

# Spectroscopie gamma des noyaux riches en neutrons autour de $N=20$

M. Gélin

► **To cite this version:**

M. Gélin. Spectroscopie gamma des noyaux riches en neutrons autour de  $N=20$ . Journées de Rencontre des Jeunes Chercheurs, Dec 2005, Aussois, France. pp.67-70. in2p3-00188327

**HAL Id: in2p3-00188327**

**<http://hal.in2p3.fr/in2p3-00188327>**

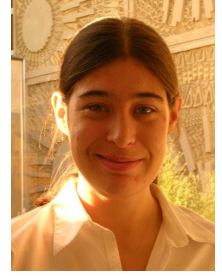
Submitted on 16 Nov 2007

**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, publi es ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou priv es.

# Spectroscopie gamma des noyaux riches en neutrons autour de N=20

Marie GELIN  
GANIL, Caen



## Résumé

Ce travail se place dans le cadre des noyaux dits exotiques car à durée de vie courte (n'existant plus sur terre). Ces noyaux exotiques contribuent à une meilleure compréhension de la structure nucléaire et ont permis de mettre en évidence de nouveaux phénomènes lorsque le défaut ou l'excès de neutrons devient important. Nous étudions les noyaux riches en neutrons autour de N=20 dans cette optique. L'intérêt s'est porté plus particulièrement sur le  $^{32}\text{Mg}$  et le  $^{34}\text{Si}$  qui sont pour le premier dans l'ilôt d'inversion et pour l'autre à la charnière. Cette expérience a été réalisée au GANIL avec le spectromètre VAMOS et le détecteur gamma EXOGAM. Le système de détection permet de considérer les noyaux produits par des réactions inélastiques, de transfert ou de fragmentation d'un faisceau secondaire cocktail contenant entre autre des noyaux de  $^{32}\text{Mg}$  ou  $^{34}\text{Si}$ .

## 12.1 Introduction

La physique nucléaire utilise depuis près de 50 ans comme outil le modèle en couches, emprunté au modèle atomique de Bohr : on suppose que les neutrons et les protons occupent des orbites individuelles qui sont les états propres d'un potentiel moyen dû aux autres nucléons. Si on considère un potentiel harmonique, on obtient les nombres de nucléons 2, 8, 20, 40, 70 ... pour obtenir des couches remplies. M. Goppert-Mayer (sur une remarque de E. Fermi) proposa d'ajouter un terme de spin-orbite. Les nombres devenaient alors : 2, 8, 20, 28, 50 ... Ce modèle est en accord avec les observations expérimentales des noyaux de la vallée de la stabilité (ie ceux présent sur terre). Ces nombres furent qualifiés de magiques.

L'étude des noyaux exotiques, pour lesquels le rapport entre le nombre de neutrons et de protons est très différent des noyaux stables, montre que la séquence des nombres magiques évolue lorsqu'on s'éloigne de la vallée de la stabilité et que la structure en couches est modifiée. Une illustration de ce phénomène est présentée sur la figure 12.1 où est reportée l'énergie d'excitation du premier état  $2^+$  pour des isotopes pair-pair de Mg (Z=12), Si (Z=14) et Ca (Z=20). Une énergie d'ex-

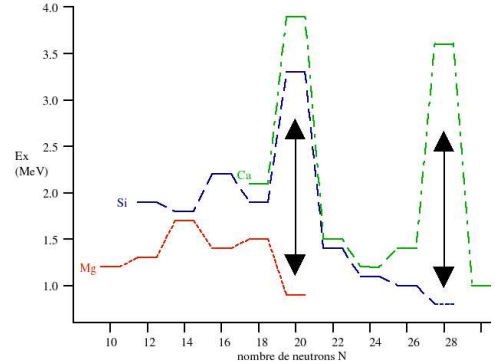


FIG. 12.1 – Systématique du premier  $2^+$  pour les isotopes pair-pair du Mg (Z=12), Si (Z=14), Ca (Z=20)

citation élevée est observée seulement pour les noyaux magiques. On observe une énergie du  $2^+$  grande pour le  $^{40}\text{Ca}$ , le  $^{34}\text{Si}$  mais pas pour le  $^{32}\text{Mg}$  qui a pourtant 20 neutrons. Il est plus riche en neutrons que les deux autres. N=20 n'est pas magique pour le  $^{32}\text{Mg}$ . C'est une particularité de cette région que l'on qualifie d'ilôt d'inversion dont le  $^{32}\text{Mg}$  fait partie. On s'attendrait naïvement à un fondamental sphérique, mais celui-ci a été vu déformé et l'énergie du  $2^+$  est donc plus faible. Le qualificatif d'inversion vient du fait qu'on s'attend à voir son équivalent sphérique à haute énergie (alors que dans le cas standard, c'est l'inverse).

