



HAL
open science

Mise en évidence et étude de l'état $j\pi = 6-, t = 1$ a ex = 14 356 kev dans ^{28}Si

C. Mieke, J.P. Gonidec, A. Huck, G. Walter

► To cite this version:

C. Mieke, J.P. Gonidec, A. Huck, G. Walter. Mise en évidence et étude de l'état $j\pi = 6-, t = 1$ a ex = 14 356 kev dans ^{28}Si . *Revue de Physique Appliquée*, 1973, 8 (4), pp.307-310. 10.1051/rphysap:0197300804030700 . jpa-00243687

HAL Id: jpa-00243687

<https://hal.science/jpa-00243687>

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.

Classification
 Physics Abstracts
 12.17

MISE EN ÉVIDENCE ET ÉTUDE DE L'ÉTAT $J^\pi = 6^-, T = 1$ A $E_x = 14\,356$ keV DANS ^{28}Si

C. MIEHE, J. P. GONIDEC, A. HUCK et G. WALTER

Centre de Recherches Nucléaires et Université Louis-Pasteur
 Laboratoire de Physique des Rayonnements et d'Electronique Nucléaire
 67037 Strasbourg Cedex, France

(Reçu le 25 avril 1973)

Résumé. — Un état virtuel $J^\pi = 6^-, T = 1$ à $E_x = 14\,356$ keV, et le niveau lié anti-analogue, $J^\pi = 6^-, T = 0$ à $E_x = 11\,577$ keV, ont été mis en évidence dans le noyau ^{28}Si par la réaction $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ à $E_p = 2\,876 \pm 2$ keV. Le schéma de désexcitation du niveau résonnant a été établi. Les caractéristiques des deux nouveaux états ont été obtenues à l'aide de mesures de distributions angulaires et de durées de vie par déplacement Doppler. L'intensité de la résonance a été déterminée : $\omega\gamma = 3 \pm 1$ eV.

L'ensemble de ces résultats nous permet de définir la désexcitation du niveau à $14\,356$ keV comme une transition M 1, $\Delta T = 1$, dont l'intensité est égale à 0,5 unité Weisskopf. La parité du niveau résonnant a été confirmée par des mesures de diffusion élastique de protons $^{27}\text{Al}(p, p)^{27}\text{Al}$.

Abstract. — A resonance at $2\,876 \pm 2$ keV of the reaction $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ has been studied. The resonance level at $E_x = 14\,356$ keV and a new state found at $E_x = 11\,577$ keV are both shown to have spin and parity $J^\pi = 6^-$. The transition probability deduced from a strength measurement ($|M(M\,1)|^2 = 0.5$ W. u.) and the decay scheme strongly suggest the value $T = 1$ for the isospin of the resonance level. The negative parity of this level has been confirmed by proton elastic scattering analysis.

L'intérêt de l'étude des états de parité négative et d'isospin $T = 1$, dans le noyau ^{28}Si , réside d'une part dans l'examen de leur mode de désexcitation électromagnétique, d'autre part dans l'identification des niveaux analogues du triplet isobarique ^{28}Al , ^{28}Si , ^{28}P .

Le niveau $J^\pi = 4^-, T = 1$ à $E_x = 12\,664$ keV dans ^{28}Si a été étudié au moyen de la réaction $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ par différents auteurs [1]-[4]. Les caractéristiques de celui à $E_x = 13\,245$ keV, $J^\pi = 5^-, T = 1$, ont été établies par S. T. Lam *et al.* [5]. Ces niveaux sont les analogues de ceux à $3\,465$ et $4\,033$ keV dans ^{28}Al .

Des expériences de diffusion inélastique d'électrons ($100 < E_e < 300$ MeV) sur des cibles de silicium naturel ont permis à Donnely *et al.* [6] de mettre en évidence un niveau $J^\pi = 6^-, T = 1$ à $13,88 \pm 0,20$ MeV. Signalons que les calculs théoriques de Farris et Eisenberg [7] dans lesquels les états de parité négative de ^{28}Si sont décrits par des configurations simples, particule-trou, du modèle en couche prévoient un niveau $J^\pi = 6^-, T = 1$ situé à $E_x = 13,63$ MeV.

