

La dissociation coulombienne du ^8B en relation avec le facteur astrophysique S_{17}

F. Boué^{1,2}, N. Iwasa^{1,3}, G. Surówka^{1,4}, K. Sümmerer¹, T. Baumann¹, B. Blank², S. Czajkowski², A. Förster⁴, M. Gai⁵, H. Geissel¹, E. Grosse⁶, M. Hellström¹, P. Koczon¹, B. Köhlmeier⁷, R. Kulessa⁸, F. Laue⁴, C. Marchand², T. Motobayashi⁹, H. Oeschler⁴, A. Ozawa³, M.S. Pravikoff², E. Schwab¹, W. Schwab¹, P. Senger¹, J. Speer⁷, C. Strum⁴, A. Surowiec¹, T. Teranishi³, F. Uhlig⁴, A. Wagner⁴, W. Walus⁸, C.A. Bertulani¹⁰

¹ Gesellschaft für Schwerionenforschung m.b.H. D-64291 Darmstadt, Germany

² Centre d'Etudes Nucléaires de Bordeaux-Gradignan, F-33175 Gradignan Cedex, France

³ Institute of Physical and Chemical Research RIKEN, Wako, Saitama 351-01, Japan

⁴ Technische Universität Darmstadt, D-64289 Darmstadt, Germany

⁵ University of Connecticut, Storrs, CT 06269-3046, USA

⁶ Forschungszentrum Rossendorf, D-01314 Dresden, Germany

⁷ Universität Marburg, D-35032 Marburg, Germany

⁸ Jagellonian University, PL-30-059 Krakow, Poland

⁹ Rikkyo University, Toshima, Tokyo 171, Japan

¹⁰ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brazil

Abstract

The interpretation of the solar neutrino flux observed on Earth compared to the predicted one depends on the cross section of the $^7\text{Be}(\text{p}\gamma)^8\text{B}$ reaction which has a rather large uncertainty and has to be re-measured. The Coulomb dissociation of ^8B is an alternative method to measure this cross section. We performed an experiment at GSI using a secondary ^8B beam at $E(^8\text{B}) = 254 \text{ A.MeV}$ and the large-acceptance spectrometer KaoS. Using the detailed balance theorem the S_{17} factor is extracted.

La différence entre le flux de neutrinos observé sur terre [1,2,3,4] et celui produit dans le soleil et prédit par les modèles solaires standards [5,6] peut être résolue par l'introduction d'une nouvelle physique pour les neutrinos (par exemple les oscillations du neutrino [7]). Les paramètres, tels que l'angle de mélange, la différence de masse des états propres des neutrinos dépendent de la section efficace de la réaction $^7\text{Be}(\text{p},\gamma)^8\text{B}$ ou son équivalent le facteur S_{17} . Malheureusement et à défaut de valeurs expérimentales à basse énergies ($\sim 20 \text{ keV}$), la théorie prédit cette section efficace avec une incertitude plutôt large $\sim 20\text{-}30 \%$ [8].

Les sept mesures directes de cette section efficace présentées à ce jour conduisent à deux groupes de données incompatibles [8]. La dissociation coulombienne du ^8B , $^8\text{B} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^7\text{Be} + \text{p} + ^{208}\text{Pb}$, est une alternative à la capture directe [9]. Une première expérience de ce type a été réalisée à RIKEN [10].

