

# Spectroscopie nucléaire de noyaux très riches en neutrons

## Isomères $\mu$ s dans les noyaux $^{129}\text{In}$ et $^{129}\text{Sb}$

J.-A. Pinston, J. Genevey

Collaborations : ILL, Université de Naples, Université de Varsovie

*The decay schemes of the new isomer  $23/2^+$  in  $^{129}\text{Sb}$  and  $17/2^-$  in  $^{129}\text{In}$  are reported. These nuclei are produced by thermal-neutron induced fission on  $^{241}\text{Pu}$ . A shell-model study of these two nuclei is also performed using a realistic interaction derived from the CD-Bonn free nucleon-nucleon potential. The calculations show that the energy levels and electromagnetic transitions are in good agreement with experiment.*

L'étude des noyaux proches de  $^{132}\text{Sn}$ , doublement magique, offrent la possibilité de tester le modèle en couches très loin de la ligne de stabilité. Dans ce travail les schémas de désintégration d'isomères  $\mu$ s de  $^{129}_{49}\text{In}$  et  $^{129}_{51}\text{Sb}$  ont été étudiés expérimentalement et comparés à un calcul théorique. Pour ces deux noyaux l'interaction neutron-proton est très différente, car suivant le cas, on a une interaction trou-trou ou particule-trou et les orbites de protons, qui sont dans la couche N = 3 ou N = 4, sont aussi différentes.

Ces deux noyaux ont été produits à l'ILL par fission avec des neutrons thermiques sur une cible de  $^{241}\text{Pu}$ . La technique expérimentale utilisée consiste à mesurer des isomères ayant des périodes dans le domaine de temps 0,5-50  $\mu$ s. Leur détection est basée sur la corrélation en temps entre les produits de fission qui sont détectés dans le plan focal du spectromètre LOHENGRIN et les  $\gamma$  ou les électrons de conversion retardés qui désexcitent ces isomères. Le dispositif expérimental est présenté en détail en [1].

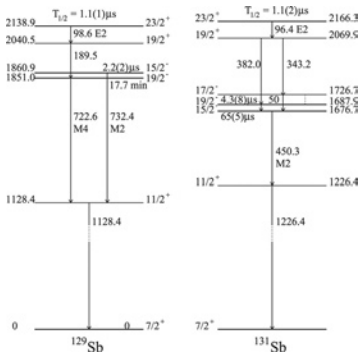


Figure 1 : Schémas de désintégration des isomères de  $^{129}\text{Sb}$  et  $^{131}\text{Sb}$ .

La figure 1 montre le schéma de niveaux de l'isomère  $^{129}\text{Sb}$  mesuré au cours de ce travail [2], ainsi que celui de  $^{131}\text{Sb}$  [1] que nous avons précédemment mesuré. Les moments angulaires de ces isomères sont élevés,  $23/2^+$  pour les Sb et  $17/2^-$  pour  $^{129}\text{In}$ . Ils se désexcitent sur des niveaux de la ligne yrast ou dans leur proche voisinage.

La figure 2 montre une comparaison de ces trois noyaux avec un calcul de modèle en couches réalisé par les théoriciens de l'université de Naples. Les interactions résiduelles utilisées dans ce travail sont dérivées du potentiel nucléon-nucléon libre CD-Bonn. Les

niveaux d'énergie et les probabilités de transition sont bien reproduites par le modèle. Le seul niveau mal reproduit dans les trois noyaux est l'état  $11/2^+$ . Une analyse plus détaillée montre que cet effet est une manifestation faible de la couche N = 5, 82-126, située au-delà du gap de neutrons et donc non prise en compte dans les calculs.

[1] J. Genevey et al., Eur. Phys. J. A9, 191 (2000)

[2] J. Genevey et al., Phys. Rev. C67, 054312 (2003)

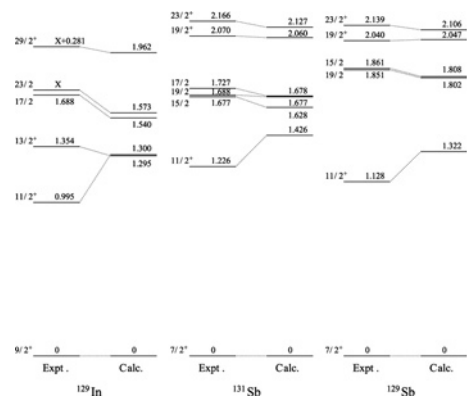


Figure 2 : Comparaisons des énergies expérimentales et théoriques de  $^{129}\text{In}$  et  $^{129,131}\text{Sb}$ .

