

BRIEN -- MAITRISE ES SCIENCES (EN PHYSIQUE) -- COPIE I

SOMMAIRE

ETUDE DE LA REACTION $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$

L'étude de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$ a été faite avec une énergie incidente de 12 MeV à l'aide de l'accélérateur Tandem Van de Graaff de l'Université de Montréal. L'accumulation des données couvre les angles de 10° à 160° dans le cadre de référence du laboratoire: ce qui a permis de déterminer l'énergie de 27 niveaux du ^{87}Sr , et les distributions angulaires des particules émises correspondant à 14 niveaux. L'expérience a été suivie d'une analyse DWBA et avait pour but d'éprouver cette méthode d'expérimentation sur un isotope relativement bien connu dans la région $A \sim 90$ avant d'en étudier d'autres tels le ^{92}Mo , le ^{94}Mo et le ^{96}Mo .

Marcel Brien

Mémoire de maîtrise

Département de physique
Université McGill

ETUDE DE LA REACTION $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$

par

Marcel Brien

Un mémoire présenté à la Faculté des études
graduées et de la recherche pour compléter
les exigences requises dans l'obtention d'une
maîtrise ès sciences en physique.

Laboratoire Foster

Université McGill

Montréal

Juillet 1971

ETUDE DE LA REACTION $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$

par

Marcel Brien

Un mémoire présenté à la Faculté des études
graduées et de la recherche pour compléter
les exigences requises dans l'obtention d'une
maîtrise ès sciences en physique.

Laboratoire Foster

Université McGill

Montréal

Juillet 1971

SOMMAIRE

ETUDE DE LA REACTION $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$

L'étude de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$ a été faite avec une énergie incidente de 12 MeV à l'aide de l'accélérateur Tandem Van de Graaff de l'Université de Montréal. L'accumulation des données couvre les angles de 10° à 160° dans le cadre de référence du laboratoire: ce qui a permis de déterminer l'énergie de 27 niveaux du ^{87}Sr , et les distributions angulaires des particules émises correspondant à 14 niveaux. L'expérience a été suivie d'une analyse DWBA et avait pour but d'éprouver cette méthode d'expérimentation sur un isotope relativement bien connu dans la région $A \sim 90$ avant d'en étudier d'autres tels le ^{92}Mo , le ^{94}Mo et le ^{96}Mo .

Marcel Brien

Mémoire de maîtrise

Département de physique
Université McGill

REMERCIEMENTS

Je désire remercier tout d'abord le Dr P.F. Hinrichsen pour ses conseils et son enseignement dans l'aspect technique de cette expérience, le Dr J.K.P. Lee pour la conduite de l'expérience et le traitement des données, et le Dr J.E. Kitching pour l'analyse des résultats.

J'ai apprécié la collaboration des membres du Pavillon de physique nucléaire de l'Université de Montréal et je désire remercier plus particulièrement M. Gilles Renaud pour son aide dans le domaine de l'informatique.

Enfin, je remercie le Conseil National de Recherches pour son aide financière.

TABLE DES MATIERES

	Page
Sommaire	i
Remerciements	ii
Index des tableaux	v
Index des schémas	vi
1. Introduction	
1-1 La réaction (d, α) dans la région A~90	1
1-2 La réaction ^{89}Y (d, α) ^{87}Sr	2
1-3 Le présent travail	2
2. Le dispositif expérimental	
2-1 Généralités	4
2-2 La ligne +45°	4
2-3 La chambre à diffusion	6
2-4 L'électronique	7
3. La conduite de l'expérience	
3-1 Généralités	20
3-2 Les données de la réaction ^{89}Y (d, α) ^{87}Sr	20
3-3 Le calibrage des niveaux d'énergie du ^{87}Sr	21
3-4 Mesure de l'épaisseur de la cible	21

	Page
4. Le traitement des données	
4-1 Généralités	24
4-2 Les niveaux d'énergie du ^{87}Sr et la valeur-Q	25
4-3 Les sections efficaces différentielles	27
5. L'analyse des résultats	
5-1 L'énergie des niveaux du ^{87}Sr	36
5-2 L'analyse DWBA	36
5-3 Les résultats de l'analyse DWBA	38
5-4 Conclusion	41
Bibliographie	50

INDEX DES TABLEAUX

Tableau	Titre	Page
Tab. II-1	Focalisation du faisceau	11
Tab. IV-1	Niveaux d'énergie mesurés du ^{87}Sr	29
Tab. IV-2	Distributions angulaires des sections efficaces différentielles	30
Tab. V-1	Tableau comparatif des niveaux du ^{87}Sr	43
Tab. V-2	Paramètres optiques utilisés dans l'analyse DWBA	48

INDEX DES SCHEMAS

Schéma	Titre	Page
Fig. 2-1	Le dispositif expérimental de l'Université de Montréal	12
Fig. 2-2	La ligne +45°	13
Fig. 2-3	Les distances mesurées de la ligne +45°	14
Fig. 2-4	Le système de focalisation visuelle	15
Fig. 2-5	La chambre à diffusion	16
Fig. 2-6	Cibles et détecteurs	17
Fig. 2-7	Le système de transmission électronique	18
Fig. 2-8	Diagrammes de l'électronique	19
Fig. 3-1	Les orientations de la cible	23
Fig. 4-1	Spectre d'énergie de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$	35
Fig. 5-1	Distributions angulaires des sections efficaces différentielles	49

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1-1. La réaction (d, α) dans la région A~90

Jusqu'à récemment, les réactions de transfert de deux nucléons ont été effectuées principalement afin de déterminer les niveaux d'énergie de noyaux, niveaux qui ne pouvaient pas être observés dans des réactions n'impliquant que le transfert d'une seule particule¹). Malgré la petitesse de la section efficace et la difficulté de l'analyse subséquente, on utilise maintenant la réaction (d, α) comme instrument spectroscopique pour l'étude des éléments de masses moyennes et grandes^{2,3,4}). A l'encontre de ce qui se produit pour les éléments légers, la réaction apparaît comme étant directe²), c'est-à-dire que la collision se produit avec un minimum de ré-arrangements des nucléons impliqués et que l'intensité de la réaction est directement reliée à la superposition des fonctions d'onde initiales et finales.

Si on considère que dans les réactions directes le modèle des couches permet un bon accord entre l'expérience et la théorie pour les noyaux qui sont dans la région des couches complètes^{1,5}), on comprendra l'intérêt porté aux corps de la région A~90, voisins du ${}_{40}^{90}\text{Zr}_{50}$ doublement magique.

1-2. La réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$

L'étude de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$, présentée dans ce mémoire, fait partie d'un ensemble de travaux qui seront effectués dans la région A~90. Le but du présent travail est d'une part d'éprouver cet outil spectroscopique en étudiant un corps relativement bien connu, le ^{87}Sr , et d'autre part d'observer des niveaux qui ne peuvent être atteints par les réactions de transfert d'une seule particule.

La réaction procède par "pick up" des couches $Z = 39$ et $N = 50$. Les états résultant de l'arrachement d'un neutron de la couche complète sont bien connus^{6,7}). Il y a d'abord ceux qui renferment un seul "trou" à 0 ($1g_{9/2}$), 0.388 MeV ($2p_{1/2}$), 0.876 MeV ($2p_{3/2}$) et 1.255 MeV ($1f_{5/2}$). Puis ceux qui ont une particule seule et deux "trous" à 1.779 MeV ($2d_{5/2}$) et 2.175 MeV ($3s_{1/2}$). On s'attend à ce que le proton qui est happé provienne de la sous-couche $2p_{1/2}$ pour les niveaux inférieurs dont on vient de parler. Pour les niveaux d'excitation plus élevée, le proton $2p_{3/2}$ entrera en ligne de compte pour former des états plus complexes. De tels états ne sont pas observables dans les réactions de "neutron pick up" et "neutron stripping".

1-3. Le présent travail

Le présent travail fait l'étude de la réaction observée à une énergie de bombardement de 12 MeV. Les distributions angulaires des particules alpha émises couvrent les angles de 10° à 160° dans le cadre de référence du laboratoire. Les données expérimentales ont par la suite

été comparées à une analyse DWBA.

Le chapitre 2 renferme une description assez élaborée du dispositif expérimental qui a été monté à l'Université de Montréal par une équipe de l'Université McGill. Ce dispositif a une double fin et l'auteur, dont la majeure partie du travail, avant l'étude de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$, a consisté en la mise sur pied de ce dispositif, signale à quelques reprises cette bivalence. Quoiqu'en dehors du cadre de la réaction à l'étude, certains aspects de cet ensemble d'expérimentation méritaient d'être relevés.

Le chapitre 3 indique la conduite qui a été adoptée au cours de cette expérience. Le chapitre 4 fait état du traitement des données recueillies et le chapitre 5 en donne l'analyse.

CHAPITRE 2

LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

2-1. Généralités

L'expérience a été menée au Pavillon de physique nucléaire de l'Université de Montréal à l'aide de l'accélérateur Tandem Van de Graaff. La ligne utilisée était celle aiguillée à $+45^\circ$ (Fig. 2-1). Les membres de l'équipe du laboratoire Foster ont donné une double fin à cette ligne: d'une part elle contient une chambre à diffusion (qui a servi à l'expérience présente), d'autre part, à son extrémité, elle contiendra un dispositif pour la détection de la radiation gamma. Lors de l'étude des γ la chambre à diffusion est considérée comme simple tuyau de relais. L'ensemble, du mur jusqu'à la chambre à γ , mesure quelque 70 pieds.

2-2. La ligne $+45^\circ$

Pour l'expérience présente la ligne $+45^\circ$ n'était complétée que jusqu'à la chambre à diffusion, soit une distance d'environ 28 pieds (Fig. 2-2). Cette section comprend trois stations de pompage, dont deux sont des pompes à ions et la troisième une pompe à diffusion attenante à la chambre, qui permettent un vide de l'ordre de 10^{-6} mm de Hg. Une lentille magnétique assure la focalisation du faisceau; ce faisceau peut être déplacé verticalement ou horizontalement à l'aide d'un déflecteur magnétique

qui suit l'aimant-quadrupole. Deux voyants de quartz, l'un le long de la ligne, l'autre à la place de la cible, sont utilisés pour la focalisation visuelle du faisceau: à cette fin, des caméras de télévision facilitent l'observation. Deux collimateurs, l'un de 2 mm d'ouverture et l'autre, à l'entrée de la chambre à diffusion, de 1.5 mm, associés à un dispositif anti-diffraction du faisceau, définissent aux deutérons incidents une direction précise d'impact.

La direction et la focalisation du faisceau étant de première importance dans un travail du genre, une attention particulière fut portée à ces deux facteurs.

L'aimant-quadrupole peut être utilisé soit dans la position "lentille divergente-lentille convergente", soit l'inverse. Une étude, basée sur un programme de M. J. Charbonneau de l'Université de Montréal, a été faite afin d'établir quelle combinaison était la plus heureuse. Les distances entre les principales composantes de focalisation sont indiquées à la Fig. 2-3 et les résultats paraissent au tableau II-1. La combinaison "lentille convergente-lentille divergente" est celle qui donne le "spot" le mieux localisé, avec une surface d'environ 0.006 po^2 .

Suite à cela, l'étape pratique dans le processus d'augmentation du faisceau sur la cible est la focalisation visuelle. Le schéma 2-4 illustre les trois positions pour les deux caméras de télévision (Philips EL8000). Le quartz mobile permet une première vision du centrage des deutérons. La fenêtre à angle sur le premier collimateur augmente la précision de ce centrage. Enfin, le quartz qui remplace une cible permet une vision finale.

En cours d'expérience, il s'agit de maintenir le courant recueilli maximum. Ce courant est drainé via la cage de Faraday qui termine cette partie de la ligne. Cette cage contient une plaque mobile (Fig. 2-4) qui rend possible le passage du faisceau vers la chambre à γ sans obligation de défaire cette section de conduite. Au cours de la réaction sur l'yttrium le courant recueilli s'établissait à 100 nano-amp. en moyenne.

2-3. La chambre à diffusion

La chambre à diffusion consiste en un cylindre de 28 po. de diamètre par 8 po. de hauteur. Le dessus et le dessous de ce cylindre sont des plaques tournantes à mouvement indépendant avec graduation en degrés à l'extérieur. Sur la face interne de ces plaques sont gravées des rainures qui retiennent les supports des détecteurs (Fig. 2-5).

Sur le dessus de la chambre se greffe un plus petit cylindre qui contient les entrées et sorties des pré-amplificateurs. Cette composante servait aussi d'entrée et de sortie au système de refroidissement des détecteurs, système qui s'est avéré d'aucune utilité.

C'est en-dessous de la chambre que se fait l'admission des cibles. Le support des cibles fait partie d'un ensemble qui peut se libérer complètement de la chambre tout en conservant le vide dans la chambre. A la ré-admission, on fait d'abord le vide dans le réceptacle des cibles puis on ouvre la valve d'accès. Néanmoins le changement des cibles n'implique pas nécessairement ce processus puisque le support contient quatre cibles. Habituellement, la place de la première cible est réservée à un quartz.

La Fig. 2-6-A illustre quatre cibles typiques.

Un bloc de quatre détecteurs est fixé à la plaque tournante du haut. L'angle de séparation entre ces détecteurs est de 10° . Une coupe verticale de ce bloc est donnée à la Fig. 2-6-B. On notera les collimateurs: celui de derrière définissant l'angle solide du détecteur. Une paire d'aimants a pour but de balayer les électrons égarés devant la surface du détecteur.

Les détecteurs, d'une épaisseur de 300 microns, pouvaient arrêter les alphas les plus énergétiques de l'expérience. Ces détecteurs sont du type "partially depleted, silicon surface barrier".

Sur la plaque du bas sont fixés deux "counter telescopes", séparés de 5° , qui recueillent les données des petits angles (inférieurs à 25°). Le support de ces détecteurs est analogue au précédent. Ces détecteurs sont dédoublés: à l'avant une section de 300μ arrêtera et détectera les α mais n'arrêtera pas les protons et deutérons très énergétiques; ces derniers feront également sentir leur présence dans une section arrière. Dès lors un signal d'anti-coïncidence indiquera que l'évènement n'est pas dû à une particule α . Lorsque le taux de comptage des protons et des deutérons est élevé, ce qui est le cas aux petits angles, ce système se révèle utile.

