

OPTIMALISERING VAN FISIIESE EIENSKAPPE VAN  
VLOEISTOFSINTILLASIEDETEKTORE

deur

ALWYN JACOBUS VENTER, B.Sc.

Verhandeling voorgelê aan die Fakulteit Natuurwetenskappe  
van die

POTCHEFSTROOMSE UNIVERSITEIT VIR C.H.O.

ter gedeeltelike nakoming van die vereistes vir die graad

MAGISTER SCIENTIAE

Potchefstroom  
Januarie 1981

## ABSTRACT

The Physics Department of the Potchefstroom University for C.H.E. intends to install an underground muon telescope in a mine under a depth of rock with an effective absorbing thickness of  $420 \text{ hg m}^{-2}$  to study the anisotropy in the intensity of galactic cosmic rays. This experiment will primarily consist of the equipment, including sixty liquid scintillation counters, used in the neutrino experiment conducted by the Case-Wits-Irvine co-operation during the 1960's. Because some characteristics of the scintillation counters were unknown and because of the ageing of the scintillation liquid, a series of experiments had to be done to determine the properties of the equipment at present.

Firstly, the relative response function of a counter was determined, while using an anticoincidence screen to eliminate associated particles. To determine the efficiency of this anticoincidence screen, the contribution of any remaining associated particles to the form of a pulse height distribution was determined. It was found that the screen had such a high efficiency that the contribution of associated particles to the form of a pulse height distribution could be neglected.

An attempt was made to measure a single photo-electron spectrum for calibration purposes. While this did not succeed, the response function of the counter was determined by calculating the number of photo-electrons per channel from a well chosen normalized pulse height distribution. This distribution was approximated by a normal probability density function.

Secondly, the efficiency of a complete counter with four photomultipliers, (two at each end), was theoretically optimized by determining the combination of coincidences between the photomultipliers which had the highest efficiency

over the whole area of the counter and the lowest noise rate. The combination where the pulses of two opposing photomultipliers were added and brought in coincidence with the added pulse of the other two photomultipliers, proved to be the most efficient.

INHOUDSOPGAWE	Bladsy
1. INLEIDING	1
2. VLOEISTOFSINTILLASIEDETEKTORE EN DIE PROBLEEMSTELLING VAN HIERDIE WERKSTUK	3
2.1 Inleiding	3
2.2 Die Vloeistofsintillasiedetektor	3
2.3 Die Probleemstelling van hierdie Werkstuk	8
3. DIE EKSPERIMENTELE BEPALING VAN DIE OPBRENGSKROMME VAN DIE VLOEISTOFSINTILLASIEDETEKTOR	10
3.1 Inleiding	10
3.2 Eksperimentele Opstelling	10
3.3 Die Elektronika wat met die Eksperimentele Opstelling gepaard gaan	12
3.4 Eksperimentele Metode en Resultate	18
3.5 Bespreking van die Resultate	27
BYLAAG 3A DIE METODE VAN MEYER (Meyer, 1969)	33
BYLAAG 3B ORDEBEPALING VAN DIE ABSORPSIEKOEFFISIËNT VAN DIE SINTILLASIEVLOEISTOF	34
BYLAAG 3C REKENAARPROGRAM VIR DIE LEES VAN DATA VANAF 'N MAGNEETBAND	35
4. DIE AANBRING VAN KORREKSIES OP PULSHOOGTEVERDELINGS	38
4.1 Inleiding	38
4.2 Die Omrekening van die Gemete Pulshoogteverdelings na Waarskynlikheidsdigtheidsverdelings	39
4.3 Die Aanbring van Korreksies op Gekontamineerde Verdelings	39

	Bladsy	
4.3.1	Kontaminasie van 'n Verdeling	39
4.3.2	Die Bepaling van die Gewigsfaktor	44
4.3.3	Bepaling en aanbring van Korreksies op die Gemete Pulshoogteverdelings	47
4.4	Resultate van Korreksies	48
BYLAAG 4A	DIE BEREKENING VAN DIE AANTAL TOEVALLIGE KOÏNSIDENSIES VIR TWEE EN DRIE GIDSDETEKTORE	55
BYLAAG 4B	DIE BEPALING VAN DIE GEOMETRIESE FAKTOR VAN 'N TELESKOOP MET GROOT, REGHOEKIGE DETEKTORE	58
BYLAAG 4C	REKENAARPROGRAM WAT DIE GEMETE PULSHOOGTEVERDELINGS NA WAARSKYMLIKHEIDSDIGTHEIDSVERDELING OMREKEN	61
BYLAAG 4D	REKENAARPROGRAM WAT GEBRUIK IS OM DIE KORREKSIES OP DIE GEKONTAMINEERDE PULSHOOGTEVERDELINGS AAN TE BRING	63
5.	DIE EIENSKAPPE VAN 'N VLOEISTOFSINTILLASIEDETEKTOR MET VIER FOTOVERMENIGVULDIGERS	66
5.1	Inleiding	66
5.2	Bepaling van die Doeltreffendheid van Registrasie van 'n Deeltjie wat op 'n Bepaalde Afstand vanaf 'n Fotovermenigvuldiger deur die Detektor gegaan het	67
5.3	Sinvolle Kombinasies van Koïnsidensskakelings tussen Fotovermenigvuldigers om die Doeltreffendheid van die Detektor as geheel te bepaal	68
5.4	Tempo van Toevallige koïnsidensies	75
5.5	Bespreking van die Resultate van die Registrasiewaarskynlikhede en Ruis-tempo's	79
5.6	Bepaling van die Toevallige Koïnsidensies by Vier Verskillende Diskriminasievlakke	81

BYLAAG 5A	GESKIKTE KOMBINASIES VAN IMPULSE UIT DIE DETEKTOR SE VIER FOTOVER= MENIGVULDIGERS VIR KOÏNSIDENSIES	84
BYLAAG 5B	SOMMERING VAN IMPULSE VANAF VER= SKILLENDE FOTOVERMENIGVULDIGERS	87
BYLAAG 5C	REKENAARPROGRAM OM DIE REGISTRASIE= DOELTREFFENDHEID VAN DEELTJIES TE BEREKEN	89
BYLAAG 5D	REKENAARPROGRAM WAT RUISTEMPO'S BE= REKEN	91
6.	OPSOMMING, GEVOLGTREKKINGS EN VOORSTELLE	92
	DANKBETUIGINGS	97
	LITERATUURVERWYSINGS	98

## HOOFSTUK 1

### INLEIDING

Die Departement Fisika van die Potchefstroomse Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys beplan 'n ondergrondse eksperiment om met behulp van muone die anisotropie van kosmiese strale te meet (Moraal, et al., 1978).

Ván die apparaat wat vir hierdie doel gebruik gaan word, bestaan alreeds. Hieronder is sestig vloeistofsintillasiedetektore, waarvan die verskillende komponente van elke detektor in Hoofstuk 2 bespreek word. Hierdie apparaat is in onbruik en staan in die East Rand Proprietary Mine, 'n goudmyn aan die Witwatersrand. Die apparaat is gedurende die sestigerjare in die Case-Wits-Irvine eksperiment gebruik om neutrinos waar te neem (Meyer, 1969; Crouch, et al., 1966).

Die doel van hierdie werk is tweeledig. Eerstens, om die ligopbrengs as gevolg van die energieverlies van 'n hoog-energieke gelaaiete deeltjie as dit deur die vloeistofsintillasiedetektor beweeg, as funksie van die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger, wat op die punt van die detektor geplaas is, te bepaal. Omdat die opstelling van die beplande muon-eksperiment van dié van die neutrino-eksperiment sal verskil, is die tweede doel van hierdie werk om met die beskikbare sintillasievloeistof en fotovermenigvuldigers, en met nuutontwerpte elektronika, die optimum doeltreffendheid van elke vloeistofsintillasiedetektor te bepaal, terwyl die kans vir toevallige koïnsidensies so laag as moontlik gehou moet word.

Tydens die uitvoering van die neutrino-eksperiment, is baie van die eienskappe van die vloeistofsintillasiedetektore ondersoek (Meyer, 1969). Daar is egter besluit om, met

die oog op die beplande muon-eksperiment, sommige eienskappe van die vloeistofsintillasiedetektore weer te ondersoek. Hierdie nuwe ondersoek is geregverdig, eerstens omdat die metode wat Meyer (1969) gebruik het om die opbrengskromme van die vloeistofsintillasiedetektor te bepaal, as onvoldoende beskou word, omdat daar nie vir geassosieërde deeltjies, wat gelyktydig met 'n ander hoogenergieke gelaaiete deeltjie deur die vloeistofsintillasiedetektor beweeg, voorsiening gemaak is nie. 'n Tweede rede waarom die ondersoek na die eienskappe van die vloeistofsintillasiedetektore herhaal moet word, is die feit dat die sintillasievloeistof gedurende die afgelope dekade sodanig verouder het dat die absorpsiekoëffisiënt van die vloeistof waarskynlik verander het.

Hierdie werkstuk is soos volg verdeel. Die vloeistofsintillasiedetektor, wat die bakke, die sintillasievloeistof en die fotovermenigvuldigers behels, word in die eerste gedeelte van Hoofstuk 2 breedvoerig behandel. In die tweede gedeelte van Hoofstuk 2 word die probleemstelling en die werksmetode kortliks behandel. In Hoofstuk 3 word die eksperimentele opstelling, met die gepaardgaande elektronika waarmee die opbrengskromme van die vloeistofsintillasiedetektor bepaal word, bespreek. Die eksperimentele metode en resultate van die eksperiment word ook in Hoofstuk 3 gegee. Omdat geassosieerde deeltjies die gemete pulshoogteverdelings gekontamineer het, is daar korreksies op die pulshoogteverdelings aangebring. Die korreksieprosedure en resultate word in Hoofstuk 4 bespreek. Hoofstuk 5 handel oor die verskillende kombinasies van koïnsidensie en menging van impulse vanaf vier fotovermenigvuldigers om die optimum doeltreffendheid van die vloeistofsintillasiedetektor te bereken. Dieselfde kombinasies word ook gebruik om die tempo's van toevallige koïnsidensies te bereken. 'n Opsomming van die werk, tesame met gevolgtrekkings en resultate, word in Hoofstuk 6 behandel.

## HOOFSTUK 2

### VLOEISTOFSINTILLASIEDETEKTORE EN DIE PROBLEEMSTELLING VAN HIERDIE WERKSTUK

#### 2.1 *Inleiding*

In hierdie hoofstuk word die verskillende komponente van die vloeistofsintillasiedetektor, naamlik die bak, die sintillasievloeistof en fotovermenigvuldigers breedvoerig bespreek. Met hierdie tegniese inligting as agtergrond, word die probleem van hoe die eksperiment aangepak is, gestel.

#### 2.2 *Die Vloeistofsintillasiedetektor*

Wanneer 'n hoogenergieke gelaaide deeltjie deur 'n sintillasiedetektor, (hetsy 'n plastiese-, gas- of vloeistofsintillasiedetektor) gaan, word daar van die atome in die sintillator geïoniseer, sodat dié atome in 'n aangeslane toestand verkeer deurdat die elektrone, met die toegevoegde energie, na hoër energievlakke opgewek is (Birks, 1964).

Wanneer die elektrone na die grondtoestand terugval, word lig uitgestraal. Vir deeltjies met relativistiese snelhede, is die golflengtes van die uitgestraalde lig so kort dat dit in die ultravioletgebied van die kleurspektrum lê.

In hierdie werk word van vloeistof gebruik gemaak om die sintillasieproses in te laat plaasvind. Met sintillasievloeistof word 'n sintillator, wat in oplossing met 'n geskikte organiese oplosmiddel is, bedoel. Die sintillasievloeistof wat in hierdie eksperiment gebruik is, is 'n mengsel van 90% minerale olie, sowat 10% Shell TS-28 oplosmiddel

om die klein hoeveelhede PPO-sintillator in die basis van minerale olie op te los. Klein hoeveelhede POPOP, 'n golflengteverskuiwer, word gebruik om die golflengte van die uitgestraalde lig in die sintillasieproses, van die ultraviolet- na die sigbare gebied te verskuif. Die sintillasievloeistof is aan voorwaardes soos 'n klein absorpsiekoëffisiënt en 'n goeie ligopbrengs per deeltjiedeurgang onderhewig. Verdere vereistes is dat die vloeistof chemies onaktief ten opsigte van die wande van die houer moet wees, met ander woorde, die eienskappe van die sintillasievloeistof moet so min as moontlik met die tyd verander. 'n Belangrike vereiste is dat die koste van die sintillasievloeistof so laag as moontlik moet wees, omdat groot hoeveelhede van die vloeistof vir die voorgestelde muon-eksperiment benodig word (Crouch, et al., 1966; Barton, et al., 1962).

'n Voorbeeld van die bakke wat met die sintillasievloeistof gevul is, word in Figuur 2.1 getoon. Die bakke is van 8,5 mm dik Lucite, 'n soort plastiek, gemaak. Omdat die bakke dieselfde is as dié wat in die Case-Wits-Irvine eksperiment gebruik is, is die besonderhede van die bakke reeds beskikbaar (Crouch, et al., 1966). Soos in Figuur 2.1 getoon word, is daar vier fotovermenigvuldigers aan elke bak gekoppel. Die fotovermenigvuldigers wat gebruik is, is van die tipe Fairchild KM2548. Die fotovermenigvuldigers neem die lig met verskuifde golflengte, wat tydens die sintillasieproses ontstaan het, waar en gee 'n spanningspuls uit.

Soos in Figuur 2.2 aangedui, val die lig op die fotokatode van die fotovermenigvuldiger in. Die fotokatode stel foto-elektrone volgens 'n statistiese verdeling vry, (De Villiers, 1969), sodat die gemiddelde aantal foto-elektrone wat vrygestel word, direk eweredig is aan die hoeveelheid lig wat deur die fotokatode waargeneem is. Die foto-elektrone stel dan volgens 'n statistiese proses sekondêre

elektrone op die dinodes vry, sodat die gemiddelde spanningspuls wat op die anode van die fotovermenigvuldiger ontstaan, eweredig is aan die gemiddelde aantal fotoelektrone wat deur die fotokatode vrygestel is (Weaver, 1977; Linden, 1974).

Die statistiese fluktuasies wat die fotovermenigvuldiger se impulse vertoon, hang sterk van die eerste dinode se versterkingsfaktor af. Dit is dus bevorderlik as die eerste dinode 'n veel hoër opbrengs as die daaropvolgende dinodes het, en daarom is 'n hoë spanning tussen die fotokatode en die eerste dinode bevorderlik (De Villiers, 1969). Vir betroubare resultate word vereis dat die hoogspanning uiters stabiel moet wees, omdat die versterkingsfaktor,  $M$ , van die hele fotovermenigvuldiger by benadering geskryf kan word as  $M = R^n$ , met  $R$  die versterkingsfaktor van een dinode, en  $n$  die aantal dinodes (Birks, 1964).

'n Verdere belangrike eienskap van 'n fotovermenigvuldiger, is ruis. Daar is verskeie redes vir die ruis wat in 'n fotovermenigvuldiger ontstaan, maar die grootste faktor is die termiese emissie wat vanaf die fotokatode plaasvind (Birks, 1964; Linden, 1974). Die ruis van die fotovermenigvuldiger is gevolglik sterk temperatuurafhanklik. By toenemende temperature hoër as kamertemperatuur, neem die ruis vinnig toe, terwyl die sensitiwiteit en wins van die fotovermenigvuldiger afneem. By afnemende temperature laer as kamertemperatuur, neem die ruis weer vinnig af, terwyl die sensitiwiteit en versterkingsfaktor toeneem, sodat die sein-tot-ruis verhouding die beste by lae temperature is (Birks, 1964).

Die bak met die sintillasievloeistof, tesame met die fotovermenigvuldigers, (Figuur 2.1), vorm saam die vloeistofsintillasiedetektor.

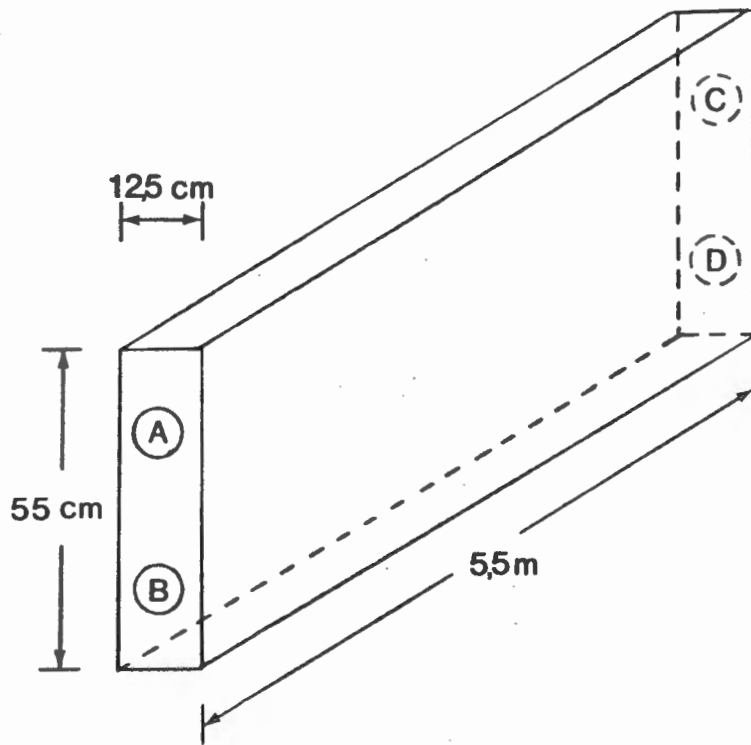


Fig. 2.1 'n Vloeistofsintillasiedetektor met vier fotovermenigvuldigers, respektiewelik op posisies A, B, C en D

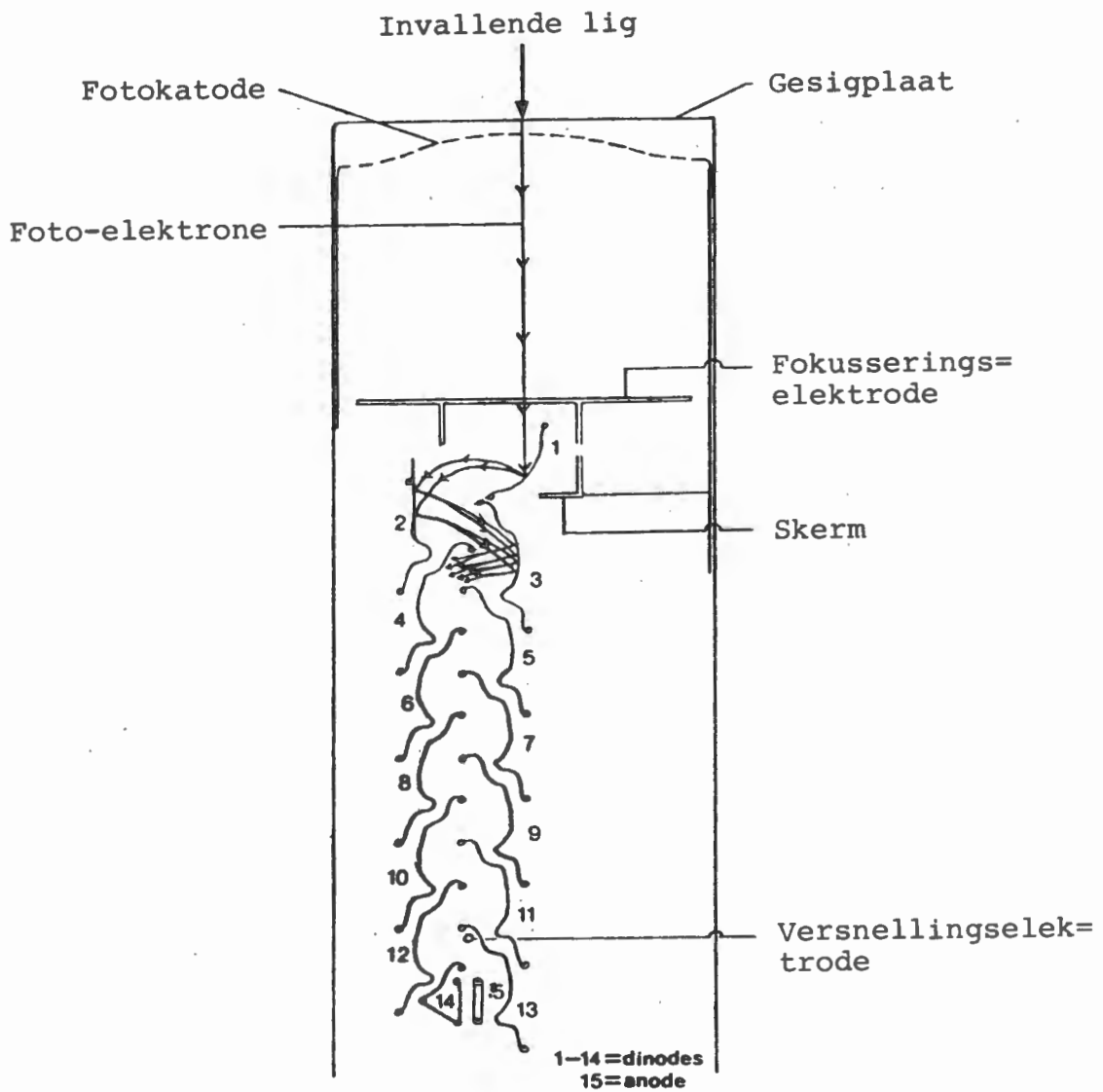


Fig. 2.2 Tipiese konstruksie van 'n fotovermenigvuldiger

### 2.3 Die Probleemstelling van hierdie Werkstuk

Soos in Hoofstuk 1 gestel is, is die doel van hierdie werkstuk eerstens om die ligopbrengskromme van een van die vloeistofstintillasiedektore te bepaal, en tweedens om die doeltreffendheid van die vloeistofsintillasiedetektor te optimaliseer.

Om die eerste doel te verwesenlik, moet in gedagte gehou word dat hoogenergieke gelaaide deeltjies oral deur die hele oppervlak van die vloeistofsintillasiedetektor deur beweeg. Die gelaaide deeltjies verloor van hulle energie in die sintillasieproses volgens 'n Landauverdeling (Barton, et al., 1962). Elke fotovermenigvuldiger ontvang dus ligpulse met statisties verdeelde intensiteit van oor die hele lengte van die bak. Tesame met die feit dat die fotokatode die foto-elektrone ook nog volgens 'n statistiese verdeling vrystel, lewer elke fotovermenigvuldiger 'n verdeling van pulsgroottes, waarvan die gemiddelde waarde die gemiddelde aantal foto-elektrone wat deur die fotokatode per deeltjiedeurgang vrygestel is, weergee.

In die eerste plek is die verband tussen die gemiddelde waardes van die pulshoogteverdelings, as funksie van die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger, bepaal. Hierdie kromme staan as die opbrengskromme van die vloeistofsintillasiedetektor bekend. Tweedens is die pulshoogteverdelings in terme van foto-elektrone geyk, sodat die opbrengskromme van die vloeistofsintillasiedetektor die gemiddelde aantal foto-elektrone wat per deeltjiedeurgang deur die fotokatode vrygestel is, as funksie van die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger weergee.

Laastens is die beste kombinasie van koïnsidensies en/of menging van impulse vanaf die vier fotovermenigvuldigers van die vloeistofsintillasiedektore bepaal,

sodat die hoogs moontlike doeltreffendheid tesame met die laags moontlike tempo van toevallige koïnsidensies van die detektor verkry kan word.

## HOOFSTUK 3

### DIE EKSPERIMENTELE BEPALING VAN DIE OPBRENGSKROMME VAN DIE VLOEISTOFSINTILLASIEDETEKTOR

#### 3.1 *Inleiding*

In die eerste gedeelte van hierdie hoofstuk word die eksperimentele opstelling, tesame met die gepaardgaande elektroniese stroombane, wat vir die bepaling van die opbrengskromme gebruik is, bespreek. Die eksperimentele metode en resultate wat verkry is, word in die laaste gedeelte van die hoofstuk behandel.

#### 3.2 *Eksperimentele Opstelling*

Figure 3.1 en 3.2 toon die eksperimentele opstelling van die vloeistofsintillasiedektore om die opbrengskromme van die toetsbak te bepaal. Die toetsbak kon in sy lengte verskuif word, sodat deeltjiedeurgange op verskillende afstande vanaf die fotovermenigvuldiger waargeneem kon word, terwyl die ander twee vloeistofsintillasiedektore, AK 5 en 6 en AK 7 en 8, wat as antikoïnsidensskerms gedien het, se posisies vas was. Soos uit Figuur 3.1 blyk, is die antikoïnsidensskerms sō geplaas dat slegs 'n klein gedeelte van die toetsbak nie deur AK 5 en 6 en AK 7 en 8 afgeskerm is nie. Om die baan van 'n hoogenergieke gelaaide deeltjie wat deur die toetsbak beweeg sonder om die antikoïnsidensskerms te raak, nog beter te definieer, is daar van klein vloeistofsintillasiedektore, kortweg gidsdektore, gebruik gemaak (Figuur 3.2). Al die gidsdektore was identies, en hulle afmetings word in Figuur 3.3(a) getoon. Die stroombaan waarmee die gidsdektore se diskriminasievlakke verstel is, word in

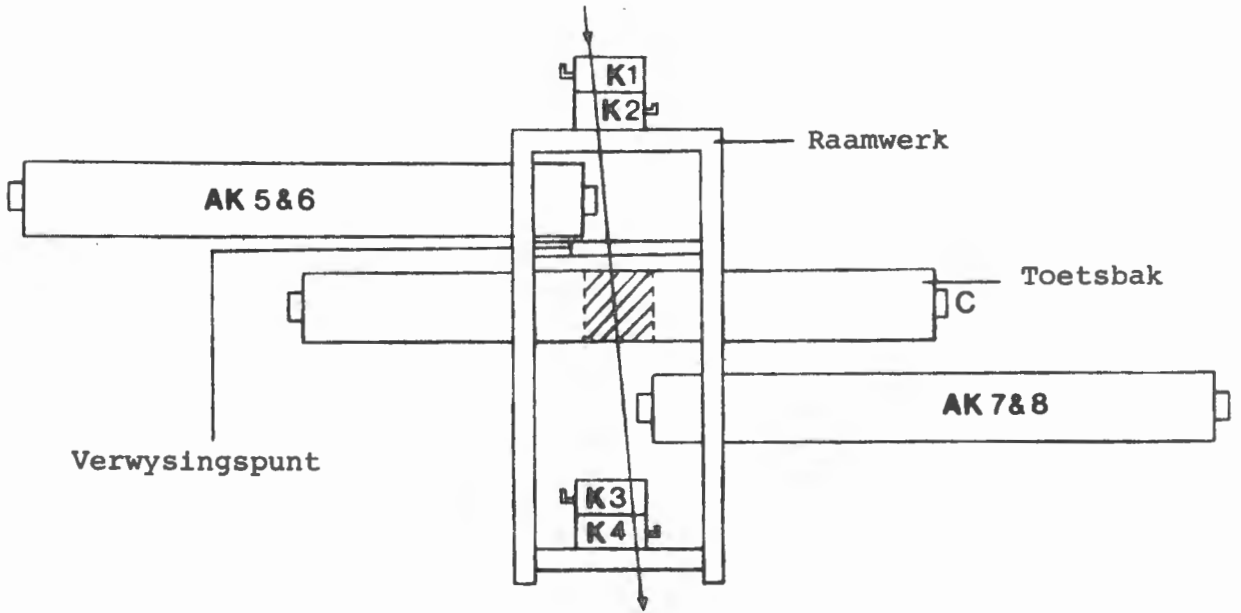


Fig. 3.1 *Syaansig van die eksperimentele opstelling om die opbrengskromme van die toetsbak te bepaal*

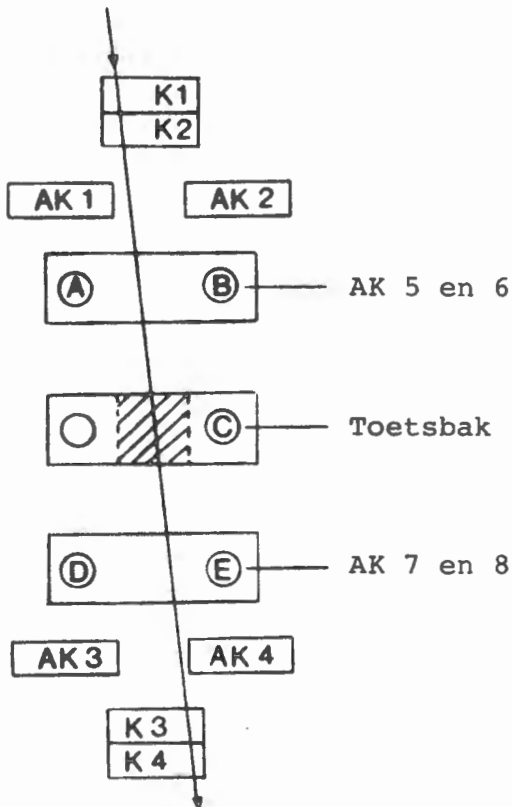


Fig. 3.2 *Vooraansig van die eksperimentele opstelling om die opbrengskromme van die toetsbak te bepaal*

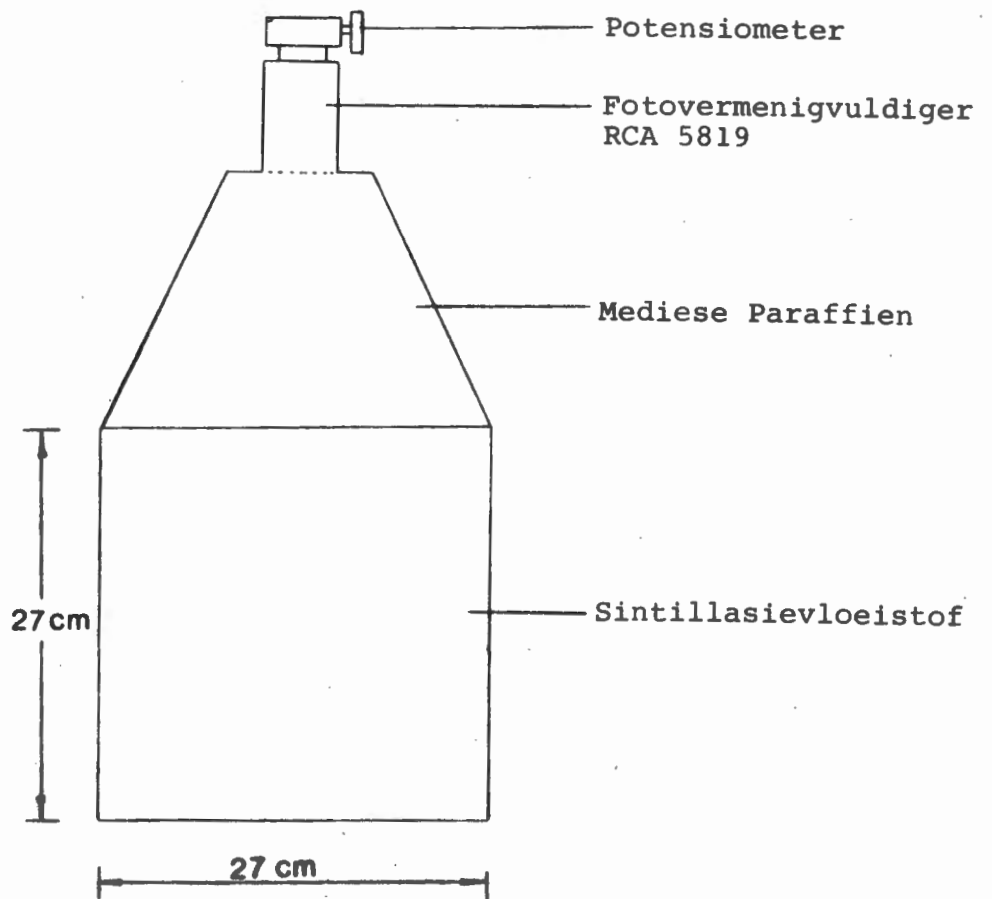
Figuur 3.3(b) getoon. Die gidsdetektore K1, K2, K3 en K4 is in koïnsidensie met die toetsbak geskakel, terwyl die gidsdetektore AK1, AK2, AK3 en AK4 verdere antikoïnsidensafskerming gebied het. 'n Deeltjie sou dus slegs geregistreer word indien dit deur K1, K2, K3, K4 en die toetsbak gaan, sonder dat dit deur enige antikoïnsidensdetektor gaan het.

