

LABORATÓRIO ABERTO DE FÍSICA NUCLEAR
PAC 2023

Proposta	N°
Title: Medidas exclusivas das reações ${}^6,7\text{Li} + {}^{144,154}\text{Sm}$	
Responsible: Valdir Scarduelli	E-mail: scarduelli@usp.br
Participants: V. Scarduelli, L. R. Gasques, L. C. Chamon, A. Lépine-Szily, J.R.B. Oliveira, J. Chaves, W. Hatano, L. Martinis, M. G. de Lana.	
Spokesperson: Valdir Scarduelli	e-mail: scarduelli@usp.br
Telephone: (11) 987970003	Skype:
Number of days for experiment:	10
Period planned for the experiment (is the setup ready for beam time?): From November 2023	

Technical information

Ion source			Accelerator			Experimental Area	
Beam	Cathode	$I_{\text{mínima}}$	V_{min}	V_{max}	Bunched beam?	Beam line	Target
${}^6\text{Li}$		50nA	6	7	no	30B	${}^{144,154}\text{Sm}$
${}^7\text{Li}$		50nA	6	7	no	30B	${}^{144,154}\text{Sm}$

Other relevant/needed information:

Projeto de Pesquisa

Medidas exclusivas das reações ${}^{6,7}\text{Li} + {}^{144,154}\text{Sm}$

1 Introdução

Diferentes processos podem ocorrer numa colisão nuclear em função da energia de bombardeio. Em energias muito baixas ocorre, quase exclusivamente, o processo de espalhamento elástico sendo a interação nuclear irrelevante e os processos de reação estão relacionados ao potencial eletrostático repulsivo de longo alcance. Outros canais de reação tornam-se importantes à medida que a energia incidente do projétil aumenta e se aproxima ou mesmo ultrapassa a barreira coulombiana, tais como: espalhamento inelástico envolvendo também a excitação nuclear, processos de transferência de núcleons e fusão nuclear. Núcleos fracamente ligados possuem significativa probabilidade de sofrer outro processo denominado de quebra (breakup), dando origem a um complexo problema envolvendo três ou mais corpos. Nas últimas décadas, os mecanismos de reação associados a sistemas com núcleos fracamente ligados (sejam estáveis ou radioativos) têm sido vastamente estudados (e.g. [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]).

Numa visão bastante simplificada, o processo de fusão ocorre quando os núcleos interagentes transpõem a barreira coulombiana, por terem energia maior que a altura da barreira ou por tunelamento. Nessa situação, os núcleos são capturados em um poço de potencial atrativo numa região interna à barreira, formando um novo elemento (núcleo composto). Entretanto, se tratando de reações envolvendo núcleos fracamente ligados esse cenário se torna mais complicado. Nesse caso, de maneira bastante esquemática, outros processos podem ocorrer: fusão completa (FC), que ocorre quando o projétil por completo é capturado pelo alvo, independentemente de ter ou não quebrado durante o processo; fusão incompleta (FIC), que ocorre quando nem todos os fragmentos do projétil são capturados pelo alvo; quebra sem captura (NCBU) que ocorre quando nenhum dos fragmentos é capturado pelo alvo.

Modelos teóricos sofisticados são frequentemente utilizados para calcular a probabilidade de ocorrer NCBU. Entretanto, nenhum desses modelos é capaz de acoplar reações de transferências e discretização do contínuo num mesmo cálculo utilizando formalismo de canais acoplados. Por outro lado, não é possível separar experimentalmente fusão completa com quebra do processo de fusão usual, que ocorre quando os núcleos interagem sem que nenhum se fragmente. De fato, ambos processos levam à formação do mesmo núcleo composto.

