

## La radioactivité deux-protons du $^{54}\text{Zn}$

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

*En collaboration avec :*

*Grand Accélérateur National d'Ions Lourds, B.P. 5027, F-14076 Caen Cedex, France*

*K.U. Leuven, Celestijnenlaan 200D, B-3001 Heverlee, Belgique*

*LPC Caen, ISMRA, 6, boulevard du Maréchal Juin, 14050 Caen Cedex, France*

*IPN Orsay, 15, rue Georges Clemenceau, 91406 Orsay, France*

*Institute of Atomic Physics, P.O. Box MG6, Bucharest-Margurele, Romania*

*Dpto. de Física de Partículas, Universidad de Santiago de Compostela, 15782 Santiago de Compostela, Espagne*

*Faculté de Physique, USTHB, BP32, El Alia, 16111 Bab Ezzouar, Alger, Algérie*

### Abstract

Two-proton radioactivity was first observed in the decay of  $^{45}\text{Fe}$  in experiments at the LISE3 separator of GANIL and the FRS of GSI. Although no direct observation of the two protons was possible in these experiments, all measured observables clearly point to two-proton radioactivity as the only decay possibility consistent with the experimental results. In a similar experiment at the LISE3 separator,  $^{54}\text{Zn}$  was recently observed for the first time and its decay was studied. The radioactive decay of  $^{54}\text{Zn}$  is dominated by a strong two-proton branch. In addition, a 20%  $\beta$ -delayed branch was observed.

La radioactivité deux-protons a été observée pour la première fois lors de l'étude de la décroissance de  $^{45}\text{Fe}$  au séparateur LISE3 du GANIL ainsi qu'au FRS de GSI. Même si ces expériences n'étaient pas conçues pour observer directement les deux protons émis, les différents paramètres mesurés montrent clairement que ce noyau décroît par émission deux-protons. Lors d'une expérience récente sur le séparateur LISE3,  $^{54}\text{Zn}$  et sa décroissance ont pu être observés pour la première fois. La désintégration de  $^{54}\text{Zn}$  est dominée par une émission directe « deux-protons » à laquelle s'ajoute une branche  $\beta$  de 20%.

Après la découverte des radioactivités « classiques »  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  et fission pendant la première moitié du 20<sup>ème</sup> siècle, le physicien V. Goldanskii était le premier à prédire que d'autres modes radioactifs pouvaient exister [1]. D'après ses prédictions, les radioactivités proton et deux-protons (2p) devaient apparaître pour des noyaux riches en protons loin de la stabilité. La radioactivité proton était alors attendue pour des noyaux au nombre de protons  $Z$  impair, tandis que la radioactivité 2p devait avoir lieu pour des noyaux de  $Z$  pair.

La radioactivité proton a été observée pour la première fois au GSI au début des années 1980 [2]. Aujourd'hui plus de 25 émetteurs proton sont connus et ont conduit à une étude approfondie de la structure nucléaire au-delà de la limite de stabilité.

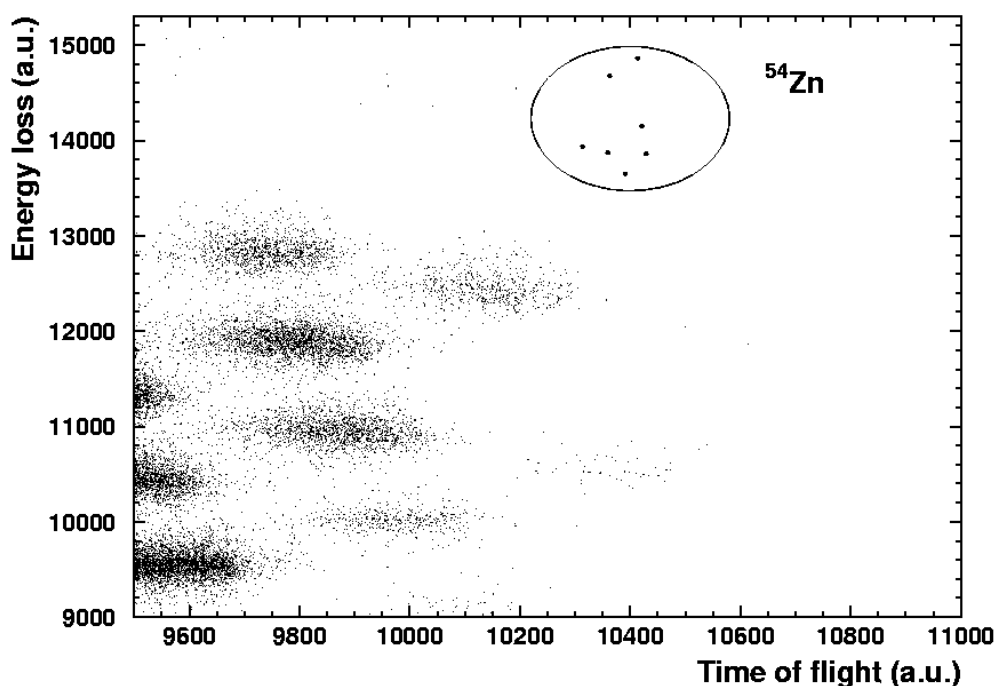
Dans une des premières publications sur ce sujet, Goldanskii prévoyait également que le noyau  $^{45}\text{Fe}$  soit un candidat à la radioactivité 2p. Ces prédictions ont été raffinées par d'autres théoriciens [3,4,5,6] et leurs travaux identifiaient les noyaux  $^{45}\text{Fe}$ ,  $^{48}\text{Ni}$  et  $^{54}\text{Zn}$  comme les meilleurs candidats à la radioactivité 2p. Cependant ces prédictions dépendaient très sensiblement des masses des noyaux émetteurs et des fils de l'émission 2p. En effet, une différence de la valeur  $Q_{2p}$  de seulement 150 keV change la durée de vie partielle 2p d'un ordre de grandeur.

