

# En direction de $^{78}\text{Ni}$ : Excitations à hauts spins de $^{84}\text{Br}_{49}$

*Towards  $^{78}\text{Ni}$ : High-spin excitations of  $^{84}\text{Br}_{49}$*

---

Astier Alain, Porquet Marie-Geneviève, Deloncle Isabelle

**Collaborations :**

- (1) INRNE, BAS, 1784 Sofia, Bulgarie
- (2) IReS, 67037 Strasbourg
- (3) IPNL, 69622 Villeurbanne
- (4) CEA/Saclay, DSM/DAPNIA/SPhN, 91191 Gif sur Yvette
- (5) JINR, 141980 Dubna, Russie

*Abstract: The  $^{84}\text{Br}$  odd-odd nucleus has been produced as fission fragment in the fusion reaction  $^{18}\text{O}+^{208}\text{Pb}$  at 85 MeV bombarding energy and studied with the Euroball IV array. Its high-spin states have been identified for the first time, the observed structure being built on the known  $6^-$  isomeric state. All the observed states in  $^{84}\text{Br}$  are described by various proton excitations involving at least the two sub-shells ( $\pi f_{5/2}$  and  $\pi p_{3/2}$ ) located just above the  $Z=28$  shell closure.*

## Introduction

L'évolution du gap  $N=50$  à grand excès de neutrons représente actuellement un effort intense de la communauté de physique nucléaire (voir par exemple [1-7]). Du côté théorique, les prédictions du modèle en couches nécessitent la détermination d'ingrédients de base dans les calculs, comme les énergies de particules individuelles et les éléments de matrice à deux corps. Or dans cette région de masse intermédiaire ces valeurs sont pour certaines très peu connues. En particulier, pour décrire l'évolution du gap  $N=50$  à grand excès de neutrons, il faut connaître les énergies d'interactions résiduelles pour plusieurs configurations protons-neutrons où les protons sont sur des orbitales  $fp$  ( $28 < Z < 38$ ) et les neutrons sur des orbitales  $dg$  ( $N \sim 50$ ). L'étude de la structure de quelques isotopes modérément riches en neutrons fournit ainsi des données qui peuvent être comparées avec les résultats des calculs de modèles en couches, conduisant à la détermination de ces paramètres cruciaux. Plus précisément, les propriétés des états à hauts spins de plusieurs isotopes ( $^{37}\text{Rb}$ ,  $^{36}\text{Kr}$ ,  $^{35}\text{Br}$ , and

$^{34}\text{Se}$ ), situés autour de la fermeture  $N=50$ , sont attendus être dominées par les quelques excitations de protons et neutrons placés dans ces sous-couches d'intérêt.

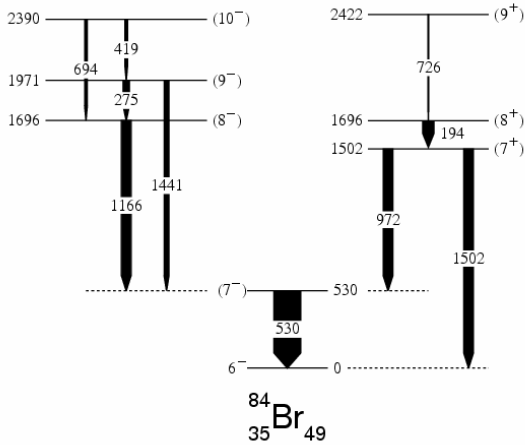
C'est dans cette optique sont présentés et discutés ci-dessous nos résultats obtenus dans l'isotope  $^{84}\text{Br}_{49}$ .

## I – Expérience et résultats

La réaction de fusion-fission  $^{18}\text{O}+^{208}\text{Pb}$  (85 MeV d'énergie de faisceau délivré par le Vivitron à Strasbourg) a été utilisée pour produire à hauts spins les noyaux d'intérêt. Les données ont été recueillies grâce au multidétecteur Euroball IV.

Plus d'une centaine de noyaux sont produits dans une telle réaction de fusion-fission, ce qui donne plusieurs milliers de transitions  $\gamma$  à analyser. L'étude d'un noyau particulier passe par l'analyse de spectres conditionnés, où deux transitions  $\gamma$  doivent être connues. Avant ce travail, les connaissances des états de  $^{84}\text{Br}$  étaient quasi-inexistantes [8] : un état  $6^-$  ( $T_{1/2}=6.0$  min) situé à  $320 \pm 100$  keV au-dessus du fondamental  $2^-$  ( $T_{1/2}=31.8$  min). Un grand atout de la fusion-fission est cependant la production simultanée de paires

de fragments complémentaires. Ainsi, l'identification et l'attribution de transitions  $\gamma$  à ce noyau ont ainsi été obtenues sans ambiguïté grâce à leurs coïncidences temporelles avec celles de  $^{137}\text{Cs}$ , le fragment complémentaire le plus intense –et connu– dans la réaction. La figure 1 présente le nouveau schéma de niveaux de  $^{84}\text{Br}$ .