2-4. L'électronique

Le double but de la ligne $+45^\circ$ a amené la nécessité de réaliser un système versatile de transmission électronique. L'ensemble prend donc la forme suivante (Fig. 2-7); le poste central se situe dans la salle de

contrôle; dans la salle des cibles deux postes, l'un à la chambre à diffusion, l'autre à la chambre à γ , ce dernier pouvant servir de simple relais du poste central au poste de diffusion.

Un panneau type de transmission contient cinq niveaux. Les trois premiers renferment chacun 12 connecteurs. Le premier niveau, avec une impédance de 93 ohm (RG 71/U), est pour les signaux linéaires; le second, 50 ohm (RG 223/U), est pour les signaux rapides; le troisième, 75 ohm (RG 59/U), est réservé aux hauts voltages, à l'intégrateur de courant, etc. Le quatrième niveau du panneau contient quatre entrées pour l'alimentation des pré-amplificateurs. Le cinquième niveau en est un de transfert: il contient quatre connecteurs avec 12 entrées et 12 sorties à couvercles de contact interchangeables. De la sorte, divers types d'amplificateurs peuvent être alimentés sans qu'il soit nécessaire de changer des connexions internes.

Les panneaux sont insérés dans des supports métalliques qui renferment dans la salle de contrôle l'électronique maîtresse et dans la salle des cibles les appareils de lecture de pression. Enfin, les câbles relient un poste à l'autre via des tranchées souterraines.

Deux types de montages électroniques étaient nécessaires pour cette expérience (Fig. 2-8).

Le premier montage (A), en plus de servir à l'enregistrement des énergies détectées, permet d'établir si un événement produit est dû à une particule α ou non. Dans le cas négatif, un signal bloque le passage au processus d'enregistrement.

Le second montage (B), que l'on retrouve en partie dans le premier,

ne sert qu'à l'enregistrement des énergies détectées. Le pré-amplificateur, sensible à la charge, du type Tennelec TC 136, se compose de deux parties: l'une allant sous vide près du détecteur (les câbles de connexion étant par le fait même écourtés, cela améliore la qualité du signal), l'autre demeurant à l'extérieur de la chambre. Suivent l'amplificateur et l'amplificateur BIAS qui amplifient et redessinent l'impulsion afin d'en faciliter l'interprétation au convertisseur analogique-digital (ADC).

Dans le cas du bloc de quatre détecteurs, l'enregistrement se terminait dans l'ordinateur CDC 3100 pour ensuite être transféré sur ruban magnétique. Chaque enregistrement couvrait une plage de 1024 canaux.

Dans le cas des deux "telescopes", l'enregistrement se faisait pour un dans un analyseur à 1024 canaux et pour l'autre dans un analyseur à 512 canaux. Les données étaient transférées sur une bande de papier perforée.

Au cours de l'expérience les six détecteurs fonctionnaient simultanément. Le taux de comptage n'étant pas uniforme de l'un à l'autre, il était impossible d'établir pour l'ensemble les pertes dues aux temps-morts des appareils d'enregistrement. C'est pourquoi des impulsions, gouvernées par le rythme d'activité d'un "telescope" (Fig. 2-8), étaient acheminées à chaque détecteur. Ces impulsions étaient enregistrées à l'aide d'un compteur ("scalar"). Sur le spectre de chaque détecteur figurait le pic de ces impulsions, au-delà des pics des alphas les plus énergétiques. Le rapport de la surface de ce pic sur le total d'émission permettait d'établir le pourcentage de perte de données⁸). De plus, les impulsions étant

bien définies, l'allure du pic de ces impulsions définissait la stabilité de l'ensemble électronique attaché à chaque détecteur.

TABLEAU II-1

Focalisation du faisceau

Cas	Position	Foyer sur S ₁			Foyer sur S ₂			Foyer sur T		
		X (po.)	Y (po.)	XY (po.) ² x10 ²	X (po.)	Y (po.)	XY (po.) ² x10 ²	X (po.)	Y (po.)	XY (po.) ² x10 ²
A	S ₁	.043	.104		.081	.119		.123	.132	
A	S ₂	.089	.107		.048	.116		.067	.128	
A	T	.147	.113	1.66	.074	.118	.874	.052	.127	.660
B	S ₁	.088	.047		.098	.072		.109	.099	
B	S ₂	.098	.072		.096	.053		.103	.068	
B	T	.114	.109	1.24	.120	.066	.792	.103	.058	<u>.598</u>

Symbolisme:

Cas A: Lentille magnétique dans la position: Divergente-convergente

Cas B: Position: Convergente-divergente

S₁ : Premier collimateur

S₂ : Second collimateur (près de la cible)

T : Cible

FIGURE 2-1

Le dispositif expérimental de l'U. de M.

FIGURE 2-1

Ce schéma illustre le dispositif expérimental du Pavillon de physique nucléaire de l'Université de Montréal. La ligne +45° était celle réservée à l'équipe du laboratoire Foster pour la présente expérience.

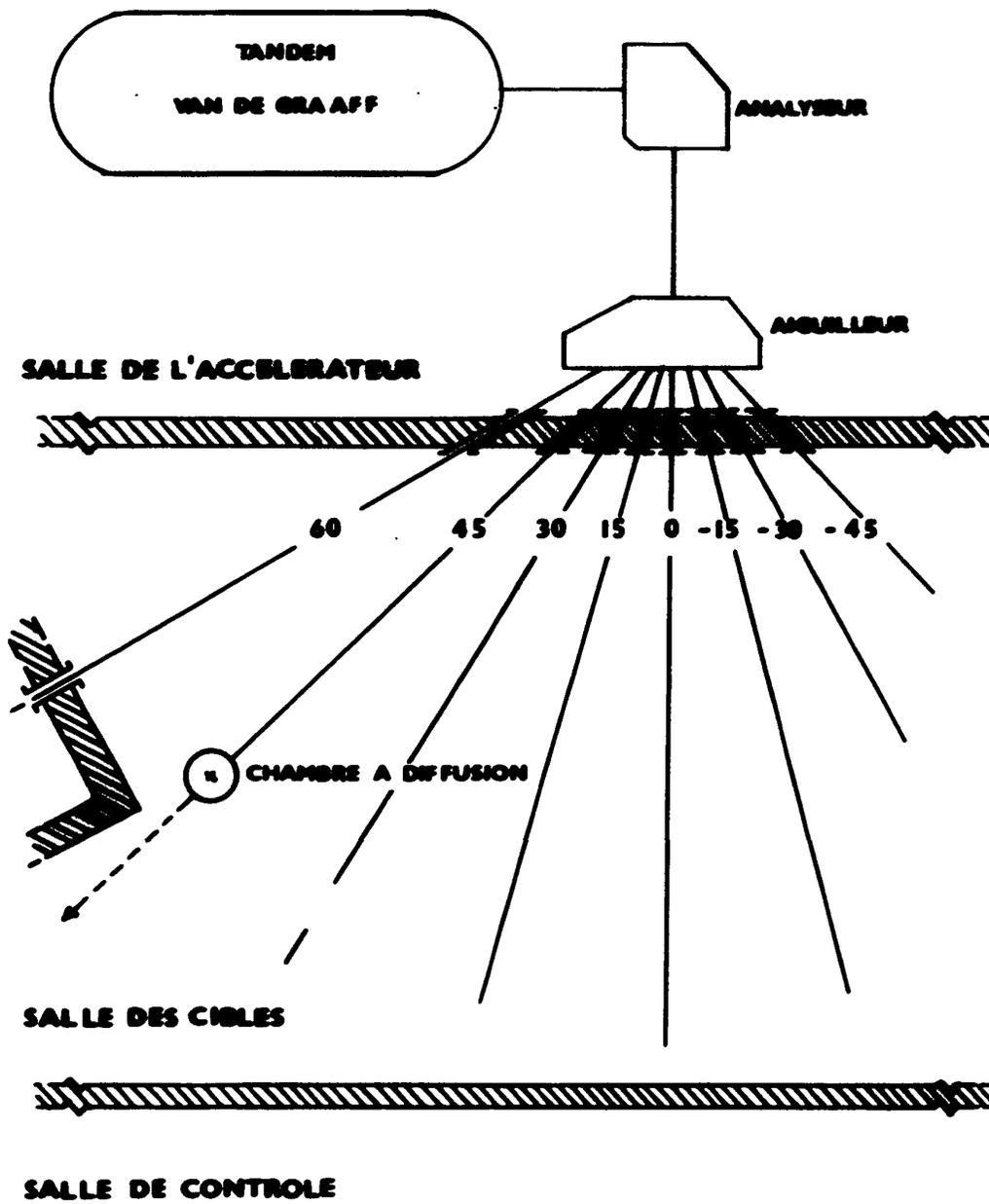


FIGURE 2-2

La ligne +45°

FIGURE 2-2

Une vue détaillée de la ligne +45° avec ci-dessous la signification des renvois:

1 : Cage de Faraday

5 : Fenêtre sur collimateur

9 : Pompe à ions

2 : Pompe à diffusion

6 : Quartz

10 : Déflecteur magnétique

3 : Chambre à diffusion

7 : Support pour caméra de TV

11 : Lentille magnétique

4 : Collimateurs

8 : Supports de ligne

12 : Pompe à ions

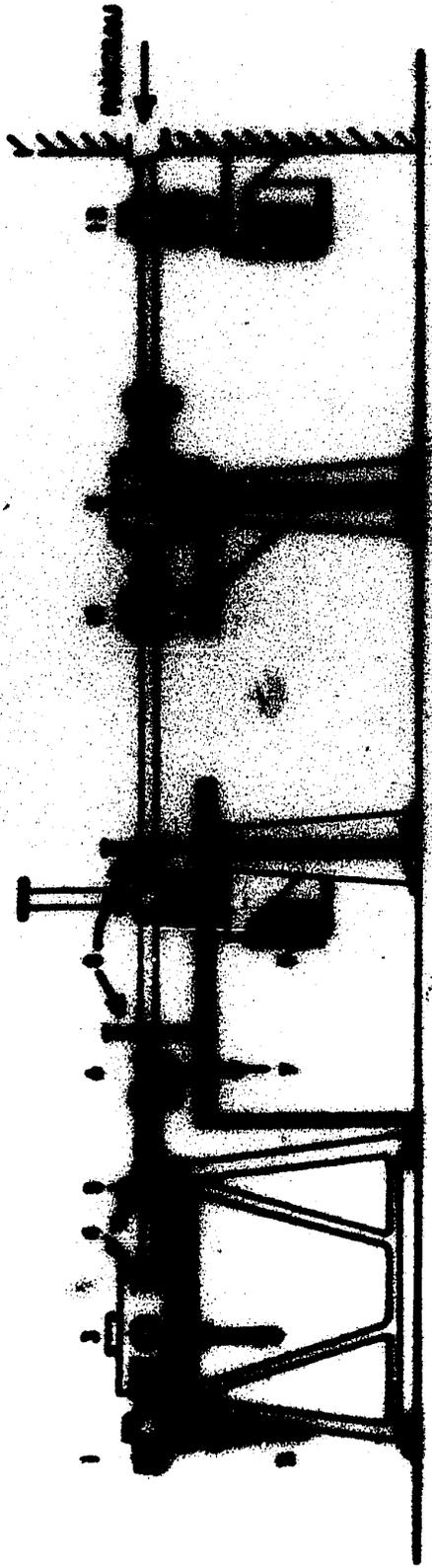


FIGURE 2-3

Les distances mesurées de la ligne $+45^\circ$

FIGURE 2-3

Ce schéma donne les distances exactes du montage; ces distances permettraient de calculer la combinaison optimum des lentilles-magnétiques Q-7.

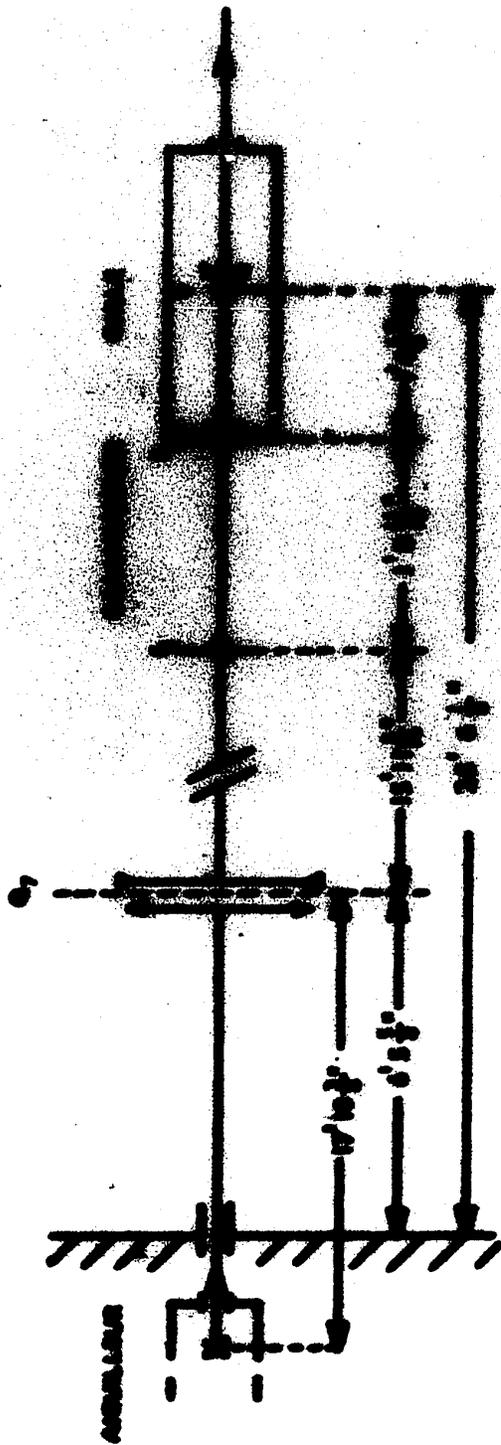


FIGURE 2-4

Le système de focalisation visuelle

FIGURE 2-4

Une vue de haut du système de focalisation visuelle avec ses quartz et ses caméras de T.V.

