

Etude spectroscopique du ^{21}Mg et du ^{25}Si

J.-C. Thomas, B. Blank, S. Czajkowski, N. Guillet, J. Giovinozzo, CEN de Bordeaux-Gradignan
J. Äystö, P. Dendooven, A. Jokinen, K. Peräjärvi, J. Honkanen, University of Jyväskylä
L. Achouri, M. Lewitowicz, F. de Oliveira Santos, M. Stanoiu, GANIL de Caen
R. Béraud, G. Ganchel, A. Ensallem, IPN de Lyon
C. Longour, IReS de Strasbourg
A. Laird, University of Edinburgh

Abstract :

β -delayed proton and gamma-ray spectroscopy of the ^{21}Mg and ^{25}Si nuclei has been performed at the LISE3 spectrometer of GANIL. β -decays to low-energy excited states have been studied for the first time so that a complete scheme of the β -decay of these nuclei is now available.

Introduction

La décroissance β des noyaux de ^{21}Mg [1] et de ^{25}Si [2,3] a été étudiée par le passé ainsi que l'émission de protons issus des niveaux excités non liés des noyaux fils dans la désintégration (^{21}Na et ^{25}Al). Deux commentaires peuvent être faits quant à ces expériences :

En premier lieu, aucune spectroscopie du rayonnement gamma n'a été effectuée de sorte que l'alimentation des états liés des noyaux fils dans la désintégration β^+ est systématiquement déduite de celle des états analogues des noyaux miroirs dans la désintégration β^- . Cela pose un problème dans la mesure où ces calculs demandent à être corrigés par un facteur caractérisant l'asymétrie des forces de Gamow-Teller observée dans de telles transitions miroirs. Cette correction pouvant atteindre 10% [3], on ne peut la négliger.

Le dispositif employé lors des expériences [1] et [2] repose sur la technique de transport par jet d'hélium. Cela offre une plus grande résolution des spectres en énergie des protons par rapport aux expériences dans lesquelles les noyaux étudiés sont implantés directement dans un détecteur de particules chargées ([3], notre expérience), mais il n'est pas possible alors de déterminer le nombre total des noyaux implantés. Il faut dans ces conditions normaliser les rapports d'embranchement des niveaux émetteurs de protons par rapport à celui de l'état isobarique analogue qui est quant à lui calculé et non mesuré.

Expérience

L'expérience qui s'est déroulée au mois de mai 1999 visait à étudier la décroissance β de noyaux légers et riches en protons (^{21}Mg , ^{22}Al , ^{22}Si , ^{24}Al , ^{25}Si , ^{26}P , ^{27}S). Tous ces noyaux ont été produits au GANIL par fragmentation dans une cible de ^{12}C d'un faisceau de ^{36}Ar accéléré à 95 MeV/nucléon. Les noyaux étudiés ont été séparés des produits de fragmentation moins exotiques à l'aide du spectromètre LISE3 et implantés dans un détecteur solide de silicium. Ce détecteur faisait partie d'un groupe d'autres détecteurs du même type permettant de caractériser les noyaux implantés en termes de temps de vol (information utile à la séparation des noyaux d'intérêt d'avec leurs contaminants) et de radioactivité (β et proton). Enfin, un détecteur germanium placé en face du détecteur d'implantation permettait d'observer le rayonnement γ émis par les noyaux issus des désintégrations β .

La figure 1 montre les spectres en énergie des protons et du rayonnement gamma (en insert) obtenus lors de l'étude des noyaux de ^{21}Mg (à gauche) et de ^{25}Si (à droite). Deux commentaires s'imposent de prime abord : (i) quand bien même la détection des protons est réalisée en coïncidence avec celle des particules β , le bruit de fond demeure très important, ce qui limite le nombre de pics protons observables ou exploitables et (ii) l'observation des raies gamma dépend de l'efficacité de détection et se trouve limitée aux énergies inférieures à 2 MeV.

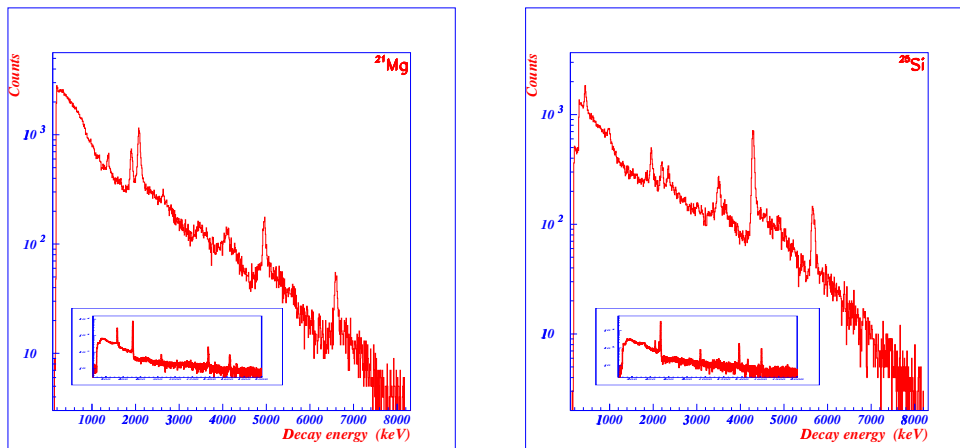


Figure 1 : Spectres de coïncidence β -p et spectres d'émission gamma (en insert) du ^{21}Mg (à gauche) et du ^{25}Si (à droite).

