

ENKELE RESONANSIES VAN DIE  
 $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -REAKSIE

*HENRY NESBIT JACOBS B.Sc.*

Verhandeling voorgelê aan die Fakulteit van  
Natuurwetenskappe van die Potchefstroomse  
Universiteit vir Christelike Hoër Onderwys  
ter gedeeltelike nakoming van die vereistes  
vir die graad

MAGISTER SCIENTIA

Studieleier: Dr. J.P.L. Reinecke

INHOUDSOPGAWEHOOFSTUK 1

INLEIDING EN EKSPERIMENTELE BESONDERHEDE .....	1
1.1 Inleiding.....	1
1.2 Eksperimentele besonderhede .....	2
1.2.1 Die versneller .....	2
1.2.2 Skyfbereiding .....	3
1.2.3 Die gammaspektrometer .....	4

HOOFSTUK 2

GAMMAVERVALLE VAN RESONANSIES VAN DIE  
 $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -REAKSIE

2.1 Inleiding .....	6
2.2 Analise van $55^{\circ}$ -spektra .....	7
2.3 Bespreking van eksperimentele resultate .....	10

HOOFSTUK 3

DIE GAMMAVERVALLE VAN GEBONDE TOESTANDE IN  $^{34}\text{Cl}$

3.1 Inleiding .....	21
3.2 Bespreking van eksperimentele resultate .....	22

HOOFSTUK 4

WEISKOPFSKATTINGS VAN OORGANGSTERKTES

4.1 Inleiding .....	30
---------------------	----

4.2 Spin- en pariteitstoekennings vir  
resonanstoestande ..... 34

HOOFSTUK 5

TEORETIESE MODELLE ..... 41

VERWYSINGS ..... 46

BEDANKINGS ..... 49

HOOFSTUK 1INLEIDING EN EKSPERIMENTELE BESONDERHEDE1.1 Inleiding

Die lae natuurlike voorkoms van die  $^{33}\text{S}$ -isotoop, naamlik 0,75%, het in die verlede ernstige beperkings geplaas op die bereiding van goeie skywe vir die bestudering van die  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -reaksie. Dit is dan ook die belangrikste rede waarom ondersoeke van  $^{34}\text{Cl}$  hoofsaaklik beperk was tot reaksies soos  $^{31}\text{P}(\alpha,n)^{34}\text{Cl}$ ,  $^{36}\text{Ar}(d,\alpha)^{34}\text{Cl}$ ,  $^{36}\text{Ar}(p,^3\text{He})^{34}\text{Cl}$ ,  $^{32}\text{S}(^3\text{He},p\gamma)^{34}\text{Cl}$  en  $^{32}\text{S}(\tau,p\gamma)^{34}\text{Cl}$ .

In die energiegebied  $0,3 \text{ MeV} < E_p < 10 \text{ MeV}$  het Kuperus e.a. (Ku 59) protonenergieë van  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -resonansies bepaal. Glaudemans e.a. (Gl 64a) het ook protonenergieë en sterktes van resonansies in hierdie energiegebied bepaal en gammavervalle van resonanstoestande in die  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -reaksie ondersoek deur gebruik te maak van NaI-detektore.

In die huidige eksperiment is elf resonansies van die  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -reaksie by protonenergieë kleiner as 1 MeV bestudeer. Hieruit kon die gammavervalle van die resonanstoestande en die gammavervalle van 'n hele aantal gebonde toestande in  $^{34}\text{Cl}$  bepaal word. Twee nuwe energievlakke, naam-

lik die  $E_x = (3789 \pm 2)$  keV-vlak en die  $E_x = (4146 \pm 2)$  keV-vlak, is in hierdie eksperiment waargeneem. Deur middel van Weiskopfskattings is daar ook gepoog om spin- en pariteitstoekennings te maak vir die resonansies wat ondersoek is en die genoemde nuwe vlakke wat waargeneem is. In die geval van die resonanstoestande kon die spinne in die meeste gevalle tot twee of drie waardes beperk word terwyl een duidige spinne vir drie van hierdie resonanstoestande verkry is.

## 1.2 Eksperimentele besonderhede

### 1.2.1 Die versneller

By die uitvoering van hierdie eksperiment is die protone versnel met die 2,6 MV model An 2500 Van de Graaff-versneller van die P.U. vir C.H.O. Die protonbundel is deur 'n hoek van  $90^\circ$  gebuig met behulp van 'n analiseermagneet. 'n KMR-vloedmeter is gebruik om die magneetveldsterkte te bepaal. Die energiespreiding in die bundel was ongeveer 1 keV. Geanaliseerde bundelstrome van 40 - 60  $\mu$ A is in hierdie eksperiment gebruik.

Die feit dat daar in enkele opnames sterk lyne van die  $^{19}\text{F}(p, \alpha\gamma)^{16}\text{O}$ -,  $^{12}\text{C}(p, \gamma)^{13}\text{N}$ - en  $^{13}\text{C}(p, \gamma)^{14}\text{N}$ -reaksies waargeneem is, is 'n aanduiding dat die vakuumsisteem van die versneller nie heeltemal vry was van fluoor en koolstof nie.

### 1.2.2 Skyfbereiding

Ter voorbereiding is die tantaalrugstukke agtereenvolgens gewas met etanol en gedistilleerde water. Hierna is die rugstukke met behulp van elektronbombardement in vakuum uitgebak om  $^{19}\text{F}$ -kontaminasie te verwyder.

Die skyfmateriaal wat gebruik is, was 59% verryk in  $^{33}\text{S}$  en was voorsien deur Oak Ridge National Laboratory, Tennessee. Vooraf is daar, in vakuum, 'n lagie silwer op die voorbereide tantaalrugstukke opgedamp. Die uiteindelijke dikte van die skywe word bepaal deur die dikte van hierdie silwerlagie. Vervolgens is 'n 25% oplossing van swawel in 99% suiwer etanol gemaak. Hiervoor moes die etanol verhit word, aangesien die swawel eers by ongeveer  $78^{\circ}\text{C}$  in die etanol oplos. Die rugstukke waarop die silwer opgedamp is, is voorts verhit tot ongeveer  $110^{\circ}\text{C}$ . Met behulp van 'n mikro-pipet is die swaweloplossing dan op die silwerlagie gedrup. Die etanol verdamp dan en die silwer en swawel verbind tot silwersulfied. Hierdie metode vergemaklik beheer oor die dikte van die skyf. Hierna is die skywe tot net voor gebruik in vakuum gestoor. Onder vakuum sublimeer alle oortollige swawelatome wat nie in binding is met die silwer nie, dan weg.

Die skyfkamers wat gebruik is (Ci 76) is sō ontwerp dat direkte waterverkoeling van die skywe moontlik is. Met die bundelstrome van  $40 - 60 \mu\text{A}$  wat gebruik is, het die skywe

betreklik goed gehou. Hinderlike koolstofneerslae het egter meestal daartoe bygedra dat skywe vyfuurliks en in sommige gevalle vieruurliks geruil moes word.

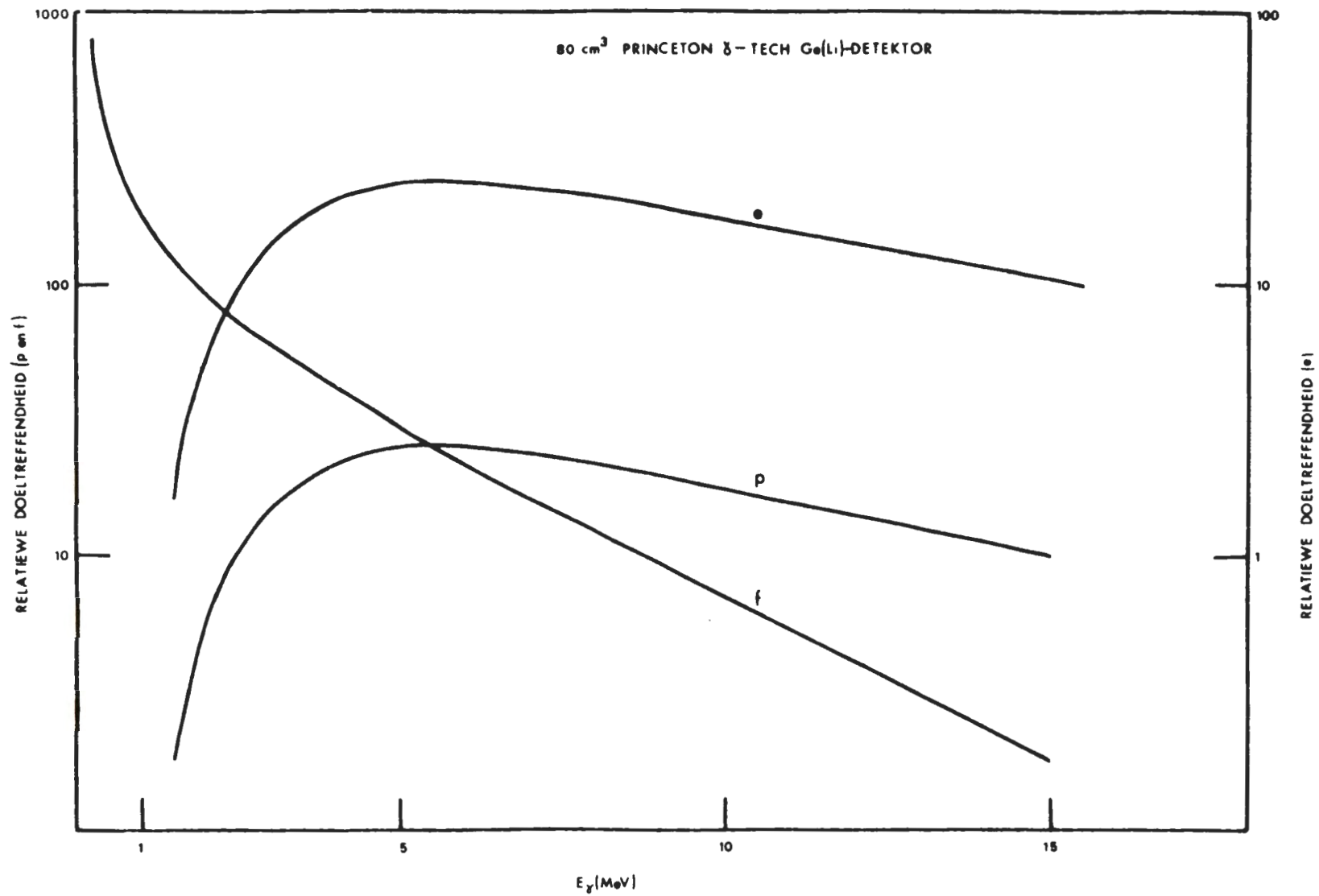
### 1.2.3 Die gammaspektrometer

Met die  $55^{\circ}$ -opnames wat in hierdie eksperiment gedoen is, is gebruik gemaak van 'n  $80 \text{ cm}^3$  Princeton Gamma-Tech Ge(Li)-detektor. Hierdie detektor het 'n energieoplosvermoë van 2,06 keV by 1,33 MeV, 'n absolute doeltreffendheid van 14,3% en 'n piek tot Compton-verhouding van 35 tot 1 by 1,33 MeV.

