

**LABORATÓRIO ABERTO  
DE FÍSICA NUCLEAR**

N°

**Proposta de Experimento**

**Período :** 1 ano

**Título:** Estudo da quebra do núcleo exótico  ${}^6\text{He}$  em baixas energias

**Responsável:** Kelly Cristina Cezaretto Pires

**e-mail:** kelly@if.usp.br

**Participantes:** B. P. Monteiro, K. C. C. Pires, R. Lichtenthäler, O. C. B. Santos, A. Lépine-Szily, U. Umbelino, A. Serra, H. F. G. Arruda, D. A. Santana, G. S. Gonçalves, H. A. C. Teixeira, I. R. Silva, K. Albuquerque, M. V. R. Ribeiro

**Porta Voz:** Kelly Cristina Cezaretto Pires

**e-mail:** kelly@if.usp.br

**Número de dias solicitados:** 15

**Datas preferidas:** 1o semestre de 2024

**Datas realmente impossíveis:**

**Canalização:** 45-B

<b>Feixe</b>	<b>Est. Carga</b>	<b>I<sub>mínima</sub> (feixe primario)</b>	<b>V<sub>min</sub></b>	<b>V<sub>max</sub></b>	<b>Pulsado?</b>
${}^7\text{Li}$	3+	300 nA	7.5	8	

**Alvos:**  ${}^9\text{Be}$  e  ${}^{197}\text{Au}$

**Pastilhas:**

**Características de Feixe Pulsado:** -

**Continuação da Experiência já Aprovada N°:** E-93c

**Outras informações:** -

---

Proposta de Experiência ao PAC  
Laboratório Pelletron - IFUSP

## Estudo da quebra do núcleo exótico ${}^6\text{He}$ em baixas energias

B. P. Monteiro, K. C. C. Pires, R. Lichtenthäler, A. Lépine-Szily,  
O. C. B. Santos, U. Umbelino, A. Serra, H. F. G. Arruda,  
D. A. Santana, G. S. Gonçalves, H. A. C. Teixeira,  
I. R. Silva, K. Albuquerque, M. V. R. Ribeiro

19 de junho de 2023

### Resumo

Este projeto de pesquisa consiste na investigação da quebra do núcleo  ${}^6\text{He}$  na colisão  ${}^6\text{He}+{}^9\text{Be}$ . Pretendemos medir a partícula alfa proveniente da quebra do  ${}^6\text{He}$  (feixe) em coincidência com o núcleo de recuo  ${}^9\text{Be}$  (alvo). Propomos medir essa colisão na energia  $E_{\text{lab}} \approx 27$  MeV, o que corresponde a uma tensão no terminal de  $V_{\text{term}} \approx 8$  MV, que é a tensão máxima do acelerador. Essas medidas fazem parte do projeto de doutorado do estudante Bruno Penteado Monteiro.

## 1 Introdução

O estudo de reações envolvendo projéteis de núcleos instáveis tem despertado muito interesse, tanto do ponto de vista da compreensão da estrutura nuclear, como do entendimento do mecanismo de reação dos processos envolvidos nas reações nucleares. Neste trabalho, nosso interesse está no estudo da quebra do núcleo exótico  ${}^6\text{He}$  colidindo com o alvo leve  ${}^9\text{Be}$ , fracamente ligado e rico em nêutrons.

No Brasil, o estudo de núcleos exóticos só pode ser realizado utilizando o sistema RIBRAS (*Radioactive Ion Beams in Brasil*) [1–4], localizado no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP). Esse sistema permite acessar uma região de energia baixa, onde poucos laboratórios operam atualmente e onde há, ainda, muitas questões em aberto.

Até o momento vários estudos foram realizados com foco no espalhamento elástico do núcleo  ${}^6\text{He}$ , entretanto, a maioria dos trabalhos foi realizada com alvos pesados como o  ${}^{208}\text{Pb}$ ,  ${}^{209}\text{Bi}$ ,  ${}^{120}\text{Sn}$  e outros [5–10]. Nesta região de massas e em baixas energias, a interação coulombiana é muito importante e praticamente domina o espalhamento, e cálculos de CDCC para o *breakup* elástico, descrevem muito bem o espalhamento elástico, sem ajuste de parâmetros.

