

La radioactivité deux-protons de ^{45}Fe et ^{48}Ni

C. Dossat, P. Ascher, A. Bey, B. Blank, G. Canchel, A. Fleury, J. Giovinazzo, I. Matea

En collaboration avec :

Grand Accélérateur d'Ions Lourds, B.P.120, F-33175 Gradignan Cedex, France

Instituut voor Kernfysica, Celestijnenlaan 200D, B-3001 Leuven, Belgium

Faculté de Physique, USTHB, B.P.32, El Alia, 16111 Bab Ezzouar, Alger, Algeria

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

Dpto. De Fisica de Particulas, Universidad de Santiago de Compostela, E-15782 Santiago de Compostela, Spain

Institut de Physique Nucléaire d'Orsay, 15 rue Georges Clémenceau, F-91406 Orsay Cedex, France

Department of Physics and Astronomy and National Superconducting Cyclotron Laboratory, Michigan State University, East Lansing, Michigan 48824-1321, USA

Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR, RU-141980 Dubna, Russia

Abstract

Two-proton radioactivity was first observed in the decay of ^{45}Fe in experiments at the LISE3 separator of GANIL and the FRS of GSI. Although no direct observation of the two protons was possible with these experiments, all measured observables were compatible only with two-proton radioactivity. In a similar experiment performed in May 2004, we obtained new results on the decay by two-proton radioactivity of ^{45}Fe and we observed, for the first time, the decay of ^{48}Ni , which was discovered in 1999.

1/ Introduction et motivations scientifiques

Des modes de radioactivité rares concernant les noyaux riches en protons loin de la vallée de stabilité ont été prédits théoriquement par le physicien V. Goldanskii en 1960 [1]. La radioactivité proton était attendue pour des noyaux au nombre de protons Z impair, tandis que la radioactivité deux-protons devait avoir lieu pour des noyaux de Z pair, situés à la *drip line* protons.

La radioactivité proton a été observée pour la première fois au GSI en 1981 [2]. Depuis, plus de 25 émetteurs proton ont été observés et ont permis des études approfondies de la structure nucléaire au-delà de la limite de stabilité.

De nombreuses expériences ont été réalisées afin de mettre en évidence la radioactivité deux-protons, qui a finalement été observée en 2002 dans la décroissance de ^{45}Fe au GANIL [3] et au GSI [4], puis en 2004 dans la décroissance de ^{54}Zn au GANIL [5].

Dans une nouvelle expérience conduite en mai 2004, nous avons à nouveau obtenu des résultats sur la radioactivité 2p de ^{45}Fe et observé pour la première fois la décroissance de ^{48}Ni (dont l'existence avait été mise en évidence en 1999 [6]), pour lequel un événement est compatible avec une radioactivité deux-protons (2p).

2/ Dispositif expérimental

Les noyaux sont produits par quasi-fragmentation d'un faisceau de ^{58}Ni sur une cible de ^{nat}Ni dans le dispositif SISSI ; le schéma du principe expérimental est illustré sur la figure 1. Après

séparation en charge et en masse avec le dispositif LISE3, les noyaux sont identifiés par leurs pertes d'énergie dans un télescope de détecteurs silicium et par leur temps de vol 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. La figure 2 montre le spectre d'identification des fragments. Les noyaux ainsi identifiés sont implantés dans un détecteur silicium à pistes double face (16×16 pistes de 3 mm en X et Y).