Vir die uitvoering van hierdie eksperiment is die genoemde detektor gebruik saam met 'n Princeton Gamma-Tech RG11-voorversterker, 'n Tennelex 203 BLR hoofversterker en 'n Inter-technique 4000-kanaalanaliseerder. Die oplosvermoë van die gammaspektrometer was 2,6 keV by 1,33 MeV en 10 keV by 10 MeV.

Die relatiewe doeltreffendheidskrommes vir die detektor was met die uitvoering van hierdie eksperiment beskikbaar en word getoon in figuur 1.

Tydens opnames is die gammaopbrengs met 'n NaI-detektor gemonitor.



Figuur 1 Relatiewe doeltreffendheidskrommes  
vir die 80 cm<sup>3</sup> Ge(Li)-detektor

## HOOFSTUK 2

### GAMMAVERVALLE VAN RESONANSIES VAN DIE

#### $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -REAKSIE

##### 2.1 Inleiding

In hierdie eksperiment is gebruik gemaak van die opwekkromme soos uitgemeet deur Glaudemans e.a. (Gl 64a) vir  $E_p < 1$  MeV.

Die protonenergieë van die resonansies is bepaal deur Kuperus e.a. (Ku 59) en Glaudemans e.a. (Gl 64a). Hierdie resultate is volledig saamgevat deur Endt en van der Leun (En 78).

Die Q-waarde vir die reaksie  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$  is geneem uit die tabelle van Wapstra en Bos (Wa 77).

Die energieë van gebonde toestande in  $^{34}\text{Cl}$  is voorheen bepaal deur De Luca e.a. (De 71) en Snover e.a. (Sn 71) uit  $(\tau,p\gamma)$ -eksperimente en deur Graber en Harris (Gr 69), Hyder e.a. (Hy 71) en Dassie e.a. (Da 77) uit  $(p,\gamma)$ -eksperimente. Verdere resultate in dié verband kom uit  $(\alpha,d)$ -eksperimente deur Nann e.a. (Na 77) en  $(\tau,d)$ -eksperimente deur Van Gasten e.a. (Va 74). Die resultate uit al hierdie eksperimente is volledig opgeneem in die oorsigartikel van Endt en

van der Leun (En 78). In die huidige eksperiment is van die opwekkingsenergieë in hierdie samevatting gebruik gemaak.

## 2.2 Analise van 55°-spektra

Uit die teorie van stralingsvangsreaksies is dit bekend dat die intensiteit,  $I(\theta)$ , van die  $\gamma$ -strale as funksie van die hoek  $\theta$  ten opsigte van die kwantisasie-as, gegee word deur  $I(\theta) = \text{konstante} (1 + A_2 P_2(\cos\theta) + A_4 P_4(\cos\theta))$ . Hierin is  $A_2$  en  $A_4$  konstantes terwyl  $P_2$  en  $P_4$  Legendre veelterme is. Verder kan die benadering

$$I(\theta) = \text{konstante} (1 + A_2 P_2(\cos\theta))$$

gemaak word op grond van die feit dat  $A_4$  in die algemeen baie klein is. Nou is  $P_2(\cos 55^\circ) = 0$  sodat, met  $\theta = 55^\circ$ , die intensiteit nie deur die hoek  $\theta$  beïnvloed word nie.

Om hierdie rede is die Ge(Li)-detektor vir die doeleindes van hierdie ondersoek opgestel met 'n hoek van  $55^\circ$  ten opsigte van die invalrigting van die protonbundel. Met hierdie opstelling vir die opnames, kon die intensiteite van verskillende gamma-oorgange, sonder inagneming van die invloed van hoeksverdelings, met mekaar vergelyk word.

Die bundelstrome, opnametye en die hoeveelheid lading wat op die skyf versamel is, word, vir elk van die 55°-spektra wat opgeneem is, in tabel 1 getoon.

Tabel 1

Bundelstrome, opnametye en totale hoeveelheid lading op skyf versamel tydens 55°-opnames

$E_p$ (keV)	Bundelstroom ( $\mu$ A)	Opnametyd (uur)	Lading (C)
447	30	14½	1,6
507	40	15	2,2
547	40	24	3,5
639	50	22½	4,1
662	40	22	3,2
683	40	24	3,5
731	40	25	3,6
777	40	24	3,5
822	40	15	3,5
914	60	12	2,6
976	40	15	2,2

Die eksperimentele data is met behulp van 'n papierbandpons uit die analiseerder onttrek. Hierna is die papierband deur 'n rekenaar op magnetiese skywe gestoor sodat die data vir verdere verwerking deur die rekenaar beskikbaar kon wees.

Die swaartepunt en oppervlakte van elke piek in 'n spektrum is met behulp van 'n rekenaarprogram bereken. In 'n voorlopige analise is 'n paar van die sterkste pieke in die spek-

trum geïdentifiseer. Hierdie pieke sou dan as ykpunte dien by die opstelling van 'n energieyking vir die spektrum. Die kanaalnommer en gamma-energie van elke ykpunt en ook of dit 'n foto-, enkelontsnappings- of paarpiek is, is saam met die kanaalnommers van alle pieke in die spektrum as invoerdata vir 'n rekenaar gebruik. Die rekenaar het 'n derdegraadse veelterm deur die ykpunte gepas en die energie van elke piek in die spektrum bereken asof dit 'n foto-, enkelontsnappings- of paar-piek is. Vir elk van hierdie drie energiewaardes is korreksies ten opsigte van terugskopenergie en dopplerverskuiwing ook deur die rekenaar aangebring. Met hierdie energieë bekend, kon die spektrum geanaliseer word en 'n vervalskema opgestel word. Energievlakke is slegs in dié skema opgeneem indien beide die primêre oorgang na die vlak en minstens die sterkste verval van die vlak in die spektrum waargeneem is.

Die relatiewe intensiteit van oorgange is bereken deur die oppervlakte onder die betrokke piek te deel deur die toepaslike relatiewe doeltreffendheid van die detektor. Vir die gevalle waar daar benewens 'n fotopiek ook nog 'n paar- en enkelontsnappingspiek vir 'n betrokke oorgang waargeneem is, is 'n geweegde gemiddeld vir die relatiewe intensiteit bereken.

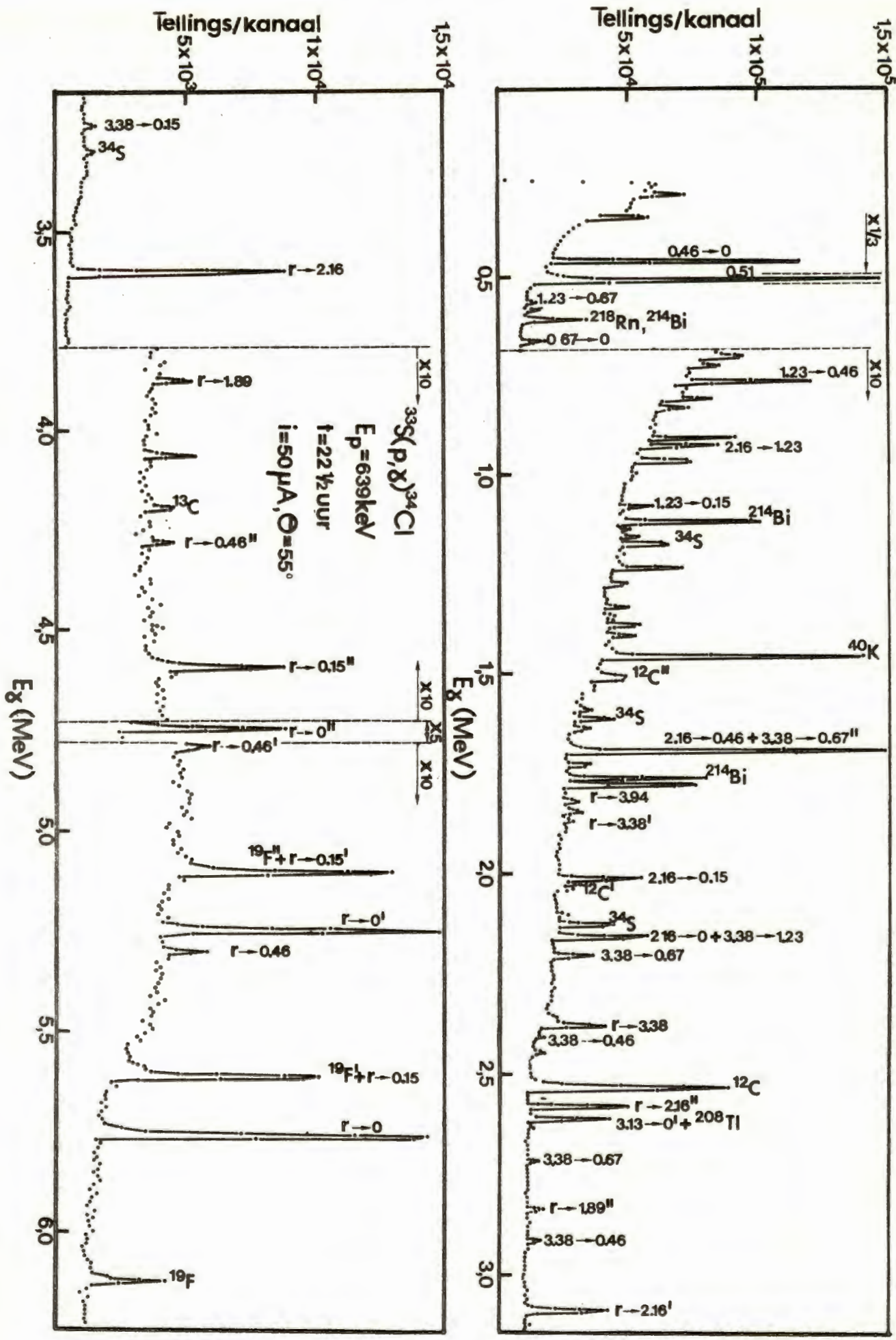
Sewe van die resonansies wat in die huidige eksperiment bestudeer is, het  $(p,\gamma)$ -sterktes van 0,5 eV en kleiner (En 78).