Medidas de seções de choque de NCBU são tarefas complicadas, que demandam a identificação dos fragmentos em coincidência, cálculos de eficiência, etc. Apesar das dificuldades, importantes descobertas têm sido realizadas nos últimos anos, no que diz respeito à compreensão dos mecanismos de reação envolvendo núcleos fracamente ligados. Por exemplo, experimentos recentes, realizados em energias subcoulombianas, demonstraram que o processo de breakup é mais complicado do que se pensava, sendo que a quebra do núcleo projétil nos fragmentos que são energeticamente mais favoráveis não é o único mecanismo contribuindo para a supressão da seção de choque de fusão completa [5, 6, 8]. Medidas em coincidência dos fragmentos carregados, oriundos da quebra do projétil, foram realizadas em uma vasta região angular, para alguns sistemas, em energias abaixo da barreira coulombiana. Os resultados dessas medidas demonstraram claramente que a quebra pode estar diretamente relacionada à excitação de estados do projétil no contínuo (breakup direto), ou, de maneira alternativa, pode estar relacionada à excitação de estados não ligados do núcleo formado após a transferência de núcleons. Esses dois

mecanismos dão origem a diferentes combinações de fragmentos carregados, que são detectados em coincidência.

Este projeto tem como principal objetivo contribuir para a evolução do conhecimento desta área de pesquisa, através da realização de medidas exclusivas (ou seja, de partículas em coincidência temporal) das reações ${}^6,7\text{Li}+{}^{144,154}\text{Sm}$.

2 Equipamentos disponíveis

A canalização 30B do acelerador Pelletron tem sido, nos últimos anos, utilizada para medir os produtos de reação de sistemas envolvendo feixes de núcleos fracamente ligados. Para a realização de medidas exclusivas, em coincidência temporal, diversas atualizações e automações nos arranjos experimentais estão sendo implementadas.

Atualmente, o arranjo experimental disponível é composto por uma câmara de espalhamento (figura 1) em que se encontram instalados dois sistemas de detecção de partículas carregadas, o *SATURN* (Silicon Array & Telescopes of USP for Nuclear Reactions and Nuclear applications) e o *STAR* (Silicon Telescopes Array for Reactions). O *SATURN* é um sistema composto por detectores semicondutores do tipo barreira de superfície de silício que podem ser montados tanto no prato principal (permitindo a movimentação angular dos detectores), quanto num sistema fixo, montado na base da câmara de espalhamento no hemisfério traseiro, espaçados em intervalos de 10 graus, cobrindo a região angular de 90 a 170 graus. Os detectores podem ser montados tanto na configuração *single* quanto na configuração telescópio ΔE -E em qualquer posição. Esta última configuração torna possível separar diferentes produtos de reação, uma vez que cada partícula perderá uma fração de sua energia no primeiro detector (ΔE), e o restante no detector grosso (E), o que permite identificar a carga e, por vezes, também a massa do núcleo detectado [10].

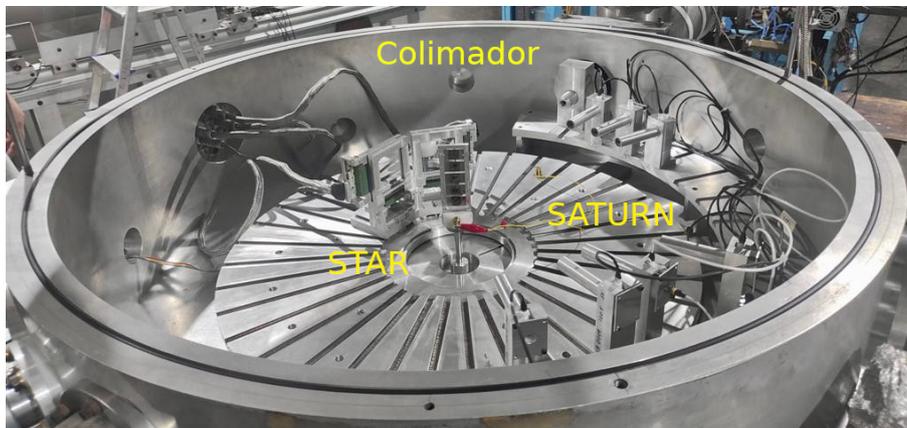


Figura 1: Vista interna da câmara de espalhamento da canalização 30B do LAFN (Laboratório Aberto de Física Nuclear), utilizada para o estudo de reações nucleares envolvendo feixes fracamente ligados.

