën variërend van 2 tot 7 keV.

- a) Omladen van H^+ -ion tot H^- -ion met de hulp van kaliumdamp als elektronenadder.
- b) Omladen H^+ -ion tot H^0 -atoom met de hulp van cesiumdamp als elektronenadder.
- c) Omladen van H^+ -ion tot H^- -ion met de hulp van cesiumdamp als elektronenadder.

ad a)

In de onderstaande tabel wordt de protonenergie, de gemeten protonintensiteit, de temperatuur van het oventje waarbij maximale opbrengst van negatieve ionen gemeten wordt en de gemeten opbrengst aan negatieve ionen gegeven. Met een berekening zoals hieronder volgt, is de werkzame doorsnede te bepalen.

Bij elke protonenergie is de temperatuur van het oventje zo ingesteld, dat maximale opbrengst van negatieve ionen gemeten werd.

E. prot. keV	I^+ (nA)	Oventje °C	I^- (nA)	I^-/I^+ (%)	σ cm ² * 10 ¹⁷
2,0	36,0	240	4,9	13,6	3,9
2,5	95,0	220	9,1	9,6	6,2
3,0	137,5	220	16,0	11,6	7,5
3,5	172,5	230	22,5	13,0	5,9
4,0	270,0	230	33,0	12,2	5,6
4,5	300,0	220	20,0	6,7	4,3
5,0	315,0	220	25,0	7,9	5,1
5,5	260,0	220	21,0	8,1	5,2
6,0	190,0	230	11,4	6,0	2,7
6,5	165,0	230	12,5	7,6	3,4
7,0	145,0	230	9,2	6,4	2,9

Zie grafieken: *figuur 11 en 12*

Berekening van de dampdruk en de werkzame doorsnede.

Het geleidingsvermogen van een ronde lange nauwe pijp is bij moleculaire stroming gelijk aan

$$C = \frac{1}{6} \sqrt{\frac{2\pi kT}{m}} \frac{D^3}{L} * f \left\{ \frac{D\bar{P}}{m/kT}; \eta \right\}$$

formule uit litt. 9.

$f \left\{ \frac{D\bar{P}}{m/kT}; \eta \right\}$ is een correctiefactor. Deze mag volgens litt. 8 gelijk een genomen worden als geldt:

$$\frac{D\bar{P}}{m/kT} \text{ in torr keer cm kleiner dan } 2 * 10^{-2}$$

D: diameter.

P: gemiddelde druk.

Aan deze voorwaarde wordt voldaan.

De berekeningen worden in het c.g.s. stelsel uitgevoerd.

Gegevens:

$k: 10^{-16} \text{ erg/}^\circ\text{K}$

$D: 0,9 \text{ cm}$

$T: 493 \text{ }^\circ\text{K}$

$L: 3,9 \text{ cm}$

$m_K: 6,5 * 10^{-23} \text{ gram}$

Invullen leidt tot $C = 2,1 \text{ liter/sec.}$

De pompsnelheid van het oventje gelijk aan 4,2 liter per sec. , omdat aan 2 kanten gepompt wordt.

Nu gaan we de verzadigde dampdruk voor kalium bij een temperatuur van 493°K berekenen. Volgens handbook of chemistry and physics pag. 2519 geldt:

$$^{10} \log p = -\frac{0,05223a}{T} + b.$$

voor k_j $\left\{ \begin{array}{l} a = 04900 \text{ } ^\circ\text{K}^{-1} \\ b = 7,18 \\ T = 493^\circ\text{K} \end{array} \right.$

De verzadigde dampdruk bij 493°K is voor kalium gelijk 0,0172 torr
Er wordt nu per sec. afgepompt 0,0722 ton liter
Hierin zitten $1,45 \times 10^{18}$ atomen

Volgens litt. 9 geldt: Het aantal atomen dat per cm^2 en per seconde van een metaaloppervlak verdampst, is gelijk

$$\mu = \frac{Pd}{\sqrt{2\pi m k T}}$$

Pd : verzadigde dampdruk in μ bar.

$$\mu = 5,1 \times 10^{18} \text{ atomen/sec cm}^2$$

Het emitterend opp. is gelijk 5 cm^2
De totale emissie bij verzadigde dampdruk is gelijk aan $2,55 \times 10^{19}$ atomen
Afgepompt werden $9,31 \times 10^{17}$ at. De conclusie is dat de verzadigde dampdruk op gaat treden. p gelijk aan $1,72 \times 10^{-2}$ torr.
De gemiddelde druk in het oventje is gelijk $0,6 \times 10^{-3}$ torr. (pag 23)

De werkzame doorsnede van een proces is als volgt gedefinieerd:

$$\sigma = \frac{a}{b \times c}$$

- a: aantal processen dat optreedt.
- b: aantal invallende deeltjes.
- c: aantal targetdeeltjes per cm^2

De doorsnede van het oventje is gelijk aan 0,635 cm^2 . We moeten kijken hoeveel atomen hierachter zitten. De inhoud van het oventje is gelijk aan $5,7 \times 10^{-3}$ liter. De kaliumdruk is gelijk aan $0,6 \times 10^{-3}$ torr.
Inhoud oventje $4,9 \times 10^{-5}$ torr liter
Hierin zitten $9,05 \times 10^{14}$ deeltjes. Dit is per cm^2 $1,55 \times 10^{15}$ atomen.
De werkzame doorsnede van het proces $\text{H}^+ + \text{K} \rightarrow \text{H}^- + \text{K}^+$ is bij protonenergie van 2,5keV gelijk aan

$$\frac{0,096}{1,55 \times 10^{15}} = 6,2 \times 10^{-17} \text{ cm}^2.$$

ad b)

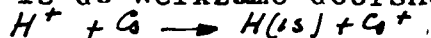
In onderstaande tabel wordt de protonenergie, de gemeten protonintensiteit, de temperatuur van het oventje en de berekende opbrengst aan neutrale atomen gegeven. Met onderstaande berekening is de werkzame doorsnede van het proces te bepalen.

De metingen zijn zo gedaan, dat bij iedere ingestelde protonenergie het oventje tot die temperatuur gestookt wordt, waarbij optimale opbrengst aan H^0 atomen gemeten is.

E.prot. keV	I^+ μA	Oventje $^{\circ}C$	I° μA	I°/I^+ $\%$	σ $cm^2 \times 10^{15}$
2.5	0.55	145	85	15.0	0.2
3.1	0.50	134	114	22.8	0.6
3.5	0.52	94	151	29.4	9.8
4.0	1.08	63	210	19.0	46.2
4.5	1.36	61	320	22.0	54.0
5.0	1.53	94	365	24.0	7.8
5.4	1.49	82	470	31.2	15.6
6.4	1.29	132	930	72.0	0.1

Zie grafieken figuur 15 en 16

Volgens litt. 19 is de werkzame doorsnede voor het proces



bij protonenergie 5 keV

$$2 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$$

De werkzame doorsnede voor genoemd proces bij een protonenergie 5 keV berekend men als volgt:

$$C = 2 \times \frac{1}{6} \sqrt{\frac{2e kT}{m}} D^3/L$$

$$m = 132.9/6 \times 10^{-23} \text{ gram}$$

$$T : 367^{\circ}K$$

C is gelijk aan 2.02 liter per seconde.

De verzadigde dampdruk bij 367°K wordt als volgt berekend:

$$\log p = - \frac{0,052a}{T} + b$$

Voor cesium geldt: a: 73400 ($^{\circ}K^{-1}$)

$$b: 6,949$$

Invullen leidt tot een druk van $2,5 \times 10^{-4}$ torr.

Er wordt afgepompt 5×10^{-4} torr liter per seconde.

Bij T 367°K zitten hierin $1,4 \times 10^{16}$ deeltjes.

Per sec. en per cm^2 verdampen er

$$\mu = \frac{Pd}{\sqrt{2\pi m kT}} \text{ atomen} = 4,65 \times 10^{16} \text{ atomen}$$

Het emitterend opp. is gelijk aan 2 cm^2

De totale deeltjes emissie is gelijk aan $9,3 \times 10^{16}$ atomen

Afgepompt werden er $1,4 \times 10^{16}$ deeltjes.

De conclusie is, dat de verzadigde dampdruk op gaat treden.

Deze druk is $2,5 \times 10^{-4}$ torr.

De gemiddelde druk in het oventje bedraagt $1,25 \times 10^{-4}$ torr. (pag 22)

De inhoud van het oventje is gelijk aan $7,1 \times 10^{-7}$ torr liter.