Dit het in hierdie gevalle opnames van tot so lank as 24 uur wenslik gemaak. Dit was veral by sulke spektra waar agtergrondlyne na vore getree het in die laer energiegebied. Dit was ook verder duidelik dat sommige sekondêre oorgange in die  $55^{\circ}$ -spektra konsekwent met sekere sterk agtergrondlyne saamgeval het. Korreksies moes dus ten opsigte van die intensiteite van hierdie sekondêre oorgange aangebring word. Vooraf is 'n agtergrond gamma-spektrum oor 22 uur opgeneem. Die verhoudings tussen die intensiteite van sommige van die sterk lyne in hierdie agtergrondspektrum is dan deurgaans gebruik om die genoemde korreksies te bereken.

'n Tipiese  $55^{\circ}$ -spektrum word in figuur 2 getoon.

### 2.3 Bespreking van eksperimentele resultate

Van die twaalf  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -resonansies wat deur Glaudemans e.a. (Gl 64a) in die energiegebied  $E_p < 1$  MeV waargeneem en ondersoek is, is elf in die huidige eksperiment bestudeer. Glaudemans e.a. (Gl 64a) het van 'n NaI-detektor gebruik gemaak. Die huidige eksperiment is die eerste waarin hierdie resonansies met behulp van 'n Ge(Li)-detektor bestudeer is. Die  $E_p = 747$  keV-resonansie val saam met 'n sterk resonansie van die  $^{34}\text{S}(p,\gamma)^{35}\text{Cl}$ -reaksie en 'n ondersoek van hierdie resonansie sou met behulp van die beskikbare 59%-verrykte skywe nie lonend wees nie.



Figuur 2  $^n$  Tipliese  $55^\circ$ -spektrum van die  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -reaksie

In die paragrawe wat volg, word die gammavervalle van die resonansies wat bestudeer is, bespreek en vergelyk met die resultate soos verkry deur Glaudemans e.a. (Gl 64a). 'n Samevatting van die gammavervalle van die betrokke resonansies word gegee in tabel 2.

### 2.3.1 Die $E_p = 447$ keV-resonansie

Die belangrikste kenmerk van die gammaverval van hierdie resonansie is die sterk oorgang na die  $E_x = 3,55$  MeV-vlak (42%). Hierdie verval, sowel as die verval na die  $E_x = 0,15$  MeV-vlak (26%), klop redelik met die resultate verkry deur Glaudemans e.a. (Gl 64a). Die verval na die grondtoestand, wat deur Glaudemans e.a. (Gl 64a) as 'n moontlikheid aangegee is, is in die huidige eksperiment nie waargeneem nie. Benewens die vervalle wat deur Glaudemans e.a. (Gl 64a) gerapporteer is, is in die huidige eksperiment ook nog redelike sterk vervalle na die  $E_x = 3,60$  MeV-vlak (16%) en die  $E_x = 2,72$  MeV-vlak (8,9%) waargeneem. Verder is swakker vervalle na vyf ander vlakke vir die eerste keer in die huidige eksperiment waargeneem.

### 2.3.2 Die $E_p = 507$ keV-resonansie

Die sterkste oorgang wat vir hierdie resonansie waargeneem

is, is dié na die grondtoestand (69%). Dit is in ooreenstemming met die resultate verkry deur Glaudemans e.a.

(Gl 64a). Verdere ooreenstemming met die werk van Glaudemans e.a. is in die huidige eksperiment verkry vir die oorgange na die  $E_x = 0,46$  MeV-vlak (1,9%), die  $E_x = 0,67$  MeV-vlak (11%) en die  $E_x = 2,58$  MeV-vlak (10%).

Die oorgange na die  $E_x = 3,98$  MeV-vlak en die  $E_x = 4,60$  MeV-vlak, wat deur Glaudemans e.a. (Gl 64a) genoem word, is nie in die huidige eksperiment waargeneem nie.

Belangrik is die feit dat daar in die huidige eksperiment, by die ondersoek van hierdie resonansie, die eerste keer 'n voeding (1,7%) vir 'n moontlike  $E_x = 3,789$  MeV-vlak waargeneem is.

By hierdie proton-energie is voedings vir sewe ander vlakke ook vir die eerste keer waargeneem.

### 2.3.3 Die $E_p = 546$ keV-resonansie

Die belangrikste resultaat wat uit die gammaverval van hierdie resonansie verkry is, is die feit dat die bestaan van die  $E_x = 3,789$  MeV-vlak, wat by die ondersoek van die

TABEL 2  
GAMMAVERVALLE VAN  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -RESONANSIES

Resonansie		$\gamma$ -verval na $E_x$ (MeV) in $^{34}\text{Cl}$								Ander vlakke $E_x$ (Z)		
$E_p$ <sup>a)</sup> (keV)	$E_x$ <sup>a)</sup> (keV)	$J^\pi; T$ <sup>b)</sup>	$0^+; 1$	0,15 $3^+$	0,46 $1^+$	0,67 $1^+$	1,23 $2^+$	1,89 $2^+$	2,16 $2^+; 1$			
47	5575	$2^-, 3^+$	<0,1	26	<0,6	<0,3	4,2	2,0	<0,1	2,38(0,4); 3,55(42);	2,61(0,3); 3,60(16);	2,72(8,9) 4,14(0,2)
07	5634	$1^+, 2^+$	69	<0,3	2,0	11	0,4	1,3	<0,2	2,58(10); 3,77(0,7); 4,64(0,3)	2,72(0,5); 3,80(1,7);	3,13(2,8) 4,42(0,3)
46	5671	$1^+, 2^+$	74	<0,3	<0,4	6,1	<0,3	1,3	7,4	2,58(4,9); 3,80(1,4); 4,42(0,3)	3,13(2,1); 3,94(1,5);	3,77(0,4) 4,35(0,6)
39	5761	$1^+, 2^+$	24	8,4	1,6	<1,3	<0,8	0,7	54	3,13(0,8);	3,38(9,3);	3,94(1,2)
62	5784	$1^+, 2^+, 3^+$	<0,3	50	<0,6	<0,3	3,0	0,8	16	2,18(1,5); 3,33(0,6);	2,61(1,4); 3,38(26);	2,72(0,3) 3,77(0,4)
83	5804	$2^-$	1,9	20	31	18	4,1	0,4	<0,2	2,58(18); 3,60(0,5); 4,61(2,9)	2,38(1,2); 3,98(0,6);	3,55(0,4) 4,15(1,0)
31	5851	$2^-, 3^-$	<0,2	50	<0,5	<0,5	14	3,1	4,2	2,18(1,2); 3,38(1,8); 3,77(0,2);	2,61(0,3); 3,55(6,6); 3,98(1,4);	2,72(3,8) 3,60(4,2) 4,15(9,0)
77	5895	$2^+$	1,7	29	34	11	14	3,7	<0,3	2,58(0,8); 3,38(0,4);	2,72(1,7); 3,55(1,6);	3,33(0,3) 4,61(1,6)
22	5939	$2^+$	0,7	4,6	15	0,7	<0,3	0,8	70	2,38(0,4); 3,38(4,4);	2,58(1,1); 4,70(0,6);	2,61(0,4) 4,97(1,3)
14	6028	$1^+, 2^+$	90	5,8	<0,8	<0,5	<0,5	<0,6	<0,3	3,38(4,2)		
76	6088	$1^+, 2^+$	90	<0,3	2,4	<1,0	<0,60	2,3	<0,3	2,58(0,3); 3,80(0,3)	2,72(4,2);	3,77(0,5)

1) En 78

1) Huidige eksperiment, kyk § 4.2

$E_p = 507$  keV-resonansie ter sprake gekom het, bevestig kon word. Daar is naamlik by  $E_p = 546$  keV ook 'n voeding (1,4%) vir hierdie nuwe vlak waargeneem.

Die gammaverval van hierdie resonansie word verder gekenmerk deur 'n sterk oorgang (73,8%) na die grondtoestand, in ooreenstemming met die resultate van Glaudemans e.a. (Gl 64a). Die verval na die  $E_x = 0,67$  MeV-vlak (6,2%), die  $E_x = 1,89$  MeV-vlak (1,3%), die  $E_x = 2,16$  MeV-vlak (7,5%), die  $E_x = 2,58$  MeV-vlak (4,9%) en die  $E_x = 3,13$  MeV-vlak (2,1%) stem ook redelik goed ooreen met die verval aangegee deur Glaudemans e.a. (Gl 64a).

Die verval na die  $E_x = 1,23$  MeV-vlak, wat deur Glaudemans e.a. (Gl 64a) aangegee word, is nie in die huidige eksperiment waargeneem nie. Swakker verval na vyf ander vlakke is in hierdie ondersoek die eerste keer waargeneem.

#### 2.3.4 Die $E_p = 639$ keV-resonansie

By hierdie swak resonansie, vind volgens Glaudemans e.a. (Gl 64a), primêre oorgange slegs na die grondtoestand en die  $E_x = 2,16$  MeV-vlak plaas. Hierdie twee sterk oorgange is deur die huidige eksperiment bevestig.

