



HAL
open science

Niveaux excités de ^{11}B observés dans la diffusion $^4\text{He} + ^7\text{Li}$

J.P. Stoquert, N. Bendjaballah, H. Beaumeville, C. Gérardin, R. Seltz

► **To cite this version:**

J.P. Stoquert, N. Bendjaballah, H. Beaumeville, C. Gérardin, R. Seltz. Niveaux excités de ^{11}B observés dans la diffusion $^4\text{He} + ^7\text{Li}$. *Journal de Physique*, 1979, 40 (9), pp.813-817. 10.1051/jphys:01979004009081300 . jpa-00209166

HAL Id: jpa-00209166

<https://hal.science/jpa-00209166>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE JOURNAL DE PHYSIQUE

Classification
Physics Abstracts
25.60 — 27.20

Niveaux excités de ^{11}B observés dans la diffusion $^4\text{He} + ^7\text{Li}$

J. P. Stoquert, N. Bendjaballah, H. Beaumevielle

C.S.T.N., B.P. 1017, Alger, Algérie

C. Gérardin et R. Seltz

C.R.N. et U.L.P., Basses Energies, 67037 Strasbourg Cedex, France

(Reçu le 26 mars 1979, accepté le 7 mai 1979)

Résumé. — Les sections efficaces différentielles de la diffusion élastique $^7\text{Li}(\alpha, \alpha) ^7\text{Li}$ ont été mesurées entre $E = 1,36$ et $3,20$ MeV. L'analyse cohérente de ces résultats et de ceux de la diffusion inélastique a été effectuée au moyen du formalisme de la matrice R . Les paramètres des niveaux de ^{11}B à $E_x = 9,87; 10,26; 10,33; 10,38$ et $10,60$ MeV ont été déduits et comparés à ceux des niveaux analogues de ^{11}C .

Abstract. — The (α, α) scattering cross-sections on ^7Li have been measured between $E = 1.36$ and 3.20 MeV. The R -matrix formalism has been used for the analysis of these results together with inelastic scattering data. Parameters for levels in ^{11}B at $E_x = 9.87, 10.26, 10.33, 10.38$ and 10.60 MeV have been deduced and compared to those of analog states in ^{11}C .

Introduction. — La diffusion des particules alpha, d'énergie comprise entre 1,5 et 3,5 MeV, a été largement étudiée. Elle a été utilisée pour mesurer les caractéristiques du premier état excité de ^7Li à 0,478 MeV [1]. Les niveaux excités de ^{11}B [2], de 9,88 à 11,27 MeV, ont été mis en évidence par l'observation des résonances en diffusion élastique [3, 4] et inélastique [5, 6, 7, 8]. Une analyse de la section efficace totale inélastique de $E_\alpha = 1,5$ à $3,2$ MeV [8] par la théorie de la matrice R , a permis de préciser les caractéristiques des niveaux à 9,88 MeV ($3/2^+$), 10,24 MeV ($3/2^-$) et 10,60 MeV ($7/2^+$). Cependant, des incertitudes subsistent, concernant le niveau à 10,32 MeV et le niveau à 10,45 MeV dont l'existence est controversée. Par ailleurs, aucune analyse cohérente des diffusions élastique et inélastique n'a été présentée. Enfin, les comparaisons effectuées avec des calculs de modèles des couches [9, 10, 11, 12, 13] et unifiées [14, 15] ont permis d'identifier les états de ^{11}B observés expérimentalement, à des énergies d'excitation inférieures à 9 MeV. De récents résultats, obtenus dans le cadre du modèle des couches [16, 17] et du modèle microscopique [18, 19] rendent désormais possibles les comparaisons dans le domaine des énergies d'excitation de ^{11}B atteintes par la voie $^7\text{Li} + \alpha$.

