



Étude de quelques états excités de ^{41}a par la réaction $^{40}\text{a}(\text{d}, \text{p}\gamma) ^{41}\text{A}$

C. Meynadier, A. Dauchy, D. Drain

► **To cite this version:**

C. Meynadier, A. Dauchy, D. Drain. Étude de quelques états excités de ^{41}a par la réaction $^{40}\text{a}(\text{d}, \text{p}\gamma) ^{41}\text{A}$. Journal de Physique, 1971, 32 (4), pp.225-230. <10.1051/jphys:01971003204022500>. <jpa-00207048>

HAL Id: jpa-00207048

<https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00207048>

Submitted on 1 Jan 1971

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.

Classification :
 Physics Abstracts
 12.10, 12.20, 12.30

ÉTUDE DE QUELQUES ÉTATS EXCITÉS DE ^{41}A PAR LA RÉACTION $^{40}\text{A}(\text{d}, \text{p}\gamma) ^{41}\text{A}$

C. MEYNADIER, A. DAUCHY, D. DRAIN (*)

Institut d'Etudes Nucléaires, Alger

(Reçu le 3 novembre 1970)

Résumé. — La mesure des corrélations angulaires (p, γ) dans les réactions $^{40}\text{A}(\text{d}, \text{p}\gamma) ^{41}\text{A}$ a été faite à $E_d = 2,8$ MeV pour les niveaux à $E_{\text{ex}} = 2,398$; 2,734 et 2,947 MeV de ^{41}A . Les rapports d'embranchement correspondants ont été précisés et les mesures ont permis de confirmer les caractéristiques $J^\pi = 3/2^-$ attribuées au niveau à $E_{\text{ex}} = 2,734$ MeV.

Abstract. — Measurements of the (p, γ) angular correlations from the $^{40}\text{A}(\text{d}, \text{p}\gamma) ^{41}\text{A}$ reactions have been made at $E_d = 2.8$ MeV for the following levels of ^{41}A : $E_{\text{ex}} = 2.398$; 2.734 and 2.947 MeV. The values of the related branching ratios were improved and previous assignment $J^\pi = 3/2^-$ could be worn out for the level at $E_{\text{ex}} = 2.734$ MeV.

I. Introduction. — Les caractéristiques des états excités de ^{41}A pour des énergies d'excitation supérieures à 2 MeV ne sont pas bien connues [1]. La figure 1 donne le schéma des niveaux excités de ^{41}A .

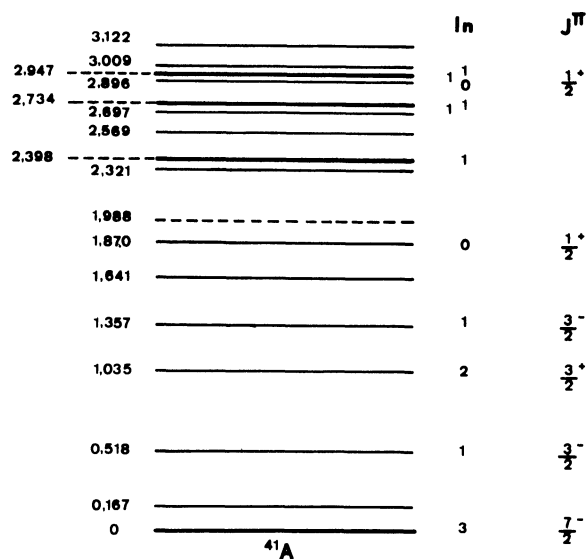


FIG. 1. — Schéma des niveaux d'énergie de ^{41}A .

Des mesures récentes ont été faites sur les 3 niveaux situés respectivement à $E_{\text{ex}} = 2,398$; 2,734 et 2,947 MeV, avec des résultats parfois contradictoires.

