

Etude de la décroissance de noyaux très riches en protons entre $Z = 22$ et $Z = 28$.

J. Giovinozzo, B. Blank, M. Chartier, S. Czajkowski, M.S. Pravikoff, J.-C. Thomas, CEN Bordeaux Gradignan, France
C. Borcea, Institut de Physique Atomique, Bucarest-Margurele, Roumanie
G. de France, M. Lewitowicz, F. de Oliveira Santos, GANIL Caen, France
R. Grzywacz, Z. Janas, M. Pfützner, Université de Varsovie, Pologne

Abstract

During a projectile fragmentation experiment at the GANIL/LISE3 facility, we performed decay studies of very proton-rich nuclei from titanium to nickel. First half-lives have been determined for ^{42}Cr , ^{45}Fe and ^{49}Ni . For other nuclei, ^{39}Ti , ^{43}Cr , ^{46}Mn and $^{46,47}\text{Fe}$, the half-life could be measured with an increased precision. Many β -delayed proton transitions have been observed and few of them could be placed in a first decay scheme with the help of γ -rays coincidence measurements. Although several candidates for this process are located in this mass region (^{39}Ti , ^{42}Cr , ^{45}Fe and $^{48,49}\text{Ni}$), no evidence of ground-state two-proton radioactivity could be obtained.

Du côté riche en protons de la table des isotopes, la drip-line a maintenant été observée expérimentalement jusqu'à $Z = 28$ (Nickel). Néanmoins, pour les plus exotiques de ces noyaux, la connaissance se limite souvent à leur existence, comme ^{48}Ni [1], et de rares informations concernant leur décroissance. Dans la région de masse étudiée ici (entre ^{39}Ti et ^{49}Ni), l'étude de la décroissance radioactive présente un intérêt particulier, du fait que plusieurs des isotopes concernés (^{39}Ti , ^{42}Cr , ^{45}Fe , $^{48,49}\text{Ni}$ [2-4]) sont candidats à la radioactivité par émission corrélée de deux protons depuis l'état fondamental. Ce processus, qui est prédit depuis les années 1960 [5], n'a encore jamais pu être mis en évidence. De plus, des calculs complets de modèle en couche, dans la couche fp , sont maintenant possibles [6], ce qui devrait permettre des comparaisons enrichissantes avec les données expérimentales.

Au cours de cette expérience, nous avons pu recueillir des données concernant la décroissance des noyaux $^{39,40}\text{Ti}$, $^{42,43}\text{Cr}$, ^{46}Mn , $^{45,46,47}\text{Fe}$ et ^{49}Ni . Pour ces noyaux, nous avons pu mesurer la période et la distribution en énergie des protons émis après une décroissance β . Parmi les nombreuses transitions par émission de protons observées, quelques unes ont pu être identifiées grâce aux mesures en coïncidence avec les rayonnements γ de désexcitation des noyaux.

Cette expérience a été menée auprès du séparateur LISE3, au GANIL, en utilisant la fragmentation d'un faisceau intense de ^{58}Ni sur une cible de nickel naturel placée dans le dispositif SSSI. Les noyaux riches en protons sont alors sélectionnés par le spectromètre magnétique Alpha puis par le séparateur LISE3, comportant un dégradateur achromatique au plan focal intermédiaire et un filtre de Wien en fin de ligne de faisceau. Les ions ainsi sélectionnés sont implantés dans un télescope composé de détecteurs en silicium qui permettent une mesure de la perte d'énergie des ions, de leur énergie résiduelle et de leur position dans les détecteurs. L'identification des ions est alors complétée par des mesures de temps de vol entre la haute fréquence des cyclotrons d'une part, une galette à micro-canaux (placée avant le filtre de Wien) d'autre part, et le télescope. Ce dispositif de détection était de plus entouré de détecteurs au germanium pour la mesure de l'énergie des rayonnements γ . La décroissance des noyaux étudiés donnant lieu à des émissions de protons, l'énergie de ces transitions est mesurée dans le détecteur au silicium où sont implantés les ions.

Une coupure à 1 MeV des distributions en énergie permet de garder la quasi-totalité des événements où la décroissance donne lieu à une émission de proton en supprimant les décroissances β seules, principale source de bruit de fond dans les distributions en temps de décroissance. Nous avons ainsi obtenu une première estimation de la période de ^{42}Cr , ^{45}Fe et ^{49}Ni , et celle des autres isotopes a été mesurée avec une précision accrue (à l'exception de ^{40}Ti qui avait déjà été largement étudié [7-9] et qui a servi de référence pour les calibrations). Les durées de vie estimées sont présentées dans la table 1.