Ces résultats peuvent être rapprochés de celui obtenu récemment par R. M. Freeman [8] dans l'étude de ^{28}Al par la réaction $^{27}\text{Al}(d, p)^{28}\text{Al}$. Cet auteur a observé un niveau situé à $5\,165$ keV dans ^{28}Al , dont le mode de décroissance électromagnétique suggère pour le spin et la parité les valeurs : $J^\pi = 6^-$. L'énergie d'excitation du niveau analogue de ^{28}Si peut être

calculée en tenant compte de la différence d'énergie entre les états à $5\,165$ keV et $4\,033$ keV ($J^\pi = 5^-$) de ^{28}Al et de la position du niveau $J^\pi = 5^-, T = 1$ de ^{28}Si ($E_x = 13\,245$ keV) ; on obtient ainsi

$$E_x = 14\,377 \text{ keV}.$$

Cet état, non lié, peut être formé par la réaction $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ moyennant la capture d'un proton de moment orbital $l_p = 3$.

Nous avons mis en évidence une résonance $J^\pi = 6^-, T = 1$ de ^{28}Si à $E_x = 14\,356$ keV. Les résultats préliminaires de notre étude ont été présentés à la conférence de Birmingham [9].

1. **Technique expérimentale.** — La cible est constituée d'une couche d'aluminium de $30 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ évaporée sur un support de tantale. Elle est refroidie par une circulation d'eau et entourée d'une enveloppe cylindrique de cuivre portée à la température de l'azote liquide. Ce dispositif prévient la dégradation de la cible en cours de mesure. Pour enregistrer la fonction d'excitation de la réaction $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$, nous avons détecté, à l'aide d'un compteur à scintillation INa(Tl), les rayons γ d'énergie comprise entre $1,7$ et 5 MeV (décroissance du niveau $J^\pi = 5^-$ à $E_x = 9,70$ MeV) et supérieure à 10 MeV (décroissance du niveau résonnant vers les deux premiers niveaux de ^{28}Si). Un

détecteur Ge(Li) de volume sensible égal à 60 cm³ a été utilisé pour établir les schémas de désexcitation et effectuer les mesures de durées de vie et de distributions angulaires. Son efficacité a été déterminée à partir des intensités des rayons γ émis à la résonance $E_p = 992$ keV de la réaction $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ [10].

Les expériences de diffusion élastique, $^{27}\text{Al}(p, p)^{27}\text{Al}$, ont été faites à l'aide d'une cible de 7 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ d'aluminium sur un support de 10 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ de carbone. Le dispositif utilisé dans ce cas permettait la détection simultanée des protons à différents angles et celle des rayons γ avec une bonne efficacité.

2. Résultats. — La fonction d'excitation de la réaction $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ a été mesurée pour des protons d'énergie comprise entre 2,7 et 3,0 MeV. Parmi les différentes résonances mises en évidence, celle relevée

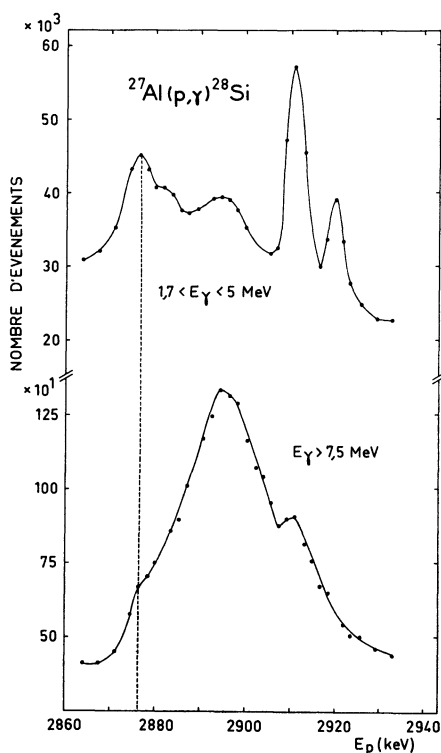


FIG. 1. — Fonction d'excitation de la réaction $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$, dans la région d'énergie comprise entre 2,86 et 2,94 MeV.

à $E_p = 2876 \pm 2$ keV (Fig. 1) a été plus particulièrement analysée en raison de son mode de décroissance.

Le schéma que nous avons établi est représenté sur

la figure 2. Une seule transition a été observée dans la désexcitation du niveau résonnant situé à

$$E_x = 14\,356 \pm 4 \text{ keV}.$$

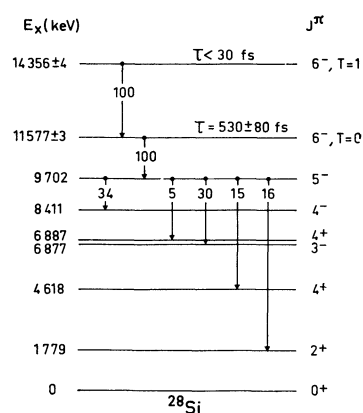


FIG. 2. — Schéma de décroissance électromagnétique du niveau résonnant formé à $E_p = 2876$ keV par la réaction $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$. Les valeurs numériques portées sur ce diagramme ont été déterminées au cours de ce travail.

