

Étude des résidus de spallation produits en cinématique inverse dans la réaction $^{197}\text{Au}+p$ à 800 MeV/nucléon

P. Armbruster¹, J. Benlliure^{1,2}, M. Bernas³, A. Boudard⁴, E. Casajeros², S. Czajkowski⁵, T. Enqvist¹, F. Farget^{1,3}, S. Leray⁴, R. Legrain⁴, B. Mustapha³, M. S. Pravikoff⁵, K-H. Schmidt¹, C. Stéphan³, J. Taieb³, L. Tassan-Got³, C. Volant⁴, W. Wlazlo¹

1. GSI Darmstadt (Allemagne)
2. Universidad Santiago de Compostela (Espagne)
3. Orsay-IN2P3 (France)
4. DAPNIA/SPhN CEA Saclay (France)
5. CEN Bordeaux-Gradignan (France)

Abstract

Isotopic distribution cross-sections of residual nuclides of spallation and velocity distributions of all the elements produced in the experiment $^{197}\text{Au}+p$ at 800 MeV/nucleon incident energy have been measured. This reverse kinematics reaction is part of a series of measurements with relativistic lead, uranium and gold projectiles impinging on proton and deuterium targets. The results are of the utmost importance for the design of accelerator-driven subcritical reactors, which are considered for the treatment of nuclear wastes.

Nous avons mesuré les distributions isotopiques complètes pour chaque élément des sections efficaces de production des noyaux résiduels produits par spallation dans la réaction ^{197}Au (800 MeV/nucléon) sur proton. Cette expérience fait partie d'un ensemble de mesures en cinématique inverse dans lesquelles des projectiles de plomb, d'uranium et d'or ont bombardé des cibles d'hydrogène et de deutérium à des énergies incidentes de 800 MeV à 1 GeV par nucléon selon le cas ; les données recueillies sont essentielles pour la compréhension des phénomènes induits dans les réacteurs sous-critiques basés sur des accélérateurs. Elles sont également importantes pour la compréhension du mécanisme de spallation qui est en effet à la base de la production de neutrons pour des applications techniques dans ces systèmes sous-critiques en vue de la transmutation des déchets nucléaires.^[1,2] Or, si des études sur le processus de spallation ont été faites depuis plusieurs décennies, celui-ci n'est pas encore compris de manière satisfaisante et les modèles théoriques ne reproduisent pas toujours correctement les données obtenues. Cela vient de ce que la majorité des mesures a été effectuée en réaction directe, les prises de donnée (spectroscopie γ notamment) étant réalisées plusieurs heures, voire même plusieurs jours après l'irradiation. La plupart des produits de la réaction ayant une durée de vie courte, cela conduit finalement à des mesures de section efficace cumulative, donc à des difficultés supplémentaires pour en déduire des sections efficaces indépendantes pour chaque élément. Par contre, les mesures en cinématique inverse avec détection et identification en vol en moins de 200 ns, dans notre cas, permettent l'obtention de sections efficaces indépendantes.

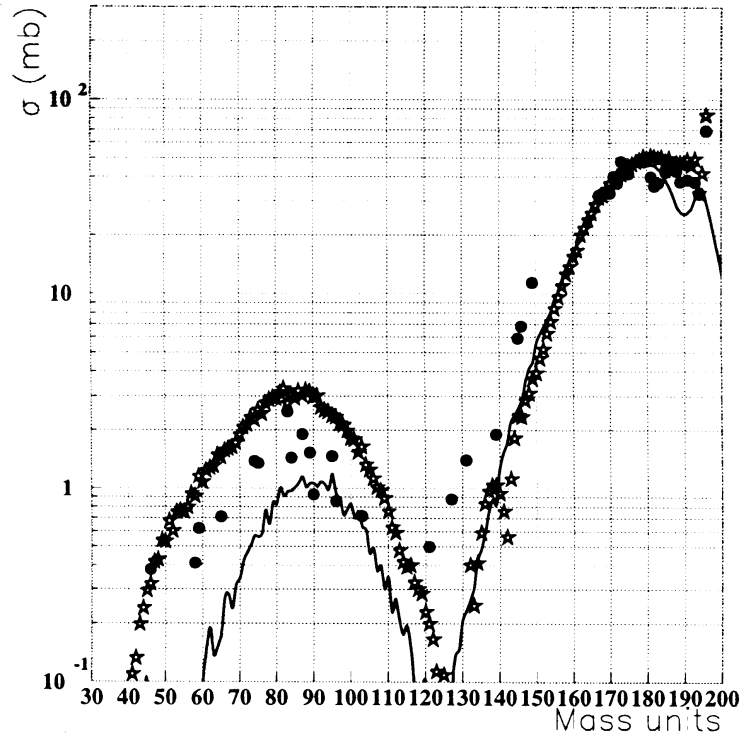
L'expérience a été menée au GSI sur le séparateur de fragments FRS^[3] qui permet la sélection et l'identification des produits de la réaction : nous avons ainsi balayé entièrement la carte (N,Z) et obtenu la distribution en vitesse de tous les noyaux résultant de la spallation produits avec une section efficace aussi faible que 0,1 mb grâce à la haute résolution de ce spectromètre. Le faisceau était ^{197}Au à 800 MeV/nucléon et la cible de l'hydrogène à l'état liquide, de 1 cm d'épaisseur. De par la cinématique, les produits de la réaction sont émis vers l'avant. La détection est réalisée par combinaison de l'analyse magnétique, de la perte d'énergie dans le dégradeur et la mesure du temps de vol des noyaux.