O sistema *STAR* ainda está em fase de desenvolvimento, ele é composto por detectores segmentados de grande área ativa (50 mm x 50 mm), montados em configuração de telescópio. Temos disponíveis dois tipos de detectores segmentados: os *Single Sided Silicon Strip Detector* (SSSSD) e os *Double Sided Silicon Strip Detectors* (DSSSD). O SSSSD consiste em um detector segmentado em 16 faixas (strips) em uma direção, enquanto o DSSSD possui 16 strips na direção X na frente e 16 strips na direção Y na parte traseira.

Atualmente, temos montado na câmara de espalhamento dois telescópios triplos, compostos por um SSSSD fino (20 μm de espessura) com strips na direção Y e outro grosso (300 μm) com strips na direção X seguidos por um detector de grande área de 1000 μm . A combinação de

uma strip dianteira com uma traseira forma um pseudo-telescópio, desta forma, cada telescópio de grande área possui um total de 256 pseudo-telescópios. Mais dois telescópios estão sendo montados, compostos por um DSSSD ($40\mu\text{m}$) seguido por um detector de grande área de $1000\mu\text{m}$.

3 Objetivos e tempo de maquina

O principal objetivo deste trabalho é realizar medidas exclusivas para os sistemas ${}^6,7\text{Li}+{}^{144}\text{Sm}$ e ${}^6,7\text{Li}+{}^{154}\text{Sm}$ em energias próximas da barreira coulombiana. O núcleo ${}^{144}\text{Sm}$ é considerado esférico e o núcleo ${}^{154}\text{Sm}$ é altamente deformado. A investigação dos sistemas acima permitirá estudar o efeito da deformação do alvo no processo de quebra do projétil uma vez que o ${}^6\text{Li}$ é um núcleo fracamente ligado, sendo a energia de ligação do ${}^6\text{Li}$ para quebra em ${}^4\text{He}+{}^2\text{H}$ de apenas 1.48 MeV, e o ${}^7\text{Li}$ possui uma energia de quebra em ${}^4\text{He}+{}^3\text{H}$ de 2.47MeV . A análise dos dados experimentais para os sistemas ${}^6,7\text{Li}+{}^{144,154}\text{Sm}$ será realizada através de cálculos de canais acoplados com o contínuo discretizado (CDCC - Continuum Discretized Coupled Channels) [11]. Nesses cálculos, utilizaremos como modelo para o potencial óptico o potencial de São Paulo [12, 13]. Solicito um total de 10 dias de máquina para realizar essas medidas com boa estatística.

Referências

- [1] D. Dell’Aquila, et al., Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 877 (2018) 227–23.
- [2] M. Dasgupta et al, Phys. Rev. C 70, 024606 (2004).
- [3] A. Mukherjee et al, Phys. Lett. B 636, 91 (2006).
- [4] P. R. S. Gomes et al, Phys. Rev. C 73, 064606 (2006).
- [5] R. Rafei et al, Phys. Rev.C 81, 024601 (2010).
- [6] D. H. Luong et al, Phys. Lett. B 695, 105 (2011).
- [7] L. R. Gasques et al, Phys. Rev. C 79, 034605 (2009).
- [8] S. Kalkal et al, Phys. Rev. C 93, 044605 (2016).
- [9] Y. D. Fang et al, Phys. Rev. C 93, 034615(2016).
- [10] V. Scarduelli, L. R. Gasques, L. C. Chamon and A. Lépine-Szily, Eur.Phys.J.A (2020) 56:24.
- [11] I. J. Thompson, Comp. Phys. Rep. 7, 167 (1988).
- [12] L. C. Chamon et al, Phys. Rev. C 66, 014610 (2002).
- [13] M.A.G. Alvarez et al, Nucl. Phys. A 723, 93 (2003).