

Etude de la symétrie miroir dans la couche sd

J. Giovinazzo, B. Blank, G. Canchel, C. Dossat, A. Fleury

En collaboration avec G. Georgiev¹, V. Iacob², I. Matea¹, F. De Oliveira Santos¹, M. Sawicka³, M. Stanoiu¹, I. Stefan¹, C. Bobin⁴, M.-C. Lépy⁴.

1. GANIL, Caen, France

2. Cyclotron Institute, Texas A&M University, Texas

3. Warsaw University, Poland

4. Laboratoire National Henri Becquerel, CEA, France

Abstract

During an experiment performed at the GANIL/LISE3 facility, several couples of mirror nuclei have been produced: ($^{22}\text{Mg}, ^{22}\text{F}$), ($^{21}\text{Mg}, ^{21}\text{F}$) and ($^{25}\text{Si}, ^{25}\text{Na}$). The aim of this experiment is to measure the strength of mirror transitions in the sd shell, in order to determine the asymmetry parameter δ with high enough precision. The experimental asymmetry will have to be compared to theoretical calculation in order to study the isospin non-conserving effects in the description of nuclear structure.

Asymétrie miroir dans les noyaux légers

Dans le cadre de l'hypothèse d'indépendance de charge des interactions nucléaires, deux noyaux miroirs (obtenus en inversant leur nombre de neutrons et de protons) doivent avoir une structure identique. De plus, les forces de transitions β^+ et β^- associées à la décroissance β entre des états initiaux et finaux miroirs doit être la même.

Pour mesurer le degré de validité de cette hypothèse, on définit un paramètre d'asymétrie δ dans la décroissance β , sous la forme [1]:

$$\delta = \frac{ft^+}{ft^-} - 1$$

Ce paramètre vaut 0 si la symétrie miroir est respectée.

Expérimentalement, des écarts importants ont été observés. La figure 1 présente une compilation des paramètres d'asymétrie déterminés pour des transitions de noyaux dans les couches p et sd [2]. Une asymétrie moyenne de l'ordre de **4.8 %** est obtenue, mais elle est d'environ **11 %** pour la seule couche p , et compatible avec **0 %** pour la couche sd .

D'un point de vue théorique, deux types d'effets sont principalement mis en cause dans la violation de la symétrie miroir : les effets d'énergie de liaison [3] et le mélange d'isospin [4] des états impliqués dans les transitions. D'autres facteurs pourraient jouer un rôle, comme l'existence de courants de seconde classe dans l'interaction faible, mais leur importance n'est pas établie [5].

Les effets d'énergie de liaison se traduisent par un défaut de recouvrement des fonctions d'ondes des états initiaux et finaux. Il est dû au potentiel coulombien, qui rend le dernier proton moins lié que le dernier neutron dans le noyau miroir. Cela a pour conséquence de favoriser des valeurs positives du paramètre δ .

Le mélange d'isospin affecte directement les forces de transition mesurées expérimentalement. Sa contribution au paramètre d'asymétrie est variable, et repose théoriquement sur la modélisation des forces nucléaires ne conservant pas l'isospin.

La compréhension des valeurs observées de l'asymétrie miroir représente donc un test sévère de la modélisation des interactions nucléaires. On note néanmoins que, sur la figure 1, les incertitudes expérimentales sur le paramètre δ sont très grandes. Ceci est notamment dû au fait que δ résulte de la différence de 2 grandeurs comparables, et que les forces de transitions ft^+ et ft^- proviennent de mesures utilisant diverses techniques expérimentales, ce qui peut augmenter d'éventuelles erreurs systématiques.