Le  $^{34}\text{Si}$  quant à lui, est à la limite de cet ilot d'inversion et donc est un bon noyau pour tester les modèles.

L'expérience réalisée au GANIL avait pour but d'étudier la spectroscopie gamma de ces 2 noyaux.

## 12.2 L'expérience

Pour étudier la spectroscopie gamma des noyaux  $^{32}\text{Mg}$  et  $^{34}\text{Si}$ , nous avons accédé à leurs états excités lors de différentes réactions (d,p), inélastique, (d, $^3\text{He}$ ) ... On a utilisé un faisceau primaire de  $^{36}\text{S}$  qui a interagi avec la cible de tantale de SISSI (Source d'Ions Secondaires à Supraconducteurs Intense). Ceci permet la production de la plupart des noyaux de masse inférieure au  $^{36}\text{S}$ , dont le  $^{32}\text{Mg}$  et le  $^{34}\text{Si}$ , sélectionnés ensuite grâce au

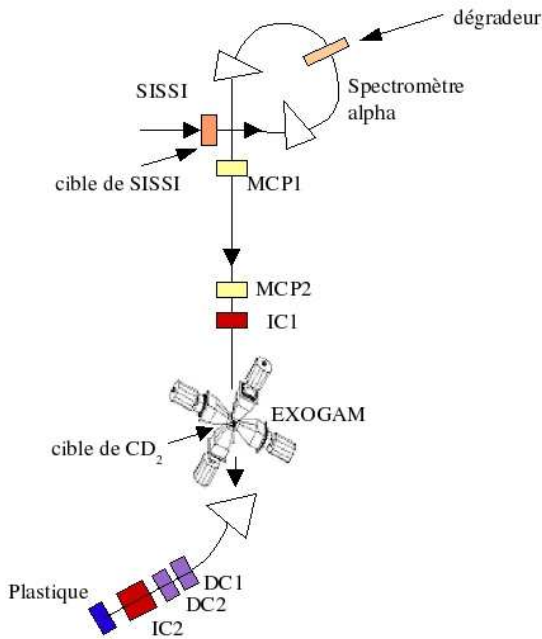


FIG. 12.2 – De la production à la détection

spectromètre alpha. Ces noyaux sont ensuite acheminés vers le dispositif expérimental, schématisé figure 12.2 et qui peut être décomposé en 3 parties :

- identification du faisceau
- identification de l'éjectile
- détection gamma

L'identification du faisceau secondaire, ie du projectile avant la cible, est faite événement par événement par les techniques  $\Delta E$ -ToF où le temps de vol est obtenu par différence de temps entre deux galettes à microcanaux placées à la sortie de l'alpha (MCP1) et juste avant la cible (MCP2) et la perte d'énergie par une chambre à ionisation (IC1). La figure 12.3 montre l'identification obtenue où on peut voir entre autres le  $^{32}\text{Mg}$  et le  $^{34}\text{Si}$ .

L'identification après la cible est obtenue grâce aux détecteurs du plan focal du spectromètre VAMOS. Le système de détection est composé de 2 chambres à dérives pour donner la position et une première perte d'énergie, d'une chambre à ionisation qui fournit une seconde perte d'énergie et d'un plastique pour la mesure de l'énergie résiduelle ainsi que la mesure de temps. Avec toutes ces données, on extrait le numéro atomique  $Z$  et le rapport  $M/Q$  ce qui permet une identification inambigüe. La figure 12.4 montre l'identification obtenue : y sont indiqués le  $^{32}\text{Mg}$ , le  $^{34}\text{Si}$  et les lignes isotopiques  $Z=12$  (magnésium),  $Z=13$  (aluminium) et  $Z=14$  (silicium).