Nous nous proposons d'apporter des informations sur les états de ^{11}B , situés entre 9,5 et 10,7 MeV, par la mesure des courbes d'excitation de diffusion élastique $^7\text{Li}(\alpha, \alpha) ^7\text{Li}$ à cinq angles différents. A ces énergies, seule la voie $^7\text{Li} + \alpha$ est ouverte. L'analyse cohérente de nos résultats expérimentaux et de ceux de la diffusion inélastique obtenus par ailleurs [8] permet de calculer les paramètres caractérisant les niveaux concernés en utilisant le formalisme de la matrice R [20, 21], puis de les comparer aux calculs récents de modèles.

1. Dispositif expérimental. — Le faisceau de particules alpha est fourni par l'accélérateur vertical Van de Graaff de 3,5 MeV du Centre de Recherches Nucléaires de Strasbourg. Les cibles sont constituées par $20 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ de ^7Li , déposé par évaporation sur $15 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ de ^{12}C . Au contact de l'air, le lithium se transforme en LiOH et les cibles sont exposées au faisceau sous cette forme. Les dépôts de carbone sur la cible sont minimisés par l'introduction d'une paroi refroidie à la température de l'azote liquide à l'intérieur de la chambre de réaction, décrite précédemment [22]. L'intensité du faisceau, mesurée dans une cage de Faraday, située derrière la cible, est environ

10 nA et la charge déposée par spectre est 30 μC . Les sections efficaces sont mesurées aux angles de diffusion suivants, dans le laboratoire : 40°, 50°, 60°, 70° et 90°, à l'aide de détecteurs semi-conducteurs à barrière de surface, de profondeur 500 μm , et dont la résolution est d'environ 18 keV pour les particules alpha de 5,486 MeV de ^{241}Am . Les courbes d'excitation sont tracées en relevant les spectres à chaque angle par pas de 40 keV, de 1,36 à 3,20 MeV. Des mesures de vérification sont effectuées aux angles 40°, 60° et 70°, à différentes énergies, avec une cible identique à la précédente, recouverte de 5 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de ^{179}Au . Les spectres obtenus sont transférés sur bande magnétique à l'aide du système ATRAIT [24] pour l'exploitation ultérieure.

2. Résultats expérimentaux. — Chaque spectre est traité sur l'ordinateur 10070 CII du Centre de Recherches Nucléaires de Strasbourg, à l'aide du programme XMONO [23] qui permet, après soustraction d'un fond qui est choisi linéaire, de bien reproduire l'allure dissymétrique des pics par des courbes composées d'un sommet gaussien et de deux flancs exponentiels. Les paramètres caractérisant un pic (largeur à mi-hauteur, point de raccordement, pente) sont obtenus à chaque énergie et à chaque angle, à partir de l'ajustement des trois pics de diffusion sur ^7Li , ^{12}C , ^{16}O , et l'aire sous la courbe reproduisant le pic ^7Li en est déduite (Fig. 1). Le suivi de l'évolution des paramètres, lorsque les pics se rapprochent, constitue un test de validité de la décomposition des spectres en composants simples. Les mesures complémentaires effectuées à l'aide de la cible comportant une couche de ^{179}Au , sur laquelle la diffusion est purement coulombienne, permettent de vérifier la normalisation relative des points expérimentaux représentés sur la figure 3. Une mesure absolue satisfaisante de la section efficace différentielle, n'a cependant pas été obtenue par cette méthode.

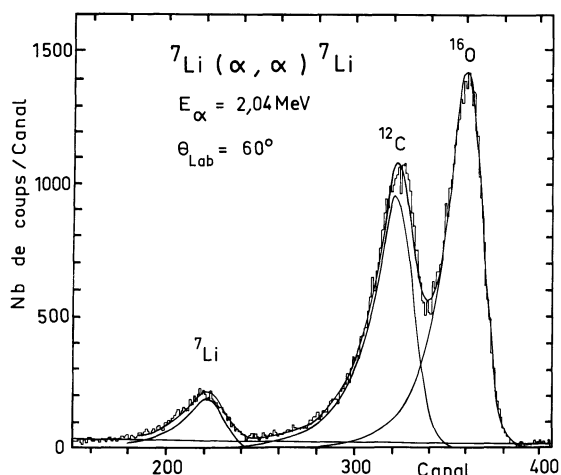


Fig. 1. — Exemple de décomposition de spectre expérimental. [Example of unfolding of the experimental spectrum.]