Per cm^2 zitten er in het oventje 3×10^{13} atomen

De werkzame doorsnede van het proces: $H^+ + Cs \rightarrow H^{\circ} + Cs^+$ bedraagt

$$\sigma = \frac{0,24}{3 \times 10^{13}} = 8 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$$

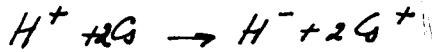
ad c)

In de onderstaande tabel wordt de protonenergie, de gemeten protonintensiteit, de temperatuur van het oventje en de gemeten opbrengst aan negatieve ionen gegeven. De werkzame doorsnede is berekend.

De metingen zijn zo gedaan, dat bij iedere ingestelde protonenergie het oventje tot die temperatuur gestookt wordt, waarbij optimale opbrengst H-ionen gemeten is. zie fig. 19 en 20.

E. prot. keV	I ⁺ (nA)	Oventje °C	I ⁻ (nA)	I ⁻ /I ⁺ %	σ cm ² * 10 ¹⁶
2,0	55	157	9,5	17,0	1,49
2,5	170	157	22,0	13,0	1,14
3,0	285	157	37,0	13,0	1,14
3,5	310	157	37,0	12,0	1,06
4,0	450	157	53,0	11,8	1,03
4,5	150	157	22,0	11,8	1,04
5,0	160	165	23,0	11,8	0,65
5,5	115	157	13,5	11,8	1,03

grafiek figuur 17 en 18
Berekening van de werkzame doorsnede voor het onlaadproces



De protonenergie is gelijk 4 keV.

De temperatuur waarbij het proces een maximale opbrengst heeft is 430 °K.

Het geleidingsvermogen van het oventje is dan 2,18 liter per sec.

De verzadigde dampdruk voor cesium bij 430 °K is $1,1 * 10^{-2}$ torr.

Per sec. wordt er $3,4 * 10^{-2}$ torr liter afgepompt.

Hierin zitten bij 430 °K $5,53 * 10^{17}$ deeltjes.

Cesium kan bij 430 °K per sec. en per cm² verdampen $1,00 * 10^{18}$ atomen.

Het emitterend opp. is 5 cm².

De totale emissie is $9,40 * 10^{18}$ atomen per sec.

Afgepompt worden $5,53 * 10^{17}$ atomen per sec.

De verzadigde dampdruk zal in het oventje op gaan treden.

De gemiddelde druk in het oventje is gelijk aan $5,5 * 10^{-3}$ torr. (pag 22)

De inhoud van het oventje is gelijk aan $5,7 * 10^{-3}$ liter.

In het oventje zitten $3,14 * 10^{-5}$ torr.liter deeltjes

Per cm² zijn $1,14 * 10^{15}$ atomen aanwezig.

De werkzame doorsnede is nu gelijk aan:

$$\frac{0,118}{1,14 * 10^{15}} = 1,03 * 10^{-16} \text{ cm}^2$$

VI Fontenbeschouwing.

Bij de berekening van het aantal deeltjes, die de bundel als hij door het oventje gaat per cm² zal aantreffen, kan een systematische fout gemaakt zijn. We hebben laten zien, dat in het midden van het oventje de verzadigde dampdruk, behorend bij de gemeten temperatuur, op zal treden. Buiten het oventje is de druk verwaarloosbaar klein. Als effectieve druk voor het gehele oventje, hebben we de helft van de waarde van de verzadigde dampdruk genomen. pag 22.

$$\sigma = \frac{I^-/I^+}{N} = \text{werkzame doorsnede.}$$

N: aantal deeltjes dat achter een cm² in het oventje aanwezig is.

$$\frac{\Delta \sigma}{\sigma} = \frac{\Delta (I^-/I^+)}{I^-/I^+} + \frac{\Delta N}{N}$$

Tijdens het meten treedt in de grootheden I⁺, I⁰, I⁻, een verloop op van ongeveer 5%. De metingen blijken binnen deze 5% te reproducieren. $\frac{\Delta (I^-/I^+)}{I^-/I^+} = 10\%$

$\frac{\Delta N}{N}$ is alleen een functie van de temperatuur. Omdat de meetonnauwkeurigheid in T:ΔT gelijk aan 10% is, hebben we N als functie van T uitgezet, (zie figuur 13 & 14) om te kijken hoe groot ΔN t.g.v ΔT is.

$\Delta N/N$ is steeds ongeveer 20%.

$$\frac{\Delta \sigma}{\sigma} = \Delta(I/I^+) / I/I^+ + \frac{\Delta N}{N} = 10\% + 20\% = 30\%$$

De onnauwkeurigheid in de berekende werkzame doorsnede van het proces



is zeer groot. De oorzaak hiervan is de volgende. De fractie van de totale neutrale atomenintensiteit die we meten is klein. De uitslag op de meter t.g.v. H^0 intensiteit is van de zelfde grootte orde als de optredende meterfluctuaties. Het bepalen van de temperatuur waarbij I^0/I^+ een optimum heeft, is om die reden erg onnauwkeurig. Deze temperatuur is gecorreleerd aan het aantal deeltjes dat in het oventje per cm^2 doorsnede aanwezig is. Dit aantal deeltjes is dus ook zeer onnauwkeurig bepaald, temeer daar de temperatuur afhankelijkheid van deze deeltjes zeer sterk is. fig 14. Dit alles verklaart de grote spreiding in meetpunten in fig. 16.

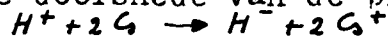
VII

Conclusies.

Er is een oventje gebouwd dat onder optimale omlaadomstandigheden een acceptantie van 1 cm .rad. (eV) heeft:

De omlaadefficiëncy H^0/H^+ bedraagt in het protonenergiegebied van 2 tot 7 keV voor cesiumdamp ongeveer 13% en voor kaliumdamp 10%.

De werkzame doorsnede van de processen:



bedragen resp. $10^{-16} cm^2$ en $6 \times 10^{-17} cm^2$.

We zien dat het omladen van H^+ tot H^- met cesium- en kaliumdamp als elektronenadder materiaal grotere opbrengst aan H^- ionen heeft, dan het omladen met koolstoffolies waar een rendement van 2% gemeten is.

Vervolgens zijn er nog metingen gedaan om de omlaadefficiëncy H^0/H^+ te meten. Deze varieert in het betreffende energiegebied van 15% tot 70%.

VIII APPENDIX.

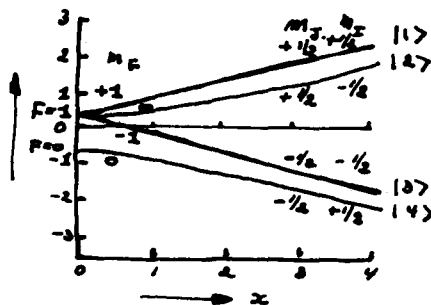
Bepaling van het magneetveld dat aangelegd moet worden, omdat bij het omladen van protonen tot negatieve H-ionen, de protonpolarisatiegraad behouden blijft. De definitie van polarisatiegraad is reeds op pag. 6 gegeven.

In de theorie hebben we reeds gezien dat bij het omlaadproces twee elektronen aan het proton toegevoegd worden. Dit gebeurt in 2 stappen. Opdat de polarisatiegraad behouden blijft, is het noodzakelijk, dat in elk van deze twee stappen de polarisatiegraad niet achteruit zal gaan.

1) Aanhechten van het eerste elektron.

Bekend wordt verondersteld dat het magnetisch kwantumgetal van atomen $m = m_I + m_J$ (met m_I : magnetisch moment van de kern en m_J : magnetisch moment van de elektronromp) een behouden grootte is. Dit wil zeggen dat we de toestanden, die eerst geïoniseerd zijn en daarna een elektron oppikken, slechts in die toestanden kunnen aantreffen die ze oorspronkelijk reeds hadden. Wanneer we nevenstaand Pabi diagram bekijken zien we dat in ons geval slechts atomen in de toestanden $|2\rangle$; $|4\rangle$ en $|3\rangle$ met $m=0$ respectievelijk $m=-1$ kunnen ontstaan.