Elle alimente un état à $11\,577 \pm 3$ keV qui décroît vers celui à 9 702 keV ($J^\pi = 5^-, T = 0$). Nous avons vérifié l'existence de cette cascade en enregistrant le spectre des rayonnements γ en coïncidence avec la raie de 2,78 MeV. L'ordre des émissions électromagnétiques a été déterminé par effet Doppler (Tableau I); la transition 1,78 \rightarrow 0 nous a servi de référence au cours de ces mesures. Le déplacement Doppler maximal a été observé pour la raie à 2,78 MeV que nous avons ainsi identifiée au premier membre de la cascade. Les rapports d'embranchement tiennent compte de la valeur moyenne de l'intensité des rayons γ émis entre 0 et 90°.

Les distributions angulaires des transitions

$$14,36 \rightarrow 11,58 \text{ MeV} \quad \text{et} \quad 11,58 \rightarrow 9,70 \text{ MeV}$$

ont été mesurées. Les valeurs expérimentales obtenues sont reportées sur la figure 3. Elles ont été normalisées par rapport à la raie de 2,78 MeV détectée à l'aide d'un second compteur Ge(Li) et nous avons tenu compte des variations de temps mort des appareils enregistreurs en cours d'expérience.

Ces résultats ont été comparés par une méthode de moindres carrés aux distributions théoriques calculées pour différentes valeurs des moments angulaires des niveaux de 14,36 MeV et 11,58 MeV. La distribution angulaire du rayonnement primaire est en excellent

TABLEAU I

$E_{x_i} \rightarrow E_{x_f}$ (MeV)	E_γ (MeV)	Déplacement Doppler non atténué (keV)	Déplacement Doppler observé (keV)	Durée de vie (fs)
14,36 \rightarrow 11,58	2,779	7,8	$7,2 \pm 0,2$	< 30
11,58 \rightarrow 9,70	1,875	5,3	$1,1 \pm 0,2$	530 ± 80

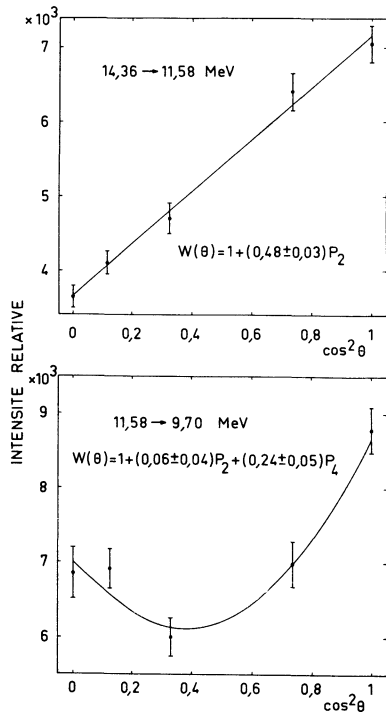


FIG. 3. — Distributions angulaires de rayons γ correspondant aux transitions 14,36 \rightarrow 11,58 MeV et 11,58 \rightarrow 9,70 MeV. Le tracé continu représente la fonction des polynômes de Legendre ajustée par une méthode de moindres carrés aux valeurs expérimentales.

accord (Fig. 4) avec celle d'une transition entre deux niveaux de moment angulaire $J = 6$ dans le cas où le niveau résonnant est formé par la capture d'un proton de moment orbital $l_p = 3$ associé au spin 3 de la voie

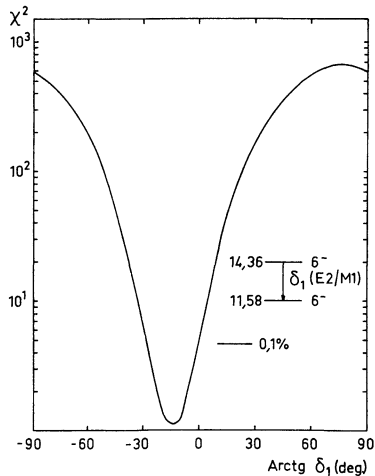


FIG. 4. — Comparaison des résultats expérimentaux et des valeurs calculées dans l'hypothèse d'une transition $(J = 6) \rightarrow (J = 6)$.