Daar is verder ook nog in die huidige eksperiment redelike sterk verval na die  $E_x = 0,15$  MeV-vlak (8,4%) en die  $E_x = 3,38$  MeV-vlak (9,3%) waargeneem, terwyl swakker voedings vir vier ander vlakke ook waargeneem is.

### 2.3.5 Die $E_p = 662$ keV-resonansie

Die gammaverval van hierdie resonansie word gekenmerk deur 'n sterk oorgang (50%) na die grondtoestand. Die intensiteit van hierdie oorgang, soos in die huidige eksperiment waargeneem, sowel as die oorgange na die  $E_x = 2,16$  MeV-vlak (16%) en die  $E_x = 3,38$  MeV-vlak (26%) is in goeie ooreenstemming met die relatiewe intensiteite soos aangegee deur Glaudemans e.a. (Gl 64a).

Die voeding wat in hierdie eksperiment vir die  $E_x = 1,23$  MeV-vlak waargeneem is (3,0%), is veel swakker as dié aangegee deur Glaudemans e.a. (Gl 64a). Swak oorgange na ses ander vlakke is in die huidige eksperiment vir die eerste keer waargeneem.

### 2.3.6 Die $E_p = 683$ keV-resonansie

Die feit dat die bestaan van 'n moontlik  $E_x = 4,146$  MeV-vlak, soos verder bespreek in paragrawe 2.3.7 en 3.2.15, bevestig

kon word, kan beskou word as een van die belangrikste resultate van die ondersoek van hierdie resonansie. Daar is naamlik by hierdie protonenergie 'n voeding van 1,0% vir die genoemde vlak waargeneem.

Ooreenstemming met die resultate van Glaudemans e.a. (Gl 64a) word verkry vir die oorgange na die  $E_x = 0,15$  MeV-vlak (20%), die  $E_x = 0,46$  MeV-vlak (31%), die  $E_x = 0,67$  MeV-vlak (18%) en die  $E_x = 2,58$  MeV-vlak (18%).

Die primêre voeding wat in hierdie ondersoek vir die  $E_x = 1,89$  MeV-vlak waargeneem is (0,4%), is heelwat kleiner as dié verkry deur Glaudemans e.a. (Gl 64a). Voedings vir sewe ander vlakke is in die huidige ondersoek vir die eerste keer waargeneem.

### 2.3.7 Die $E_p = 731$ keV-resonansie

Die gammaverval van hierdie resonansie toon, volgens die resultate van die huidige eksperiment, weinig ooreenstemming met die resultate van Glaudemans e.a. (Gl 64a). Enkele uitsonderings is die verval na die  $E_x = 0,15$  MeV-vlak (50%), die  $E_x = 1,23$  MeV-vlak (14%) en die  $E_x = 3,55$  MeV-vlak (6,6%).

Die primêre oorgange  $r \rightarrow 1,89$  MeV (3,1%) en  $r \rightarrow 2,16$  MeV (4,2%), soos in hierdie ondersoek waargeneem, is heelwat swakker as

dié aangegee deur Glaudemans e.a. (Gl 64a). Die oorgang na die  $E_x = 0,67$  MeV-vlak, soos genoem deur Glaudemans e.a., is nie in die huidige eksperiment waargeneem nie.

'n Baie belangrike resultaat is dat 'n redelike sterk voeding (9,0%) vir 'n moontlike  $E_x = 4,146$  MeV-vlak, soos ook in die vorige paragraaf genoem, waargeneem is. Tesame met dié voeding is daar ook nie minder nie as vyf vervalte van die nuwe vlak waargeneem.

By die ondersoek van die gammaverval van hierdie resonansie is voedings vir sewe ander vlakke vir die eerste keer waargeneem.

### 2.3.8 Die $E_p = 777$ keV-resonansie

Die oorgange  $r \rightarrow 0,15$  MeV (29%),  $r \rightarrow 0,46$  MeV (46%) en  $r \rightarrow 0,67$  MeV (11%), soos in die huidige eksperiment waargeneem, is in redelike ooreenstemming met die werk van Glaudemans e.a. (Gl 64a). Benewens hierdie sterk oorgange is 'n sterk voeding (14%) ook vir die  $E_x = 1,23$  MeV-vlak waargeneem.

Die waargenome oorgang na die grondtoestand (1,7%) is veel swakker as dié verkry deur Glaudemans e.a. (Gl 64a). Voedings vir sewe ander vlakke kon vir die eerste keer uit hier-

die ondersoek verkry word.

### 2.3.9 Die $E_p = 822$ keV-resonansie

Die gammaverval van hierdie resonanstoestand word gekenmerk deur 'n baie sterk verval (70%) na die  $E_x = 2,16$  MeV-vlak. Dit, sowel as die 15% oorgang na die  $E_x = 0,46$  MeV-vlak, wat in die huidige eksperiment waargeneem is, stem redelik goed ooreen met die resultate van Glaudemans e.a. (Gl 64a).

Die oorgang  $r \rightarrow 4,94$  MeV, deur Glaudemans e.a. gerapporteer, is nie in die huidige eksperiment waargeneem nie. Voedings vir tien ander vlakke is wel vir die eerste keer in die huidige eksperiment waargeneem.

### 2.3.10 Die $E_p = 914$ keV-resonansie

Ten opsigte van die gammaverval van hierdie resonanstoestand rapporteer Glaudemans e.a. (Gl 64a) 'n 100% oorgang na die grondtoestand. Alhoewel die resultate uit die huidige eksperiment hierdie oorgang as by verre die sterkste (90%) bevestig het, is die oorgange  $r \rightarrow 0,15$  MeV (5,8%) en  $r \rightarrow 3,38$  MeV (4,2%) ook vir die eerste keer waargeneem.

### 2.3.11 Die $E_p = 976$ keV-resonansie

Die sterk oorgang (90%) na die grondtoestand, is in ooreenstemming met die werk van Glaudemans e.a. (Gl 64a). In die huidige eksperiment is die oorgange  $r \rightarrow 1,89$  MeV en  $r \rightarrow 3,98$  MeV, soos deur Glaudemans e.a. gerapporteer, egter nie waargeneem nie.

By hierdie protonenergie is 'n swak voeding (0,3%) vir die nuwe  $E_x = 3,789$  MeV-vlak waargeneem. Oorgange na vyf ander vlakke is ook waargeneem.

HOOFSTUK 3DIE GAMMAVERVALLE VAN GEBONDE TOESTANDE IN  $^{34}\text{Cl}$ 3.1 Inleiding

In die huidige eksperiment is altesaam 26 vlakke met  $E_x < 4,8$  MeV opgewek by die elf  $^{33}\text{S}(p,\gamma)^{34}\text{Cl}$ -resonansies wat bestudeer is. Vir vyftien van hierdie vlakke kon vertakkingsverhoudings bereken word. Dit sluit die twee nuwe vlakke, waarna in die vorige hoofstuk verwys is, in. Vir die oorblywende elf vlakke wat wel opgewek is, het swak statistieke die berekening van vertakkingsverhoudings gekortwiek.

Die vertakkingsverhoudings wat in die huidige eksperiment bereken is, is in die algemeen in goeie ooreenstemming met die waardes wat deur Endt en van der Leun in hul oorsigartikel (En 78) aangegee word. Die vertakkingsverhoudings, soos saamgevat in hierdie oorsigartikel, is hoofsaaklik gebasseer op die werk van Dassie e.a. (Da 77). Hierdie groep was die eerste om 'n uitgebreide studie van die gammavervalle van die gebonde toestande in  $^{34}\text{Cl}$  te maak met behulp van 'n groot Ge(Li)-detektor. Verdere resultate in hierdie samevatting is ook verkry uit die werk van Graber en Harris (Gr 69), Brandolini e.a. (Br 70a en Br 70b), Snover e.a. (Sn 71) en Hardy e.a. (Ha 74).

'n Opsomming van die gammavervalle van gebonde toestande in  $^{34}\text{Cl}$ , soos in die huidige eksperiment waargeneem, verskyn in tabel 3. In die paragrawe wat volg, word die gammavervalle van sommige vlakke bespreek.

### 3.2 Bespreking van eksperimentele resultate

#### 3.2.1 Die $E_x = 1,23$ MeV-vlak

Hierdie vlak is in die huidige eksperiment by 'n hele aantal resonansies sterk gevoed. Die resultate van hierdie eksperiment stem beter ooreen met die resultate van Brandolini e.a. (Br 70a) as met dié van Dassie e.a. (Da 77).

#### 3.2.2 Die $E_x = 1,89$ MeV-vlak

Hierdie vlak is by 'n hele aantal resonansies opgewek. Die vertakkingsverhouding wat uit die huidige eksperiment verkry is, stem goed ooreen met dié verkry deur Dassie e.a. (Da 77), Brandolini e.a. (Br 70a) en Hyder en Harris (Hy 71).