$\frac{W}{\Delta W}$



Voor veld H (magnetische veldsterkte) ongelijk nul geldt:

$$|2\rangle = \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \begin{matrix} \downarrow \uparrow \\ e \quad p \end{matrix} + \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \begin{matrix} \uparrow \downarrow \\ e \quad p \end{matrix}$$

$|3\rangle$ = is een toestand die veldonafhankelijk is.

$$|4\rangle = \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \begin{matrix} \downarrow \uparrow \\ e \quad p \end{matrix} - \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \begin{matrix} \uparrow \downarrow \\ e \quad p \end{matrix}$$

$$x ; (g_I \mu_N - g_J \mu_B) H / \Delta W = H / 507 \quad H \text{ in oersted}$$

$$\Delta W = W(F=1) - W(F=0) \Big|_{H=0} = 5,00 \times 10^{-6} \text{ eV}$$

μ_B : Bohr magneton.

μ_N : kern magneton

g_I : g factor van het proton

g_J : g factor van het elektron

Stel dat we, wanneer het eerste elektron ongepikt wordt, de beschikking hebben over een bundel volledig gepolariseerde protonen. Als het elektron ingevangen is, is er 50% kans op $\uparrow\downarrow$ en 50% kans op $\downarrow\downarrow$. De toestanden met $m=0$ en $m=-1$ zijn gelijk bezet.

De toestand $\downarrow\downarrow$ is veld onafhankelijk.

De toestand $\uparrow\downarrow$ is voor $t=0$ als volgt te schrijven.

$$\begin{aligned} \uparrow\downarrow &= a(0) |2\rangle + b(0) |4\rangle \\ &= a(0) \left\{ \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \downarrow\uparrow + \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \uparrow\downarrow \right\} + \\ &\quad b(0) \left\{ \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \downarrow\uparrow - \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \uparrow\downarrow \right\} \\ &= \left\{ a(0) \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} + b(0) \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \right\} \downarrow\uparrow + \\ &\quad \left\{ a(0) \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} - b(0) \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \right\} \uparrow\downarrow \end{aligned}$$

Omdat op $t=0$ de bundel volledig gepolariseerd is, zal het onderstreepte gelijk aan 0 moeten zijn.

Voor de normering van de golfunctie moet geëist worden dat:

$$a(0)^2 + b(0)^2 = 1$$

Wanneer aan de gestelde voorwaarden voldaan wordt, geldt:

$$a(0) = \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)} \quad b(0) = -\sqrt{\frac{1}{2} \left(1 - \frac{x}{\sqrt{1+x^2}}\right)}$$

Nu gaan we de golfunctie op tijdstip t bekijken.

$$\begin{aligned} \psi(t) &= a(t) |2\rangle + b(t) |4\rangle \\ &= a(t) \left\{ a(0) \uparrow\downarrow - b(0) \downarrow\uparrow \right\} + b(t) \left\{ a(0) \downarrow\uparrow + b(0) \uparrow\downarrow \right\} \\ &= \left\{ a(t) a(0) + b(t) b(0) \right\} \uparrow\downarrow + \left\{ b(t) a(0) - a(t) b(0) \right\} \downarrow\uparrow \end{aligned}$$

De kans dat in deze toestand $\uparrow\downarrow$ ontreedt is gelijk aan:

$$|a(t) a(0) + b(t) b(0)|^2 = |a(0)|^4 + |b(0)|^4 + \operatorname{Re} \left(a(t)^* a(0)^* b(t) b(0) \right)$$

immers: $a(t) = a(0) e^{-i E_2 t / \hbar}$
 $b(t) = b(0) e^{-i E_4 t / \hbar}$

De kans P gemiddeld in de tijd is gelijk aan:

$$P = \frac{|a(0)|^2 + |b(0)|^2}{2}$$

omdat $\Re \{ a^*(t) b(t) a(0) b(0) \}$ geen bijdrage levert. In deze term komt de volgende e-macht voor $e^{-i(E_2 - E_4)t/\hbar}$

en deze is gemiddeld in de tijd nul.

De kans op \uparrow is dus gelijk aan $\frac{1 + 2x^2}{2(1+x^2)}$

De kans \uparrow is gelijk 1 minus de kans \downarrow $= 1 - \frac{1 + 2x^2}{2(1+x^2)} = \frac{1}{2(1+x^2)}$

De polarisatiegraad van de totale bundel is nu gelijk aan :

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \left\{ \frac{1+2x^2}{2(1+x^2)} - \frac{1}{2(1+x^2)} \right\} = \frac{1+2x^2}{2(1+x^2)}$$

In onderstaande tabel is te zien hoe de polarisatiegraad van aangelegde veld afhankelijk is.

x	H in Oersted	P
0	0	0,5
1/2	253,5	0,6
1	507	0,75
2	1014	0,90
4	2028	0,97
8	4056	0,99

De conclusie is, dat wanneer bij het aanhechten van het eerste elektron de polarisatiegraad ^{van 0,5 tot 0,99} behouden moet blijven een magneetveld van 2000 oersted aangelegd moet worden.

2) Aanhechten van het tweede elektron.

Het uitgangspunt voor onderstaande redenering is de wetenschap, dat de som van de impulsmomenten van het neutrale waterstofatoom en het elektron, dat door het H^0 atoom ingevangen wordt, gelijk is aan het totale impulsmoment van het gevormde H^- ion. We veronderstellen dat wanneer het H^0 atoom een elektron oppikt, dit zich in zo korte tijd in een 1s of 2s baan zal bevinden, dat de spin van het elektron niet kan gaan roteren tijdens het opnameproces. Het impulsmoment van het H^- ion wordt dan alleen bepaald door de spins van elektron en proton. We weten immers dat spins en impulsmomenten via de gyromagnetische verhouding gekoppeld zijn en dat s-banen geen bijdrage tot het impulsmoment leveren. Wanneer we ervoor kunnen zorgen dat de spin van het elektron niet van richting verandert, zal, omdat het totale impulsmoment constant blijft, het impulsmoment van het proton ook niet van richting veranderen.

De spin van het elektron blijft gericht als het uitwendige veld ter plaatse van het elektron groter is, dan het veld, op die plaats, veroorzaakt door het proton. De veldsterkte die het proton ter plaatse van

het elektron induceert is te berekenen. Als we zorgen dat het uitwendige veld groter is, zijn we er zeker van, dat de elektronspin gericht blijft. De protonspin zal dan ook niet in orientatie variëren.

BEREKENING:

$$H_{\text{dip } 1s} = \frac{\mu_{\text{magn}}}{4\pi R^3}$$

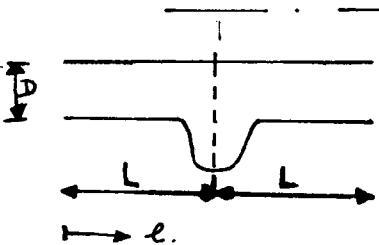
$$\mu_{\text{magn}} = \mu_N = 5,1 \times 10^{-27} \text{ A m}^2$$

$$R = 2,34 \times 10^{-11} \text{ m}$$

invullen leidt tot; $H = 3,23 \times 10^4 \text{ A/m}$.

$$H = 400 \text{ Oersted.}$$

Opdat bij aanhechten van het eerste elektron de polarisatiegraad behouden blijft, moet een magneetveld van 2000 oersted aangelegd worden. Dit veld zorgt ervoor dat ook bij aanhechting van het tweede elektron geen depolarisatie op gaat treden.



Berekening P. eff van het oventje gelijk aan de helft van de waarde van de verzadigde dampdruk.

Volgens litt. 9 geldt: $C_{\text{korte pijp}} = C_{\text{lange pijp}} \frac{1}{L + 4/3 D}$

Het geleidingsvermogen van een lange smalle buis is gelijk aan: $\frac{1}{6} \sqrt{\frac{27\pi T}{m}} D^3/L$

Het geleidingsvermogen van de korte pijp = $CA \frac{1}{L + 4/3 D}$ A: constante

We hebben laten zien dat in het midden van het oventje de verzadigde dampdruk optrad.