**Figure 1** : Schéma de niveaux de  $^{84}\text{Br}$  obtenu dans ce travail. Les structures observées sont bâties sur l'état isomérique  $6^-$  ( $T_{1/2}=6.0$  min) situé à  $320\pm 100$  keV au-dessus du fondamental  $2^-$  ( $T_{1/2}=31.8$  min)

## II – Discussion

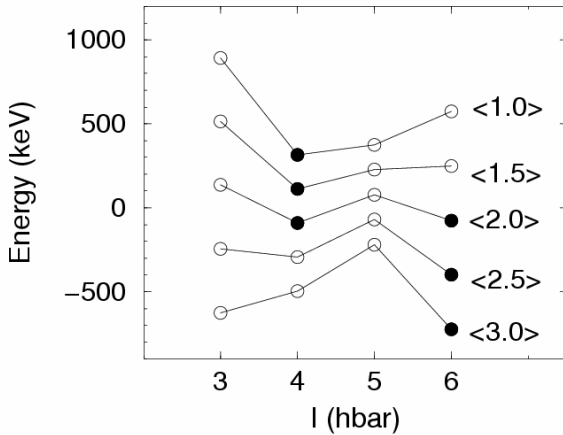
Dans le noyau impair-impair  $^{84}\text{Br}_{49}$ , les orbitales actives autour de Fermi sont  $\pi f_{5/2}$ ,  $\pi p_{3/2}$ ,  $\pi p_{1/2}$  et  $\pi g_{9/2}$  pour les protons et  $\nu g_{9/2}$  pour les neutrons. Suivant l'orbitale proton couplée à l'orbitale neutron  $\nu g_{9/2}$ , quatre configurations sont attendues au-dessous de 2 MeV, ces quatre configurations donnant chacune naissance à un multiplet d'états :  $\pi p_{3/2} \otimes \nu g_{9/2}$  ( $3^- < I^\pi < 6^-$ ),  $\pi f_{5/2} \otimes \nu g_{9/2}$  ( $2^- < I^\pi < 7^-$ ),  $\pi p_{1/2} \otimes \nu g_{9/2}$  ( $I^\pi=4^-$  et  $5^-$ ), et  $\pi g_{9/2} \otimes \nu g_{9/2}$  ( $0^+ < I^\pi < 9^+$ ).

À cause de l'interaction résiduelle proton-neutron, l'ordre relatif des états dépend de la nature (particule ou trou) des nucléons. Plus précisément quand les deux nucléons ont la même nature (particule-particule ou trou-trou), les spins extrêmes des multiplets sont favorisés. Inversement, dans le cas d'une configuration particule-trou ce sont les états

de spins intermédiaires qui sont le plus abaissés en énergie.

Si le neutron célibataire de  $^{84}\text{Br}$  est évidemment de nature trou ( $[\nu g_{9/2}]^{-1}$ ), la nature du proton dépend de sa sous-couche. Pour la déterminer nous pouvons commencer avec le cas plus simple de l'isotone  $^{86}_{37}\text{Rb}$ . Il est facile de constater que les excitations  $\pi p_{3/2}$  et  $\pi f_{5/2}$  sont de type trou, tandis que l'excitation  $\pi g_{9/2}$  est de type particule. Ces simples arguments permettent de reproduire les spins expérimentaux des premiers états de  $^{86}\text{Rb}$ . Ensuite, en supposant un remplissage successif des orbitales protons entre  $Z=37$  et  $Z=35$ , on pourrait s'attendre à ce que seule l'excitation  $\pi p_{3/2}$  devienne de type particule. Dans ce cas tous les premiers états de  $^{84}\text{Br}$  devraient être les mêmes que ceux observés dans  $^{86}\text{Rb}$  à part l'état  $6^-$  qui n'est alors plus attendu isomérique puisque c'est alors l'état  $5^-$  de ce multiplet qui devrait être favorisé. Or ce n'est pas le cas, le spin de l'état isomérique de  $^{84}\text{Br}$  étant bien  $I^\pi=6^-$ .

Pour trouver la solution à ce problème il faut remarquer que, dépendant de la distribution de paire de protons parmi les deux sous-couches  $\pi f_{5/2}$  et  $\pi p_{3/2}$  très proches en énergie, la nature du proton célibataire occupant cette dernière peut aisément passer de particule,  $[\pi f_{5/2}]^6 \otimes [\pi p_{3/2}]^1$ , à trou,  $[\pi f_{5/2}]^4 \otimes [\pi p_{3/2}]^{-1}$ . Nous avons calculé, avec la même méthode utilisée dans la référence [9], les énergies d'interaction résiduelle de la configuration  $\pi p_{3/2} \otimes \nu g_{9/2}$  en fonction du nombre de protons occupant  $\pi p_{3/2}$  ( $1 < n < 3$ ). Elles sont présentées sur la figure 2. Il peut être constaté que l'état le plus bas du multiplet est l'état  $6^-$  dès que la sous-couche  $\pi p_{3/2}$  est à moitié pleine. Ainsi, l'état isomérique  $I^\pi=6^-$  mesuré dans  $^{84}\text{Br}$  peut être interprété comme une évidence expérimentale de la diffusion d'une paire de protons parmi les sous-couches  $fp$ .



