

NOTAS DE FÍSICA

VOLUME VIII

Nº 7

ETUDE DES RÉACTIONS PRODUITES PAR DES IONS DE  ${}^6\text{Li}$   
SUR LE BÉRYLLIUM

par

C. Lemeille, N. Saunier

M. Coste et L. Marquez

CENTRO BRASILEIRO DE PESQUISAS FÍSICAS

Av. Wenceslau Braz, 71

RIO DE JANEIRO

1961

ETUDE DES RÉACTIONS PRODUITES PAR DES IONS DE  ${}^6\text{Li}$   
SUR LE BÉRYLLIUM

C. Lemeille, N. Saunier  
Section de Physique Nucléaire à Basse Energie  
C.E.N., Saclay

M. Coste  
Laboratoire de Physique Nucléaire, Faculté des Sciences, Bordeaux  
et

L. Marquez \*  
Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas  
Rio de Janeiro, Brasil

(Reçu le 4 Aout, 1961)

**RÉSUMÉ:** Nous avons étudié les réactions nucléaires produites par les ions de  ${}^6\text{Li}$  sur le béryllium, avec énergie variable jusqu'à 2 MeV. Nous indiquons les résultats obtenus avec des scintillateurs, des plaques nucléaires et des jonctions. Les mécanismes possibles des réactions observées sont discutés.

**ABSTRACT:** We have studied the nuclear reactions produced by  $\text{Li}^6$  ions of energy up to 2 MeV on Be. The results obtained by scintillation counters, nuclear plates and junctions are presented. Possible reaction mechanisms are discussed.

\* En stage au Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay

## I. INTRODUCTION.

Nous avons utilisé le Van de Graaff de 2 MeV de Saclay pour accélérer, selon la technique de Allison et ses collaborateurs<sup>(1)</sup> des ions  ${}^6\text{Li}$ . Dans un premier travail, nous avons étudié les réactions nucléaires produites par ces ions sur une cible de  ${}^9\text{Be}$ <sup>(2)</sup>.

Nous avons trouvé des raies  $\gamma$  de forte intensité qui correspondaient au premier état excité de  ${}^7\text{Li}$  de 479 keV et au premier état excité de  ${}^{10}\text{B}$  de 717 keV. Nous avons également mis en évidence des  $\gamma$  de plus faible intensité.

Dans les lignes qui suivent nous exposons les résultats obtenus dans la suite de nos expériences.

## II. OBSERVATION DU SPECTRE $\gamma$ AVEC UN SCINTILLATEUR.

Un détecteur muni d'un scintillateur NaI (Cs) de 3,8 cm de diamètre et de 5 cm de hauteur nous a permis d'enregistrer le spectre de rayons  $\gamma$  émis sur un sélecteur R.I.D.L. à 100 canaux, précédé du dispositif électronique usuel. Le compteur était placé à  $0^\circ$  par rapport au faisceau et à 3 cm d'une cible épaisse de béryllium. En faisant varier le gain, nous avons observé différentes raies  $\gamma$  d'énergies plus fortes. Les résultats obtenus sont notés sur les figures 1 et 2.

La raie de 1010 keV provient probablement de la transition entre le deuxième et le premier état excité de  ${}^{10}\text{B}$ . Celle de 2110 keV peut provenir, soit du premier état excité de  ${}^{11}\text{B}$ , soit du troisième état excité de  ${}^{10}\text{B}$ , soit du premier état excité de  ${}^{13}\text{C}$  de 3090 keV, car  $h\nu_0 - 2mc^2 = (3090 - 1022) \text{ keV} = 2068 \text{ keV}$ .

Nous observons une raie de 2700 keV qui pourrait être un mélange de Compton et du pic de 3090 keV avec perte d'un seul photon d'annihilation. La raie trouvée à 3160 keV semble correspondre au pic de 3090 keV.

Les intensités des autres raies  $\gamma$  sont, compte tenu des efficacités relatives, au maximum quatre fois plus faibles que celle de 479 keV.