Nous avons réalisé une étude similaire à GSI, utilisant le spectromètre à large acceptation KaoS [11] et un faisceau secondaire radioactif de ^8B à $E(^8\text{B}) = 254 \text{ A.MeV}$ produit au FRS [12]. L'identification événement par événement et une mesure exclusive permettent la détermination de la section efficace de la dissociation coulombienne sans bruit de fond. Nous avons mesuré une section efficace totale de $\sigma_{\text{CD}} = (284 \pm 23) \text{ mb}$. La section efficace différentielle $d\sigma/dE_{\text{rel}}$, E_{rel} étant l'énergie relative entre les fragments $\text{p}+^7\text{Be}$, est obtenue à moins de 10 % d'incertitude en incluant les erreurs systématiques (figure 1). Durant cette expérience une mesure précise à basse énergie n'a pas été possible à cause d'une mauvaise résolution dans la détermination de la masse invariante. Ce fait, dû à la diffusion coulombienne multiple dans la cible épaisse, peut, en principe, être amélioré en utilisant une cible plus mince. Nous avons trouvé que la soustraction du peuplement de l'état excité du ^7Be [13] est l'unique correction à appliquer à notre mesure compte tenu des incertitudes expérimentales. De plus, la section efficace de la CD est bien reproduite, en utilisant une théorie au premier ordre de la perturbation incluant : les multipolarités E1, M1 et un modèle de particule indépendante pour décrire le ^8B (figure 1). Par conséquent, la conversion de la CD vers le facteur S_{17} est plutôt bien comprise, le facteur S_{17} résultant est en accord avec les résultats des mesures directes [14,15], il est en désaccord avec des mesures semblables réalisées à RIKEN [10]. Nos deux points à $E_{\text{rel}} = 234 \text{ keV}$ et 410 keV avec $S_{17} = (18.9 \pm 1.5) \text{ eV}\cdot\text{b}$ et $(20.0 \pm 1.2) \text{ eV}\cdot\text{b}$, respectivement, sont en bon accord avec les récentes mesures directes. Par conséquent, ce résultat contraint aussi bien les possibles incertitudes expérimentales (par exemple la normalisation), que l'extrapolation à basse énergie, toujours nécessaire pour l'astrophysique. De plus, nous avons trouvé, par extrapolation, que le facteur S_{17} à zéro énergie est $S_{17}(0) = (21.5 \pm 1.0) \text{ eV}\cdot\text{b}$, soit 10 % supérieur à la même extrapolation effectuée sur les mesures directes les plus fiables (figure 2). Ce résultat est en accord avec la valeur actuelle

recommandée $S_{17}(0) = 19_{-2}^{+4} \text{ eV}\cdot\text{b}$, qui prend en compte de larges incertitudes systématiques [8].

Pour contraindre le flux de neutrinos du ^8B dans le modèle du soleil, de meilleures mesures du facteur S_{17} à basse énergie sont encore nécessaires et réalisables avec la technique de la dissociation

coulombienne. De plus, les expériences sur les neutrinos doivent améliorer la statistique et accroître la précision de mesure, tant au niveau du spectre en énergie des neutrinos que du flux en fonction de la réaction d'origine dans le soleil. Ces deux paramètres sont nécessaires pour réellement prouver une nouvelle physique pour les neutrinos.

Le présent dispositif expérimental à GSI peut être amélioré en insérant une cible plus mince, et la même statistique peut être réalisée avec une augmentation de l'intensité du faisceau. Par conséquent, une mesure à E_{rel} inférieure à 100 keV serait accessible. La conversion vers le facteur S_{17} peut être rendue plus sûre en mesurant l'angle de diffusion pour montrer une possible contribution E2. Une mesure du peuplement de l'état excité du ${}^7\text{Be}$ doit être également remesurée avec plus de précision. Ceci peut être atteint en mesurant en coïncidence la raie- γ du ${}^7\text{Be}^*$.

Cette expérience montre que la technique est aussi bonne que les mesures directes dans le cas de la réaction ${}^7\text{Be}(p,\gamma)$, et par conséquent, elle peut être étendue à d'autres cas où la dissociation coulombienne est la seule technique possible, c'est à dire des réactions (p,γ) où seulement des espèces radioactives à courte vie sont impliquées comme par exemple les réactions ${}^{26}\text{Si}(p,\gamma){}^{27}\text{P}$ or ${}^{22}\text{Mg}(p,\gamma){}^{23}\text{Al}$. De telles expériences sont actuellement en préparation.