**Figure 2** : Energies d'interaction résiduelle de la configuration  $\pi p_{3/2} \otimes \nu g_{9/2}$  en fonction du moment angulaire  $I$ , calculées pour cinq valeurs de l'occupation dans  $\pi p_{3/2}$ . Le cercle plein indique l'état le plus bas du multiplet pour chaque cas.

Dans l'isotone voisin  $^{86}\text{Rb}$ , la distance en énergie entre les états de spins extrêmes,  $2^-$  et  $7^-$ , du multiplet issu de la configuration  $[\pi f_{5/2}]^{-1} \otimes [\nu g_{9/2}]^{-1}$  est de 780 keV. Par analogie, on peut donc supposer que l'état de  $^{84}\text{Br}$  situé à 530 keV au-dessus de l'isomère  $6^-$ , *i.e.* 850(100) keV au-dessus du fondamental  $2^-$ , est l'état  $7^-$  state provenant de la configuration  $[\pi f_{5/2}]^{-1} \otimes [\nu g_{9/2}]^{-1}$ . En ce qui concerne les excitations à plus haute énergie, l'excitation  $\pi g_{9/2}$  et la brisure d'une paire de protons dans les sous-couches  $fp$  sont dans la même gamme en énergie. Ainsi, la configuration  $[\pi g_{9/2}]^{+1} \otimes [\nu g_{9/2}]^{-1}$  peut expliquer les états situés à 1502, 1696 et 2422 keV au-dessus de l'état isomérique  $6^-$ , tandis que les états à 1696, 1971, 2390 keV au-dessus du  $6^-$  proviennent de la réorientation des moments angulaires à l'intérieur des sous-couches  $fp$ , le spin maximum possible étant  $10^-$ .

## Conclusion et perspectives

L'isotope impair-impair  $^{84}\text{Br}_{49}$  a été produit comme fragment de fission dans la réaction de fusion  $^{18}\text{O} + ^{208}\text{Pb}$  à 85 MeV, les transitions  $\gamma$ -rays émises étant détectées par le multidétecteur Euroball IV. Ses états de hauts spins ont été identifiés pour la première fois. Ils ont ensuite été discutés en termes d'excitations de protons et de

neutrons impliquant les sous-couches situées proches des niveaux de Fermi,  $\nu g_{9/2}$  et  $\pi f_{5/2}$ ,  $\pi p_{3/2}$ ,  $\pi g_{9/2}$ . Tous ces résultats sont détaillés dans la référence [10], tout comme ceux obtenus sur  $^{85}\text{Br}$ . L'analyse de ces deux isotopes de brome nous a permis d'effectuer une cartographie détaillée des sous-couches protons lorsque l'on se rapproche de  $^{78}\text{Ni}$ .

Il est également important de noter qu'avec ce type de réaction (la fusion-fission), seuls les états de hauts spins sont accessibles expérimentalement. Ainsi dans le cas où tous les états d'un multiplet, et donc y compris ceux de bas spins, doivent être identifiés, un mécanisme de réaction différent doit être utilisé. Ceci est en particulier le cas pour l'isotope  $^{86}\text{Br}$  ( $N=51$ ) où une expérience de décroissance  $\beta$  avec ALTO est prévue pour compléter les informations que nous possédons à hauts spins sur ce noyau impair-impair.

- [1] C. Mazzocchi et al., Phys. Lett. **B 622**, 45 (2005).
- [2] J.M. Daugas et al., Phys. Lett. **B 476**, 213 (2000).
- [3] O. Perru, Thèse de l'Université Paris XI, Orsay (December 2004), O. Perru et al., Eur. Phys. J. A **28**, 307 (2006), and D. Verney et al., Braz. Journ. of Phys. **34**, 979 (2004).
- [4] J.S. Thomas et al., Phys. Rev. C **71**, 021302 (2005).
- [5] E. Padille-Rodal et al., Phys. Rev. Lett. **94**, 122501 (2005).
- [6] Y.H. Zhang et al., Phys. Rev. C **70**, 024301 (2004).
- [7] A. Prévost et al., Eur. Phys. J. A **22**, 391 (2004).
- [8] ENSDF database, <http://www.nndc.bnl.gov/ensdf/>
- [9] M.-G. Porquet et al., Eur. Phys. J. A **20**, 245 (2004).
- [10] A. Astier et al., Eur. Phys. J. A **30**, 541 (2006).