Ainsi Fitz [2] par une analyse des distributions angulaires des réactions $^{40}\text{A}(\text{d}, \text{p}) ^{41}\text{A}$ conclut à une valeur $J^\pi = 1/2^-$ pour le niveau à $E_{\text{ex}} = 2,398$ MeV, ainsi que Kopecky [3], en étudiant la polarisation

circulaire dans les réactions $^{40}\text{A}(\text{n}, \gamma)$. Pour ce même niveau les caractéristiques $3/2^-$ sont données par Lycklama [4] à partir des réactions $^{40}\text{A}(\text{n}, \gamma)$ et par Cornell [5] par l'étude des corrélations (p, γ) mesurées dans la réaction $^{40}\text{A}(\text{d}, \text{p}\gamma) ^{41}\text{A}$. Pour le niveau à $E_{\text{ex}} = 2,947$ MeV, Fitz et Lycklama proposent $1/2^-$ comme caractéristiques mais Kopecky conclut à la valeur $3/2^-$. Seules les caractéristiques $3/2^-$ pour le niveau à $E_{\text{ex}} = 2,734$ MeV semblent être admises [2], [3], [4].

Nous avons repris l'étude de ces 3 niveaux en mesurant les corrélations angulaires particule chargée-rayonnement gamma dans la réaction $^{40}\text{A}(\text{d}, \text{p}\gamma) ^{41}\text{A}$ à $E_d = 2,8$ MeV pour confirmer ce dernier résultat et tenter de préciser les valeurs des spins des 2 autres niveaux.

II. Appareillage expérimental. — 1. MONTAGE MÉCANIQUE. — Le faisceau de deutons utilisé était fourni par l'accélérateur Van de Graaff de 3 MeV de l'Institut d'Etudes Nucléaires d'Alger et analysé par un déflecteur magnétique à 90° qui assure une définition en énergie meilleure que 1% . La calibration en énergie était réalisée à l'aide de certaines résonances fines observées dans les réactions $^{19}\text{F}(\text{p}, \alpha\gamma) ^{16}\text{O}$. Le faisceau de deutons, après analyse, était focalisé et diaphragmé, avant de pénétrer dans la chambre à réaction, par 5 diaphragmes en tantale de 1 mm de diamètre, placés dans un tube de 25 cm de longueur. Une protection de plomb entourait le tube porte-diaphragmes pour diminuer au maximum le bruit de fond.

La cible était constituée par de l'argon naturel pur (99,6 %). La figure 2 représente la boîte à cible gazeuse utilisée pour cette expérience. Cet ensemble est consti-

(*) Institut de Physique Nucléaire, Lyon.

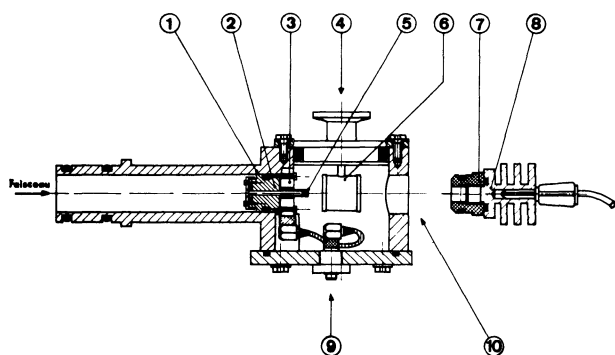


FIG. 2. — Boîte à cible gazeuse :

- | | |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. — corps de chambre. | 2. — support détecteur. |
| 3. — détecteur annulaire. | 4. — injection gaz. |
| 5. — diaphragme. | 6. — cellule gazeuse. |
| 7. — isolant. | 8. — mesure courant. |
| 9. — sortie signal. | 10. — ouverture. |