Le détail des renvois est le suivant:

1 : Cage de Faraday

4 : Quartz-cible

7 : Fenêtre sur collimateur

2 : Pompe à diffusion

5 : Collimateurs

8 : Caméra 2: positions A ou B

3 : Piège à air liquide

6 : Caméra 1 sur quartz-cible

9 : Quartz mobile

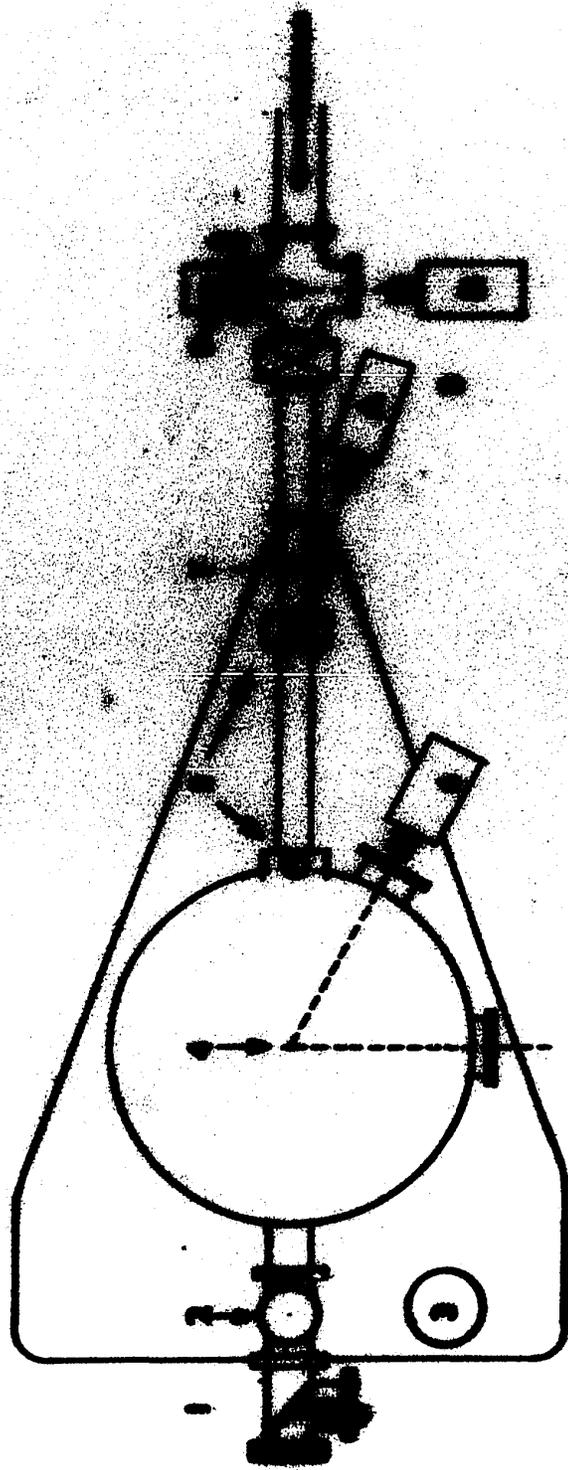


FIGURE 2-5

La chambre à diffusion

FIGURE 2-5

La chambre à diffusion observée de côté puis de haut. Ses composantes sont indiquées par les renvois suivants:

- 1 : Entrées et sorties pour pré-amplificateurs**
- 2 : Cibles**
- 3 : Collimateur**
- 4 : Valve d'entrée des cibles**
- 5 : Support des cibles**
- 6 : Fenêtres**
- 7 : Bloc de quatre détecteurs**
- 8 : Rainures de soutien des détecteurs**
- 9 : "Counter telescopes"**

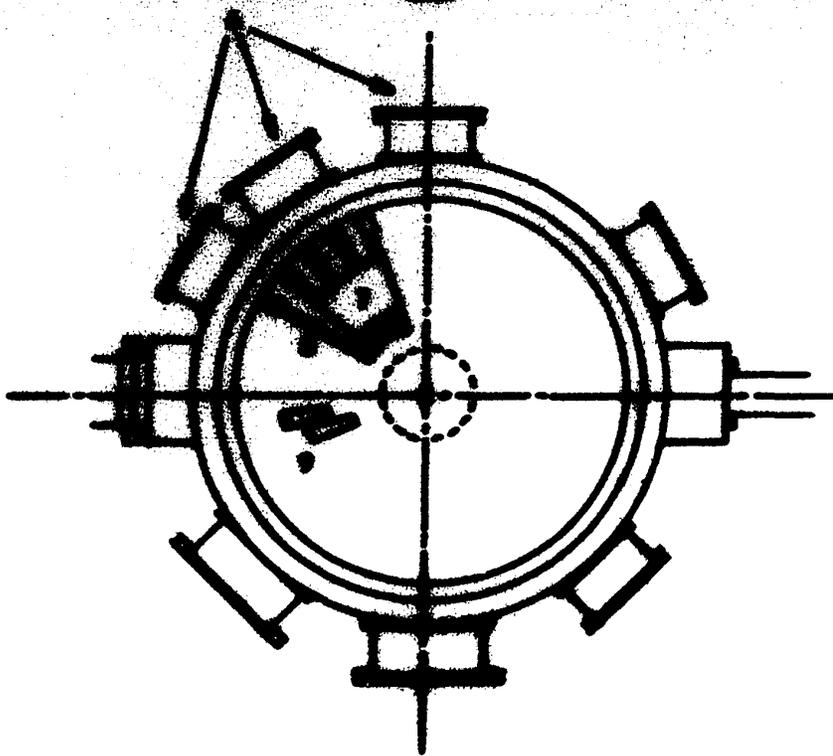
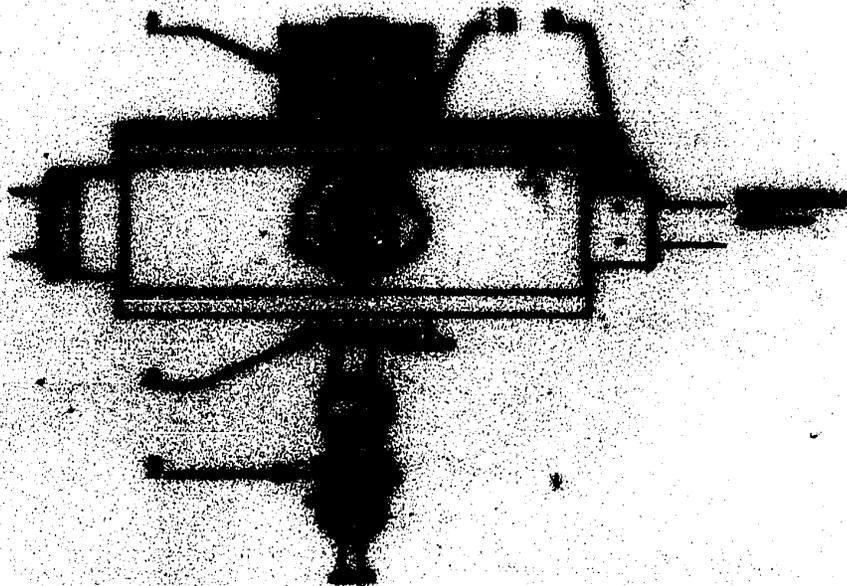


FIGURE 2-6
Cibles et détecteurs

FIGURE 2-6

La Fig. 2-6-A illustre quatre cibles typiques sises dans leur support. La Fig. 2-6-B donne une coupe verticale du bloc de quatre détecteurs.

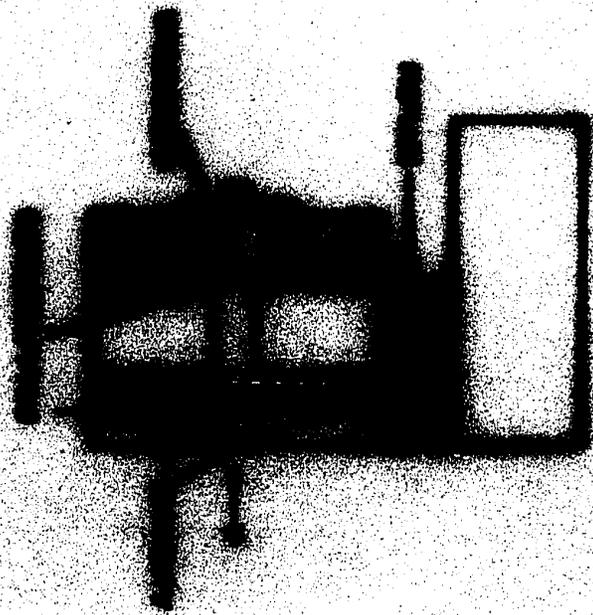


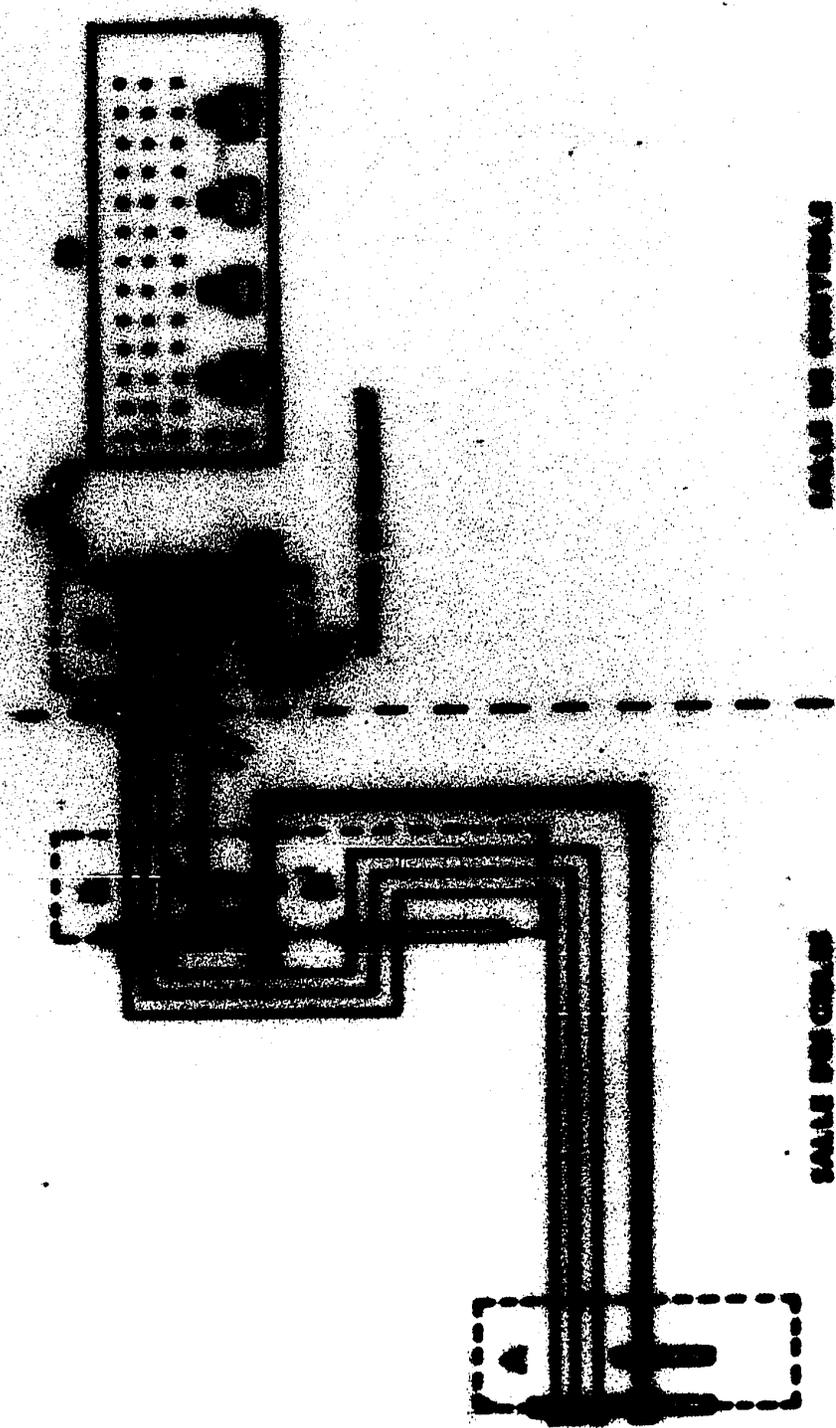
FIGURE 2-7

Le système de transmission électronique

FIGURE 2-7

Le système de transmission électronique depuis la chambre à diffusion jusqu'à la salle de contrôle, en passant par le poste de relais de la chambre à gamma. Les renvois donnent:

A : Panneau (Chambre à diffusion)	1 : Signaux linéaires
B : Panneau (Chambre à γ)	2 : Signaux rapides
B¹: Relais ($\gamma \leftrightarrow$ Diffusion)	3 : H.-T.
C : Panneau (Contrôle et enregistrement)	4 : Sources DC
D : Panneau vu de face	5 : 4 x (12 entrées + 12 sorties)



