LE JOURNAL DE PHYSIQUE ET LE RADIUM

TOME 22, OCTOBRE 1961 PAGE 565.

**ÉTUDE DE CERTAINES RÉACTIONS (d, γ)
DANS LA RÉGION D'EXCITATION DES RÉSONANCES GÉANTES**

Par M. SUFFERT, M^{me} D. MAGNAC-VALETTE et J. YOCOZ,

Département de Physique Corpusculaire, C. R. N., Strasbourg.

Résumé. — On observe des photons γ d'environ 20 MeV de désexcitation de certains noyaux excités par des deutérons. On a pu ainsi effectuer la mesure des sections efficaces des réactions $^9\text{Be}(d, \gamma)^{11}\text{B}$, $^{11}\text{B}(d, \gamma)^{13}\text{C}$, $^{14}\text{N}(d, \gamma)^{16}\text{O}$ et $^{19}\text{F}(d, \gamma)^{21}\text{Ne}$ à des énergies de deutérons variant de 1 à 5,6 MeV. On donne une brève description du dispositif expérimental ainsi que les résultats préliminaires des mesures effectuées.

Abstract. — Using direct observation of γ -transitions in nuclei excited at about 20 MeV by deuterons, we have measured the cross-sections of the reactions $^9\text{Be}(d, \gamma)^{11}\text{B}$, $^{11}\text{B}(d, \gamma)^{13}\text{C}$, $^{14}\text{N}(d, \gamma)^{16}\text{O}$ et $^{19}\text{F}(d, \gamma)^{21}\text{Ne}$ at incident energies varying from 1 to 5.6 MeV. After a short description of the experimental arrangement the first results of the measurements are given.

Introduction. — L'étude des réactions inverses des réactions photonucléaires a été entreprise ces dernières années par un certain nombre d'auteurs

et a donné de bons résultats, surtout dans le cas des réactions induites par protons [1], [2]. En particulier, la bonne résolution en énergie du faisceau de

particules permet dans certains cas de mettre en évidence une structure fine.

Peu d'expériences de ce genre ont été réalisées en utilisant des deutérons comme particules incidentes. [3], [4], [5], [6]. Or, les réactions photo-nucléaires du type (γ, d) sont assez difficiles à mettre en évidence expérimentalement [7], [2] et il nous a paru intéressant d'entreprendre une étude expérimentale des réactions (d, γ) dans le domaine d'énergie de la résonance géante. En effet, en utilisant des énergies de deutérons de 1 à 6 MeV et des noyaux cibles d'éléments légers, on peut atteindre dans plusieurs cas une énergie d'excitation de l'ordre de 20 MeV. Par contre, les sections efficaces sont très faibles et doivent être mesurées dans un bruit de fond intense dû aux réactions de compétition et à la production de neutrons.

Les noyaux cibles étant des noyaux légers, nous avons éliminé les noyaux pair-pair, car ils donnent lieu à des réactions dont le bilan est trop faible. Les noyaux cibles du type $N = Z$ donnent lieu à un noyau final du même type dans lequel en principe, le spin isotopique interdit l'émission dipolaire. Nous avons étudié dans cet ordre d'idées la réaction $^{14}\text{N}(d, \gamma)^{16}\text{O}$ ($Q = 20,73$ MeV). Enfin, les noyaux cibles avec A impair donnent lieu à des réactions dont le bilan est souvent suffisant dans notre cas et nous avons étudié les réactions $^9\text{Be}(d, \gamma)^{11}\text{B}$ ($Q = 15,82$ MeV), $^{11}\text{B}(d, \gamma)^{13}\text{C}$ ($Q = 18,68$ MeV) et $^{19}\text{F}(d, \gamma)^{21}\text{Ne}$ ($Q = 17,40$ MeV).

Dispositif expérimental. — La difficulté de mesure de la section efficace vient de la nécessité de faire une détermination absolue des différentes quantités qui la déterminent.

Le dispositif expérimental est schématisé dans la figure 1. Nous avons pris les précautions nécessaires afin d'avoir une mesure et une intégration correcte du courant cible. Dans le cas des expériences avec l'azote et le fluor, nous avons utilisé des cibles gazeuses, ce qui est particulièrement avantageux pour la détermination de l'épaisseur de la cible. La pression du gaz était de l'ordre de 1 atm et le trajet du faisceau dans le gaz avait une longueur de 10 mm. Une certaine dispersion en énergie du faisceau de particules n'ayant pas d'importance dans les expériences que nous envisageons, nous avons utilisé des fenêtres d'entrée de tantale ($6,35 \mu$) ou d'or (10μ).