tué d'une chambre extérieure en dural de 55 mm de diamètre dont les parois ont une épaisseur voisine de 1 mm. Cette chambre porte le détecteur annulaire placé à 180° par rapport à la direction du faisceau incident qui la traverse. A l'intérieur de cette chambre, une cellule contient la cible gazeuse. Cette cellule centrée sur l'axe du faisceau est supportée par le couvercle supérieur de la chambre. Elle est constituée essentiellement par un petit cylindre de laiton de 2 cm de longueur et de 1,5 cm de diamètre extérieur, dont les faces avant et arrière, par où entre et sort le faisceau, sont fermées de façon étanche par des feuilles de nickel de 0,6 μm d'épaisseur. Différents diaphragmes portés par le détecteur annulaire ou placés dans la cellule gazeuse définissent l'angle solide sous-tendu par le détecteur dont la zone utile se trouve à 2,4 cm du centre de la cible. Cet angle solide est la zone comprise entre 2 cônes dont les génératrices font respectivement 170° et 173° avec la direction du faisceau. De plus, ces diaphragmes sont placés pour diminuer au maximum l'intensité des pics de rétro-diffusion du faisceau incident sur les feuilles de Ni placées de part et d'autre de la chambre. L'étanchéité de la cellule est vérifiée à chaque remontage des feuilles de Ni qui sont périodiquement changées pour éliminer les contaminants éventuels, en particulier le carbone. Les tests d'étanchéité ont montré que cette cellule supportait des pressions de l'ordre de la pression atmosphérique. Un manomètre absolu placé sur le circuit d'injection du gaz permet le contrôle de la pression du gaz introduit.

Pour obtenir le meilleur rapport signal/bruit l'intensité du faisceau a été limitée à quelques nanoampères et la pression du gaz était de l'ordre de 300 mm Hg, pression maximum compatible avec une résolution acceptable dans la voie particule chargée.

2. MONTAGE ÉLECTRONIQUE. — Voie particule chargée. — Le détecteur protons était constitué d'un détecteur annulaire à barrière de surface de 50 mm² de surface utile, 8,5 k Ω cm de résistivité et 700 μm de

zone désertée. Sa résolution sur source α était de l'ordre de 25 keV mais dans nos expériences la résolution sur des protons de 5 MeV était voisine de 80 keV (straggling dans le gaz et la feuille de Ni). Un préamplificateur de charges était branché sur le détecteur ; deux sorties étaient disponibles : une sortie analyse était mise en forme et constituait la voie spectrométrie ; la seconde sortie, après passage dans un amplificateur large bande donnait par l'intermédiaire d'un discriminateur bas niveau la prise temps qui attaquait un convertisseur temps-amplitude.

— Voie γ . — Le détecteur γ était un « Scintibloc » 3" \times 3" monté avec un photomultiplicateur RCA 8054. Le scintillateur était logé dans une protection de plomb annulaire de 7 cm d'épaisseur, sa face avant était située à 65 mm du centre de la cible. L'alimentation du photomultiplicateur se faisait à partir d'un pont classique largement découplé. Le signal de spectrométrie était pris au niveau de la 8^e dynode, la prise rapide sur l'anode attaquait un montage limiteur puis une mise en forme rapide par diode tunnel. La résolution en énergie de cet ensemble était de l'ordre de 8 % sur la raie de 660 keV du ¹³⁷Cs.

— Convertisseur temps-amplitude. — Couplé aux voies rapides provenant du détecteur de particules et du scintillateur, un convertisseur temps-amplitude dont la plage était voisine de 100 ns donnait l'information temps qui, après codage, permettait de sélectionner la plage de coïncidences vraies sur le plateau des fortuites.

— La figure 3 représente le schéma synoptique du montage utilisé. Chaque information est codée par un convertisseur analogique-digital, les trois convertisseurs étant couplés. Les spectres γ et p étaient codés

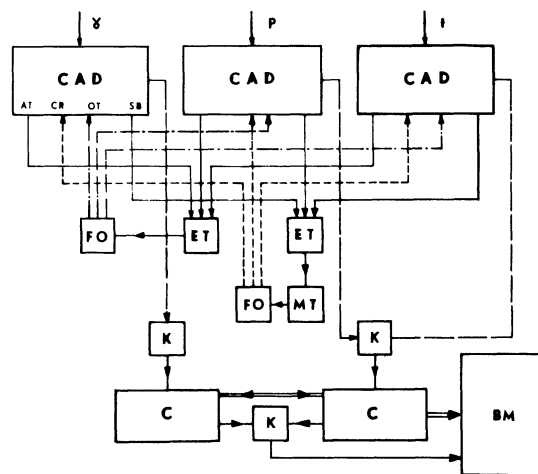


FIG. 3. — Schéma synoptique du montage électronique :