Après de nombreuses tentatives, la radioactivité 2p a pu être observée pour la première fois lors de deux expériences avec le séparateur LISE3 au GANIL [7] et le FRS de GSI [8]. Douze décroissances 2p ont été observées au GANIL et quatre au GSI. Une forte probabilité quant à l'absence d'émission de particule  $\beta$  a été mise en évidence lors de l'analyse des deux

expériences. Par ailleurs, les données « GANIL » sont en très bon accord avec la décroissance du noyau fils  $^{43}\text{Cr}$ .

Dans une nouvelle expérience conduite en avril 2004, nous avons utilisé la quasi-fragmentation d'un faisceau de  $^{58}\text{Ni}$  sur une cible de  $^{\text{nat}}\text{Ni}$  dans le dispositif SISSI. Après séparation avec le séparateur LISE3, les noyaux ont été identifiés par leurs pertes d'énergie dans un télescope de détecteurs silicium et par leurs temps de vols mesurés entre la haute fréquence des cyclotrons du GANIL, le premier détecteur silicium d'une part et les galettes micro-canaux installées avant le filtre de vitesse de LISE3 d'autre part.

Les noyaux ainsi identifiés étaient implantés dans un détecteur silicium de deux fois 16 pistes de 3 mm. Après implantation, la décroissance des noyaux radioactifs était observée dans le même pixel. Cette corrélation en position et en temps donne des spectres de radioactivité quasiment sans bruit de fond. Cette procédure nous a permis d'étudier près de 20 noyaux à la fois. Les noyaux émetteur  $\beta\text{p}$  connus permettent d'étalonner les spectres de décroissance en tenant compte de la perte d'énergie des particules  $\beta$ .

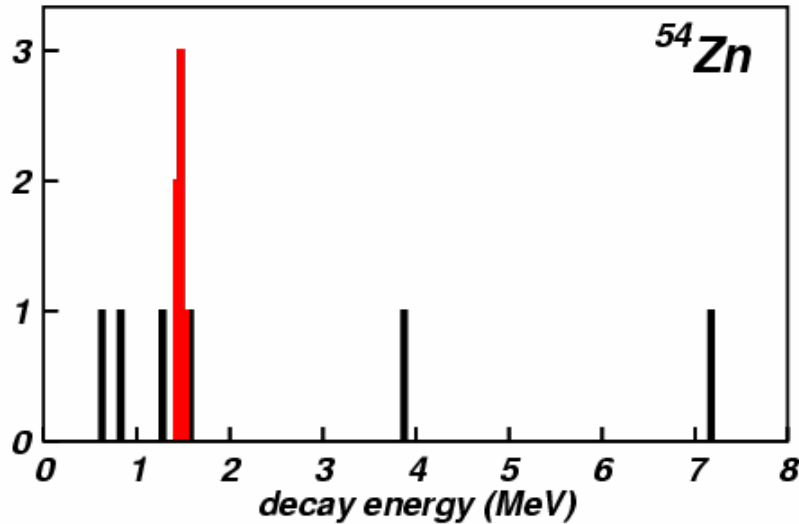


**Figure 1 :** Spectre d'identification des noyaux produits par la quasi-fragmentation d'un faisceau de  $^{58}\text{Ni}$  sur une cible de  $^{\text{nat}}\text{Ni}$  en fonction de leur perte d'énergie dans un détecteur silicium et leur temps de vol entre un détecteur de galettes de micro-canaux et un détecteur silicium. Ce spectre contient seulement les runs avec observation d'un  $^{54}\text{Zn}$ .