#### 3.2.3 Die $E_x = 2,16$ MeV-vlak

Vir die gammaverval van hierdie vlak is goeie ooreenstemming met die werk van Dassie e.a. (Da 77) en Hyder en Harris (Hy 71)

TABEL 3

GAMMAVERVALLE VAN GEBONDE TOESTANDE IN  $^{34}\text{Cl}$ 

Gebonde toestand in $^{34}\text{Cl}$		Verval na $E_x(X)^b$									
$E_x^a$ (keV)	$J^\pi$ ; T	0 $0^+; 1$	0,15 $3^+$	0,46 $1^+$	0,67 $1^+$	1,23 $2^+$	1,89 $2^+$	2,16 $2^+; 1$	2,18 $3^+$	2,38 $4^+$	2,72 $2^-$
461	$1^+$	100									
666	$1^+$	100									
1230	$2^+$		$31 \pm 2$	$35 \pm 2$	$34 \pm 2$						
1887	$2^+$		$38 \pm 2$	$62 \pm 2$							
2158	$2^+; 1$	$17 \pm 2$	$14 \pm 2$	$64 \pm 2$	$<0,2$	$5,0 \pm 1,0$					
2181	$3^+$		$64 \pm 5$	$30 \pm 5$	$6 \pm 2$						
2376	$4^+$		X								
2580	$1^+$	100	$<1,0$		$<1,0$		$<0,6$	$<0,7$			
2611	$3^+$		X		X	X					
2722	$2^-$	$18 \pm 3$	$19 \pm 3$	$47 \pm 3$	$5 \pm 2$	$3 \pm 1$	$2,0 \pm 0,5$	$6 \pm 2$			
3129	$1^+$	100	$<5,0$	$<6,0$	$<6,0$						
3384	$2^+; 1$		$33 \pm 3$	$23 \pm 3$	$27 \pm 3$	$17 \pm 3$					
3545	$3^-$	$<0,3$	$96 \pm 2$	$<0,8$		$4 \pm 2$		$<0,5$			
3601	$4^-$	$<2,0$	$47 \pm 3$	$<2,0$				$<1,0$		$9 \pm 3$	$44 \pm 3$
3772	$1^-$	X									
$3789 \pm 2^c$	$\leq 4^d$	$<6,0$	$<7,0$	$85 \pm 10$		$<3,0$	(15% nie waargeneem nie)				
3941	$0^+; 1$			$47 \pm 9$	$53 \pm 9$						
3982	$3^-$		X						X		
4138	$2^+; (1)$		X								
$4146 \pm 2^c$	$\leq 4^d$	$(5 \pm 2)$	$<2,0$		$35 \pm 5$	$53 \pm 5$		$(3 \pm 2)$	$(4 \pm 2)$		
4353	$1^-$	X									
4416	$(0-2)^-$			X							
4638	$2^-$			X							
$4698 \pm 3^c$								X			
$4971 \pm 3^c$	$(1,2)^+$				X						

- a) En 78 tensy anders vermeld.  
b) Die X dui aan dat die verval waargeneem is.  
c)  $E_x$  bepaal uit  $55^{\text{O}}$  spektra in hierdie eksperiment.  
d) Huidige eksperiment, kyk § 4.2.

uit die huidige eksperiment verkry.

#### 3.2.4 Die $E_x = 2,18$ MeV-vlak

Uit die resultate van die huidige eksperiment is 'n oorgang van  $(64 \pm 5)\%$  vanaf hierdie vlak na die  $E_x = 0,15$  MeV-vlak bereken. Hyder en Harris (Hy 71) en Dassie e.a. (Da 77) het onderskeidelik die waardes  $(57 \pm 8)\%$  en  $(47 \pm 2)\%$  gekry. Vir die oorgang na die  $E_x = 0,46$  MeV-vlak is waardes van  $(28 \pm 5)\%$  deur Hyder en Harris en  $(41 \pm 2)\%$  deur Dassie e.a. gerapporteer, terwyl 'n  $(30 \pm 5)\%$  oorgang na hierdie vlak in die huidige eksperiment verkry is. Die vertakkingsverhouding soos in die huidige eksperiment verkry, stem dus veel beter ooreen met die resultate van Hyder en Harris (Hy 71) as met dié van Dassie e.a. (Da 77). In die huidige eksperiment is hierdie vlak egter, by slegs twee resonansies, betreklik swak gevoed.

#### 3.2.5 Die $E_x = 2,38$ MeV-vlak

Die feit dat daar in die huidige eksperiment slegs swak voedings vir hierdie vlak waargeneem is, het die berekening van 'n vertakkingsverhouding onmoontlik gemaak. Die 99% verval na die  $E_x = 0,15$  MeV-vlak, soos deur Dassie e.a. (Da 77) genoem, is egter by alle resonansies waarby die

$E_x = 2,38$  MeV-vlak wel opgewek is, waargeneem.

### 3.2.6 Die $E_x = 2,61$ MeV-vlak

Vanweë swak statistieke kon 'n betroubare vertakkingsverhouding vir hierdie vlak nie in die huidige eksperiment bepaal word nie. Alle vervalte, soos genoem deur Dassie e.a. (Da 77), met die uitsondering van die oorgang na die  $E_x = 2,16$  MeV-vlak, is egter wel in hierdie eksperiment waargeneem.

### 3.2.7 Die $E_x = 2,72$ MeV-vlak

Oorgange vanaf hierdie vlak na alle vlakke met  $E_x \leq 2,16$  MeV is waargeneem. Behalwe vir 'n geringe mate van verskil ten opsigte van die verval na die grondtoestand, is die vertakkingsverhouding soos uit die huidige eksperiment bepaal, in goeie ooreenstemming met die werk van Dassie e.a. (Da 77) en Hyder en Harris (Hy 71).

### 3.2.8 Die $E_x = 3,38$ MeV-vlak

Hierdie vlak is baie sterk gevoed by die  $E_p = 662$  keV-resonansie, terwyl dit ook by ses ander resonansies opgewek

is. Die vertakkingsverhouding wat bepaal is, is in goeie ooreenstemming met die werk van Dassie e.a. (Da 77).

### 3.2.9 Die $E_x = 3,60$ MeV-vlak

Die resultate uit die huidige eksperiment is in goeie ooreenstemming met die werk van sowel Dassie e.a. (Da 77a) as Hyder en Harris (Hy 71). Die berekening van die vertakkingsverhouding berus egter hier slegs op die voeding en vervalsoos by die  $E_p = 447$  keV-resonansie waargeneem.

### 3.2.10 Die $E_x = 3,77$ MeV-vlak

Dassie e.a. (Da 77) gee vir hierdie vlak 'n 100% verval na die grondtoestand aan. By alle resonansies waarby hierdie vlak in die huidige eksperiment opgewek is, is hierdie oorgang waargeneem.

### 3.2.11 Die $E_x = 3,789$ MeV-vlak

Soos reeds vroeër genoem, is voedings vir hierdie nuwe vlak waargeneem by die  $E_p = 507$  keV-,  $E_p = 546$  keV- en  $E_p = 976$  keV-resonansies. By al drie resonansies is 'n ver-

val van die vlak na die  $E_x = 0,46$  MeV-vlak waargeneem. Die  $E_x = 3,80 \pm 0,46$  MeV-oorgang verteenwoordig 85% van die intensiteit waarmee hierdie vlak gevoed word. Die oorblywende 15% van die verval van hierdie vlak kon nie waargeneem word nie.

### 3.2.12 Die $E_x = 3,94$ MeV-vlak

Swak statistieke het veroorsaak dat 'n aansienlike foutgrens geplaas moes word op die vertakkingsverhouding wat vir hierdie vlak verkry is. Binne die eksperimentele fout is daar tog wel redelike ooreenstemming met die resultate van Dassie e.a. (Da 77).

### 3.2.13 Die $E_x = 3,98$ MeV-vlak

Alhoewel geen vertakkingsverhouding vir hierdie vlak bereken kon word nie, is die verval na die  $E_x = 0,15$  MeV-vlak en die  $E_x = 2,16$  MeV-vlak wel waargeneem. Genoemde oorgange word deur Dassie e.a. (Da 77) as die sterkste verval van hierdie vlak aangegee.

### 3.2.14 Die $E_x = 4,14$ MeV-vlak

Hierdie vlak is in die huidige eksperiment slegs by die

$E_p = 447$  keV-resonansie swak gevoed. Die verval na die  $E_x = 0,15$  MeV-vlak, wat deur Dassie e.a. (Da 77) en ook Hyder en Harris (Hy 71) as die sterkste oorgang aangegee word, is egter wel waargeneem.

### 3.2.15 Die $E_x = 4,146$ MeV-vlak

Hierdie nuwe vlak, waarna vroeër verwys is, is by die  $E_p = 683$  keV- en  $E_p = 731$  keV-resonansies opgewek. By laasgenoemde resonansie is nie minder nie as vyf vervalte vir dié vlak waargeneem. Hiervolgens is die sterkste oorgange dié na die  $E_x = 0,67$  MeV-vlak ( $35 \pm 5\%$ ) en die  $E_x = 1,23$  MeV-vlak ( $53 \pm 5\%$ ). Hierdie twee sterkste vervalte is ook by die  $E_p = 683$  keV-resonansie waargeneem. Moontlike vervalte na die grondtoestand en die  $E_x = 2,16$  MeV- en  $E_x = 2,18$  MeV-vlakke, soos getoon in tabel 3, is ook waargeneem.

### 3.2.16 Die $E_x = 4,35$ MeV-, $E_x = 4,42$ MeV- en $E_x = 4,64$ MeV-vlakke

Nieteenstaande die feit dat geen vertakkingsverhoudings vir hierdie vlakke bereken kon word nie, is die vervalte wat deur Dassie e.a. (Da 77) as die sterkstes aangegee is, nogtans

in aldrie gevalle waargeneem.

### 3.2.17 Die $E_x = 4,698$ MeV-vlak

Dassie e.a. (Da 77) het 'n vlak met  $E_x = 4695 \pm 2$  keV waargeneem wat met 100% na die  $E_x = 2,16$  MeV-vlak verval. Oor die bestaan van sodanige vlak is daar in die literatuur nog onsekerheid. In die huidige eksperiment is 'n vlak met  $E_x = 4698 \pm 3$  keV swak gevoed by die  $E_p = 822$  keV-resonansie. 'n Verval van hierdie vlak na die  $E_x = 2,16$  MeV-vlak is ook waargeneem. Dit bevestig die bestaan van die  $E_x = 4,70$  MeV-vlak, daar Dassie e.a. (Da 77) primêre oorgange na hierdie vlak by die  $E_p = 1599$  keV- en  $1762$  keV-resonansies waargeneem het.

### 3.2.18 Die $E_x = 4,97$ MeV-vlak

By die  $E_p = 822$  keV-resonansie is 'n vlak met  $E_x = 4971 \pm 3$  keV opgewek. Hierdie vlak is waarskynlik die  $E_x = 4971 \pm 11$  keV-vlak wat deur Endt en van der Leun (En 78) in hul oorsig-artikel aangegee word. In die huidige eksperiment is waargeneem dat hierdie vlak na die  $E_x = 0,67$  MeV-vlak verval.

Vir die vlakke wat wel in tabel 3 opgeneem is, maar nie hierbo bespreek is nie, is vertakkings wat identies is aan dié van Dassie e.a. (Da 77), verkry.

