Classification
Physics Abstracts
4.220 — 4.420

NIVEAUX DE SPIN ÉLEVÉ DANS LE NOYAU ^{64}Zn

J. F. BRUANDET, F. GLASSER, M. AGARD, A. GIORNI, J. P. LONGEQUEUE
et TSAN UNG CHAN

Institut des Sciences Nucléaires, BP 257, 38044 Grenoble Cedex, France

(Reçu le 2 décembre 1975, révisé le 16 janvier 1976, accepté le 9 février 1976)

Résumé. — Un schéma de niveaux a été obtenu pour le noyau ^{64}Zn , en spectroscopie γ sur faisceau, par l'étude de la réaction $^{62}\text{Ni}(\alpha, 2n\gamma)$. Les caractéristiques $J^\pi = 6^+$ et $7^{(-)}$ sont proposées pour les niveaux à 4 236 keV et 4 635 keV respectivement. La vie moyenne ($\tau = 130 \pm 15$ ps) de la transition $E_\gamma = 641$ keV désexcitant le niveau à 4 635 keV a été mesurée par la méthode du parcours de recul dans la réaction $^{55}\text{Mn}(^{12}\text{C}, p 2n\gamma)$.

Abstract. — A level scheme of the ^{64}Zn nucleus has been established from the study of the $^{62}\text{Ni}(\alpha, 2n\gamma)$ reaction by in-beam gamma spectroscopy. We propose the quantum numbers $J^\pi = 6^+$ for the 4 236 keV level and $J^\pi = 7^{(-)}$ for the 4 635 keV level. The mean life ($\tau = 130 \pm 15$ ps) of the 641 keV γ -ray de-exciting the 4 635 keV level has been measured by the recoil-distance method using the $^{55}\text{Mn}(^{12}\text{C}, p 2n\gamma)$ reaction.

1. Introduction. — Nous avons entrepris l'étude systématique des isotopes pairs des zincs par spectroscopie γ [1, 2]. La couche de neutrons $1g_{9/2}$ est suffisamment voisine de la couche $1f_{5/2}$ [3] pour que l'on puisse espérer mettre en évidence, dans ces noyaux, des niveaux de spin élevé à une énergie d'excitation de quelques MeV. Dans ce but, nous avons étudié pour plusieurs énergies incidentes, la formation du noyau de ^{64}Zn par les réactions $^{54}\text{Fe}(^{12}\text{C}, 2p\gamma)^{64}\text{Zn}$ ($E_{^{12}\text{C}} = 36$ à 48 MeV) et $^{62}\text{Ni}(\alpha, 2n\gamma)^{64}\text{Zn}$ ($E_\alpha = 22$ à 35 MeV) : l'expérience a montré que dans ces deux réactions les mêmes niveaux étaient atteints avec des intensités d'alimentation du même ordre [1]. Nous présentons ici essentiellement la cascade γ la plus intense ainsi que le résultat d'une mesure de durée de vie par la méthode du parcours de recul.

2. Spectroscopie du noyau ^{64}Zn par la réaction $^{62}\text{Ni}(\alpha, 2n\gamma)$. — Nous avons utilisé les faisceaux de particules α accélérées par le cyclotron de Grenoble, une cible autoporteuse de ^{62}Ni ($700 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) enrichie à 99,4 % et des détecteurs Ge(Li) (30 à 60 cm^3) ayant une résolution typique de 3 keV à 1,33 MeV. Quatre types de mesure ont été effectués : 1) Des coïncidences γ - γ promptes et retardées [4] à l'énergie $E_\alpha = 31$ MeV : la figure 1 montre le spectre de coïncidences totales γ - γ et quelques spectres en coïncidence avec des raies γ du ^{64}Zn . 2) Des fonctions d'excitation pour des énergies E_α variant de 22 à 40 MeV (Fig. 2) : ces fonctions croissent avec l'énergie E_α d'autant plus fortement que la raie γ considérée correspond à la désexcitation d'un niveau de spin d'autant plus élevé.

FIG. 1. — Spectres de coïncidences γ - γ obtenus dans la réaction $^{62}\text{Ni} + \alpha$ à $E_\alpha = 31$ MeV.