- | | |
|----------|-------------------------------------|
| C. A. D. | — convertisseur analogique digital. |
| K. | — matrices. |
| C. | — conditionneurs. |
| B. M. | — bloc-mémoire 4 096 cx. |
| A. T. | — Autorisation de transfert. |
| O. T. | — ordre de transfert. |
| S. B. | — signal de bande. |
| C. R. | — coïncidence retardée. |

sur 256 cx, le spectre de temps sur 64 cx. A l'aide des conditionneurs on prenait 4 bandes protons et 2 bandes dans le spectre de temps (coïncidences vraies et fortuites et coïncidences fortuites). Le bloc-mémoire de 4 096 cx était divisé en 8 bandes de 256 cx, les 4 premières correspondant aux spectres γ en coïncidence avec les 4 bandes sélectionnées sur le spectre proton, les 4 dernières donnant les spectres des coïncidences fortuites pour les mêmes bandes de conditionnement. Des échelles permettaient de contrôler à tous les niveaux les éventuelles pertes de comptage. Par ailleurs, un autre photomultiplicateur fixe placé à 90° servait de moniteur et le spectre particules chargées était enregistré séparément dans un autre bloc-mémoire.

III. Résultats expérimentaux et analyse. — La résolution en énergie du détecteur annulaire étant voisine de 80 keV, il était impossible d'obtenir sur le spectre de protons qui sert à conditionner les rayonnements gamma une résolution suffisante pour séparer les groupes de protons voisins des groupes considérés. Pour évaluer les contributions respectives de ces groupes nous avons enregistré le spectre des particules de la réaction $^{40}\text{A}(\text{d}, \text{p})^{41}\text{A}$ à $\theta_{\text{lab}} = 165^\circ$ et à la même énergie mais en pompage différentiel avec une pression de cible de l'ordre de 3 mm Hg. Dans ces conditions la résolution en énergie, voisine de 25 keV permettait de séparer tous les groupes et d'évaluer leur importance relative. Le tableau I donne les intensités relatives des groupes considérés par rapport au groupe p_4 ($E_{\text{ex}} = 1,357$ MeV) dont l'intensité est prise égale à 100. Ce tableau montre la contribution importante du groupe p_{15} ($E_{\text{ex}} = 3,009$ MeV) lors de l'étude du niveau à $E_{\text{ex}} = 2,947$ MeV. Cette étude préliminaire nous a également montré que les contributions des particules α issues de la réaction $^{40}\text{A}(\text{d}, \alpha)^{38}\text{Cl}$ sont faibles (intensités relatives inférieures à 2 %, le groupe p_4 servant de référence).

TABLEAU I

Groupe protons	E_{ex} (MeV)	I_R
—	—	—
4	1,357	100
8	2,321	0,5
9	2,398	27
11	2,697	5,4
12	2,734	30
13	2,896	1,2
14	2,947	26
15	3,009	20

Pour les trois niveaux considérés les distributions angulaires ont été enregistrées aux angles 0° , 15° , 30° , 45° , 60° et 90° par rapport à la direction du faisceau. Les mesures à certains angles ont été répétées pour vérifier les résultats obtenus.

L'étalonnage en énergie des spectres gamma a été fait à l'aide de sources radioactives. L'anisotropie éventuelle et l'absorption ont été évaluées à l'aide de sources radioactives et du rayonnement γ isotrope de désexcitation du premier état excité de ^{23}Ne ($E = 1,02$ MeV), obtenu à partir de la réaction $^{22}\text{Ne}(\text{d}, \text{p}\gamma)^{23}\text{Ne}$. Les corrections sont inférieures à 2 % et sont dues principalement à l'absorption qui varie avec l'angle de détection.