HOOFSTUK 4WIESKOPFSKATTINGS VAN OORGANSTERTES4.1 Inleiding

Kerne in aangeslane toestande kan volgens verskeie meganismes energie verloor om sodoende na 'n laerliggende toestand oor te gaan. 'n Voorbeeld hiervan is die uitstraal van gammastrale. As maat vir die kans dat sodanige meganisme wel sal plaasvind, word die sogenaamde oorgangswaarskynlikheid gedefinieer as

$$\gamma = 1/\tau$$

waar  $\tau$  die gemiddelde leeftyd van die begintoestand is. Die stralingsbreedte vir die emissie van gammastrale, van hierdie vlak word gegee deur

$$\Gamma_{\gamma} = \hbar/\tau$$

sodat

$$\gamma = \Gamma_{\gamma}/\hbar \quad (1)$$

Die teoretiese waarskynlikheid vir 'n oorgang vanaf 'n begintoestand met spin  $J_i$  na 'n eindtoestand met spin  $J_f$ , waarby gammastrale met multipolariteit  $L$  en energie  $E_{\gamma}$  uitgestraal word, word gegee deur

$$\gamma = \frac{8\pi(L+1)}{L|(2L+1)!!|^2} \frac{1}{\hbar} \left[ \frac{E_{\gamma}}{\hbar c} \right]^2 B_{if}(L) S^{-1} \quad (2)$$

Hierin is  $(2L+1)!! = 3.5 \dots (2L+1)$ . Die grootheid  $B_{if}(L)$  staan bekend as die gereduseerde oorgangswaarskynlikheid en word met behulp van 'n kernmodel bereken.

Uit die uitdrukking vir  $\lambda(L)$  hierbo kan gesien word dat die oorgangswaarskynlikheid sterk afhanklik is van die multipolariteit van die straling asook die golffunksies van die vlakke wat ter sprake is.

Die multipolariteit van die gammastrale word bepaal volgens die reël

$$J_i + J_f \geq L \geq |J_i - J_f| = \Delta J \quad (3)$$

Straling met multipolariteit  $\Delta J; \Delta J + 1; \dots; (J_i + J_f)$  is hiervolgens toelaatbaar. Vir die geval as  $J_i = J_f$ , is  $L = 1$  die kleinste waarde wat kan optree.

Die onderskeid tussen elektriese of magnetiese karakters van straling vind plaas op grond van die pariteitsverskil tussen die begin- en eindtoestande. Die pariteit van elektriese straling word gegee deur  $(-1)^L$  en dié van magnetiese straling deur  $-(-1)^L$ . Pariteit bly behoue in elektromagnetiese wisselwerking.

Weiskopf het die sogenaamde enkeleeltjie skilmodel daargestel om waardes vir die gereduseerde oorgangswaarskynlikheid te kan bereken. Hiervolgens neem hy aan dat gammastraling ontstaan as gevolg van die oorgang van 'n enkele proton in die kern vanaf een toestand na 'n laerliggende toestand. Uitgaande hiervan en deur slegs eindtoestande met nulspin te beskou, het Weiskopf aangetoon dat die gereduseerde oorgangswaarskynlikheid vir elektriese en magnetiese straling onder-

skeidelik gegee word deur

$$B(EL) = \frac{e^2}{4\pi} \left[ \frac{3r^L}{L+3} \right]^2 \quad (3)$$

en 
$$B(ML) = 10 \left[ \frac{\hbar}{m_p e r} \right]^2 B(EL) \quad (4)$$

Hierin is  $r$  die straal van die kern. Vir die berekening van die oorgangswaarskynlikhede word hierdie waardes in vergelyking (2) geplaas. Deur variasie van die toelaatbare multipolariteit word twee stellingwaardes vir die oorgangswaarskynlikheid verkry. Een stel waardes stem ooreen met elektriese straling en die ander met magnetiese straling. Vermenigvuldiging met  $\hbar$  lewer, volgens vergelyking (1), die teoretiese waardes vir die stralingsbreedte.

Die eksperimentele waarde vir die stralingsbreedte word dan met hierdie teoretiese waardes vergelyk. Dit lewer die oorgangsterktes

$$|M(EL)|^2 = \frac{\Gamma_Y}{\Gamma_W(EL)}$$

en 
$$|M(ML)|^2 = \frac{\Gamma_Y}{\Gamma_W(ML)}$$

Hierin is  $\Gamma_Y$  die eksperimentele en  $\Gamma_W$  die teoretiese waarde van die stralingsbreedte. Die oorgangsterktes wat hiervolgens verkry word, word in terme van Weiskopfeenhede (W.e.) uitgedruk.

Daar bestaan aanvaarde bogrense vir hierdie oorgangsterktes. Multipolariteite en pariteite wat aanleiding gee tot oorgangsterktes wat hierdie bogrense duidend oorskry, kan dan as on-

aanvaarbaar beskou word. Met die  $J^\pi$ -waardes van eindtoestande bekend, kan die  $J^\pi$ -waardes van begintoestande dus hiervolgens beperk word. Vir die doeleindes van die huidige eksperiment, is gebruik gemaak van die bogrense soos bepaal deur Endt en van der Leun (En 78: word gepubliseer in Nuclear Data Tables).

Die verband tussen die stralingsbreedte en die sterkte van 'n resonanstoestand wat deur die uitstraling van gammastrale verval, word gegee deur

$$S = (2J+1) \frac{\Gamma_p \Gamma_\gamma}{\Gamma_p + \Gamma_\gamma}$$

Hierin is  $J$  die spin van die resonanstoestand. Uit die aanname dat die protonwydte  $\Gamma_p$  baie groter is as die gammawydte  $\Gamma_\gamma$ , volg dit dat

$$\Gamma_\gamma \approx \frac{S}{2J+1}$$

met  $S$  die sterkte van die resonansie. Vir die resonansies wat in die huidige eksperiment ondersoek is, was eksperimentele waardes vir die sterktes bekend uit die werk van Glaudemans e.a. (Gl 64a). Die vertakkingsverhoudings, soos in die huidige eksperiment bepaal vir die resonanstoestande, is gebruik om die parsieële breedtes vir alle primêre oorgange te bereken. Vir die  $J^\pi$ -waardes van die gebonde toestande in  $^{34}\text{Cl}$ , is gebruik gemaak van die samevatting van Endt en van der Leun (En 78).

Die beperking van die  $J^\pi$ -waardes van die elf resonansies wat ondersoek is, word hieronder bespreek.

#### 4.2 Spin- en pariteitstoekennings vir resonansietoestande

##### 4.2.1 Die $E_p = 447$ keV-resonansie

Vir hierdie resonanstoeestand is  $J^\pi$ -waardes van  $1^\pm$ ,  $2^\pm$ ,  $3^\pm$ ,  $4^\pm$ ,  $5^\pm$  oorweeg. Die E3- en M3- sterktes van die  $r \rightarrow 2,72$  MeV-oorgang skakel die moontlikhede  $J^\pi = 5^\pm$  uit. Verder word 'n M2-sterkte van 360 W.e. vir dieselfde oorgang verkry. Dit skakel  $J^\pi = 4^+$  uit. Die M2-sterkte van 15,2 W.e. wat vir die  $r \rightarrow 1,23$  MeV-oorgang verkry is, het gelei tot die eliminasië van  $J^\pi = 4^-$ . Uit die E3-, M2- en M3-sterktes van die  $r \rightarrow 3,60$  MeV-oorgang kon die waardes  $J^\pi = 1^\pm$ ,  $2^\pm$  ook uitgeskakel word.

Dit het op hierdie stadium die waardes  $J^\pi = 2^-$ ,  $3^\pm$  gelaat vir oorweging. Op grond van 'n M2-sterkte van 12,1 W.e. vir die  $r \rightarrow 2,38$  MeV-oorgang, is die waarde  $J^\pi = 2^-$  laat vaar. Hierdie is weliswaar 'n 0,4% oorgang, maar in die betrokke spektrum was die oorgang tog duidelik waarneembaar terwyl die energieë ook presies geklop het.

Hieruit volg dus dat  $J^\pi = 3^\pm$  vir die  $E_p = 447$  keV-resonansie.

#### 4.2.2 Die $E_p = 507$ keV-resonansie

Hierdie resonanstoestand verval na vlakke met  $J^\pi$ -waardes van  $0^+$ ,  $1^\pm$  en  $2^\pm$ . Vir hierdie resonanstoestand is dus  $J^\pi$ -waardes van  $1^\pm$ ,  $2^\pm$  en  $3^\pm$  oorweeg. Op grond van die E3- en M3-sterktes van die oorgang na die grondtoestand, kon die moontlikhede  $J^\pi = 3^\pm$  uitgeskakel word. 'n M2-sterkte van 249 W.e. vir dieselfde oorgang het ook gelei tot die eliminasië van die waarde  $J^\pi = 2^-$ .

Dit laat, ten opsigte van hierdie resonanstoestand, die waardes  $J^\pi = 1^\pm, 2^+$ .

#### 4.2.3 Die $E_p = 546$ keV-resonansie

Die waarde  $J^\pi = 1^\pm, 2^\pm, 3^\pm$  moes vir hierdie resonanstoestand oorweeg word. Die waardes  $J^\pi = 2^-, 3^\pm$  kon op grond van die E3-, M3- en M2-sterktes van die oorgang na die grondtoestand uitgeskakel word.

Vir hierdie resonanstoestand is  $J^\pi = 1^\pm, 2^+$  dus toelaatbaar.

#### 4.2.4 Die $E_p = 639$ keV-resonansie

Hierdie resonanstoestand verval na vlakke met spinne 0, 1, 2

en 3. Al hierdie vlakke wat primêr gevoed word, het ewe pariteit. Die waardes  $J^\pi = 1^\pm, 2^\pm, 3^\pm$  is vir hierdie resonanstoestand oorweeg. Uit die E3- en M3-sterktes van die  $r \rightarrow 0$  MeV-oorgang kon  $J = 3$  uitgeskakel word, terwyl  $J^\pi = 2^-$  vanweë die ontoelaatbare waarde wat vir die M2-sterkte van dieselfde oorgang verkry is, gelaat kon word.