Les courbes d'excitation sont normalisées en valeur absolue, en utilisant les résultats de Cusson [3], pour les énergies incidentes où les sections efficaces ne présentent pas de résonances.

3. Analyse. — Les courbes d'excitation théoriques de diffusion élastique $^7\text{Li}(\alpha, \alpha) ^7\text{Li}$ (présent travail) et de la réaction $^7\text{Li}(\alpha, \alpha') ^7\text{Li}^*$ ont été calculées à l'aide du formalisme de la matrice R . La section efficace totale de la réaction $^7\text{Li}(\alpha, \alpha') ^7\text{Li}^*$, mesurée par Paul [8], présente trois maximums autour de 1,9 ; 2,5 et 3,04 MeV, correspondant respectivement à des niveaux de ^{11}B situés à 9,88 ; 10,24 et 10,60 MeV. Ces données ont été réanalysées à l'aide du programme PAREX [25] après soustraction, dans la région au-dessus de 2 MeV, de la contribution du niveau large de spin $5/2^-$ à 10,97 MeV [3, 5]. Ce code emploie le formalisme de la matrice R de Lane et Thomas [21]. La matrice de collision est décrite dans l'approximation à un niveau dans laquelle le facteur de déplacement du niveau et le facteur de pénétration sont calculés pour un rayon d'interaction de 4,9 fm. Le paramètre de condition aux limites est choisi de telle sorte que le facteur de déplacement soit nul à l'énergie de résonance. Le programme permet de calculer l'énergie de résonance E_R et les largeurs partielles γ_α^2 et $\gamma_{\alpha'}^2$ pour un niveau donné, en procédant par itération, par rapport à l'énergie de résonance et par minimisation de l'écart quadratique moyen, à chaque pas de l'itération, suivant la méthode décrite par Hooke et Jeeves [26]. Les paramètres sont calculés en commençant par le niveau à $E_\alpha = 1,89$ MeV, supposé unique dans la région

$$1,36 \text{ MeV} < E < 2,2 \text{ MeV} .$$

La contribution théorique de ce niveau dans le domaine $E_\alpha > 2,2$ MeV, est alors calculée et déduite de la courbe, puis les données obtenues relatives au niveau $E_\alpha = 2,48$ MeV sont ajustées, et ainsi de suite. L'ajustement final pour les trois niveaux à $E_\alpha = 1,89$; 2,48 et 3,05 MeV, est représenté sur la figure 2 et les paramètres correspondants sont donnés dans le tableau I. Les valeurs obtenues diffèrent sensiblement de celles de Paul, qui n'avait pas tenu compte de la contribution du niveau large à $E_\alpha = 3,6$ MeV.

L'analyse des données expérimentales de la diffusion élastique a été faite en utilisant le code ELA [27], qui emploie également le formalisme de la matrice R de Lane et Thomas avec l'approximation à un niveau. Les facteurs de phase non résonnants sont pris égaux aux phases de sphère dure, calculées pour un rayon $r = 4,9$ fm, comme précédemment. Etant donné les faibles énergies incidentes, les ondes partielles sont limitées à $l \leq 3$. Les courbes expérimentales d'excitation de diffusion élastique mettent en évidence, outre les niveaux à 1,89 MeV ($3/2^+$), 2,48 MeV ($3/2^-$) et 3,05 MeV ($7/2^+$), une anomalie autour de 2,7 MeV. Les sections efficaces différentielles théoriques sont calculées en tenant compte des trois niveaux ci-dessus,