TABLEAU I
Résultats des distributions angulaires dans ^{64}Zn

E_γ	Transition		Coefficients de distribution angulaire ^(a)		Mélange δ ^(b) Multipolarité
	J_i	J_f	$A_2 \pm \Delta A_2$	$A_4 \pm \Delta A_4$	
991	2^+	0^+	$0,177 \pm 0,015$	$-0,121 \pm 0,022$	E_2 pure
1 315	4^+	2^+	$0,280 \pm 0,022$	$-0,123 \pm 0,033$	E_2 pure
1 687	6^+	4^+	$0,345 \pm 0,029$	$-0,174 \pm 0,043$	E_2 pure
641	7^-	6^+	$-0,343 \pm 0,026$	$-0,071 \pm 0,037$	$L = 1$ pure
808	2^+	2^+	$-0,216 \pm 0,026$	$-0,071 \pm 0,037$	$-0,57 - 0,27$ $+ 0,13$
937	4^+	2^+	$0,263 \pm 0,015$	$-0,135 \pm 0,023$	E_2 pure

^(a) $W(\theta) = 1 + A_2 P_2(\cos \theta) + A_4 P_4(\cos \theta)$.
^(b) Erreur sur δ déterminée en considérant un écart standard de variation par rapport à $\chi^2_{\min}$.

FIG. 2. — Fonctions d'excitation relatives de quelques transitions γ dans le noyau ^{64}Zn et schéma de niveaux partiel.

3) Des distributions angulaires γ à $E_\alpha = 31$ MeV dont l'analyse est résumée dans le tableau I. 4) Une détection des raies γ retardées par observation du spectre γ dans l'intervalle de temps (70 ns) compris entre deux impulsions de faisceau : aucune raie γ

retardée de période > 5 ns n'a été mise en évidence dans le noyau ^{64}Zn .

3. Mesure des périodes de décroissance des raies γ . — Cette mesure a été effectuée par la méthode du parcours de recul basée sur l'utilisation de l'effet Doppler [5]. Les réactions avec ions lourds sont particulièrement adaptées à ce type de mesures : ayant eu des difficultés pour réaliser une cible très plane de ^{54}Fe , nous avons remplacé la réaction $^{54}\text{Fe}(^{12}\text{C}, 2p\gamma)$ par la réaction $^{55}\text{Mn}(^{12}\text{C}, p2n\gamma)$ à $E_{^{12}\text{C}} = 35$ MeV (cible de $100 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ de ^{55}Mn , déposée sur un support d'or de $1 \text{ mg}/\text{cm}^2$). L'appareillage [6] est constitué d'un stoppeur en tungstène dont la surface a une planéité meilleure que $0,1 \mu$ sur un diamètre de 10 mm et d'un chariot portant la cible, dont la translation autorise des déplacements de 0 à 4 mm avec une sensibilité de position de $0,5 \mu$. Le système de tension de la cible est tel que les défauts de planéité n'excèdent pas $0,5 \mu$ et le réglage du parallélisme des plans de la cible et du stoppeur est réalisé par une méthode optique d'autocollimation avec une précision angulaire meilleure que $10''$. La mesure de la distance cible-stoppeur est effectuée à l'aide d'un

FIG. 3. — Spectre γ libre obtenu dans la réaction $^{55}\text{Mn} + ^{12}\text{C}$ à $E_{^{12}\text{C}} = 35$ MeV.

FIG. 4. — Echantillons de spectres γ de la réaction $^{55}\text{Mn}(^{12}\text{C}, p 2n)$ à 35 MeV montrant le déplacement de la raie $E_\gamma = 641$ keV en fonction de la distance cible-stoppeur.

comparateur ayant une précision de 1μ ; afin de connaître avec précision la distance zéro et pour contrôler les variations de cette distance, une méthode de mesure capacitive a été utilisée. Cet appareillage [6] a été testé sur des mesures de durée de vie dans ^{41}Ca et ^{41}K , obtenus par réactions $^{16}\text{O} + ^{27}\text{Al}$, publiées récemment [7]. La figure 3 représente l'ensemble du spectre γ enregistré à 0° par rapport au faisceau pour une distance cible-stoppeur $D = 200 \mu$, et la figure 4 montre le déplacement Doppler de la raie $E_\gamma = 641$ keV (dans ^{64}Zn) pour différentes distances D . La courbe de décroissance de cette raie est présentée sur la figure 5 : elle correspond à une vie moyenne

$$\tau = 130 \pm 15 \text{ ps},$$

calculée à partir de la relation

$$\frac{I_0}{I_0 + I_s} = e^{-D/v\tau}$$

FIG. 5. — Intensité relative $R(D) = \frac{I_0}{I_0 + I_s}$ du pic non déplacé pour chacune des raies $E_\gamma = 1687$ keV et $E_\gamma = 641$ keV.

dans laquelle I_s et I_0 sont respectivement les intensités de la raie γ déplacée (émise par les noyaux excités de ^{64}Zn reculant dans le vide avec la vitesse v) et de la raie γ non déplacée (émise par les noyaux de ^{64}Zn arrêtés dans le stoppeur). L'allure de cette courbe de décroissance montre que les périodes des transitions γ alimentant le niveau à 4635 keV sont négligeables devant la période de cet état. Nous avons d'ailleurs pu vérifier expérimentalement que la principale transition, d'énergie $E_\gamma = 1046$ keV, alimentant ce niveau a une durée de vie beaucoup plus faible.