De continuïteitsvergelijking leert dat door iedere doorsnee van het pijpje evenveel deeltjes stromen. Dit leidt tot:

$$\left. \begin{aligned} c(l) p(l) &= \text{constant} \\ c(l) &= A \frac{1}{l + 4/3 D} \end{aligned} \right\} p(l) = \frac{B}{l + 4/3 D}$$

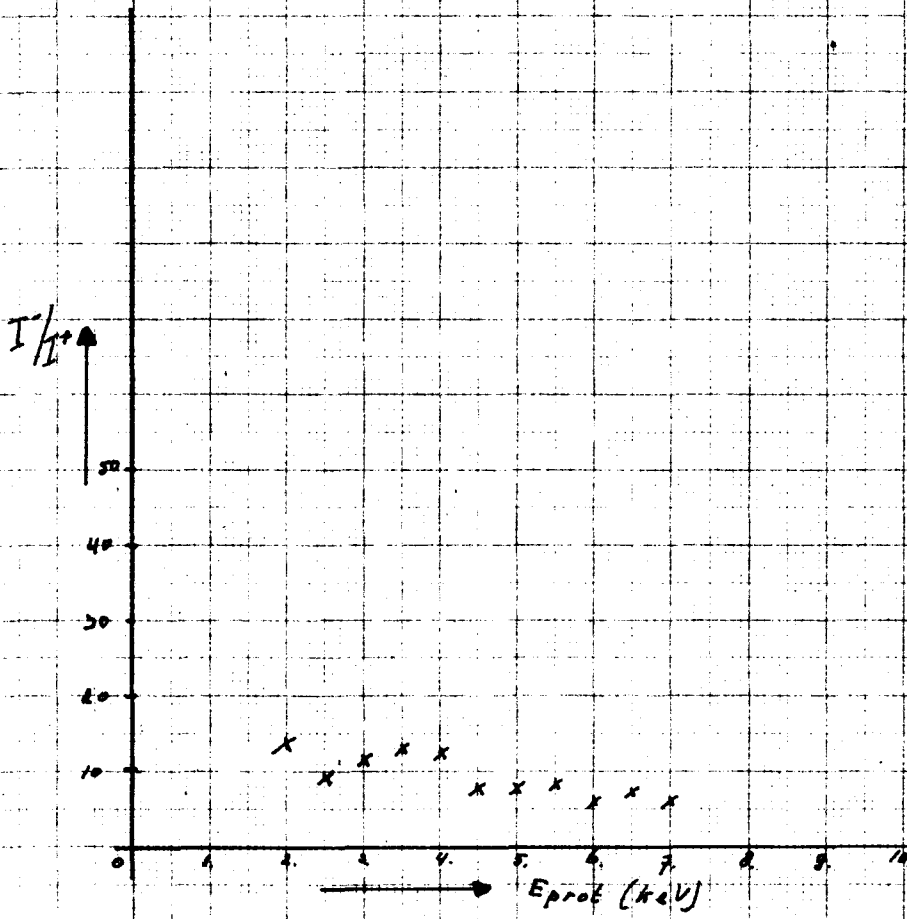
B: constant.

$$\left. \begin{aligned} \text{We def } p_{\text{eff}} : p_{\text{eff}} L &= \int_0^L p(l) dl \\ p(L) &= p_{\text{verz}} \end{aligned} \right\} \rightarrow \underline{\underline{p_{\text{eff}} = 1/2 p_{\text{verz}}}}$$

TX Litteratuur.

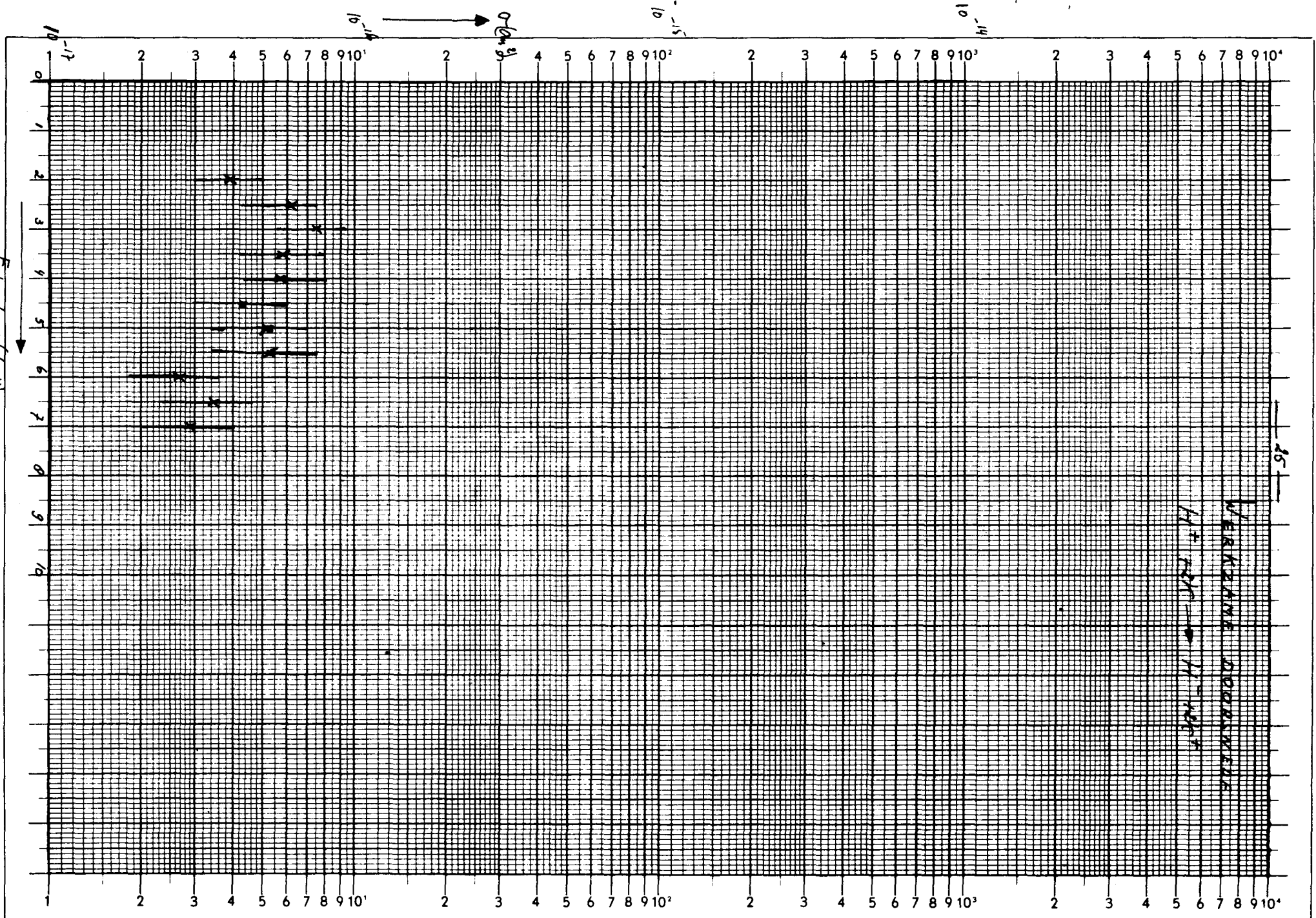
- 1) D.Papp, W.E. Francis; The journal of chemical physics 37-11 (1962) pag. 2631.
- 2) L.K. Goodwin; Rev. Sci. Instruments 24(1953) pag. 632.
- 3) Khirnij; Pribory i Tekhnika Eksperimenta 2 (1958) pag. 51.
- 4) Collegediktaat kernfysica B.O. prof. Poppema.
- 5) Ferley; Progress in nuclear techniques and instrumentation.
- 6) Proceedings of the international symposium on polarisation phenomena of nucleons; Helvetica Physica Acta suppl. 6.
- 7) Proceedings of the second international symposium on polarisation phenomena of nucleons; Helvetica Physica Acta Experientia supp. 12.
- 8) K. Dills, R. Jaeckel; Leybold Vakuum Taschenbuch für Laboratorium und Betrieb.
- 9) Cursus vacuumtechniek van de nederlandse vacuumvereniging deel 1 en 2.
- 10) Collegediktaat elektronenoptiek prof. Groendijk.
- 11) H. Seeler; Zeitschrift für angewandte Physik 22 (1967) pag. 249.
- 12) R. Beurtey, A. Papineau and J. Thirion; Nuovo Cimento 19 suppl. 2 (1961) pag 207.
- 13) Zworykin et al, Elektron optics and the elektron microscope.
- 14) Spangenberg; Vacuum Tubes.
- 15) Fite and Brackman; Physical Rev. 112(1958) pag. 1141.
- 16) W. Gruebler; Phys. Rev. Letters 12 (1964) pag. 595.
- 17) Bailey, Donnally; Phys. Rev. Letters 12 (1964) pag. 502.
- 18) A.H. Mc Ilraith; Journal Sci. Instruments 43 (1966) pag 961.
- 19) A. Cesati et al; Energia Nucleare vol 13, no 12 (1966) pag 649.
- 20) A.B. Wittkower et al; Canadian Journal of Physics 43 (1965) pag. 96.
- 21) U. Schryber; Helvetica Physica Acta 39 (1966) pag. 562.