Nous avons utilisé pour la détection gamma EXOGAM, constitué pour cette expérience de 11 détecteurs

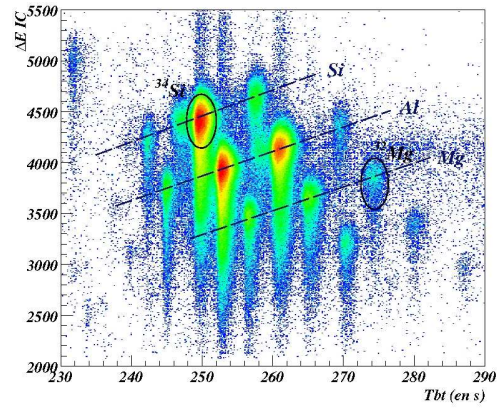
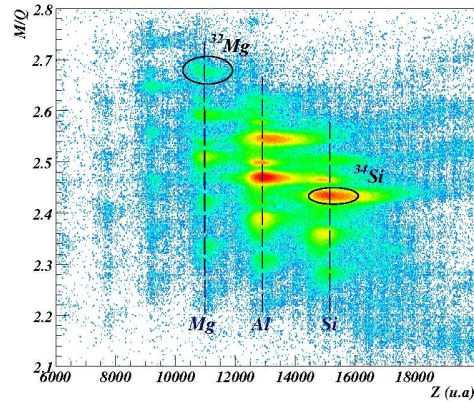
FIG. 12.3 – Matrice d'identification  $\Delta E$ -ToF avant la cible

FIG. 12.4 – Identification après la cible

HPGe (High Purity Germanium) segmentés. Chaque détecteur (Clover) est ainsi composé de 4 cristaux, eux même divisés électriquement en 4 segments. Les détecteurs étaient disposés tout autour de la cible de CD<sub>2</sub>, 4 détecteurs à 45° (angle par rapport au faisceau), 4 à 135° et 3 à 90°. Les noyaux incidents avaient dans le laboratoire une vitesse de  $\beta \sim 0.2$ . Les gammas, émis dans le référentiel du noyau, sont détectés dans le référentiel du laboratoire. Ces gammas sont donc soumis à l'effet Doppler, qui dépend de l'angle d'émission du gamma et de la vitesse du noyau émetteur. Il est donc nécessaire de bien connaître l'angle d'émission du gamma pour obtenir une bonne résolution en énergie : la figure 12.5 illustre cet effet pour la raie gamma à 885 keV du  $^{32}\text{Mg}$ . Les spectres sont obtenus en considérant les angles moyens de chaque détecteur (Clover) (en haut), de chaque cristal (au milieu), et enfin, de chaque segment (en bas).

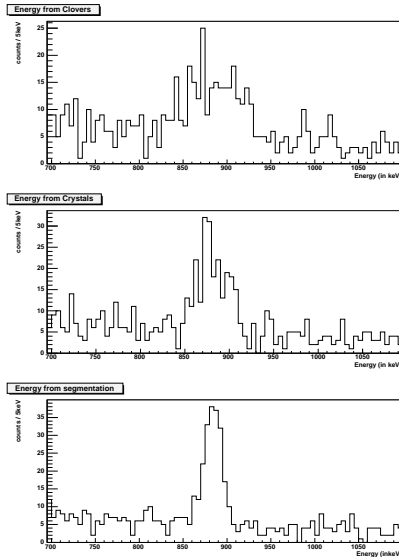


FIG. 12.5 – Effet Doppler corrigé suivant l'angle de correction sur la raie à 885 keV du  $^{32}\text{Mg}$

## 12.3 Résultats et discussion

L'expérience permet l'étude de nombre de noyaux riches en neutrons autour  $N=20$ . L'une des caractéristiques de cette expérience est l'identification événement par événement aussi bien avant qu'après la cible. Ceci permet non seulement l'étude noyau par noyau mais aussi réaction par réaction. Intéressons-nous plus particulièrement à deux noyaux : le  $^{32}\text{Mg}$  et le  $^{34}\text{Si}$ .

### 12.3.1 $^{32}\text{Mg}$

La fermeture de couche implique une grande énergie d'excitation du premier état et une probabilité faible de transition de ce niveau excité vers le fondamental. Or dans le cas du  $^{32}\text{Mg}$ , 12 protons et 20 neutrons, malgré un nombre magique de neutrons, le premier état d'excitation est à 885 keV (contre 3.9 MeV pour le  $2^+$  du  $^{40}\text{Ca}$ ). Ceci illustre la perte de la magie de  $N=20$  pour le Mg. Le  $^{32}\text{Mg}$  appartient à « l'îlot d'inversion » : le fondamental et le premier état excité sont déformés et on attend à plus haute énergie leurs équivalents sphériques.

L'état à 885 keV est un état bien connu. Par contre, les informations expérimentales pour l'état à 2.3MeV sont confuses : des expériences précédentes lui ont assigné différents spin/parité. Ainsi une expérience de spectroscopie gamma en ligne par fragmentation a conclu à un  $4^+$  [1] alors qu'une expérience de décroissance bêta proposait une parité négative [2]. Une troisième expérience de réaction inélastique [3], trouve par des considérations de sections efficaces un meilleur accord avec un  $3^-$  qu'un  $4^+$ . La question reste donc ouverte.

