

LABORATÓRIO ABERTO DE FÍSICA NUCLEAR

PAC 2018

Proposal	N°
Title: Medidas de reações induzidas por feixe radioativo de ^{10}Be em prótons de interesse para astrofísica.	
Responsable: Valdir Guimaraes (USP)	E-mail: valdirg@if.usp.br
Participants: Gurpreet Kaur, Juan Carlos Zamora, Marlete Assunção, Erick Zevallos, Alessandro Lara, Juan Alcantara-Nunez, F. Hammache (IPNO-França), N. De Sereville (IPNO-França), François de Oliveira Santos (GANIL), Grigory Rogachev (TAMU), Roberto Linares (UFF), Alinka Lepine, Rubens Lichenthaler, Kelly C. C. Pires, Osvaldo Botelho dos Santos, Uiran da Silva.	
Spokeperson: Valdir Guimarães	e-mail: valdirg@if.usp.br
Telephone: 3091-7104	Skype:
Number of days for experiment:	15 dias
Period planned for the experiment (are the setup ready for beam time?): Fevereiro a Abril 2019. O setup está pronto para essa experiência	

Technical information

Ion source			Accelerator			Experimental Area	
Beam	Cathode	$I_{\text{mínima}}$	V_{min}	V_{max}	Bunched beam?	Beam line	Target
10B		500 nA	6.0	8.0	não	45-B	^9Be
11B		500 nA	6.0	8.0	não	45-B	^{197}Au
							^{58}Ni

Other relevant/needed information:

O feixe primário de ^{11}B ou ^{10}B deve ter no mínimo 200 nA no alvo de produção na canalização RIBRAS (45B) para viabilizar essas medidas.

Reações induzidas por feixe radioativo de ^{10}Be em prótons de interesse para astrofísica

Valdir Guimarães¹⁾, Gurpreet Kaur¹⁾, F. Hammache²⁾, N. De Sereville²⁾, François de Oliveira Santos³⁾, Marlete Assunção⁴⁾, Juan Carlos Zamora¹⁾, Erick Natividad Zevallos¹⁾, Alessandro Lara¹⁾, Juan Alcantara-Nunez¹⁾, Luciana Dourado¹⁾, Alinka Lepine¹⁾, Rubens Lichtenthaler¹⁾, Kelly C. C. Pires¹⁾, Roberto Linares⁵⁾, Grigory Rogachev⁶⁾, Osvaldo Botelho dos Santos¹⁾, Uiran Umbelino da Silva¹⁾.

1) Instituto de Física da USP, São Paulo, SP

2) IPN Institute Physique Nucleaire, Orsay, França.

3) GANIL, Caen, França.

4) Universidade Federal de São Paulo- UNIFESP, Diadema, São Paulo.

5) Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ

6) Texas A&M University, College State, Texas, USA

Motivação científica

Cenários astrofísicos como o universo primordial, estrelas ou explosões de supernovas são meios pelos quais podemos explicar a origem e síntese dos elementos químicos. Nesses sistemas, as reações de captura de prótons, nêutrons ou alfas, ou ainda transferência de núcleons, determinam a produção e abundâncias isotópicas na natureza. O estudo dessas reações nucleares faz parte do que chamamos astrofísica nuclear e o processo de formação dos elementos é chamado de nucleossíntese. Várias reações de interesse astrofísico envolvidas na formação dos elementos já foram medidas dando uma boa indicação de como ocorrem os vários processos de nucleossíntese. No entanto, apesar do considerável esforço e progressos tanto experimental quanto teórico, muitas dessas reações não foram ainda investigadas e várias questões referentes a astrofísica nuclear permanecem ainda em aberto.

O modelo de nucleossíntese primordial ou BBN (Big Bang Nucleosynthesis) leva em conta a produção de elementos leves como ^2H , ^3He , ^4He e ^7Li os quais são fundamentais para entender a abundância pre-galáctica, e que por sua vez tem importantes implicações na evolução estelar das primeiras estruturas do universo. Esse modelo, porém, não prevê corretamente a abundância do ^7Li com relação as observações. Uma análise recente da importância de reações com elementos radioativos leves para o modelo de BBN foi realizada por A. Coc et al. [1,2]. Nesse trabalho, o autor considerou uma malha de 400 reações com as respectivas correlações, onde elementos do ciclo CNO como Carbono,