AANÉAL NEGA TIEVE IONEN
DER POS ION BY DOOR
GANG VAN EEN BUNDEL
PROTONEN DOOR KALIUMDAMP

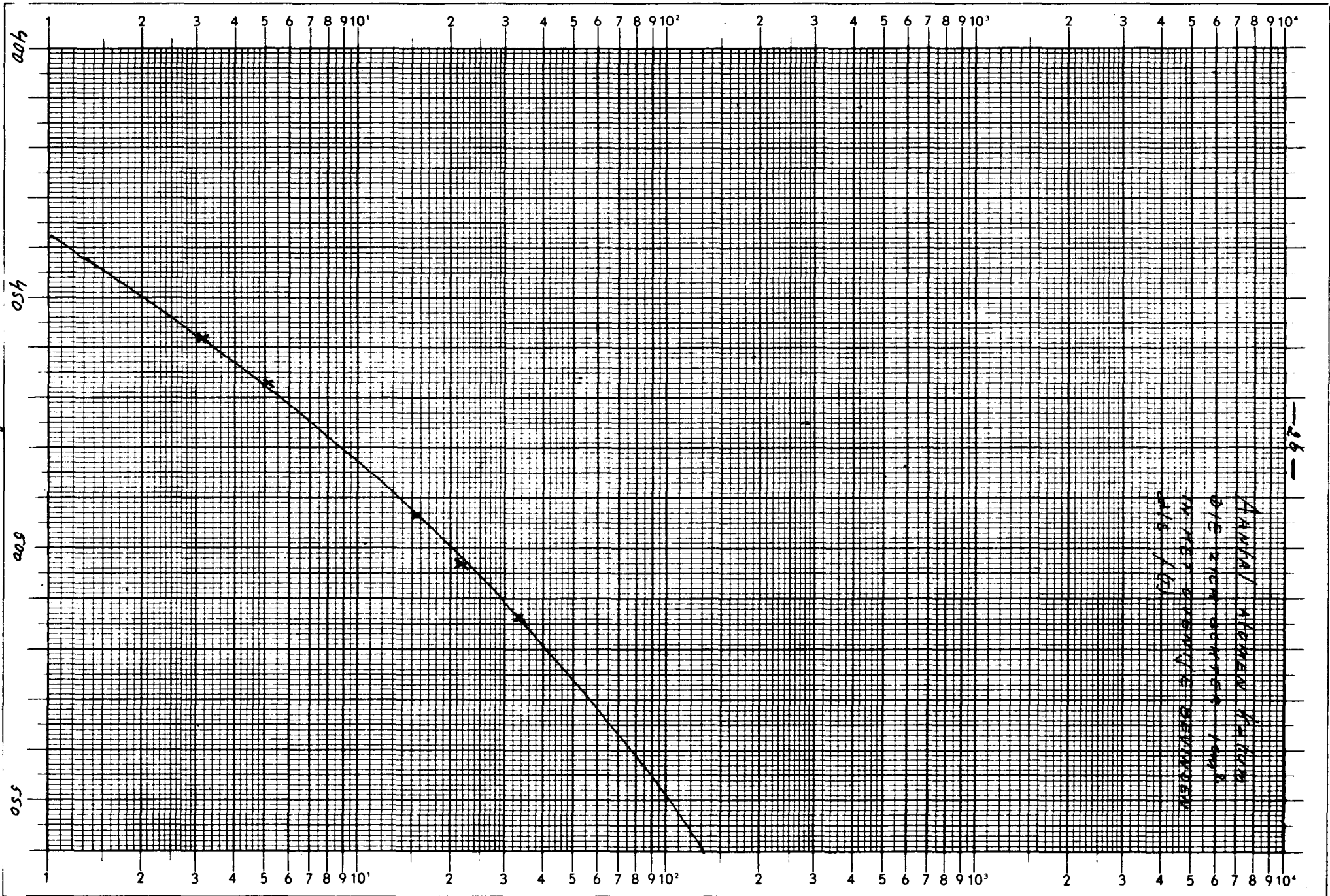


figuur 11

Figuur 12

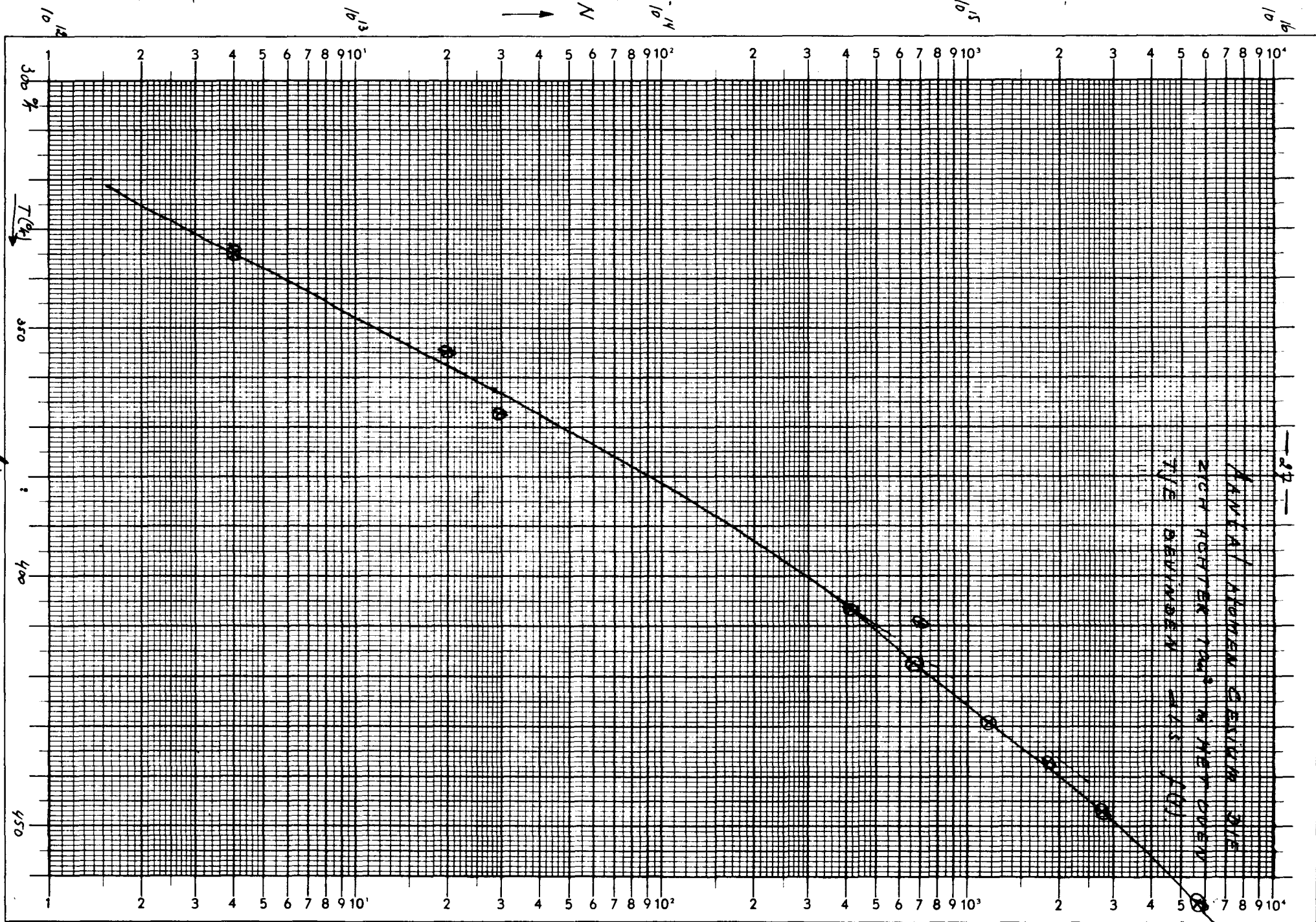


figuur 13

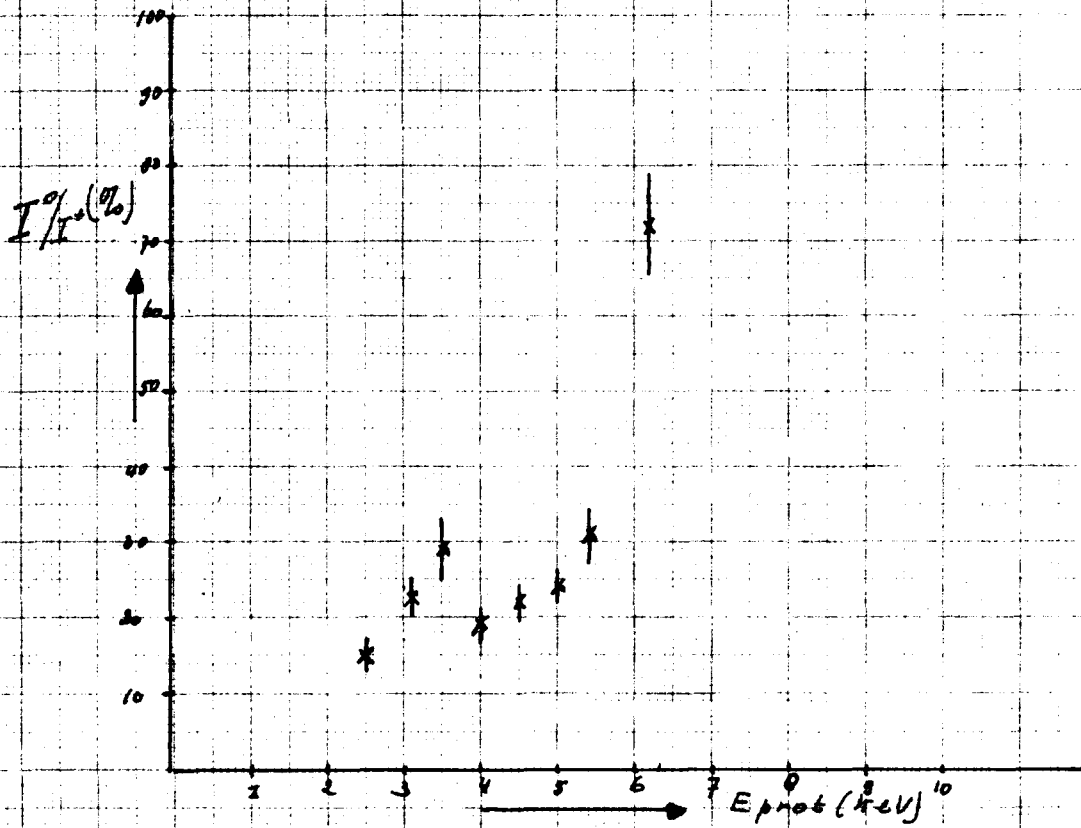