### 3.3 Die Elektronika wat met die Eksperimentele Opstelling gepaard gaan

Die stroombaanskakeling vir die opstelling van die koïnsidens- en antikoïnsidensdetektore in Figure 3.1 en 3.2, word in Figuur 3.4 getoon. Dit gee die voorwaardes waaraan 'n deeltjie moet voldoen om geregistreer te word.

By die groot antikoïnsidensdetektore is die impulse vanaf twee teenoorstaande fotovermenigvuldigers, byvoorbeeld dié van BAK 1 en BAK 3, gesommeer om te verseker dat geen deeltjie deur die antikoïnsidensdetektor beweeg, sonder dat dit waargeneem word nie. Die stroombaan wat die impulse sommeer, word skematies in Figuur 3.5 voorgestel. Al agt antikoïnsidensuitgange, AK1 tot AK8, vorm die ingange van 'n stroombaan wat die funksie van 'n agtvoudige NOF-hek het. Die vier koïnsidensuitgange, K1, K2, K3 en K4, vorm die ingange van 'n stroombaan wat die funksie van 'n viervoudige EN-hek het. Die skematiese voorstelling van die koïnsidens-antikoïnsidensstroombaan word in Figuur 3.6 getoon.

Soos dit uit Figuur 3.4 blyk, sal daar 'n impuls vanaf die koïnsidens-antikoïnsidensstroombaan op die ingang van die lineêre hek van die meerkanaalanaliseerder ontstaan, indien 'n deeltjie deur al vier die koïnsidensgidsdetektore gegaan het sonder dat 'n ander deeltjie gelyktydig deur enige van die antikoïnsidensdetektore geregistreer is. Die impuls vanaf die toetsbak word deur 'n vertragingslyn vertraag,



Die dikte van die detektor is 7,5 cm

Fig. 3.3(a) 'n Gidsdetektor



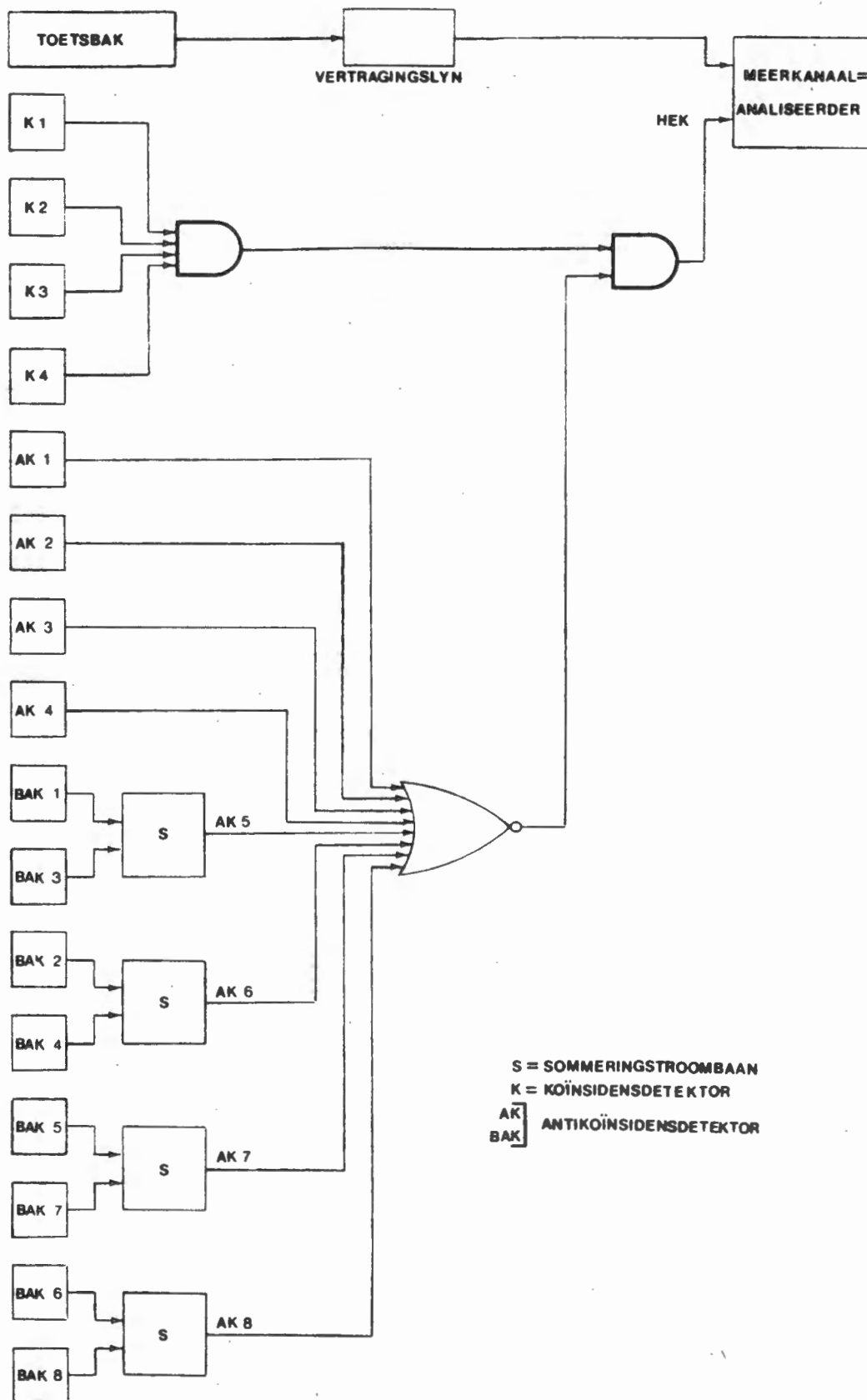


Fig. 3.4 Stroombaanskakeling om die koïnsidens-anti-koïnsidensvoorwaardes vir 'n gelaaide deeltjie te stel

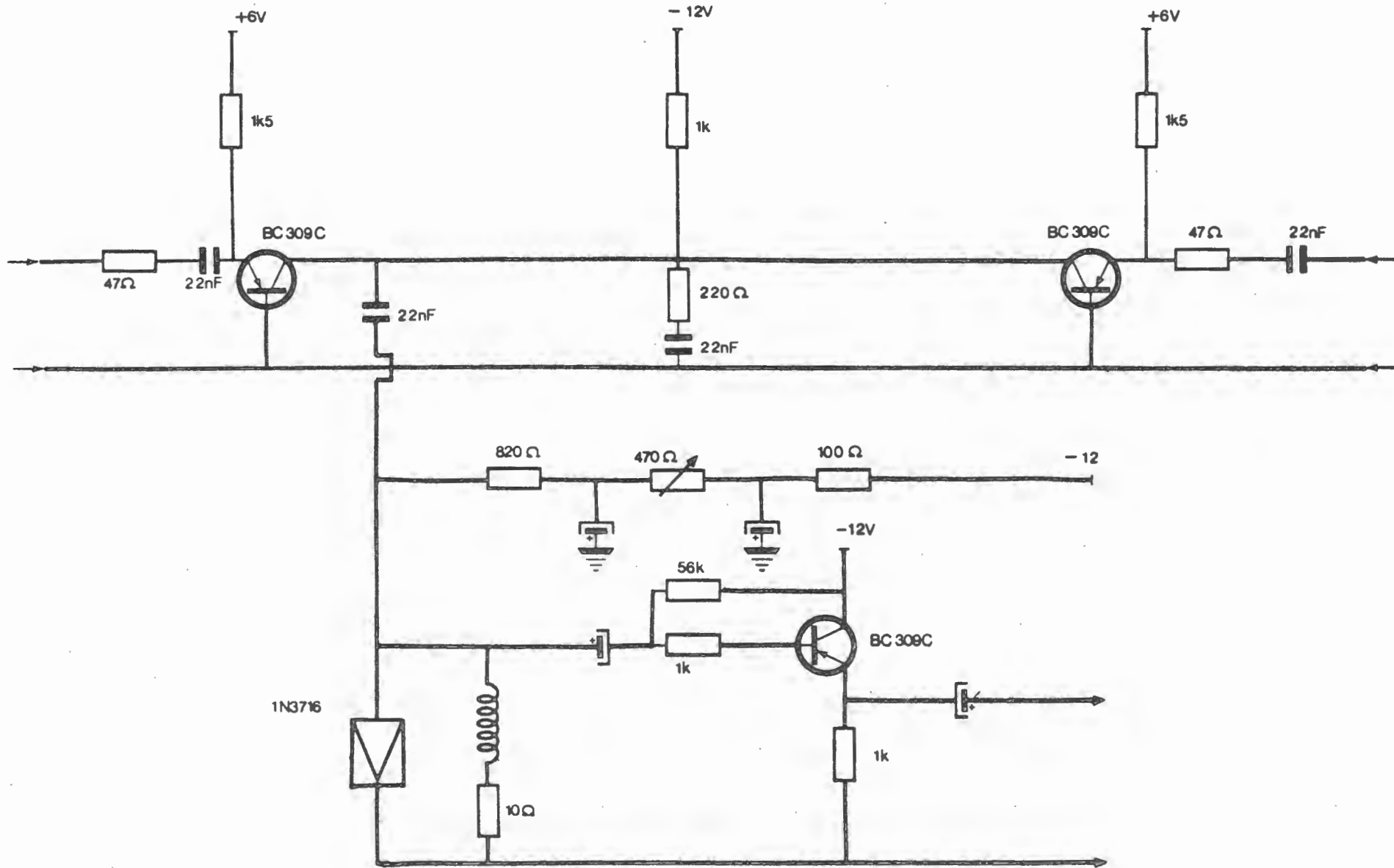


Fig. 3.5 Sommeringstroombaan

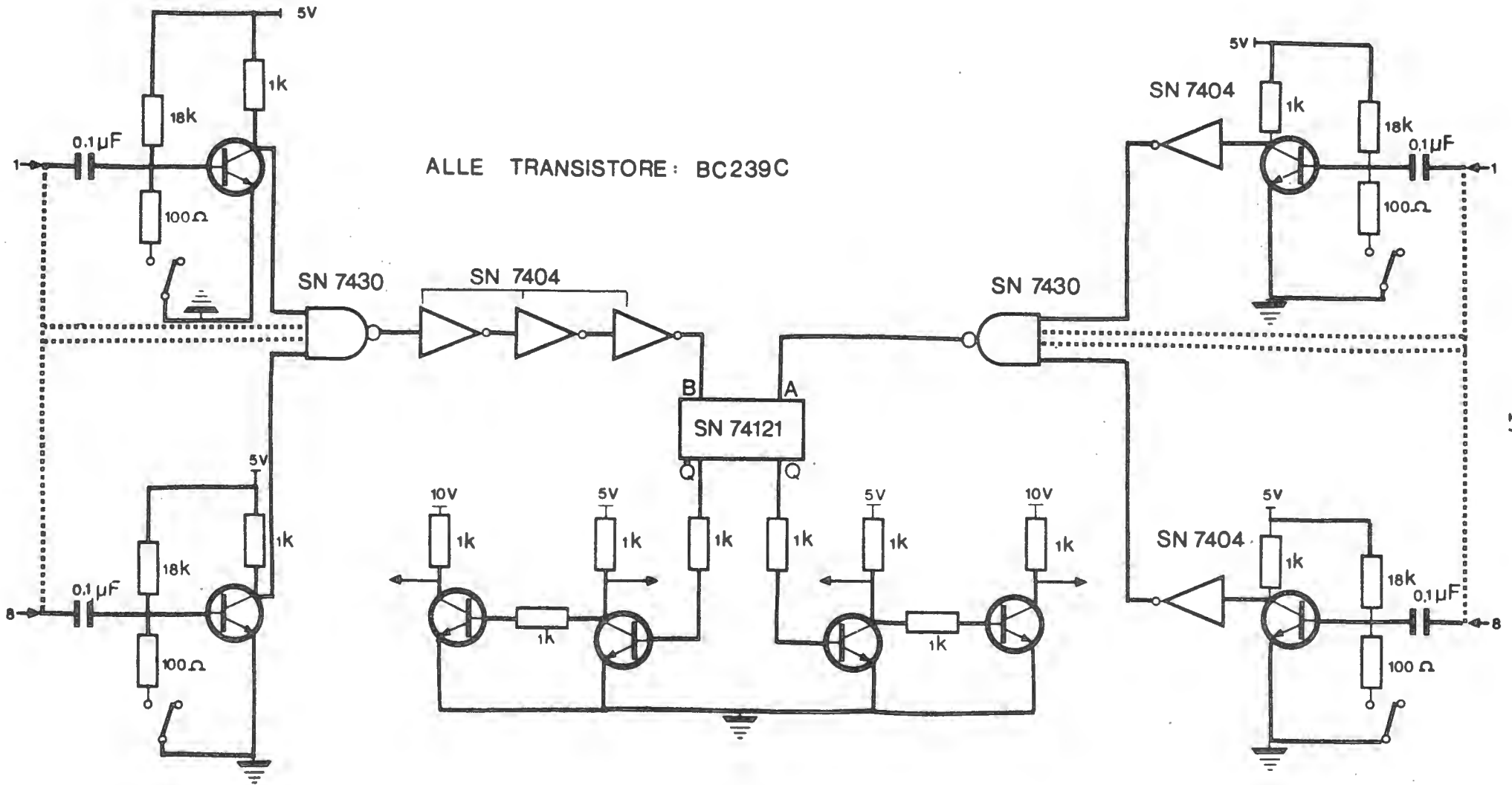


Fig. 3.6 Koincidens-Antikoincidensstroombaun

sodat die lineêre hek op die meerkanaalanaliseerder tyd het om oop te maak.

### 3.4 *Eksperimentele Metode en Resultate*

In hierdie paragraaf word die wyse waarop daar te werk gegaan is om die relatiewe opbrengskromme van die toetsbak te verkry, bespreek.

Die lengte van die toetsbak is in twintig gelyke dele verdeel. Die afstand tussen die verwysingspunt (Figuur 3.1) en die fotovermenigvuldiger is as die bakposisie in Tabel 3.1 genoteer. Die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger is as onafhanklike veranderlike daargestel deur die toetsbak telkens in stappe van 27 cm, die breedte van 'n gidsdetektor, te verskuif.

Voor die opname van 'n spektrum is die diskriminasievlak van elk van die koïnsidens- en antikoïnsidensgidsdetektore ingestel om tussen vyftig en honderd impulse per sekonde te tel. Die groot antikoïnsidensdetektore is op ongeveer eenduisend tellings per sekonde ingestel. Hierdie tempowaarde is verkry deur by benadering die tempo van gelaaieteeltes wat deur die onderskeie detektore sal beweeg, te bereken en voorsiening vir ruisimpulse te maak.

Daar is by elk van die twintig bakposisies 'n verdeling van die impulshoogte vir deurgange van enkeldeeltjies met behulp van die meerkanaalanaliseerder opgeneem. Slegs die impulshoogteverdelings by die afstande wat in Tabel 3.1 aangegee word, was bruikbaar. Die versterkings waarby elke opname gedoen is, word ook in Tabel 3.1 aangetoon. Om goeie statistiek te verkry, is daar vir elke spektrum 'n minimum van tweeduisend deeltjies, ongeag die tydsduur, getel. Die aantal deeltjies wat geregistreer is, en die totale tydsduur van elke spektrum word ook in Tabel 3.1 aangetoon.

Tabel 3.1

Aantal deeltjes geregistreer	Tydsduur (s)	Versterking op meerkaanaal	Afstand, r, vanaf fotovermenigvuldiger (m)	Gemiddelde kanaalnummer $\bar{x}$	Standaard afwings, $\sigma$ , in terme van kanaalnummers	Genormaleerde $\bar{x}$	Genormaleerde $\delta$
2786	17586	$\frac{1}{4} \times$	5,400	81,29	52,2	10,2	6,5
4310	26191	$\frac{1}{4} \times$	4,860	138,5	80,5	17,3	10,1
8857	54173	$\frac{1}{4} \times$	4,615	151,9	87,7	19,0	11,0
2699	16270	$\frac{1}{4} \times$	4,545	157,6	79,5	19,7	9,9
3379	19905	$\frac{1}{4} \times$	4,325	168,2	89,8	21,0	11,2
3161	19226	$\frac{1}{8} \times$	3,685	128,4	68,2	32,1	17,1
2435	15235	$\frac{1}{8} \times$	3,513	144,0	67,9	36,0	17,0
8721	54468	$\frac{1}{8} \times$	2,890	219,0	86,1	54,8	21,5
2398	15130	$\frac{1}{8} \times$	2,695	248,1	96,6	62,0	24,2
2667	16726	$\frac{1}{8} \times$	2,415	304,8	98,6	76,2	24,7
7578	47063	$\frac{1}{16} \times$	2,160	190,1	77,7	95,1	38,9
2309	14505	$\frac{1}{16} \times$	1,883	226,4	81,2	113,1	40,6
2255	14309	$\frac{1}{16} \times$	1,353	340,0	96,4	170,0	48,2
6210	38184	$\frac{1}{32} \times$	1,080	221,2	78,0	221,2	78,0
3925	23880	$\frac{1}{32} \times$	0,810	287,2	89,4	287,2	89,4
3182	19692	$\frac{1}{32} \times$	0,535	386,2	125,9	386,2	125,9

Hoogspanning (Gidsdetektore): 878,0 V

Hoogspanning (Vloeistofsintillasiedektore): 1246,0 V

Laagspanning (Gidsdetektore): 11,900 V

Laagspanning (Vloeistofsintillasiedektore): 11,120 V

Tabel 3.1 (Vervolg)

Aantal deel= tjies gere= gistreer	Tydsduur (s)	Versterking op meerka= naal	Afstand, r, vanaf foto= vermenigvul= diger (m)	Gemiddelde kanaalnummer $\bar{x}$	Standaard afwy= kings, $\sigma$ , in terme van ka= naalnommers	Genorma= liseerde $\bar{x}$	Genorma= liseerde $\delta$
DETEKTORPOSISIE 2							
2131	56351	$\frac{1}{32} x$	0,810	268,4	75,8	268,4	75,8
3242	89124	$\frac{1}{32} x$	1,080	193,1	65,3	193,1	65,3
2683	77974	$\frac{1}{32} x$	0,805	260,8	62,6	260,8	62,6
3154	82186	$\frac{1}{64} x$	0,535	249,3	88,2	498,6	176,4
DETEKTORPOSISIE 3							
2735	84220	$\frac{1}{64} x$	0,535	122,8	47,8	245,6	95,6
3472	103841	$\frac{1}{64} x$	0,810	126,1	45,0	252,2	90,0
2678	84273	$\frac{1}{64} x$	1,095	97,0	39,4	194,0	78,8
DETEKTORPOSISIE 4							
						MAK: Met antikoïnsidensie	
						SAK: Sonder antikoïnsidensie	
3668	20397	$\frac{1}{32} x$	1,095 (SAK)	176,7	67,6	176,7	67,6
6421	37820	$\frac{1}{32} x$	1,095 (MAK)	136,6	56,4	136,6	56,4
3293	18993	$\frac{1}{2} x$	5,130 (MAK)	116,2	66,6	7,3	4,2
2976	15605	$\frac{1}{4} x$	5,130 (SAK)	83,8	80,9	10,5	10,1

Elke pulshoogteverdeling is deur die meerkanaalanaliseerder se ponser op papierband gepons, waarna die data op magneetband gestoor is. Die rekenaarprogram wat die data van die magneetband aflees, word in Bylaag 3C getoon.

Soos uit Figuur 3.2 blyk, is die bostaande reeks metings langs die middellyn van die toetsbak gedoen. Hierdie opstelling sal voortaan as Opstelling 1 bekend staan. Opstelling 2, (Figuur 3.7), is aan die een sykant van die toetsbak opgestel sodat die afgebakende gebied waardeur die deeltjies moet beweeg om geregistreer te word, slegs  $(10 \times 27) \text{ cm}^2$  is. Opstelling 3 is die spieëlbeeld van Opstelling 2 aan die ander sykant van die toetsbak. Spektra is met Opstellings 2 en 3 opgeneem om die gebiede waar die deeltjies nie maklik deur die fotovermenigvuldiger waarneembaar is nie, te ondersoek (Figuur 3.8). Hierdie gebiede is die sogenaamde "donker" gebiede van die detektor vir die betrokke fotovermenigvuldiger.

Meyer (1969) het met dieselfde vloeistofsintillasiedetektore pulshoogteverdelings opgeneem, maar het, soos in Hoofstuk 1 bespreek is, nie van antikoïnsidensskerms gebruik gemaak nie. Om die resultate wat in die huidige eksperiment verkry is, enigsins met dié van Meyer (1969) te vergelyk, (Paragraaf 3.5), is twee spektra, een ver en die ander naby aan die fotovermenigvuldiger, met die gidsdetektore volgens Opstelling 1 opgeneem, maar geen antikoïnsidensskerms is gebruik nie. Twee spektra waarby alle antikoïnsidensdetektore aangeskakel was, is op dieselfde posisies opgeneem om as kontrole met vorige spektra te dien. Hierdie opstelling sal voortaan as Opstelling 4 bekend staan.

Drie tipiese verdelings wat met Opstelling 1 opgeneem is, word in Figure 3.9, 3.10 en 3.11 getoon. Elkeen van die pulshoogteverdelings is die gevolg van die saamgestelde effekte van die energieverlies van 'n gelaaide deeltjie volgens die Landauverdeling, (Faissner et al., 1963), die vrystelling van foto-elektrone gedurende die vermenigvuldigings-

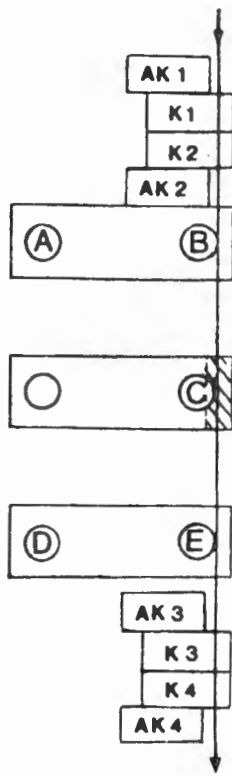


Fig. 3.7 *Opstelling om die "donker" gebied van fotovermenigvuldiger C te onderzoeken*