Die moontlikhede  $J^\pi = 1^\pm, 2^+$  bestaan dus vir hierdie resonanstoestand.

#### 4.2.5 Die $E_p = 662$ keV-resonansie

Die  $J^\pi$ -waardes  $0^\pm, 1^\pm, 2^\pm, 3^\pm, 4^\pm$  en  $5^\pm$  moes vir hierdie resonanstoestand oorweeg word. Die moontlikhede  $J^\pi = 0^\pm, 5^-, 1^-$  is laat vaar vanweë ontoelaatbare waardes wat verkry is vir die E3- M3- en M2-sterktes van die  $r \rightarrow 0,15$  MeV-oorgang. Die spinmoontlikheid  $J = 5$  is uitgeskakel op grond van die E3- en M3-sterktes van die  $r \rightarrow 3,38$  MeV-oorgang. Vir dieselfde oorgang is 'n M2-sterkte van 781 W.e. verkry, sodat  $J^\pi = 4^-$  ook ontoelaatbaar is. Verder het 'n berekening van die E3-sterkte vir die  $r \rightarrow 3,77$  MeV-oorgang 'n waarde van  $1,52 \times 10^6$  W.e. gelewer. Die waarde  $J^\pi = 4^+$  is dus ook hiervolgens ontoelaatbaar.

Die moontlike  $J^\pi$ -waardes vir hierdie resonanstoestand is dus  $1^+, 2^\pm$  en  $3^\pm$ .

#### 4.2.6 Die $E_p = 683$ keV-resonansie

Die waardes  $J^\pi = 1^\pm, 2^\pm, 3^\pm, 4^\pm$  is vir hierdie resonans-toestand oorweeg. Uit die E3- en M3-sterktes van die oorgang na die grondtoestand, kon die moontlikheid  $J = 3$  ten opsigte van die spin uitgeskakel word. Uit die M2-sterktes van die oorgange  $r \rightarrow 0,15$  MeV en  $r \rightarrow 3,55$  MeV kon  $J = 1$  ook gelaat word. Verder is 'n M2-sterkte van 61,6 W.e. vir die  $r \rightarrow 3,60$  MeV-oorgang verkry, sodat  $J^\pi = 2^+$  ook nie toelaatbaar is nie.

In hierdie geval is 'n eenduidige  $J^\pi$ -waarde, naamlik  $J^\pi = 2^-$ , dus vir die resonans-toestand verkry.

#### 4.2.7 Die $E_p = 731$ keV-resonansie

Hierdie resonans-toestand verval na vlakke met  $J^\pi = 0^+, 1^+, 2^\pm, 3^\pm$ . Die waardes  $J^\pi = 1^\pm, 2^\pm, 3^\pm, 4^\pm$  moes dus vir hierdie geval oorweeg word. Die moontlikhede  $J^\pi = 1^\pm, 2^+$  is laat vaar op grond van die sterktes wat vir die  $r \rightarrow 3,60$  MeV-oorgang verkry is. Vanweë 'n M2-sterkte van 44,6 W.e. wat vir die  $r \rightarrow 2,72$  MeV-oorgang verkry is, is die moontlikheid  $J^\pi = 4^+$  ook laat vaar. Die M2-sterkte van die  $r \rightarrow 3,38$  MeV-oorgang het ook die gestelde bogrens oorskry, waardeur  $J^\pi = 4^-$  ook uitgeskakel is. Die waarde  $J^\pi = 3^+$  is laat vaar op grond van die M2-sterkte van 23,3 W.e. wat vir die 0,2% oorgang na die  $E_x = 3,77$  MeV-vlak verkry is.

Hieruit blyk dus dat die resonanstoestand onewe pariteit het, terwyl die spinwaardes  $J = 2, 3$  toelaatbaar is.

#### 4.2.8 Die $E_p = 777$ keV-resonansie

Vir hierdie resonanstoestand is die waardes  $J^\pi = 1^\pm, 2^\pm, 3^\pm$  oorweeg. Uit die M3-sterkte van die  $r \rightarrow 0$  MeV-oorgang en die M2-sterkte van die  $r \rightarrow 2,58$  MeV-oorgang blyk dit dat  $J = 3$  nie toelaatbaar is nie. Op grond van die M2-sterktes wat vir die oorgange na die  $E_x = 3,55$  MeV- en  $E_x = 0,15$  MeV-vlakke verkry is, kon die spinwaarde  $J = 1$  ook uitgeskakel word.

Die spin van hierdie resonanstoestand is dus eenduidig bepaal as  $J = 2$ , terwyl die pariteit ewe of onewe kan wees.

#### 4.2.9 Die $E_p = 822$ keV-resonansie

Hierdie resonanstoestand verval na vlakke met ewe pariteit en spin  $J = 0, 1, 2, 3, 4$ . Die waardes  $J^\pi = 1^\pm, 2^\pm, 3^\pm$  moes dus as moontlikhede oorweeg word. Vir die oorgang na die grondtoestand is 'n M3-sterkte van 6140 W.e. verkry. Dit skakel  $J^\pi = 3^+$  uit. Die moontlikheid  $J^\pi = 3^-$  is laat vaar

grond van die M2-sterkte van die  $r \rightarrow 0,46$  MeV-oorgang. Die moontlikhede  $J^\pi = 1^\pm$  het verval as gevolg van die feit dat die E3- en M3-sterktes van die  $r \rightarrow 2,38$  MeV-oorgang ook die gestelde bogrense oorskry het. Uit die M2-sterkte van die= selfde oorgang kon  $J^\pi = 2^-$  ook laat vaar word.

Ten opsigte van hierdie resonanstoestand is die eenduidige waarde  $J^\pi = 2^+$  dus verkry.

#### 4.2.10 Die $E_p = 914$ keV-resonansie

In hierdie geval verval die resonanstoestand na vlakke met  $J^\pi = 0^\pm, 2^\pm, 3^\pm$ . Die moontlikhede  $J^\pi = 1^\pm, 2^\pm, 3^\pm$  is dus oorweeg. Uit die E3-, M3- en M2-sterktes wat vir die  $r \rightarrow 0$  MeV-oorgang bereken is, kon die waardes  $J^\pi = 3^\pm, 2^-$  uitgeskakel word. Die M2-sterkte van 8,43 W.e., wat vir die  $r \rightarrow 0,15$  MeV-oorgang verkry is, oorskry ook die gestelde bogrens, sodat  $J^\pi = 1^-$  ook laat vaar kon word.

Ten opsigte van dié resonanstoestand bly die moontlikhede  $J^\pi = 1^+, 2^+$  dus oor.

#### 4.2.11 Die $E_p = 976$ keV-resonansie

Vir hierdie resonanstoestand moes die moontlikhede

$J^\pi = 1^\pm, 2^\pm, 3^\pm$  oorweeg word. Uit die E3-, M3- en M2-sterktes van die 90% oorgang na die grondtoestand, kon slegs die moontlikhede  $J^\pi = 3^\pm, 2^-$  uitgeskakel word. Die moontlike waardes vir die spin en pariteit van hierdie resonanstoestand is dus  $J^\pi = 1^\pm, 2^+$ .

Ten slotte dié opmerking dat vir die nuwe  $E_x = 3,789$  MeV- en  $E_x = 4,146$  MeV-vlakke die spinwaardes in albei gevalle tot  $J \leq 4$  beperk kon word met behulp van Weiskopfskattings.

HOOFSTUK 5TEORETIESE MODELLE

By die teoretiese behandeling van kerneienskappe het ons met 'n tweeledige probleem te make. In die eerste plek is ons kennis van die nukleon-nukleon potensiaal onvolledig. Tweedens is die aantal deeltjies in die kern nie groot genoeg om 'n staties-meganiese behandeling van die probleem te regverdig nie. Deur die matematiese behandeling van sekere gekose modelle kan kerneienskappe slegs by benadering voorspel word. Onder die kernmodelle wat mees algemeen gebruik word, is die skilmodel en die kollektiewe model.