— 28 —
AANTAL WORMEN
DIE ZICH ONTWERPEN
IN HET ERVENIS
ALS 100

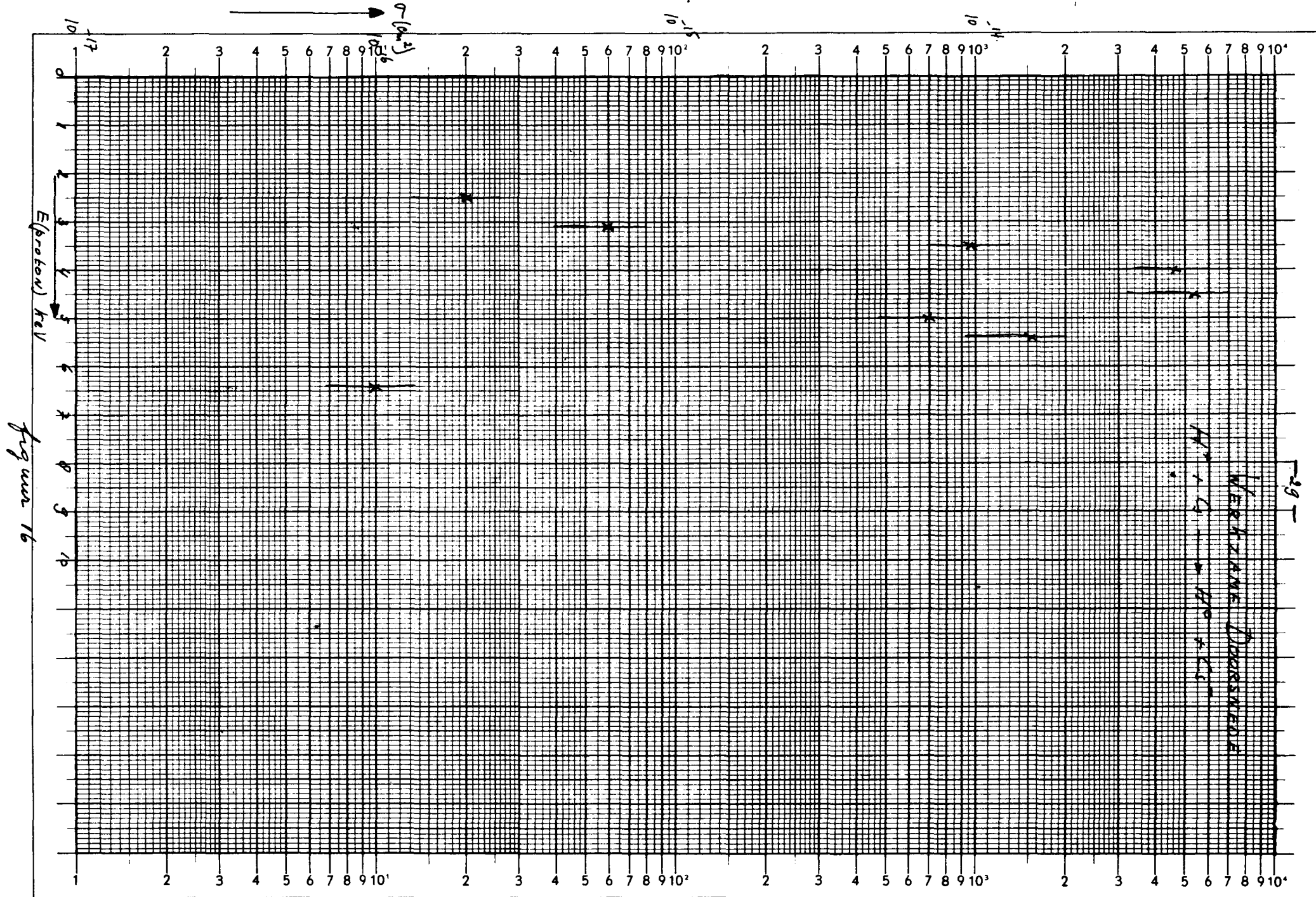
figuur 14



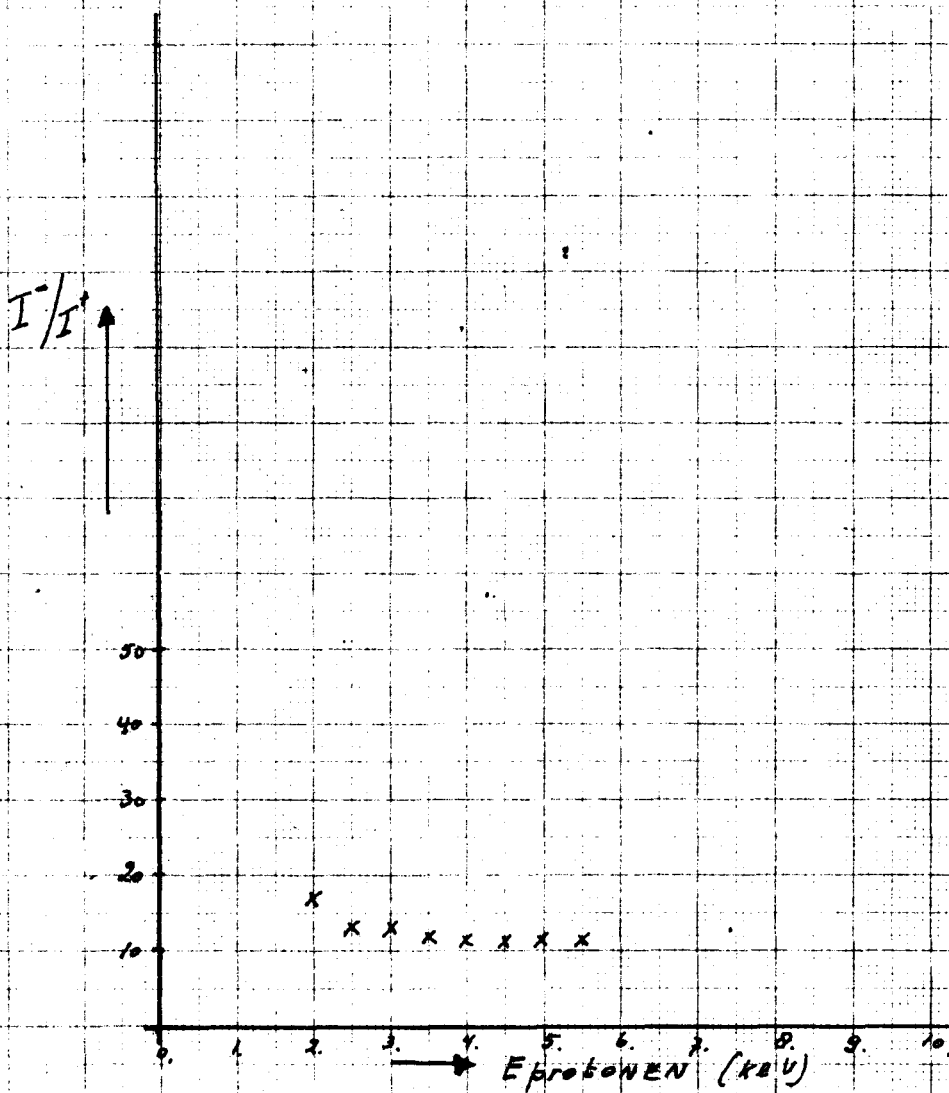
AANTAL NEUTRALE ATOMEN PER
POS ION BIJ DOORGANG VAN EEN
BUNDEL PROTONEEN DOOR
CESIUMDAMP.