Analyse

Les deux points critiques de l'analyse sont la détermination du nombre de noyaux implantés et la détermination de l'efficacité de détection des protons et du rayonnement gamma. C'est là en effet que se joue la précision sur la détermination des rapports d'embranchement β et plus loin, sur la répartition de la force Gamow-Teller entre les différents niveaux accessibles dans la fenêtre d'énergie ouverte par la valeur de Q_β .

La détermination du nombre d'implantations est obtenue par identification des noyaux d'intérêt et ne pose pratiquement pas de difficultés compte tenu de la qualité de la séparation obtenue avec LISE3 et du caractère peu exotique des noyaux étudiés ($T_z = -3/2$). La précision sur le nombre de noyaux implantés est de l'ordre de 5 %.

La détermination de l'efficacité de détection du rayonnement gamma repose sur l'utilisation de sources conventionnelles caractérisées par des raies gamma d'énergie variant de quelques centaines de keV à près de 1.3 MeV. Les noyaux étudiés émettant des raies gamma allant jusqu'à près de 2 MeV, la précision sur l'efficacité de détection du rayonnement gamma n'est que de l'ordre de 10 % pour ces énergies élevées.

Le calcul de l'efficacité de détection des protons est plus compliquée dans la mesure où la détermination des énergies et la statistique de comptage des protons dans chaque pic est effectuée sur des spectres de coïncidence β -p. Il faut en effet définir la correction à apporter relativement à la coupure imposée. Enfin, tous les événements de radioactivité ne déclenchent pas nécessairement l'acquisition de données et il faut ajouter à la correction précédente un second facteur dû à l'efficacité de déclenchement. La précision sur la détermination du nombre de protons émis dans la désintégration des noyaux étudiés et à une énergie donnée est de l'ordre de 5 %.

Une fois ce travail d'analyse effectué, on peut construire les schémas de décroissance pour le ^{21}Mg et le ^{25}Si (figure 2) et les comparer aux prédictions théoriques [4].

La détermination des rapports d'embranchement associés aux états excités liés (émetteurs de rayonnement gamma) et non liés (émetteurs de protons) des noyaux fils permet de déduire l'alimentation du niveau fondamental dans la désintégration β (résultat donné entre crochets).

A partir des rapports d'embranchement, on peut calculer dans le cas de transitions de type Gamow-Teller (en pratique, toutes les transitions β étudiées sauf celles alimentant les états isobariques analogues des deux noyaux, soient le niveau à 8.97 MeV pour le ^{21}Mg et le niveau à 7.89 MeV pour le ^{25}Si) un paramètre $B(\text{GT})$ [5] donnant la force Gamow-Teller caractérisant chaque transition.

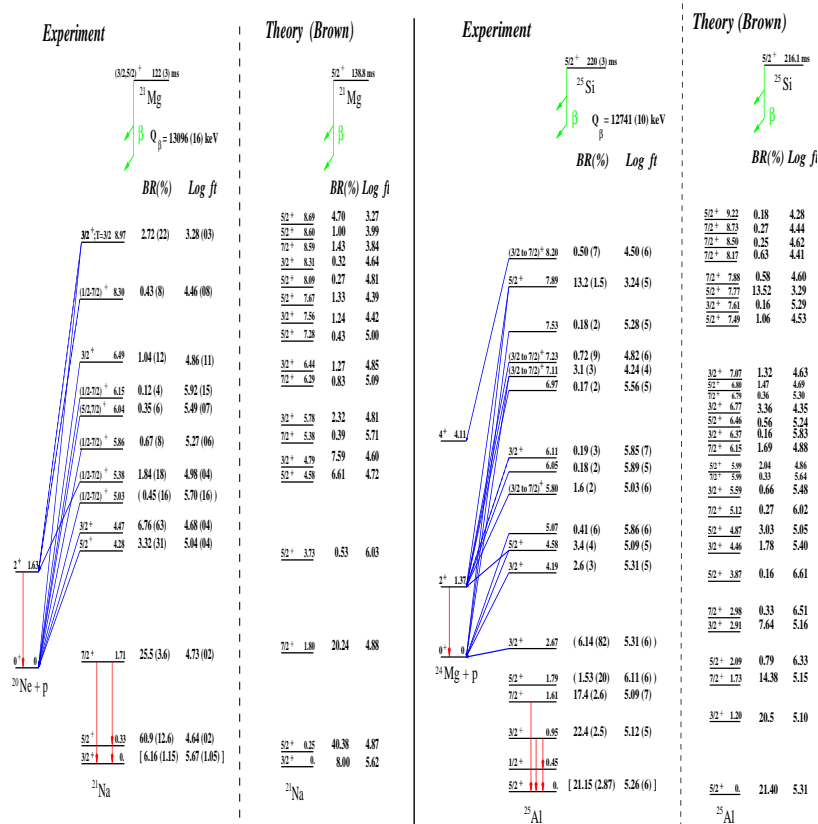


Figure 2 :

Schémas de décroissance comparés aux prédictions théoriques pour le ^{21}Mg (à gauche) et le ^{25}Si (à droite).