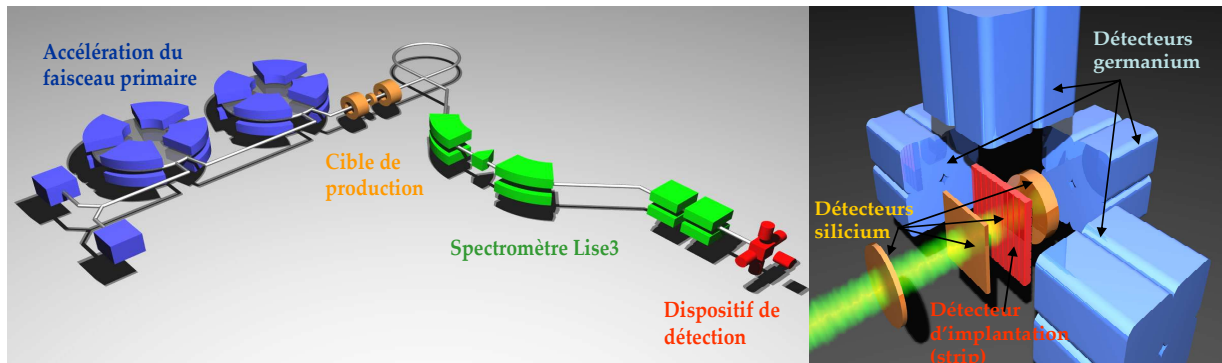


Figure 1 : A gauche, schéma du dispositif de production et de séparation des ions radioactifs de la ligne SISSI/LISE3 au GANIL. En bleu, les deux cyclotrons qui accélèrent le faisceau primaire ; en orange, le dispositif de production des noyaux par réaction de fragmentation sur une cible; en vert, le séparateur constitué d'un dipôle magnétique, d'un dégradeur, d'un deuxième dipôle puis d'un filtre de vitesse et enfin en rouge le dispositif de détection qui est illustré à droite. Il est constitué de plusieurs détecteurs silicium, dont un détecteur à pistes dans lequel est implanté le noyau, ainsi que de détecteurs germanium. Les détecteurs silicium assurent l'identification des noyaux et la détection des particules chargées émises lors de leurs désintégrations. Les détecteurs germanium permettent l'observation du rayonnement γ émis lors de la décroissance.

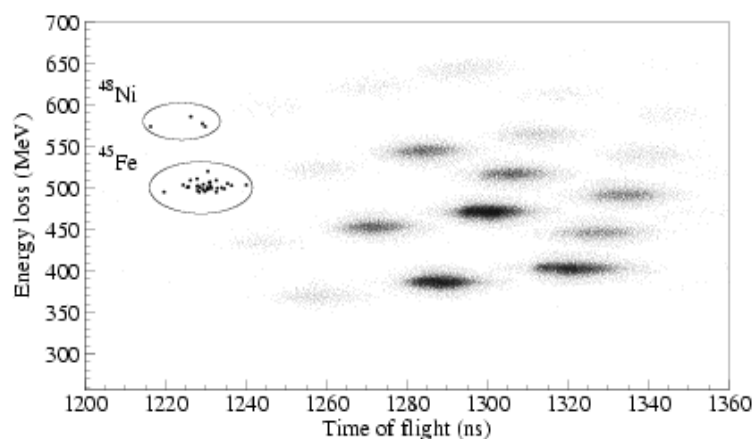


Figure 2 : Spectre d'identification des noyaux produits par la quasi-fragmentation d'un faisceau de ^{58}Ni sur une cible de ^{nat}Ni en fonction de leur perte d'énergie dans un détecteur silicium et leur temps de vol entre un détecteur de galettes micro-canaux et un détecteur silicium. Trente événements ^{45}Fe et quatre événements ^{48}Ni ont été identifiés.

Après implantation d'un noyau, on observe les événements de décroissance dans le même pixel que l'événement d'identification. Cette corrélation en position permet de réduire très fortement le bruit de fond dans les spectres de décroissance (distributions en énergie et en temps des particules émises).

3/ La décroissance de ^{45}Fe

Les événements de radioactivité suivant l'implantation d'un noyau de ^{45}Fe sont représentés sur la figure 3 à gauche. Sur trente implantations, nous avons observé dix-sept événements de décroissance ayant une énergie de 1.154(16) MeV, ne présentant aucune ambiguïté quant à l'identification du mode de décroissance. Tout d'abord, cette énergie correspond approximativement à la valeur Q_{2p} prédite par différents modèles théoriques. De plus, aucune coïncidence β avec ces dix-sept événements n'a été observée dans les détecteurs adjacents, la probabilité de rater une particule β sur les dix-sept événements étant déterminée à moins de 4.10^{-5} . Enfin, les événements qui ont suivi cette décroissance sont compatibles avec la décroissance β de ^{43}Cr , noyau fils dans la radioactivité 2p de ^{45}Fe .