L'objectif de ce travail est donc de mesurer, pour des couples de noyaux légers, à la fois les décroissances β^+ et β^- avec la plus grande précision possible, afin de réduire les incertitudes sur la détermination de δ . En effet, pour

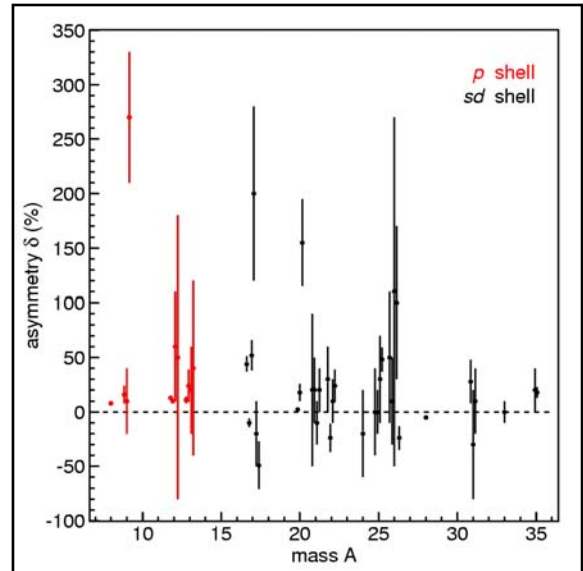


figure 1. Valeurs du paramètre d'asymétrie pour les transitions miroir permises dans les noyaux des couches p et sd [2].

une asymétrie de quelques %, il faut une incertitude inférieure à 0.01 sur les valeurs de ft pour obtenir une erreur relative sur δ de l'ordre de 0.1. Au cours de l'expérience E398a, menée au GANIL, nous avons produit les couples de noyaux ($^{22}\text{Mg}, ^{22}\text{F}$), ($^{21}\text{Mg}, ^{21}\text{F}$) et ($^{25}\text{Si}, ^{25}\text{Na}$), et mesuré leur décroissance radioactive. Le dispositif expérimental est décrit ci-dessous, et les méthodes d'analyse des données sont présentées. Cette analyse est en cours actuellement.

Dispositif expérimental

Les couples de noyaux d'intérêt ont été produits au GANIL par réaction de fragmentation d'un faisceau de ^{36}Ar à 95 MeV/A dans une cible de ^{12}C (340 mg/cm^2). Les fragments sont sélectionnés à l'aide du spectromètre Alpha et du séparateur LISE3. Un dégradeur achromatique épais (1 mm de ^9Be) était placé entre les deux dipôles du séparateur afin de ne transmettre principalement qu'un type noyau à la fois en sortie du filtre de vitesse.

Les fragments sélectionnés sont alors envoyés vers le dispositif de détection. Celui-ci se compose d'un télescope de 5 détecteurs silicium, notés E1 à E5, entouré d'un ensemble de 4 détecteurs germanium de type *clover* de la collaboration EXOGAM.

Grâce à un dégradeur réglable et à un collimateur placé entre les détecteurs E2 et E3, les noyaux sont implantés au centre du détecteur E4. Des mesures de temps de vol sont effectuées à l'aide d'un signal haute fréquence des cyclotrons (t_{HF}) et d'une galette à micro-canaux située avant le filtre de vitesse du séparateur (t_{GAL}). Ces mesures, associées à la perte d'énergie des ions dans les détecteurs E1 à E4, permettent l'identification des noyaux implantés.

Les événements de décroissance sont déclenchés par la détection d'une particule chargée (β , β^+ ou β^- -proton) dans le détecteur d'implantation E4 ou l'un des détecteurs voisins, E3 et E5. Le rayonnement γ émis au cours de la décroissance est alors mesuré en coïncidence, dans les détecteurs germanium. L'analyse des distributions en énergie du rayonnement γ permet d'établir les schémas de décroissance vers les états à faible énergie d'excitation. Ce sont ces transitions qui sont étudiées dans le cadre de l'asymétrie miroir. De plus, pour les noyaux déficients en neutrons, l'émission retardée de protons apporte des informations sur la décroissance vers les états non liés par rapport à l'émission de protons. Les protons perdent leur énergie dans E4, mais les pics sont dégradés par la perte d'énergie des positons. Pour réduire cet effet, les détecteurs E3 et E5 sont segmentés en pistes annulaires : les particules β observées dans les anneaux centraux quittent le détecteur E4 en traversant moins de matière et y perdent donc moins d'énergie, ce qui permet d'obtenir des distribution en énergie des protons ayant une meilleure résolution.