Les intensités des raies de 479 keV et 717 keV ont été mesurées en fonction de l'énergie de  ${}^6\text{Li}$ . Ces mesures ont été faites par intervalles de 0,05 MeV dans un domaine d'énergie compris entre 1 et 2 MeV. Nous avons utilisé une cible mince de béryllium déposé sur tantale. Cette cible était placée dans une chambre reliée à un intégrateur indiquant le nombre de microcoulombs déposés. Les courbes de la figure 3 sont tracées à partir des résultats obtenus. La cible utilisée étant mince, les ordonnées sont proportionnelles à la section efficace. Nos résultats sont d'autre part en accord avec les courbes théoriques fournies par le calcul du facteur de Gamow.

Pour la raie de 479 keV, dans le cas de l'irradiation d'une cible épaisse par le  ${}^6\text{Li}$  de 2 MeV, le rendement est de l'ordre de  $5 \times 10^4$  gamma / microcoulomb de  $\text{Li}^+$ , l'erreur commise étant de 50%.

Nous avons mesuré le rapport des intensités des raies de 479 keV et 717 keV pour différentes valeurs de l'énergie de  ${}^6\text{Li}$ . La mesure de ce rapport a été faite plusieurs fois pour chaque point avec une bonne précision, les deux raies étant enregistrées sur le même spectre et au cours de la même irradiation. Le tableau I a

été établi à partir des résultats obtenus après correction d'efficacité, celle-ci restant la même pour toutes les mesures. Nous remarquons que le rapport considéré est constant dans l'étroite limite des erreurs expérimentales.

Nous avons également mesuré l'effet Doppler-Fizeau produit sur la raie de 479 keV. Pour effectuer cette mesure, le compteur de NaI a été placé à 0° et à 90° par rapport au faisceau et à 4 cm de la cible. On a trouvé un déplacement de la raie positif avec  $\beta_L = (0,77 \pm 0,14) \times 10^{-2}$ . L'énergie moyenne des  ${}^6\text{Li}$  qui produisent la réaction étant de 1,8 MeV, la vitesse du centre de masse est donnée par  $\beta_0 = 1,02 \times 10^{-2}$ . Donc en moyenne, le  ${}^7\text{Li}$  dans le centre de masse sort vers l'arrière avec une faible composante moyenne de la vitesse dans la direction contraire du faisceau et telle que

$$\beta_C = - (0,25 \pm 0,14) \times 10^{-2}.$$

### III. OBSERVATION DES PARTICULES CHARGÉES AU MOYEN DE PLAQUES NUCLEAIRES.

L'étude des particules chargées provenant de la réaction a été faite au moyen de plaques nucléaires et de jonctions. Pour déterminer la réaction qui produit le  ${}^7\text{Li}$  et le  ${}^{10}\text{B}$ , nous pensons examiner les particules chargées émises préférentiellement dans le demi-cône avant avec une énergie de quelques MeV.

La réaction  ${}^6\text{Li} + {}^1\text{H} = {}^3\text{He} + {}^4\text{He}$  qui se produit à basse énergie nous a empêchés d'effectuer les observations dans cette région. L'hydrogène qui provoque cette réaction pourrait provenir des ma -

tières organiques des joints et de la pompe à diffusion. Les intensités des pics  $^3\text{He}$  et  $^4\text{He}$  sont environ 10 fois plus élevées que celles des réactions recherchées. La figure 4 représente l'histogramme obtenu avec une plaque à  $42^\circ$ .

#### IV. OBSERVATION DES PARTICULES CHARGÉES AU MOYEN DE JONCTIONS.

Il est possible d'effectuer des mesures dans le domaine de  $90^\circ$  à  $180^\circ$  sans être gêné par la réaction due à l'hydrogène. Des observations ont été faites dans cette région avec un compteur à jonction.

Dispositif Expérimental: Nous avons à notre disposition une jonction R.C.A. au silicium type p de  $20 \text{ mm}^2$ , et le matériel électronique courant: un préamplificateur gain 25 légèrement modifié, suivi d'un amplificateur proportionnel 2 Mc type C.E.A. La jonction était placée à 5 cm de la cible et son fonctionnement sous vide pendant un mois ne l'a pas détériorée. La position du préamplificateur à l'extérieur de la chambre à diffusion et la géométrie de cette dernière nous ont imposé une liaison capacitive de 10 à 20 pF; d'où une perte de résolution du détecteur que nous pensons éviter au cours des prochaines expériences en utilisant un préampli de charge.