1. ETUDE DES CASCADES GAMMA. — Après correction des effets d'anisotropie et de dérives éventuelles, nous avons effectué la somme des spectres gamma en coïncidence obtenus aux différents angles. La soustraction des fortuites n'a pas été faite, le rapport des coïncidences vraies/fortuites étant voisin de 40. La figure 4

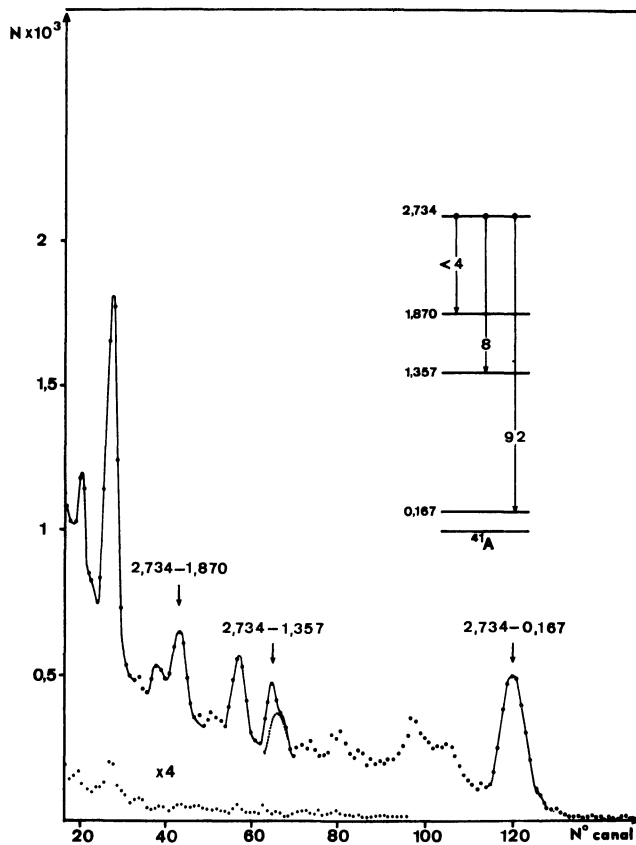


FIG. 4. — Rayonnement γ en coïncidence avec le groupe $p_{12}(2,734$ MeV). Le tracé inférieur représente le spectre des coïncidences fortuites.

montre le spectre des rayonnements γ en coïncidence pour le niveau à $E_{\text{ex}} = 2,734$ MeV. Les aires des pics photoélectriques correspondant aux transitions étudiées ont été corrigées des effets d'absorption et les intensités relatives ont été calculées en utilisant les tables de Vegors [6]. Les rapports d'embranchements obtenus sont rassemblés dans le tableau II.

TABLEAU II

⁴¹ A* (MeV)	Transitions	Rapports d'embranchement (%)			
		ce travail	Réf. [8]	Réf. [4]	Réf. [7]
2,398	2,398 → 0,167	5 ± 2	< 8		
	2,398 → 0,518	28 ± 4	32 ± 5	35	25
	2,398 → 1,357	67 ± 5	68 ± 5	65	75
2,734	2,734 → 0,167	92 ± 5	(100)	(100)	(100)
	2,734 → 1,357	8 ± 5			(a)
	2,734 → 1,870	< 5			
2,947	2,947 → 0,167	(60)	(60)	51	
	2,947 → 0,518	(40)	(40)	49	(b)
	2,947 → 1,357	(< 5)			

(a) Pic visible de faible intensité sur spectre Ge(Li).

(b) Transition seule citée.

Pour le groupe p_{12} à $E_{ex} = 2,734$ MeV nous avons mis en évidence, outre la transition (2,734 → 0,167) déjà citée [4, 7, 8], deux transitions plus faibles (2,734 → 1,357) et (2,734 → 1,870). Il est à noter que la transition (2,734 → 1,357) est visible sur le spectre obtenu par Skeppstedt [7] avec une jonction Ge(Li) dans l'étude de la réaction $^{40}\text{A}(n, \gamma)$, mais son intensité étant très faible, elle n'avait pas été évaluée.

Le spectre gamma correspondant au niveau à $E_{ex} = 2,947$ MeV est perturbé par les transitions issues du niveau voisin à $E_{ex} = 3,009$ MeV, dont la contribution est importante et que notre sélection sur la voie proton ne permettait pas d'éliminer. Nous n'avons donc pas pu améliorer les résultats précédents [4], [8], mais nous avons mis en évidence une transition supplémentaire de faible intensité (2,947 → 1,357).