Oxigênio e Flúor, foram também considerados. A conclusão foi que com base nessas informações ainda não foi possível encontrar uma solução para a discrepância das abundâncias do ${}^7\text{Li}$, justificando ainda a necessidade de um esforço tanto experimental quando teórico. Por outro lado, a partir da análise de sensibilidade das reações, o autor concluiu que as reações envolvendo o núcleo ${}^{10}\text{Be}$ seriam importantes para o possível ciclo CNO no universo primordial, dentre elas foram destacadas as reações ${}^{10}\text{Be}(\alpha, n){}^{13}\text{C}$, ${}^8\text{Li}(t, n){}^{10}\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}(p, \alpha){}^7\text{Li}$ e ${}^{10}\text{Be}(p, t)2\alpha$. Essas reações ainda não foram experimentalmente investigadas.

Experiência proposta

Nesse projeto estamos propondo investigar as reações induzidas por ${}^{10}\text{Be}$ em alvo de próton. Pretendemos medir a função de excitação para o espalhamento ressonante e reações de transferência induzidas pelo feixe radioativo de ${}^{10}\text{Be}$ em alvo de prótons: ${}^{10}\text{Be}(p, p){}^{10}\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}(p, d){}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}(p, t)2\alpha$ e ${}^{10}\text{Be}(p, \alpha){}^7\text{Li}$. Com essas medidas poderemos investigar a importância das ressonâncias no núcleo composto ${}^{11}\text{B}$ em energia de excitação entre 11.5 MeV até 14.5 MeV, correspondente a uma energia incidente do ${}^{10}\text{Be}$ de $E_{\text{cm}} = 0.5$ a 3.0 MeV.

Vamos utilizar o método do alvo grosso utilizando um alvo de prótons de polietileno. Nessa técnica, o feixe de ${}^{10}\text{Be}$ é freado completamente no alvo mas permite a passagem de partículas mais leves (p , d , t e α) produzidas nas reações em cinemática inversa. Essas partículas emergentes serão detectadas por um arranjo de detectores de silício formando telescópios ΔE - E (25 μm e 500 μm) instalados em ângulos dianteiros no sistema de laboratório (entre 0° e 30°). Isto permitirá selecionar os respectivos produtos das reações nucleares em diferentes intervalos de energia no sistema centro de massa. Essas funções de excitação serão analisadas através do formalismo de matriz-R [4] que pode fornecer importantes informações (energia, largura e spin) sobre as ressonâncias no núcleo composto ${}^{11}\text{B}$. Ressonância nesse núcleo em energia de excitação de 13.3 a 16.5 MeV foram recentemente investigadas utilizando-se o método do espalhamento ressonante de ${}^{10}\text{Be}+p$ no laboratório de Lanzhou (China) [5]. Nesse trabalho novas ressonâncias foram observadas. Pretendemos cobrir a região de energia de excitação do ${}^{11}\text{B}$ entre 11.5 e 14.5 MeV, que tem uma relevância maior para a astrofísica. Nossa proposta é ainda fazer um estudo simultâneo de todos os canais de saída, ${}^{10}\text{Be}(p, p){}^{10}\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}(p, d){}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}(p, t)2\alpha$ e ${}^{10}\text{Be}(p, \alpha){}^7\text{Li}$, para caracterizar completamente essas ressonâncias e verificar suas importâncias relativas em cada uma das reações. Esse tipo de estudo foi recentemente realizado em São Paulo com o feixe radioativo de ${}^8\text{Li}$ produzido pelo sistema RIBRAS. Como podemos ver na Fig. 1, as ressonâncias têm importâncias relativas diferentes para

cada reação e o estudo simultâneo das reações de saída do sistema ${}^8\text{Li}+p$ permitiu um melhor estudo das energias, larguras e spins das ressonâncias no núcleo composto ${}^9\text{Be}$.

