

Mesure de masses de noyaux dans la région $N = Z = 40$

A.S. Lalleman¹, G. Auger¹, W. Mittig¹, M. Chartier², J. Fermé¹, A. Gillibert³, A. Lépine-Szily⁴, M. Lewitowicz¹, M.H. Moscatello¹, N.A. Orr⁵, G. Politi⁶, F. Sarazin¹, H. Savajols¹, P. Van Isacker¹, A.C.C. Villari¹, M. Wiescher⁷

^{1/} GANIL, Bld Henri Becquerel, BP 5027, 14076 Caen Cedex 5, France

^{2/} Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux-Gradignan, BP 120, Le Haut Vigneau, 33175 Gradignan Cedex, France

^{3/} CEA/DAPNIA/SPhN, Centre d'Etudes Nucléaires de Saclay, 91191 Gif-sur-Yvette, France

^{4/} IFUSP-Universidade de Sao Paulo, C.P. 66318, 05315-970 Sao Paulo, Brésil

^{5/} LPC, IN2P3-CNRS, ISMRA-Université de Caen, Bld du Maréchal Juin, 14050 Caen Cedex, France

^{6/} Dipartimento di Fisica, Università di Catania e INFN, Corso Italia 57, 95129 Catania, Italie

^{7/} Nuclear Structure Laboratory, Department of Physics, 124 Nieuwland Science Hall, University of Notre Dame, Notre Dame, IN 46556, USA

Abstract

An experiment using the CSS2 cyclotron of GANIL as a high-resolution spectrometer was performed to measure the masses of nuclei close to the $N = Z$ line in the region of $A = 80$. This region of nuclei is the ideal place to study neutron-proton pairing which is currently an extremely active theoretical research area. The masses of these nuclei are of particular interest to provide a sensitive test of the SU(4) Wigner spin-isospin symmetry. The new masses of ^{80}Zr , ^{76}Sr , ^{68}Se were measured and the mass of ^{80}Y re-measured with respect to several reference masses with a precision of about 10^{-6} .

La masse d'un noyau, ou son énergie de liaison, est une de ses propriétés fondamentales et révèle des informations essentielles à la compréhension de la structure nucléaire, telles que les fermetures de couches (nombres magiques du modèle en couches) ou les régions de déformation par exemple. Les masses nucléaires présentent également un intérêt dans d'autres domaines tels que l'astrophysique nucléaire. Les différents modèles de masses reproduisent assez bien les données existant pour les noyaux stables ou proches de la vallée de stabilité. En revanche, les prédictions de ces modèles pour les noyaux exotiques situés aux frontières de la stabilité vis à vis de l'interaction forte, c'est à dire de l'émission d'un proton ou d'un neutron, divergent les uns par rapport aux autres de plusieurs MeV ou même dizaines de MeV.

Les mesures de masses de noyaux exotiques permettent donc de contraindre énormément les modèles et d'en tester le pouvoir prédictif sur de grandes variations d'isospin. L'énergie de liaison d'un noyau ne représente qu'une faible partie de son énergie totale, il est donc nécessaire de développer des méthodes de mesures précises. Par ailleurs, les noyaux exotiques, de court temps de vie, sont difficiles à produire et à sélectionner, et les informations sur leur structure (niveaux d'énergie, modes de décroissance...) sont souvent très rares, d'où la nécessité d'employer des méthodes de mesures directes. Dans le cas de noyaux lourds ($Z \geq 30$), la résolution en masse obtenue avec les techniques habituelles basées sur la mesure du temps de vol des ions dans un spectromètre magnétique n'est pas suffisante (3×10^{-4} pour un temps de vol de l'ordre de $1 \mu\text{s}$ sur une base de vol d'environ 100 m). Dans le cas de techniques basées sur la mesure de la fréquence cyclotron d'ions refroidis dans des pièges, le temps nécessaire pour cette opération représente une limitation dramatique pour des noyaux dont le temps de vie est très court.

Pour ces raisons une méthode originale, basée sur l'utilisation d'un cyclotron du GANIL, CSS2, comme un spectromètre de haute résolution, a été développée [1, 2].

La méthode CSS2 consiste à accélérer simultanément des ions de rapports m/q proches et de mesurer, en fin d'accélération à l'intérieur du cyclotron, leurs différences de temps de vol correspondant à leurs différences de phase par rapport à la haute fréquence. Si on considère deux ions de masses légèrement différentes, le plus lourd spirale plus longtemps à l'intérieur du cyclotron et la différence de temps de vol ou de phase est proportionnelle à leur différence de masse. Si les deux types d'ions sont accélérés simultanément, la masse inconnue est déterminée à partir de l'autre prise comme référence, connaissant le nombre de tours effectués ou le temps de vol total, ou bien à partir de plus d'une masse de référence. La résolution en masse (3×10^{-5}) est meilleure que celle obtenue en utilisant un spectromètre car le temps de parcours des ions dans le cyclotron est nettement plus long (environ $50 \mu\text{s}$, soit une longueur de vol de l'ordre du km). Les noyaux exotiques sont produits par fusion-évaporation à partir d'un faisceau primaire délivré par le premier cyclotron du GANIL, CSS1, incident sur une cible située entre les deux cyclotrons.