2. ETUDE DES DISTRIBUTIONS ANGULAIRES. — Les distributions angulaires ont été développées en séries de polynômes de Legendre d'ordre pair par la méthode des moindres carrés :

$$W(\theta) = \sum_k A_k P_k(\cos \theta).$$

Etant donné la faible anisotropie de toutes ces distributions angulaires il n'a pas été nécessaire de dépasser l'ordre 2. Les valeurs des coefficients A_2/A_0 sont rassemblées dans le tableau III.

TABLEAU III

E_{ex} (MeV)	Transitions	A_2/A_0	χ^2
2,398	2,398 → 1,357	- 0,095 ± 0,045	1,25
	2,398 → 0,518	- 0,06 ± 0,07	0,58
2,734	2,734 → 0,171	- 0,28 ± 0,07	0,56
2,947	2,947 → 0,171	+ 0,08 ± 0,10	0,85

Les distributions angulaires ont été comparées aux expressions théoriques de Litherland et Ferguson [9] en utilisant le formalisme de Poletti [10]. Rappelons brièvement que la distribution angulaire d'une transition

gamma entre un niveau de spin a peuplé par la réaction et le niveau final de spin b est donnée par :

$$W(\theta) = I \sum_k \rho_k(a) F_k(a, b) Q_k P_k(\cos \theta)$$

où k est pair et inférieur au minimum des trois quantités $2L$, $2L'$, $2a$, L et L' désignant les multipolarités de la transition. $\rho_k(a)$ est le tenseur statistique qui décrit l'alignement de l'état initial et contient les facteurs de population. Nous avons supposé que les seuls sous-états magnétiques qui peuvent être peuplés sont $\alpha = \pm 1/2$ et $\alpha = \pm 3/2$. Les coefficients $F_k(a, b)$ décrivent la transition et contiennent le coefficient de mélange δ . Les coefficients $F_k(a, b)$ et les tenseurs statistiques ont été tabulés par Poletti [10]. L'analyse des corrélations angulaires est faite par la méthode de minimisation du χ^2 . On étudie les variations de χ^2 en fonction de la variable $\text{arc tg } \delta$. A l'aide des tables de probabilité [11] du χ^2 , on obtient des pourcentages qui indiquent la probabilité pour qu'un ensemble (a, b, δ) soit une bonne solution. Les calculs ont été effectués sur l'ordinateur IBM 1 620 II de l'I. E. N.

— Niveau à $E_{ex} = 2,398$ MeV. — Les corrélations angulaires pour les transitions (2,398 → 0,518) et (2,398 → 1,357) sont représentées sur la figure 5. Les coefficients (A_2/A_0) des développements en séries de polynômes de Legendre sont respectivement égaux à :

$$\begin{aligned} & - 0,06 \pm 0,07 \\ & - 0,095 \pm 0,040. \end{aligned}$$

Les deux transitions sont pratiquement isotropes et nos mesures n'apportent aucune contribution supplémentaire à la détermination de la valeur du spin de ce niveau. Cette isotropie avait d'ailleurs été constatée par Allen [8] dans une étude analogue à la nôtre. Ces mesures confirment donc les résultats de Fitz et de Kopecky qui proposent pour ce niveau les caractéristiques $1/2^-$.

— Niveau à $E_{ex} = 2,947$ MeV. — La distribution angulaire correspondant à la transition (2,947 → 0,167) est représentée sur la figure 5 et est sensiblement isotrope. Cependant l'examen des spectres γ en coïncidence montre que la perturbation due au niveau voisin à $E_{ex} = 3,009$ MeV varie de façon sensible avec l'angle. Aucune conclusion n'a pu être tirée des mesures effectuées.