## ► Origine de la déformation et coexistence de formes dans les noyaux de masse $A \sim 100$

J.-A. Pinston, J. Genevey

Collaborations : Université de Varsovie, ILL, Université de Manchester, Argonne National Laboratory, IRES Strasbourg

*The 9/2[404] strongly deformed band in the odd Sr and Zr nuclei of the  $A \sim 100$  region was observed for the first time. The properties of this neutron orbital and its influence on the onset of deformation in the neutron rich  $A \sim 100$  region are discussed.*

Les noyaux riches en neutrons, proches de  $A = 100$ , présentent plusieurs comportements intéressants et uniques : apparition brutale de la déformation dans l'état fondamental des Sr et Zr et coexistence de formes. C'est la raison pour laquelle ils ont été intensivement étudiés dans le passé. Cependant, malgré ces efforts, la bande de rotation bâtie sur le niveau  $\nu 9/2[404]$  n'avait encore jamais été observée. En fait, elle est très certainement inaccessible par désintégration bêta et difficile à atteindre dans les réactions en ligne, parce que ses niveaux sont au dessus de la ligne yrast. Récemment, nous avons réussi à observer cette bande dans  $^{99}\text{Zr}$  pour la première fois, à partir de données obtenues avec le détecteur  $\gamma$  EUROGAM2, en étudiant les  $\gamma$  prompts émis dans la fission spontanée de  $^{248}\text{Cm}$  [1]. Depuis, cette bande a été aussi peuplée dans  $^{97}\text{Sr}$  [2] et  $^{101}\text{Zr}$  [3]. Ces trois bandes sont reportées dans la figure 1 où l'on peut observer que les énergies d'excitation sont très voisines dans ces trois noyaux. Un moment quadripolaire  $Q_0 \sim 4$  b a été déduit du rapport de branchement de l'état  $13/2^+$ , dans ces trois bandes, ce qui correspond à une déformation importante  $\beta_2 \sim 0,42$ . Cette valeur est remarquable puisqu'elle correspond au maximum de déformation observé dans cette région.

Ces nouveaux résultats permettent de clarifier l'origine de l'apparition de la déformation et des coexistences de formes observées dans cette région. En fait, les orbites  $9/2[404]$  favorisant une forme sphérique du cœur, et  $3/2[541]$  et  $5/2[532]$  favorisant une forme déformée du cœur, jouent un rôle prépondérant. Dans les bandes considérées, à une énergie d'excitation de  $\sim 1$  MeV, la paire de neutrons dans l'orbite  $9/2[404]$  est brisée et un neutron occupe un niveau  $3/2[541]$  ou  $5/2[532]$  pour former une nouvelle paire dans le cœur, avec ces orbites. Ce mécanisme favorise donc fortement les grandes déformations dans cette région. Avec la découverte de la bande  $9/2[404]$ , trois déformations différentes ont été mises en évidence dans les noyaux de Sr et Zr avec 59 neutrons, ce qui est très certainement une situation unique dans la carte des isotopes.

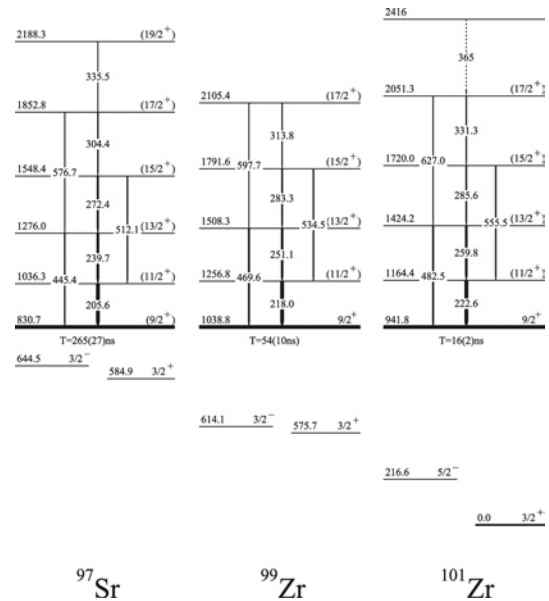


Figure 3 : Bandes  $9/2[404]$  dans  $^{97}\text{Sr}$  et  $^{99,101}\text{Zr}$ .