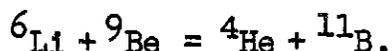
Avec une source naturelle d'alpha (Th C') et pour une tension de 45 V appliquée à la jonction, nous avons obtenu des raies dont la largeur à mi-hauteur ( $\Gamma$ ), indépendante de l'énergie des particules détectées dans le cas d'une jonction, est le 135 keV, en connectant directement la jonction au préamplificateur. Dans les con

ditions de nos expériences:  $\Gamma = 300$  keV.

Cette résolution a été obtenue sans aucune précaution spéciale. Elle est très loin des conditions optimum des jonctions, mais elle a été suffisante pour nos mesures.

Sur la figure 5, qui représente le spectre des particules chargées observé à  $120^\circ$ , il est possible de séparer les pics  $\alpha_3$  et  $\alpha_2$  auxquels correspondent des énergies différant de 380 keV; pour  $\alpha_0$  le  $\Gamma$  mesuré est de 340 keV, les raies pouvant d'ailleurs présenter un élargissement supplémentaire dû à la variation relativement rapide de l'énergie des particules détectées en fonction de l'angle. Avec le cristal de CsI que nous possédions, la meilleure résolution obtenue était de l'ordre de 20%.

Résultats Expérimentaux: Les raies marquées  $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ , ont été identifiées et correspondent à l'état fondamental et aux trois premiers états excités de  $^{11}\text{B}$ . La réaction qui produit les alpha est la suivante:



Ces quatre groupes d'alpha ont déjà été trouvés et étudiés par Leigh et Blair<sup>(3)</sup> dont nous avons vérifié les résultats.

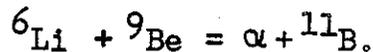
Dans la région de basse énergie, plusieurs raies plus intenses, dont l'identification n'est pas encore définitive, apparaissent.

## V. INTERPRETATION DES RESULTATS

Parmi les résultats obtenus, il semble intéressant de souligner ceux qui concernent la production intense de  ${}^7\text{Li}$  et de  ${}^{10}\text{B}$  et le rapport constant des sections efficaces de formation des pre-

miers états excités de  ${}^7\text{Li}$  et de  ${}^{10}\text{B}$  en fonction de l'énergie du  ${}^6\text{Li}$  incident.

Ces données expérimentales nous conduisent à deux hypothèses: le  ${}^7\text{Li}$  et le  ${}^{10}\text{B}$  proviennent, soit de la désintégration d'un seul état excité de  ${}^{11}\text{B}$ , soit de la désintégration des niveaux différents de  ${}^{11}\text{B}$  dont les rapports de désintégration doivent être identiques. Nous pouvons supposer, d'accord avec ces hypothèses, que la réaction primaire se produit par stripping du deutéron de  ${}^6\text{Li}$ , ce dernier étant alors constitué d'un deutéron et d'un alpha. Dans ce cas, la réaction qui se produit est:



Le  ${}^4\text{He}$  emporte une énergie de 1 à 2 MeV. Le  ${}^{11}\text{B}$  est formé dans un état très excité et se désintègre en  $\alpha + {}^6\text{Li}$  ou  $n + {}^{10}\text{B}$ . L'énergie disponible dans notre réaction étant de 14,35 MeV, nous pouvons atteindre les niveaux de  ${}^{11}\text{B}$  de 13,16 MeV, 14,0 MeV et 15,1 MeV. Ces trois niveaux se désexcitent par émission de  $\alpha$  et  $n$ <sup>(4)</sup>.

Dans notre première communication<sup>(2)</sup>, nous avons envisagé la possibilité de l'existence des réactions de transfert d'un seul nucléon; nous poursuivons nos expériences afin d'obtenir des résultats complémentaires qui préciseront la contribution relative des deux mécanismes suggérés.

Nous remercions Monsieur le Professeur Chastel pour la collaboration apportée par le Laboratoire de Physique Nucléaire de Bordeaux, Messieurs A. Claes et J. Petres pour la conduite du Van de Graaff, Monsieur J. Quidort pour la mise en route du détecteur à jonction, Madame Bouraoui et Mademoiselle Garrabos pour le dépouil

lement des plaques.