SCALE 1:1

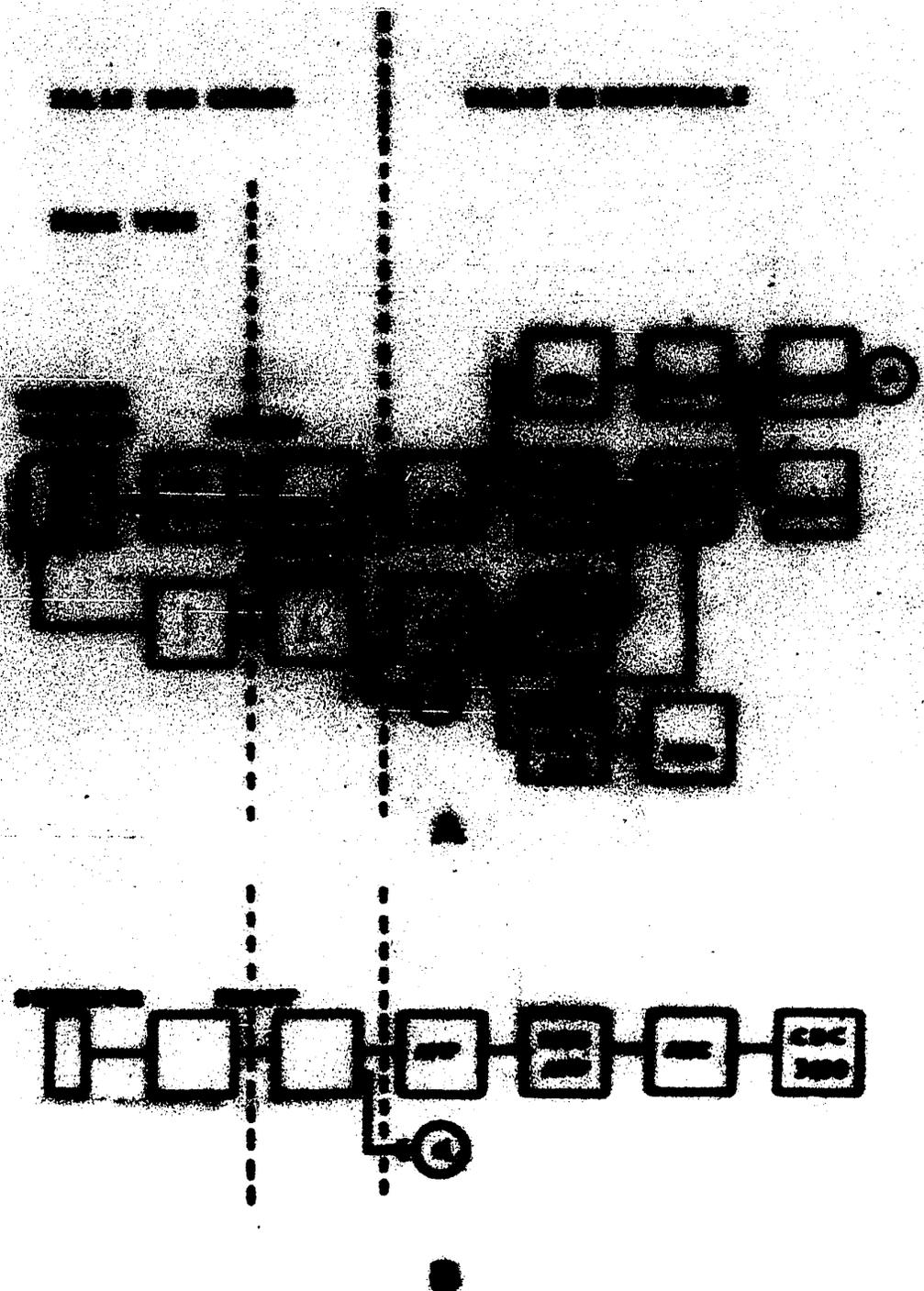
SCALE 1:1

FIGURE 2-8

Diagrammes de l'électronique

FIGURE 2-8

Le diagramme 2-8-A illustre l'électronique du système d'anti-coïncidence, alors que le 2-8-B donne l'électronique (répétée quatre fois) attachée au bloc de quatre détecteurs.



CHAPITRE 3

LA CONDUITE DE L'EXPERIENCE

3-1. Généralités

La réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$ s'est effectuée avec des deutérons incidents de 12 MeV. Au cours de l'expérience, l'étude de la réaction $^{92}\text{Mo}(d,\alpha) ^{90}\text{Nb}$ fut également menée. La première réaction allait permettre d'éprouver cette méthode d'expérimentation.

3-2. Les données de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$

Le bloc de quatre détecteurs a couvert les angles de 25° à 160° (cadre de référence du laboratoire) en six étapes (Fig. 3-1). L'étape qui renferme les angles de 30° à 60° fut la dernière à être réalisée puisqu'elle devait être immédiatement suivie d'une réaction sur l'aluminium, avec étude aux mêmes angles, pour établir le calibrage des niveaux d'énergie. On notera que, dépendant des angles d'observation, l'orientation de la cible face au faisceau doit varier sinon les particules émises seront absorbées par le cadre de soutien de la cible ou le support de carbone intrinsèque à la cible. Cette variation de position amène une correction dans l'épaisseur efficace de la cible pour la plupart des étapes.

Les deux autres détecteurs couvraient les angles de -10° à -25° .

Au cours d'un bombardement, un écran cathodique permettait de

visualiser les spectres en accumulation. Il était alors possible d'apprécier le nombre de particules α émises aux différents niveaux d'énergie et d'établir la durée valable de bombardement pour avoir une bonne statistique. Chacune des étapes a nécessité de 6 à 10 heures de bombardement.

3-3. Le calibrage des niveaux d'énergie du ^{87}Sr

Avant que l'expérience ne débute, on fit parvenir des impulsions, correspondant à des énergies variant de 10 à 25 MeV par intervalles de 1 MeV, dans chacun des détecteurs du bloc. Les spectres obtenus allaient donner une évaluation de la linéarité des détecteurs.

Immédiatement après la dernière étape du bombardement de l'yttrium, on mit une cible d'aluminium devant le faisceau de 12 MeV. La réaction $^{27}\text{Al} (d, \alpha) ^{25}\text{Mg}$ allait permettre de déterminer l'énergie des niveaux du strontium, la valeur-Q et les niveaux d'énergie du magnésium étant bien connus.

3-4. Mesure de l'épaisseur de la cible

Une fois terminée l'expérience de calibrage, l'énergie du faisceau fut ramenée à 4.0 MeV pour permettre d'évaluer l'épaisseur réelle de la cible d'yttrium, ainsi que celle d'aluminium.

Le procédé consiste à effectuer une diffusion élastique des deutérons sur l'yttrium ou l'aluminium. On est alors en mesure d'évaluer

l'angle solide relatif pour chacun des détecteurs, en supposant que la section efficace est celle de Rutherford, grâce à la formule qui donne la section efficace différentielle dans une expérience de diffusion:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{\theta} = \frac{N_{\theta}}{Q} \cdot \frac{eA}{N_0} \cdot \frac{\cos \theta_T}{\rho t d\Omega} \quad (3-4:1)$$

où:

θ : l'angle d'observation

N_{θ} : le nombre de particules reçues à l'angle d'observation

Q : la charge totale des deutérons incidents

e : l'unité de charge électrique

A : la masse de la cible

N_0 : le nombre d'Avogadro

θ_T : l'angle entre le faisceau et la normale de la cible

ρt : l'épaisseur de la cible en gm/cm^2

$d\Omega$: l'angle solide du détecteur.

D'autre part, en considérant la géométrie du système, on peut évaluer les angles solides réels. Dans chaque cas, la comparaison entre l'expérience et les mesures géométriques fut significative, donnant une précision de 2%. Les valeurs expérimentales furent alors normalisées à la valeur absolue de l'angle solide d'un détecteur.

On évalua alors l'épaisseur moyenne des cibles: le résultat donna une cible de $35.2 \mu\text{gm/cm}^2$ pour l'yttrium.

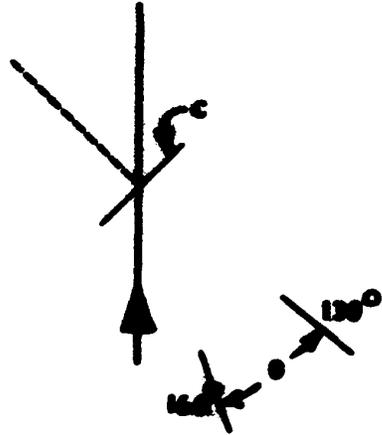
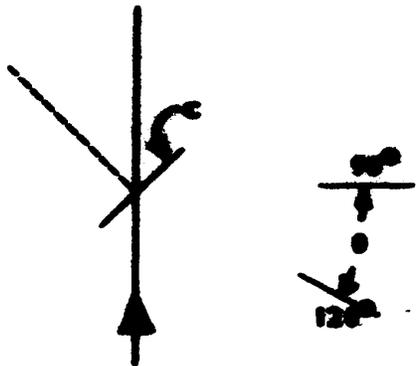
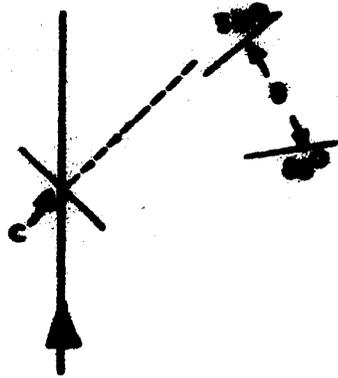
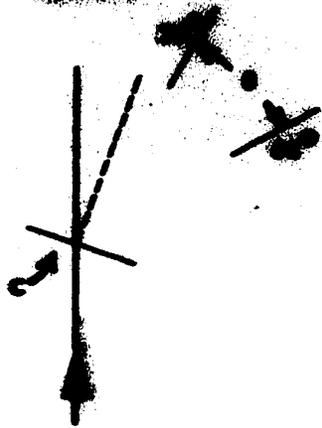
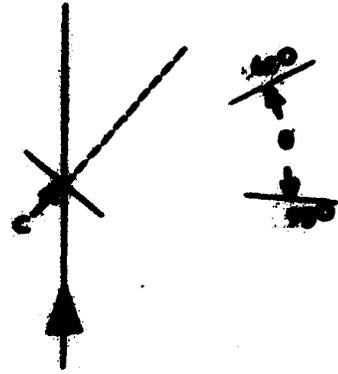
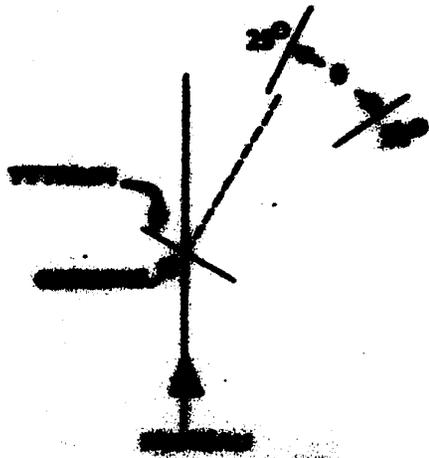
FIGURE 3-1

Les orientations de la cible

•

FIGURE 3-1

Ce schéma donne la position de la cible d'yttrium au cours des six étapes du bombardement. Il faut se rappeler que les deux "counter telescopes" couvrent toujours les angles de -10° à -25° .



CHAPITRE 4

LE TRAITEMENT DES DONNEES

4-1. Généralités

Les données du bloc de quatre détecteurs gardées sur rubans magnétiques furent retransmises pour fins d'analyse par l'ordinateur CDC 6400 du Centre de calcul de l'Université de Montréal sous deux formes: d'une part, l'enregistrement numérique de l'ensemble des données avec une évaluation de la position des principaux pics, d'autre part, les spectres sous forme de graphiques en bâtonnets. Ces spectres permettaient de visualiser dès le départ le comportement des différentes distributions. Par la suite, ils furent tracés à la main pour le travail d'évaluation des surfaces et d'élimination du bruit de fond.

Par ailleurs, les données enregistrées sur rubans perforés étaient décodées au Pavillon même et les spectres furent tracés à la main comme dans le cas précédent. La Fig. 4-1 illustre un spectre typique.

Les données de l'angle 55° ont été égarées à cause de difficultés avec l'ordinateur. Les données des angles 45° et 70° ont dû être laissées de côté étant donné une instabilité de l'électronique (dérive du spectre) dans les deux cas. Par conséquent, la distribution angulaire comprendra 22 angles étudiés au lieu de 25.

4-2. Les niveaux d'énergie du ^{87}Sr et la valeur-Q

Les angles 30° , 40° , 50° et 60° furent les angles d'observation de la dernière réaction sur l'yttrium et de la réaction sur l'aluminium qui suivait. L'analyse des données de ces angles permit de déterminer avec précision 27 niveaux d'énergie et la valeur-Q du ^{87}Sr .

En étudiant les spectres d'impulsions, impulsions parvenues aux détecteurs à intervalles de 1 MeV, ces derniers montrèrent un rendement parfaitement linéaire pour les régions d'intérêt. De plus, il faut noter que les erreurs dues à une dérive de l'électronique furent minimisées grâce aux impulsions mono-énergétiques qui parvenaient à chaque détecteur en cours d'expérience. La résolution et la position de ces pics, sauf pour les angles 45° et 70° déjà mentionnés, demeurèrent toujours les mêmes pour chacun des détecteurs. On procéda alors de la façon suivante pour déterminer les niveaux d'énergie du strontium.

Tout d'abord, il s'agit de reconnaître dans le spectre du ^{25}Mg le "ground state". Ce point de départ établi, à l'aide d'une table⁹⁾ qui donne les niveaux d'excitation du ^{25}Mg , on peut assigner l'énergie du niveau correspondant à chaque pic du spectre de calibrage. Le centre de ces pics, déterminé par programmation, n'a pas plus du cinquième d'un canal d'incertitude: ce qui amène une erreur d'environ 3 keV sur l'énergie correspondante. Ces résultats sont alors portés sur un graphique de l'énergie du niveau en fonction du numéro du canal de l'analyseur. La pente de la droite de ce graphique est la pente de calibrage. Une fois reconnue la position du "ground state" du strontium, cette pente, corrigée par un facteur issu de la cinématique de la réaction du strontium par rapport

à celle du magnésium, donnera l'énergie recherchée des niveaux d'excitation.

Les spectres enregistrés correspondent à des niveaux du ^{87}Sr qui s'étendent de 0 à 4 MeV. Alors qu'on observe une faible densité des niveaux dans les premiers 3 MeV d'excitation, une recrudescence se produit dans le MeV suivant (Fig. 4-1). Les pics les plus intenses ont une incertitude de ± 10 keV, alors que les plus faibles et mal résolus en ont une de ± 20 keV. Les valeurs des 27 niveaux déterminés, numérotés de 0 à 26 (0 pour le "ground state"), sont indiquées au tableau IV-1. Ces valeurs sont basées sur les moyennes des résultats obtenus pour les quatre angles; la comparaison interne de ces résultats a toujours été consistante, c'est-à-dire avec une tolérance inférieure à 10 keV.

Pour la détermination de la valeur-Q de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$ on procéda de la façon suivante:

En prenant la valeur-Q de la réaction $^{27}\text{Al} (d,\alpha) ^{25}\text{Mg}^{10}$ on détermina l'énergie des α du "ground state" du ^{25}Mg . Par la courbe de calibrage, on détermina alors l'énergie des α du "ground state" du ^{87}Sr , ce qui donna, en tenant compte de la cinématique de la réaction, une valeur de 7.903 MeV pour Q. Puis on considéra la perte moyenne d'énergie dans chacune des cibles en supposant que la réaction avait lieu à la demi-épaisseur de la cible. La perte d'énergie dans la cible d'aluminium fut évaluée à 23.5 keV et celle dans la cible d'yttrium à 9.4 keV pour un écart de position de 14.1 keV dans les spectres des deux isotopes. Le résultat corrigé donna une valeur-Q pour la réaction à l'étude de 7.889 ± 0.015 MeV, valeur qui correspond à celle trouvée précédemment par Maples et al.¹⁰, soit 7.8978 MeV.