Le compteur destiné à détecter et analyser les photons énergétiques, de l'ordre de 20 MeV, était un cristal cylindrique de NaI(Tl) de $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ associé par le fabricant à un photomultiplicateur Dumont 6363 (*). L'ensemble donnait une résolution en énergie de 9 % pour des photons de 660 keV. La détection se fait à 90° de la direction du faisceau de deutérons et un diaphragme en

plomb disposé entre la cible et le cristal nous a permis d'obtenir une résolution en énergie acceptable pour des photons énergétiques [8]. Remarquons

FIG. 1. — Schéma du dispositif expérimental.
1. Faisceau. — 2. Cible. — 3. Diaphragme longueur 15 cm, diamètres 3 et 4 cm. — 4. Cristal NaI(Tl) $4'' \times 4''$. — 5. PM Dumont 6363. — 6. Préampli.

FIG. 2. — Spectre d'impulsions donné par le détecteur pour des photons de 15,1 MeV provenant de la réaction $^{11}\text{B}(d, n)^{12}\text{C}$ à $E_d = 3$ MeV. Les points O sont les points expérimentaux obtenus avec le dispositif de la figure 1. La courbe en trait interrompu est la courbe de réponse extrapolée en utilisant les données de [8].

que cette résolution en énergie, qui était au début des expériences de 13,5 % pour un rayonnement γ de 15,1 MeV d'énergie s'est légèrement détériorée et n'est plus que de 15 % actuellement.

La figure 2 montre un spectre d'impulsions obte-

(*) Harshaw Matched Window Assembly.

nu à partir d'un rayonnement γ de 15,1 MeV d'énergie provenant de la réaction $^{11}\text{B}(\text{d}, \text{n})^{12}\text{C}$.

L'efficacité du compteur a été déterminée en tenant compte de cette forme du spectre et en supposant qu'elle ne varie plus lorsque l'énergie des photons augmente aux environs de 20 MeV [8].

L'électronique qui suit le compteur est classique, à part une modification sur le sélecteur d'amplitude 100 canaux intertechnique qui permet de supprimer le temps mort dû au taux de comptage élevé provenant des photons peu énergiques des réactions de compétition. Ce taux de comptage élevé a pour résultat deux autres phénomènes gênants. Premièrement, il provoque un glissement lent du gain du photomultiplicateur et oblige ainsi l'expérimentateur à procéder à de nombreux contrôles d'étalonnage, et deuxièmement, il favorise l'empilement des petites impulsions qui peuvent ainsi gêner les mesures dans la région intéressante du spectre. L'utilisation d'un sélecteur d'amplitude 256 canaux T. M. C., qui travaille avec des impulsions plus courtes, a permis récemment de réduire partiellement ce dernier phénomène.

Résultats expérimentaux. — Réaction $^{14}\text{N}(\text{d}, \gamma)^{16}\text{O}$. — Les résultats sont résumés dans le tableau 1.

TABLEAU 1

Ed ⁽¹⁾ MeV	ΔE ⁽²⁾ MeV	$E \text{ exc}$ ⁽³⁾ MeV	$d\sigma/d\Omega$ ^{(4) (5)} $\mu\text{b/stéradian}$
4,47	0,15	24,63	0,1 ⁽⁵⁾
3,38	0,19	23,68	0,1 ⁽⁵⁾
2,83	0,21	23,20	0,1 ⁽⁵⁾
2,54	0,23	22,95	$0,25 \pm 0,10$
2,26	0,25	22,70	$0,50 \pm 0,10$
2,02	0,26	22,49	$0,31 \pm 0,10$
1,28	0,36	21,85	0,1

⁽¹⁾ Ed = Énergie des deutérons au centre de la cible gazeuse.

⁽²⁾ ΔE = Perte d'énergie dans la cible d'après [9].

⁽³⁾ $E \text{ exc}$ = Énergie d'excitation dans ^{16}O correspond à Ed .

⁽⁴⁾ $d\sigma/d\Omega$ = Section efficace différentielle de la transition γ vers le niveau fondamental du ^{16}O .

⁽⁵⁾ Limite supérieure de $d\sigma/d\Omega$.

⁽⁶⁾ Les erreurs indiquées ne comportent pas l'erreur systématique possible sur l'étalonnage absolue.

Il ressort de ces résultats qu'à part la résonance à $Ed = 2,26$ MeV, il n'y a pas de production de transition γ dans ^{16}O avec une section efficace différentielle supérieure à $0,1 \mu\text{b/stéradian}$, limite de sensibilité actuelle dans ce cas.

Réaction $^9\text{Be}(\text{d}, \gamma)^{11}\text{B}$. — Nous avons utilisé deux cibles dont nous avons déterminé l'épaisseur en mesurant la courbe d'excitation de la réaction $^9\text{Be}(\text{p}, \alpha\gamma)^6\text{Li}$ à $Ep = 2,6$ MeV.