Nous remercions particulièrement Monsieur E. Cotton qui nous a encouragés au cours de nos expériences.

### Références

- (1) ALLISON (S.K.) et LITTLEJOHN (C.S.), Phys. Rev., 1956, 104, 959.
- (2) MARQUEZ (L.), J. Physique Rad., 1960, 21, 355.
- (3) LEIGH (J.J.) et BLAIR (J.M.), Phys. Rev., 1961, 121, 246.
- (4) AJZENBERG-SELOVE (F.) et LAURITSEN (T.), Nuclear Physics, 1959, 11, 94.

\* \* \*

Tableau 1

Energie du ${}^6\text{Li}$ (MeV)	Rapport $\frac{I(479 \text{ keV})}{I(717 \text{ keV})}$	déviati'on standard
1,1	,93	,19
1,2	1,05	,06
1,3	,99	,04
1,4	1,01	,02
1,5	,96	,02
1,6	,98	,02
1,7	,97	,02
1,8	,98	,02
1,9	1,01	,02
2,0	1,05	,04

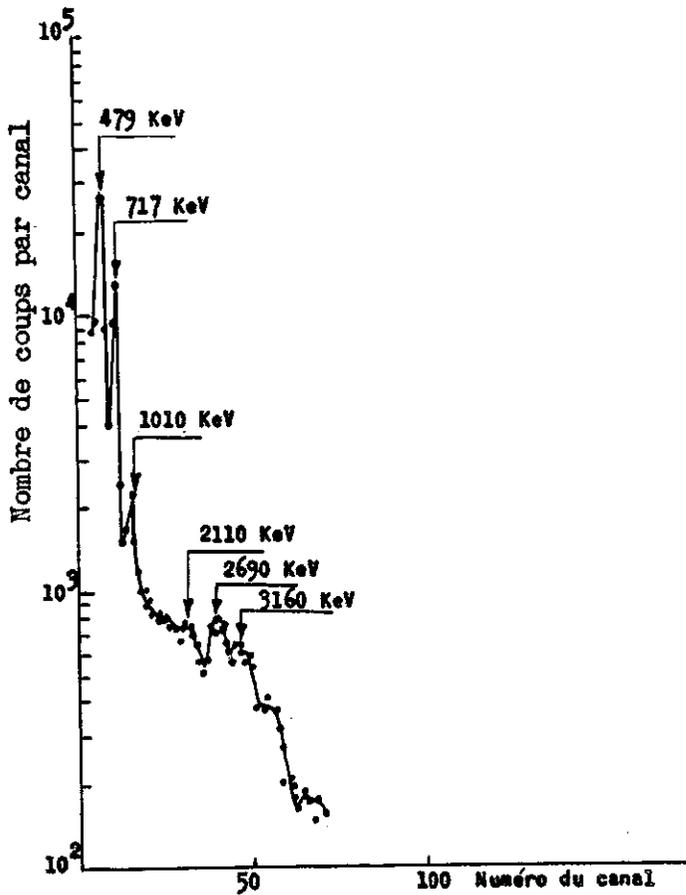
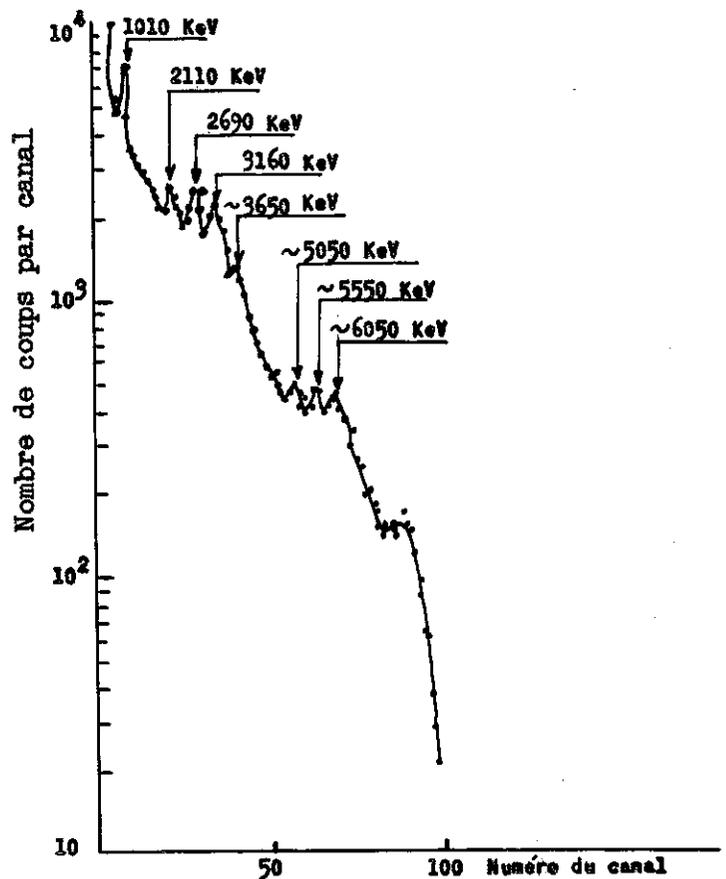