- [1] W. Urban et al., Eur. Phys. J. A16 11 (2003)
- [2] J.K. Hwang et al., Phys. Rev. C 67, 054304 (2003)
- [3] W. Urban et al., à paraître dans Eur. Phys. J.

## ► Séparation isomérique des noyaux d'étain riches en neutrons

*J. Genevey, R. Guglielmini*

*Collaborations : IPNO (Orsay), Laboratoire Aimé Cotton (Orsay), CSNSM (Orsay), Université de Mc Gill (Canada), Université de Mayence (Allemagne), Institut de spectroscopie de Troitsk (Russie), CERN (Genève, Suisse).*

*The SIINODE project has been installed at the end of the emergent beam line of COMPLIS to study the purity of the secondary beam produced by resonant ionisation of laser desorbed atoms. Then, this setup has been used to prove the existence of a double line in the hyperfine spectrum obtained previously for  $^{129}\text{Sn}$ , which confirmed the  $3/2$  spin value for the  $^{129}\text{Sn}$  ground state.*

Pour estimer le degré de pureté des faisceaux d'ions radioactifs secondaires produits par le dispositif expérimental COMPLIS (COLlaboration for spectroscopy Measurements using a Pulsed Laser Ion Source) et pour résoudre, si possible, l'énigme posée par les spectres hyperfins des noyaux impairs d'étain ( $A = 125$  à  $131$ ) [1], le projet SIINODE (Séparation Isobarique et Isomérique de NOyaux DEscendants) a été installé sur la ligne émergente de COMPLIS.

COMPLIS permet l'ionisation résonante en deux ou trois étapes d'atomes extraits par désorption laser. Un balayage en fréquence est réalisé sur le faisceau laser qui produit la première étape d'excitation. Chaque fois que la fréquence du laser correspond à une résonance, les atomes sont excités puis les autres faisceaux laser les ionisent. Les photo-ions ainsi produits sont alors détectés, identifiés en masse par leur temps de vol et comptés pour obtenir le spectre hyperfin des atomes étudiés.

Le projet SIINODE comprend :

- un détecteur de photo-ions escamotable ;
- un petit détecteur mobile en  $x$  et en  $y$  pour assurer un bon centrage du faisceau ;
- un dispositif permettant d'introduire, sans détériorer le vide, une bande de Mylar aluminisé à la place du détecteur pour collecter les photo-ions ;
- une station de spectrométrie  $\gamma$  comprenant un détecteur, l'électronique associée et un système d'acquisition ;
- un dérouleur pour le transport rapide et automatique de la source obtenue vers la station de détection  $\gamma$ .

Pour estimer la pureté du faisceau secondaire produit par COMPLIS, nous avons accordé le laser sur une fréquence de résonance, collecté les photo-ions sur la bande de Mylar et enregistré le spectre des rayonnements  $\gamma$  émis par la source obtenue.

L'expérience a été effectuée sur les noyaux d'étain auprès d'ISOLDE-BOOSTER. Le faisceau primaire était produit dans une cible de carbure d'uranium (bombardée par les protons de 1 GeV) associée à une source d'ions à plasma chaud. Après extraction, séparation en masse et ralentissement, il était arrêté dans le disque collecteur en graphite de COMPLIS d'où les atomes collectés étaient ensuite extraits par désorption par faisceau laser. Au voisinage de la masse 130, tous les éléments du Cd ( $Z = 48$ ) au Ba ( $Z = 56$ ) sont contenus dans le faisceau primaire, donc collectés dans le graphite et par conséquent, présents dans le nuage d'atomes créé par la désorption. La grande sélectivité de l'ionisation résonante permet d'ioniser seulement les atomes d'étain.