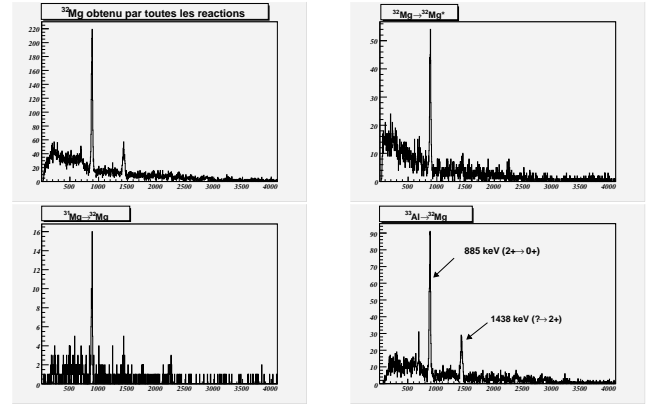


FIG. 12.6 – spectre gamma  $^{32}\text{Mg}$  pour toutes les réactions, inélastiques, (d,p) et (d,3He)

Dans cette expérience, nous avons mesuré la population relative du gamma à 1438 keV (état à 2.3MeV) suivant la réaction par rapport à la population du  $2^+$  comme on peut le voir sur la figure 12.6. On peut remarquer que la population la plus grande observée est dans la réaction  $^{33}\text{Al} \rightarrow ^{32}\text{Mg}$ , ie quand on arrache un proton. Avec un modèle très simple cela penche en faveur du  $4^+$  mais il faudrait faire des calculs plus rigoureux pour l'affirmer.

Pour déterminer le spin et la parité d'un état, on peut mesurer des distributions angulaires  $W(\theta)$  : le peuplement d'un état en fonction de l'angle d'émission. De cette courbe, on peut déterminer la multipolarité d'une transition. Une même multipolarité pour 2 transitions,

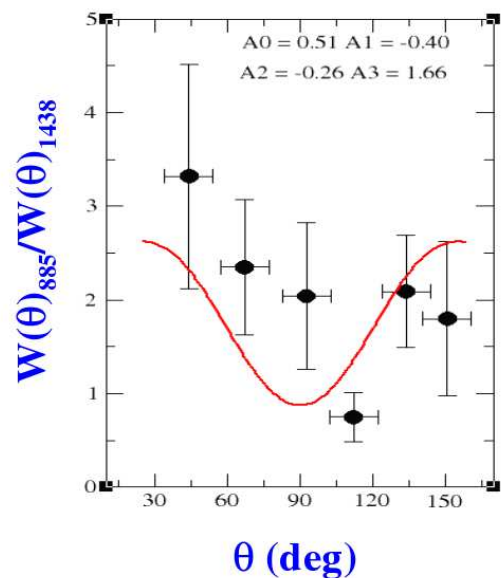


FIG. 12.7 – Rapport des distribution angulaire des raies à 885keV et 1438keV

ici 2 car on considère les transitions de  $4^+$  vers  $2^+$  et  $2^+$  vers  $0^+$ , signifie que la forme de la courbe sera similaire. On obtient donc d'un rapport constant, tandis que 2 multipolarités différentes, ici 1 et 2, implique deux courbes de forme différente et donc l'obtention d'une parabole. Les points de la figure 12.7 ne permettent pas de conclure pour l'instant mais une analyse plus approfondie est en cours.

### 12.3.2 $^{34}\text{Si}$

Les calculs réalisés pour le  $^{34}\text{Si}$  dans le cadre du modèle en couches prévoient que l'état fondamental  $0^+$  correspond à une configuration sphérique pure, mais qu'un deuxième état  $0^+$  déformé, correspondant à des configurations avec des excitations 2 particules - 2 trous, se situe en dessous du premier état excité  $2^+$  ou juste au-dessus (figure 12.8) [4]. Malgré des efforts