figuur 15

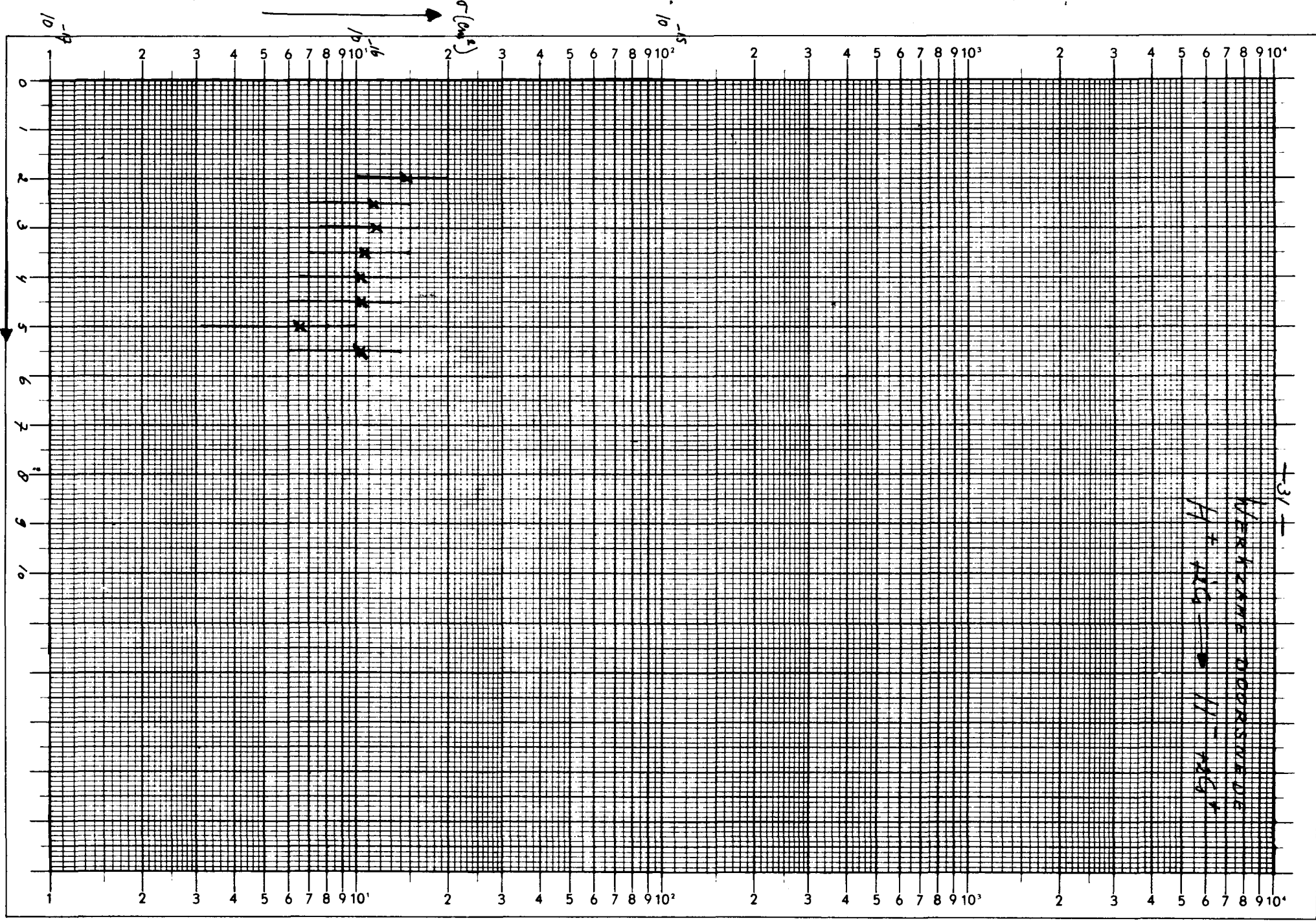


AANTAL NEGATIEVE IONEN PER
POS ION BIJ DOORGANG VAN EEN
BUNDEL PROTONEN DOOR
CESIUM DAMP.



figuur 17.

Eprouvettes (kev)
figuur 10



TOENAME I^- als functie VAN T

o gemeten by Thooq \rightarrow T laag.
x gemeten by T laag \rightarrow T hoog.