Fig. 1 - Spectre de rayons  $\gamma$  de 300 keV à 4000 keV provenant de la réaction du  ${}^6\text{Li}$  de 2,0 MeV sur  ${}^9\text{Be}$ .

Fig. 2 - Spectre de rayons  $\gamma$  de 1000 keV à 7000 keV provenant de la réaction du  ${}^6\text{Li}$  de 2,0 MeV sur  ${}^9\text{Be}$ .



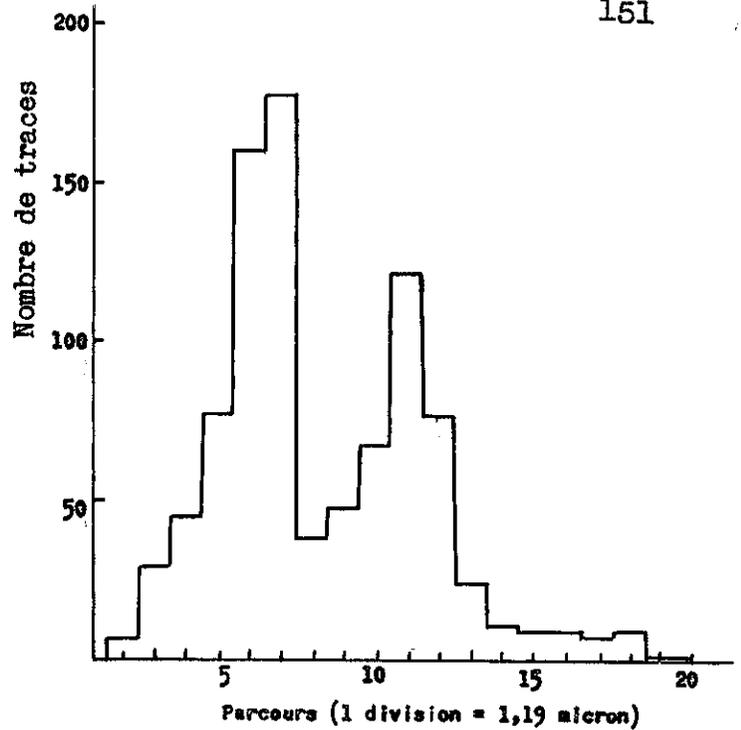
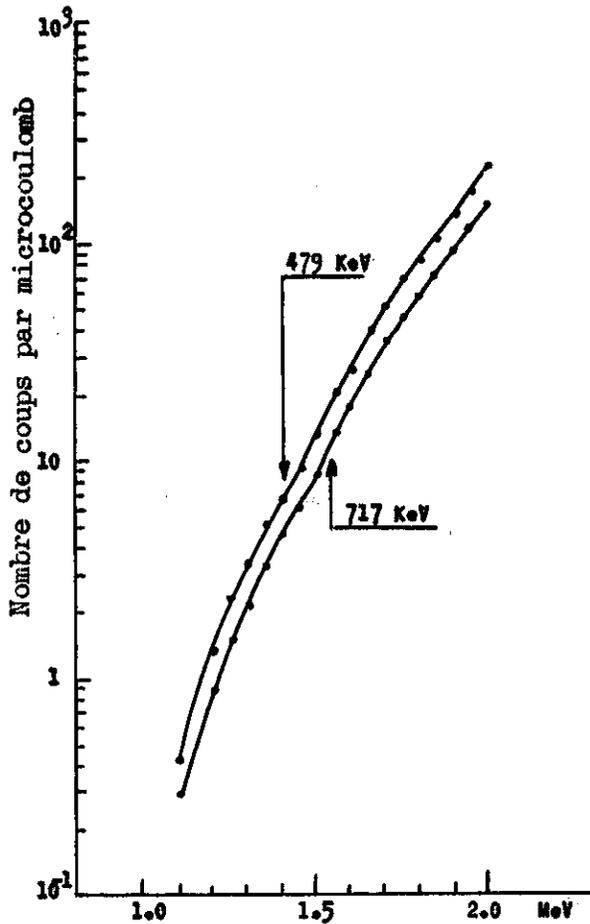