Dans l'étude de la décroissance des noyaux ^{43}Cr et ^{47}Fe , la statistique est suffisante pour observer des transitions γ en coïncidence avec les protons. Il s'agit d'une information précieuse pour identifier les transitions par émission de proton, ce qui permet d'établir un premier schéma de décroissance de ces isotopes. Ceci est illustré par les figures 1 et 2 dans le cas de ^{47}Fe . Le détail de ces analyses est présenté dans une autre publication [12].

En ce qui concerne les plus exotiques des noyaux étudiés au cours de cette expérience, aucune radioactivité 2-proton n'a pu être mise en évidence. Du fait de la faible statistique, aucune transition γ n'est observée en coïncidence avec les structures présentes dans les distributions en énergie des protons. Dans le cas des noyaux

^{42}Cr et ^{49}Ni (voir figure 3), les principales transitions par émission de protons se trouvent à des énergies d'environ 1,9 et 3,7 MeV. Dans ces conditions, une radioactivité 2-proton impliquerait des durées de vie attendues de plusieurs ordres de grandeurs inférieures à celles qui ont été mesurées. On en déduit par conséquent que ces noyaux décroissent principalement par émission β -retardée de particules. Dans le cas du noyau ^{45}Fe , les transitions par émission de protons n'apparaissent pas aussi clairement. La durée de vie semble indiquer également une décroissance β , mais une étude plus approfondie s'impose.

isotope	Prédictions théoriques (ms)			Expérience (ms)	
	Gross Theory	Ormand	Hirsch <i>et al.</i>	précédentes	ce travail
^{40}Ti	56	56	-	54 ± 2 ^(a) 52.7 ± 1.5 ^(b)	53.5 ± 2.5
^{39}Ti	28	29	-	26_{-6}^{+8} ^(c)	31_{-4}^{+6}
^{43}Cr	21	14	23-57	21 ± 4 ^(d)	21.6 ± 0.7
^{42}Cr	21.2	17	12-33	-	$13.4_{-2.4}^{+3.6}$
^{46}Mn	35	37	-	41_{-6}^{+7} ^(d)	$34.0_{-3.5}^{+4.5}$
^{47}Fe	27.3	-	22-57	27_{-10}^{+32} ^(d)	21.8 ± 0.7
^{46}Fe	24.3	18	15-30	20_{-8}^{+20} ^(d)	$9.7_{-4.3}^{+3.5}$
^{45}Fe	11.7	7	7-30	-	6_{-3}^{+17}
^{49}Ni	10.7	-	7-20	-	12_{-3}^{+5}

(a) W. Liu *et al.* [9]

(b) W. Bhattacharya *et al.* [8]

(c) C. Detraz *et al.* [10]

(d) V. Borrel *et al.* [11]

Table 1 : Durées de vie des isotopes étudiés ici, comparées à divers résultats théoriques ou expérimentaux.

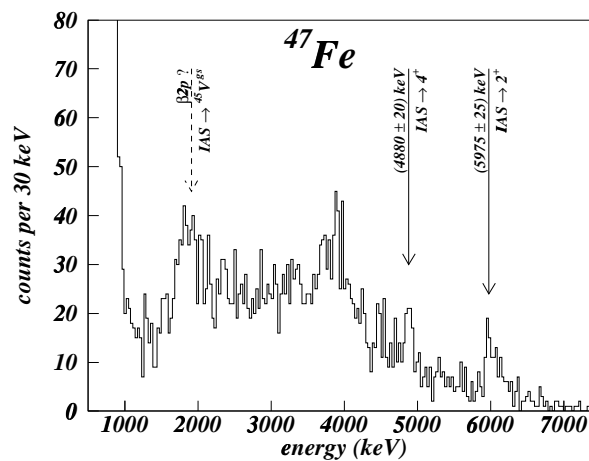


Figure 1 : Distribution en énergie des protons dans la décroissance de ^{47}Fe : les flèches indiquent les transitions de l'IAS identifiées à l'aide des coïncidences proton- γ .