La figure 3 à droite montre le spectre en temps des événements de radioactivité conditionné par le pic d'énergie à 1.154 MeV. L'ajustement du spectre permet de déterminer la durée de vie, estimée à $1,6_{-0,3}^{+0,5}$ ms.

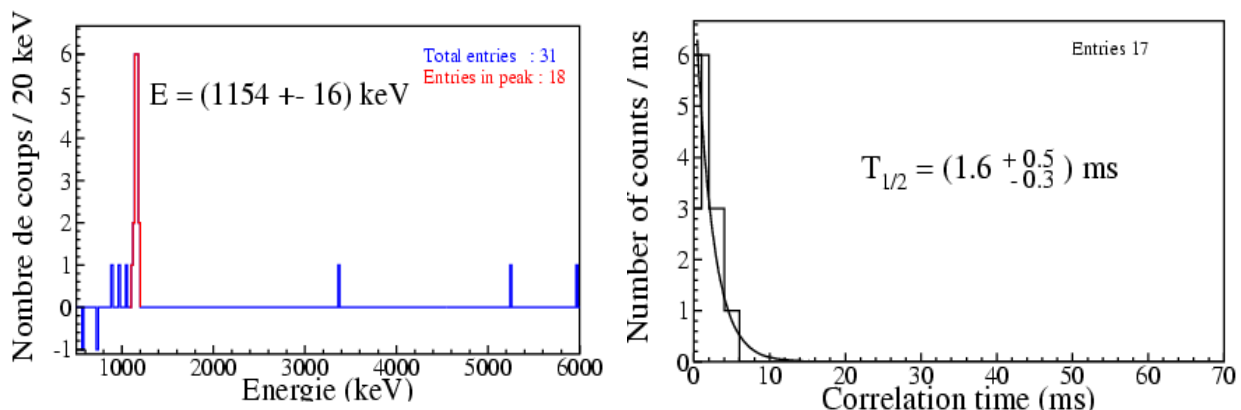


Figure 3 : A gauche, spectre des événements de radioactivité après implantation d'un ^{45}Fe . Le pic à une énergie de 1.154(16) MeV est constitué des événements de la décroissance par émission 2p de ^{45}Fe . Aucun des événements du pic n'est accompagné d'une particule β . A droite, spectre en temps des événements radioactifs après implantation d'un ^{45}Fe . La durée de vie du noyau ^{45}Fe est déterminée à $1,6_{-0,3}^{+0,5}$ ms.

4/ La décroissance de ^{48}Ni

En ce qui concerne le noyau ^{48}Ni , qui avait été observé pour la première fois en 1999 [6], quatre événements d'implantation ont été identifiés. La figure 4 à gauche représente le spectre en énergie des radioactivités suivant une implantation de ^{48}Ni [7]. Il est peu probable que les événements pour lesquels l'énergie des particules est supérieure à 2 MeV soient à l'origine d'une radioactivité 2-protons, la durée de pénétration de la barrière coulombienne correspondante étant beaucoup trop courte. En revanche, l'événement à 1.35(2) MeV est situé dans une région où la radioactivité 2p est attendue. De plus, pour cet événement, aucune coïncidence avec une particule β n'est observée. Cette décroissance a lieu 1.66 ms après l'implantation [7].

La figure 4 à droite représente le spectre en temps des quatre événements de radioactivité suivant les implantations de ^{48}Ni . La durée de vie du noyau est estimée à $2,1_{-0,7}^{+2,1}$ ms.