La première expérience utilisant cette nouvelle technique a permis de produire par fusion-évaporation et d'identifier le noyau ^{100}Sn doublement magique et noyau $N = Z$ le plus lourd ainsi que de mesurer sa masse pour la première fois. La compréhension de ce noyau est un des piliers sur lesquels reposent les modèles de structure nucléaire. Les masses des isobares ^{100}Cd , ^{100}In et ^{100}Sn ont été simultanément mesurées par rapport à la masse de référence de ^{100}Ag avec les précisions 200 keV (2×10^{-6}), 300 keV (3×10^{-6}) et 900 keV (10^{-5}), respectivement [3]. La précision moindre obtenue pour la masse du noyau doublement magique est due à la faible statistique.

Une nouvelle expérience a été réalisée au GANIL avec la même technique pour mesurer les masses de noyaux proches de la ligne $N = Z$ dans la région $A = 80$. Les noyaux $N = Z$ présentent des propriétés d'appariement singulières qui les rendent plus liés que leurs voisins, effet empiriquement connu comme le terme de Wigner, toujours pas reproduit par les calculs microscopiques. L'étude de l'interaction résiduelle entre le dernier proton et le dernier neutron est directement accessible à partir des masses des noyaux. Les masses des noyaux $N = Z$ sont donc particulièrement intéressantes pour tester la qualité de la symétrie de spin-isospin de Wigner $SU(4)$. Par ailleurs les noyaux déficitaires en neutrons de cette région sont d'un intérêt particulier pour la modélisation du processus rp en astrophysique nucléaire.

Dans cette nouvelle expérience les noyaux exotiques ont été produits par fusion-évaporation à partir d'un faisceau de ^{58}Ni de 4.3 MeV/nucléon sur des cibles de ^{24}Mg et ^{12}C . Les noyaux produits injectés simultanément, accélérés et ainsi séparés à l'intérieur du cyclotron, étaient détectés en fin d'accélération à l'aide d'un télescope de détecteurs silicium interceptif monté sur une sonde radiale mobile du cyclotron. Des noyaux de masses connues produits et accélérés simultanément ont permis d'avoir des masses de référence pour la mesure. Le spectre d'identification Energie-Phase représenté sur la figure ci-dessous montre que les différentes espèces d'ions sont bien séparées. Il n'est pas possible d'identifier en Z à partir d'un spectre de perte d'énergie en fonction de l'énergie totale car l'énergie des ions près du rayon d'extraction où ils sont détectés est trop faible (environ 6 MeV/nucléon à 3 m). L'identification absolue en Z et A des ions a été obtenue en comparant les produits de réaction obtenus avec différentes cibles. Les nouvelles masses de ^{80}Zr , ^{76}Sr , ^{68}Se ont été mesurées pour la première fois, et celle de ^{80}Y remesurée, par rapport à 4 masses de référence avec une précision de l'ordre de 10^{-6} [4]. Ces nouveaux résultats montrent la validité de la symétrie $SU(4)$ dans cette région, symétrie qui est brisée au début des couches sd et fp puis restaurée autour de $N = Z = 40$ (début de l'orbite $g_{9/2}$).

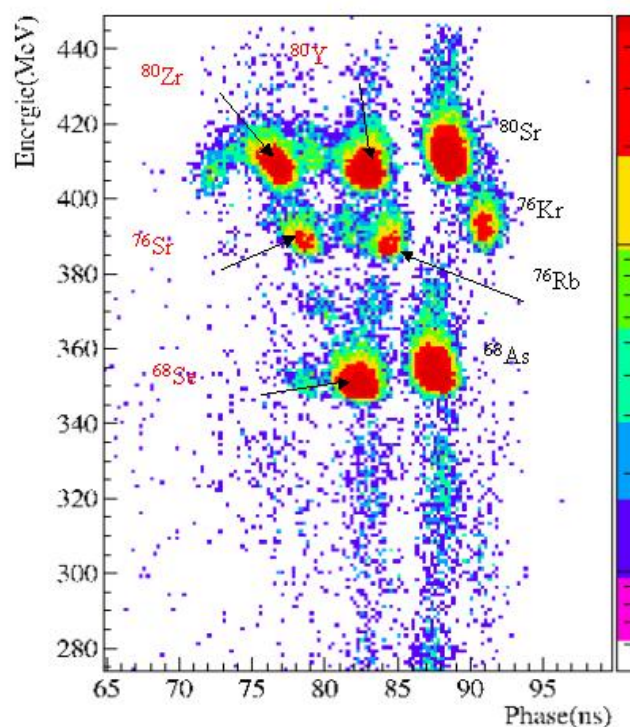


Figure 1 : Spectre Energie-Phase obtenu avec une cible composée de carbone et de magnésium naturel ($^{24,25,26}\text{Mg}$). On identifie les masses $A = 80, 76, 72$ et 68 d'énergies décroissantes.

Références

- [1] G. Auger, W. Mittig, A. Lépine-Szily *et al.*, Nucl.Instr. Meth. A **350** (1994) 235-243.
- [2] M. Chartier, G. Auger, W. Mittig *et al.*, Nucl. Instr. Meth. B **126** (1997) 334-339.
- [3] M. Chartier, G. Auger, W. Mittig *et al.*, Phys. Rev. Lett. **77** (1996) 2400.
- [4] A.-S. Lalleman, PhD Thesis, GANIL T **00 02** (2000).