À partir de l'analyse des spectres de rayonnements  $\gamma$  enregistrés avec SIINODE, nous avons pu montrer que beaucoup des atomes contenus dans le disque collecteur en graphite étaient extraits par le laser de désorption sous la forme d'ions. Ceci permet d'expliquer pourquoi l'efficacité mesurée de COMPLIS a toujours été de 10 à 100 fois inférieure à celle que l'on peut estimer. Par ailleurs, il est clair que ce phénomène empêche d'obtenir des faisceaux secondaires intenses et de grande pureté par l'utilisation de la méthode COMPLIS telle quelle. Pour éliminer tous les ions d'étain créés par la désorption laser nous avons dû hacher la tension d'alimentation d'un des déflecteurs électrostatiques de

la ligne émergente de COMPLIS et introduire un écran pour limiter la taille du faisceau transmis. Cette purification du faisceau émergent effectuée, nous avons réalisé les mesures projetées pour clarifier les résultats précédemment obtenus sur les isotopes d'étain.

En effet, les spectres hyperfins des isotopes impairs entre  $A = 125$  et  $A = 131$  présentent seulement cinq raies au lieu des six raies attendues : trois pour l'état fondamental  $3/2$  et trois pour l'état isomérique  $1\ 1/2$  du noyau. Soit le spin de l'état fondamental est  $1/2$  et non  $3/2$ , soit une des raies observées est un doublet. L'identification des raies du spectre hyperfin de  $^{129}\text{Sn}$  dans le cas de la deuxième hypothèse est montrée sur la figure 1a). Une valeur de spin  $1/2$  conduirait à attribuer une déformation anormalement grande pour ces noyaux semi-magiques attendus sphériques. Pour confirmer ou infirmer l'existence de ce doublet

les mesures ont été effectuées pour la masse 129 car les rayonnements  $\gamma$  émis par l'état fondamental et l'état isomérique du noyau  $^{129}\text{Sn}$  sont différents. Trois spectres  $\gamma$  ont été enregistrés avec SIINODE (Figure 1b) : le premier en noir correspond au bruit de fond, le second en rouge est obtenu lorsque la fréquence du laser d'excitation est fixée sur le pic rouge (Figure 1a) attribué à l'état isomérique et le troisième en violet lorsque la fréquence du laser est fixée sur le pic violet (Figure 1a) supposé double et attribué à la fois à l'état isomérique et à l'état fondamental. Sur le spectre rouge de la figure 1b, hormis les pics correspondant au bruit de fond, seulement les raies dues à la décroissance de  $^{129m}\text{Sn}$  sont observées tandis que sur le spectre en violet apparaissent non seulement les raies dues à la décroissance de  $^{129m}\text{Sn}$  mais aussi une raie due à celle de  $^{129g}\text{Sn}$  (voir figure 1b). Ceci confirme l'existence du doublet et donc la valeur  $3/2$  pour le spin de l'état fondamental. Ainsi, nous avons montré que SIINODE peut être utilisé pour identifier les raies hyperfines à condition d'éliminer soigneusement les ions créés directement par le laser de désorption.

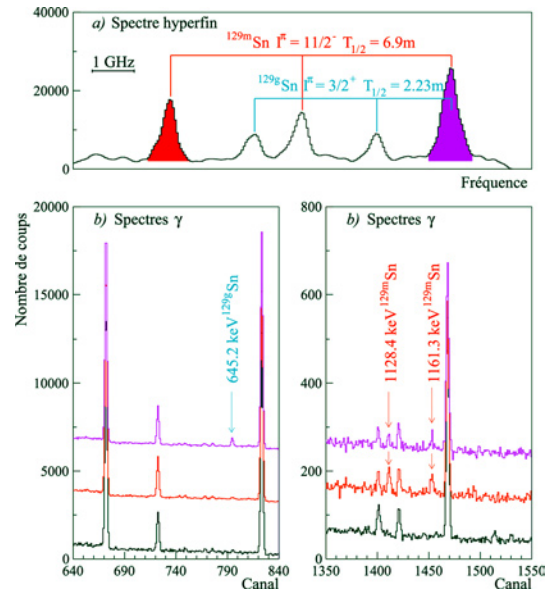


Figure 1 :

- Spectre hyperfin obtenu sur la masse 129.
- Spectres  $\gamma$  correspondant à différentes fenêtres en fréquence du spectre hyperfin. Les fenêtres en fréquence et les spectres  $\gamma$  associés sont définis par le même code de couleur (rouge et violet) et le bruit de fond est tracé en noir.

[1] B. Roussière et al., Proceedings of the V International Workshop « Prospects for the Development of Laser Methods in the Study of Nuclear Matter », Poznań, Poland, May 28-31, 2001