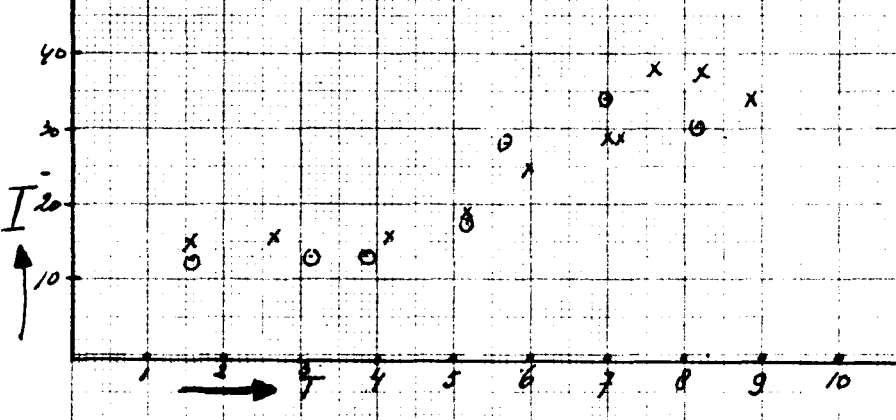
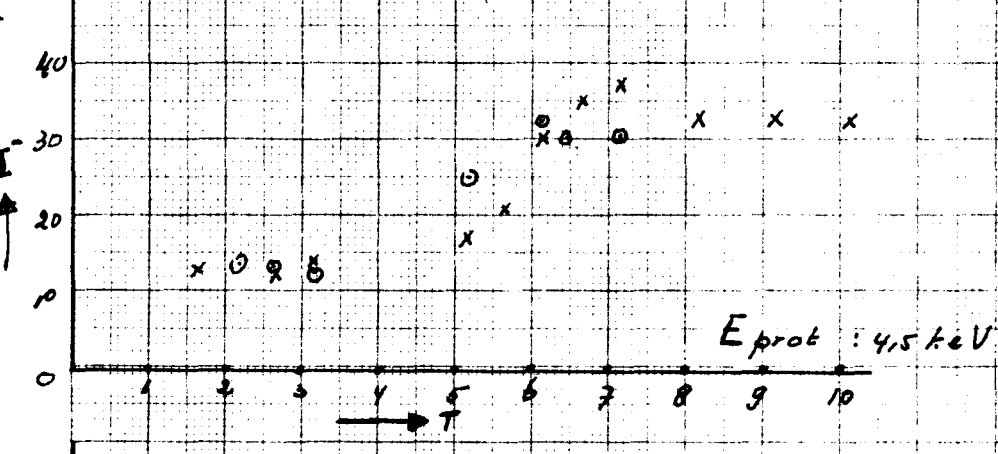
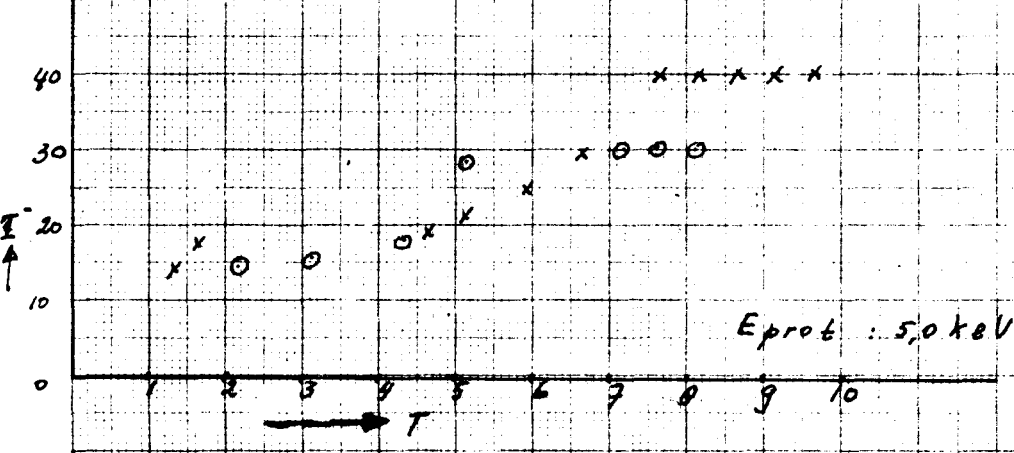
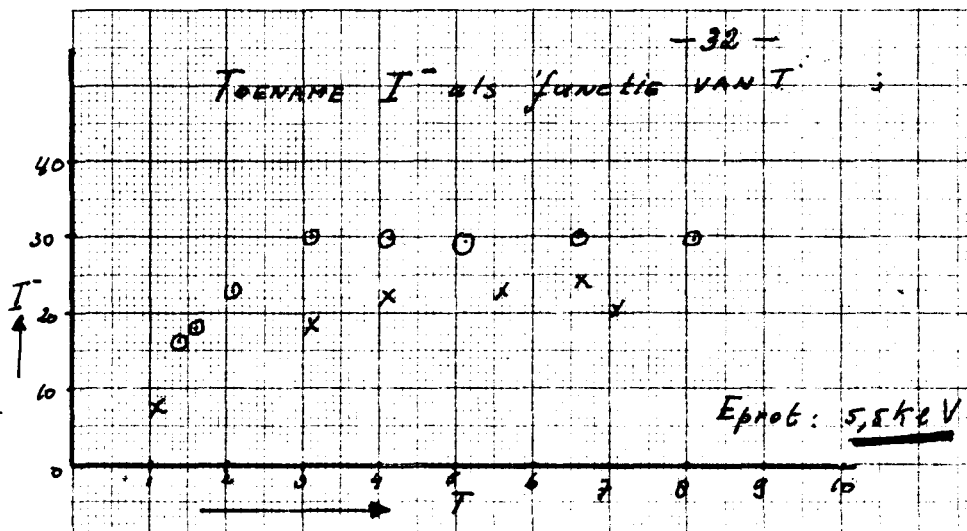
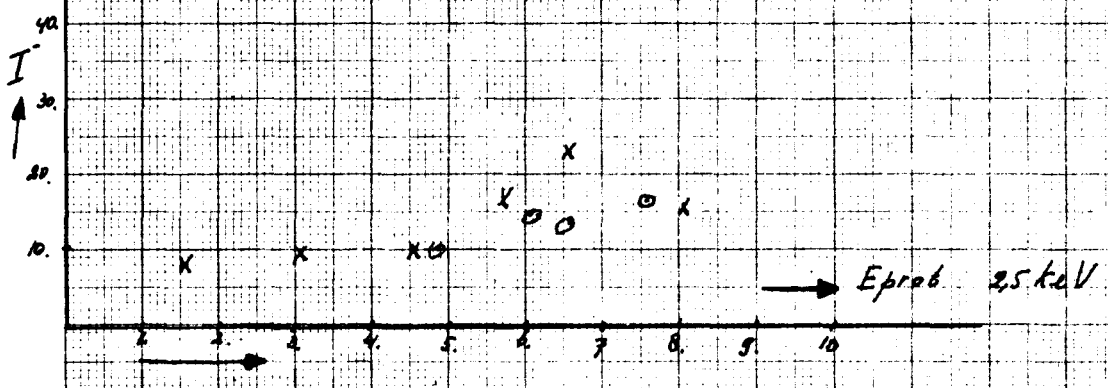
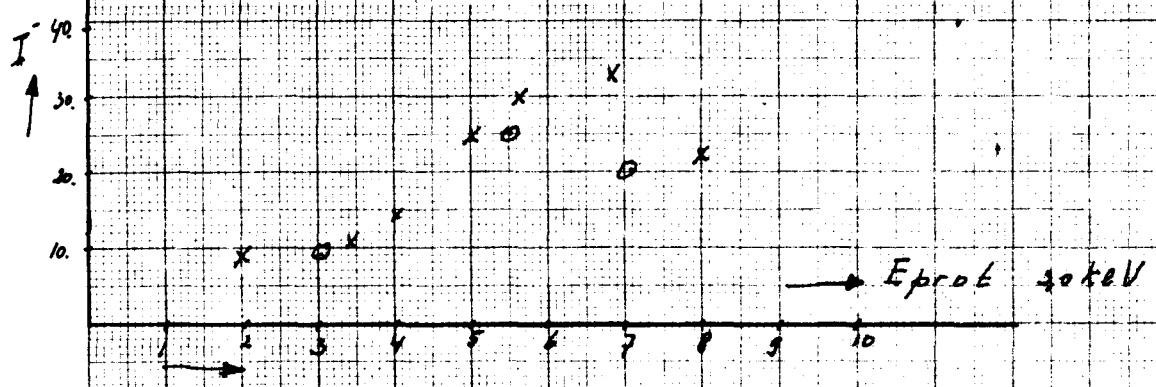
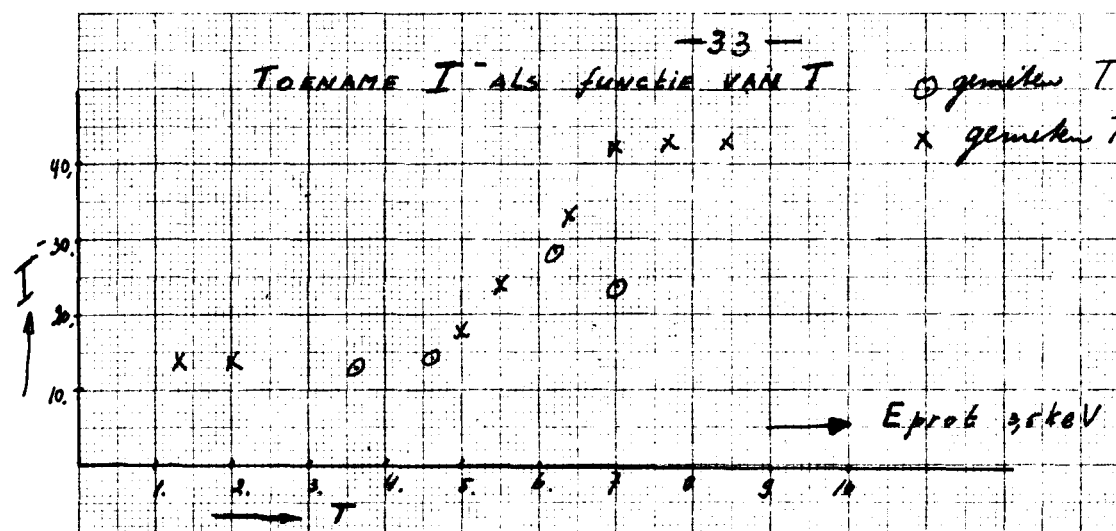


figure 19

TOENAME I^- ALS FUNCTIE VAN T

○ gemeten T laag \rightarrow T laag
x gemeten T laag \rightarrow T hoog



figuur 20