Une représentation de l'évolution de B(GT) en fonction de l'énergie des transitions est donnée dans la figure 3 pour les deux noyaux étudiés. Elle est comparée à celle prédite par la théorie [4]. On a choisi de représenter la somme des quantités B(GT) en partant du niveau fondamental plutôt que les valeurs de B(GT) propres à chaque transition.

L'évolution de la quantité B(GT) est sensiblement la même pour les états excités situés en dessous de l'état isobarique analogue. Les transitions alimentant les états excités d'énergie supérieure et prédites par la théorie ne sont pas toutes observées dans notre expérience. En effet, les protons émis par ces niveaux ont des énergies telles que la géométrie du détecteur ne permet pas de tous les détecter. Ceci explique qu'à haute énergie, les résultats expérimentaux sont en moins bon accord avec les prédictions théoriques. A titre indicatif, la valeur de B(GT) associée à une alimentation β de 0.1 % d'un niveau excité à 8 MeV est de 0.035 pour le ^{21}Mg et de 0.030 pour le ^{25}Si .

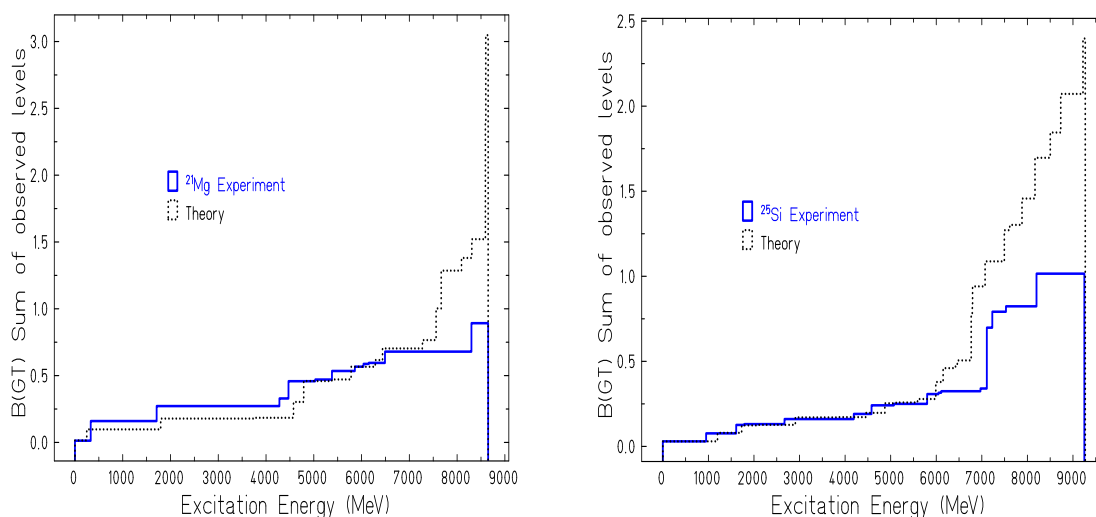


Figure 3 :
Distributions comparées de la force de Gamow-Teller en fonction de l'énergie des états alimentés dans la désintégration β .

Perspectives

L'étude spectroscopique du ^{21}Mg et du ^{25}Si nous a permis de qualifier le dispositif expérimental et l'analyse des données montre un bon accord avec les résultats obtenus dans des expériences antérieures aussi bien qu'avec les prédictions théoriques portant sur ces noyaux. Une attention particulière a été portée quant à la détermination du nombre de noyaux implantés et des efficacités de détection. L'analyse du rayonnement gamma permet en outre de s'affranchir des problèmes posés par la détermination des rapports d'embranchement à partir des transitions miroirs. Ce travail d'analyse sera poursuivi par l'étude des noyaux plus exotiques et moins bien connus produits lors de la même expérience (^{22}Al , ^{26}P , ^{27}S).

Références

- [1]. R.G. Sextro et al., Phy. Rev. C 8 (1973) 258
- [2]. J.D. Robertson et al., Phys. Rev. C 47 (1993) 1455
- [3]. S. Hatori et al., Nucl. Phys. A 549 (1992) 327
- [4]. B.A. Brown, communication privée
- [5]. B.A. Brown et B.H. Wildenthal, At. Data Nucl. Data Tab. 33 (1985) 347