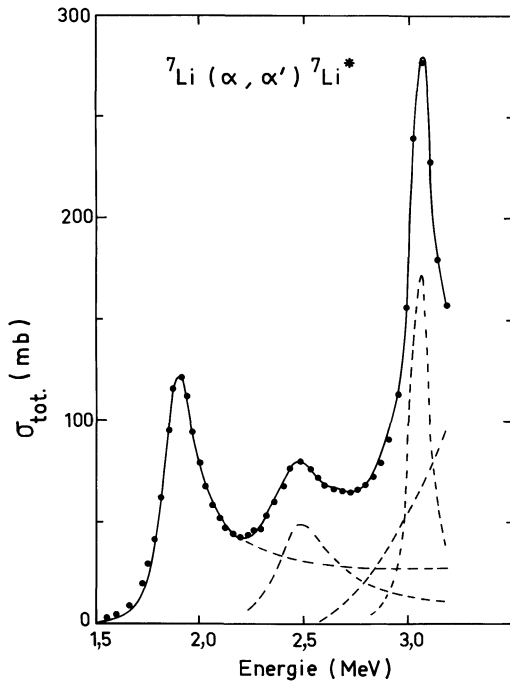


Fig. 2. — Analyse des résultats expérimentaux de la référence [8] (points). La courbe en trait plein est la somme des composantes représentées en tirets et elle est ajustée par une méthode des moindres carrés (voir texte).

[Analysis of the data from reference [8] (points). The solid curve is a least square fit of the sum of the contributions (dashed curves) (see text).]

Tableau I. — Paramètres des niveaux de ^{11}B déduits de l'analyse : a) diffusion inélastique-réanalyse de la référence [8]; b) diffusion élastique-présent travail.

[Deduced ^{11}B level parameters : a) inelastic scattering-reanalysis of reference [8] data ; b) elastic scattering-present work.]

E_R (MeV)	$E_x(^{11}\text{B})$ (MeV)	J^π	$\Gamma_{\text{C.M.}}$ (MeV)	γ_α^2 (MeV)	$\gamma_\alpha'^2$ (MeV)
1,890 a)	9,87	$3/2^+$	0,315 0,290 (*)	0,494 0,511 (*)	0,595 0,810 (*)
2,477 a)	10,26	$3/2^-$	0,258 0,433 (*)	0,135 0,227 (*)	0,245 0,460 (*)
2,70 b)	10,33	$5/2^-$	0,32	0,63	
2,80 b)	10,38	$5/2^+$	0,21	0,14 0,178 (**)	
3,048 a)	10,60	$7/2^+$	0,121 0,090 (*)	0,574 0,640 (*)	0,644 1,21 (*) 0,585 (**)

(*) Paramètres de la référence [8].

(**) Paramètres des états analogues de ^{11}C (réf. [29]).

(*) Parameters from reference [8].

(**) Parameters for analog states in ^{11}C (ref. [29]).

avec les paramètres déduits précédemment de la réaction $^7\text{Li}(\alpha, \alpha') ^7\text{Li}^*$ (Tableau I) et d'un niveau à $E_x = 2,7$ MeV. Les diverses possibilités de spin $1/2$

à $9/2$ et de parité positive et négative ont été examinées pour ce niveau avec des largeurs partielles compatibles avec la limite de Wigner

$$W = \frac{3}{2} \frac{\hbar^2}{\mu r^2} = 1 \text{ MeV} .$$

Aucun accord qualitatif satisfaisant n'ayant été obtenu en supposant la résonance à $E = 2,7$ MeV unique, la même procédure a été reprise en envisageant toutes les combinaisons possibles de deux spins inférieurs à $9/2$. Les résultats donnant le meilleur accord avec les points expérimentaux sont résumés dans le tableau I et représentés sur la figure 3. Ces résultats précisent les caractéristiques du niveau $5/2^-$ à $E_x = 10,33$ MeV, précédemment reporté par Cusson [3], et suggèrent l'existence d'un nouveau niveau $5/2^+$ à