Variation du paramètre χ^2 en fonction du mélange multipolaire δ_1 du rayonnement primaire.

d'entrée. Cette émission présente un mélange multipolaire $\delta_1 = -0,23$; elle est principalement du type dipolaire (95 %). La distribution angulaire de la transition consécutive 11,58 \rightarrow 9,70 MeV correspond

à une radiation $(J = 6) \rightarrow (J = 5)$ quadrupolaire pure ($\delta_2 = -9,51$) (Fig. 5).

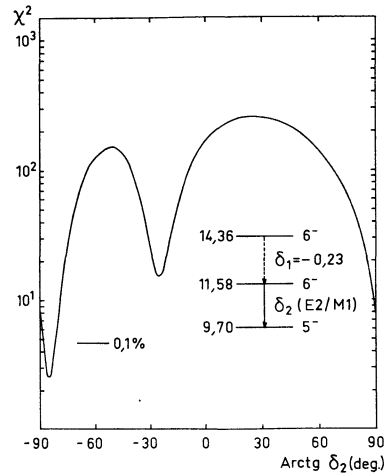


FIG. 5. — Variation du paramètre χ^2 en fonction du mélange multipolaire δ_2 de la transition 11,58 \rightarrow 9,70 MeV, dans le cas $(J = 6) \rightarrow (J = 6) \rightarrow (J = 5)$ avec $\delta_1 = -0,23$.

La valeur du moment de transfert $l_p = 3$, obtenue par ces mesures, entraîne pour l'état résonnant la parité négative. Nous avons confirmé ce résultat en analysant la variation de la section efficace différentielle de la réaction $^{27}\text{Al}(p, p)^{27}\text{Al}$ au voisinage de l'énergie de résonance. Les mesures ont été faites en enregistrant la fonction d'excitation de la réaction $^{27}\text{Al}(p, p)^{27}\text{Al}$ aux angles $\theta_p = 90, 140, 178^\circ$ et simultanément l'intensité de la transition 14,36 \rightarrow 11,58 MeV (Fig. 6). Cette précaution expérimentale est imposée

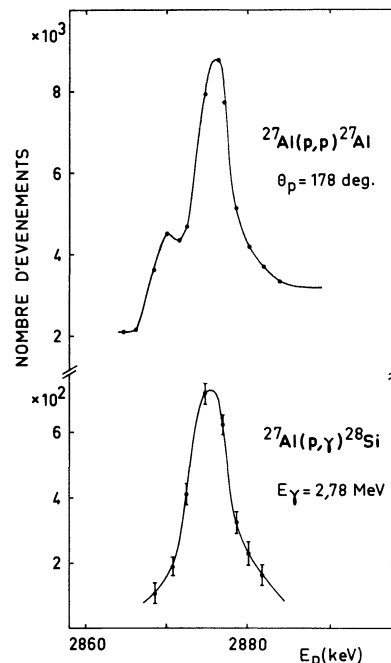


FIG. 6. — Résultat de l'enregistrement simultané de la variation de la section efficace des réactions $^{27}\text{Al}(p, p)^{27}\text{Al}$ à $\theta_p = 178^\circ$ et $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$ à $\theta_\gamma = 90^\circ$. Dans ce dernier cas nous avons reporté la variation de l'aire de la raie à 2,779 MeV, détectée à l'aide d'un compteur Ge(Li).

par la grande densité de niveaux dans ^{28}Si aux environs de 14 MeV.

L'intensité de la résonance,

$$\omega\gamma = (2J + 1) \frac{\Gamma_\gamma \Gamma_p}{\Gamma},$$

a été déterminée au moyen de la technique de la cible semi-épaisse par comparaison à celle de la résonance à $E_p = 1\,724$ keV de $^{27}\text{Al}(p, \gamma)^{28}\text{Si}$. Pour cette dernière, nous avons utilisé la valeur moyenne des intensités mesurées par plusieurs auteurs : $\omega\gamma = 15$ eV [5], [11]-[13]. Nous avons ainsi obtenu $\omega\gamma = 3 \pm 1$ eV, résultat en très bon accord avec celui indiqué récemment par Dalmas ($3,2 \pm 0,6$ eV) [14]. Dans l'hypothèse $\Gamma_\gamma \ll \Gamma_p$, nous obtenons pour la largeur radiative $\Gamma_\gamma = 0,23$ eV. Seul un rayonnement dipolaire magnétique permet alors d'interpréter la désexcitation du niveau résonnant. La largeur réduite correspondante, $|M(M\,1)|^2 = 0,5$ u. W., est de l'ordre de grandeur de celle des transitions M 1, $\Delta T = 1$, dans les noyaux autoconjugués de cette région de masse [15].