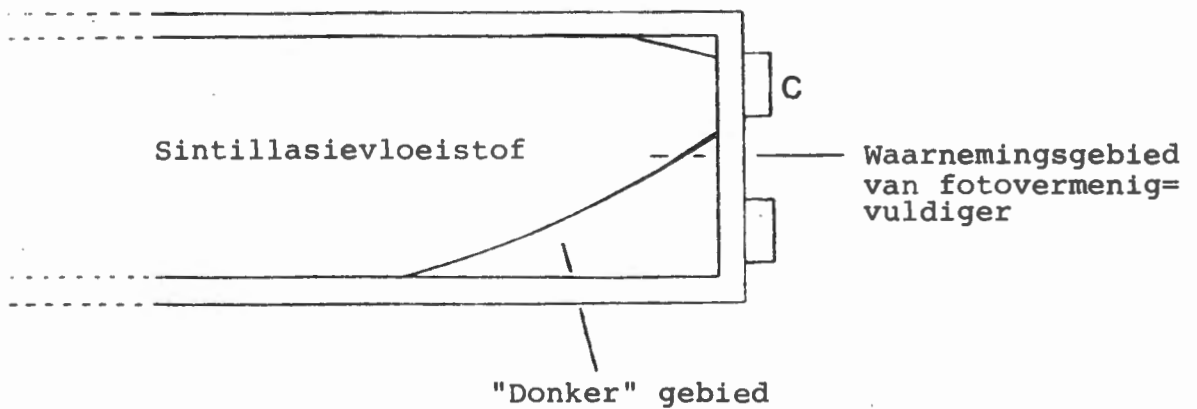


Fig. 3.8 *Skets om die waarnemingsgebied van fotovermenigvuldiger C aan te toon*

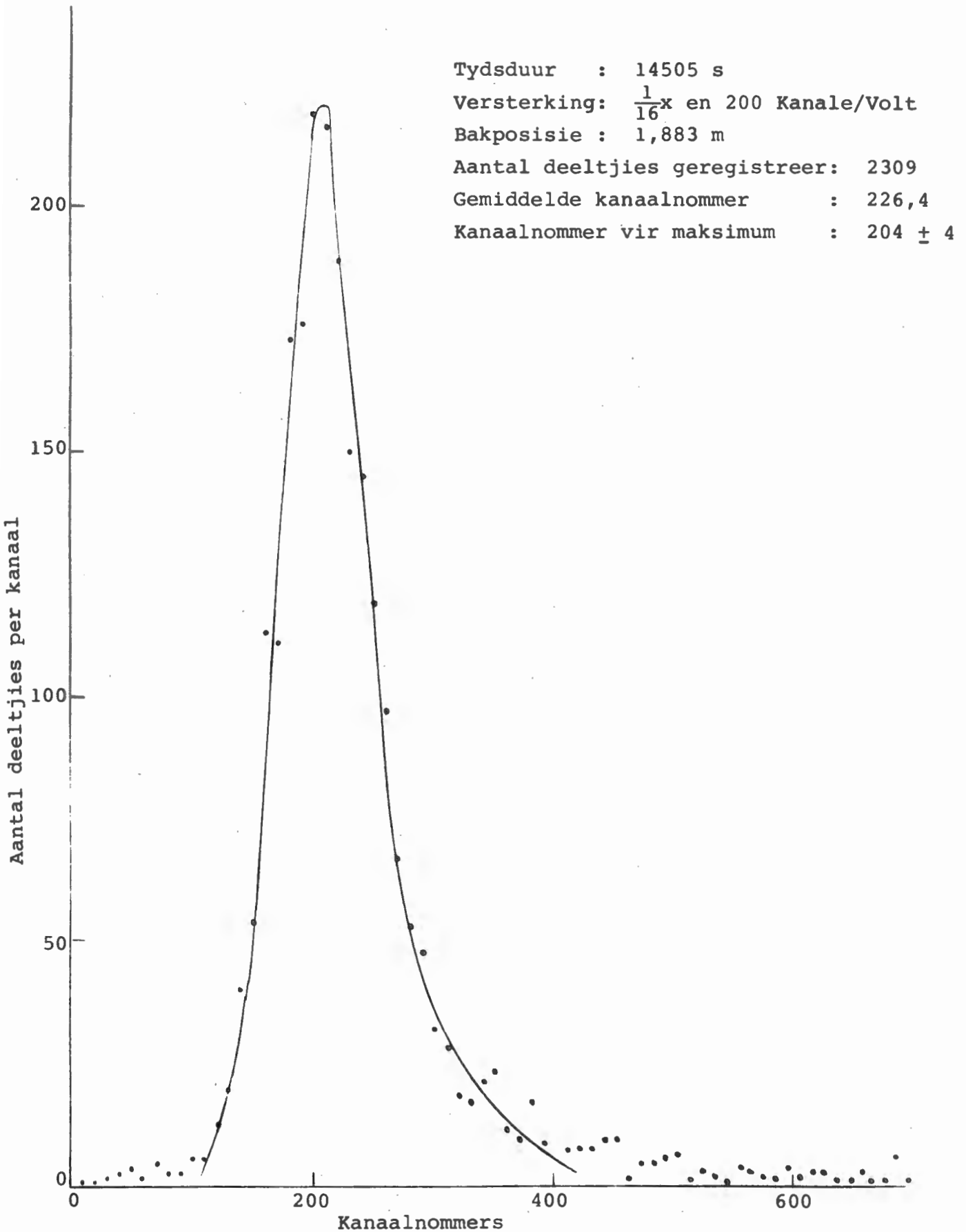


Fig. 3.9 Pulshoogteverdeling

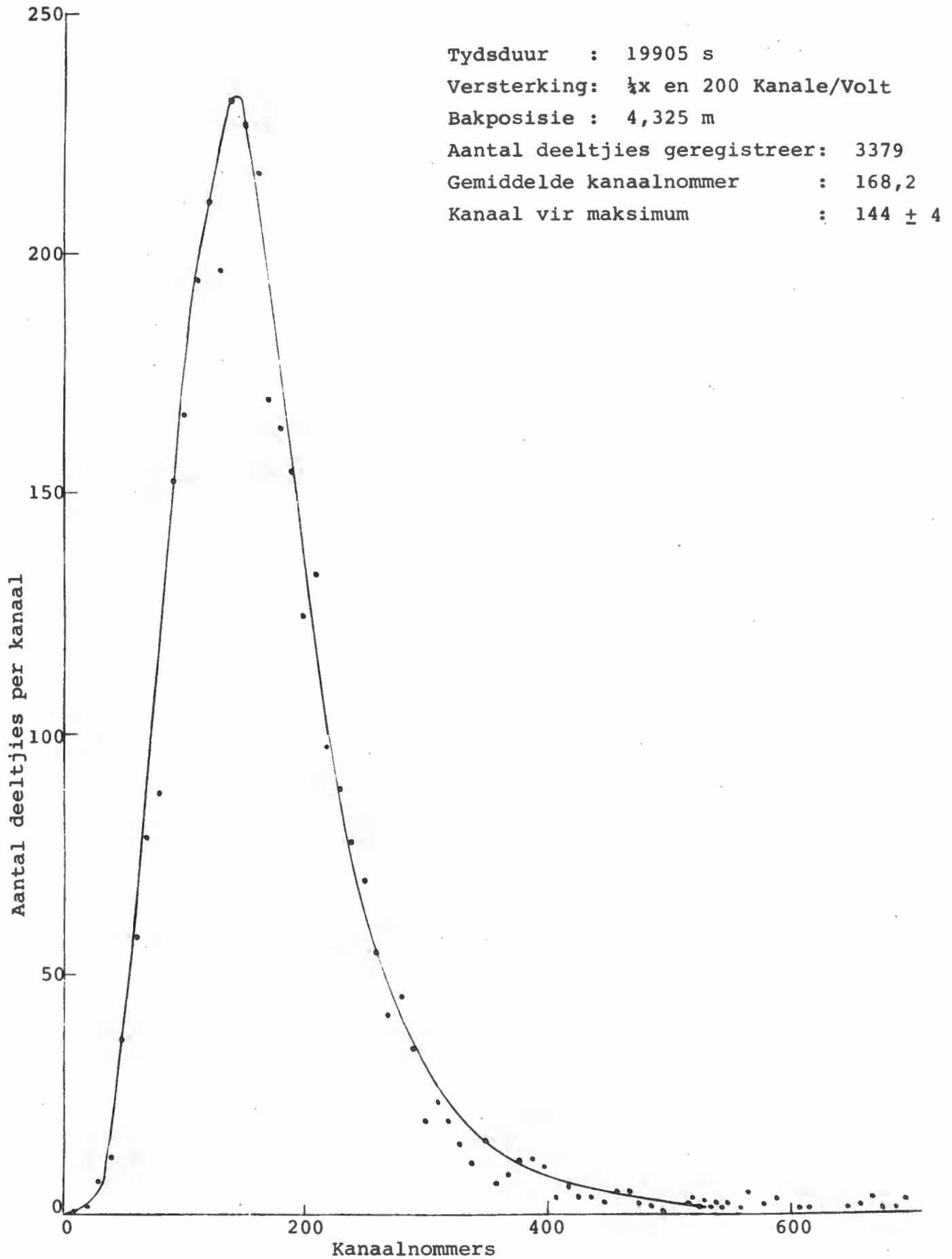


Fig. 3.10 Pulshoogteverdeling

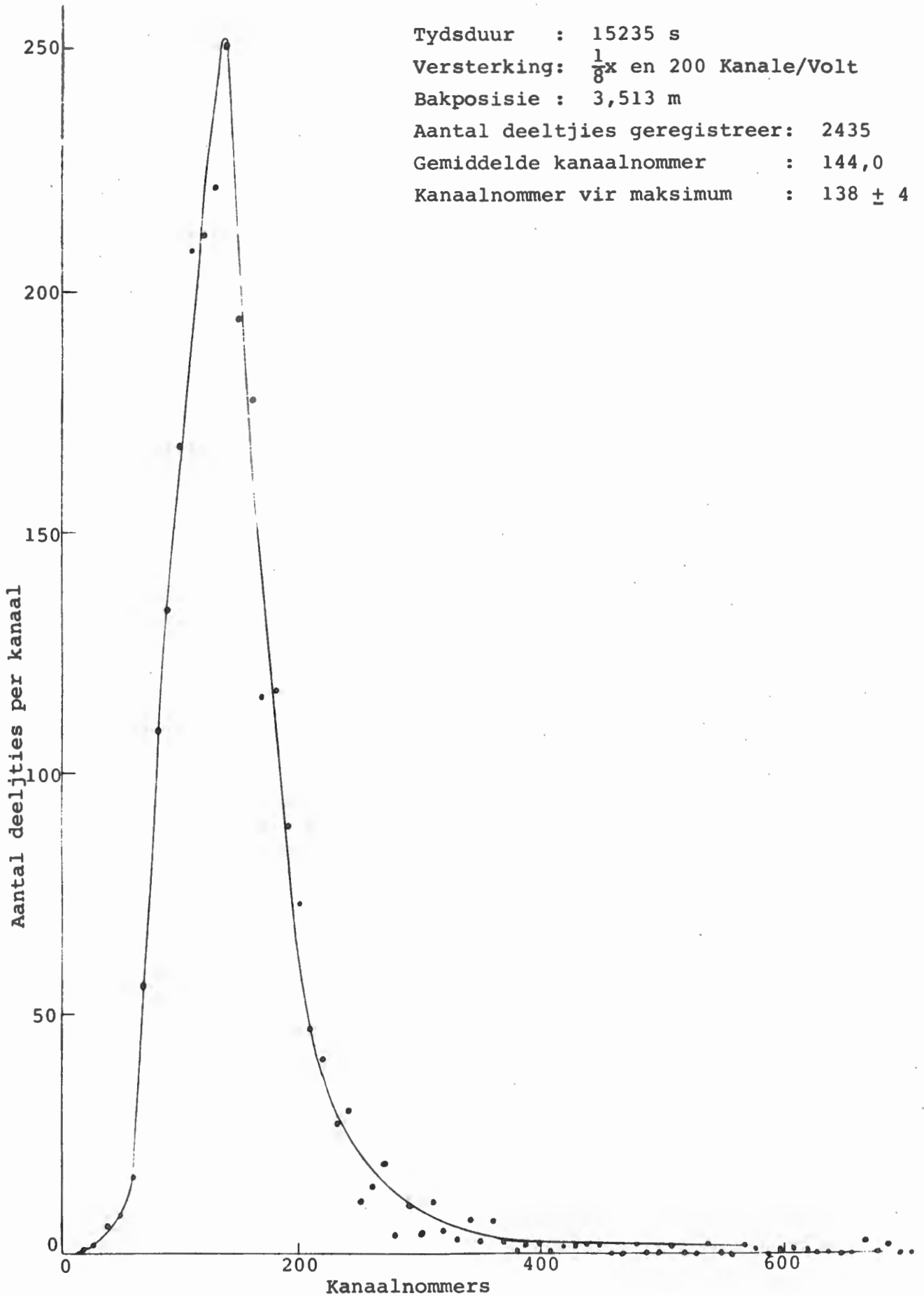


Fig. 3.11 *Pulshoogteverdeling*

proses volgens 'n statistiese verdeling, en 'n bydrae deur geassosieerde deeltjies. Laasgenoemde bydrae word deur deeltjies gemaak wat saam met die deeltjie onder beskouing skuins deur die sykante van die toetsbak beweeg, sonder om deur enigeen van die antikoïnsidensdetektore te gaan.

Die uitdrukking vir 'n Poissonverdeling is

$$P(n) = \frac{(\bar{n})^n e^{-\bar{n}}}{n!}$$

waar  $P(n)$  die waarskynlikheid is dat  $n$  gebeurtenisse sal voorkom waar die gemiddelde voorkoms  $\bar{n}$  is.

Die standaardafwyking van 'n verdeling word gegee deur die uitdrukking:

$$s = \left( \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 n_i \right)^{\frac{1}{2}}$$

waar  $N$  die totale aantal gebeurtenisse,  $x_i$  die  $i$ -de waarde en  $\bar{x}$  die gemiddelde waarde van die verdeling is. Die waarskynlikheidsfunksie word deur  $n_i$  voorgestel. Die verband tussen die standaardafwyking,  $s$ , en die gemiddelde waarde,  $\bar{n}$ , van 'n Poissonverdeling, is

$$\bar{n} = s^2$$

Verder bestaan daar 'n lineêre verband tussen die gemiddelde aantal foto-elektrone wat deur die fotokatode vrygestel is en die gemiddelde kanaalnommer,  $\bar{x}$ , soos in die meerkanalanaliseerder opgeneem is. Dieselfde verband bestaan tussen die standaardafwyking,  $s$ , en die ooreenstemmende waarde,  $\sigma$ , in kanale. Dit volg dus dat

$$k\bar{n} = \bar{x}, \quad k \text{ 'n eweredigheidskonstante}$$

$$\text{en} \quad ks = k\sqrt{\bar{n}} = \sigma$$

Dit gee 
$$\frac{\sigma}{\sqrt{\bar{x}}} = \sqrt{k} = \text{konstante} \quad (3.4.1)$$

Verder geld ook nog uit hierdie lineêre verband:

$$\frac{\bar{n}}{\sqrt{\bar{n}}} = \frac{\bar{x}}{\sigma}$$

Dit is 
$$\bar{n} = \left(\frac{\bar{x}}{\sigma}\right)^2 \quad (3.4.2)$$

Indien die gemete pulshoogteverdeling as Poissonverdelings benader kan word, behoort die uitdrukking,  $\frac{\sigma}{\sqrt{\bar{x}}}$ , as funksie van die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger 'n konstante waarde te hê. Volgens dieselfde benadering volg uit uitdrukking 3.4.2 dat die kanale van die meerkanaalanaliseerder in terme van die gemiddelde aantal foto-elektrone wat per deeltjiedeurgang deur die fotokatode van die fotovermenigvuldiger vrygestel is, geyk kan word. Die gemiddelde waarde,  $\bar{x}$ , en die standaardafwykings van die gemete pulshoogteverdelings, wat ten opsigte van die versterking genormaliseer is, word vir al vier opstellings in Tabel 3.1 getoon.

Met hierdie data is die relatiewe ligopbrengskromme van die toetsbak, (Figuur 3.12), en die verloop van die uitdrukking,  $\frac{\sigma}{\sqrt{\bar{x}}}$ , as funksie van die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger, (Figuur 3.14), verkry.

### 3.5 *Bespreking van die Resultate*

In hierdie paragraaf word die resultate wat met die huidige eksperiment verkry is, bespreek. Hierdie resultate word ook met dié van Meyer (1969) vergelyk.

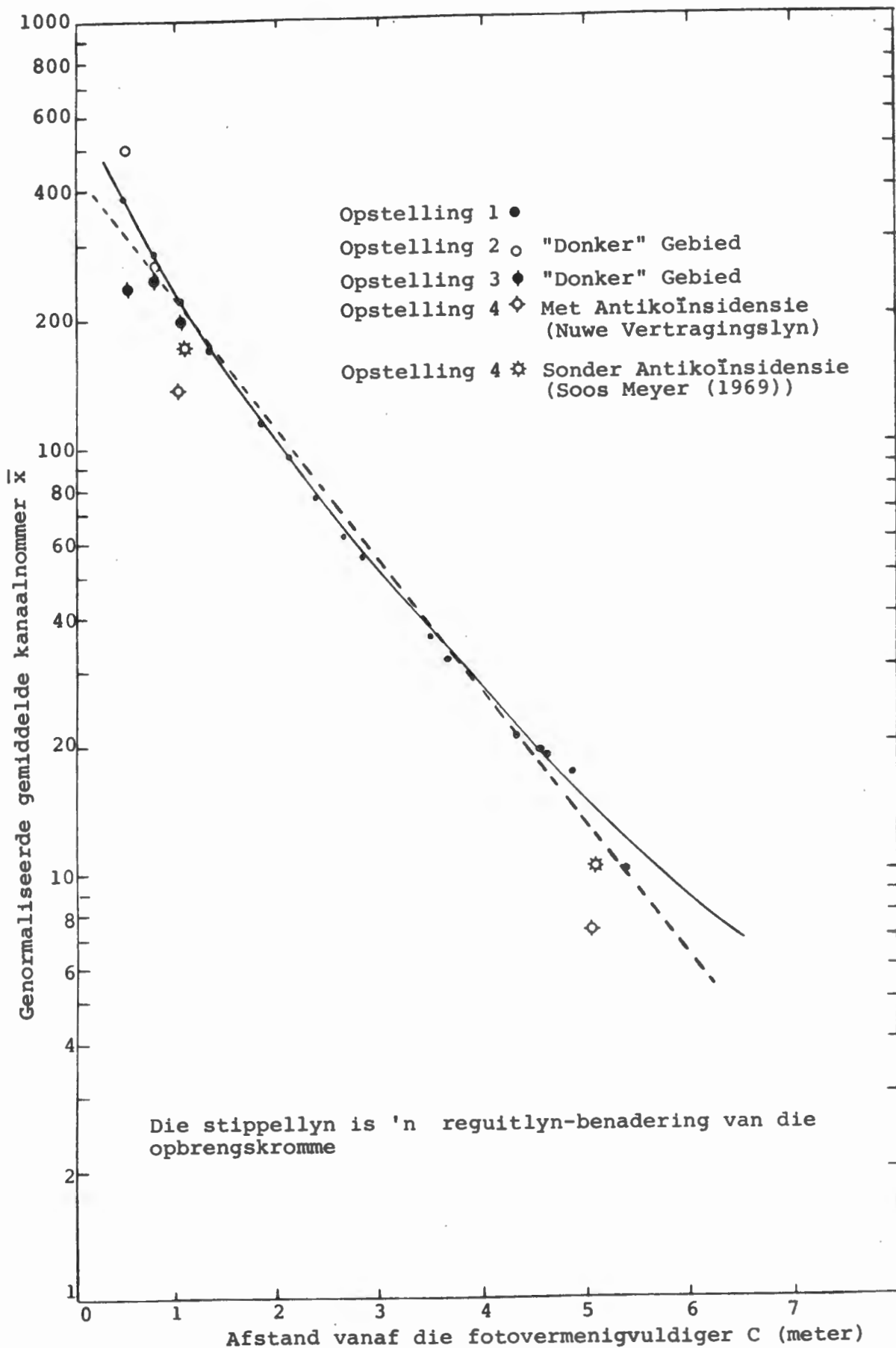


Fig. 3.12 Opbrengskromme van die toetsbak soos in die huidige eksperiment uitgemeet

Die relatiewe opbrengskromme, (Figuur 3.12), toon duidelik dat daar op 'n logaritmiëse skaal, nie 'n lineêre verband tussen die gemiddelde kanaalnommer,  $\bar{x}$ , en die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger bestaan nie. Dit beteken dat die absorpsiekoëffisient,  $\delta$ , van die sintillasievloeistof nie 'n konstante waarde het nie, maar 'n funksie van die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger is. Meyer (1969) het ook 'n relatiewe opbrengskromme in 'n soortgelyke eksperiment verkry (Figuur 3.13). Volgens Figuur 3.13 is die relatiewe pulshoogte op 'n afstand van een meter vanaf die fotovermenigvuldiger, ongeveer vyf maal groter as op 'n afstand van vyf meter vanaf die fotovermenigvuldiger. In Figuur 3.12 verskil die waardes van die relatiewe pulshoogtes op dieselfde afstande vanaf die fotovermenigvuldiger met ongeveer 'n faktor sestien. Hierdie verskynsel kan aan een of albei van die volgende moontlike oorsake toegeskryf word:

- a. In die huidige eksperiment is van antikoïnsidensafskerming gebruik gemaak, om die registrasie van geassosieerde deeltjies tot 'n baie groot mate uit te skakel. In Meyer (1969) se eksperiment is alle deeltjies egter geregistreer omdat daar nie van antikoïnsidensskerms gebruik gemaak is nie (Bylaag 3A).
- b. Daar kan met redelike sekerheid aanvaar word dat die absorpsiekoëffisiënt,  $\delta$ , van die sintillasievloeistof toegeneem het vandat Meyer se eksperiment uitgevoer is, tot by die huidige eksperiment. Die waarde van  $\delta$ , oor die gebied 1 m tot 5 m van die detektor bereken, is  $0,7 \text{ m}^{-1}$  en is uit Figuur 3.12 volgens Bylaag 3B bereken.

Indien bogenoemde verskynsel slegs deur die antikoïnsidensskerms veroorsaak is, sou verwag word dat die huidige spektra wat sonder enige antikoïnsidensafskerming opgeneem is, dieselfde opbrengskromme as dié in Figuur 3.13 sou lewer. Uit Figuur 3.12 is dit egter duidelik dat by Opstelling 4, sonder antikoïnsidensafskerming, dieselfde verloop verkry word as wanneer die antikoïnsidensafskerming wel in werking is. Die rede waarom die waardes van Opstelling 4 laer is as dié van Opstelling 1, is dat 'n ander verdragingslyn by Opstelling 4 gebruik is.

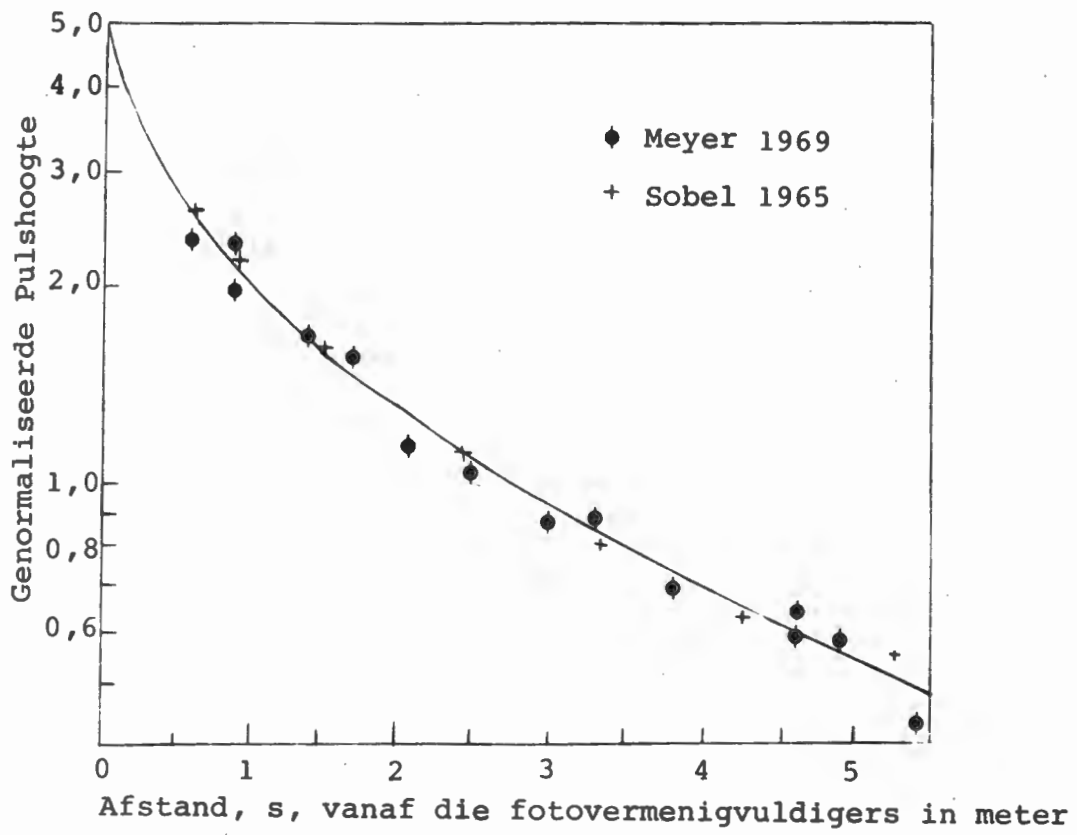
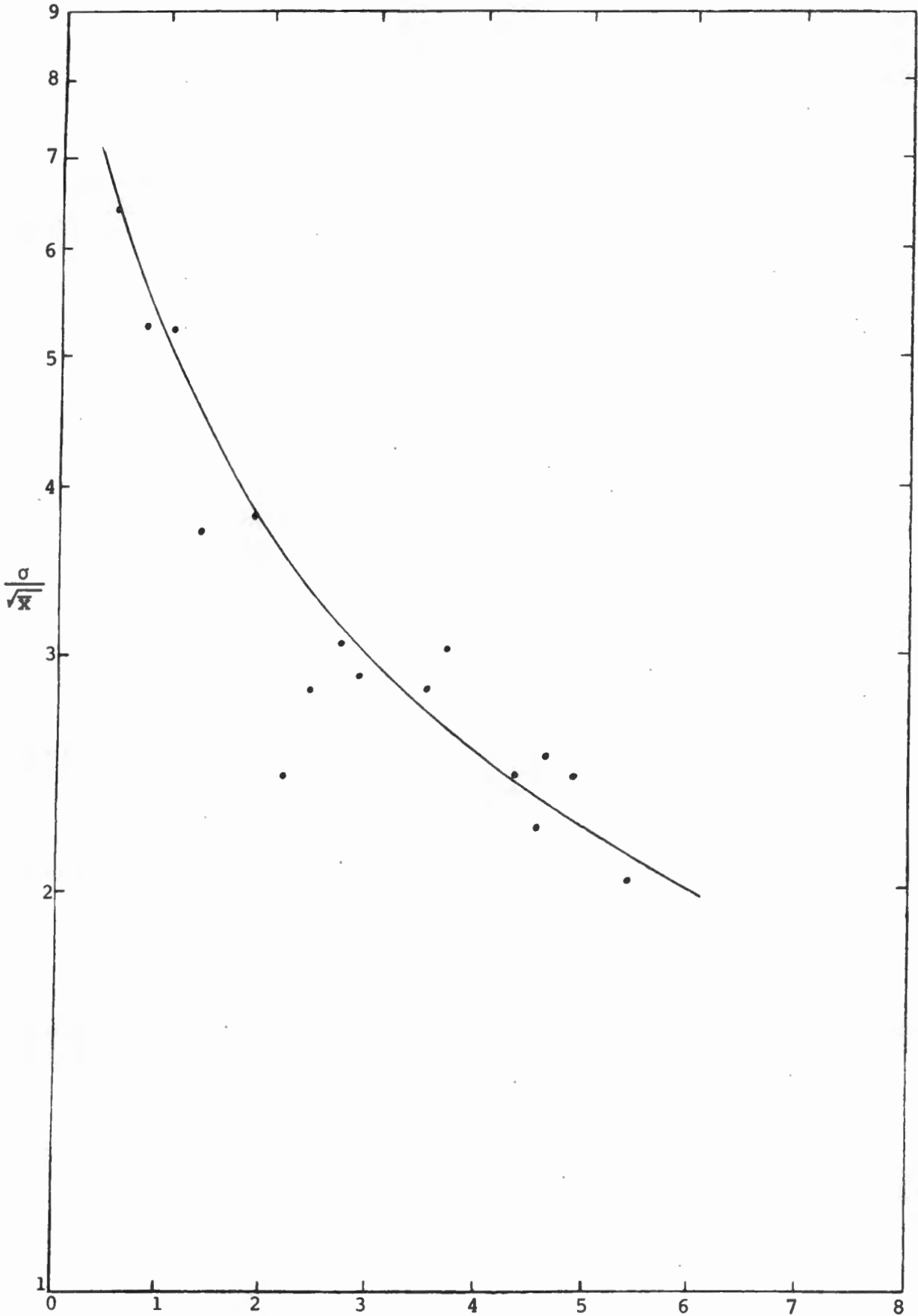


Fig. 3.13 Die opbrengsfunksie van Meyer (1969)



Afstand, s, vanaf die fotovermenigvuldiger (meter)

Fig. 3.14 Kromme van die standaardafwyking, genormaliseerd ten opsigte van die gemiddelde kanaalnommer, as funksie van die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger

Dit is 'n duidelike bewys dat die veroudering van die sintillasievloei-stof gedurende die afgelope dekade 'n verhoging in die absorpsiekoëffisiënt van die sintillasievloei-stof teweeg gebring het.

Soos duidelik uit Figuur 3.14 blyk, het die uitdrukking  $\frac{\sigma}{\sqrt{x}}$  nie 'n konstante waarde as funksie van die afstand nie. Om hierdie rede kan die pulshoogteverdelings nie sonder meer as Poissonverdelings benader word nie. Die kromme neig om af te plat op groot afstande vanaf die fotovermenigvuldiger. Gevolglik sal die verdelings op hierdie afstande die beste benaderings tot Poissonverdelings wees.

Soos reeds in Paragraaf 3.4 gemeld, lewer die geassosieerde deeltjies wat wel deur die sykante van die toetsbak beweeg het sonder dat dit deur die antikoïnsidensskerms geregistreer is, ook 'n bydrae tot die uitrekking van die gemete pulshoogteverdelings. In Hoofstuk 4 word daar vir die bydrae van die geassosieerde deeltjies gekorrigeer. Indien die gekorrigeerde pulshoogteverdelings dan as Poissonverdelings benader kan word, kan die kanale van die meerkanalanaliseerder met behulp van uitdrukking 3.4.2 in terme van die gemiddelde aantal foto-elektrone geyk word. Indien dit geslaagd is, is 'n maklike metode gevind om 'n fotovermenigvuldiger in terme van gemiddelde aantal foto-elektrone te yk.

## BYLAAG 3A

## DIE METODE VAN MEYER (Meyer 1969)

Vir die uitmeet van 'n relatiewe opbrengskromme van 'n toetsbak, het Meyer 'n toetsbak met dieselfde afmetings, (Figuur 2.1), asook dieselfde sintillasievloeistof, gebruik as wat in die huidige projek gebruik is. Meyer het egter slegs van koïnsidensstroombane gebruik gemaak, sodat daar in sy eksperiment 'n groot aantal dubbeldeeltjies getel is. Alhoewel daar in sy eksperiment van vier fotovermenigvuldigers in die toetsbak gebruik gemaak is, was dit 'n lang en moeisame proses om die posisie en rigting van die deeltjie, as dit deur die toetsbak beweeg het, te bepaal. Deur met die tydsverskille tussen aankomstye by die vier verskillende fotovermenigvuldigers te werk, kon die posisie van die deeltjie binne die foutgrens van  $\pm 25$  cm bepaal word.

Meyer se metode word as swak in vergelyking met die huidige metode beskou, omdat Meyer van geen antikoïnsidensskerms gebruik gemaak het nie. In die huidige metode, deur slegs die antikoïnsidensdetektore reg te rangskik, kan 'n afgebakende gebied van willekeurige afmetings geskep word, waardeur 'n deeltjie binne slegs 'n bepaalde ruimtehoek mag beweeg om geregistreer te kan word.

## BYLAAG 3B

## ORDEBEPALING VAN DIE ABSORPSIEKOEFFISIËNT VAN DIE SINTILLA= SIEVLOEISTOF

In hierdie deel word die absorpsiekoëffisiënt van die sintillasievloeistof wat in die toetsbak gebruik is, bepaal. Omdat die opbrengskromme, (Figuur 3.12), nie 'n reguit lyn is nie, is 'n reguit lyn (stippellyn) deur die punte geskat om 'n ordegrootte van die absorpsiekoëffisiënt,  $\delta$ , te bereken.

Indien  $x_1$  die gemiddelde kanaalnommer vir 'n spektrum op afstand  $r_1$  is, en  $x_0$  is die gemiddelde kanaalnommer by  $r$ , is, dan word die verband tussen hulle deur die eksponensiële verloop gegee as:

$$x_1 = x_0 e^{-\delta (r_1 - r_0)} \quad (1)$$

dit wil sê

$$\ln x_1 = \ln x_0 - \delta (r_1 - r_0) \quad (2)$$

$$= \delta (r_1 - r_0) = \ln x_0 - \ln x_1 = \ln \left( \frac{x_0}{x_1} \right)$$

$$\text{sodat } \delta = \frac{\ln \frac{x_0}{x_1}}{(r_1 - r_0)} \quad (3)$$

Dan is die ordegrootte van die absorpsiekoëffisiënt

$$\delta \approx 0,7 \text{ m}^{-1}$$

## BYLAAG 3C

REKENAARPROGRAM VIR DIE LEES VAN DATA VANAF 'N MAGNEETBAND,  
EN VIR DIE BEREKENING VAN DIE GEMIDDELDE WAARDE EN STANDAARD=  
AFWYKING VAN DIE DATA

```

INTEGER*2 M,LR(16)
DIMENSIA F(800),KODE(10)
DIMENSIA XW(801),XS(801)
DIMENSIA KSM(800)
READ(1,2)(KODE(I),I=2,10),KCODE(1)
2  FCRMAT(10(1X,13))
DC 200 IBAND=1,18
VERST=4.0
KPV=200
MINP=1
MAKS=199
MAKS=399
MAKS=499
MAKS=599
MAKS=799
NER=0
N=1
3  CALL DATAP(M,1,1,NER)
MNP=1
NER=0
IF (NER) 31,30,31
31 MAKS=N
GC TO 20
30 IF (M-141) 3,4,3
4  CALL DATAP(M,1,1,NER)
LR(1)=M
IF (NER) 32,1,32
32 MAKS=N
GC TO 20
1  IF (LR(1)-141) 4,5,4
5  CALL DATAP(LR,1,5,NER)
A=0
NE=0
DC 63 I=2,5
CC 60 J=1,10
JJ=J
IF (KCODE(J)-LR(1)) 60,61,60
60 CCNTINUE
JJ=1
WRITE(3,45)
61 A=A*10+(JJ-1)
IF (I-4) 63,62,62
62 NE=NB*10+(JJ-1)
63 CCNTINUE
IF (N-2) 70,67,67
70 IF (NB) 65,65,66
65 N=0
GC TO 67
66 N=1
67 MNQ=1
IF (NER) 33,17,33
33 MAKS=N
GC TO 20
17 DC 9 JR=1,10
IF (MNC-1) 16,15,16
15 CALL DATAP(M,1,1,NER)
LR(1)=M
IF (NER) 14,35,14

```

```

14   MAKS=N
      GC TO 20
35   IF (LR(1)-160) 1,16,1
16   CALL DATAP(LR,1,6,NER)
      IF (NER) 34,11,34
34   MAKS=N
      GC TO 20
11   A=C
      DC 7 I=1,6
      DC 6 J=1,10
      JJ=J
      IF(KODE(J)-LR(I))6,7,6
6     CCNTINUE
      JJ=1
      WRITE(3,45)
45   FCRMAT(' GETALFOUT')
7     A=A*10+(JJ-1)
      IF (N) 8,8,68
68   F(N)=A
      IF(N-MAKS)8,20,20
8     N=N+1
9     CCNTINUE
      CALL DATAP(M,1,1,NER)
      LR(1)=M
      IF (NER) 36,37,36
36   MAKS=N
      GC TO 20
37   IF (LR(1)-141) 12,5,12
12   IF (LR(1)-160) 25,13,25
13   MNQ=2
      GC TO 17
25   WRITE(3,26) N
26   FCRMAT(' KODE 141 EN 160 NIE GEVIND. KANAALNR.',I4)
      GC TO 23
20   SCM1=C.0
      SCM2=0.0
      SCM3=C.0
      SP1=0.0
      SP3=0.0
      MIN=MINM+1
      DC 100 I=MIN,MAKS
      IF (F(I)) 200,200,340
340  F(I)=F(I)-400000
      IF (F(I)-0.2E06) 59,99,98
98   F(I)=F(I)-0.1E07
99   SCM1=SOM1+F(I)*(I-1)
      XS(I)=(I-0.5)
      XW(I)=(XS(I)+17.5)/78556
      SP1=SP1+F(I)*XW(I)
      SP3=SP3+XW(I)*XW(I)*F(I)
      SCM2=SOM2+F(I)
      SM2=SCM2
100  SCM3=SOM3+(I-1)*(I-1)*F(I)
      XGEM=SOM1/SOM2
      SKK=(SOM3/SCM2-XGEM**2)
      IF (SKK) 50,51,51
50   SKK=ABS(SKK)
51   SGMA2=SQRT(SKK)

```

```

18  WRITE(3,18) SCM2
    FCRPAT(E12.4)
19  WRITE(3,19) MINM,MAKS
    FCRPAT(2I4)
21  WRITE(3,21) XXGEM,SGMA2
    FCRPAT(2E12.4)
    XXGEM=SM1/SM2
    SGMAW=SQRT(SM3/SM2-XXGEM**2)
101 WRITE(3,101) XXGEM,SGMAW
    FCRPAT(2E12.4)
    WRITE(3,22)(F(I),I=MINM,MAKS)
22  FCRPAT(10(F11.0))
    IST=10
    JK=MAKS/IST
    ISTT=IST-1
    DC 42 J=1,JK
42  KSM(J)=0
    DC 43 J=1,JK
    JI=(J-1)*IST+1
    JJ=JI+ISTT
    DC 43 I=JI,JJ
    KSM(J)=KSM(J)+F(I)
43  CCNTINUE
    WRITE(3,44) (KSM(J),J=1,JK)
44  FERMAT(10I12)
23  CCNTINUE
200 CCNTINUE
    STOP
    END

```

## HOOFSTUK 4

### DIE AANBRING VAN KORREKSIES OP PULSHOOGTEVERDELINGS

#### 4.1 *Inleiding*

Soos in Hoofstuk 1 bespreek, gaan tweehonderd-en-veertig fotovermenigvuldigers in die beplande muon-eksperiment gebruik word. Dit sal dus nodig wees om die gevoeligheid van elkeen van hierdie fotovermenigvuldigers te ken ten einde die apparaat in te stel.