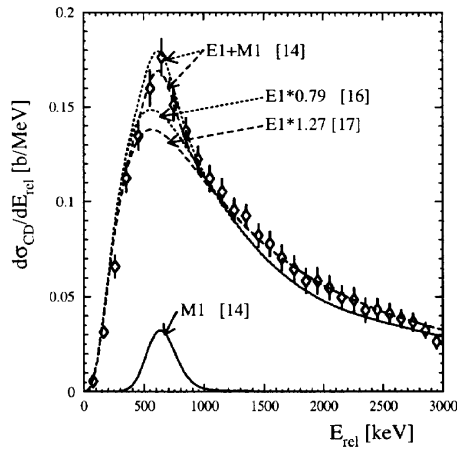


Figure 1 : Section efficace différentielle de dissociation coulombienne en fonction de l'énergie relative ${}^7\text{Be}$ -p comparée à une théorie de clusters [16] ainsi qu'à une théorie de particules indépendantes [17] normalisées par rapport aux points expérimentaux. La transition résonante M1 est déduite des mesures directes de Filippone [14]. Les résultats théoriques sont convolués avec la résolution expérimentale.

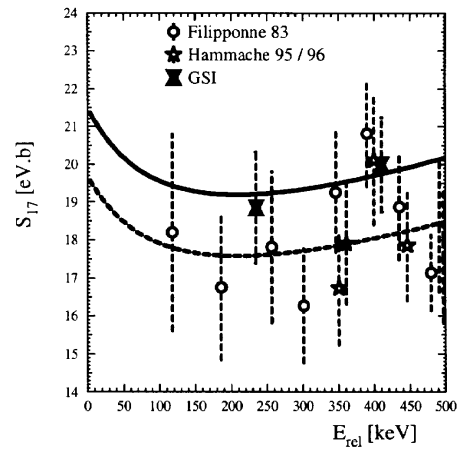


Figure 2 : Extrapolation à basse énergie du facteur astrophysique S_{17} en utilisant la paramétrisation de Jennings et al. [18] de deux groupes de données : i) les présents résultats de GSI ainsi que ii) les résultats de Filippone [14] et Hammache [15].

Références :

- [1] R. Davis, Progress in Particle and Nuclear Physics 32 (1994) 138
- [2] GALLEX Collaboration, Phys. Lett. B 342 (1995) 440
- [3] J.N. Abdurashitov et al. (SAGE collaboration) Proceedings 4th International Solar Neutrino Conference, ed. W. Hampel MPI Kernphysik Heidelberg (1997)
- [4] Y. Fukuda et al., Phys. Rev. Lett. 81 (1998) 1158
- [5] J.N. Bahcall, S. Basu, and M.H. Pinsonneault, Phys. Lett. B 433 (1998) 1
- [6] A.S. Brun, S. Turck-Chièze and P. Morel, Astro. J. 506 (1998) 913
- [7] N. Hata, W.C. Haxton, Phys. Lett. B 353 (1995) 422
- [8] E. Adelberger et al., Rev. Mod. Phys. 70 (1998) 1
- [9] G. Baur et al., Nucl. Phys. A 458 (1986) 188

- C.A. Bertulani, G. Baur, Phys. Rep. 163 (1988) 299
- [10] T. Kikuchi et al., Eur. Phys. J. A 3 (1998)
 - [11] P. Senger et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. A 327(1993)393
 - [12] H. Geissel et al., Nucl. Instr. Meth. Phys. Res. B 70 (1992) 286
 - [13] A. Mengoni et al., Contribution to "Nuclei in the cosmos '98" Volos, Greece (1998)
 - [14] B.W. Filippone et al., Phys. Rev. C 28 (1983) 2222
 - [15] F. Hammache et al., Phys. Rev. Lett. 80 (1998) 928
 - [16] P. Descouvemont and D. Baye, Nucl. Phys. A 567 (1994) 341
 - [17] C.A. Bertulani, Z. Phys. A 356 (1996) 293
 - [18] B.K. Jennings et al., Phys. Rev. C 28(1998) 3711