La durée de vie du niveau à 11,58 MeV mesurée par déplacement Doppler est de 530 ± 80 fs. Elle correspond à une décroissance E 2 intense

$$(|M(E\,2)|^2 = 13 \text{ u. W.})$$

de l'état à 11,58 MeV vers celui à 9,70 MeV. Cette transition accélérée est d'une intensité comparable à

celles que l'on observe dans la bande de rotation ($K = 0$) qui comprend l'état fondamental ainsi qu'à celles mises en évidence entre plusieurs états de parité négative [5].

La parité impaire du niveau à 11,58 MeV est définie par la transition magnétique dipolaire qui l'alimente et par sa désexcitation quadrupolaire électrique.

3. Conclusion. — Les mesures que nous avons effectuées nous ont permis de mettre en évidence deux nouveaux états : l'un virtuel, $J^\pi = 6^-, T = 1$ à 14 356 keV, l'autre lié, $J^\pi = 6^-, T = 0$ à 11 577 keV. Ces résultats, qui viennent d'être confirmés par un travail récent de Neal et Lam [16], complètent la description des états de parité négative de ^{28}Si . Il est intéressant de noter les caractéristiques communes qui apparaissent dans le mode de désexcitation électromagnétique des états $T = 1$ de ce noyau : les transitions M 1 intenses, $\Delta T = 1$, sont suivies préférentiellement de transitions E 2 pures, $\Delta T = 0$. Cette observation a été faite pour d'autres noyaux auto-conjugués de la couche 2s-1d [17].

Parmi les niveaux d'isospin $T = 1$ et de parité négative de ^{28}Si , mis en évidence jusqu'ici, il faut remarquer que ceux à 13 245 keV ($J^\pi = 5^-$) et 14 356 keV ($J^\pi = 6^-$) ont des énergies d'excitation voisines de celles calculées par Farris et Eisenberg dans le cas de configurations simples du modèle en couche.

Bibliographie

- [1] NORDHAGEN, R., Symposium on the structure of Low-medium Mass Nuclei. University of Kansas, March 1964.
- [2] CARLSON, L. E., Thèse, Université de Toronto, 1967.
- [3] SIMONS, L., FORSBLOM, I., KIURU, A., RASANEN, J., VIITASALO, V., FANT, B., SOLA, P. et OSTERLUND, K. *Comment. Phys. Math.* **34** (1969) 47.
- [4] GONIDEC, J. P., Thèse, Université de Strasbourg, 1972.
- [5] LAM, S. T., LITHERLAND, A. E. et AZUMA, R. E., *Can. J. Phys.* **49** (1971) 685.
- [6] DONNELLY jr, T. W., WALECKA, J. D., WALKER, G. E. et SICK, I., *Phys. Lett.* **32B** (1970) 7, 545.
- [7] FARRIS, S. A. et EISENBERG, J. M., *Nucl. Phys.* **88** (1966) 241.
- [8] FREEMAN, R. M., Communication privée.
- [9] MIEHE, C., GONIDEC, J.-P., HUCK, A. et WALTER, G., Conference on Nuclear Physics-Nuclear Structure and Nuclear Reactions, University of Birmingham, April 1972.
- [10] AZUMA, R. E., CARLSON, L. E., CHARLESWORTH, A. M., JACKSON, K. P., ANYAS-WEISS, N. et LALOVIC, B., *Can. J. Phys.* **44** (1966) 3075.
- [11] GIBSON, E. F., BATTLESON, K. et Mc DANIELS, D. K., *Phys. Rev.* **172** (1968) 1004.
- [12] MEYER, M. A., WOLMARANS, N. S. et REITMANN, D., *Nucl. Phys. A* **144** (1970) 261.
- [13] LYONS, P. B., TOEVS, J. W. et SARGOOD, D. G., *Nucl. Phys. A* **130** (1969) 1.
- [14] DALMAS, J., Communication privée.
- [15] SKORKA, S. J., HERTEL, J., RETZ-SCHMIDT, T. W., *Nuclear Data A* **2** (1966) 347.
- [16] NEAL, G. et LAM, S. T., *Bull. Am. Phys. Soc.* **18** (1973) 58.
- [17] VERNOTTE, J., Communication privée.