Indien eksperimentele voorwaardes gevind kan word waaronder die gemete pulshoogteverdelings as Poissonverdelings benader kan word, kan elk van die tweehonderd-en-veertig fotovermenigvuldigers op 'n heel eenvoudige en direkte wyse in terme van foto-elektrone geïk word. Hierdie moontlikheid word in hierdie hoofstuk ondersoek. Eerstens word na die bydrae van geassosieerde deeltjies tot die vorm van 'n pulshoogteverdeling gekyk.

In Paragraaf 4.2 word die gemete pulshoogteverdelings ten opsigte van die versterking genormaliseer en na waarskynlikheidsdigtheidsverdelings omgerek. Die probleem van kontaminasie van die pulshoogteverdelings word inleidend in Paragraaf 4.3 bespreek. Gewigsfaktore, wat 'n maat van die kontaminasie op die verdelings is, word dan bepaal. Met behulp van die gewigsfaktore en die verdelings word die korreksieprosedure behandel. As eindresultaat word die amplitudes van die gemete verdelings in terme van die aantal foto-elektrone gegee waarmee die opbrengskromme van die toetsbak ook bereken en gegee word.

#### 4.2 *Die Omrekening van die Gemete Pulshoogteverdelings na Waarskynlikheidsdigtheidsverdelings*

Die vyftien pulshoogteverdelings wat gebruik word is op verskillende afstande vanaf die fotovermenigvuldiger opgeneem. Vir posisies na aan die fotovermenigvuldiger, kon die fotovermenigvuldiger gebeurtenisse maklik waarneem, sodat die impulse min versterk is. Impulse wat ontstaan vir posisies ver vanaf die fotovermenigvuldiger, is egter baie versterk. Die versterkingsfaktore van al die verdelings is bekend, (Tabel 3.1), sodat al die verdelings ten opsigte van die versterkings genormaliseer kan word en na waarskynlikheidsdigtheidsverdelings omgerekend kan word. Hierdie bewerkings is met die rekenaar uitgevoer en die rekenaarprogram word in Bylaag 4D getoon. Vier van die waarskynlikheidsdigtheidsverdelings word in Figuur 4.1 getoon. Alhoewel die resultaat in Figuur 4.1 getoon word, word die impuls groottes van die waarskynlikheidsdigtheidsverdelings in terme van foto-elektrone eers in Paragraaf 4.4 bereken.

#### 4.3 *Die Aanbring van Korreksies op Gekontamineerde Verdelings*

Inleidend tot hierdie paragraaf word faktore wat tot die kontaminasie van verdelings kan lei, kortliks bespreek. Gewigsfaktore, wat 'n maat van die kontaminasies op die verdelings is, word dan bepaal. Die eksperimente wat benodig word in die bepaling van die gewigsfaktore, word ook bespreek. Laastens word die metode wat gebruik is om met behulp van die gewigsfaktore die korreksies op die verdeling aan te bring, bespreek.

##### 4.3.1 *Kontaminasie van 'n Verdeling*

Daar bestaan hoofsaaklik drie faktore wat die vorm van die gemete pulshoogteverdelings bepaal, naamlik

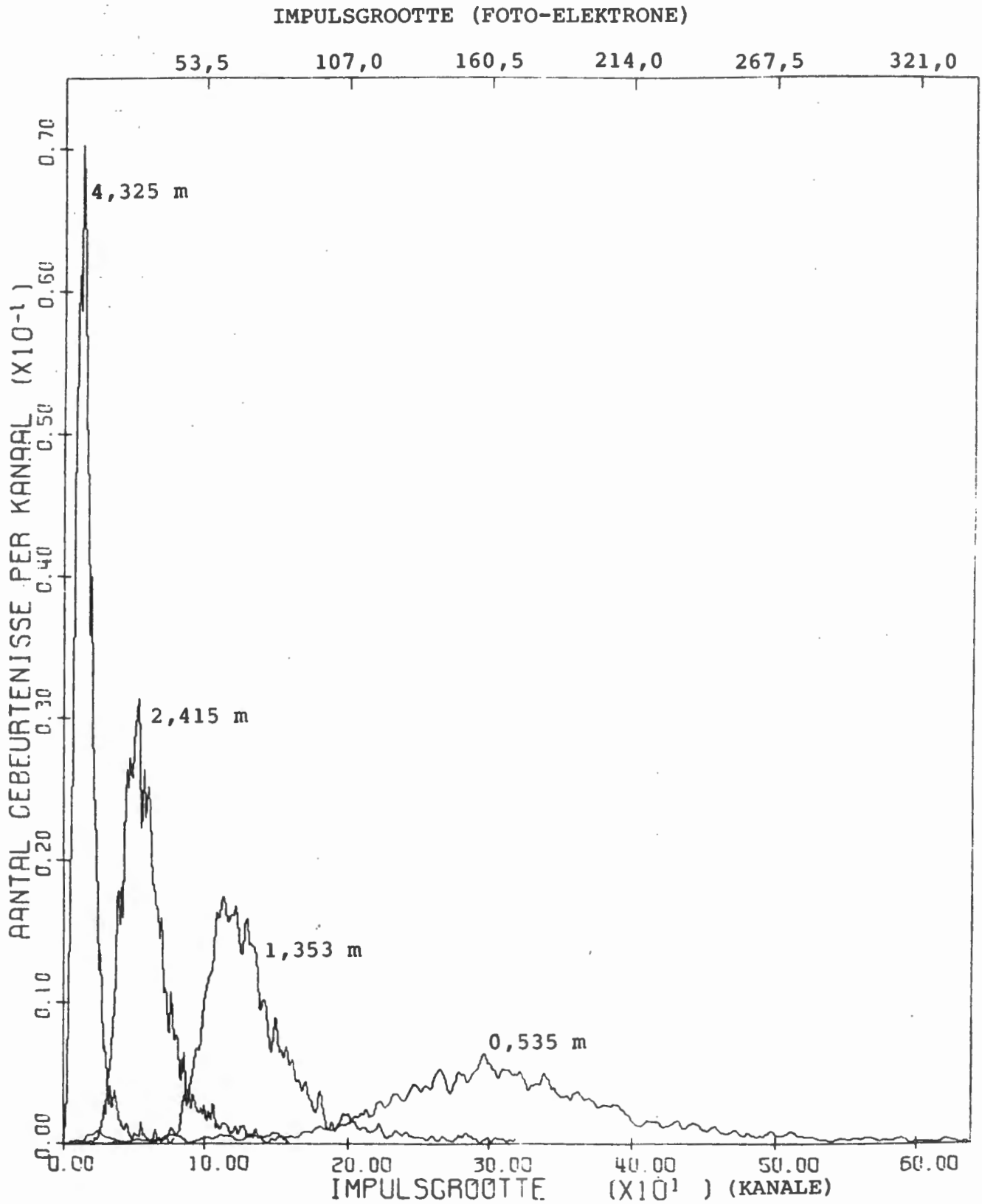


Fig. 4.1 Waarskynlikheidsdigtheidsverdeling op vier afstande 0,535 m; 1,353 m; 2,415 m en 4,325 m vanaf die fotovermenigvuldiger

- a. die energieverlies van 'n deeltjie wat volgens 'n Landauverdeling geskied wanneer 'n deeltjie deur die toetsbak beweeg (Faissner et al., 1963)
- b. die vermenigvuldigingsproses van die elektrone in die fotovermenigvuldiger vind volgens 'n statistiese proses plaas, waar die foto-elektrone volgens 'n verdeling wat baie na aan 'n Poissonverdeling is, deur die fotokatode vrygestel word (De Villiers, 1969).
- c. die bydrae van geassosieerde deeltjie(s) wat tegelyk met 'n deeltjie wat aan die koïnsidens-antikoïnsidensvoorwaardes voldoen, skuins deur die toetsbak beweeg sonder om enige van die antikoïnsidensskerms te raak. Die bydrae van hierdie geassosieerde deeltjies tot die kontaminasie van 'n pulshoogteverdeling sal nou bepaal word.

Stel nou 'n pulshoogteverdeling word by 'n posisie  $m$  in 'n klein oppervlakinterval  $\Delta c$  op die toetsbak gemeet. Stel verder dat hierdie pulshoogteverdeling gekontamineer word deur geassosieerde deeltjies wat op 'n afstand  $x_{m-n}$  vanaf  $m$ , in 'n klein oppervlakinterval  $\Delta b$  by posisie  $n$ , skuins deur die toetsbak beweeg sonder om enige antikoïnsidensbak te raak (Figuur 4.2). Om nou die invloed van die geassosieerde deeltjies op die verdeling by posisie  $m$  in 'n bepaalde oppervlakinterval  $\Delta c$  te bepaal, moet die waarskynlikheid verkry word dat, indien daar 'n deeltjie in die oppervlakinterval  $\Delta c$  by posisie  $m$  deurgaen, daar tegelykertyd 'n geassosieerde deeltjie in die oppervlakinterval  $\Delta b$  by posisie  $n$  sal deurgaen. Die opstelling waarmee die deeltjies in die oppervlakintervalle by posisie  $m$  en die geassosieerde deeltjies by posisie  $n$  gemeet is, word in Figuur 4.3 getoon. Die posisies van gidsdetektore 1, 2 en 3, wat die teleskoop 123 vorm, was vas, terwyl gidsdetektore 4 en 5, wat die teleskoop 45 vorm, in 'n vertikale posisie  $b_0$  mekaar langs die lengte van die toetsbak verskuif is. Buie van



Fig. 4.2 *Opstelling om aan te toon hoe geassocieerde deeltjes deur die toetsbak kan beweeg sonder om die antikoïnsidensskerms te raak*

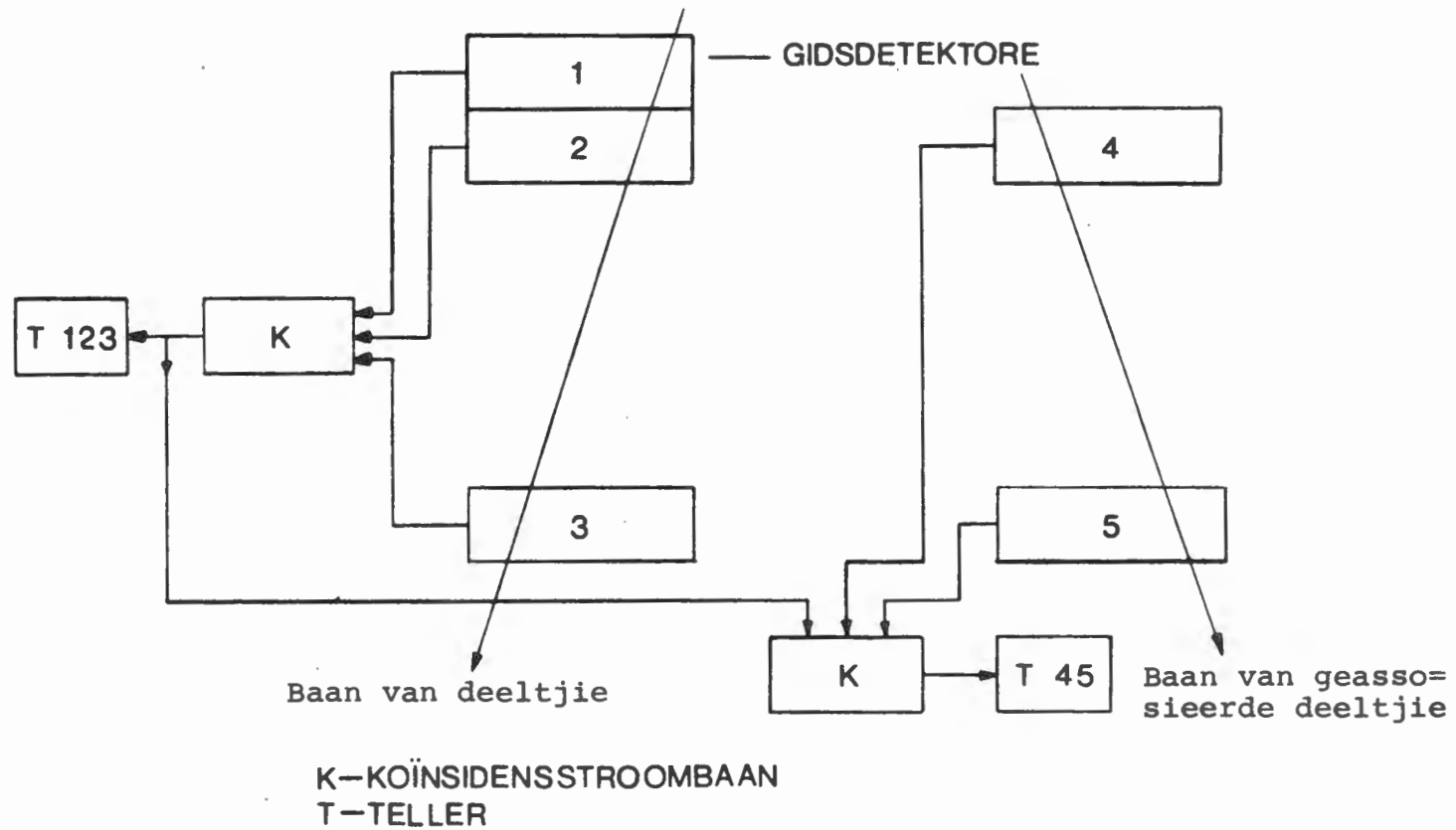


Fig. 4.3 Eksperimentele opstelling om die afstandsverdeling van die intensiteit van geassosieerde deeltjies te bepaal

kosmiese strale is gedurende opnames van pulshoogteverdelings deur die antikoïnsidensskerms uitgeskakel. Met die uitmeet van die afstandsverdeling van die intensiteit van geassosieerde deeltjies, is 'n klein antikoïnsidensgidsdetektor gebruik om buie uit te skakel. In die opstelling van Figuur 4.3 registreer teller 123 al die deeltjies in die oppervlakinterval  $\Delta c$  by die posisie  $m$ , terwyl teller 45 deeltjies registreer wat deur teleskoop 45 waargeneem is, slegs indien daar tegelykertyd 'n deeltjie deur teleskoop 123 gegaan het. Daar is van drie detektore by posisie  $m$  gebruik gemaak sodat die bydrae van toevallige koïnsidensies verwaarloosbaar sal wees (Bylaag 4A). Al vyf detektore het identiese afmetings. Die opstelling is s6 dat die geometriese faktore van teleskoop 123 en teleskoop 45 byna dieselfde is sodat beide teleskope ongeveer dieselfde ruimtehoek het. Die waarskynlikheid van deurgang van 'n geassosieerde deeltjie deur die oppervlakinterval  $\Delta b$  as funksie van die afstand tussen die twee teleskope word gegee deur

$$A = \frac{\text{Aantal geassosieerde deeltjies deur oppervlakinterval } \Delta b}{\text{Totale aantal deeltjies deur oppervlakinterval } \Delta c}$$

Hierdie funksie word in Figuur 4.4 getoon.

#### 4.3.2 Die Bepaling van die Gewigsfaktor

Om die gewigsfaktor later te kan bepaal, word die hoeksverdeling van die intensiteit van geassosieerde deeltjies ook benodig. Omdat daar nie s6 'n hoeksverdeling vir die laboratorium waarin die pulshoogteverdelings opgeneem is, beskikbaar is nie, moes dit gemeet word. Die enigste beskikbare resultate van die hoeksverdeling van geassosieerde deeltjies is in 'n ondergrondse eksperiment op 'n diepte van 40 m.w.e. uitgevoer (Dardo and D'Ettorre Piazzoli, 1973).

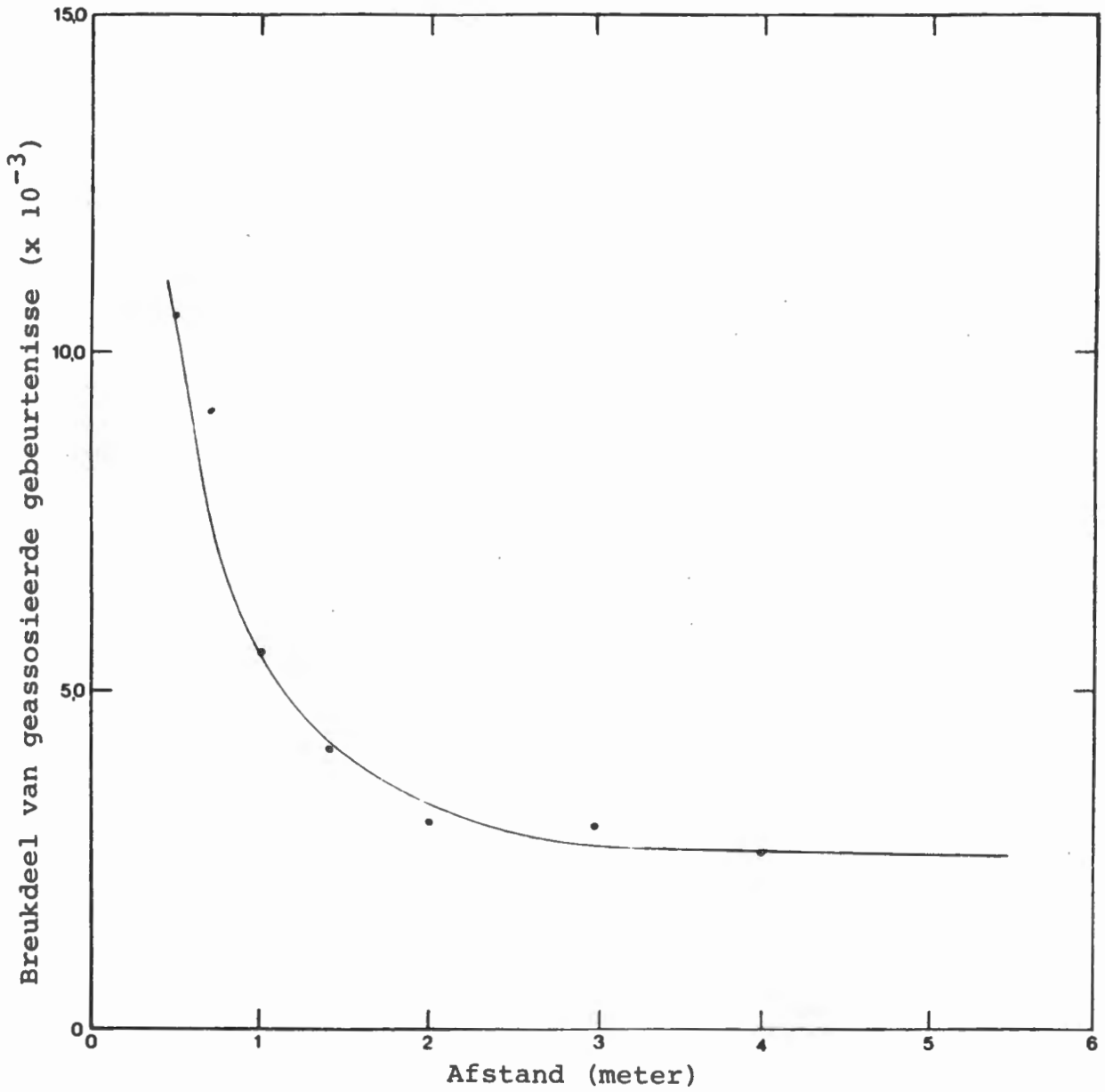


Fig. 4.4 *Afstandsverdeling van die intensiteit van geassosieerde deeltjies*

Vir die huidige eksperiment is die opstelling van Figuur 4.3 gebruik. Om die hoeksverdeling te bepaal, is opnames op vaste afstande vanaf die teleskoop 123 gemaak, deur die teleskoop 45 teen hoeke van  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  en  $60^\circ$  ten opsigte van die vertikaal op te stel. Die opstelling was sodanig dat die ruimtehoek van teleskoop 45 by al hierdie hoeke dieselfde konstante waarde gehad het. Omdat die eksperiment geen sinvolle resultate opgelewer het nie, is 'n teoretiese funksie,  $\cos^{26}\theta$ ,  $\theta$  die senitale hoek, gebruik om die hoeksverdeling van die geassosieerde deeltjies weer te gee. Hierdie funksie is deur 'n metode van beste passing gekies en sal later in hierdie paragraaf verduidelik word. Die funksie,  $\cos^{26}\theta$ , se wydte op halfhoogte is slegs  $13,2^\circ$ . Hieruit, en ook uit Dardo en D'Ettorre Piazzoli (1973) se resultate, waar die hoeksverdeling van geassosieerde deeltjies 'n wydte van  $7,9^\circ$  op halfhoogte het, blyk dit dat die apparaat wat tans gebruik is om dié hoeksverdeling te bepaal, onvoldoende is om 'n verdeling met só 'n skerp piek te meet.

Nou moet 'n uitdrukking vir die gewigsfaktor bepaal word. Uit figuur 4.4 volg die kans,  $A_{m-n}$ , dat daar 'n geassosieerde deeltjie in die vertikale rigting in die oppervlakinterval  $\Delta b$  by posisie  $n$  deur die teleskoop 45 sal gaan, indien daar 'n deeltjie in die oppervlakinterval  $\Delta c$  by posisie  $m$  deur teleskoop 123 gegaan het. Indien die geometriese faktor,  $G_A$ , van teleskoop 45, en die geometriese faktor,  $G_B$ , van dié gedeelte van die toetsbak waardeur geassosieerde deeltjies kan beweeg sonder om die antikoïnsidensskerms te raak, bereken word, (Bylaag 4B), word die gewigsfaktor gegee deur

$$G_{m-n} = \frac{G_A}{G_B} \times A_{m-n} \quad (4.3.1)$$

Volgens uitdrukking 4.3.1 gee die gewigsfaktor die kans dat daar 'n geassosieerde deeltjie uit enige senitale hoek  $\theta$  in die oppervlakinterval  $\Delta b$  deur die sykante van die toetsbak kan deurgaan indien daar tegelykertyd 'n deeltjie in die

oppervlakinterval  $\Delta c$  deur teleskoop 123 gegaan het.

#### 4.3.3 *Bepaling en aanbring van die Korreksies op die Gemete Pulshoogteverdelings*

Gestel daar beweeg 'n deeltjie by posisie  $m$  in 'n klein oppervlakinterval  $\Delta c$  deur die toetsbak, en veroorsaak 'n impuls met amplitude  $a_i$  in die amplitude-interval  $\Delta a$ , met  $\Delta a = a_{i+1} - a_i$ . Tegelykertyd beweeg daar 'n geassosieerde deeltjie by posisie  $n$  in 'n klein oppervlakinterval  $\Delta b$  deur die toetsbak, en veroorsaak 'n impuls met amplitude  $a_j$  in die amplitude-interval  $\Delta a$ . 'n Impuls met amplitude  $(a_i + a_j)$  in die amplitude-interval  $2\Delta a$  word dan deur die fotovermenigvuldiger waargeneem. Indien daar 'n deeltjie by posisie  $m$  in die oppervlakinterval  $\Delta c$  deur die toetsbak beweeg, sal die kans dat dit 'n impuls met amplitude  $a_i$  in die amplitude-interval  $\Delta a$  sal veroorsaak, deur  $f_m(a_i)$  gegee word, waar  $f_m$  die waarskynlikheidsdigtheidsverdeling (Figuur 4.1) by posisie  $m$  op die toetsbak voorstel. Die kans om by posisie  $n$  in die oppervlakinterval  $\Delta b$  'n impuls met amplitude  $a_j$  in die amplitude-interval  $\Delta a$  waar te neem as daar 'n deeltjie deur die toetsbak beweeg het, word deur  $f_n(a_j)$  gegee. Indien daar 'n deeltjie in die oppervlakinterval  $\Delta c$  by posisie  $m$  deurbeweeg, word die kans dat daar tegelykertyd in die oppervlakinterval  $\Delta b$  by posisie  $n$  'n deeltjie sal deurbeweeg, wat 'n impuls met amplitude  $a_j$  in die amplitude-interval  $\Delta a$  veroorsaak, deur  $G_{m-n} f_n(a_j)$  gegee, waar  $G_{m-n}$  die gewigsfaktor op afstand  $x_{m-n}$  vanaf  $m$  is en deur uitdrukking 4.3.1 gegee word. Die hoeveelheid waarmee die pulshoogteverdeling wat by posisie  $m$  in die oppervlakinterval  $\Delta c$  opgeneem is, gekorrigeer moet word, word dan gegee deur

$$\sum_{i=1}^{\text{maks}} \sum_{j=1}^{\text{maks}} (G_{m-n} f_n(a_j)) f_m(a_i)$$

waar daar telkens tot die maksimum amplitudewaarde van die

betrokke waarskynlikheidsdigtheidsverdeling gesommeer word. Vir vyftien verdelings wat oor die hele lengte van die toetsbak versprei is, word alle moontlike kombinasies van korreksie terme gegee deur

$$R_m(a_i + a_j) = \sum_{n=1}^{15} \sum_{i=1}^{\text{maks}} \sum_{j=1}^{\text{maks}} f_m(a_i) f_n(a_j) G_{m-n}; m=1;2;3;\dots;15$$

(4.3.2)

Indien die pulshoogteverdeling by posisie  $m$  opgeneem is, gee verdeling 4.3.2 die totale kontaminasie as gevolg van geassosieerde deeltjies. Die gekorrigeerde pulshoogteverdeling by posisie  $m$  word dan verkry deur die som van alle kontaminasies op die pulshoogteverdeling by posisie  $m$ , van die waarskynlikheidsdigtheidsverdeling by posisie  $m$  af te trek. Hierdie korreksieprosedure is met 'n rekenaar uitgevoer en die rekenaarprogram wat gebruik is, word in Bylaag 4D getoon.

Omdat die hoeksverdeling van geassosieerde deeltjies nie eksperimenteel bepaal kon word nie, is 'n funksie gesoek wat die waarskynlikheidsdigtheidsverdelings optimaal korrigeer. Indien 'n verdeling te veel gekorrigeer is, het die hoë amplitudewaardes van die gekorrigeerde verdeling negatiewe waardes gehad. Die funksie,  $\cos^{26} \theta$ , met 'n wydte van  $13,2^\circ$  op halfhoogte, het die verdelings so gekorrigeer dat die hoë amplitudewaardes van die al die gekorrigeerde verdelings na nul nader.

#### 4.4 Resultate van Korreksies

Die resultate van die korreksieprosedure word in hierdie paragraaf bespreek. Eerstens word daar na die verloop van die uitdrukking  $\frac{\sigma}{\sqrt{x}}$  as funksie van die afstand vir die gekorrigeerde verdelings gekyk (Uitdrukking 3.4.1).

Die gemiddelde aantal foto-elektrone per kanaal word dan vir 'n gekose gekorrigeerde verdeling bereken, en met behulp van hierdie resultaat word die opbrengskromme van die toetsbak bepaal. Die hele doel van die korreksies is dus om te bepaal hoe groot die invloed van geassosieerde deeltjies op die vorm van 'n pulshoogteverdeling is.

In Figuur 4.5 word die uitdrukking  $\frac{\sigma}{\sqrt{x}}$  as funksie van die afstand vir die gekorrigeerde en ongekorrigeerde verdelings gegee. Vir die gekorrigeerde verdelings is die verloop van die kromme by die afstande ver vanaf die fotovermenigvuldiger effens platter as vir die ongekorrigeerde verdelings, maar die kromme vertoon nog nie 'n konstante waarde vir alle afstande vanaf die fotovermenigvuldiger nie. Uit Figuur 4.5 is dit ook duidelik dat die bydrae van geassosieerde deeltjies tot die vorm van pulshoogteverdelings gering is in vergelyking met die bydraes van die energieverlies volgens 'n Landauverdeling van 'n deeltjie wat deur die toetsbak beweeg, en die statistiese fluktuasies waarvolgens foto-elektrone vrygestel en in die fotovermenigvuldiger vermenigvuldig word.