$$E_x = 10,38 \text{ MeV} .$$

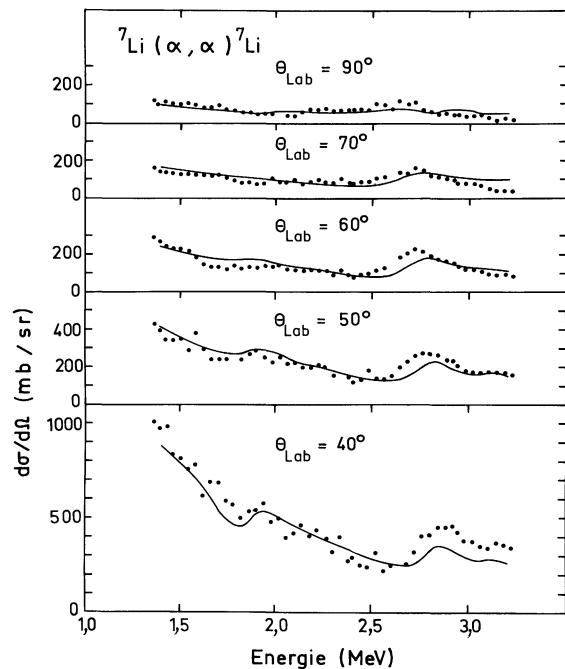


Fig. 3. — Courbes d'excitation de la diffusion élastique $^7\text{Li}(\alpha, \alpha) ^7\text{Li}$. Les courbes en trait plein sont les résultats des calculs obtenus avec les paramètres du tableau I.

[Excitation curves of the $^7\text{Li}(\alpha, \alpha) ^7\text{Li}$ elastic scattering. Solid curves are calculations with parameters of table I.]

4. Discussion. — Les paramètres des trois niveaux obtenus par l'analyse de la diffusion inélastique ont été utilisés dans la procédure d'ajustement de nos résultats de diffusion élastique. Un accord raisonnable expérience-théorie nécessite l'hypothèse de deux niveaux supplémentaires dont l'un, $J^\pi = 5/2^+$ à $E_x = 10,38$ MeV n'a pas été reporté auparavant. Pour confirmer l'existence de ce niveau, on pourrait envisager une analyse simultanée des résultats de diffusion élastique et inélastique, avec l'hypothèse de la présence de cinq niveaux au moins dans la région

d'excitation étudiée. Une telle analyse est difficile, mais elle permettrait sans doute d'améliorer encore les ajustements de la figure 3.

Les paramètres des niveaux de ^{11}B obtenus dans notre analyse sont résumés dans le tableau I. Nous allons comparer ces résultats aux calculs de modèles, ainsi qu'aux données expérimentales du noyau miroir ^{11}C .

4.1 COMPARAISON AVEC LA THÉORIE. — Les noyaux $A = 11$ sont décrits théoriquement à l'aide du modèle des couches par Kurath [9, 10], Tree et Warburton [11], Amit et Katz [12], Cohen et Kurath [13], et récemment par Teeters et Kurath [16, 17] (Fig. 4).