Fig. 3 - Rendement des raies de 479 keV et 717 keV en fonction de l'énergie de  ${}^6\text{Li}$  sur une cible mince de  ${}^9\text{Be}$ .

Fig. 4 - Histogramme des particules chargées provenant de la réaction de  ${}^6\text{Li}$  de 2,0 MeV sur  ${}^9\text{Be}$ , observé à  $42^\circ$ . Le premier pic est celui de  ${}^4\text{He}$  et le deuxième celui de  ${}^3\text{He}$  de la réaction  ${}^6\text{Li} + {}^1\text{H} = {}^4\text{He} + {}^3\text{He}$ .

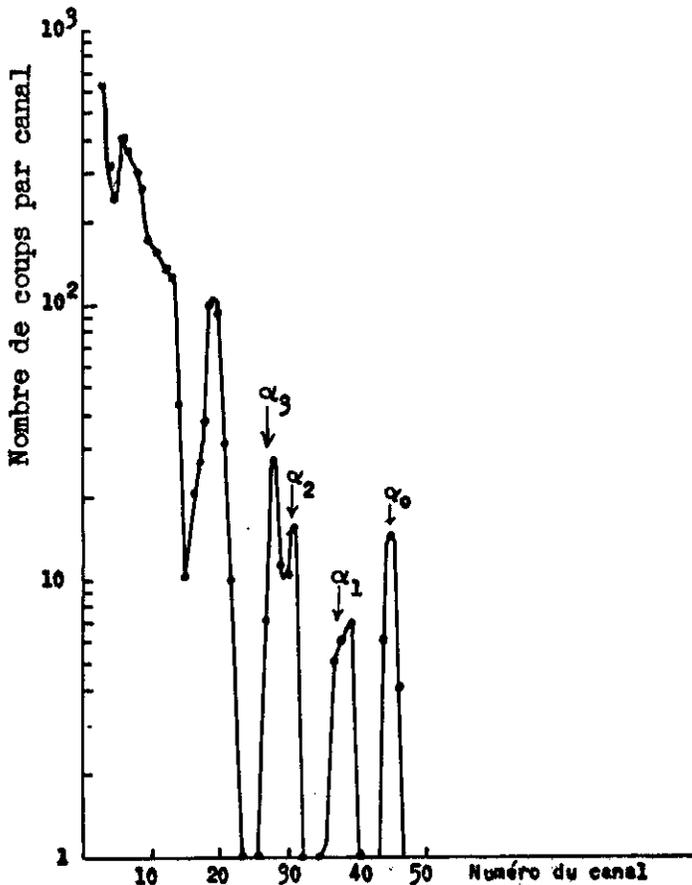


Fig. 5 - Spectre des particules chargées provenant de la réaction de  ${}^6\text{Li}$  sur  ${}^9\text{Be}$ , observé à  $120^\circ$ . Les pics d'alpha indiqués sur la figure proviennent de la réaction  ${}^6\text{Li} + {}^9\text{Be} = \alpha + {}^{11}\text{B}$ .