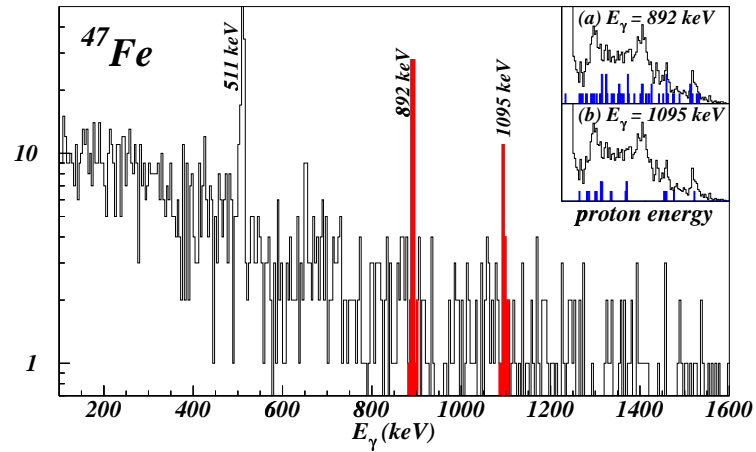


Figure 2 : Distribution en énergie des rayonnements γ mesurés en coïncidence avec les protons de la décroissance de ^{47}Fe . Les inserts montrent les énergies de protons en coïncidence avec les transitions γ de 892 keV et 1095 keV par rapport au spectre total des protons.

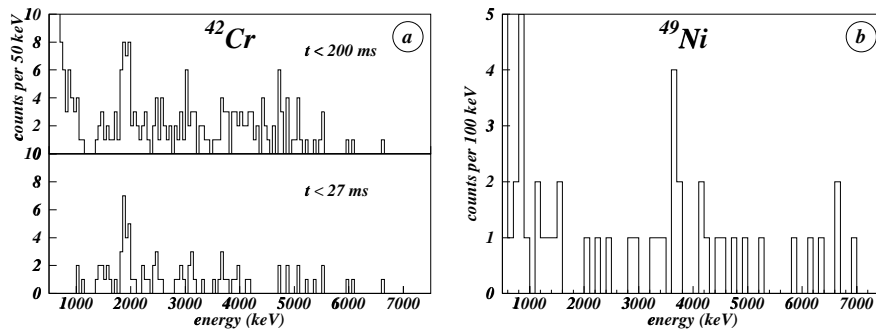


Figure 3 : (a) distribution en énergie des protons dans la décroissance de ^{42}Cr : la partie supérieure présente les événements jusqu'à 200 ms après l'implantation alors que la partie inférieure est limitée à 27 ms (environ deux fois la durée de vie), ce qui diminue fortement la contribution de la décroissance du noyau fils. (b) dans la décroissance de ^{49}Ni , la force de transition située autour de 3,7 MeV ne peut être identifiée faute d'une statistique suffisante et de mesures en coïncidences.

Au cours de cette expérience de fragmentation d'un faisceau intense de ^{58}Ni , nous avons pu obtenir une première estimation de la durée de vie des noyaux ^{42}Cr , ^{45}Fe et ^{49}Ni , ainsi que des distributions en énergie de protons qui indiquent une décroissance par émission retardée de proton. Ce résultat doit être confirmé dans le cas de ^{45}Fe à l'aide d'une meilleure statistique.

Pour les noyaux moins exotiques, la durée de vie a été mesurée avec une précision accrue. De nombreuses transitions par émission de 1 ou 2 protons ont été observées parmi lesquelles certaines ont pu être clairement identifiées grâce à des mesures en coïncidence avec les rayonnements γ de désexcitation des niveaux peuplés par ces transitions.

Références :

- [1] B. Blank *et al.*, Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 1116.
- [2] B.A. Brown, Phys. Rev. C 43 (1991) R1513.
- [3] W.E. Ormand, Phys. Rev. C 55 (1997) 2407.
- [4] B.J. Cole, Phys. Rev. C 54 (1996) 1240.
- [5] V.I. Goldanskii, Nucl. Phys. 19 (1960) 482.
- [6] E. Caurier *et al.*, Phys. Rev. C 50 (1994) 225.
- [7] W. Trinder *et al.*, Phys. Lett. B 415 (1997) 211.
- [8] A.G.M. Bhattacharya *et al.*, Phys. Rev. C 50 (1998) 3677.
- [9] W. Liu *et al.*, Phys. Rev. C 58 (1998) 2677.
- [10] C. Détraz *et al.*, Nucl. Phys. A519 (1990) 529.
- [11] V. Borrel *et al.*, Z. Phys. A 342 (1992) 273.
- [12] J. Giovinazzo *et al.*, Eur. Phys. Jour. A 10 (2001) 7