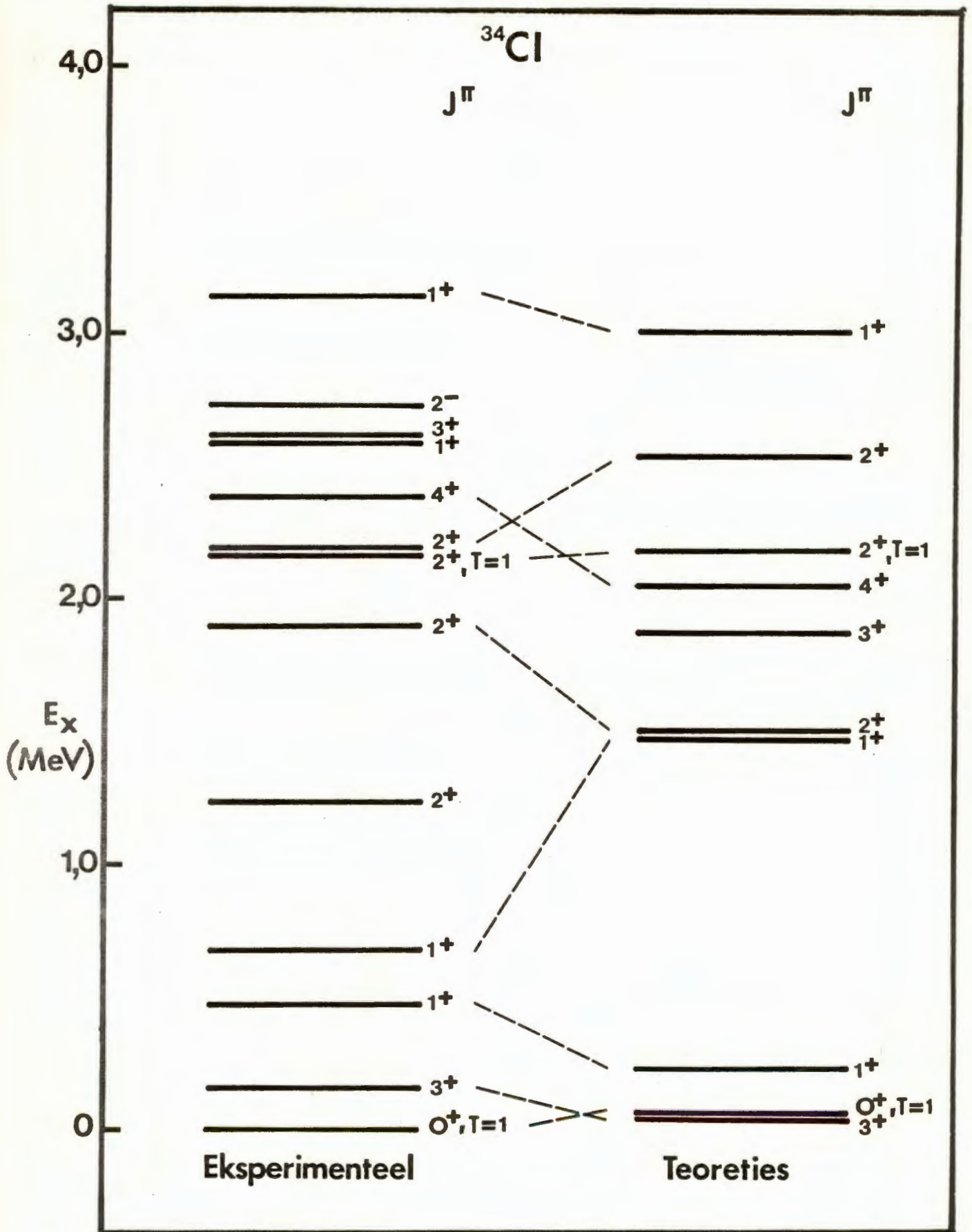
Teoretiese berekeninge ten opsigte van die  $^{34}\text{Cl}$ -kern het tot op datum grotendeels op die skilmodel berus. Sodanige berekenings is gedoen deur Glaudemans e.a. (Gl 64b en Gl 64c), Sasaki (Sa 65), Bouten e.a. (Bo 67), Evers en Stocker (Ev 70), Wildenthal e.a. (Wi 71) en Molarini e.a. (Mo 75).

Glaudemans e.a. (Gl 64b en Gl 64c) het 'n  $^{28}\text{Si}$ -romp aanvaar. Hierdie romp stel 'n sentrale veld daar waarin die oorblywende nukleone hulself bevind. Hierdie buitenste nukleone word toegelaat om in die  $2s_{\frac{1}{2}}$ - en  $1d_{\frac{3}{2}}$ -skille te wees. Die interaksie tussen die nukleone buite die romp is geskryf as

die som van tweedeeltjie-interaksies. Die waardes van hierdie tweedeeltjie-interaksies en die bindingsenergie van nukleone in die  $2s_{\frac{1}{2}}$ - en  $1d_{\frac{2}{3}}$ -skille ten opsigte van die  $^{28}\text{Si}$ -romp, is verkry uit 'n kleinste kwadraatpassing van die berekende energieë aan die energieë van toestande waarvan die spin en pariteit eksperimenteel goed bekend is. Die vlakskema wat uit hierdie model bereken is, word in figuur 3 met die eksperimentele resultate vergelyk. In die energiegebied  $E_x < 2,5 \text{ MeV}$  word redelike goeie ooreenstemming verkry.

In 'n skilmodelberekening deur Bouten e.a. (Bo 67) word, buiten die  $2s_{\frac{1}{2}}$ - en  $d_{\frac{3}{2}}$ -skille, ook nog 'n aktiewe  $d_{\frac{5}{2}}$ -skil in aanmerking geneem. Hulle het die sentrale krag sowel as spin-baan-koppeling in aanmerking geneem in 'n sogenaamde intermediêre koppelingsmodel. Die vlakskema wat vir  $^{34}\text{Cl}$  uit hierdie berekenings verkry is, is egter nie in goeie ooreenstemming met die eksperiment nie.

Volgens Wildenthal e.a. (Wi 71) is die betroubaarheid van die resultate, soos verkry deur Glaudemans e.a. (Gl 64b en Gl 64c), benadeel deur die feit dat hulle nie voorsiening gemaak het vir 'n aktiewe  $d_{\frac{5}{2}}$ -skil nie. Wildenthal e.a. (Wi 71) het dan ook 'n aktiewe  $d_{\frac{5}{2}}$ -skil in hul berekenings opgeneem. Hulle het uitgegaan vanaf die sogenaamde oppervlakdelta-interaksie om waardes vir die tweedeeltjie-interaksies tussen aktiewe nukleone te bereken. Hierdie oppervlakdelta-interaksie is deur hulle uitgebrei met isospin-afhank-



Figuur 3 Vergelyking van waargenome en berekende energievakke van  $^{34}\text{Cl}$  (Gl 64b en Gl 64c)

like monopol terme ten einde die bindingsenergieë te kon aanpas by eksperimentele waardes. Die resulterende interaksie is deur Wildenthal e.a. (Wi 71) aangedui met die afkorting MSDI. Met die MSDI-Hamiltoniaan as uitgangspunt, het Wildenthal e.a. (Wi 71) ook 'n tweede Hamiltoniaan daargestel deur die tweedeeltjie-matrikselemente waarin die  $d_{5/2}$ -skil nie 'n rol speel nie, as parameters te gebruik in 'n kleinste kwadraatpassing van berekende energieë aan eksperimentele energieë. Die Hamiltoniaan wat hiervolgens verkry is, word die FPSDI-Hamiltoniaan genoem. In figuur 4 word vlakskemas wat met elk van die genoemde Hamiltoniane bereken is vir  $^{34}\text{Cl}$ , vergelyk met die eksperimenteel waargenome skema. Die vlakskema wat uit die FPSDI-Hamiltoniaan bereken is, stem beter ooreen met die eksperiment. Ten opsigte van die aantal vlakke met  $E_x < 3,5 \text{ MeV}$ , klop die resultate van hierdie berekeninge met die eksperimentele resultate. Die volgorde van die genoemde vlakke is egter nie altyd in ooreenstemming met die eksperiment nie. Só lê die eerste toestand met  $J^\pi = 3^+$  byvoorbeeld laer as die grondtoestand.



VERWYSINGS

- Bo 67 M.C. BOUTEN, J.P. ELLIOTT en J.A. PULLEN,  
Nucl. Phys. A97 (1967) 113.
- Br 70a F. BRANDOLINI, I. FILOSOFO, C. SIGNORINI en  
M. MORANDO, Nucl. Phys. A149 (1970) 401.
- Br 70b F. BRANDOLINI, R.G.R. ENGMANN en C. SIGNORINI,  
Nucl. Phys. A149 (1970) 411.
- Ci 76 J.A. CILLIERS, M.Sc - verhandeling, Potchefstroom,  
1976.
- Da 77 D. DASSIE, F. LECCIA en P. MENNRATH, Nucl. Phys.  
A276 (1977) 260.
- De 71 P.M. DeLUCA, J.C. LAWSON, E.D. BERNERS en  
P.R. CHAGNON, Nucl. Phys. A173 (1971) 307.
- En 78 P.M. ENDT en C. VAN DER LEUN, Nucl. Phys.  
A310 (1978) 385.
- Ev 70 D. EVERS en W. STOCKER, Phys. Lett. 33B  
(1970) 559.
- Gl 64a P.W.M. GLAUDEMANS, L. ERIKSSON en J.A.R.  
WERKHOVEN, Nucl. Phys. 55 (1964) 559.

- Gl 64b P.W.M. GLAUDEMANS, G. WIECHERS en P.J. BRUSSAARD,  
Nucl. Phys. 56 (1964) 529.
- Gl 64c P.W.M. GLAUDEMANS, G. WIECHERS en P.J. BRUSSAARD,  
Nucl. Phys. 56 (1964) 548.
- Gr 69 H.D. GRABER en G.I. HARRIS, Phys. Rev. 188  
(1969) 1685.
- Ha 74 J.C. HARDY, H. SCHMEING, J.S. GEIGER en  
R.L. GRAHAM, Nucl. Phys. A223 (1974) 157.
- Hy 71 A.K. HYDER, Jr., en G.I. HARRIS, Phys. Rev.  
C4 (1971) 2046.
- Ku 59 J. KUPERUS, P.J.M. SMULDERS en P.M. ENDT,  
Physica 25 (1959) 600.
- Mo 75 A. MOLINARI, M.B. JOHNSON, H.A. BETHE en  
W.M. ALBERICO, A239 (1975) 45.
- Na 77 H. NANN, W.S. CHIEN, A. SAHA en B.H. WILDENTHAL,  
Phys. Rev. C15 (1977) 1959.
- Sa 65 K. SASAKI, Nucl. Phys. 71 (1965) 95.
- Sn 71 K.A. SNOVER, J.M. McDONALD, D.B. FOSSAN en  
E.K. WARBURTON, Phys. Rev. C4 (1971) 398.

- Va 74 J.J.M. VAN GASTEREN, B. SIKORA en A. VAN DER  
STELD, Nucl. Phys. A231 (1974) 411.
- Wa 77 A.H. WAPSTRA en K. BOS, Atomic Data and Nucl.  
Data Tables 19 (1977) 175.
- Wi 71 B.H. WILDENTHAL, J.B. MCGREGORY, E.C. HALBERT  
en H.D. GRABER, Phys. Rev. C4 (1971) 1708.

BEDANKINGS

Die skrywer wil by die voltooiing van hierdie verhandeling graag sy dank teenoor die volgende persone betuig:

Dr. J.P.L. Reinecke, my studieleier, vir sy leiding, belangstelling en die vele opofferings wat hy gemaak het om die voltooiing van hierdie verhandeling moontlik te maak.

Mnr. F.B. Waanders vir sy hulp tydens eksperimentele opnames.

My moeder, skoonouers en ander familieleden vir hul aanmoediging en bystand deur die jare.

My vrou, wat sonder huiwering vele opofferings moes maak en by wyse van haar ondersteuning en aanmoediging meegedoen het aan die voltooiing van hierdie verhandeling.

=====