De la courbe de décroissance (Fig. 5) de la transition $E_\gamma = 1687$ keV, nous avons déduit, après soustraction de la contribution due à la raie de 641 keV [5], une limite supérieure $\tau \leq 20$ ps pour la vie moyenne du niveau à 3993 keV.

4. Discussion des résultats. — Nos résultats sont résumés sur la figure 2. Les niveaux à 991 keV et 2306 keV sont connus [8] comme ayant les caractéristiques $J^\pi = 2^+$ et 4^+ respectivement. Pour le niveau à 3993 keV, nous avons proposé [1] les caractéristiques $J^\pi = 6^+$ sur la base des considérations suivantes : 1) L'analyse de la distribution angulaire et la croissance de la fonction d'excitation, pour la raie γ de 1687 keV, ainsi que l'absence de transitions γ vers les niveaux 0^+ et 2^+ à plus basse énergie, sont en faveur d'un spin $J = 6$. 2) La limite supérieure de la vie moyenne ($\tau < 20$ ps) de la raie γ de 1686 keV, exclut la caractéristique M2 pour cette transition [9], c'est-à-dire exclut une parité négative pour ce niveau. Ce résultat a été confirmé par R. O. Sayer *et al.* [10] qui ont étudié le noyau ^{64}Zn par la réaction $^{51}\text{V}(^{16}\text{O}, p 2n\gamma)$ et ont proposé $J^\pi = 6^{(+)}$ pour ce niveau. Pour le niveau à 4635 keV, nous proposons avec les mêmes arguments que précédemment la caractéristique $J = 7$. La mesure de la vie moyenne de la raie $E_\gamma = 641$ keV ($\tau = 130 \pm 15$ ps) conduit dans l'hypothèse d'une transition M1 à une intensité de 10^{-3} unité Weisskopf, c'est-à-dire à une valeur

extrême du facteur de retard pour ce type de transition [11]; nous proposons donc de considérer qu'il s'agit d'une transition E1 et d'attribuer une parité négative au niveau à 4 635 keV, c'est-à-dire les caractéristiques $J^\pi = 7^-$. Une interprétation théorique élémentaire de ce niveau (analogue à celles que nous avons faites pour le noyau ^{66}Zn [2]) consiste à consi-

dérer qu'il s'agit de la configuration $[1f_{5/2} \cdot 1g_{9/2}]^{J^\pi=7^-}$ en neutrons.

Remerciements. — Nous remercions M. le Pr. A. Gallmann et son équipe pour les conseils qu'ils nous ont donnés dans la réalisation de notre appareillage de mesure de durée de vie.

Bibliographie

- [1] BRUANDET, J.-F., TSAN UNG CHAN, LONGQUEUE, J.-P., AGARD, M. et GIORNI, A., *J. Physique Colloq.* **35** (1974) C5-2; Proc. Int. Symp. on Highly Excited States in Nuclei, Jülich (1975), vol. 1, p. 40.
- [2] BRUANDET, J.-F., AGARD, M., GIORNI, A., LONGQUEUE, J.-P., MORAND, C. et TSAN UNG CHAN, à paraître dans *Phys. Rev.* (Dec. 1975)
- [3] VON EHRENSTEIN, D. and SCHIFFER, J.-P., *Phys. Rev.* **164** (1967) 1374.
- [4] TSAN UNG CHAN, AGARD, M., BRUANDET, J.-F., GIORNI, A. and LONGQUEUE, J.-P., à paraître dans *Nucl. Phys.*
- [5] *Nuclear Spectroscopy and Reactions*, Part C. Edited by Cerny, J. (Academic Press) 1974, p. 341.
- [6] GLASSER, F., Thèse 3^e cycle, Université de Grenoble (1975).
- [7] LIEB, K. P., UHRMACHER, M., DAUK, J. and KLEINFELD, A. M., *Nucl. Phys. A* **223** (1974) 445.
- [8] AUBLE, R. L., *Nucl. Data Sheets* **12** (1974) 305.
- [9] LETESSIER, J. et FOUCHER, R., *Ann. Phys. (Paris)* **4** (1969) 55.
- [10] SAYER, R. O., ROBINSON, R. L., MILNER, W. T. and SMITH, G. J., Int. Conf. on Reactions between Complex Nuclei, Nashville, vol. 1 (Amsterdam, North-Holland) 1974, p. 192.
- [11] SKORKA, S. J., HERTEL, J. and RETZ-SCHMIDT, J. W., *Nuclear Data, Sect. A* **2** (1966) n° 4.
- ENDT, P. M. and VAN DER LEUN, C., *Nucl. Data Tables* **13** (1974) 67.