Om die gemiddelde aantal foto-elektrone per kanaal te bepaal, word 'n verdeling ver vanaf die fotovermenigvuldiger, waar  $\frac{\sigma}{\sqrt{x}}$  na 'n konstante waarde neig, gekies. Een van die verdelings sou dan die beste as 'n Poissonverdeling (Uitdrukking 3.4.1), benader kon word. 'n Poissonverdeling met 'n groot gemiddelde waarde kan goed as 'n normaalverdeling benader word (Boas, 1966).

Met dit in gedagte is die pulshoogteverdeling gekies wat op 'n afstand 4,860 m vanaf die fotovermenigvuldiger is en die ongekorrigeerde verdeling (Figuur 4.6(a)) en gekorrigeerde verdeling (Figuur 4.6(b)) is op waarskynlikheidspapier uitgesit. 'n Kumulatiewe normaalverdeling is 'n reguit lyn op hierdie waarskynlikheidspapier. Soos uit bogenoemde twee figure volg, kan die middelste 70% van die ongekorrigeerde

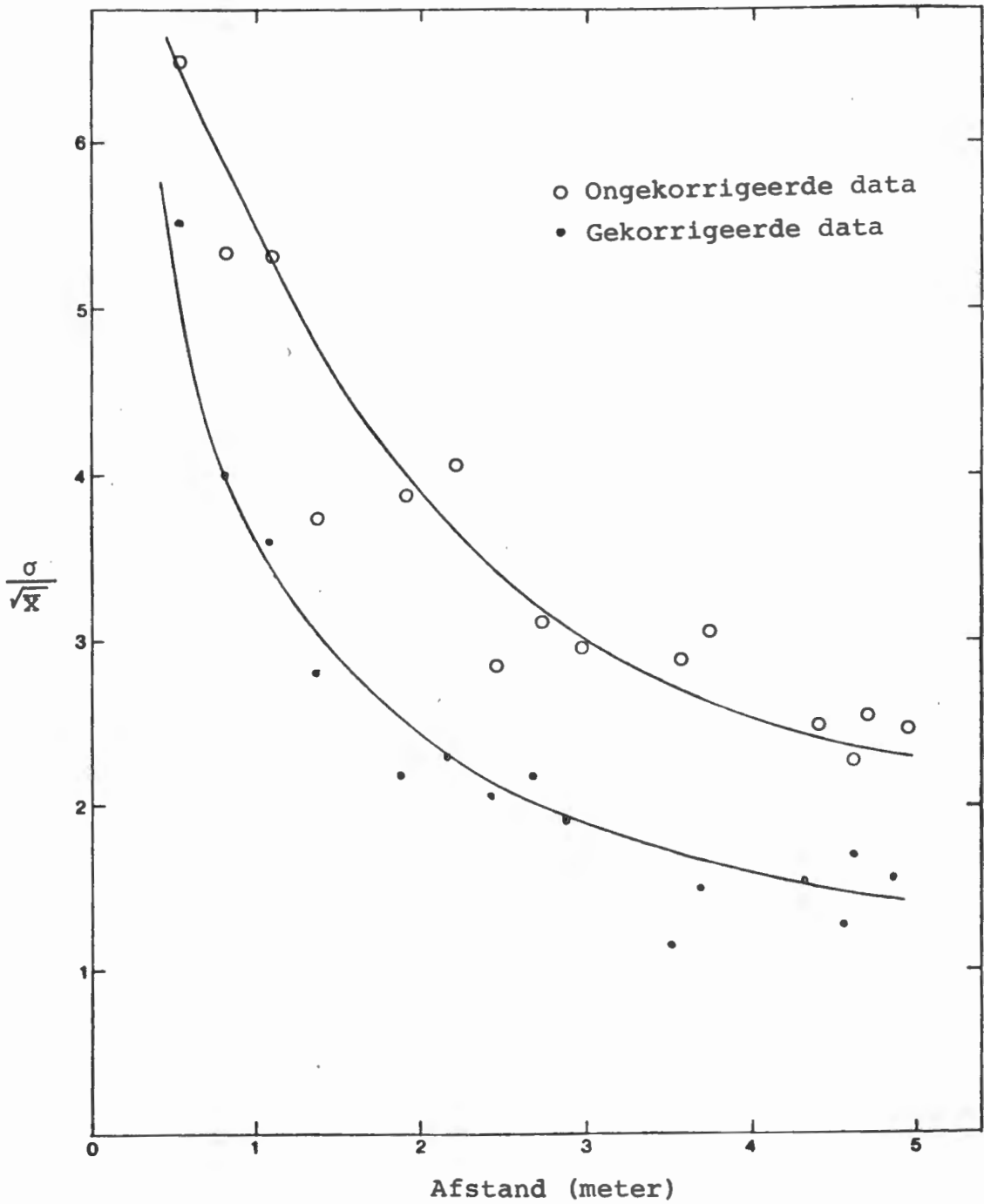


Fig. 4.5  $\frac{\sigma}{\sqrt{x}}$  as funksie van die afstand

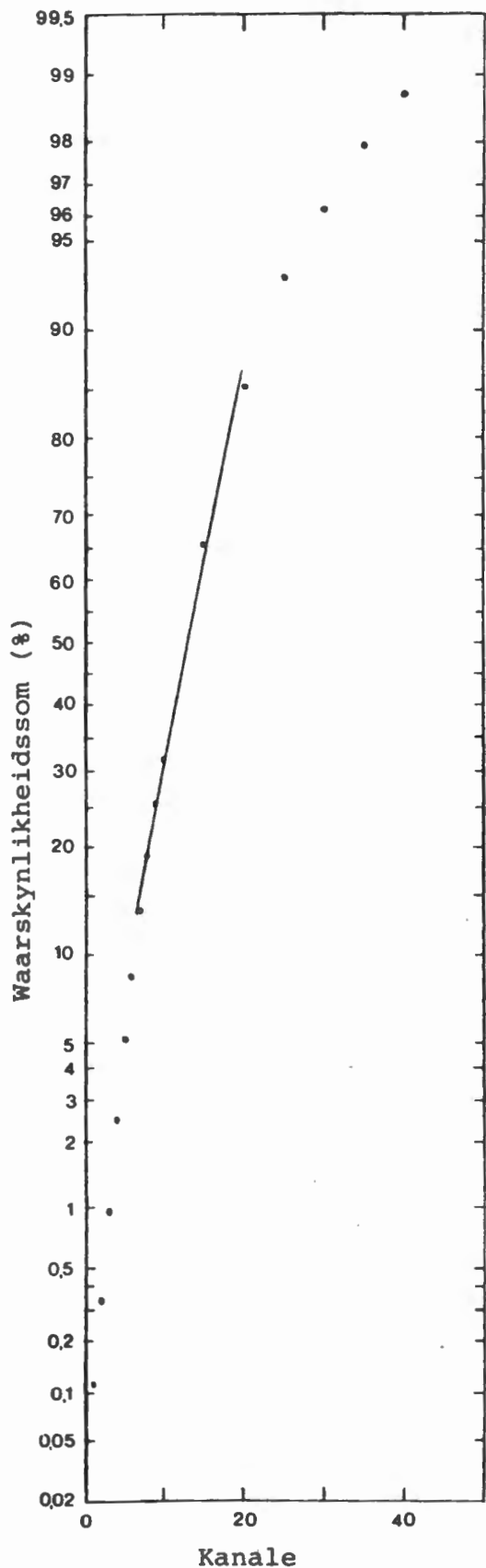


Fig. 4.6(a) *Ongecorrigeerde verdeling op afstand 4,860 m vanaf fotovermenigvuldiger*

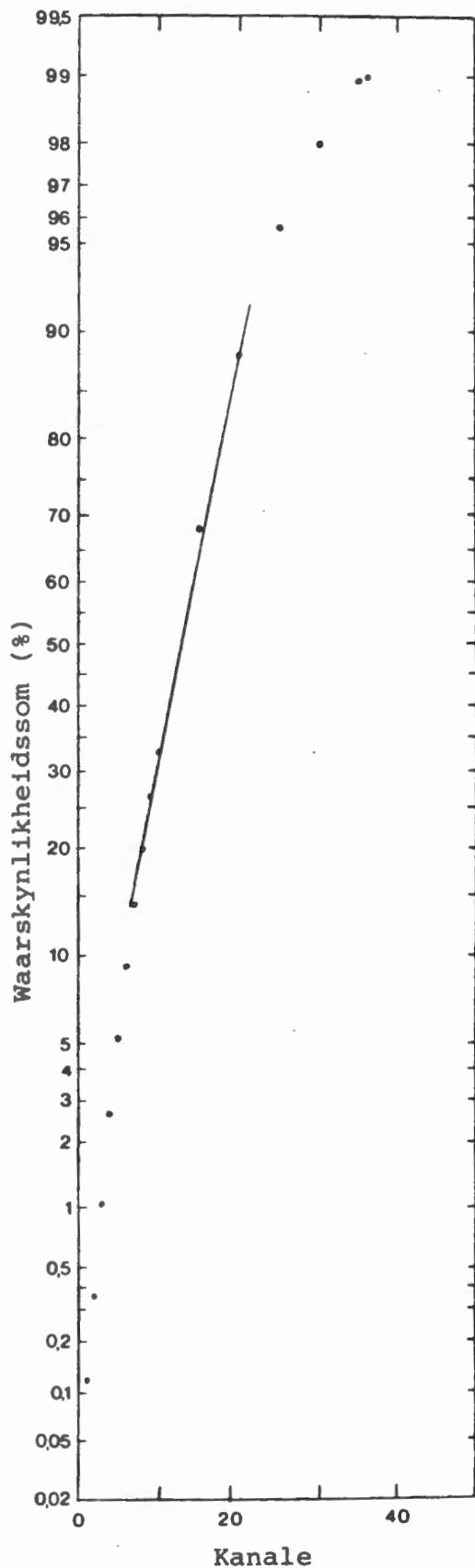


Fig. 4.6(b) *Gekorrigeerde verdeling op afstand 4,860 m vanaf fotovermenigvuldiger*

verdeling en die middelste sowat 80% van die gekorrigeerde verdeling as normaalverdelings benader word. Deur Figure 4.6(a) en 4.6(b) te vergelyk, blyk dit weer dat die geassosieerde deeltjies 'n geringe bydrae tot die vorm van 'n pulshoogteverdeling lewer, indien  $\cos^{26}\theta$  wel as die hoeksverdeling van geassosieerde deeltjies aanvaar word. Dit dui op die hoë doeltreffendheid van die antikoïnsidensafskerming. Die afwykings van 'n normaalverdeling aan die boonste en onderste gedeeltes van die krommes in Figure 4.6(a) en 4.6(b) is waarskynlik die gevolg van die bydrae van die Landauverdeling by die energieverlies en die statistiese fluktuasies by die vermenigvuldigingsproses in die fotovermenigvuldiger.

'n Normaalverdeling, met gemiddelde waarde  $\bar{x}$  en standaardafwyking  $\sigma$  word as funksie van die kanaalnommers  $x$  gegee deur:

$$f(x) = (2\pi\sigma)^{-\frac{1}{2}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left[\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right]^2\right), \quad \begin{array}{l} -\infty < x < \infty \\ -\infty < \bar{x} < \infty ; \sigma > 0 \end{array}$$

Indien  $f(0)$  die waarde van die normaalverdeling by  $x = 0$  en  $f(\sigma)$  die waarde van die normaalverdeling op 'n afstand van een standaardafwyking vanaf die maksimum voorstel, is

$$\frac{f(\sigma)}{f(0)} = e^{-\frac{1}{2}} = 0,607$$

Omdat die normaalverdeling simmetries is, is die gemiddelde waarde en die maksimumwaarde van die verdeling dieselfde. Op waarskynlikheidspapier word die gemiddelde waarde  $\bar{x}$  van die kumulatiewe verdeling by 50% afgelees. Daar is dan een standaardafwyking  $\sigma$  op afstand  $0,5 \times 0,607 \approx 0,3$  weerskante van die gemiddelde waarde, met ander woorde by 20% en by 80% van die kumulatiewe verdeling. Volgens

Figuur 4.6(b) is die gemiddelde waarde  $\bar{x}$  van die gekorri= geerde verdeling by kanaalnommer  $13,3 \pm 0,3$  en die stan= daardafwyking  $\sigma$  is  $5,0 \pm 0,3$  kanale wyd. Volgens uitdruk= king 4.3.2 is die gemiddelde aantal foto-elektrone,  $\bar{n}$ , wat per deeltjiedeurgang op afstand 4,860 meter vanaf die foto= vermenigvuldiger se katode vrykom:

$$\bar{n} = \left(\frac{\bar{x}}{\sigma}\right)^2 = 7,3 \pm 0,6$$

Dit beteken dat daar op 'n afstand van 4,860 m vanaf die fotovermenigvuldiger gemiddeld sowat  $0,53 \pm 0,06$  foto-elek= trone per kanaal uit die fotokatode vrykom. Die waar= skynlikheidsdigtheidsverdelings is in Figuur 4.1 in terme van foto-elektrone gegee.

Deur nou die gemiddelde kanaalnommers van die ander veertien gekorrigeerde verdelings te neem, kan die gemiddelde waarde van elke verdeling in terme van foto-elektrone geyk word. 'n Grafiek van die gemiddelde aantal foto-elektrone van elke verdeling, as funksie van die afstand van deeltjiedeurgang vanaf die fotovermenigvuldiger, lewer die opbrengs= kromme van die toetsbak (Figuur 4.7).

Soos in Paragraaf 4.1 gestel is, moet tweehonderd-en-veertig foto= vermenigvuldigers se gevoelighede bepaal word. Deur nou slegs een pulshoogteverdeling vir elke fotovermenigvul= digter op te neem en die gemiddelde waarde daarvan te kry, mits daar aan die genoemde voorwaarde van 'n konstante  $\frac{\sigma}{\sqrt{x}}$  voldoen word, kan die doeltreffendheid van elke fotovermenig= vuldiger in terme van die gemiddelde aantal foto-elektrone wat op die fotokatode per deeltjiedeurgang vrygestel word, uitgedruk word.

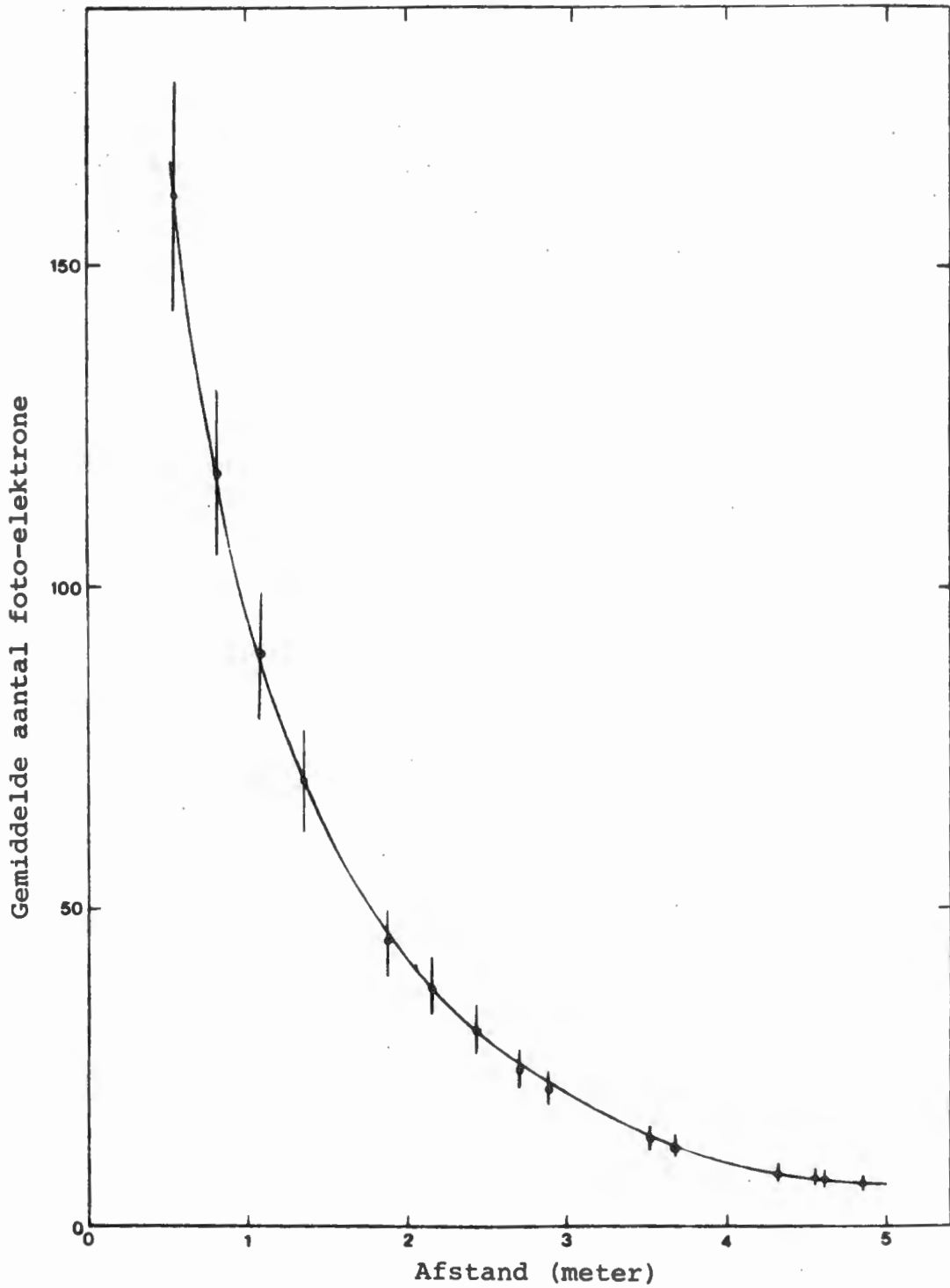


Fig. 4.7 *Opbrengskromme van die toetsbak in foto-elektrone uitgedruk*

## BYLAAG 4A

## DIE BEREKENING VAN DIE AANTAL TOEVALLIGE KOÏNSIDENSIES VIR TWEE EN DRIE GIDSDETEKTORE

Beskou  $n$  detektore, met teltempo's  $N_1, N_2, \dots, N_n$ . Indien die impulse onafhanklik van mekaar is en  $\tau$  die duur van elke impuls is, word die tempo van toevallige koïnsidensies tussen  $n$  detektore gegee deur (Jánossy, 1950):

$$A_n = nN_1N_2 \dots N_n \tau^{n-1} + \text{hoër orde terme van } \tau \quad (4.A.1)$$

Vir praktiese doeleindes moet  $N\tau \ll 1$ , sodat die hoër orde terme van  $\tau$  verwaarloos kan word.

Die teltempo's van al die gidsdetektore is op ongeveer 100 tellings per sekonde ingestel, en die duur van elke puls is 4  $\mu$ s. Die tempo van toevallige koïnsidensies volgens vergelyking 4.A.1 is

$$\begin{aligned} \text{vir twee detektore : } A_2 &= 2(100/s)^2 (4 \times 10^{-6} \text{ s}) \\ &= 8 \times 10^{-2}/s \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{vir drie detektore : } A_3 &= 3(100/s)^3 (4 \times 10^{-6} \text{ s})^2 \\ &= 4,8 \times 10^{-5}/s \end{aligned}$$

Met ander woorde, die tempo van toevallige koïnsidensies vir teleskoop 123 is sowat vyf in  $1 \times 10^5$  sekondes.

Dié tempo is verwaarloosbaar klein in vergelyking met die tempo van gebeurtenisse, soos nou aangetoon sal word.

Ter inleiding word die tempo van gebeurtenisse vir die twee teleskope gegee. Die tempo van gebeurtenisse by teleskoop

123 is  $3,3 \times 10^{-1}/s$ . Indien daar 'n deeltjie deur teleskoop 123 geregistreer is, en daar gaan tegelykertyd 'n deeltjie deur teleskoop 45, dan is die tempo van gebeurtenisse by teleskoop 45  $4,22 \times 10^{-3}/s$  waar die twee teleskope 0,5 m van mekaar is.

As 'n deeltjie deur 'n teleskoop beweeg, is die tydsduur van die impulse  $4 \mu s$ . Die tydsduur van 'n impuls wat as gevolg van toevallige koïnsidensie tussen twee of meer foto-vermenigvuldigers ontstaan, is slegs die oorvleuelingstyd van die toevallige impulse. Die gemiddelde tydsduur van impulse as gevolg van toevallige koïnsidensies tussen twee detektore is dus  $2 \mu s$ , en dié tussen drie detektore sowat  $1,33 \mu s$ .

Daar is vier gevalle waar toevallige koïnsidensies 'n rol kon speel, en hulle sal nou hier behandel word.

1. Die tempo,  $A_{123}$ , van toevallige koïnsidensies tussen die drie detektore 1; 2 en 3 is volgens uitdrukking 4.A.1 alreeds bereken as

$$A_{123} = 4,8 \times 10^{-5} \text{ Hz}$$

Daar kom dus gemiddeld 48 toevallige koïnsidensies elke  $1 \times 10^6$  s voor. Die aantal gebeurtenisse wat gemiddeld elke  $1 \times 10^6$  s voorkom, is egter  $(3,3 \times 10^{-1}/s)(1 \times 10^6 \text{ s}) = 3,3 \times 10^5$ . Die tempo van toevallige koïnsidensies kan dus in hierdie geval verwaarloos word in vergelyking met die tempo van gebeurtenisse.

2. Aanvaar dat deeltjies deur teleskoop 123 geregistreer word. Die tempo,  $A_{45}$ , van toevallige koïnsidensies tussen teleskoop 45 en teleskoop 123 is volgens uitdrukking 4.A.1:

$$\begin{aligned} A_{45} &= (8 \times 10^{-2}/s)(3,3 \times 10^{-1}/s)[(2 + 4) \times 10^{-6} \text{ s}] \\ &= 1,58 \times 10^{-7}/s \end{aligned}$$

Daar kom dus gemiddeld 16 toevallige koïnsidensies elke  $1 \times 10^8$  s voor. Die aantal gebeurtenisse wat deur teleskoop 45 in  $1 \times 10^8$  s geregistreer word, is egter  $(4,22 \times 10^{-3}/s)(1 \times 10^8 \text{ s}) = 4,22 \times 10^5$ . Die ruistempo kan dus ook in hierdie geval verwaarloos word in vergelyking met die tempo van gebeurtenisse.

3. In hierdie geval word die tempo,  $A_{12345}$ , van toevallige koïnsidensies tussen teleskoop 123 en teleskoop 45 bepaal:

$$\begin{aligned} A_{12345} &= (8 \times 10^{-2}/s)(4,8 \times 10^{-5}/s)[(2 + 1,33) \times 10^{-6} \text{ s}] \\ &= 1,28 \times 10^{-11}/s \end{aligned}$$

Dit is baie duidelik dat in hierdie geval die tempo van toevallige koïnsidensies geen rol speel in vergelyking met die tempo van gebeurtenisse soos deur teleskoop 123 of teleskoop 45 geregistreer is nie.

4. In die vierde geval word 'n deeltjie deur teleskoop 45 geregistreer. Omdat die geometriese faktore van teleskoop 45 en teleskoop 123 ongeveer dieselfde is, sal teleskoop 45 ook ongeveer  $3,3 \times 10^{-1}$  deeltjies per sekonde registreer. Die tempo van toevallige koïnsidensies,  $A_{45123}$ , van teleskoop 123 as teleskoop 45 deeltjies registreer, is dus

$$\begin{aligned} A_{45123} &= (3,3 \times 10^{-1}/s)(4,8 \times 10^{-5}/s)[(4 + 1,33) \times 10^{-6} \text{ s}] \\ &= 8,45 \times 10^{-11} /s \end{aligned}$$

Vir hierdie geval kom daar dus gemiddeld 85 toevallige koïnsidensies elke  $1 \times 10^{12}$  s voor. Die aantal gebeurtenisse in hierdie tyd deur teleskoop 45, (net soos in Geval 1. hierbo vir teleskoop 123), word bereken as  $(3,3 \times 10^{-1}/s)(1 \times 10^{12} \text{ s}) = 3,3 \times 10^{11}$ . Ook in hierdie geval is die tempo van toevallige koïnsidensies dus verwaarloosbaar in vergelyking met die tempo van gebeurtenisse.

Die tempo van toevallige koïnsidensies is dus in alle gevalle verwaarloosbaar in vergelyking met die tempo van gebeurtenisse.

## BYLAAG 4B

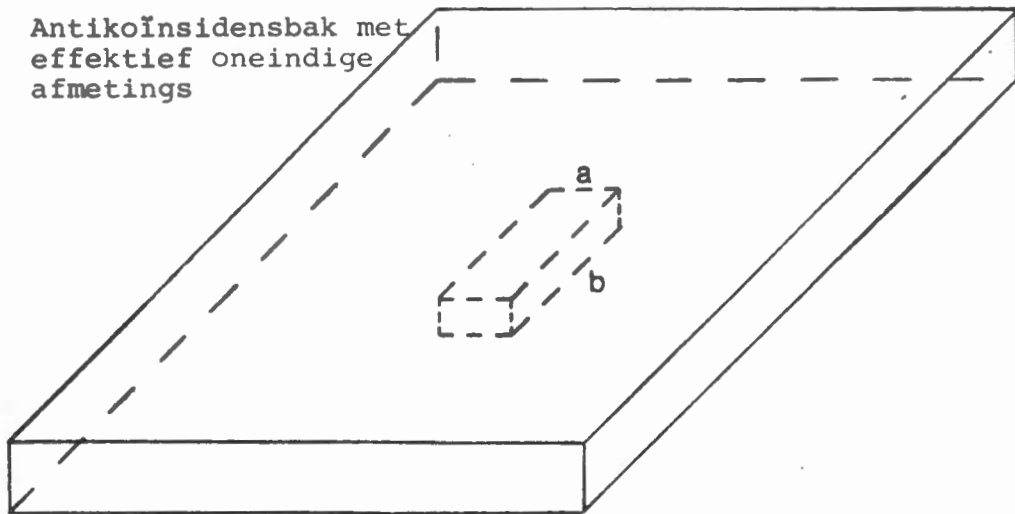
## DIE BEPALING VAN DIE GEOMETRIESE FAKTOR VAN 'N TELESKOOP MET GROOT, REGHOEKIGE DETEKTORE

Die berekening van die geometriese faktore is met behulp van die numeriese metode van Sullivan (1971) gedoen. Die programmering van hierdie resultate is deur Minnaar (1978) gedoen. 'n Wysiging van hierdie rekenaarprogramme is vir die huidige werk gebruik.

By die uitmeet van die afstandsverdeling van die intensiteit van geassosieerde deeltjies, was die geometriese faktor van teleskoop 45 konstant (Figuur 4.3). Die geometriese faktor van die gebied van die toetsbak waardeur geassosieerde deeltjies kan beweeg sonder om die antikoïnsidensbak te raak, is groter as dié van teleskoop 45, en is soos volg bereken. Die geometriese faktor,  $A$ , van 'n teleskoop word bereken met die een detektor (antikoïnsidens) effektief oneindig groot en met die ander detektor se lengte een vyftiende van die totale lengte van die toetsbak, want daar word met vyftien pulshoogteverdelings gewerk, en sy breedte dieselfde as dié van die toetsbak. (Figuur 4.8(a)). Dan word die geometriese faktor,  $B$ , van 'n teleskoop bereken waar die antikoïnsidensdetektor sy fisiese afmetings het en die ander detektor nog dieselfde as by  $A$  hierbo (Figuur 4.8(b)). Die verskil tussen die twee geometriese faktore,  $A-B$ , gee die geometriese faktor van 'n interval op die toetsbak waardeur geassosieerde deeltjies kon beweeg, sonder dat hulle die antikoïnsidensbak geraak het. Dit is die geometriese faktor  $G_A$  waarvan in Paragraaf 4.3.2 gepraat word.

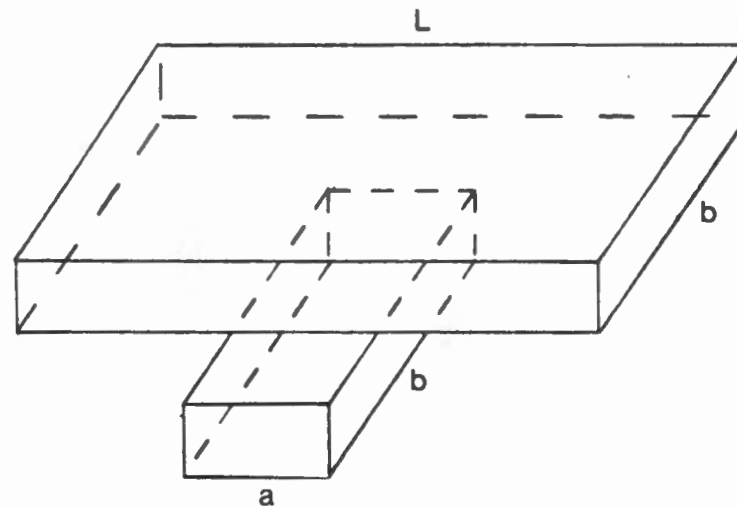
By die berekening van die geometriese faktor van 'n teleskoop met reghoekige detektore, moet daar op twee punte gelet word. Eerstens geld die vergelykings van Sullivan (1971) vir die numeriese berekening van die geometriese faktor slegs indien

Antikoïnsidensbak met  
effektief oneindige  
afmetings



$a = 1/15$  van totale lengte van toetsbak  
 $b =$  Normale breedte van toetsbak

Fig. 4.8(a) 'n Teleskoop waar die antikoïnsidensdetektor se afmetings effektief oneindig groot is in vergelyking met die onderste detektor



$L =$  Lengte van antikoïnsidensdetektor  
( $L = 15a$ )

Fig. 4.8(b) 'n Teleskoop met reghoekige detektore met oneindige afmetings

die onderste detektor van die teleskoop groter, of dieselfde afmetings as die boonste detektor het. Omdat dit nie saak maak of die antikoïnsidensbak bō of onder die toetsbak is nie (Figuur 3.1), het dit geen probleem opgelewer nie. Tweedens moet die dikte van die detektore in aanmerking geneem word wanneer die hoogte tussen die detektore bepaal word. Dit is om te sorg dat die deeltjies wat in die eksperiment aan die koïnsidens-antikoïnsidensvoorwaardes voldoen het en geregistreer is, nou teoreties in berekening gebring moet word. Dié deeltjies wat in die eksperiment deur die antikoïnsidensskerms waargeneem is, moet ook nou teoreties uitgeskakel word.