4-3. Les sections efficaces différentielles

Les sections efficaces différentielles furent calculées en utilisant la formule vue à la section 3-4, c'est-à-dire:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\theta} = \frac{N}{Q} \cdot \frac{eA}{N_0} \cdot \frac{\cos \theta_T}{\rho t d\Omega} \quad (3-4:1)$$

Cette fois $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\theta}$ n'est pas une section efficace différentielle de Rutherford mais la section efficace différentielle de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$. Les autres quantités ont la même signification qu'auparavant. Les mesures de Q et θ_T étant directes, les valeurs e , A , et N_0 étant déterminées, la précision relative de $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\theta}$ repose donc sur N , ρt et $d\Omega$.

On a vu à la section 3-4 que $d\Omega$ avait été mesuré avec précision. En ce qui concerne l'évaluation de ρt il faut noter que cette valeur a été déterminée à l'aide d'un bombardement à 4 MeV où la diffusion élastique des deutérons était dominante. Le bruit de fond dans les spectres obtenus était très faible et les pics, par leur résolution et l'importance de leurs surfaces, permettaient une évaluation précise de ρt .

La quantité N , c'est-à-dire le nombre de particules α ayant une énergie bien définie reçues à un angle θ , est celle qui amène le plus d'incertitude dans le calcul de $\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\theta}$. En effet, les surfaces des pics, malgré de longs bombardements, sont faibles pour certains niveaux au petits et grands angles: ce qui amène une grande erreur statistique qui domine de beaucoup les autres. Le bruit de fond, important pour les niveaux d'excitation élevée (à partir du niveau no. 10 environ) était soustrait de la surface des pics après qu'une évaluation de son allure générale ait été

établie pour cette région. Ces données furent corrigées pour les pertes par temps-mort de l'électronique. Cependant ces corrections furent mineures, entraînant un changement maximum de 5% pour les petits angles.

Dans l'évaluation de la section efficace absolue, il a été établi¹¹⁾ que l'erreur systématique due à l'alignement des collimateurs et de la cible, à la résolution angulaire des détecteurs, etc., était inférieure à 10%.

Quatorze distributions angulaires des sections efficaces différentielles ont été dressées. Dans ces distributions, les niveaux 3 et 4, puis 21, 22 et 23 ne purent être résolus. Le tableau IV-2 donne les valeurs de ces distributions.

De larges pics, dont la provenance n'a pu être trouvée, ont caché certains niveaux à différents angles. La soustraction de la surface de ces pics inconnus de la surface des niveaux cachés à étudier n'a été possible que dans de rares cas. La Fig. 4-1 montre l'un de ces larges pics issu de quelque impureté masquant le niveau 13 à l'angle 65° . Ce fait explique que dans le tableau IV-2 existent des "blancs" à certains angles.

Les "blancs" du tableau IV-2 viennent aussi du fait que le bruit de fond l'emporte sur certains niveaux, particulièrement sur les niveaux élevés aux petits angles..

TABLEAU IV-1

Niveaux d'énergie mesurés du ^{87}Sr

Groupe	Niveau d'excitation (MeV)	Groupe	Niveau d'excitation (MeV)
0	0	14	3.029
1	0.388	15	3.075
2	0.873	16	3.156
3	1.230	17	3.274
4	1.255	18	3.397
5	1.739	19	3.434
6	1.914	20	3.512
7	2.111	21	3.625
8	2.166	22	3.713
9	2.413	23	3.772
10	2.550	24	3.934
11	2.630	25	4.025d
12	2.706	26	4.096d
13	2.925		

TABLEAU IV-2

Distributions angulaires des sections efficaces différentielles

(Erreur systématique : 10%)

Niveau d'énergie	0.0 (MeV)		0.388 (MeV)		0.873 (MeV)	
θ c.m.	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.		$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.		$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.	
Degrés	$\mu\text{b/sr}$		$\mu\text{b/sr}$		$\mu\text{b/sr}$	
10.3	64.5	\pm 8.4	43.7	\pm 6.9	72.1	\pm 8.8
15.4	75.0	' 11.6	26.7	' 6.9	44.7	' 8.9
20.5	91.4	' 10.7	24.9	' 3.0	41.2	' 7.1
25.6	66.7	' 4.9		'	46.6	' 4.1
30.7	54.5	3.6	15.5	1.9	57.0	3.6
35.8	45.0	3.0	16.4	1.8		
40.9	39.9	2.3	16.0	1.5	61.8	2.9
51.1	33.8	2.1	10.5	1.2	22.0	1.7
61.2	28.0	2.0	7.99	1.1	28.5	1.9
66.3	25.1	1.8	11.1	1.2	38.5	2.1
76.4	18.5	3.8	9.67	0.81	27.9	1.4
81.4	22.5	1.7				
86.4	11.9	0.9	4.20	0.54	21.0	1.2
91.4	18.9	1.7	3.29	0.71	17.6	1.7
96.4	12.0	0.9	3.64	0.50	14.5	1.0
101.4	10.6	0.96	5.12	0.67	16.8	1.2
111.3	6.14	0.74	5.89	0.72	11.6	1.0
121.2	4.70	0.64	1.73	0.39	8.54	0.87
131.1	4.36	0.84	2.37	0.62	7.48	1.1
140.9	4.02	0.60	3.64	0.56	9.52	0.93
150.7	2.01	0.42	2.28	0.45	8.96	0.89
160.5	2.28	0.45	1.52	0.37	5.32	0.69

Niveau d'énergie	1.230 1.255 (MeV)		1.739 (MeV)		2.413 (MeV)	
θ c.m.	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.		$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.		$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.	
Degrés	$\mu\text{b/sr}$		$\mu\text{b/sr}$		$\mu\text{b/sr}$	
10.3			59.8	± 8.1	44.6	± 6.9
15.4	34.0	± 7.8	53.5	† 9.8	42.7	† 8.7
20.5	28.7	† 6.0	42.3	† 7.2	47.3	† 7.7
25.6	18.5	† 2.5	43.3	† 3.9	52.7	† 4.4
30.7	31.7	† 2.7	31.1	† 2.7	40.2	† 3.0
35.9	28.6	† 2.4	26.9	2.3	35.2	2.7
41.0			21.8	1.7	22.8	1.7
51.1	17.8	1.5			26.1	1.8
61.3	17.2	1.5	20.1	1.6	40.6	2.2
66.3	12.8	1.3	20.2	1.6	10.2	1.1
76.4	9.40	0.80	13.1	0.9	14.6	1.0
81.5	6.07	0.87	12.1	1.3	14.4	1.4
86.5	8.29	0.76	9.48	0.81	11.3	0.87
91.5	9.26	1.2	11.8	1.4	11.3	1.3
96.5	5.57	0.63	8.98	0.79	5.20	0.60
101.5	6.10	0.73	9.38	0.89	2.80	0.49
111.4			8.23	0.85	4.65	0.63
121.3	4.71	0.64	5.95	0.72	4.45	0.63
131.1	5.87	0.98	4.00	0.80	2.23	0.60
141.0	3.64	0.56	4.15	0.61	2.63	0.49
150.7	2.15	0.44	5.43	0.69	1.77	0.40
160.5	2.28	0.45	4.31	0.62	2.40	0.46

Niveau d'énergie	2.630 (MeV)		2.706 (MeV)		3.029 (MeV)	
θ c.m.	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.		$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.		$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.	
Degrés	$\mu\text{b/sr}$		$\mu\text{b/sr}$		$\mu\text{b/sr}$	
10.3	32.7	± 6.0	45.6	± 7.0	138.0	± 12.2
15.4	48.0	† 9.3	48.0	† 9.3	135.0	† 15.4
20.5	31.1	† 6.2	42.2	† 7.2	156.4	† 13.9
25.7		†	56.6	† 4.6	134.8	† 7.0
30.8	38.4	† 3.0	38.2	† 3.0	145.2	† 5.7
35.9	26.7	2.3	39.7	2.8	98.9	4.5
41.0	23.7	1.7	27.3	1.9	107.7	3.7
51.2	18.0	1.5	25.1	1.8	47.8	2.4
61.3	18.3	1.5	24.5	1.8	58.7	2.8
66.4	14.0	1.3	20.4	1.6	81.4	3.1
76.5	9.73	0.81	15.6	1.0	45.4	1.7
81.5	7.30	0.96	15.1	1.4	31.5	2.0
86.5	9.57	0.81	13.4	1.0	28.8	1.4
91.5	10.1	1.3	15.0	1.5	37.0	2.3
96.5	5.09	0.58	11.2	0.88	29.9	1.5
101.5	5.22	0.67	8.86	0.87	28.0	1.6
111.5	4.66	0.64	8.96	0.88	28.2	1.6
121.3	4.95	0.66	7.41	0.81	18.9	1.3
131.2	2.62	0.66	5.11	0.90	16.4	1.6
141.0			4.52	0.64	11.8	1.0
150.8	1.14	0.33	6.05	0.73	13.7	1.1
160.5	2.03	0.44	4.18	0.61	12.0	1.1

Niveau d'énergie	3.156 (MeV)		3.397 (MeV)		3.512 (MeV)	
θ c.m.	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.		$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.		$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.	
Degrés	$\mu\text{b/sr}$		$\mu\text{b/sr}$		$\mu\text{b/sr}$	
10.3	79.3	\pm 9.3				
15.4	127.7	\pm 15.0	65.6	\pm 10.8	17.8	\pm 5.6
20.5	78.2	\pm 9.7	36.1	\pm 6.7	14.9	\pm 4.4
25.7	88.1	\pm 5.6	28.9	\pm 3.2	15.9	\pm 2.3
30.8	92.6	\pm 4.6	47.9	\pm 3.4	16.0	\pm 2.0
35.9	61.3	\pm 3.5	33.5	\pm 2.5	14.4	\pm 1.7
41.0	60.5	\pm 2.8	26.8	\pm 1.8	13.6	\pm 1.4
51.2	58.2	\pm 2.8	25.9	\pm 1.8	13.5	\pm 1.4
61.4	57.1	\pm 2.7	20.5	\pm 1.7	12.1	\pm 1.3
66.4	50.0	\pm 2.4	23.6	\pm 1.7	12.7	\pm 1.3
76.5	33.1	\pm 1.5	21.0	\pm 1.2		
81.5	34.3	\pm 2.0	16.8	\pm 1.5	8.51	\pm 1.1
86.6	27.0	\pm 1.4	11.5	\pm 0.9	4.31	\pm 0.54
91.6	32.0	\pm 2.2	19.3	\pm 1.7	5.70	\pm 0.96
96.6	21.9	\pm 1.3	12.2	\pm 0.9	5.80	\pm 0.64
101.5	23.5	\pm 1.4	11.0	\pm 1.0	5.11	\pm 0.66
111.5	20.9	\pm 1.4	5.52	\pm 0.45	2.57	\pm 0.47
121.4	16.7	\pm 1.2	6.55	\pm 0.56	3.10	\pm 0.52
131.2	12.2	\pm 1.4	5.98	\pm 0.98	2.24	\pm 0.60
141.0	10.5	\pm 1.0	6.78	\pm 0.78	4.39	\pm 0.63
150.8	10.5	\pm 1.0	4.79	\pm 0.65	2.27	\pm 0.46
160.5	9.87	\pm 0.94	4.18	\pm 0.62	2.53	\pm 0.48

Niveau d'énergie	3.625-3.713 3.772 (MeV)			3.934 (MeV)		
θ c.m.	$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.			$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)$ c.m.		
Degrés	$\mu\text{b/sr}$			$\mu\text{b/sr}$		
10.3						
15.4						
20.5						
25.7						
30.8						
35.9	58.1	†	3.4			
41.0	33.2	†	2.0	12.8	†	1.3
51.2	39.3	†	2.2	13.5	†	1.4
61.4	36.8	†	2.2	9.17	†	1.1
66.4	30.0	†	1.9	6.48	†	0.90
76.4				6.17	†	0.65
81.6						
85.6	16.0		1.1	3.84		0.51
91.6	27.2		2.1	7.65		1.1
96.6	17.8		1.1	3.87		0.52
101.6	12.6		1.1	2.80		0.50
111.5	10.4		1.0	2.46		0.47
121.4	10.6		1.0	3.22		0.54
131.2	15.6		1.6	3.49		0.74
141.0	10.5		1.0	1.64		0.38
150.8	7.07		0.80	2.02		0.44
160.5	6.74		0.78	2.16		0.44