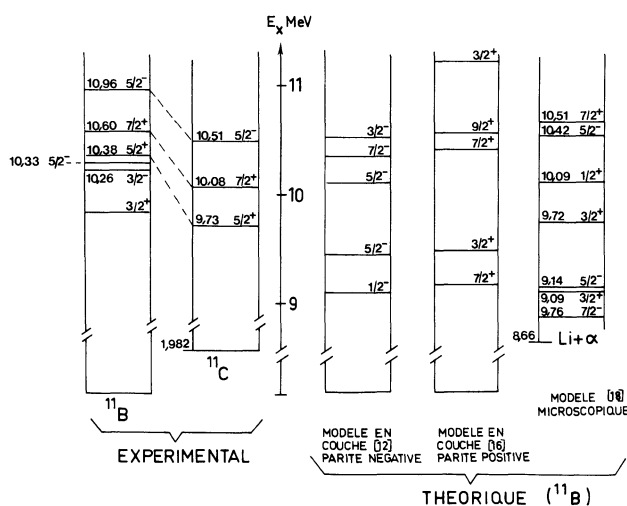


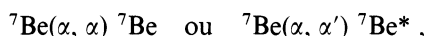
Fig. 4. — Schéma des niveaux et comparaison avec des calculs de modèles.

[Experimental level scheme compared with model calculations.]

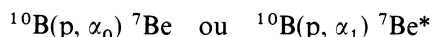
Pour les états de parité négative, les calculs de Amit et Katz effectués au moyen d'une interaction effective, dans le cadre du modèle à couplage intermédiaire prédisent autour de $E_x = 10$ MeV, un état $5/2^-$ et un état $3/2^-$ qui peuvent correspondre à ceux observés expérimentalement. Les états de parité positive ont été étudiés par Teeters et Kurath, dans le cadre du modèle à couplage faible dans une représentation $1\hbar_\omega$ complète. Ces auteurs trouvent des états $3/2^+$ et $7/2^+$ dont les énergies correspondent bien à celles mesurées expérimentalement entre 9 et 11 MeV. Le noyau ^{11}B a également été décrit dans le cadre du modèle unifié par Clegg [14] et par

Newton *et al.* [15], en considérant la bande de rotation ($J = 0, 2, 4$), construite sur le niveau fondamental de ^{12}C et son couplage avec un trou dans la couche $1p_{3/2}$. L'accord est satisfaisant pour les premiers niveaux $3/2^-$ ($J = 0$) et $1/2^-, 3/2^-, 5/2^-, 7/2^-$ ($J = 2$) à des énergies d'excitation inférieures à 7 MeV, mais le niveau $5/2^-$ ($J = 2$) suivant se trouve nettement au-dessus de ceux que nous observons. Enfin les sections efficaces de diffusion élastique et inélastique ont été calculées par Becker et Strykowski [18] dans le cadre du modèle microscopique, à l'aide de la méthode des groupes résonnants, en considérant que le ^7Li est constitué de deux clusters α et t . Ce calcul permet de prévoir au-dessus du seuil de la voie $\alpha + ^7\text{Li}$ les niveaux $3/2^+, 5/2^-$ et $7/2^+$ observés expérimentalement.

4.2 COMPARAISON AVEC LES ÉTATS DU NOYAU MIROIR ^{11}C . — Les états de ^{11}C analogues des états de ^{11}B étudiés ici ont les configurations dominantes $\alpha + ^7\text{Be}$ et $\alpha + ^7\text{Be}^*$. Etant donné l'absence de mesures expérimentales dans les réactions



seules les réactions



peuvent aider à identifier ces états. Un simple examen des niveaux analogues connus, montre que les états analogues de ceux que nous observons dans ^{11}B se situent à une énergie d'excitation comprise entre 9,3 et 10,1 MeV dans ^{11}C . Or, le premier niveau observé dans les réactions $^{10}\text{B}(p, \alpha_0) ^7\text{Be}$ et $^{10}\text{B}(p, \alpha_1) ^7\text{Be}^*$ se situe à $E_p = 1,17$ MeV ($E_x = 9,75$ MeV) [28, 29]. Ce niveau pour lequel un spin $5/2^+$ a été proposé [29] correspondrait au niveau $5/2^+$ du ^{11}B à 10,38 MeV. De même, le niveau de spin $7/2^+$ du ^{11}C à 10,08 MeV ($E_p = 1,50$ MeV) serait l'analogue du niveau de ^{11}B situé à $E_x = 10,60$ MeV. Le tableau I indique les largeurs réduites γ_α^2 et $\gamma_{\alpha'}^2$ des états $5/2^+$ et $7/2^+$ de ^{11}C , extraits de l'analyse des données expérimentales des réactions $^{10}\text{B}(p, \alpha_{0,1}) ^7\text{Be}$ [29]. La comparaison de ces valeurs avec celles des états de même spin de ^{11}B (Tableau I) est en accord satisfaisant avec notre hypothèse.