En pratique, des scintillateurs dont la réponse dépend de la position sont placés au plan image intermédiaire (dispersif) et au plan focal final du séparateur, ce qui permet de reconstruire la trajectoire des noyaux. Les valeurs des champs appliqués dans les aimants du spectromètre et la mesure du temps de vol entre les scintillateurs nous donnent les rigidités magnétiques des particules. La charge des fragments est, elle, déterminée par les différences de rigidité magnétique de part et d'autre du dégradeur intermédiaire. Enfin, l'étalonnage en charge et masse est effectué en comparant les données aux calculs théoriques du programme *Lieschen*.

Afin de couvrir toutes les masses jusqu'à la masse 132, compte tenu de l'acceptance en moment du séparateur FRS ($\Delta p/p = \pm 1,5\%$), 70 réglages des champs magnétiques ont été faits, par pas

incrémental de 2%. Pour les pertes de masses supérieures à 30 unités, les distributions en moment des résidus étant plus larges que l'acceptance du FRS, plusieurs points de mesures successifs permettent de reconstruire celles-ci dans leur intégralité.

Les sections efficaces de productions des résidus de spallation ont été déterminées avec une précision



de moins de 5% lorsque l'on tient compte de toutes les corrections. La section efficace totale est 1 765 mb (1 640 mb pour les résidus de spallation et 135 mb pour les fragments de fission), ce qui est en accord avec les mesures d'autres équipes.

La comparaison des résultats a porté sur la confrontation avec d'autres techniques en cinématique directe ^[2] et a montré un agrément dans la limite des barres d'erreur, à quelques exceptions près. Du point de vue des prédictions théoriques, différents codes de type Monte-Carlo ont été utilisés, le code CASCABLA, qui est une combinaison du code de cascade intranucléaire de J. Cugnon ^[5] et du code d'évaporation de J-J. Gaimard et K-H. Schmidt, donnant un accord satisfaisant pour les résidus proches du projectile et des sections efficaces trop faibles pour les grandes pertes de masse. La figure ci-dessus montre la distribution en masse des résidus de spallation, les étoiles (★) représentant nos résultats, les cercles pleins (●) les quelques autres données expérimentales de la littérature et la courbe en trait continu (—) le résultat du code CASCABLA.

D'autres expériences menées par cette équipe ont été effectuées sur le FRS avec les projectiles de plomb, d'uranium et d'or sur la cible d'hydrogène ainsi que sur une cible de deutérium à des énergies allant de 800 MeV/nucléon à 1 GeV/nucléon. Les analyses sont en cours pour les couples (Pb+p), (Pb+d) et (U+d) à 1 GeV/nucléon ; les distributions en moment des résidus produits dans la réaction (Au+p) à 800 MeV/nucléon seront prochainement disponibles, alors que les études des produits de fission dans cette même réaction se poursuivent.

Références

- [1] C. D. Bowman et al., Nucl. Inst. Meth. A320, 336 (1992)
- [2] C. Rubbia, report CERN-LHJC 96-011-ETT
- [3] H. Geissel et al., Nucl. Inst. Meth. A364, 150 (1992)
- [4] A. S. Goldhaber, Phys. Rev. Lett. 53B, 306 (1974)
- [5] J. Cugnon, C. Volant, S. Vuiller, Nucl. Phys. A620, 457 (1997)