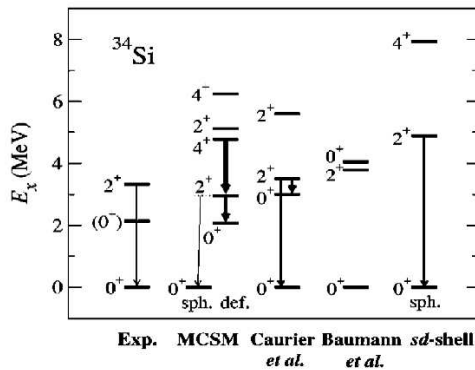


FIG. 12.8 – Comparaison des premiers états du  $^{34}\text{Si}$  avec différents calculs

importants ces dernières années, cet état n'a pas pu être mis en évidence dans la région attendue. Celui-ci est particulièrement important pour la compréhension de la région des noyaux autour de l'îlot d'inversion, et si sa position est très différente de ce qui est prévu, il est difficile de prévoir quel type de modification devra être apporté aux modèles afin de le reproduire sans pour autant détruire l'accord obtenu pour les autres noyaux de cette région. A plusieurs reprises, des groupes expérimentaux ont déclaré avoir observé cet état, mais d'autres expériences avec une meilleure statistique ont réfuté ces observations. La dernière attribution en date correspondait à un état à 1.48 MeV qui avait été suggéré pour la transition  $2^+$  vers  $0_2^+$  [5]. Dans notre expérience, grâce aux coïncidences gamma-gamma de haute résolution, nous avons pu obtenir un spectre conditionné par la transition à 3.3 MeV entre le  $2^+$  et le fondamental (figure 12.9). Sur ce spectre, la transition à 1.48 MeV apparaît clairement, et correspond donc obligatoirement à un état au dessus de

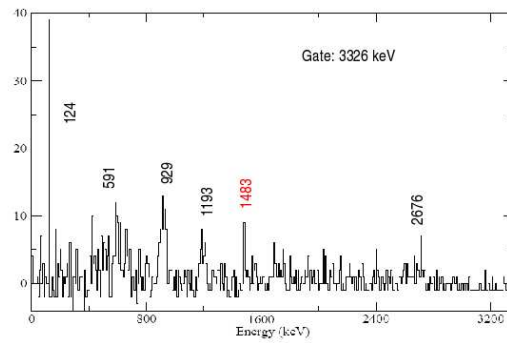


FIG. 12.9 – gammas en coïncidence avec le  $2^+$

l'état  $2^+$ . Nous excluons donc la possibilité que cette transition corresponde à l'état recherché.

## 12.4 Conclusion

La spectroscopie gamma des noyaux riches en neutrons autour de  $N=20$  est riche et intéressante. La combinaison de deux instruments de haute efficacité EXOGAM et VAMOS est idéale pour ce genre d'étude qui utilise des faisceaux de très faible intensité. L'identification des noyaux incidents et des éjectiles a permis de distinguer les différentes voies de réaction. L'utilisation de la segmentation des détecteurs (Clovers) d'EXOGAM a permis une correction précise de l'effet Doppler et l'obtention d'une relativement bonne résolution en énergie pour les gammas. Nous avons pu obtenir des données de coïncidences gamma-gamma de bonne qualité qui permettent d'envisager une meilleure connaissance de schémas de niveaux.

Nous avons extrait les spectres gamma du  $^{32}\text{Mg}$  et du  $^{34}\text{Si}$  dont l'interprétation est en cours. Pour l'instant, il n'y a pas de conclusion arrêtée de savoir si l'état à 2.3 MeV est un  $4^+$  ou un  $3^-$  pour le  $^{32}\text{Mg}$ . Pour le  $^{34}\text{Si}$ , nous recherchons toujours ce deuxième  $0^+$ . Plusieurs autres noyaux peuvent également être étudiés grâce à ces données :  $^{33}\text{Al}$  pour lequel seul le premier excité est connu à l'heure actuelle,  $^{32}\text{Al}$  et  $^{35}\text{Si}$  souvent utilisés comme noyaux de référence pour les calculs de modèle en couches.

## Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont participé au bon déroulement ainsi qu'à la préparation de l'expérience, en particulier les équipes de l'accélérateur, les techniciens de VAMOS et EXOGAM sans qui cette expérience n'aurait pu se faire ainsi que tous les physiciens de la collaboration du GANIL, du SPPhN Sa-

clay, FLNR/JINR Dubna, NPI (République Tchèque)  
et USC (Espagne).

## Références

- [1] F. Azaiez et al., EPJA 15,93(2002).
- [2] G. Klotz et al. PRC 47,2502(1993).
- [3] W. Mittig et al., EPJA 15, 157 (2002).
- [4] E. Caurier et al, Phys. Rev. C58 ,2033 (1998) ;  
Y. Utsuno et al, Phys. Rev C64, 011301R (2001) ;  
P. Baumann et al., Phys. Lett. B228, 458 (1989).
- [5] N. Iwasa et al., PRC67 064315(2003).