## BYLAAG 4C

REKENAARPROGRAM WAT DIE GEMETE PULSHOOGTEVERDELINGS NA WAAR=  
SKYNNLIKHEIDSDIGTHEIDSVREDELINGS OMREKEN.

```

DEFINE FILE 8(15,800,U,IK)
DEFINE FILE 9(15,640,U,IK)
DIMENSION F(800),RGMD(15,640)
DIMENSION G(800),XL(800),FJ(6400),RGSCM(15),NRMVST(15)
DIMENSION SCM4(15),YFE(15)
DATA NRMVST/8,8,8,4,4,4,2,2,2,2,2,1,1,1,1/
MAKSI=15
DC 200 IBAND=1,MAKSI
READ(6*IBAND)+
WRITE(3,22)IBAND
22 FORMAT('1','GEMETE VERDELING BY PUNT',I3)
WRITE(3,30)
30 FORMAT(/)
WRITE(3,23)F
23 FORMAT(10(F11.0))
SCM4(IBAND)=0.0
DC 20 ISOM=1,800
SCM4(IBAND)=SCM4(IBAND)+F(ISOM)
20 CONTINUE
C ** NORMALISEER T.O.V. AANTAL GEBEURTENISSE
G(1)=C.0
DC 375 JB=2,800
G(JB)=(F(JB)/SCM4(IBAND))/NRMVST(IBAND)
IF(G(JB).LT.1.0E-10)G(JB)=0.0
375 CONTINUE
C ** BEREKEN 7-PUNT LOPENDE GEMIDDELDDES
XL(1)=G(1)
XL(2)=G(2)
XL(3)=G(3)
XL(798)=G(798)
XL(799)=G(799)
XL(800)=G(800)
DC 380 JF=4,797
XL(JF)=(G(JF-3)+G(JF-2)+G(JF-1)+G(JF)+
*G(JF+1)+G(JF+2)+G(JF+3))/7
380 CONTINUE
C ** NORMALISEER T.O.V. VERSTERKING D.I. IMPULSGROOTE
NR=NRMVST(IBAND)
DC 386 IH=1,800
DC 386 IG=1,NR
IGH=(IH-1)*NR+IG
IF(IGH-6400)387,387,388
387 FJ(IGH)=XL(IH)
386 CONTINUE
C ** SCHMEER ELKE INT LOPENDE GEMIDDELDDES
388 JC=0
RG=C.0
MAX=NR*800-10+1
INT=1C
DC 345 JC=1,MAX,INT
RSCM=C.0
DC 350 IC=1,INT
JIK=JC+IC-1
RSCM=RSCM+FJ(JIK)
350 CONTINUE
JC=JD+1
RGMD(IBAND,JD)=RSCM
RG=RG+RGMD(IBAND,JD)

```

```

345  CCNTINUE
      RSM=0.0
      MAKS=AK*80
      DC 371 JE=1,MAKS
      RSM=RSM+RGMC(IBAND,JE)
371  CCNTINUE
      RGSCM(IBAND)=RSM
200  CCNTINUE
      DC 520 IBAND=1,MAKSI
      MAKS=ARMYST(IBAND)*80
      WRITE(3,373)IBAND
373  FCRMAT('1',27X,'ONGEKORRIGEERDE VERDELING',5X,'NR.',13)
      WRITE(3,30)
      WRITE(9*IBAND)(RGMD(IBAND,JD),JD=1,640)
      READ(9*IBAND)(RGMD(IBAND,JD),JD=1,640)
      WRITE(3,522)(RGMD(IBAND,JD),JD=1,MAKS)
522  FCRMAT(10E12.4)
      WRITE(3,372)RGSCM(IBAND)
372  FCRMAT(/,5X,'OPPERVLAKTE ONDER VERDELING  RGSOM = ',E12.5)
C **  BEREKENING VAN GEM. WAARDE EN STD. AFW. VAN
C **  ONGEKORRIGEERDE VERDELING RGMC
      SCM1=C.0
      SCM2=0.0
      SCM3=0.0
      DC 510 I=1,MAKS
      R=RGMD(IBAND,I)
      SCM1=SCM1+R*(I)
      SCM2=SCM2+R
510  SCM3=SCM3+R*(I)*(I)
      XGEM=SCM1/SCM2
      SKK=(SCM3/SCM2-XGEM**2)
      IF(SKK)500,511,511
500  SKK=ABS(SKK)
511  SGMA2=SQRT(SKK)
      WRITE(3,21)XGEM,SGMA2
  21  FCRMAT(/,5X,'XGEM.=',E12.4,5X,'STAND. AFWYKING=',E12.4)
      WRITE(3,18)SGM4(IBAND)
  18  FCRMAT(/,5X,'TOTALE AANTAL GEBEURTENISSE=',E12.4)
      YFE(IBAND)=SGMA2/SQRT(XGEM)
      WRITE(3,303)YFE(IBAND)
303  FCRMAT(/,5X,'YFE=',E12.4)
520  CCNTINUE
      STOP
      END

```

## BYLAAG 4D

DIE REKENAARPROGRAM WAT GEBRUIK IS OM DIE KORREKSIES OP DIE GEKONTAMINEERDE PULSHOOGTEVERDELINGS AAN TE BRING

*Enkele Opmerkings by die Program*

Daar dien op gelet te word dat  $G_{m-n}$  telkens die gewigsfaktor van die verdeling is waarmee die korreksie gedoen word, en daarom van die posisie waar die verdeling opgeneem is, "posisie m", en die posisie waar die geassosieerde deeltjies deurgaen, "posisie n", afhanklik is. Hierdie afstande word in terme van die lengte-intervalle gegee deur:

$$nm = |m - n| + 1$$

en word in die program deur  $KM = IABS(K-M1)+1$  gegee. As die geassosieerde deeltjies ook by posisie m deurgaen, dus as  $m=n$ , word die indeks 1 aan nm toegeken, bloot omdat die rekenaar nie met nul as 'n indeks kan werk nie. Die geval,  $nm=2$ , dui dus op 'n afstand waar posisies n en m naasliggende intervale is.

In die rekenaarprogram is die volgende simbole vir verskillende groothede en verdelings gebruik:

- RGMD : Waarskynlikheidsdigtheidsverdeling
- RK : Korreksieverdeling wat volgens Uitdrukking 4.3.2 bereken is
- R1 : Gekorrigeerde verdeling, dit is  $R1 = RGMD - RK$
- GF : Gewigsfaktor  $G_{m-n}$

## REKENAARPROGRAM

```

DEFINE FILE 8(15,800,U,IK)
DEFINE FILE 9(15,640,U,IK)
DIMENSION F(800),RGMD(15,640),WHDRG(15)
DIMENSION GF(15),RK(15,1280),K1(15,640),NRMVST(15)
DIMENSION GMF1(4),GMF2(4),GWF(4,15)
DATA GMF1/0.00303935,0.00295380,0.0029126,0.00283318/
DATA GMF2/0.0037502,0.0029029,0.0025918,0.002114/
DATA WHDRG/0.0125,0.010,0.00725,0.005,0.0038,0.00327,0.00295,
*0.0028,0.0027,0.00265,0.0026,0.00255,0.0025,0.00245,0.0024/
DATA NRMVST/8,8,8,4,4,4,2,2,2,2,2,1,1,1,1/
C ** GEWIGSFAKTOR BEREKEN VIR COS**20,,COS**24,COS**26,COS**30
DC 10 ICOS=1,4
MAKSI=15
DC 10 ISKYF=1,MAKSI
MAKS=NRMVST(ISKYF)*80
READ(8,ISKYF)F
READ(9,ISKYF)(RGMD(ISKYF,JS),JS=1,640)
WRITE(3,20)ISKYF
20 FORMAT('1',27X,'ONGEKORRIGEERDE VERDELING NR.',I3)
WRITE(3,30)(RGMD(ISKYF,JS),JS=1,MAKS)
30 FORMAT(10E12.4)
RG=0.0
DC 40 IB=1,MAKS
RG=RG+RGMD(ISKYF,IB)
40 CCNTINUE
RGSOM=RG
WRITE(3,50)RGSOM
50 FORMAT(/,5X,'CPPERVLAKTE ONDER VERDELING RGSOM = ',E12.5)
C ** BEREKENING VAN GEM. WAARDE EN STD. AFW. VAN
C ** ONGEKORRIGEERDE VERDELING RGMD
SCM1=0.0
SCM3=0.0
DC 60 I=1,MAKS
R=RGMD(ISKYF,I)
SCM1=SOM1+R*(I)
60 SCM3=SCM3+R*(I)*(I)
XGEM=SCM1/RG
SKK=(SCM3/RG-XGEM**2)
IF(SKK)61,62,62
61 SKK=ABS(SKK)
62 SGMA2=SQRT(SKK)
WRITE(3,63)XGEM,SGMA2
63 FORMAT(/,5X,'XGEM = ',E12.4,5X,'STD. AFWYKING = ',E12.4)
C ** BEREKENING VAN TOTALE AANTAL GEBEURTENISSE
SCM4=0.0
DC 70 ISOM=1,800
70 SCM4=SCM4+F(ISOM)
WRITE(3,71)SCM4
71 FORMAT(/,5X,'TOTALE AANTAL GEBEURTENISSE = ',E12.4)
YFE=SGMA2/SQRT(XGEM)
WRITE(3,72)YFE
72 FORMAT(/,5X,'YFE = ',E12.4)
C ** BEREKENING VAN GEWIGSFAKTOR VIR KORREKSIES OP VERD.
C ** WHDRG DUI WH. DEURGANG VAN GEASS.DEELTJIES AAN
GWF(ICOS,ISKYF)=(GMF2(ICOS)/GMF1(ICOS))*WHDRG(ISKYF)
WRITE(3,80)(GWF(ICOS,ISKYF))
80 FORMAT(/,5X,'GEWIGSFAKTOR GWF = ',E12.5)
10 CCNTINUE

```

```

C **  AANERING VAN KORREKSIES OP VERDELINGS
C **  MAAK EERSTE WRDES VAN ELKE NUWE VERD. NUL
      DC 701 M1=1,MAKSI
      MAKS=NRMVST(M1)*80+640
      DC 702 IJ=1,MAKS
      RK(M1,IJ)=0.0
702  CCNTINUE
701  CCNTINUE
C **  BRING KORREKSIETERM AAN
      DC 703 M1=1,MAKSI
      MAK1=NRMVST(M1)*80
      DC 704 K=1,MAKSI
      MAK2=NRMVST(K)*80
      KP=IABS(K-M1)+1
      GF(K)=GWF(ICGS,KM)
      DC 706 I=1,MAK1
      DC 758 J=1,MAK2
      IJ=I+J
      RF=RGMD(K,J)*RGMD(M1,I)*GF(K)
      RK(M1,IJ)=RK(M1,IJ)+RF
758  CCNTINUE
706  CCNTINUE
      RK(M1,1)=RK(M1,2)
703  CCNTINUE
C **  GEKORRIGEERDE VERDELING=GEMETE VERDELING-KORREKSIE RK
      DC 711 M1=1,MAKSI
      MAKS=NRMVST(M1)*80
      DC 730 J1=1,MAKS
730  R1(M1,J1)=RGMD(M1,J1)-RK(M1,J1)
      WRITE(3,741)M1
741  FORMAT('1',27X,'GEKORRIGEERDE VERDELING',5X,'NR.',13)
      WRITE(3,727)(R1(M1,IJ),IJ=1,MAKS)
727  FCRMAT(10E12.4)
      WRITE(3,728)M1
728  FCRMAT(/,5X,'RK',13)
      WRITE(3,727)(RK(M1,IJ),IJ=1,MAKS)
C **  BEREKEN GEM. EN STD. AFW. VAN GEKORRIGEERDE VERDELING
      SCMD=0.0
      SCME=0.0
      SCMF=0.0
      DC 707 IJ=1,MAKS
      SOMD=SOMD+(IJ)*R1(M1,IJ)
      SOME=SOME+(IJ)*(IJ)*R1(M1,IJ)
      SCMF=SCMF+R1(M1,IJ)
707  CCNTINUE
      GEMKOR=SCMD/SCMF
      YVAR=(SOME/SOMF)-GEMKOR*GEMKOR
      IF(YVAR)753,754,754
753  YVAR=ABS(YVAR)
754  STAKOR=YVAR**0.5
      YFEKOR=STAKOR/SQRT(GEMKOR)
      WRITE(3,704)GEMKOR
704  FCRMAT(/,5X,'GEKORRIGEERDE GEM. WAARDE          GEMKOR = ',E12.5)
      WRITE(3,705)STAKOR
705  FCRMAT(/,5X,'GEKORRIGEERDE STD. AFWYKING        STAKOR = ',E12.5)
      WRITE(3,750)YFEKOR
750  FCRMAT(/,5X,'YFEKOR = ',E12.5)
711  CCNTINUE
130  CCNTINUE
      STOP
      END

```

## HOOFSTUK 5

### DIE EIENSKAPPE VAN 'N VLOEISTOFSINTILLASIEDETEKTOR MET VIER FOTOVERMENIGVULDIGERS

#### 5.1 *Inleiding*

In Hoofstuk 1 is die doel van hierdie hoofstuk gestel, naamlik om die diskriminasievlakke vir impulse vanaf die vier fotovermenigvuldigers in die sintillasiedetektor so te stel en die kombinasie van koïnsidensies tussen hierdie vier fotovermenigvuldigers op so 'n wyse saam te stel dat gelaai deeltjies wat deur die toetsbak beweeg, met die hoogs moontlike doeltreffendheid oor die hele detektor en met die laags moontlike tempo van toevallige koïnsidensies geregistreer word. Om hieraan te voldoen, moet eerstens die doeltreffendheid van registrasie van 'n deeltjie wat op 'n bepaalde afstand vanaf 'n fotovermenigvuldiger deurgegaan het as funksie van die diskriminasievlak bepaal word. Hiervoor word die ongekorregerde waarskynlikheidsdigtheidsverdelings, gebruik omdat hulle vir hierdie doel net so goed soos die gekorregerde verdelings is. Uitdrukings vir verskeie kombinasies van koïnsidensskakelings word verkry om die beste koïnsidenskombinasie te kry wat die hoogste doeltreffendheid van deeltjieregistrasie oor die hele detektor sal hê (Paragraaf 5.2).

Tweedens moet die invloed van die diskriminasievlak op die ruistempo bepaal word. Dit word aan die hand van 'n gemete ruisspektrum (Figuur 5.3) en die resultate van toevallige koïnsidensies vir verskillende koïnsidenskombinasies (Tabel 5.2) gedoen.

Laastens moet die totale doeltreffendheid as funksie van posisie van deeltjiedeurgang en ruistempo van die hele

detektor vir verskillende kombinasies van koïnsidensskakelings bepaal word. Dit word in Paragraaf 5.5 aan die hand van die resultate van registrasiedoeltreffendheid vir die verskillende koïnsidenskombinasies (Tabel 5.1) en Tabel 5.2 gedoen.

5.2 *Bepaling van die Doeltreffendheid van Registrasie van 'n Deeltjie wat op 'n Bepaalde Afstand vanaf 'n Fotovermenigvuldiger deur die Detektor gegaan het*

Soos reeds in Hoofstukke 3 en 4 volledig bespreek is, bestaan daar vyftien waarskynlikheidsdigtheidsverdelings wat op verskillende afstande vanaf 'n bepaalde fotovermenigvuldiger gemeet is, en wat oor die hele lengte van die detektor versprei is. Indien die detektor met vier fotovermenigvuldigers, wat ongeveer dieselfde gevoeligheid het, toegerus word soos in Figuur 5.1, kan die doeltreffendheid van die detektor bepaal word. Omdat die ongekorrigeerde waarskynlikheidsdigtheidsverdelings by benadering net so goed soos die gekorrigeerde waarskynlikheidsverdelings is, is die ongekorrigeerde verdelings vir hierdie deel van die werk gebruik. Dié verdelings is funksies van die amplitude  $a$  van die impulse en die afstand  $r$  vanaf die fotovermenigvuldiger, en word geskryf as  $f(r,a)$ .

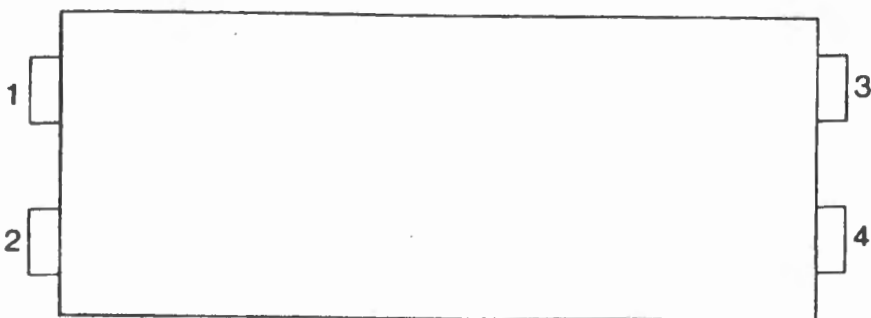


Fig. 5.1 *Vloeistofsintillasiedetektor met vier fotovermenigvuldigers*

Alhoewel bogenoemde impulsverdelings met slegs een fotovermenigvuldiger bepaal is, sal elke ander fotovermenigvuldiger met ongeveer dieselfde gevoeligheid, vanweë die simmetrie van die detektor (Figuur 5.1), min of meer dieselfde opbrengskromme van die detektor lewer.

Uitgaande van die verdelings  $f(r,a)$  kan die integrale verdelings

$$F(r,a) = \int_0^a f(r,a) da$$

bepaal word (Figuur 5.2(a)). Uit  $F(r,a)$  kan 'n nuwe stel verdelings gegee deur  $1-F(r,a)$  bepaal word. Indien daar nou 'n diskriminasievlak  $K$  by 'n bepaalde amplitudewaarde gestel word, gee die nuwe funksie  $1-F(r,a)$  die doeltreffendheid waarmee deeltjies op die afstand  $r$  vanaf die fotovermenigvuldiger vir 'n bepaalde diskriminasievlak  $K$  geregistreer word (Figuur 5.2(b)). Die diskriminasievlakke moet in die praktyk verstelbaar wees, en word op die impulse vanaf die fotovermenigvuldigers aangelê. Die fotovermenigvuldigers kan op verskeie koïnsidenskombinasies geskakel word soos later breedvoerig bespreek sal word. Elke diskriminator lewer blokvormige pulse met 'n bepaalde tydsduur. Volgens Figuur 5.2(b) kan die doeltreffendheid van al vier fotovermenigvuldigers op verskillende afstande en by verskillende diskriminasievlakke vir verskeie sinvolle koïnsidenskombinasies, Paragraaf 5.3, bepaal word. Die resultate hiervan word in Tabel 5.1 getoon.

### 5.3 *Sinvolle Kombinasies van Koïnsidensskakelings tussen Fotovermenigvuldigers om die Doeltreffendheid van die Detektor as geheel te bepaal*

Die vier fotovermenigvuldigers, (Figuur 5.1), kan op verskeie maniere in koïnsidensie met mekaar geskakel word. Hierdie kombinasies van koïnsidensskakelings, of kortweg

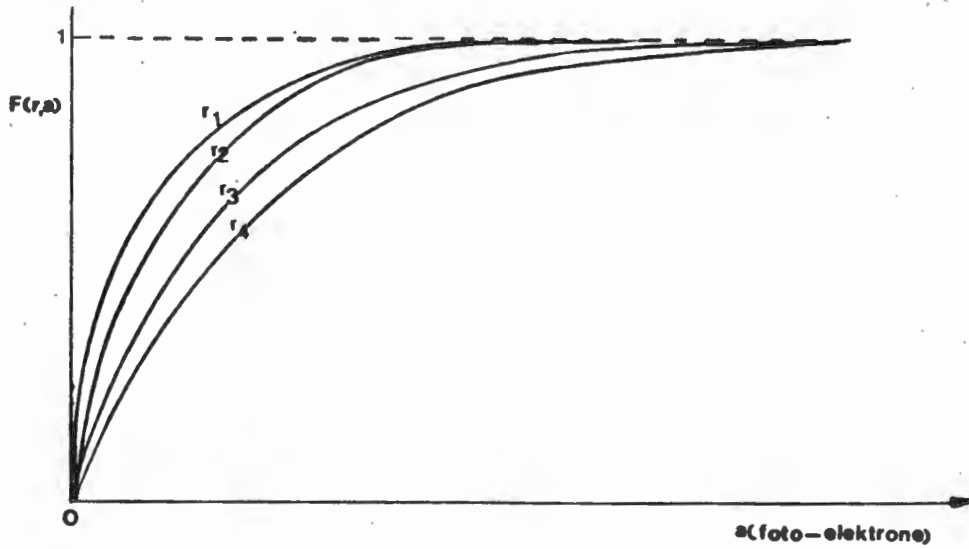


Fig. 5.2(a) Integraalverdelings op vier verschillende afstanden,  $r_1; r_2; r_3$  en  $r_4$  vanaf die foto-vermenigvuldiger, met  $r_1 > r_2 > r_3 > r_4$

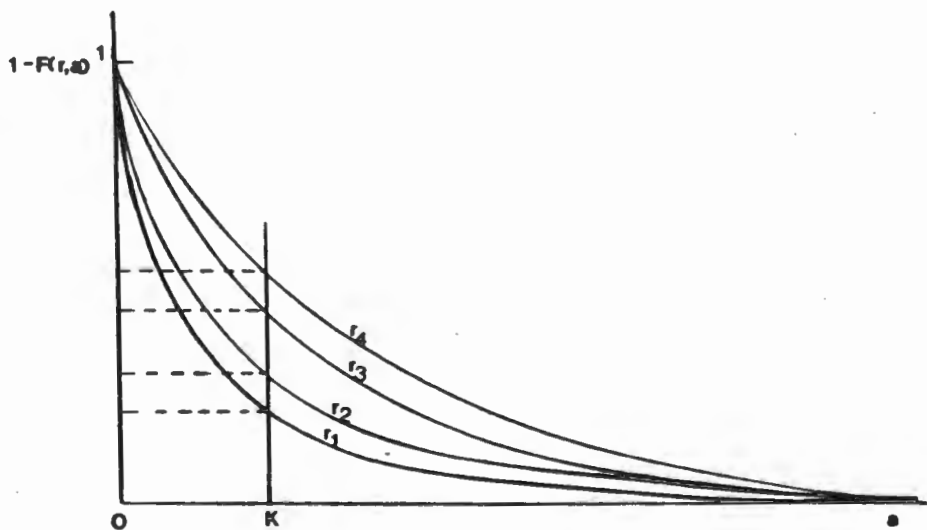


Fig. 5.2(b) Doeltreffendheid van deeltjierregistratie op vier verschillende afstanden met diskriminatievlak  $K$

koïnsidenskombinasies, moet op 'n sinvolle wyse gekies word om daardie koïnsidenskombinasie te vind wat die hoogste registrasiedoeltreffendheid vir deeltjies het wat deur die detektor beweeg.

In die onderstaande werk dui die getalle 1;2;3 en 4 op die fotovermenigvuldigers 1;2;3 en 4 soos in Figuur 5.1 aangedui is. Die waarskynlikheid dat 'n deeltjie deur fotovermenigvuldiger  $n$ , met  $n = 1;2;3;4$ , geregistreer sal word, word deur  $w(n)$  voorgestel, en die waarskynlikheid dat die deeltjie nie deur fotovermenigvuldiger  $n$  waargeneem word nie, word deur  $w(\bar{n})$  voorgestel. Die kans dat 'n deeltjie deur fotovermenigvuldiger  $n$  waargeneem of nie waargeneem word nie, is  $w(n) + w(\bar{n}) = 1$ .

Die verskillende koïnsidenskombinasies word nou bespreek en die berekening van die registrasiewaarskynlikhede vir die verskillende kombinasies van koïnsidensies word in Bylaag 5A getoon, terwyl die resultate daarvan in Tabel 5.1 getoon word.

### 5.3.1 *Koïnsidensies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 2 of 3 en 4*

Die volgende kombinasies van impulse sal aan hierdie voorwaardes voldoen. As ten minste een koïnsidensie tussen 1 en 2 of 3 en 4 die deeltjie sal registreer, word die registrasiewaarskynlikheid gegee deur:

$$D(1) = w(1) \cdot w(2) + w(\bar{2}) \cdot w(3) \cdot w(4) + w(1) \cdot w(\bar{2}) \cdot w(3) \cdot w(4)$$

### 5.3.2 *Alle Koïnsidensies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 3 of 1 en 4 of 2 en 3 of 2 en 4*

Onder hierdie voorwaardes word die registrasiewaarskynlik=

heid van 'n deeltjie gegee deur:

$$D(2) = w(1).w(3) + w(1).w(\bar{3}).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3) + w(\bar{1}).w(2).w(\bar{3}).w(4)$$

5.3.3 *Koïnsidensies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 2 óf 1 en 3 óf 1 en 4 óf 2 en 3 óf 2 en 4 óf 3 en 4*

Onder hierdie voorwaardes word die waarskynlikheid om 'n deeltjie te registreer, gegee deur:

$$D(3) = w(1).w(2) + w(\bar{1}).w(2).w(3) + w(1).w(\bar{2}).w(3) + w(1).w(\bar{2}).w(\bar{3}).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(\bar{3}).w(4) + w(\bar{1}).w(\bar{2}).w(3).w(4)$$

5.3.4 *Alle Drievoudige Kombinasies: 1 en 2 en 3 óf 1 en 2 en 4 óf 1 en 3 en 4 óf 2 en 3 en 4*

Die registrasiewaarskynlikheid onder hierdie voorwaardes word gegee deur:

$$D(4) = w(1).w(2).w(3) + w(1).w(2).w(\bar{3}).w(4) + w(1).w(\bar{2}).w(3).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3).w(4)$$

5.3.5 *Die Viervoudige Kombinasie van Koïnsidensies tussen al Vier Fotovermenigvuldigers*

Hierdie voorwaarde stel dat al vier die fotovermenigvuldigers die deeltjie moet waarneem, sodat die registrasiewaarskynlikheid gegee word deur:

$$D(5) = w(1).w(2).w(3).w(4)$$

Daar bestaan ook die moontlikheid om impulse vanaf die fotovermenigvuldigers bymekaar te tel en die gesommeerde impulse se amplitude moet dan 'n sekere diskriminasievlak oorskry om geregistreer te word. Amplitudes van die deeltjie-impulse kan gesommeer word terwyl die ruis volgens 'n statistiese verdeling sal akkumuleer, afhangende van die mate van oorvleueling van die ruisimpulse met mekaar of met 'n deeltjie-impuls. Daar kan dus verwag word dat die seintot-ruis verhouding beter sal wees as by die gevalle 5.3.1 tot 5.3.5 hierbo, sodat aansienlike voordeel met hierdie tegniek behaal behoort te word. Hierdie kombinasies word in Bylaag 5B getoon.

As voorbeeld van hierdie tegniek kan die volgende geval beskou word:

Die impulse vanaf fotovermenigvuldigers 1 en 2 word saamgetel en geskryf as  $w(1p2)$ , (Bylaag 5B). 'n Diskriminator word op  $w(1p2)$  aangelê en in koïnsidensie gebring met  $w(3p4)$  wat op dieselfde wyse saamgestel en gediskrimineer word.

Kort geskryf dek die volgende al die sinvolle moontlikhede:

$$5.3.6 \quad D(6) = w(1p2).w(3p4)$$

$$5.3.7 \quad D(7) = w(1p3).w(2p4) \text{ of op dergelike wyse} \\ = w(1p4).w(2p3)$$

Al sewe bostaande kombinasies is vir vier verskillende diskriminasievlakke en op agt verskillende afstande bereken en die resultate word in Tabel 5.1 getoon. Die rekenaarprogram waarmee die berekening gedoen is, word in Bylaag 5C getoon. In die rekenaarprogram word die diskriminasievlakke in terme van kanale gegee ( $K = 10;20;30;40$ ), terwyl

dit in Tabel 5.1 met behulp van die resultaat van 0,535 foto-elektrone per kanaal (Paragraaf 4.4) in terme van foto-elektrone gegee word.

### 5.3.8 *Bespreking van Resultate*

Die registrasiedoeltreffendhede word kwalitatief aan die hand van Tabel 5.1 en Figuur 5.1 bespreek. Vanweë die simmetrie van die detektor is slegs die eerste agt van die vyftien lengte-intervalle van die detektor, tot by 2,933 m, beskou.

By die registrasiedoeltreffendheid D(1) moet een van beide pare fotovermenigvuldigers 1 en 2 of 3 en 4 die deeltjie registreer. Die doeltreffendheid sal dus baie hoog wees as die deeltjie naby die fotovermenigvuldigers deurbeweeg, en sal laer word na die middel van die bak.

D(2) se verloop word verklaar deur die feit dat daar in beide gevalle vereis word dat fotovermenigvuldigers aan teenoorgestelde kante van die detektor die deeltjie moet waarneem. Vanweë hierdie voorwaarde sal die registrasiedoeltreffendheid die hoogste wees wanneer die deeltjie ewe ver van teenoorstaande fotovermenigvuldigers, dit wil sê deur die middel van die detektor, beweeg.

D(3) is 'n samestelling van D(1) en D(2), dit wil sê enige twee fotovermenigvuldigers, hetsy langs mekaar of aan teenoorgestelde kante van die detektor, moet die deeltjie waarneem. Dit is waarom dié registrasiedoeltreffendheid deurgaans so 'n hoë waarde het.

D(4) verloop byna identies aan D(2).