La figure 1 montre le spectre d'identification des fragments. Ce spectre présente les 7 évènements observés pour le  $^{54}\text{Zn}$  pendant près de 4 jours d'irradiation. Outre le  $^{54}\text{Zn}$ , ce spectre montre aussi des évènements de  $^{55}\text{Zn}$  et  $^{56}\text{Zn}$  et confirme ainsi l'observation de ces noyaux lors d'une précédente expérience [9].

Les évènements de radioactivité suivant l'implantation d'un noyau de  $^{54}\text{Zn}$  sont représentés dans la figure 2. Un pic est observable à une énergie de 1.3 MeV. Ce pic comprend 6 évènements. Son énergie correspond approximativement à la valeur  $Q_{2\text{p}}$  attendue selon les différentes prédictions théoriques. Le  $7^{\text{ème}}\ ^{54}\text{Zn}$  semble décroître par une émission  $\beta$ . Le noyau

filis 2p du  $^{54}\text{Zn}$  est le  $^{52}\text{Ni}$ . Son mode de décroissance a été étudié plusieurs fois [10,11]. Il décroît à 20% par émission  $\beta$ p avec des raies proton de 1.1 MeV et de 1.3 MeV. Ces protons sont aussi présents dans le spectre. La figure 3 montre le spectre en temps de toutes les radioactivités ayant eu lieu pendant un temps de 60 ms dans le même pixel après une implantation de  $^{54}\text{Zn}$ . Ce spectre comprend la décroissance de  $^{54}\text{Zn}$  et de  $^{52}\text{Ni}$ .



**Figure 2 :** Spectre des événements radioactifs après implantation d'un  $^{54}\text{Zn}$ . Le pic aux alentours de 1.3 MeV est la décroissance par émission 2p du  $^{54}\text{Zn}$ . Aucun des événements du pic à 1.3 MeV n'est accompagné d'une particule  $\beta$ .

**Figure 3 :** Spectre de temps des événements radioactifs après l'implantation de  $^{54}\text{Zn}$ . Les coups au début du spectre correspondent à la décroissance du  $^{54}\text{Zn}$ , tandis que les événements avec des temps plus longs sont dus à la décroissance du  $^{52}\text{Ni}$ , noyau fils 2p du  $^{54}\text{Zn}$ .

Ces observations démontrent que le  $^{54}\text{Zn}$  décroît principalement par émission 2p. Ce constat est soutenu par le fait qu'aucun des 6 événements de décroissance 2p du  $^{54}\text{Zn}$  n'est accompagné de l'émission d'une particule  $\beta$ . Ces particules  $\beta$  sont, par contre, bien présentes lors la décroissance du fils 2p  $^{52}\text{Ni}$  et pour la décroissance d'autres noyaux étudiés en même temps.

Ces résultats prouvent que le  $^{54}\text{Zn}$  est un émetteur 2p. Il devient ainsi le deuxième noyau à décroître via cette nouvelle radioactivité. Son rapport d'embranchement 2p est estimé préliminairement à près de 80% et sa durée de vie est à peu près de 3 ms.

Les recherches futures sur ce sujet se dirigent d'abord vers l'observation d'autres noyaux émetteurs 2p tels que le  $^{48}\text{Ni}$  ou le  $^{59}\text{Ge}$ . Pour le premier, des données avec une très faible statistique semblent indiquer qu'il possède aussi une branche 2p. D'autre part, comme mentionné précédemment, l'observation directe des deux protons émis lors d'une radioactivité 2p n'était pour l'instant pas possible avec les dispositifs expérimentaux utilisés. Pour visualiser la trace des deux protons et ainsi mesurer leurs énergies individuelles et leur angle relatif d'émission, nous sommes en train de mettre au point une chambre de projection temporelle (TPC). Le prototype de cette chambre est actuellement en phase de test au CENBG et une première expérience pour l'étude de la radioactivité 2p est prévue pour le premier semestre 2005 au GANIL.

[1] V.I. Goldanskii, Nucl. Phys. 19, 482 (1960)

- [2] S. Hofmann et al., Z. Phys. A305, 111 (1982)
- [3] B.A. Brown, Phys. Rev. C43, R1513 (1991)
- [4] W.E. Ormand, Phys. Rev. C53, 214 (1996)
- [5] B.J. Cole, Phys. Rev. C54, 1240 (1996)
- [6] W. Nazarewicz et al., Phys. Rev. C53, 740 (1996)
- [7] J. Giovinazzo et al., Phys. Rev. Lett. 89, 102501 (2002)
- [8] M. Pfützner et al., Eur. Phys. J. A14, 279 (2002)
- [9] J. Giovinazzo et al., Eur. Phys. J A11, 247 (2001)
- [10] L. Faux et al., Phys. Rev. C49, 2440 (1994)
- [11] C. Dossat, Thèse Université Bordeaux I