FIGURE 4-1

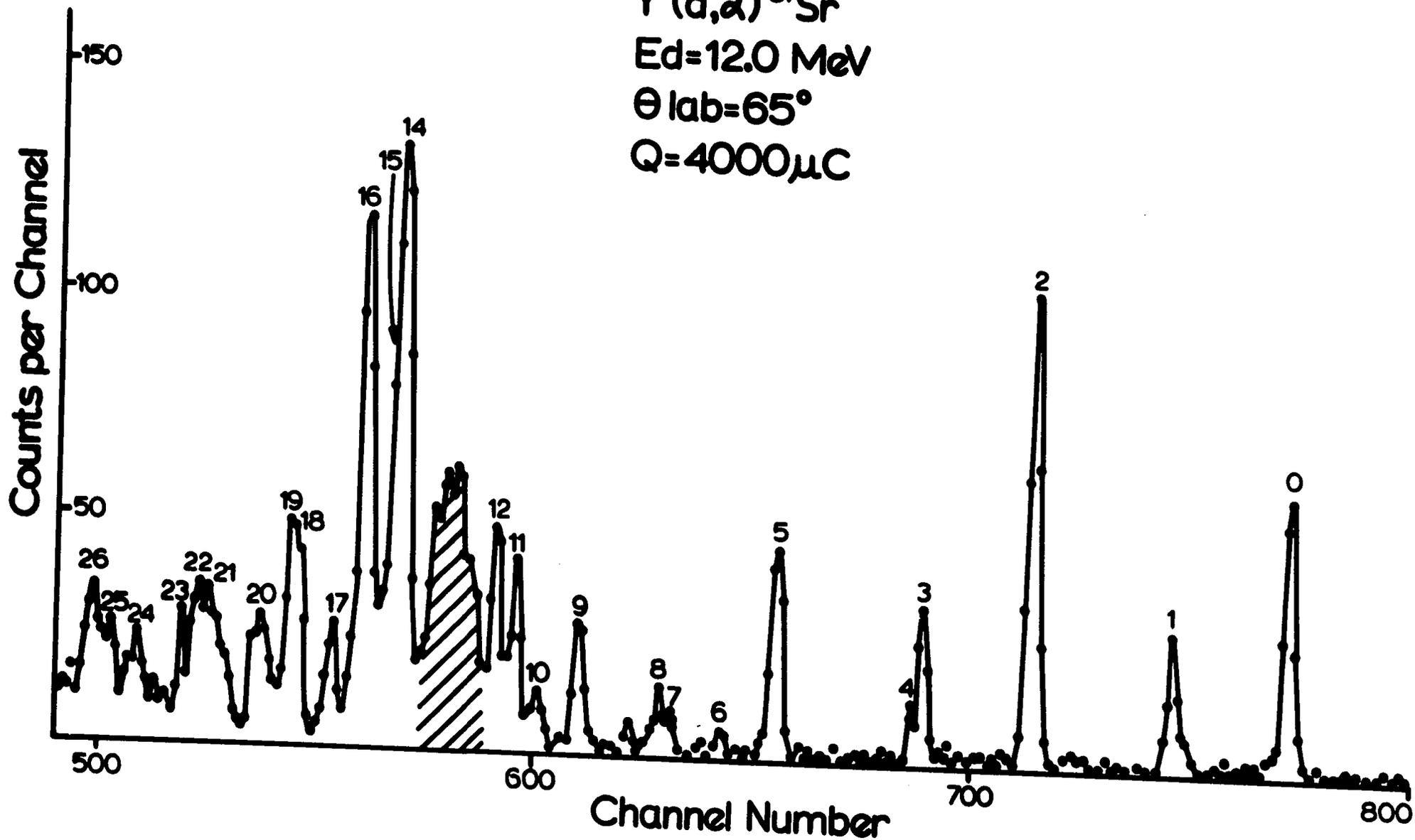
Spectre d'énergie de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$

FIGURE 4-1

Un spectre typique d'énergie de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$ est illustré ci-contre.

Remarque: La Fig. 4-1 devant servir à une publication ultérieure a nécessité l'usage de l'anglais.

$^{89}\text{Y} (d,d) ^{87}\text{Sr}$
 $E_d = 12.0 \text{ MeV}$
 $\theta_{\text{lab}} = 65^\circ$
 $Q = 4000 \mu\text{C}$



CHAPITRE 5

L'ANALYSE DES RESULTATS

5-1. L'énergie des niveaux du ^{87}Sr

L'énergie mesurée des niveaux du ^{87}Sr est inscrite à nouveau dans le tableau comparatif V-1. Dans ce tableau, en plus des spins et des parités des niveaux dont nous reparlerons, est inscrite l'énergie des niveaux provenant de diverses réactions: $(p,n)^{12}$, $(p,p')^{13}$, $(p,d)^{6,14,15}$ et $(d,p)^7$.

Ce tableau comparatif nous permet de réaliser que les niveaux mesurés correspondent à ceux observés dans la réaction $^{87}\text{Rb} (p,n) ^{87}\text{Sr}$. Cependant, ils diffèrent sensiblement de ceux établis par les réactions de "neutron pick up" ou "neutron stripping": le proton de l'orbite $2p_{3/2}$ semble donc être responsable de plusieurs niveaux du ^{87}Sr .

Enfin, la dernière colonne des niveaux d'énergie dresse la liste de ces derniers à la lumière des informations précédentes.

5-2. L'analyse DWBA

Les valeurs des sections efficaces différentielles du tableau IV-2 furent transposées graphiquement (Fig. 5-1). L'allure générale des distributions, avec un maximum aux petits angles et un minimum aux grands angles, confirma que le mécanisme de la réaction était direct.

Une approche théorique dans la description des réactions directes est donnée par l'analyse DWBA. La section efficace différentielle, pour le "pick up" de deux particules A (a,b) B, est alors donnée par ¹⁾ :

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\mu_a \mu_b}{(2\pi\hbar^2)^2} \cdot \frac{k_b}{k_a} \cdot \frac{2S_b + 1}{2S_a + 1} \cdot \sum_{M\sigma_a \sigma_b}^J \left| \sum_{\Sigma} (n_1 l_1 j_1) (n_2 l_2 j_2) \text{LST} \right.$$

$$b_{ST} \cdot S_{AB}^{\frac{1}{2}} \cdot (T_B N_B T_N / T_A N_A) \cdot \left[\begin{array}{ccc} l_1 & l_2 & L \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & S \\ j_1 & j_2 & J \end{array} \right] \cdot \left. B_{M\sigma_a \sigma_b}^{\text{LSJT}} \right|^2 \quad (5-2:1)$$

où μ et k sont la masse réduite et le nombre d'onde des particules légères; alors que L , S , J et T sont les nombres quantiques des nucléons transférés. La quantité $S_{AB}^{\frac{1}{2}}$, l'amplitude spectroscopique, est une mesure de la superposition du noyau initial et du noyau final; b_{ST} a la même signification pour les particules légères. Enfin, la quantité B^{LSJT} , facteur de forme de la réaction, représente l'intégrale des ondes partielles.

Les règles de sélection pour la réaction (d, α) sont indiquées comme suit:

$$S = 1, \quad T = 0$$

Si $n_1 l_1 j_1 \neq n_2 l_2 j_2$, alors

$$J = L, \quad L \pm 1 \quad \left\{ \begin{array}{ll} \Delta\pi = \text{oui} & L \text{ impair} \\ \Delta\pi = \text{non} & L \text{ pair} \end{array} \right.$$

Si $n_1 l_1 j_1 = n_2 l_2 j_2$, alors

$$J = L \pm 1 = \text{impair}, \quad \Delta\pi = \text{non}$$

Les calculs théoriques de la section efficace ont été faits à l'aide d'un programme pour l'analyse DWBA conçu par J.M. Nelson et B.E.F. Macefield¹⁶); ils étaient basés sur les paramètres indiqués au tableau V-2. Les paramètres des deutérons viennent d'un travail de Smith¹⁷) alors que les paramètres des alphas sont le résultat d'une recherche dont le point de départ était tiré d'un article de Daehnick et Park²).

5-3. Les résultats de l'analyse DWBA

Les données expérimentales ont été comparées à l'analyse DWBA menée avec différentes hypothèses. Au départ, les hypothèses étaient que les fonctions d'onde étaient des fonctions propres d'un puits de potentiel de Saxon-Woods, que la portée était finie et non-locale, qu'il n'y avait pas de coupures radiales. Puis, afin de faire une somme cohérente sur les amplitudes de transition pour les valeurs permises de L , un terme d'interaction spin-orbite dans le canal d'entrée fut ajouté. Par la suite, une somme incohérente, avec et sans portée finie et non-locale, fut faite et on usa de coupures radiales. Ces différentes hypothèses amenèrent la conclusion que, même si en principe il y a plus d'un transfert possible de L , seulement le plus petit se produira. Les données expérimentales de la présente étude permettent d'établir une limite inférieure dans le mixage ΔL de 10 à 1. Ainsi dans le cas des niveaux 0.388 MeV ($2p_{1/2}$) et 0.873 MeV ($2p_{3/2}$) les distributions expérimentales sont sensiblement identiques et c'est seulement la valeur de transfert $L = 0$ qui amène un accord entre la théorie et l'expérience: le mixage $\Delta L = 0$ et 2 est dans le rapport 10 à 1 pour l'orbite $2p_{1/2}$.

Les distributions angulaires expérimentales se regroupent en trois ou quatre ensembles (Fig. 5-1).

Le premier renferme les niveaux 0 MeV, 1.739 MeV, 2.706 MeV, 3.156 MeV, 3.397 MeV et 3.512 MeV qui dénotent tous des analogies de distribution. Ces niveaux correspondent à un $\Delta J = 4$ et un $\Delta L = 3$. Les valeurs possibles de J^π sont $(\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2})$, valeurs basées sur le spin connu du "ground state" membre de l'ensemble et sur les prédictions de l'analyse DWBA.

Le doublet à 1.230 MeV et 1.255 MeV, les niveaux 2.630 MeV, 3.934 MeV et le large groupe de 3.71 MeV ont également des distributions semblables avec un $\Delta J = 3$ et un $\Delta L = 2$, et $J^\pi = (\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$. Le doublet 1.230 MeV et 1.255 MeV est formé d'états connus, soit $\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$ pour le niveau 1.230 MeV et $\frac{5^-}{2}$ pour l'autre. Les données présentes indiquent que ce dernier état domine dans le doublet observé.

Le troisième ensemble contient les niveaux 0.388 MeV, 0.873 MeV et 3.029 MeV avec un $\Delta J = 1$ et un $\Delta L = 0$. J^π prend les valeurs $(\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2})$.

Enfin, le niveau 2.413 MeV ne colle à aucune autre distribution expérimentale. Les distributions théoriques qui proviennent d'un "pick up" des orbitales $(3s_{1/2})^\nu$ et $(2p_{1/2})^\pi$, ou $(2d_{5/2})^\nu$ et $(2p_{1/2})^\pi$, ou encore $(1f_{5/2})^\nu$ et $(2p_{1/2})^\pi$ correspondent aussi bien aux données expérimentales.

Les valeurs de J^π de la présente expérience sont indiquées au tableau V-1, de même que les valeurs provenant des autres réactions déjà mentionnées.

La dernière colonne du tableau V-1 contient les valeurs probables assignées à J^π basées sur les considérations suivantes.

Les niveaux de basse énergie du ^{87}Sr à 0 MeV ($\frac{9^+}{2}$), 0.388 MeV ($\frac{1^-}{2}$), 0.873 MeV ($\frac{3^-}{2}$) et 1.255 ($\frac{5^-}{2}$) sont assujettis au modèle des couches.

Bien que les niveaux 1.230 MeV et 1.255 MeV soient observés, leurs distributions angulaires ne peuvent être résolues. Alors que le dernier provient de l'absence d'un neutron de l'orbite $1f_{5/2}$, le premier niveau ne semble pas vouloir obéir à une description simple. Ce niveau est nourri par un transfert de $L = 2$ dans les réactions de "neutron pick up" et "neutron stripping", de même que le niveau 1.779 MeV ($\frac{5^+}{2}$), nourri par un transfert analogue dans les réactions de "stripping"; cependant, ce dernier n'apparaît pas dans les réactions de "pick up". L'explication tient au fait que le niveau 1.779 MeV vient d'une orbite 2d sise à l'extérieur de la couche $N = 50$; dès lors, le peuplement du niveau 1.230 MeV dans une réaction de "pick up" ne trouve aucune explication directe.

Les niveaux 1.739 MeV, 2.706 MeV, 3.156 MeV, 3.397 MeV et 3.512 MeV gardent leurs valeurs précédemment assignées de ($\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$); ils semblent se former de la façon suivante: $\left[\left(2p_{1/2} \ 2p_{3/2}^{-1} \right)^\pi, \left(1g_{9/2}^{-1} \right)^\nu \right] \frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$.

Une suite de niveaux faiblement excités à 1.914 MeV, 2.111 MeV, 2.166 MeV et 2.550 MeV forme un groupe observé dans les réactions (d, α) et (p,n). D'après les réactions de "neutron stripping" et "pick up", $J^\pi = \left(\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2} \right)$ pour le niveau 2.111 MeV et $J^\pi = \frac{1^+}{2}$ pour le niveau 2.166 MeV, le présent travail ne fournissant aucune information.

En ce qui concerne le niveau 2.413 MeV, la présente étude favorise la valeur $J^\pi = \frac{5^+}{2}$, avec la possibilité des valeurs ($\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2}$). Par ailleurs,

la section efficace qui suivrait d'un "pick up" de l'orbite $(3s_{1/2})^{\nu}$ et $(2p_{1/2})^{\pi}$ se révèle trop petite.

Les niveaux 3.029 MeV $(\frac{3^-}{2})$ et 3.156 MeV sont ceux qui sont le plus intenses. La configuration du premier est probablement donnée par $\left[(2p_{1/2}^{-1} 2p_{3/2}^{-1})^{\pi} (2p_{3/2}^{-1})^{\nu} \right] \frac{3^-}{2}$. Les niveaux 2.925 MeV et 3.075 MeV, l'un trop faible, l'autre masqué par le 3.029 MeV, n'ont pu être résolus et aucun spin n'a pu leur être attribué. Il en va de même des niveaux 3.434 MeV, 4.025 MeV et 4.096 MeV. Quant au niveau 3.274 MeV, quoique non-résolu, il est assimilé au niveau 3.279 MeV de la réaction de "neutron stripping" et se voit attribuer un spin de $(\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2})$.

Enfin, il ressort du présent travail que les spins des niveaux 2.630 MeV, 3.934 MeV et du groupe mal résolu de la région 3.71 MeV soient $(\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$.

5-4. Conclusion

Les niveaux d'énergie mesurés du ^{87}Sr se comparent assez bien à ceux donnés par la réaction $^{87}\text{Rb}(p,n)^{87}\text{Sr}$, mais diffèrent sensiblement de ceux qui viennent des réactions de "neutron pick up" et "neutron stripping", indiquant l'importance de l'orbite $2p_{3/2}$ dans la réaction.

La réaction $^{89}\text{Y}(d,\alpha)^{87}\text{Sr}$ apparaît comme étant directe. Alors qu'elle peut s'effectuer par transfert de deux valeurs de L, seule la plus petite des deux valeurs possibles semble participer à la réaction. Les

distributions angulaires des sections efficaces qui s'ensuivent forment trois ou quatre ensembles qui, à l'aide de l'analyse DWBA et de niveaux connus dans chaque ensemble, permettent d'attribuer les valeurs de J^π aux autres niveaux.