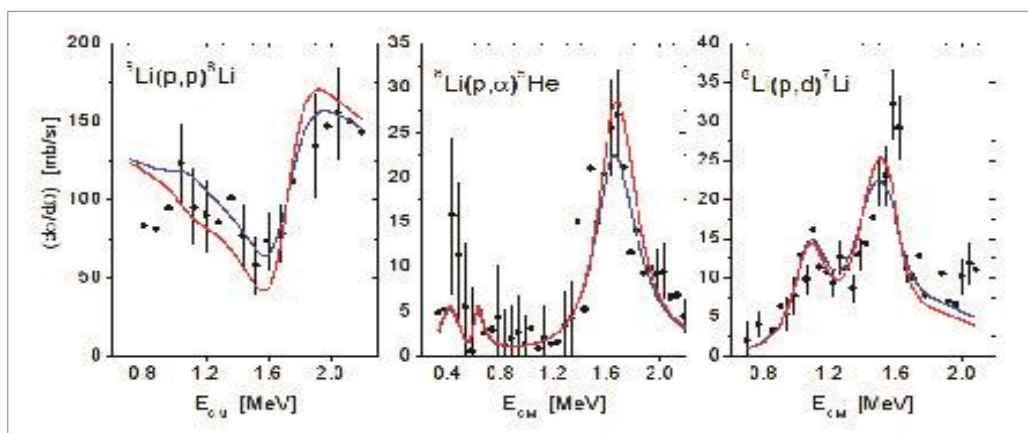


Fig. 1. Função de excitação das reações indicadas mostrando as importâncias relativas das ressonâncias no núcleo composto ${}^9\text{Be}$. Figura adaptada da Ref. [6].

O feixe radioativo ${}^{10}\text{Be}$ será produzido pelo sistema RIBRAS, no laboratório Pelletron (IFUSP). Esse feixe deve ser o mais puro possível. Vamos utilizar os dois solenoides do sistema RIBRAS para purifica-lo e vamos testar duas possíveis reações de produção: ${}^9\text{Be}({}^{11}\text{B}, {}^{10}\text{Be})$ $Q=-4.64$ MeV e ${}^9\text{Be}({}^{10}\text{B}, {}^{10}\text{Be})$ $Q=-1.62$ MeV. Os dados a serem obtidos serão analisados pela pos-doc Gurpreet Kaur recém contratada no grupo NEAN. Contaremos também com a colaboração e participação dos pesquisadores F. Hammache e N. De Sereville do IPN-Orsay, e de François de Oliveira do GANIL, França.

Para estimarmos o tempo de máquina consideramos a seção de choque para a reação ${}^{10}\text{Be}(p,\alpha){}^7\text{Li}$ da ordem de 100 mb/sr, para a energia de excitação 13 a 15 MeV. A seção de choque obtida para a reação ${}^8\text{Li}(p,\alpha){}^5\text{He}$ foi de 25 mb/sr no pico de uma das ressonâncias, veja Fig. 1, onde foi obtido da ordem de 100 contagens em 24 horas em um bin de energia de 200 KeV com um feixe de ${}^8\text{Li}$ de 10^5 pps. Para um feixe de ${}^{10}\text{Be}$ da ordem de 2 a 5×10^3 pps precisaremos de 7 a 10 dias para obter uma taxa de contagem similar. Para as reações (p,p), (p,d) esperamos obter taxas de contagens melhores. Estamos pedindo 12 dias de máquina para essas medidas, sendo que dois dias serão utilizados para produção e purificação do feixe de ${}^{10}\text{Be}$.

Referências

- [1] A. Coc et al., The Astrophysical Journal 744, 158 (2012).
- [2] A. Coc, J. P. Uzan, and E. Vangioni, Jour. Cosm and Astro Phys. 2014, 050 (2014).
- [3] J. C. Zamora, V. Guimarães, et al., Phys. Rev. C 84, 034611 (2011).

[4] A. M. Lane and R. G. Thomas, Rev. Mod. Phys. 30, 257 (1958).

[5] Y. D. Liu, et al., Phys. Rev. C 91, 044302 (2015).

[6] A. Lepine-Szily, R. Lichtenthaler, V. Guimarães, et al, Journal of Phys: Conf. Series 590, 012012 (2015).

Informação prévia sobre a experiência:

Fizemos uma experiência para desenvolver o feixe de ^{10}Be para essas medidas de 02 a 13 de Abril de 2018. Contamos com a participação da comitiva Francesa nessa experiência. Utilizamos os dois solenoides do sistema RIBRAS e fizemos vários testes. No entanto, ainda não conseguimos uma boa purificação desse feixe. Vamos precisar de mais alguns dias para testarmos algumas outras possibilidades para obter esse feixe o mais puro possível.