Dans le cas de la réaction $^9\text{Be} + \text{d}$, les réactions

de compétition, principalement du type (d, p) et (d, n) produisent des photons d'énergie faible par rapport à l'énergie des photons recherchés. Les empilements sont alors peu gênants et on peut obtenir une bonne discrimination par rapport au bruit de fond dû au rayonnement cosmique. Pour ces expériences, la limite de sensibilité est de l'ordre de $0,05 \mu\text{b/stéradian}$ dans le cas le plus défavorable ($Ed = 5$ MeV) et descend à environ $0,03 \mu\text{b/stéradian}$ à $Ed = 1,3$ MeV.

FIG. 3. — Spectre d'impulsions typique obtenu au cours de l'étude de la réaction $^9\text{Be}(\text{d}, \gamma)^{11}\text{B}$. À droite, à partir du 65^e canal, le bruit de fond cosmique. L'étalonnage est le même que celui de la figure 2.

La figure 3 montre un spectre d'impulsions pris à $Ed = 1,3$ MeV. Deux pics se détachent nettement du bruit de fond cosmique et de la montée des empilements vers les basses énergies et nous attribuons ces deux raies à des transitions vers le niveau

TABLEAU 2

Ed MeV	ΔE ⁽¹⁾ MeV	$E \text{ exc}$ ⁽²⁾ MeV	$d\sigma/d\Omega$ ^{(3) (4)} $\mu\text{b/stéradian}$	REMARQUES
5,6	0,27	20,29	$0,22 \pm 0,05$	cible 1
5,0	0,30	19,79	$0,30 \pm 0,05$	
4,0	0,35	18,95	$0,41 \pm 0,05$	
3,0	0,44	18,10	$0,56 \pm 0,05$	
3,0	0,22	18,19	$0,44 \pm 0,05$	cible 2
2,0	0,31	17,33	$0,49 \pm 0,04$	
1,3	0,41	17,72	$0,62 \pm 0,03$	

⁽¹⁾ ΔE = Perte d'énergie dans la cible calculée d'après [9].

⁽²⁾ $E \text{ exc}$ = Énergie d'excitation moyenne dans le ^{11}B .

⁽³⁾ $d\sigma/d\Omega$ = Section efficace différentielle pour la transition vers le niveau fondamental dans ^{11}B .

⁽⁴⁾ Les erreurs indiquées ne comportent pas l'erreur systématique possible sur l'étalonnage absolue, en particulier sur l'épaisseur de la cible.

fondamental et le premier niveau excité du ^{11}B . Cette configuration se retrouve dans tous les spectres pris à différentes énergies incidentes. Les intensités des deux raies sont comparables.

Le tableau 2 donne les résultats expérimentaux concernant la transition vers le niveau fondamental

Réactions $^{11}\text{B}(\text{d}, \gamma)^{13}\text{C}$ et $^{19}\text{F}(\text{d}, \gamma)^{21}\text{Ne}$. — Dans le cas des réactions avec les cibles de bore 11 (*) et de fluor, les rayonnements gamma provenant des réactions de compétition sont assez énergiques pour que l'empilement des impulsions correspondantes empêchent avec le dispositif actuel une détermi-

(*) Fournie par Harwell.

nation de la section efficace. En particulier, dans le cas de la cible de ^{11}B , on obtient la raie intense de 15,1 MeV de la réaction $^{11}\text{B}(\text{d}, n\gamma)^{12}\text{C}$ [10].

Mais les indications que nous avons pu obtenir pendant ces expériences, nous font penser que l'étude pourra être reprise avec succès à l'aide d'un dispositif expérimental amélioré, en particulier dans le cas de la réaction $^{19}\text{F} + \text{d}$.

* *

Nous remercions vivement M. le Pr P. Cuer pour son aide et ses conseils ainsi que l'équipe du Van de Graaff, dirigée par MM. Letournel et Tessier qui a permis la réalisation de ce travail.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GEMMEL (D. S.), MORTON (A. H.) et TITTERTON (E. W.), *Nuclear Physics*, 1959, **10**, 33.
- [2] KARLSRUHE, Photonuclear Conference, août 1960.
- [3] BLAIR (J. M.), HINTZ (N. M.) et VAN PATTER (D. M.), *Phys. Rev.*, 1954, **96**, 1023.
- [4] SINCLAIR (R. M.), *Phys. Rev.*, 1954, **93**, 1082.
- [5] ALLAN (H. R.) et SARMA (N.), *Proc. Phys. Soc.*, 1955, A **68**, 535.
- [6] CARVER (J. H.) et JONES (G. A.), *Nucl. Physics*, 1959, **11**, 400.
- [7] RING (L. S.), *Phys. Rev.*, 1955, **99**, 137.
- [8] KOCKUM (J.) et STARFELD (N.), *Nucl. Physics*, 1959, **4**, 171.
- [9] WHALING (W.), *Handb uch der Physik*, 1953, **34**, 202.
- [10] KAVANAGH (R. W.) et BARNES (C. A.), *Phys. Rev.*, 1958, **112**, 503.