Remerciements. — Deux d'entre nous (J. P. S. et N. B.) remercient Madame Magnac pour l'intérêt manifesté pour ce travail et l'accueil dans son groupe pendant la durée des expériences.

Bibliographie

- [1] BROWN, A. B., SNYDER, C. W., FOWLER, W. A. and LAURITSEN, C. C., *Phys. Rev.* **82** (1951) 159 (donne toutes les références antérieures pour $^7\text{Li} + \alpha$).
- [2] AJZENBERG-SELOVE, F., *Nucl. Phys. A* **248** (1975) 1.
- [3] CUSSON, R. Y., *Nucl. Phys.* **86** (1966) 481.
- [4] BOHLEN, H., MARQUARDT, N., VON OERTZEN, W. and GORDETZKY, Ph., *Nucl. Phys. A* **179** (1972) 504.
- [5] BICHEL, H. and BONNER, T. W., *Phys. Rev.* **108** (1957) 1025.

- [6] LI, C. W. and SHERR, R., *Phys. Rev.* **96** (1954) 389.
[7] HEYDENBERG, N. P. and TEMMER, G. M., *Phys. Rev.* **94** (1954) 1252.
[8] PAUL, P., PUTTASWAMY, N. G. and KOHLER, D. H., *Phys. Rev.* **164** (1967) 1332.
[9] KURATH, D., *Phys. Rev.* **106** (1957) 975.
[10] KURATH, D., *Phys. Rev.* **101** (1956) 216.
[11] TRUE, W. and WARBURTON, E. K., *Nucl. Phys.* **22** (1961) 426.
[12] AMIT, D. and KATZ, A., *Nucl. Phys.* **22** (1964) 388.
[13] COHEN, S. and KURATH, D., *Nucl. Phys.* **73** (1965) 1.
[14] CLEGG, A. B., *Nucl. Phys.* **38** (1962) 353.
[15] NEWTON, D., CLEGG, A. B., SALMON, G. L. and ROWE, D. J., *Nucl. Phys.* **53** (1964) 433.
[16] TEETERS, W. D. and KURATH, D., *Nucl. Phys. A* **275** (1977) 61.
[17] TEETERS, W. D. and KURATH, D., *Nucl. Phys. A* **283** (1977) 1.
[18] BECKER, F. and STRYKOWSKI, I., *Nucl. Phys. A* **289** (1977) 446.
[19] KOHMOTO, S., Thèse d'état Strasbourg (1977).
[20] BLATT, L. M. and BIEDENHARN, L. C., *Rev. Mod. Phys.* **24** (1952) 257.
[21] LANE, A. M. and THOMAS, R. G., *Rev. Mod. Phys.* **30** (1958) 257.
[22] GÉRARDIN, C., Thèse d'état Strasbourg (1970).
[23] WITTMER, P., communication privée.
[24] WERY, M., WITTMER, P., BUEB, B., RING, C., *Nucl. Instrum. Methods* **96** (1971) 309.
[25] STOQUERT, J. P., non publié.
[26] HOOKE, R. and JEEVES, T. A., *Journal of the Association of Computing Machinery* **8** (1962) 212.
[27] RIHET, Y., non publié.
[28] CRONIN, J. W., *Phys. Rev.* **101** (1956) 298.
[29] OVERLEY, J. C. and WHALING, W., *Phys. Rev.* **128** (1962) 315.
-