Analyse des données

La mesure précise des forces de transition ft dans la décroissance β implique une détermination précise du nombre de noyaux produits et de leur schéma de décroissance. En effet, le facteur d'espace de phase f est calculé à partir de l'énergie Q de la transition, ce qui nécessite de connaître l'énergie des états peuplés dans la décroissance, et la durée de vie partielle t est déterminée à partir de la durée de vie $T_{1/2}$ du noyau parent et de l'intensité I_β de la transition, déterminée par le rapport du nombre de transitions observées et du nombre de noyaux produits : $ft = f(Q, A, Z) \cdot \frac{T_{1/2}}{I_\beta}$.

Identification

La distribution des événements d'implantation des noyaux dans les matrices de perte d'énergie et de temps de vol donne une indication au premier ordre du nombre de noyaux d'intérêt produits ainsi que du taux de contamination par d'autres noyaux. Ce taux de contamination, plus élevé dans les réglages du séparateur sur les noyaux les plus exotiques, est de l'ordre de quelques %. Afin d'estimer plus précisément le nombre des noyaux dont on veut mesurer la décroissance, il faut néanmoins prendre en compte des effets d'ordre secondaire, tels que les réactions indésirables dans les détecteurs du télescope ou les comptages multiples dus aux empilements des signaux analogiques lors d'implantations très rapprochées dans le temps (quelques micro-secondes). De tels effets sont responsables des traînes observées dans les matrices d'identification, et peuvent être analysés à l'aide de corrélations entre les diverses informations de perte d'énergie.

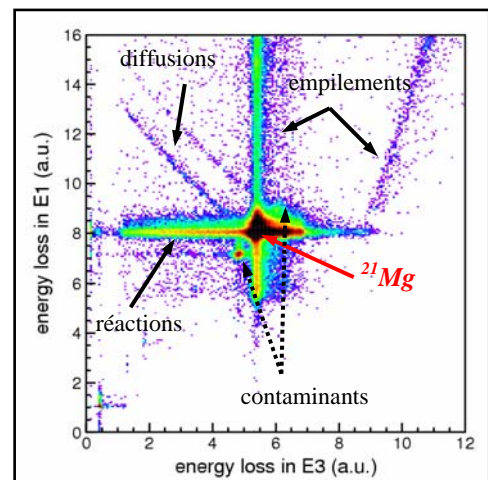


figure 2. Matrice de perte d'énergie dans E1 et E3 pour le réglage sur ^{21}Mg .

La procédure mise en œuvre permet d'obtenir le nombre de noyaux d'intérêt effectivement implantés avec une incertitude relative inférieure à 0.001.

Décroissance radioactive

La détermination du schéma de décroissance vers les états de faible énergie d'excitation se fait par spectroscopie γ . L'incertitude obtenue sur la détermination des intensités des transitions β dépend principalement de celle des transitions γ dans la désexcitation du noyau fils. Afin d'atteindre la précision souhaitée pour les valeurs de l'asymétrie miroir, l'efficacité de détection γ doit être déterminée avec une incertitude inférieure à 1 %.

L'efficacité de détection γ est estimée à partir de sources de référence mises à la place du détecteur d'implantation E4. Les sources disponibles sont fournies avec une activité donnée avec une incertitude de 1 à 3 %, ce qui n'est pas assez précis.