Die registrasiedoeltreffendheid, D(5), waar vereis word dat al vier fotovermenigvuldigers die deeltjie moet registreer, is baie laag naby die fotovermenigvuldigers, omdat die fotovermenigvuldigers aan die teenoorgestelde kant van die plek waar die deeltjie deurbeweeg het, dan 'n baie swak ligsein

Tabel 5.1 Die Doeltreffendheid van 'n Detektor vir Sewe verskillende Koënsidensiekombinasies as funksie van die Posisie van Deeltjiedeurgang

Afstand vanaf fotover= menigvul= diger (m)	D(1) %	D(2) %	D(3) %	D(4) %	D(5) %	D(6) %	D(7) %
Diskriminasievlak : K = 5,4 foto-elektrone							
0,367	100	89,87	100	89,87	46,48	99,40	100
0,733	100	93,62	100	93,62	55,86	99,72	100
1,100	100	96,16	100	96,16	64,63	99,94	100
1,467	99,96	96,78	100	96,74	67,24	99,92	100
1,833	100	99,96	100	99,96	96,19	100	100
2,200	100	99,99	100	99,99	98,51	100	100
2,567	100	100	100	100	99,73	100	100
2,933	100	100	100	99,99	98,67	100	100
Diskriminasievlak : K = 10,7 foto-elektrone							
0,367	99,50	26,83	99,63	26,71	2,08	79,05	100
0,733	100	33,90	100	33,90	3,50	86,19	100
1,100	99,99	36,56	99,99	36,56	4,14	91,47	100
1,467	99,69	45,52	99,82	45,39	6,84	92,73	99,96
1,833	99,71	87,87	99,94	87,64	42,27	99,86	100
2,200	99,93	95,77	99,99	95,71	62,96	99,98	100
2,567	99,99	99,99	100	99,98	97,40	100	100
2,933	99,97	99,99	100	99,96	96,59	100	100
Diskriminasievlak : K = 16,1 foto-elektrone							
0,367	97,97	7,19	98,11	7,05	0,13	34,62	96,65
0,733	99,95	9,19	99,95	9,18	0,22	44,54	100
1,100	99,82	9,66	99,83	9,65	0,25	50,49	99,99
1,467	99,65	12,31	99,69	12,26	0,40	58,13	99,79
1,833	99,02	41,06	99,39	40,69	5,34	96,27	99,93
2,200	99,65	57,71	99,83	57,53	12,18	99,07	99,99
2,567	99,56	97,86	99,96	97,46	71,72	99,99	100
2,933	98,26	99,07	99,88	97,45	75,34	99,98	99,98

Tabel 5.1 (Vervolg)

Diskriminasievlak : K = 21,4 foto-elektrone

0,367	97,29	3,02	97,37	2,94	0,02	11,30	98,54
0,733	99,77	4,22	99,78	4,21	0,05	16,30	99,97
1,100	99,70	3,42	99,71	3,41	0,03	17,85	99,89
1,467	99,56	4,68	99,58	4,66	0,06	24,04	99,69
1,833	98,29	16,87	98,56	16,60	0,77	76,13	99,67
2,200	97,83	21,54	98,27	21,10	1,28	90,10	99,91
2,567	88,48	76,66	96,04	69,09	22,96	99,91	99,96
2,933	73,33	82,30	91,28	64,36	23,39	99,83	99,82

ontvang. Die deeltjie sal dus die beste in die middel van die detektor waargeneem kan word. Alhoewel die toevallige koïnsidensies met hierdie voorwaarde baie verlaag word, is dit 'n onpraktiese vereiste vanweë die lae doeltreffendheid soos uit Tabel 5.1 blyk.

Die registrasiedoeltreffendheid D(6) het lae waardes naby aan die fotovermenigvuldigers, omdat die gesommeerde impuls van een kant se fotovermenigvuldigers in koïnsidensie met die gesommeerde impuls van die ander kant se fotovermenigvuldigers geplaas is. Die doeltreffendheid sal dus in die middel die hoogste waarde hê.

Die registrasiedoeltreffendheid D(7) se waardes lyk by al vier die diskriminasievlakke baie goed. Dit is te verwagte omdat die impulse van fotovermenigvuldigers aan teenoorgestelde kante van die detektor gesommeer word.

#### 5.4 Tempo van Toevallige Koïnsidensies

Soos in Bylaag 4A genoem is, gee die uitdrukking

$$A_n = nN_1N_2\dots N_n\tau^{n-1} \quad (5.1)$$

vir alle praktiese doeleindes die tempo van toevallige koïnsidensies tussen  $n$  fotovermenigvuldigers met teltempo's  $N_1, N_2, \dots, N_n$ . Die tydsduur van elke impuls word deur  $\tau$  gegee.

Volgens uitdrukking 5.1 is die tempo van toevallige koïnsidensies tussen twee fotovermenigvuldigers dus:

$$A_2 = 2N_1N_2\tau$$

Vir drievoudige koïnsidensies is die tempo van toevallige koïnsidensies

$$A_3 = 3N_1N_2N_3\tau^2$$

en vir viervoudige koïnsidensies is die tempo van toevallige koïnsidensies:

$$A_4 = 4N_1N_2N_3N_4\tau^3$$

Ruistempo's vir die sewe verskillende koïnsidenskombinasies, soos in Paragraaf 5.3 bespreek is, word nou in Paragrafe 5.4.1 tot 5.4.7 gegee, terwyl die resultate met behulp van die rekenaarprogram in Bylaag 5D bereken en in Tabel 5.2 gegee word.

#### 5.4.1 *Tempo van Toevallige Koïnsidensies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 2 óf 3 en 4*

Vir dié twee gevalle saam is die tempo van toevallige koïnsidensies:

$$RT(1) = 2N_1N_2\tau + 2N_3N_4\tau$$

5.4.2 *Tempo van Toevallige Koïnsidensies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 3 óf 1 en 4 óf 2 en 3 óf 2 en 4*

Die tempo van toevallige koïnsidensies onder hierdie voorwaardes, is:

$$RT(2) = 2N_1N_3\tau + 2N_1N_4\tau + 2N_2N_3\tau + 2N_2N_4\tau$$

5.4.3 *Tempo van Toevallige Koïnsidensies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 2 óf 1 en 3 óf 1 en 4 óf 2 en 3 óf 2 en 4 óf 3 en 4*

Die totale tempo van toevallige koïnsidensies onder hierdie voorwaardes, is:

$$RT(3) = 2N_1N_2\tau + 2N_1N_3\tau + 2N_1N_4\tau + 2N_2N_3\tau + 2N_2N_4\tau + 2N_3N_4\tau$$

5.4.4 *Ruistempo's vir Drievoudige Koïnsidensies Tussen 1 en 2 en 3 óf 1 en 2 en 4 óf 1 en 3 en 4 óf 2 en 3 en 4*

Volgens hierdie koïnsidensievoorwaardes is die totale ruistempo:

$$RT(4) = 3N_1N_2N_3\tau^2 + 3N_1N_2N_4\tau^2 + 3N_1N_3N_4\tau^2 + 3N_2N_3N_4\tau^2$$

5.4.5 *Die Tempo van Toevallige Koïnsidensies vir Viervoudige Koïnsidensies 1 en 2 en 3 en 4*

Die totale ruistempo onder hierdie voorwaardes, is:

$$RT(5) = 4N_1N_2N_3N_4\tau^3$$

Met die sommering van twee fotovermenigvuldigers se differensiële ruisspektra word die nuwe spektrum nagenoeg deur die som van die teltempo's in elke amplitude-interval gegee. Op dieselfde wyse as by die bepaling van die doeltreffendheid van die detektor, word die integrale ruistempo  $F_{mn}(a)$ , en die funksie  $1-F_{mn}(a)$  vir gesommeerde impulse van fotovermenigvuldigers  $m$  en  $n$  verkry. Deur dan 'n bepaalde diskriminasievlak  $K$  te kies, kan die tempo van impulse met amplitude groter as  $K$  vir elke twee fotovermenigvuldigers  $m$  en  $n$  gevind word. Wanneer die ruistempo's van  $m$  en  $n$  gesommeer word, vorm dit 'n nuwe ruistempo wat deur  $N_{mn}$  voorgestel word.

Die volgende kombinasies by die sommering van ruistempo's is moontlik:

5.4.6 *Die Tempo van Toevallige Koïnsidensies tussen (1p2) en (3p4) met onderskeie Teltempo's van  $N_{13}$  en  $N_{14}$  en die Tydsduur van albei gesommeerde impulse  $\tau$*

Die tempo word deur die uitdrukking vir  $A_2$  in Paragraaf 5.4 gegee en word:

$$RT(6) = 2N_{12}N_{34}\tau'$$

5.4.7 *Die Tempo van Toevallige Koïnsidensies tussen (1p3) en (2p4)*

Op dieselfde wyse as in Paragraaf 5.4.6 geld dat:

$$RT(7) = 2N_{13}N_{24}\tau'$$

Al die berekeninge van die ruistempo's is vir verskillende teltempo's van die fotovermenigvuldigers vanaf 10 Hz tot

500 Hz met die tydsduur van die impulse, vanaf 5  $\mu$ s tot 10 ns, met behulp van 'n rekenaar verkry. Die rekenaar-program word in Bylaag 5D en die resultate in Tabel 5.2 getoon. Verskeie teltempo's van fotovermenigvuldigers word onder die opskrif "Tempo" in Tabel 5.2 gegee. Vir die berekeninge is die teltempo's uit al die diskriminatore gelyk aan mekaar gestel sodat die kwadraat en derde mag van hierdie teltempo's ook getoon word. Die tempo van toevallige koïnsidensies vir die gevalle waar die onderskeie tempo's nie dieselfde is nie kan dus ook verkry word indien die produk van twee of drie fotovermenigvuldigers se teltempo's met een van die kwadraat- of derde-magwaardes, na gelang van die geval, ooreenstem.

#### 5.5 *Bespreking van die Resultate van die Registrasiewaarskynlikhede en Ruistempo's*

Hierdie bespreking word aan die hand van Tabelle 5.1 en 5.2 gedoen.

Soos verwag kan word, lewer die drievoudige en viervoudige koïnsidensies tussen die fotovermenigvuldigers die laagste tempo's van toevallige koïnsidensies. Omdat die registrasiewaarskynlikhede vir dié gevalle by hoë diskriminasievlakke so laag is, is dié kombinasies onprakties.

Deur die registrasiewaarskynlikhede in Tabel 5.1 te beskou, is dit duidelik dat die kombinasies D(1), D(3) en D(7) die beste kans bied om 'n deeltjie wat deur die detektor beweeg, waar te neem. By lae diskriminasievlakke,  $K = 5,4$ ; 10,7 en 16,1 foto-elektrone, is die kombinasies wat D(1), D(3) en D(7) lewer vergelykbaar met mekaar, hoewel die ruistempo RT(1), (Tabel 5.2), die laagste van die drie is. By  $K = 21,4$  foto-elektrone neem die doeltreffendheid D(1) egter drasties af na die middel van die detektor toe. D(7) lewer egter deurgaans 'n hoër en meer uniforme doeltreffendheid

Tabel 5.2 Ruistempo's vir verskillende tydsdure en verskillende kombinasies van kofinsidensies tussen vier fotovermenigvuldigers

11.52.21.TGTAL COMPILATION TIME:00.00.17  
 RUISTEMPUS VIR VERSKILLENDE KOMBINASIES  
 VGLGORDE= (12+34) (13+14+23+24) (12+13+14+23+24+34) (12+13+14+134+234) (1234) (1P2+3P4) (1P3+2P4)

UPLCSVERMOE= 0.5E-05 SEK	RT (1)	RT (2)	RT (3)	RT (4)	RT (5)	RT (6)	RT (7)	KWADRAAT	3-MAG
5000.	0.500E 03	0.100E 04	0.150E 04	0.375E 02	0.312E 00	0.100E 04	0.100E 04	0.25E 08	0.125E 12
2000.	0.800E 02	0.160E 03	0.240E 03	0.240E 01	0.800E-02	0.160E 03	0.160E 03	0.40E 07	0.800E 10
1000.	0.200E 02	0.400E 02	0.600E 02	0.300E 00	0.500E-03	0.400E 02	0.400E 02	0.10E 07	0.100E 10
500.	0.500E 01	0.100E 02	0.150E 02	0.375E-01	0.312E-04	0.100E 02	0.100E 02	0.25E 06	0.125E 09
200.	0.800E 00	0.160E 01	0.240E 01	0.240E-02	0.800E-06	0.160E 01	0.160E 01	0.40E 05	0.800E 07
100.	0.200E 00	0.400E 00	0.600E 00	0.300E-03	0.500E-07	0.400E 00	0.400E 00	0.10E 05	0.100E 07
50.	0.500E-01	0.100E 00	0.150E 00	0.375E-04	0.312E-08	0.100E 00	0.100E 00	0.25E 04	0.125E 06
20.	0.800E-02	0.160E-01	0.240E-01	0.240E-05	0.800E-10	0.160E-01	0.160E-01	0.40E 03	0.800E 04
10.	0.200E-02	0.400E-02	0.600E-02	0.300E-06	0.500E-11	0.400E-02	0.400E-02	0.10E 03	0.100E 04
UPLCSVERMOE= 0.2E-05 SEK									
5000.	0.200E 03	0.400E 03	0.600E 03	0.600E 01	0.200E-01	0.400E 03	0.400E 03	0.25E 08	0.125E 12
2000.	0.320E 02	0.640E 02	0.960E 02	0.384E 00	0.512E-03	0.640E 02	0.640E 02	0.40E 07	0.800E 10
1000.	0.800E 01	0.160E 02	0.240E 02	0.480E-01	0.320E-04	0.160E 02	0.160E 02	0.10E 07	0.100E 10
500.	0.200E 01	0.400E 01	0.600E 01	0.600E-02	0.400E-05	0.400E 01	0.400E 01	0.25E 06	0.125E 09
200.	0.320E 00	0.640E 00	0.960E 00	0.384E-03	0.512E-07	0.640E 00	0.640E 00	0.40E 05	0.800E 07
100.	0.800E-01	0.160E 00	0.240E 00	0.480E-04	0.320E-08	0.160E 00	0.160E 00	0.10E 05	0.100E 07
50.	0.200E-01	0.400E-01	0.600E-01	0.600E-05	0.200E-09	0.400E-01	0.400E-01	0.25E 04	0.125E 06
20.	0.320E-02	0.640E-02	0.960E-02	0.384E-06	0.512E-11	0.640E-02	0.640E-02	0.40E 03	0.800E 04
10.	0.800E-03	0.160E-02	0.240E-02	0.480E-07	0.320E-12	0.160E-02	0.160E-02	0.10E 03	0.100E 04
UPLCSVERMOE= 0.1E-05 SEK									
5000.	0.100E 03	0.200E 03	0.300E 03	0.150E 01	0.250E-02	0.200E 03	0.200E 03	0.25E 06	0.125E 12
2000.	0.160E 02	0.320E 02	0.480E 02	0.240E-01	0.960E-01	0.320E 02	0.320E 02	0.40E 07	0.800E 10
1000.	0.400E 01	0.800E 01	0.120E 02	0.120E-01	0.400E-05	0.800E 01	0.800E 01	0.10E 07	0.100E 10
500.	0.100E 01	0.200E 01	0.300E 01	0.150E-02	0.250E-06	0.200E 01	0.200E 01	0.25E 06	0.125E 09
200.	0.160E 00	0.320E 00	0.480E 00	0.240E-04	0.960E-08	0.320E 00	0.320E 00	0.40E 05	0.800E 07
100.	0.400E-01	0.800E-01	0.120E 00	0.120E-04	0.400E-09	0.800E-01	0.800E-01	0.10E 05	0.100E 07
50.	0.100E-01	0.200E-01	0.300E-01	0.150E-05	0.250E-10	0.200E-01	0.200E-01	0.25E 04	0.125E 06
20.	0.160E-02	0.320E-02	0.480E-02	0.240E-07	0.960E-12	0.320E-02	0.320E-02	0.40E 03	0.800E 04
10.	0.400E-03	0.800E-03	0.120E-02	0.120E-07	0.400E-13	0.800E-03	0.800E-03	0.10E 03	0.100E 04
UPLCSVERMOE= 0.5E-06 SEK									
5000.	0.500E 02	0.100E 03	0.150E 03	0.375E 00	0.312E-03	0.100E 03	0.100E 03	0.25E 08	0.125E 12
2000.	0.800E 01	0.160E 02	0.240E 02	0.240E-01	0.800E-05	0.160E 02	0.160E 02	0.40E 07	0.800E 10
1000.	0.200E 01	0.400E 01	0.600E 01	0.300E-02	0.500E-06	0.400E 01	0.400E 01	0.10E 07	0.100E 10
500.	0.500E 00	0.100E 01	0.150E 01	0.375E-03	0.312E-07	0.100E 01	0.100E 01	0.25E 06	0.125E 09
200.	0.800E-01	0.160E 00	0.240E 00	0.240E-04	0.800E-09	0.160E 00	0.160E 00	0.40E 05	0.800E 07
100.	0.200E-01	0.400E-01	0.600E-01	0.300E-05	0.500E-10	0.400E-01	0.400E-01	0.10E 05	0.100E 07
50.	0.500E-02	0.100E-01	0.150E-01	0.375E-06	0.312E-11	0.100E-01	0.100E-01	0.25E 04	0.125E 06
20.	0.800E-03	0.160E-02	0.240E-02	0.240E-07	0.800E-13	0.160E-02	0.160E-02	0.40E 03	0.800E 04
10.	0.200E-03	0.400E-03	0.600E-03	0.300E-08	0.500E-14	0.400E-03	0.400E-03	0.10E 03	0.100E 04
UPLCSVERMOE= 0.2E-06 SEK									
5000.	0.200E 02	0.400E 02	0.600E 02	0.600E-01	0.200E-04	0.400E 02	0.400E 02	0.25E 08	0.125E 12
2000.	0.320E 01	0.640E 01	0.960E 01	0.384E-02	0.512E-06	0.640E 01	0.640E 01	0.40E 07	0.800E 10
1000.	0.800E 00	0.160E 01	0.240E 01	0.480E-03	0.320E-07	0.160E 01	0.160E 01	0.10E 07	0.100E 10
500.	0.200E 00	0.400E 00	0.600E 00	0.600E-04	0.200E-08	0.400E 00	0.400E 00	0.25E 06	0.125E 09
200.	0.320E 00	0.640E-01	0.960E-01	0.384E-05	0.512E-10	0.640E-01	0.640E-01	0.40E 05	0.800E 07
100.	0.800E-02	0.160E-01	0.240E-01	0.480E-06	0.320E-11	0.160E-01	0.160E-01	0.10E 05	0.100E 07
50.	0.200E-02	0.400E-02	0.600E-02	0.600E-07	0.200E-12	0.400E-02	0.400E-02	0.25E 04	0.125E 06
20.	0.320E-03	0.640E-03	0.960E-03	0.384E-08	0.512E-14	0.640E-03	0.640E-03	0.40E 03	0.800E 04
10.	0.800E-04	0.160E-03	0.240E-03	0.480E-09	0.320E-15	0.160E-03	0.160E-03	0.10E 03	0.100E 04
UPLCSVERMOE= 0.1E-06 SEK									
5000.	0.100E 02	0.200E 02	0.300E 02	0.150E-01	0.250E-05	0.200E 02	0.200E 02	0.25E 08	0.125E 12
2000.	0.160E 01	0.320E 01	0.480E 01	0.240E-03	0.960E-03	0.320E 01	0.320E 01	0.40E 07	0.800E 10
1000.	0.400E 00	0.800E 00	0.120E 01	0.120E-03	0.400E-08	0.800E 00	0.800E 00	0.10E 07	0.100E 10
500.	0.100E 00	0.200E 00	0.300E 00	0.150E-04	0.250E-09	0.200E 00	0.200E 00	0.25E 06	0.125E 09
200.	0.160E 00	0.320E-01	0.480E-01	0.240E-06	0.960E-11	0.320E-01	0.320E-01	0.40E 05	0.800E 07
100.	0.400E-02	0.800E-02	0.120E-01	0.120E-06	0.400E-12	0.800E-02	0.800E-02	0.10E 05	0.100E 07
50.	0.100E-02	0.200E-02	0.300E-02	0.150E-07	0.250E-13	0.200E-02	0.200E-02	0.25E 04	0.125E 06
20.	0.160E-03	0.320E-03	0.480E-03	0.240E-09	0.960E-09	0.320E-03	0.320E-03	0.40E 03	0.800E 04
10.	0.400E-04	0.800E-04	0.120E-03	0.120E-09	0.400E-16	0.800E-04	0.800E-04	0.10E 03	0.100E 04
UPLCSVERMOE= 0.5E-07 SEK									
5000.	0.500E 01	0.100E 02	0.150E 02	0.375E-02	0.312E-06	0.100E 02	0.100E 02	0.25E 08	0.125E 12
2000.	0.800E 00	0.160E 01	0.240E 01	0.240E-03	0.800E-08	0.160E 01	0.160E 01	0.40E 07	0.800E 10
1000.	0.200E 00	0.400E 00	0.600E 00	0.300E-04	0.500E-09	0.400E 00	0.400E 00	0.10E 07	0.100E 10
500.	0.500E-01	0.100E 00	0.150E 00	0.375E-05	0.312E-10	0.100E 00	0.100E 00	0.25E 06	0.125E 09
200.	0.800E-02	0.160E-01	0.240E-01	0.240E-06	0.800E-12	0.160E-01	0.160E-01	0.40E 05	0.800E 07
100.	0.200E-02	0.400E-02	0.600E-02	0.300E-07	0.500E-13	0.400E-02	0.400E-02	0.10E 05	0.100E 07
50.	0.500E-03	0.100E-02	0.150E-02	0.375E-08	0.312E-14	0.100E-02	0.100E-02	0.25E 04	0.125E 06
20.	0.800E-04	0.160E-03	0.240E-03	0.240E-09	0.800E-16	0.160E-03	0.160E-03	0.40E 03	0.800E 04
10.	0.200E-04	0.400E-04	0.600E-04	0.300E-10	0.500E-17	0.400E-04	0.400E-04	0.10E 03	0.100E 04
UPLCSVERMOE= 0.2E-07 SEK									
5000.	0.200E 01	0.400E 01	0.600E 01	0.600E-03	0.200E-07	0.400E 01	0.400E 01	0.25E 08	0.125E 12
2000.	0.320E 00	0.640E 00	0.960E 00	0.384E-04	0.512E-09	0.640E 00	0.640E 00	0.40E 07	0.800E 10
1000.	0.800E-01	0.160E 00	0.240E 00	0.480E-05	0.320E-10	0.160E 00	0.160E 00	0.10E 07	0.100E 10
500.	0.200E-01	0.400E-01	0.600E-01	0.600E-06	0.200E-11	0.400E-01	0.400E-01	0.25E 06	0.125E 09
200.	0.320E-02	0.640E-02	0.960E-02	0.384E-07	0.512E-13	0.640E-02	0.640E-02	0.40E 05	0.800E 07
100.	0.800E-03	0.160E-02	0.240E-02	0.480E-08	0.320E-14	0.160E-02	0.160E-02	0.10E 05	0.100E 07
50.	0.200E-03	0.400E-03	0.600E-03	0.600E-09	0.200E-15	0.400E-03	0.400E-03	0.25E 04	0.125E 06
20.	0.320E-04	0.640E-04	0.960E-04	0.384E-10	0.512E-17	0.640E-04	0.640E-04	0.40E 03	0.800E 04
10.	0.800E-05	0.160E-04	0.240E-04	0.480E-11	0.320E-18	0.160E-04	0.160E-04	0.10E 03	0.100E 04
UPLCSVERMOE= 0.1E-07 SEK									
5000.	0.100E 01	0.200E 01	0.300E 01	0.150E-03	0.250E-08	0.200E 01	0.200E 01	0.25E 08	0.125E 12
2000.	0.160E 00	0.320E 00	0.480E 00	0.240E-05	0.960E-10	0.320E 00	0.320E 00	0.40E 07	0.800E 10
1000.	0.400E-01	0.800E-01	0.120E 00	0.120E-05	0.400E-11	0.800E-01	0.800E-01	0.10E 07	0.100E 10
500.	0.100E-01	0.200E-01	0.300E-01	0.150E-06	0.250E-12	0.200E-01	0.200E-01	0.25E 06	

oor die hele detektor met 'n effens hoër ruistempo as  $RT(1)$  en 'n effens laer ruistempo as  $RT(3)$ .

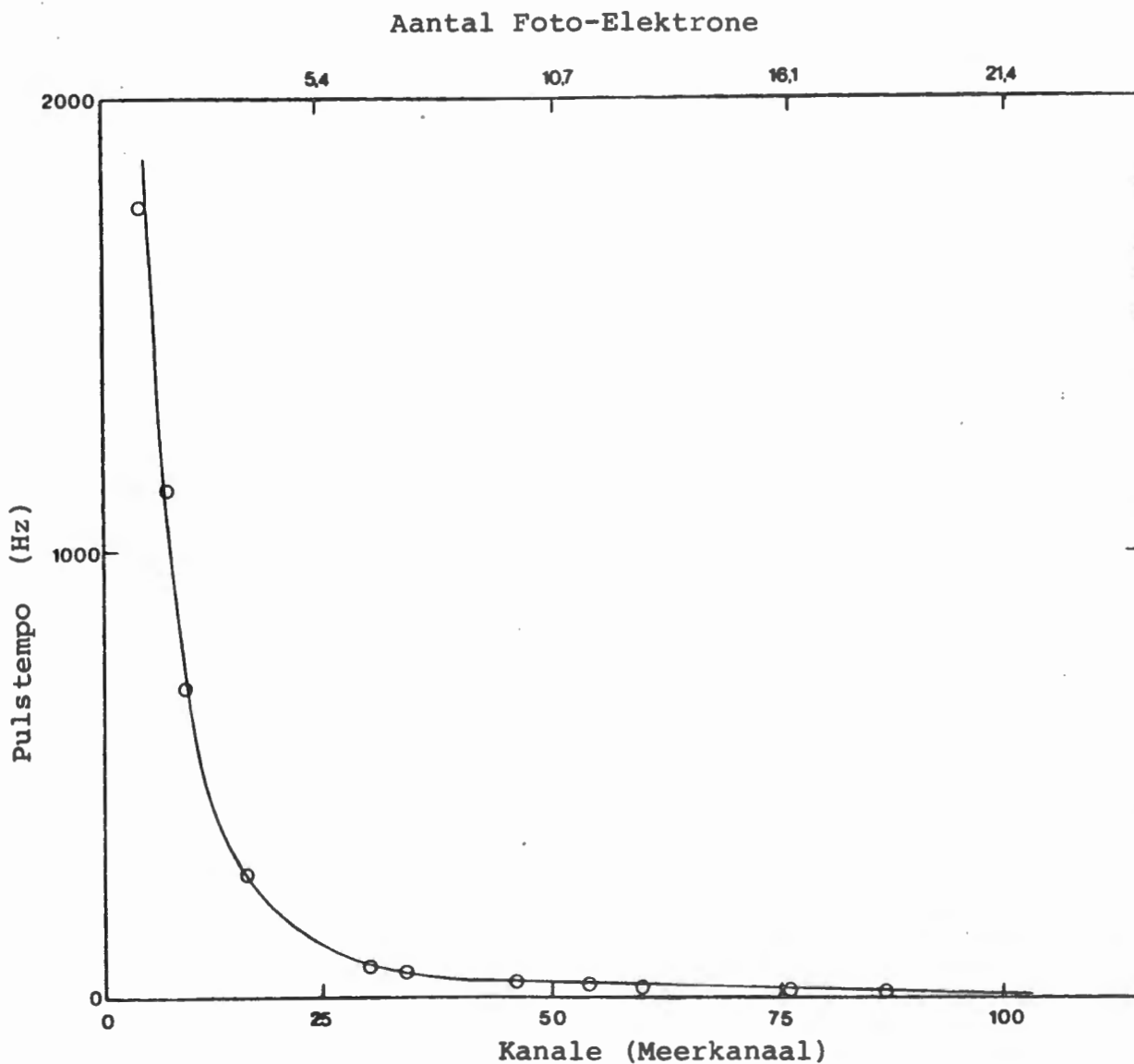
Die gevolgtrekking hieruit is dus:

Deur die impulse van fotovermenigvuldigers aan teenoorgestelde kante van die detektor bymekaar te tel en koïnsidensies tussen die twee paar gediskrimineerde impulse te neem, sal 'n deeltjie wat deur die detektor beweeg, met die hoogs moontlike doeltreffendheid oor die hele detektor en met 'n voldoende lae tempo van toevallige koïnsidensies geregistreer word.

#### 5.6 *Bepaling van die Toevallige Koïnsidensies by Vier Verskillende Diskriminasiëvlakke*

In Figuur 5.3 word die gemete ruisspektrum van die fotovermenigvuldiger wat gebruik is om die pulshoogteverdelings, (Hoofstuk 3), te meet, getoon. Die amplitudes van die ruisimpulse is in drie skale uitgedruk. Die eerste skaal is die amplitude in terme van kanale soos deur die meerkanalanaliseerder geregistreer is. Die tweede skaal is die amplitude in terme van effektiewe kanale, dit is die kanale nadat die pulshoogteverdelings ten opsigte van die versterkings genormaliseer is. Op die derde skaal word die amplitude van die ruisimpulse in terme van foto-elektrone uitgedruk.

Die aantal foto-elektrone per effektiewe kanaal is in Paragraaf 4.4 bereken en die foto-elektronskaal is in Figuur 4.1 getoon. Die resultaat, 0,535 foto-elektrone per kanaal, wat in Paragraaf 4.4 verkry is en in Figuur 5.3 gebruik is, kan nie sondermeer as korrek aanvaar word nie. Dit is so omdat die spektrum vir enkel foto-elektrone nie korrek opgeneem kon word nie en tweedens omdat die aantal foto-elektrone nie met sekerheid uit die spektrumvorms bepaal kon word nie, want hulle is nie presies Poisson- of normaalverdelings nie.



Effektiewe Kanale nadat Pulshoogteverdelings ten opsigte van Versterkings genormaliseer is (800 Kanale van die Meerkanaal= Analiseerder = 640 Effektiewe Kanale by  $\frac{1}{32}$  x Versterking en 200 Kanale per Volt

Fig. 5.3 Die gemete ruisspektrum van die fotovermenigvuldiger wat gebruik is om die pulshoogteverdelings, (Hoofstuk 3), te meet

Deur nou die diskriminasievlakke wat gebruik is om die doeltreffendheid in Tabel 5.1 te vind, op die ruiskromme in Figuur 5.3 aan te lê, kan die ruistempo's by die verskillende diskriminasievlakke verkry word. Die resultate word in Tabel 5.3 getoon. Die koïnsidenskombinasie wat die registrasiedoeltreffendheid  $D(7)$  in Paragraaf 5.5 gelewer het, verseker die hoogste doeltreffendheid van die detektor. Die tempo van toevallige koïnsidensies van hierdie kombinasie vir bogenoemde ruistempo's kan onder  $RT(7)$  in Tabel 5.2 afgelees word. Dit is duidelik uit Tabel 5.2 dat die tydsduur van 'n impuls so kort as moontlik moet wees. Die tempo van toevallige koïnsidensies vir die ruistempo's by die verskillende diskriminasievlakke, is vir impulse met tydsduur van 20 ns en 1  $\mu$ s bereken en word in Tabel 5.3 getoon. Die tempo van toevallige koïnsidensies met 'n ruistempo van 30 Hz is met behulp van die uitdrukking vir  $RT(7)$  bereken. Die tempo is eweredig aan die oplosvermoë vir tweevoudige koïnsidensies sodat die toevallige koïnsidensies by 'n tydsduur van 1  $\mu$ s, vyftig maal hoër as by 20 ns is.