TABLEAU V-1

TABLEAU COMPARATIF DES NIVEAUX DU ^{87}Sr

Groupe	(d, α) Ex. MeV	J^π	(p,n) Ex. MeV	(p,p') Ex. MeV	J^π Prob.	(p,d)et (d,p) ex. MeV	J^π Prob.	Niveaux du ^{87}Sr MeV	J^π Prob.
0	0	$\frac{9^+}{2}, \frac{7^+}{2}$	0		$\frac{9^+}{2}$	0	$\frac{9^+}{2}$	0	$\frac{9^+}{2}$
1	0.388	$\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2}$	0.388		$\frac{1^-}{2}$	0.387	$\frac{1^-}{2}$	0.387	$\frac{1^-}{2}$
2	0.873	$\frac{3^-}{2}, \frac{1^-}{2}$	0.868		$\frac{3^-}{2}$	0.873	$\frac{3^-}{2}$	0.873	$\frac{3^-}{2}$
3	1.230		1.236	1.230		1.231	$\frac{5^+}{2}, \frac{3^+}{2}$	1.230	$\frac{5^+}{2}$
4	1.255			1.257		1.259	$\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2}$	1.257	$\frac{5^-}{2}$
5	1.739	$\frac{9^+}{2}, \frac{7^+}{2}$		1.739	$\frac{9^+}{2}, \frac{7^+}{2}$			1.739	$\frac{9^+}{2}, \frac{7^+}{2}$
			1.767			1.779	$\frac{5^+}{2}$	1.779	$\frac{5^+}{2}$
6	1.914		1.918	1.921				1.918	
7	2.111		2.108	2.115		2.112	$\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2}$	2.112	$\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2}$
				2.154				2.154	

Groupe	(d,α) Ex. MeV	J ^π	(p,n) Ex. MeV	(p,p') Ex. MeV	J ^π Prob.	(p,d) et (d,p) Ex. MeV	J ^π Prob.	Niveaux du 87Sr MeV	J ^π Prob.
8	2.166		2.166			2.175	$\frac{1}{2}^+$	2.172	$\frac{1}{2}^+$
			2.237	2.241		2.241	$\frac{9}{2}^+, \frac{7}{2}^+$	2.241	$\frac{9}{2}^+, \frac{7}{2}^+$
9	2.413	$\frac{5}{2}^+, (\frac{5}{2}^-, \frac{7}{2}^-)$	2.418	2.425	$\frac{5}{2}^+$	2.41	$\frac{7}{2}^-, \frac{5}{2}^-$	2.418	$\frac{7}{2}^-, \frac{5}{2}^-, \frac{5}{2}^+$
			2.531	2.539		2.53		2.531	
10	2.550		2.552	2.555				2.552	
				2.598				2.598	
11	2.630	$\frac{5}{2}^-, \frac{7}{2}^-$	2.629		$\frac{5}{2}^-, \frac{7}{2}^-$			2.629	$\frac{5}{2}^-, \frac{7}{2}^-$
						2.66	$\frac{1}{2}^-, \frac{3}{2}^-$	2.66	$\frac{1}{2}^-, \frac{3}{2}^-$
				2.682		2.681	$\frac{3}{2}^+, \frac{5}{2}^+$	2.682	$\frac{3}{2}^+, \frac{5}{2}^+$
						2.69	$\frac{1}{2}^-, \frac{3}{2}^-$	2.69	$\frac{1}{2}^-, \frac{3}{2}^-$
12	2.706	$\frac{9}{2}^+, \frac{7}{2}^+$	2.706	2.708	$\frac{9}{2}^+, \frac{7}{2}^+$			2.706	$\frac{9}{2}^+, \frac{7}{2}^+$
			2.810			2.819		2.814	

Groupe	(d,α) Ex. MeV	J ^π	(p,n) Ex. MeV	(p,p ⁰) Ex. MeV	J ^π Prob.	(p,d) et (d,p) Ex. MeV	J ^π Prob.	Niveaux du 87Sr MeV	J ^π Prob.
			2.848			2.84	$\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2}$	2.848	$\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2}$
			2.901					2.901	
13	2.925		2.925	2.923		2.922		2.925	
			2.945			2.942		2.942	
			2.979	2.982				2.980	
				3.003				3.003	
			3.016					3.016	
14	3.029	$\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2}$			$\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2}$			3.029	$\frac{1^-}{2}, \frac{3^-}{2}$
15	3.075		3.067					3.067	
			3.098					3.098	
			3.126	3.122d		3.125	$\frac{1^+}{2}$	3.126	$\frac{1^+}{2}$
			3.151			3.154	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$	3.151	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$
16	3.156	$\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$			$\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$			3.156	$\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$

Groupe	(d,α) Ex. MeV	J ^π	(p,n) Ex. MeV	(p,p') Ex. MeV	J ^π Prob.	(p,d)et (d,p) Ex. MeV	J ^π Prob.	Niveaux du 87Sr MeV	J ^π Prob.
			3.167			3.168	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$	3.168	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$
			3.220					3.220	
				3.246				3.246	
			3.258					3.258	
17	3.274		3.276			3.279	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$	3.276	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$
						3.389	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$	3.389	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$
18	3.397	$\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$		3.397	$\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$			3.397	$\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$
				3.418				3.418	
19	3.434					3.434		3.434	
20	3.512	$\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$						3.512	$\frac{7^+}{2}, \frac{9^+}{2}$
						3.549	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$	3.549	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$
						3.592		3.592	
						3.603		3.603	

Groupe	(d,α) Ex. MeV	J ^π	(p,n) Ex. MeV	(p,p') Ex. MeV	J ^π Prob.	(p,d)et (d,p) Ex. MeV	J ^π Prob.	Niveaux du 87Sr MeV	J ^π Prob.
21	3.625	$(\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$						3.625	$(\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$
						3.672		3.672	
22	3.713	$(\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$						3.713	$(\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$
23	3.772	$(\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$				3.780	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2}$	3.780	$\frac{3^+}{2}, \frac{5^+}{2} (\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$
						3.885	$\frac{1^+}{2}$	3.885	$\frac{1^+}{2}$
24	3.934	$(\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$						3.934	$(\frac{5^-}{2}, \frac{7^-}{2})$
						3.960		3.960	
25	4.025d					4.013		4.013	
26	4.096d					4.081		4.081	

TABLEAU V-2

Paramètres optiques utilisés dans l'analyse DWBA

	V (MeV)	a (F)	r (F)	r _c (F)	V _{s.o.} (MeV)	W _{vol.} (MeV)	a _w (F)	r _w (F)
d	83.9	0.567	1.3	1.3	7.0	12.7	1.0	1.30
α	140	0.557	1.2	1.3		16.0	0.557	1.20

Symbolisme:

- V : Potentiel central réel
- a : Paramètre de diffusion du noyau de la cible
- r : Rayon du noyau de la cible
- V_{s.o.} : Potentiel réel d'interaction spin-orbite
- W_{vol.} : Potentiel d'absorption (volume)

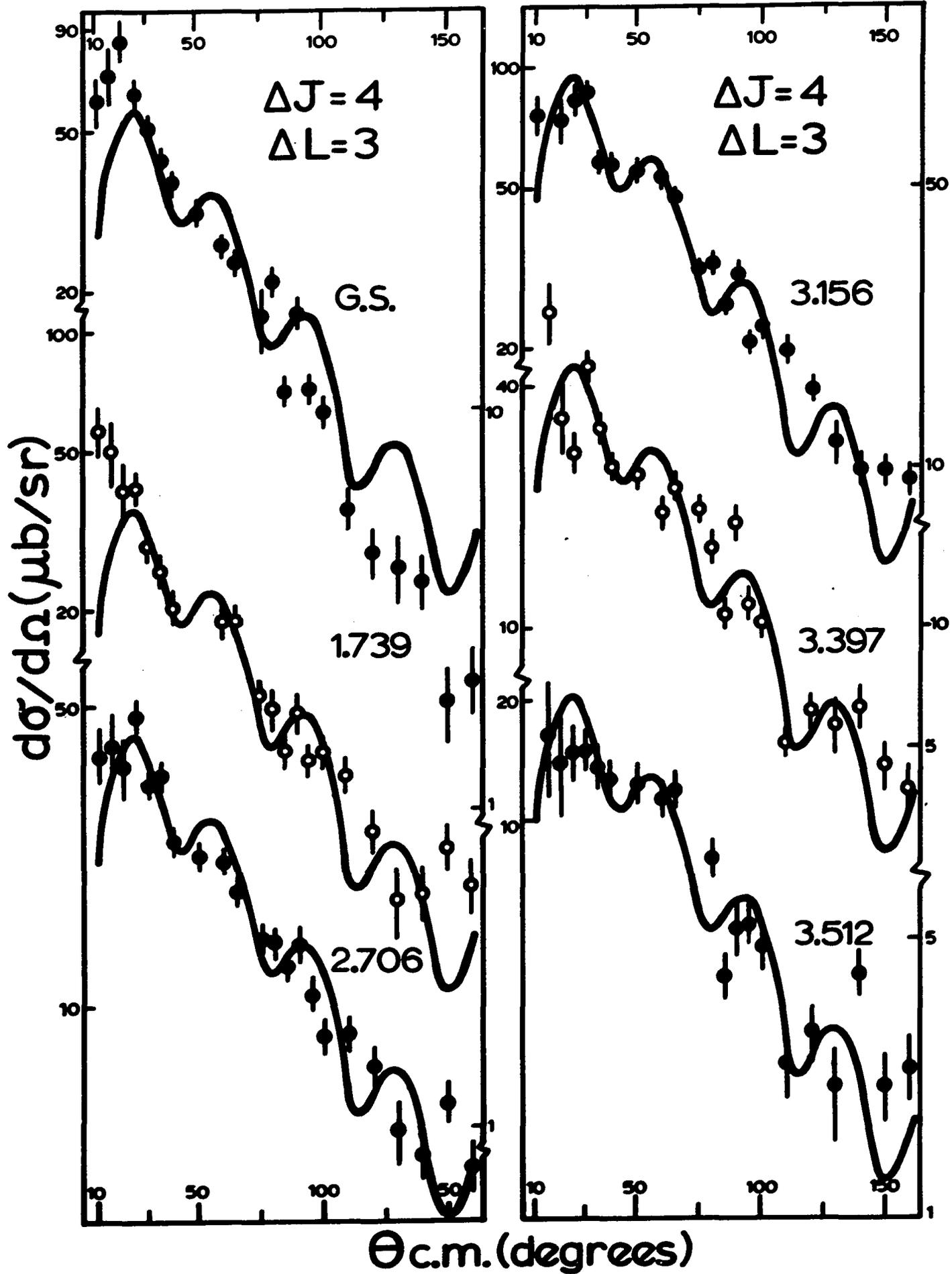
FIGURE 5-1

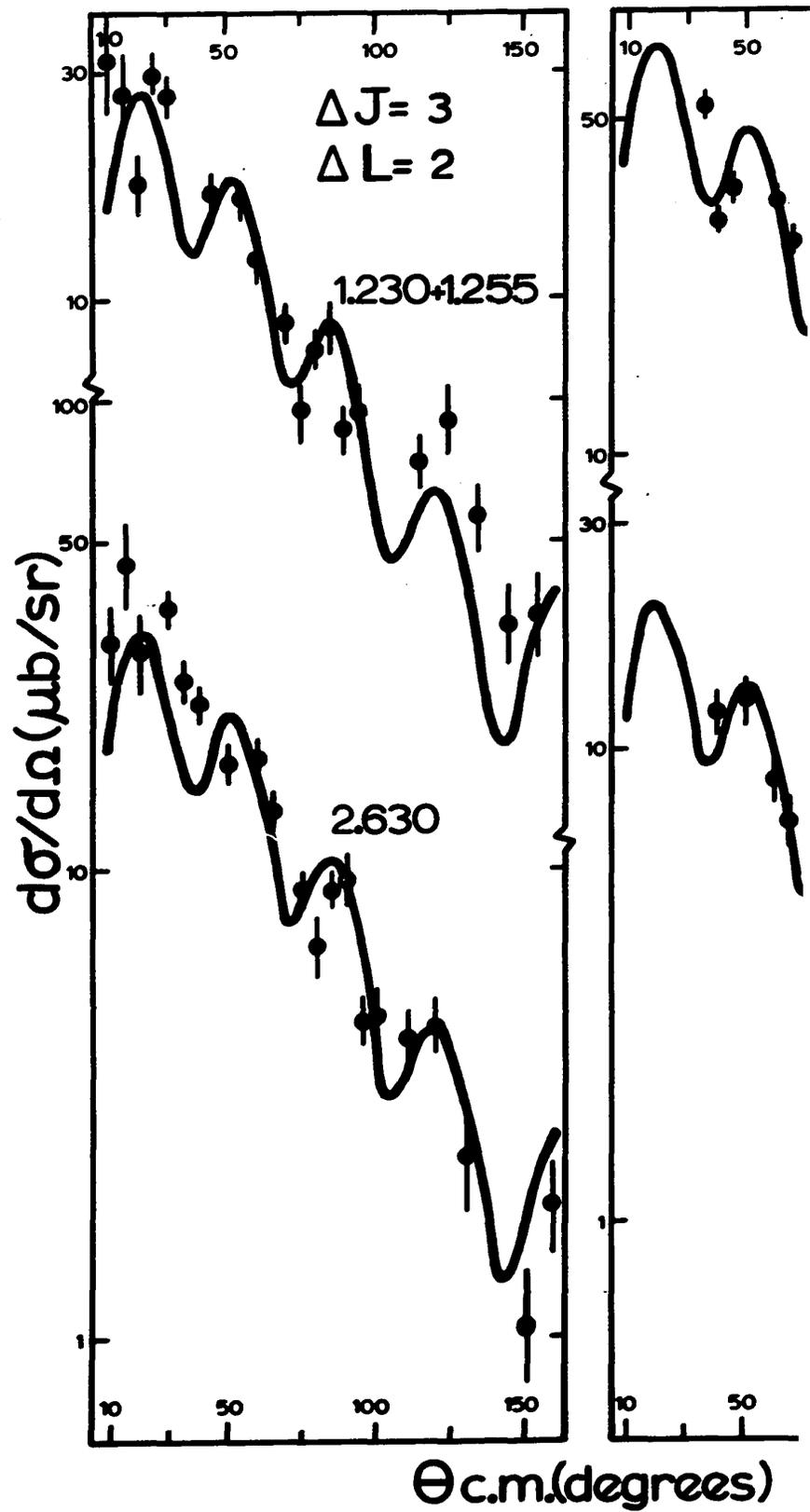
Distributions angulaires des sections efficaces différentielles

FIGURE 5-1

Les distributions angulaires des sections efficaces différentielles de la réaction $^{89}\text{Y} (d,\alpha) ^{87}\text{Sr}$ sont regroupées et données avec les courbes théoriques dans les pages qui suivent.