— Niveau à $E_{ex} = 2,734$ MeV. — Seule la transition (2,734 → 0,167) est suffisamment intense pour qu'il soit possible de l'analyser. Le résultat obtenu pour le développement en série de polynômes de Legendre est :

$$\begin{aligned} \text{à l'ordre 2} & \quad A_2/A_0 = + 0,28 \pm 0,07 \\ \text{à l'ordre 4} & \quad A_2/A_0 = + 0,29 \pm 0,08 \\ & \quad A_4/A_0 = - 0,04 \pm 0,08. \end{aligned}$$

Nous nous sommes donc limités à un développement à l'ordre 2. Nous avons donné au spin du niveau à

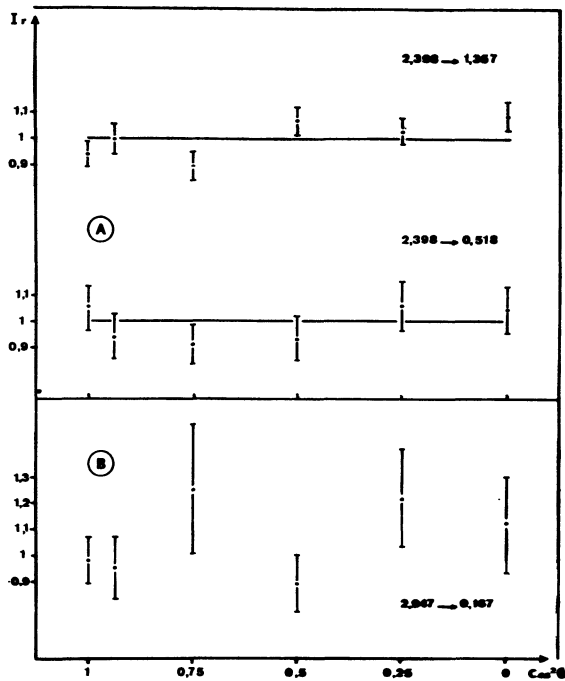


FIG. 5. — A. — Corrélations angulaires pour les transitions (2,398 \rightarrow 1,357 MeV) et (2,398 \rightarrow 0,518 MeV) du niveau à 2,398 MeV de ^{41}A .

B. — Corrélation angulaire pour la transition (2,947 \rightarrow 0,167 MeV) (avec contribution du niveau à 3,009 MeV) du niveau à 2,947 MeV de ^{41}A .

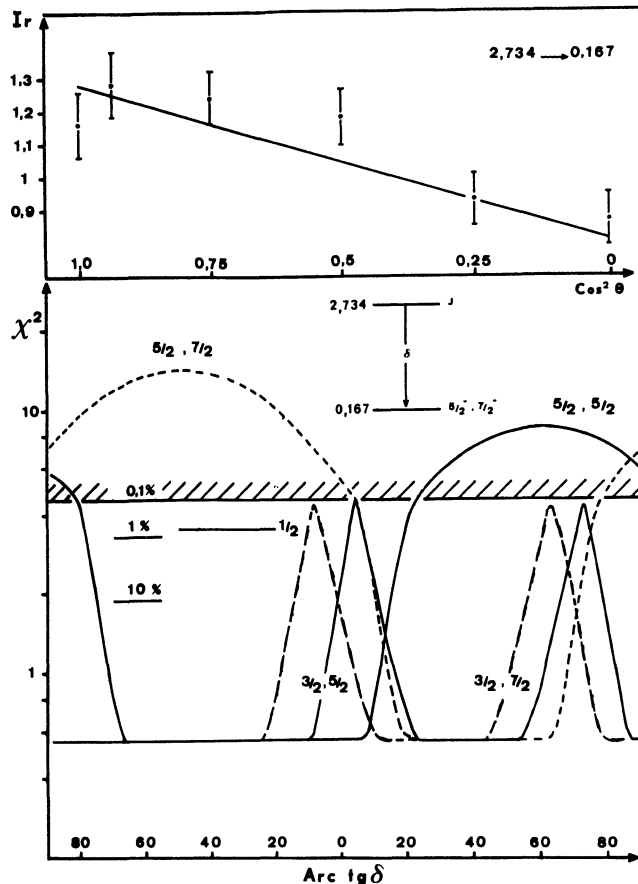


FIG. 6. — Corrélation angulaire et analyse en χ^2 de la transition (2,734 \rightarrow 0,167 MeV) du niveau à 2,734 MeV de ^{41}A .