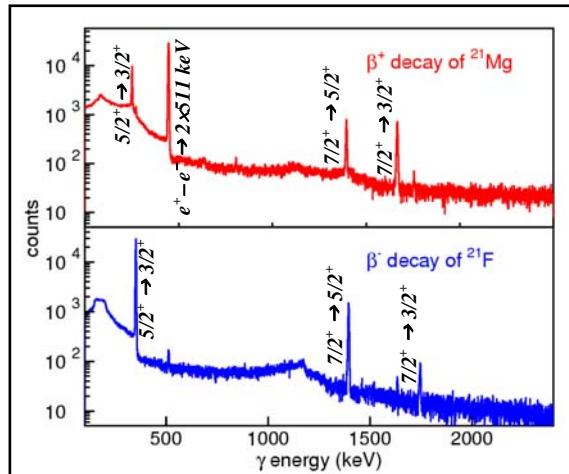


figure 3. Distribution en énergie du rayonnement γ émis dans la décroissance des noyaux miroirs ^{21}Mg et ^{21}F .

Afin d'améliorer cette précision, l'activité des sources d'étalonnage a été remesurée à l'aide d'un dispositif dédié utilisant un seul détecteur germanium. Les raies γ émises par l'ensemble des sources sont mesurées et un protocole a été mis au point afin de déterminer l'activité des sources par comparaison avec 3 sources de référence de ^{60}Co dont l'activité est connue à mieux que 1 ‰.

Cette analyse, qui a notamment fait l'objet d'un stage de DEA a permis d'obtenir une précision sur les activités de l'ordre de 1 à 2 %. Néanmoins, la procédure peut être améliorée et devrait permettre d'atteindre une précision suffisante.

La figure 3 montre les principales raies γ observées dans la désexcitation des états de ^{21}Na et ^{21}Ne peuplés dans la décroissance des noyaux miroir ^{21}Mg et ^{21}F .

Les sources étalons ont été produites par le Laboratoire National Henri Becquerel [6] (CEA) qui est également un des 4 laboratoires nationaux de métrologie du Bureau National de Métrologie (BNM).

Conclusion

L'analyse des données se poursuit, et porte sur les couples de noyaux : (^{22}Mg , ^{22}F), (^{21}Mg , ^{21}F) et (^{25}Si , ^{25}Na). Si les résultats sont satisfaisants, d'autres décroissances de noyaux miroir seront étudiées dans la couche *sd*, pour laquelle les modèles permettent un calcul fiable des fonctions d'onde.

Remerciements

Le groupe Noyaux Exotiques tient à remercier le LNHB pour les sources de rayonnement γ . A ce titre, il a la charge d'établir, de conserver, d'améliorer et de transférer les unités du Système international dont il est responsable, le becquerel et le gray, ainsi que la plupart de leurs unités dérivées.

Dans ce but, le LNHB dispose d'installations dédiées à des méthodes de mesure primaire, telles que celle développée pour la méthode de coïncidences $4\pi \beta\text{-}\gamma$ qui a été utilisée pour la mesure des sources de ^{60}Co .

Ses installations de transfert sont directement étalonnées par ces méthodes, souvent à l'occasion de la participation du LNHB à des comparaisons internationales organisées par le Bureau International des Poids et Mesures. Ces comparaisons permettent de relier l'étalon français d'activité ou de dose aux étalons internationaux. Par exemple, les spectromètres gamma qui ont été utilisés pour la mesure d'une source de ^{137}Cs sont raccordés dans ces conditions. Cette nouvelle source permettra d'affiner encore la précision sur l'efficacité de détection γ .

Références

- [1] D.H. Wilkinson, *Phys. Lett.* **B 31**, 447 (1970); *Phys. Rev. Lett.* **27**, 1018 (1971)
- [2] J.C. Thomas, *PhD thesis*, université Bordeaux 1 (2002)
- [3] I.S. Towner, *Nucl. Phys.* **A 216**, 589 (1973)
- [4] F.C. Barker, *Nucl. Phys.* **A 537**, 142 (1992)
- [5] D.H. Wilkinson, *Eur. Phys. J.* **A 7**, 307, (2000)
- [6] Site Web : <http://www.bnm.fr/bnm-lnhb/> contact Ph. Blanchis (BLANCHIS@ortolan.cea.fr)