Tabel 5.3 *Die Tempo van Toevallige Koïnsidensies van die Koïnsidensiekombinasie  $D(7)$  vir Twee Tydsdure van die Impulse by Vier Verskillende Diskriminasievlakke*

Diskriminasievlak (Foto-elektrone)	Ruistempo van al vier foto= vermenigvuldi= gerkanale (Hz)	Tempo van Toevallige Koïnsidensie (Hz)	
		$\tau = 20 \text{ ns}$	$\tau = 1 \mu\text{s}$
21,4	10	$1,60 \times 10^{-5}$	$8,00 \times 10^{-4}$
16,1	20	$6,40 \times 10^{-5}$	$3,20 \times 10^{-4}$
10,7	30	$1,44 \times 10^{-4}$	$3,60 \times 10^{-3}$
5,4	100	$1,60 \times 10^{-3}$	$8,00 \times 10^{-3}$

## BYLAAG 5A

## GESKIKTE KOMBINASIES VAN IMPULSE UIT DIE DETEKTOR SE VIER FOTOVERMENIGVULDIGERS VIR KOÏNSIDENSIES

Die nommers van die fotovermenigvuldigers, soos in hierdie werk gebruik, word in Figuur 5.1 aangetoon. 'n Diskriminasievlak word op die amplitudes van die impulse van elke fotovermenigvuldiger aangelê. Daar bestaan dan 'n bepaalde waarskynlikheid om 'n deeltjie wat deur die detektor beweeg, te registreer. Stel hierdie waarskynlikheid word deur  $w(n)$  vir die  $n$ -de fotovermenigvuldiger voorgestel. Die waarskynlikheid dat die fotovermenigvuldiger nie die deeltjie sal registreer nie, word deur  $w(\bar{n})$  gegee. Omdat die fotovermenigvuldiger die deeltjie óf sal waarneem óf nie waarneem nie, geld dat  $w(n) + w(\bar{n}) = 1$ . Daar word van hierdie uitdrukking gebruik gemaak om die lang uitdrukkings vir die verskillende koïnsidenskombinasies tot die kortste moontlike uitdrukkings te reduseer.

Al die moontlike sinvolle kombinasies vir koïnsidensies word nou ondersoek.

1. *Koïnsidenskombinasies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 2 óf 3 en 4*

Alle moontlike kombinasies wat aan hierdie voorwaardes sal voldoen, is:

$$D(1) = w(1).w(2).w(\bar{3}).w(\bar{4}) + w(1).w(2).w(3).w(\bar{4}) + w(1).w(2).w(\bar{3}).w(4) + w(1).w(2).w(3).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3).w(4) + w(1).w(\bar{2}).w(3).w(4) + w(\bar{1}).w(\bar{2}).w(3).w(4)$$

$$= w(1).w(2).w(\bar{4}) + w(1).w(2).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3).w(4) + w(\bar{2}).w(3).w(4)$$

$$= w(1).w(2) + w(\bar{2}).w(3).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3).w(4)$$

waar byvoorbeeld:

$$w(1).w(2).w(\bar{3}).w(\bar{4}) + w(1).w(2).w(3).w(\bar{4}) = w(1).w(2).w(\bar{4})$$

2. *Koñsidenskombinasies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 3 óf 1 en 4 óf 2 en 3 óf 2 en 4*

Die waarskynlikheid om 'n deeltjie met een of meer van hierdie kombinasies te registreer, is:

$$\begin{aligned} D(2) &= w(1).w(\bar{2}).w(3).w(\bar{4}) + w(1).w(\bar{2}).w(3).w(4) + \\ &\quad w(1).w(2).w(3).w(\bar{4}) + w(1).w(2).w(3).w(4) + \\ &\quad w(1).w(\bar{2}).w(\bar{3}).w(4) + w(1).w(2).w(\bar{3}).w(4) + \\ &\quad w(\bar{1}).w(2).w(3).w(\bar{4}) + w(\bar{1}).w(2).w(3).w(4) + \\ &\quad w(\bar{1}).w(2).w(\bar{3}).w(4) \\ &= w(1).w(\bar{2}).w(3) + w(1).w(2).w(3) + w(1).w(\bar{3}).w(4) + \\ &\quad w(\bar{1}).w(2).w(3) + w(\bar{1}).w(2).w(\bar{3}).w(4) \\ &= w(1).w(3) + w(1).w(\bar{3}).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3) + \\ &\quad w(\bar{1}).w(2).w(\bar{3}).w(4) \end{aligned}$$

3. *Koñsidenskombinasies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 2 óf 1 en 3 óf 1 en 4 óf 2 en 3 óf 2 en 4 óf 3 en 4*

Die waarskynlikheid om 'n deeltjie met een of meer van hierdie kombinasies te registreer, is:

$$\begin{aligned} D(3) &= w(1).w(2).w(\bar{3}).w(\bar{4}) + w(1).w(2).w(3).w(\bar{4}) + \\ &\quad w(1).w(2).w(\bar{3}).w(4) + w(1).w(2).w(3).w(4) + \\ &\quad w(1).w(\bar{2}).w(3).w(\bar{4}) + w(1).w(\bar{2}).w(3).w(4) + \\ &\quad w(1).w(\bar{2}).w(\bar{3}).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3).w(\bar{4}) + \\ &\quad w(\bar{1}).w(2).w(3).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(\bar{3}).w(4) + \\ &\quad w(\bar{1}).w(\bar{2}).w(3).w(4) \end{aligned}$$

$$= w(1).w(2).w(\bar{4}) + w(1).w(2).w(4) + w(1).w(\bar{2}).w(3) + \\ w(1).w(\bar{2}).w(\bar{3}).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3) + w(\bar{1}).w(2).w(\bar{3}).w(4) + \\ w(\bar{1}).w(\bar{2}).w(3).w(4)$$

$$= w(1).w(2) + w(\bar{1}).w(2).w(3) + w(1).w(\bar{2}).w(3) + \\ w(1).w(\bar{2}).w(\bar{3}).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(\bar{3}).w(4) + \\ w(\bar{1}).w(\bar{2}).w(3).w(4)$$

4. *Drievoudige Kofnsidenskombinasies tussen Fotovermenigvuldigers 1 en 2 en 3 óf 1 en 3 en 4 óf 1 en 3 en 4 óf 2 en 3 en 4*

Die waarskynlikheid om 'n deeltjie met een of meer van hierdie kombinasies te registreer, is:

$$D(4) = w(1).w(2).w(3).w(\bar{4}) + w(1).w(2).w(\bar{3}).w(4) + \\ w(1).w(\bar{2}).w(3).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3).w(4) + \\ w(1).w(2).w(3).w(4)$$

$$= w(1).w(2).w(3) + w(1).w(2).w(\bar{3}).w(4) + \\ w(1).w(\bar{2}).w(3).w(4) + w(\bar{1}).w(2).w(3).w(4)$$

5. *Viervoudige Kofnsidensies tussen die Vier Fotovermenigvuldigers*

Die waarskynlikheid om 'n deeltjie uit die kombinasie 1 en 2 en 3 en 4 te registreer, is:

$$D(5) = w(1).w(2).w(3).w(4)$$

## BYLAAG 5B

## SOMMERING VAN IMPULSE VANAF VERSKILLENDE FOTOVERMENIGVULDIGERS

In hierdie geval word die deeltjie-impulse gesommeer terwyl die tempo van toevallige koïnsidensies statisties sal akkumuleer. Omdat dit die geval is, behoort die doeltreffendheid van registrasie van deeltjies aansienlik verbeter te word.

In die algemeen gestel sal deeltjies wat op 'n afstand  $r_k$  vanaf buis n deur die detektor gaan op 'n afstand  $r_l$  vanaf buis m deurgaan. As die twee buise aan teenoorgestelde kante van die detektor is, sal  $r_k + r_l$  ongeveer die lengte van die detektor wees. Die waarskynlikheidsfunksie  $f_n(r_k, a)$  sal die amplitudeverdeling van buis n gee, en  $f_m(r_l, a)$ , dié van buis m. In die geval waar die impulse uit m en n gesommeer word, sal die resulterende verdeling soos volg wees:

$$f_{mn}(a') = f_m * f_n$$

$$\text{Dit is } f_{mn}(a_i + a_j) = \sum_{i=1}^{\text{maks}} \sum_{j=1}^{\text{maks}} f_m(r_k, a_i) \cdot f_n(r_l, a_j)$$

waar daar telkens tot die maksimum amplitudewaardes van die waarskynlikheidsdigtheidsverdelings gesommeer word. Die waarskynlikheid dat die deeltjie met behulp van beide fotovermenigvuldigers m en n se gesommeerde impulse waargeneem is, kan deur  $w(m \text{ plus } n)$  voorgestel word. Ons kan dit kortweg as  $w(mpn)$  skryf.

Die verskillende sinvolle moontlikhede word nou gegee deur:

6. *Koïnsidensies tussen (1p2) en (3p4)*

Die waarskynlikheid van registrasie van 'n deeltjie word nou gegee deur:

$$D(6) = w(1p2) \cdot w(3p4)$$

7. *Koïnsidensie tussen (1p3) en (2p4)*

Die registrasiewaarskynlikheid word gegee deur:

$$D(7) = w(1p3) \cdot w(2p4)$$

en

$$D(7) = w(2p3) \cdot w(1p4)$$

## BYLAAG 5C

REKENAARPROGRAM OM DIE REGISTRASIEDOELTREFFENDHEID VAN DEEL-  
TJIES TE BEREKEN

```

DEFINE FILE 9(15,640,U,IK)
DIMENSIGN RGMD(15,640),SR1(15,640),F12(1280),SF12(15,1280)
DIMENSICN F13(1280),SF13(1280),WN(4),D(8),W(4),NRMVST(15)
DATA NRMVST/8,8,8,4,4,4,2,2,2,2,2,1,1,1,1/
C ** BEREKENING VAN DIE WAARSKYNNLIKHEID OM DEELTJIES WAAK TE NEEEM
MT=15
DC 799 ISKYF=1,MT
READ(9,ISKYF)(RGMD(ISKYF,JS),JS=1,640)
799 CCNTINUE
DC 821 I=1,MT
MKS=NRMVST(I)*80
SR1(I,1)=RGMD(I,1)
DC 800 J=2,MKS
JM1=J-1
800 SR1(I,J)=SR1(I,JM1)+RGMD(I,J)
DC 801 J=1,MKS
801 SR1(I,J)=1-SR1(I,J)
821 CCNTINUE
C ** VCUING VAN 2 BUISE TEENCOR MEKAAR OP 8 VERSILLENDE
C AFSTANDE EN MET 4 VERSKILLENDE DISKRIMINASIEVLAKKE
DC 804 KD=10,40,10
K=KD
DC 805 ID=1,8
IE=(MT+1)-ID
DC 826 I=1,1280
826 F13(I)=0.0
MKS1=NRMVST(IE)*80
MKS2=NRMVST(ID)*80
DC 806 I=1,MKS1
DC 806 J=1,MKS2
IJ=I+J
806 F13(IJ)=F13(IJ)+RGMD(IE,I)*RGMD(ID,J)
SF13(1)=F13(2)
MK=MKS1+MKS2
DC 807 I=2,MK
IP1=I-1
807 SF13(I)=SF13(IP1)+F13(I)
DC 808 I=1,MK
808 SF13(I)=1-SF13(I)
C ** WAARSKYNNLIKHEID DAT(1) GEBEURTENIS SAL PLAASVIND W(I)
C ** (2) GEBEURTENIS NIE SAL PLAASVIND NIE WN(I)
W(1)=SR1(IE,K)
W(2)=W(1)
W(3)=SR1(ID,K)
W(4)=W(3)
WN(1)=1-W(1)
WN(2)=1-W(2)
WN(3)=1-W(3)
WN(4)=1-W(4)
C ** DCELTREFFENDHEID VIR SINVOLLE KOMBINASIES
D(1)=W(1)*W(2)+W(3)*W(4)-W(1)*W(2)*W(3)*W(4)
D(2)=W(1)*W(3)+W(1)*WN(3)*W(4)+WN(1)*W(2)*W(3)
6+W(1)*W(2)*WN(3)*W(4)
D(3)=W(1)*W(2)+WN(1)*W(2)*W(3)+W(1)*WN(2)*W(3)+
6WN(3)*W(4)+WN(1)*W(2)*WN(3)*W(4)+WN(1)*WN(2)*W(3)*W(4)
D(4)=W(1)*W(2)*W(3)+W(1)*W(2)*WN(3)*W(4)+W(1)*WN(2)*
6W(3)*W(4)+WN(1)*W(2)*W(3)*W(4)
D(5)=W(1)*W(2)*W(3)*W(4)

```

```

C ** KCIINSIDENSIE TUSSEN GEMENGDE PULSE
W(1)=SF13(K)
W(2)=W(1)
D(7)=W(1)*W(2)
805 CCNTINUE
C ** KGINSIDENSIE TUSSEN PULSE UIT BUISE AAN DIESELFDE KANT
F12(1)=0
DC 809 ID=1,8
MKS=ARMVST(ID)*80
MK=2*MKS
DC 827 I=1,1280
827 F12(I)=0.0
DC 810 I=1,MKS
DC 810 J=1,MKS
IJ=I+J
810 F12(IJ)=F12(IJ)+RGMD(ID,I)*RGMD(ID,J)
SF12(ID,1)=F12(2)
DC 811 I=2,MK
IM1=I-1
811 SF12(ID,I)=SF12(ID,IM1)+F12(I)
DC 812 I=1,MK
812 SF12(ID,I)=1-SF12(ID,I)
809 CCNTINUE
WRITE(3,816)
816 FCRMAT('1')
DC 813 ID=1,8
W(1)=SF12(ID,K)
IE=(MT+1)-ID
W(2)=SF12(IE,K)
D(6)=W(1)*W(2)
WRITE(3,814)K
814 FCRMAT(17X,'DCELTREFFENCHEID K = ',13,5X,'RUISTEMPC BY K = ')
WRITE(3,815)
815 FCRMAT(/,5X,'AFSTAND',4X,'D(1)',6X,'D(2)',8X,'D(3)',8X,
*'D(4)',8X,'D(5)',8X,'D(6)',8X,'D(7)')
WRITE(3,797)
797 FCRMAT(/)
WRITE(3,818)ID,D(1),D(2),D(3),D(4),D(5),D(6),D(7)
818 FCRMAT(8X,13,7(E12.4))
813 CCNTINUE
804 CCNTINUE
STOP
END

```

## BYLAAG 5D

## REKENAARPROGRAM WAT RUISTEMPO'S BEREKEN

```

DIMENSION RT(7)
WRITE(3,845)
845  FORMAT(' RUISTEMPOS VIR VERSKILLENDE KOMBINASIES')
WRITE(3,846)
846  FORMAT(' VOLGORDE= (12+34) (13+14+23+24) (12+13+14+23+24+34)'
6' (123+124+134+234) (1234) (1P2+3P4) (1P3+2P4)')
DC 880 I=1,3
II=4-I
JJ=10
VT=10**II
DC 880 J=1,3
JJ=JJ/2
CT=JJ
PT=VT*CT*0.1E-08
WRITE(3,847) PT
847  FORMAT(' OPLOSVERMOE=',E8.1,1X,'SEK')
WRITE(3,848)
848  FORMAT(' TEMPO',95X,'KWADRAAT',6X,'3-MAG')
DC 870 N=1,3
NN=4-N
MM=10
VN=10**NN
DC 870 M=1,3
MM=MM/2
CN=MM
PN=VN*CN
PKW=PN*PN
PDM=PKW*PN
RT(1)=4*PKW*PT
RT(2)=2*RT(1)
RT(3)=3*RT(1)
RT(4)=3*RT(1)*PN*PT
RT(5)=RT(1)*PKW*PT*PT
RT(6)=RT(2)
RT(7)=RT(6)
WRITE(3,849) PN,RT,PKW,PDM
849  FORMAT(F6.0,3X,7E12.3,6X,E10.2,E11.3)
870  CCNTINUE
880  CCNTINUE
STOP
END

```

## HOOFSTUK 6

## OPSOMMING, GEVOLGTREKKINGS EN VOORSTELLE

Die eerste doelstelling van hierdie eksperiment was om die opbrengskromme van 'n vloeistofsintillasiedetektor te bepaal soos in Hoofstukke 1 en 2 genoem is. Die relatiewe opbrengskromme van die toetsbak is in Hoofstuk 3 bepaal, (Figuur 3.12), en die metode waarvoor antikoïnsidensskerms gebruik is om buie en geassosieerde deeltjies mee uit te skakel, is in Bylaag 3A met die metode van Meyer, (1970), waar geen antikoïnsidensskerms gebruik is nie, vergelyk. Vanweë die veroudering van die sintillasievloeistof is die vergelyking tussen die huidige opbrengskromme, (Figuur 3.12), en dié van Meyer, (1970), (Figuur 3.13), bemoeilik. Nie-teenstaande hierdie feit blyk dit uit Figuur 3.12 dat die antikoïnsidensskerms 'n noemenswaardige verbetering in die bepaling van die opbrengskromme van die toetsbak was. Die gemete pulshoogteverdelings kan dus as enkelvoudige verdelings beskou word. Die idee was om uit hierdie verdelings die aantal foto-elektrone per deeltjiedeurgang te bepaal sodat die 240 fotovermenigvuldigers wat in die beplande muon-eksperiment in gebruik sal wees, in terme van foto-elektrone geyk kan word deur slegs 'n enkele pulshoogteverdeling vir elke fotovermenigvuldiger te meet. 'n Enkel-foto-elektronspektrum sou dan gemeet word om as kontrole vir hierdie resultaat te dien. Die meerkanaalanaliseerder wat in die eksperiment gebruik is, kon egter nie só 'n enkel-foto-elektronspektrum meet nie, omdat dit nie in staat was om die hoë impulstempo's van ruis en enkel-foto-elektrone te hanteer nie.

Die aantal foto-elektrone per deeltjiedeurgang sou slegs bepaal kon word indien die gemete pulshoogteverdelings deur 'n teoretiese verdeling, waarvan die gemiddelde waarde en standaardafwyking bepaal kan word, beskryf kon word. Vir

'n Poissonverdeling moet die uitdrukking,  $\frac{\sigma}{\sqrt{\bar{x}}}$ , met  $\sigma$  die standaardafwyking en  $\bar{x}$  die gemiddelde waarde van die verdeling, 'n konstante waarde as funksie van die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger hê (Uitdrukking 3.4.1). Figuur 3.14 toon duidelik dat dit nie die geval was nie. Die gemete pulshoogteverdelings is dus waarskynlik saamgestelde Poissonverdelings, wat nie deur 'n teoretiese verdeling beskryf kan word nie.

Alhoewel die antikoïnsidensskerms 'n hoë doeltreffendheid het, was die opstelling van só 'n aard dat geassosieerde deeltjies deur die toetsbak kon beweeg sonder om die antikoïnsidensskerms te raak, sodat die gemete pulshoogteverdelings deur hierdie geassosieerde deeltjies gekontamineer is. Korreksies is toe op die gemete verdelings aangebring om die bydrae van die geassosieerde deeltjies tot die vorm van die gemete verdelings te bepaal. Uit  $\cos^2 \theta$ , die funksie wat gebruik is om die hoeksverdeling van geassosieerde deeltjies mee voor te stel sodat die pulshoogteverdelings realisties gekorrigeer kon word, is 'n maat van die kontaminasie op die pulshoogteverdelings as gevolg van die geassosieerde deeltjies bepaal. Daar is gevind dat die geassosieerde deeltjies wat nie deur die antikoïnsidensdetektore gekeer word nie 'n baie klein invloed op die vorm van die verdelings het. Die gevolgtrekking wat hieruit gemaak kan word, is dat die antikoïnsidensskerms 'n hoë doeltreffendheid het. Die uitdrukking,  $\frac{\sigma}{\sqrt{\bar{x}}}$ , is met die gekorrigeerde verdelings bepaal, (Figuur 4.5), en dit blyk dat vir die verdelings met klein gemiddelde waardes,  $\frac{\sigma}{\sqrt{\bar{x}}}$  as funksie van die afstand vanaf die fotovermenigvuldiger, na 'n konstante waarde nader. 'n Verdeling uit hierdie gebied is daarom gekies om die gemiddelde aantal foto-elektrone per enkeledeeltjiedeurgang te bereken. Met behulp van hierdie resultaat is die opbrengskromme van die toetsbak in terme van foto-elektrone geyk. Uit die werk op die vorms van die impulsspektra van enkeledeeltjies blyk dit dat hulle vorms stabiel is. Dit behoort dus in beginsel moontlik te wees om die aantal vry-

gestelde foto-elektrone per enkeledeeltjiedeurgang uit die vorms van die enkeledeeltjieverdelings af te lei. Daar kan nou na teoretiese verdelings gesoek word wat die saamgestelde verdelings goed sal beskryf. Die gemiddelde aantal foto-elektrone per kanaal kan dan uit die gemiddelde waarde en standaardafwykings van hierdie verdeling bepaal word en sal dit moontlik wees om die 240 fotovermenigvuldigers in terme van foto-elektrone te yk. 'n Enkelfoto-elektronspektrum moet nog steeds gemeet word om as kontrole vir bogenoemde resultaat te dien.

Die tweede doelstelling van die eksperiment was om die doeltreffendheid van die detektor te optimaliseer. Dit is teoreties in Hoofstuk 5 gedoen en uit die resultate blyk dit dat die skakeling waar die impulse van fotovermenigvuldigers wat aan teenoorgestelde kante van die detektor geleë is, gesommeer en in koïnsidensie met die gesommeerde puls van die ander twee fotovermenigvuldigers geskakel is, die beste skakeling is om deeltjies met 'n hoë doeltreffendheid, selfs by hoë diskriminasievlakke, oor die hele lengte van die detektor waar te neem (Tabel 5.1 en Paragraaf 5.5).

In die voorgestelde ondergrondse muon-eksperiment sal die hele teleskoop na verwagting sowat  $2,75 \times 10^8$  deeltjies per jaar registreer (Krüger, 1979). Die teleskoop sal uit twee groepe detektore bestaan, elk met dertig vloeistofsintillasiedetektore, in drie rye van tien detektore elk, bo mekaar gerangskik. Deurgange van deeltjies sal deur koïnsidensies tussen drie detektore uit elk van die drie rye bepaal word. Die tempo van koïnsidensies uit elke kombinasie van drie detektore sal sowat 0,4 Hz wees. Die tempo van toevallige koïnsidensies tussen drie detektore kan met behulp van Uitdrukking 5.1 bereken word. Die tempo van toevallige koïnsidensies uit elke detektor waarvan die oplosvermoëns 20 ns en 1  $\mu$ s is, as twee voorbeelde, is respektiewelik  $1,6 \times 10^{-3}$  Hz en  $8,0 \times 10^{-2}$  Hz (Tabel 5.3). Die tempo van toevallige koïnsidensies uit 'n stel van drie detektore vir die twee voorbeelde is onderskeidelik

$$A_3 = 3(1,6 \times 10^{-3}/s)^3 \times (20 \times 10^{-9} s)^2 = 4,9 \times 10^{-24} \text{ Hz}$$

en  $A_3 = 3(8,0 \times 10^{-2}/s)^3 \times (1 \times 10^{-6} s)^2 = 1,5 \times 10^{-15} \text{ Hz}$

Hieruit is dit duidelik dat die tempo van toevallige koïnsidensies verwaarloosbaar in vergelyking met die verwagte teltempo is. Omdat die tempo van toevallige koïnsidensies dus nie 'n rol speel in die beplande eksperiment nie, hoef daar slegs na die doeltreffendhede van die verskillende koïnsidenskombinasies in Tabel 5.1 gekyk te word om die beste skakeling vir die fotovermenigvuldigers te bepaal. Uit Tabel 6.1 volg dit duidelik dat die doeltreffendheid van drie detektore driemaal gevoeliger vir variasies is as die doeltreffendheid van 'n enkeldetektor.

Tabel 6.1 *Doeltreffendheid D van 'n Teleskoop met Drie Detektore, met  $D_i$  die Doeltreffendheid van Detektor  $i$ , met  $i = 1;2;3$*

Doeltreffendheid van Enkel Sintillasietellers $D_i; i = 1;2;3$ (%)	Doeltreffendheid van Teleskoop $D = D_1 \times D_2 \times D_3$ (%)
100	100
99,9	99,7
99,5	98,5
99,0	97,0
98,5	95,6
98,0	94,1
97,0	91,3
96,0	88,5
95,0	85,7

Daarom behoort elke detektor se doeltreffendheid oor sy hele lengte so na as moontlik aan 100% te wees. Die koïnsidenskombinasie D(7) uit Tabel 5.1 is dus die enigste keuse vir

die verlangde doeltreffendheid van die totale opstelling van die beplande muon-eksperiment by 'n diskriminasievlak hoër as 21,4 foto-elektrone. 'n Laer diskriminasievlak, vir sover as wat die ruis dit toelaat, behoort 'n baie stabiele detektor met 'n doeltreffendheid van nagenoeg 100% vir die koïnsidenskombinasie D(7) te lewer.

Buiten die elektronika, speel die sintillasievloeistof in die detektor 'n groot rol in die doeltreffendheid van die detektor. Omdat die verwagte anisotropie van galaktiese kosmiese strale sowat 0,01% sal wees, moet die apparaat wat in die muon-eksperiment gebruik gaan word, s6 doeltreffend wees dat die grens van toelaatbare drywing in die teltempo baie kleiner as 0,01% moet wees. Hieruit en uit die resultate wat met die huidige werk verkry is, dui dit duidelik daarop dat die sintillasievloeistof wat van die Case-Wits-Irvine eksperiment herwin is in hulle huidige toestand totaal ongeskik vir gebruik in die muon-eksperiment is. Niks minder as suiwer sintillasievloeistof sal dus goed genoeg wees nie.

Die sintillasievloeistof sal wel in hulle huidige toestand aangewend kan word in 'n minder gevoelige eksperiment, indien groot hoeveelhede sintillasievloeistof daarvoor benodig word. Omdat die absorpsiekoëffisiënt van die sintillasievloeistof as maat van die doeltreffendheid van die detektor kan dien, kan 'n eenvoudige en tydbesparende eksperiment ontwikkel word om die absorpsiekoëffisiënt van die sintillasievloeistof maklik te kan bepaal. 'n Ondergrens vir die absorpsiekoëffisiënt kan gevind word, sodat sintillasievloeistof met 'n absorpsiekoëffisiënt laer as hierdie waarde, onaanvaarbaar vir eksperimentele doeleindes is en eers gesuiwer moet word voor gebruik.

## DANKBETUIGINGS

By die aanbieding van hierdie verhandeling wil ek graag my dank en waardering teenoor die volgende persone en instansies uitspreek:

Dr. E.J. de Villiers, wat die leier van hierdie projek was en te alle tye bereid was om hulp en leiding te gee sodat hierdie werk tot finaliteit gevoer kon word.

Dr. H. Moraal, met wie besonder vrugbare samesprekings, wat tot die oplossing van vele probleme gelei het, gevoer is.

Prof. P.H. Stoker, vir sy belangstelling in die werk.

Mnr. Gerrit van Urk, wat die elektronika van die hele opstelling ontwerp en gebou het.

Mev. Helena Fourie, vir die puik tikwerk wat sy gelewer het.

Die Departement Rekenaardienste van die P.U. vir C.H.O. vir hulle hulp.

Die W.N.N.R. vir die finansiële ondersteuning van die projek.

My familie, en veral my vader en moeder, vir hulle ondersteuning en aanmoediging.

Bo alles, my dank aan God wat my dié vermoë en geleentheid geskenk het om my verstandelike vermoëns te kan ontwikkel.

## LITERATUURVERWYSINGS

Barton, J.L., C.F. Barnaby, B.M. Jasani and C.W. Thompson, *Large Area Liquid Scintillation and Cerenkov Counters*. *Journal of Scientific Instruments*, 39, 360, (1962).

Birks, J.B., *The Theory and Practice of Scintillation Counting*, Pergamon Press, (1966).

Boas, M.L., *Mathematical Methods in the Physical Sciences*, Wiley International Edition, (1966).

Crouch, M.F., H.S. Gurr, A.A. Hruschka, T.L. Jenkins, W.R. Kropp, F. Reines and H. Sobel, *Large Area Scintillation Detector Slab*, Tenth Scintillation and Semiconductor Symposium, IEEE Transactions on Nuclear Science, Volume NS-13, No. 3, p.424, (1966).

Dardo, M. and B. D'Ettorre Piazzoli, *Observation on Muon Showers Underground, II. The Angular Speed*, 13th International Cosmic Ray Conference, 3, 1890, (1973).

De Villiers, E.J., *Die Ontwikkeling van die Muonkomponent in Uitgebreide Buie van Kosmiese Strale*, D.Sc. Proefskrif, P.U. vir C.H.O., (1969).

Faissner, H., F. Ferrero, A. Ghani and M. Reinharz, *Performance of Large Liquid Scintillation Counters*, *Nuclear Instruments and Methods*, 20, 289, (1963).

Fretter, W.B., (i) *Scintillation Counter*, (ii) *Scintillation Detector, Liquid*, MacGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, Fourth Edition, 12, 105, (1977).

Jánossy, L., *Cosmic Rays*, Second Edition, OXFORD at the Clarendon Press, (1950).

Krüger, H., 'n *Datastudie van 'n Beplande Ondergrondse Muonteleskoop*, M.Sc. Verhandeling, P.U. vir C.H.O., (1979).

Linden, B.R., *Photomultiplier*, Encyclopedia of Physics, Edited by R.M. Besancon, Second Edition, (1974).

Meyer, B.S., *The Interactions of High Energy Muons Deep Underground*, Ph.D. Thesis, University of the Witwatersrand, (1969).

Minnaar, H.F.B., *Die Hoeksverdeling van die Intensiteit van Kosmiese Strale in die Atmosfeer*, M.Sc. Verhandeling, P.U. vir C.H.O., (1978).

Moraal, H., J.P.F. Sellschop and P.H. Stoker, *The Anisotropy of Galactic Cosmic Rays at 1230 GV*. Internal Document.

Neame, K.D. and C.A. Homewood, *Introduction to Liquid Scintillation Counting*, Published by Butterworth & Co. (Publishers) Ltd., (1974).

*Sullivan, J.D., Geometrical Factor and Directional Response of Single and Multi-Element Particle Telescopes, Nuclear Instruments and Methods, 95, 5, (1971).*

*Venter, F.A., Die Sintillasiesteller as Detektor van Deeltjiedigthede in Groot Buie van Kosmiese Strale, M.Sc. Verhandeling, P.U. vir C.H.O., (1968).*

*Weaver, J.L., Phototube, Multiplier, MacGraw-Hill Encyclopedia of Science and Technology, Fourth Edition, 10, 213, (1977).*