$E_{\text{ex}} = 2,734$ MeV les valeurs successives $1/2$, $3/2$, $5/2$, et pour chacune de ces valeurs, nous avons donné au spin du niveau à $E_{\text{ex}} = 0,167$ MeV l'une ou l'autre des valeurs $5/2$ et $7/2$. La figure 6 représente la distribution angulaire ainsi que les variations de χ^2 en fonction de $\text{arc tg } \delta$, δ étant le paramètre de mélange de la transition. Seule la valeur $1/2$ peut être exclue avec une certitude statistique supérieure à 99 %. Les résultats de Kashy [12] et de Fitz [2] indiquent pour le niveau étudié une valeur $l_n = 1$ du moment orbital de transfert, limitant ainsi les valeurs du spin correspondant à $1/2$ et $3/2$. Cette limitation, combinée à nos résultats, fournit donc pour le spin la valeur unique $3/2$, valeur déjà admise à partir d'autres réactions.

IV. Conclusion. — Les mesures effectuées ont permis de préciser les rapports d'embranchement des transitions électromagnétiques associées aux niveaux à $E_{\text{ex}} = 2,398$; $2,734$ et $2,947$ MeV.

Par l'étude des corrélations angulaires (p, γ) nous avons pu confirmer la valeur $3/2^-$ déjà suggérée pour le niveau à $E_{\text{ex}} = 2,734$ MeV par l'analyse des distributions angulaires dans les réactions $^{40}\text{A}(\text{d}, \text{p})^{41}\text{A}$ ou par des mesures de polarisation dans les réactions $^{40}\text{A}(\text{n}, \gamma)$. De plus, l'isotropie obtenue pour le niveau à $E_{\text{ex}} = 2,398$ MeV est en accord avec les caractéristiques proposéeses $J^\pi = 1/2^-$.

Les auteurs souhaitent exprimer leurs remerciements à Monsieur le Professeur H. Beaumeville pour les conseils et l'aide qu'il leur a apportés.

Bibliographie

- [1] ENDT (P. M.) and VAN DER LEUN (C.), *Nucl. Phys.*, 1967, A 105, 1.
- [2] FITZ (W.), JAHR (R.) and SANTO (R.), *Nucl. Phys.*, 1968, A 114, 392.
- [3] KOPECKY (J.), STECHER-RASMUSSEN (F.) and ABRAHAMS (K.), Conf. Int. Propriétés des états nucléaires, Montréal, 1969.
- [4] LYKLAMA (H.), ARCHER (N. P.) and KENNETT (T. J.), *Nucl. Phys.*, 1967, A 100, 33.
- [5] CORNELL (J. C.), BROOKS (F. D.) and McMURRAY (W. R.), Conf. Int. Propriétés des états nucléaires, Montréal, 1969.
- [6] VEGORS (S. H.), MARSDEN (L. L.) and HEATH (R. L.), Report IDO, 1958, 16370.

- [7] SKEPPSTEDT (Ö.), HARDELL (R.) and ARNELL (S. E.), *Ark. for Fysik*, 1967, **35**, 527.
- [8] ALLEN (J. P.), HOWARD (A. J.), BROMLEY (D. A.), OLNESS (J. W.) and WARBURTON (E. K.), *Phys. Rev.*, 1967, **154**, 1058.
- [9] LITHERLAND (A. E.) and FERGUSON (A. J.), *Can. J. Phys.*, 1961, **39**, 788.
- [10] POLETTI (A. R.) and WARBURTON (E. K.), *Phys. Rev.*, 1965, **137**, B 595.
- [11] NIJGH (G. J.), WAPSTRA (A. H.) and VAN LIESHOUT (R.), *Nuclear Spectroscopy Tables*, North. Holl. Pub. Amsterdam, 1965.
- [12] KASHY (E.), HOOGENBOOM (A. M.) and BUECHNER (W. W.), *Phys. Rev.*, 1961, **124**, 1917.
-