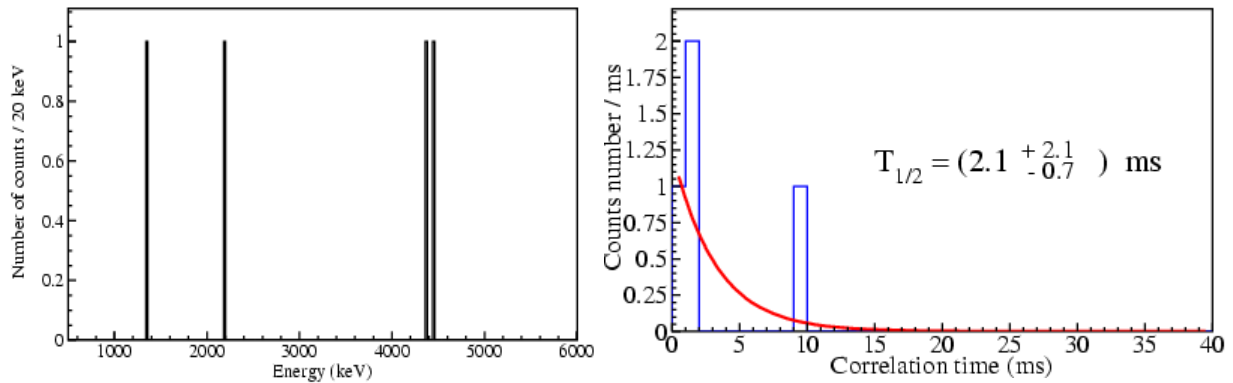


Figure 4: A gauche, spectre en énergie des décroissances suite à une implantation de ^{48}Ni . Le coup à 1.35 MeV pourrait être une émission deux-protons. A droite, spectre en temps des événements radioactifs après implantation d'un ^{48}Ni . La durée de vie du noyau ^{48}Ni est estimée à $2,1^{+2,1}_{-0,7}$ ms.

Ces données ne permettent pas de conclure quant à l'observation de la radioactivité 2p de ^{48}Ni . Néanmoins, nous pouvons espérer une meilleure statistique pour des expériences à venir, ce qui devrait permettre de vérifier si ^{48}Ni décroît en effet par émission 2p, comme le prédisent les modèles théoriques.

5/ Conclusion

Cette expérience a permis d'obtenir des résultats supplémentaires sur la radioactivité 2p de ^{45}Fe , permettant de les combiner avec les résultats précédents de 2002, et ainsi de déterminer l'énergie de transition (1.154 ± 15 MeV), la durée de vie du noyau ($1,75^{+0,49}_{-0,28}$ ms), le rapport d'embranchement (0.59 ± 0.07) et la durée de vie partielle pour la radioactivité 2p ($3,0^{+0,9}_{-0,6}$ ms), valeurs en accord avec les prédictions des modèles théoriques. Ces résultats ont également permis d'obtenir pour la première fois des informations sur la décroissance de ^{48}Ni , dont la durée de vie est estimée à $2,1^{+2,1}_{-0,7}$ ms.

Les recherches futures sur ce sujet se dirigeront tout d'abord vers l'observation d'autres noyaux émetteurs 2p tels que le ^{59}Ge . D'autre part, cette radioactivité 2p a pu être observée directement dans la décroissance de ^{45}Fe [8] et ^{54}Zn grâce à une chambre à projection temporelle permettant de visualiser la trace des deux protons et ainsi mesurer leurs énergies individuelles et leur angle relatif d'émission, permettant de mieux comprendre les processus mis en jeu lors de la radioactivité 2p.

Références

- [1] V. Goldanskii, Nucl. Phys. 19, 482 (1960)
- [2] S. Hoffmann et al., Z. Phys. A305, 111 (1982)
- [3] J. Giovinazzo et al., Phys. Rev. Lett. 89, 102501 (2002)
- [4] M. Pfützner et al., Eur. Phys. J A14, 279 (2002)
- [5] B. Blank et al., Phys. Rev. Lett. 94, 232501 (2005)
- [6] B. Blank et al., Phys. Rev. Lett. 84, 1116 (2000)
- [7] C. Dossat et al., Phys. Rev. C72, 054315 (2005)
- [8] J. Giovinazzo et al., Phys. Rev. Lett. 99, 102501 (2007)