Remarque: La Fig. 5-1 devant servir à une publication ultérieure a nécessité l'usage de l'anglais.

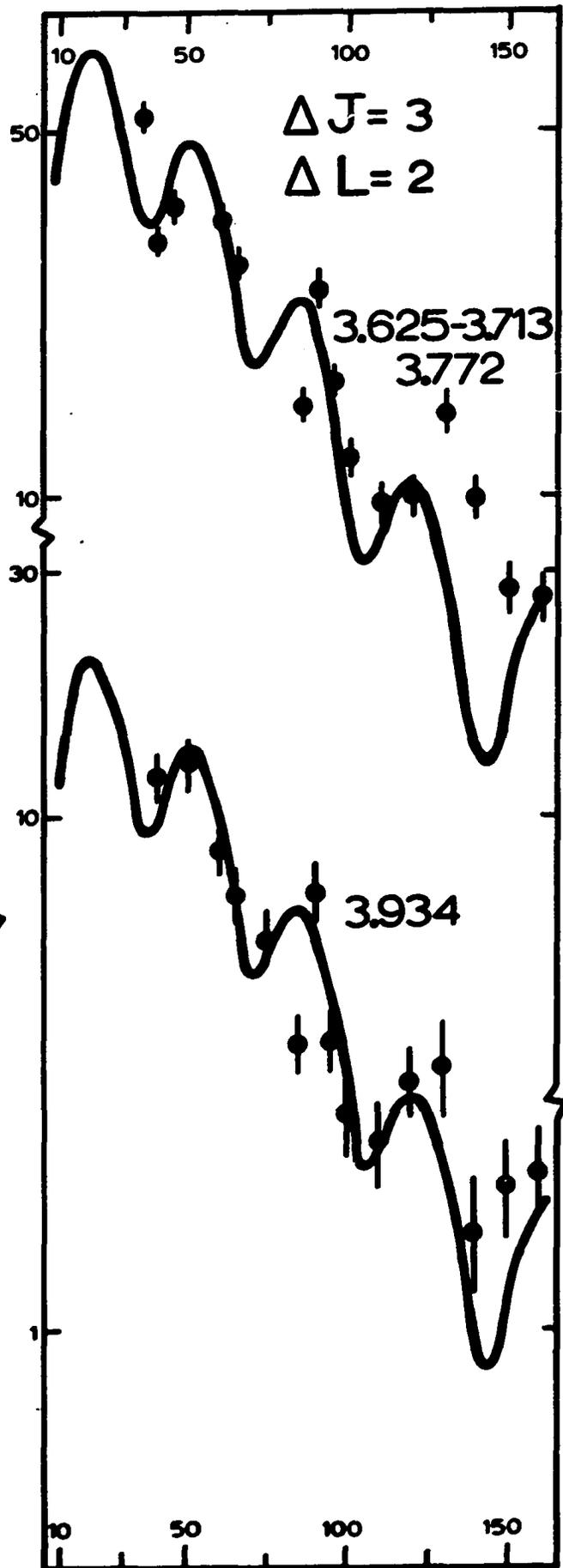
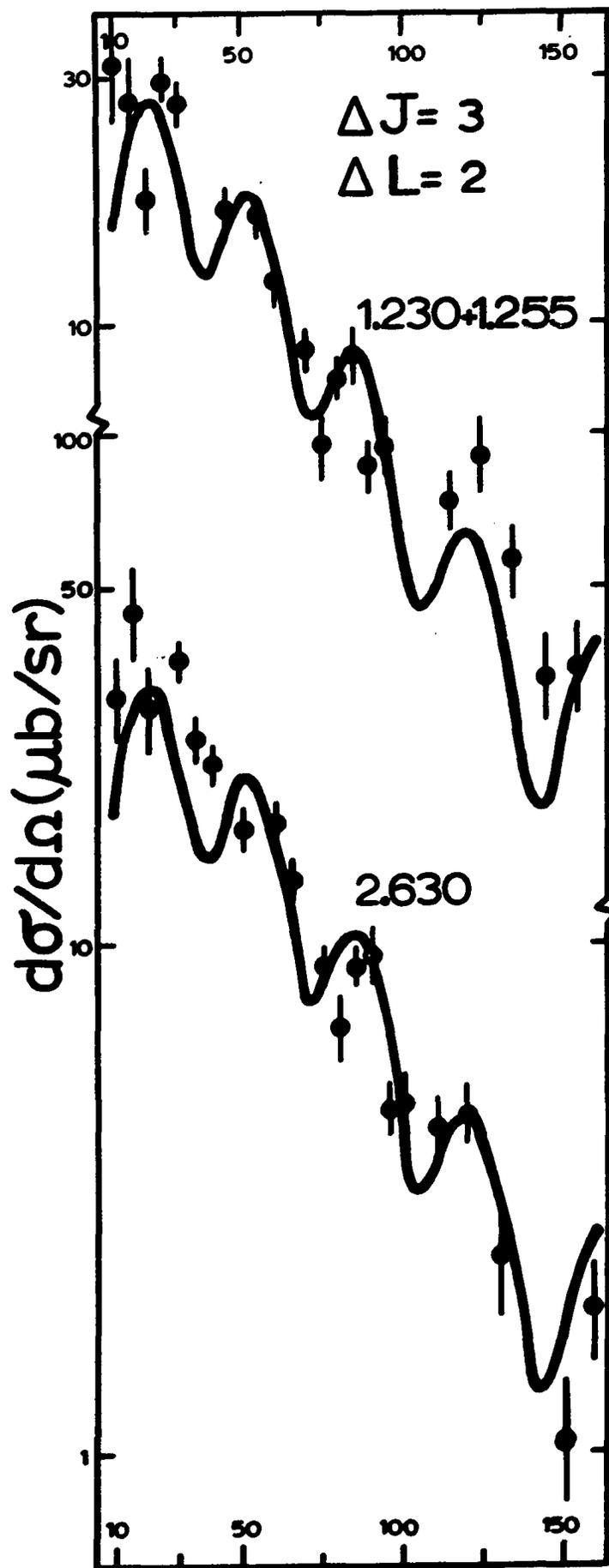




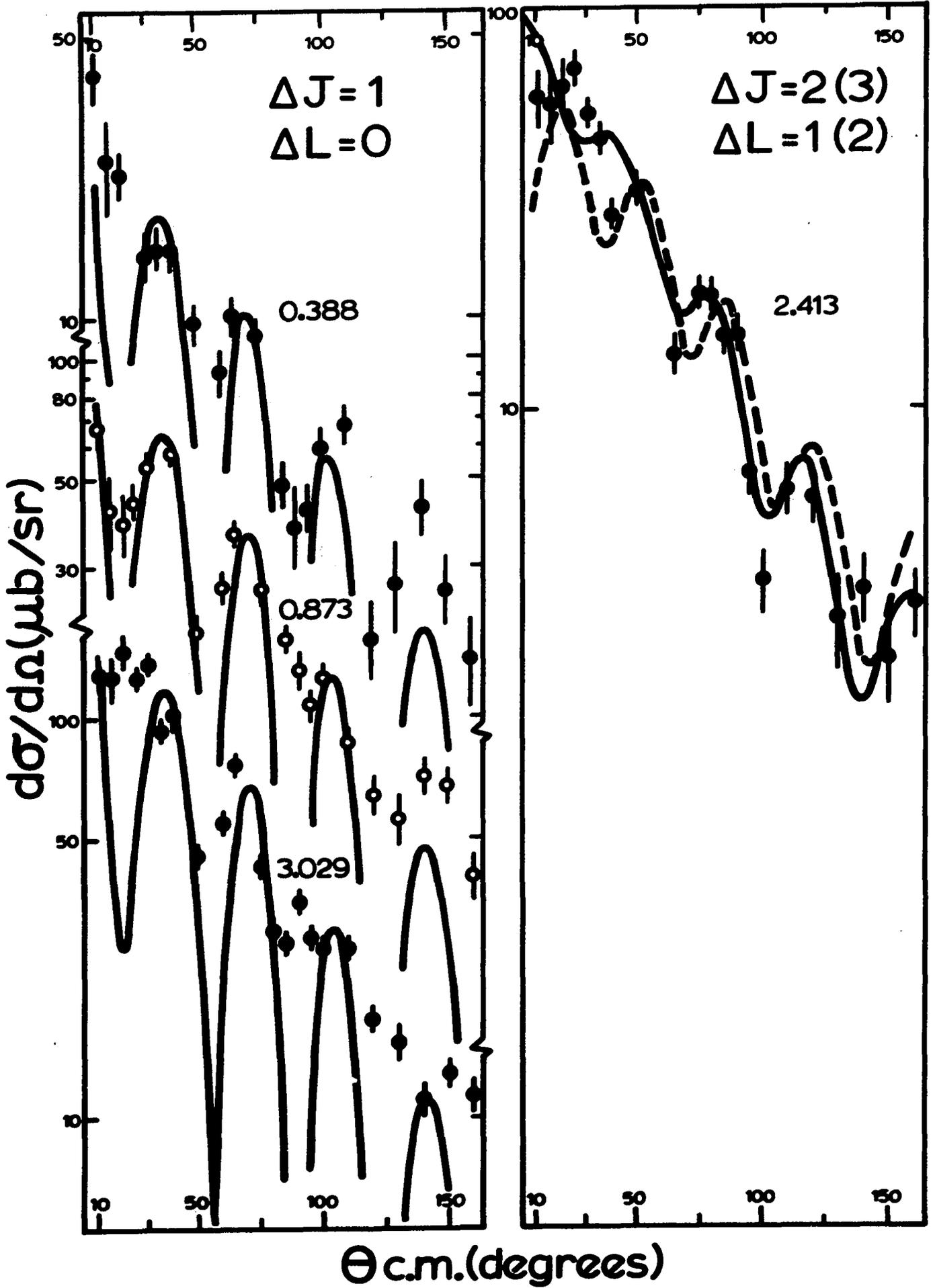
BIBLIOGRAPHIE

- No
- 1 I.S. Towner, J.C. Hardy, *Advances in Physics* 18, 74, (1970)
 - 2 W.W. Daehnick, Y.S. Park, *Phys. Rev.* 180, 4, (1969), 1068
 - 3 Y.S. Park, W.W. Daehnick, *Phys. Rev.* 180, 4, (1969), 1080
 - 4 M.B. Lewis, W.W. Daehnick, *Phys. Rev. C* 1, (1970), 1577.
 - 5 C.L. Lin, S. Yoschida, *Prog. of Theor. Phys.* 32, (1964), 115
 - 6 W. Darcey et al. (publications à venir).
 - 7 J. Morton, W.G. Davies, W. McLatchie, W. Darcey, J.E. Kitchin, *Nucl. Phys.* A161, (1971), 228.
 - 8 H.H. Bolotin, M.G. Strauss, D.A. McClure, *Nucl. Inst. and Meth.* 83, (1970), 1.
 - 9 P.M. Endt, C. Van der Leun, *Nucl. Phys.* A105, (1967), 1
 - 10 C. Maples, G.W. Goth, J. Cerney, *Nucl. Data A* 2, 5-6, (1968)
 - 11 E. Rabin, Mémoire de maîtrise, Univ. McGill (non-publié)
 - 12 K. Bucks et al., *Hahn-Meitner Inst.-Nucl. Phys. Prog. Report no. 17*.
 - 13 W. Darcey (communiqué personnel).
 - 14 R.W. Bercaw, R.E. Warner, *Phys. Rev. C* 2, (1970), 297.
 - 15 G. Bassani, J. Picard, *Nucl. Phys.* A131, (1969), 653.
 - 16 J. Nelson, B.E.F. Macefield, *Oxford Univ., Atlas Prog. Report no. 17*.
 - 17 W.R. Smith, *Nucl. Spect. with the dir. react., A.N.L. 6*

**END OF
REEL**



Θ c.m.(degrees)



BIBLIOGRAPHIE

- No
- 1 I.S. Towner, J.C. Hardy, *Advances in Physics* 18, 74, (1969), 401.
 - 2 W.W. Daehnick, Y.S. Park, *Phys. Rev.* 180, 4, (1969), 1069.
 - 3 Y.S. Park, W.W. Daehnick, *Phys. Rev.* 180, 4, (1969), 1082.
 - 4 M.B. Lewis, W.W. Daehnick, *Phys. Rev. C* 1, (1970), 1577.
 - 5 C.L. Lin, S. Yoschida, *Prog. of Theor. Phys.* 32, (1964), 885.
 - 6 W. Darcey et al. (publications à venir).
 - 7 J. Morton, W.G. Davies, W. McLatchie, W. Darcey, J.E. Kitching, *Nucl. Phys.* A161, (1971), 228.
 - 8 H.H. Bolotin, M.G. Strauss, D.A. McClure, *Nucl. Inst. and Meth.* 83, (1970), 1.
 - 9 P.M. Endt, C. Van der Leun, *Nucl. Phys.* A105, (1967), 1.
 - 10 C. Maples, G.W. Goth, J. Cerney, *Nucl. Data A* 2, 5-6, (1966), 429.
 - 11 E. Rabin, *Mémoire de maîtrise*, Univ. McGill (non-publié).
 - 12 K. Bucks et al., *Hahn-Meitner Inst.-Nucl. Phys. Prog. Rept.* (1962), 23.
 - 13 W. Darcey (communiqué personnel).
 - 14 R.W. Bercaw, R.E. Warner, *Phys. Rev. C* 2, (1970), 297.
 - 15 G. Bassani, J. Picard, *Nucl. Phys.* A131, (1969), 653.
 - 16 J. Nelson, B.E.F. Macefield, *Oxford Univ., Atlas Prog. Library Report no. 17*.
 - 17 W.R. Smith, *Nucl. Spect. with the dir. react.*, A.N.L. 6848, 32.