Neste projeto, propomos estudar a colisão com um alvo leve, onde a interação nuclear é bem mais importante. No caso de alvos leves, os cálculos de CDCC, mesmo os de 4 corpos, não reproduzem tão bem as distribuições angulares elásticas [11]. Nestes casos, uma grande contribuição da reação de quebra (*breakup*), onde um dos fragmentos do projétil interage fortemente com o alvo (NEB), tem sido observada [12–14]. Além disso, nos trabalhos das Refs. [14, 16] foi mostrado que a secção de choque de *breakup* obtida do cálculo de CDCC é muito menor do que as medidas das partículas alfas produzidas, o que mostra que a descrição do CDCC é incompleta. O cálculo do *breakup* apresenta uma dificuldade

devido à convergência no canal do *breakup* (alfas), que nem sempre é atingida. Além disso, cálculos de CDCC apenas levam em conta o *breakup* elástico (EBU). Desta forma, uma medida direta do *breakup* tem muita importância, para separar o *breakup* elástico (EBU) do não-elástico (NEB). No caso de alvos leves, é possível a medida em coincidência das alfas do projétil com o alvo ( $^9\text{Be}$ ) de recuo, o que poderia separar o *breakup* elástico do não-elástico. Esse tipo de medida é possível com alvos leves, pois o recuo têm energia suficiente para sair do alvo e atingir o detector, como será discutido a seguir.

## 2 Objetivos

O objetivo é medir o espalhamento  $^6\text{He}+^9\text{Be}$  e distinguir o *breakup* do projétil e do alvo. Essa medida será realizada usando a técnica de coincidência cinemática. A detecção em coincidência do fragmento do projétil e do núcleo de recuo, permite separar, por exemplo, processos de espalhamento elástico e inelástico, de outros como o *breakup* do projétil e o *breakup* do alvo, onde as identidades do projétil e alvo são diferentes nos canais de entrada e saída. Até o momento, temos realizado medidas apenas do projétil espalhado e dos fragmentos do projétil, como as partículas alfa no caso do  $^6\text{He}$  ou o  $^7\text{Li}$ , no caso do  $^8\text{Li}$  [12,13]. Estas medidas são denominadas inclusivas, pois não permitem a distinção entre os processos de *breakup* elástico do projétil e processos nos quais ocorre transferência de nêutrons do projétil para o alvo ou transferência para estados não-ligados do alvo, conhecidos como *non-elastic breakup* (NEB). Há fortes indícios de que, nestas energias, os processos de transferência e *non-elastic breakup* sejam muito mais importantes do que o *breakup* elástico. A técnica da coincidência cinemática possibilita a distinção desses processos, uma vez que o fragmento espalhado e o núcleo de recuo são identificados e suas energias são medidas. Isso permite uma caracterização mais precisa do canal de reação. Por exemplo, ao medirmos uma partícula alfa espalhada em coincidência com um núcleo de  $^9\text{Be}$  de recuo, é possível distinguir esse processo de outros nos quais a identificação do recuo não é realizada. Como núcleo  $^9\text{Be}$  não possui estados excitados ligados, a medida de um  $^9\text{Be}$  íntegro, em coincidência com uma partícula alfa permite identificar o *breakup* elástico. Além disso, a soma das energias cinéticas do fragmento espalhado e do núcleo de recuo pode ser utilizada para determinar o valor  $Q$  do processo e, eventualmente, obter uma distribuição de energia para o *breakup* elástico. Da mesma forma, o *breakup* do alvo pode ser identificado medindo-se um  $^6\text{He}$  íntegro em coincidência com uma ou duas partículas alfa.

## 3 Materiais e Métodos

Pretendemos realizar medidas do sistema  $^6\text{He}+^9\text{Be}$  utilizando o sistema RIBRAS [1–4], que está instalado no LAFN em conjunto com o acelerador Pelletron do IFUSP. A reação de produção utilizada será  $^9\text{Be}(^7\text{Li},^6\text{He})$ , com um feixe primário de  $^7\text{Li}$  com energia de 32 MeV e uma corrente mínima de 300 nA. Recentemente, chegamos a atingir 800 nA de  $^7\text{Li}$  no copo 7, o que está bem acima do mínimo necessário, indicando que é perfeitamente viável realizar as medidas propostas.

As medidas serão realizadas na câmara grande, localizada após o segundo solenoide, onde o feixe de  $^6\text{He}$  estará purificado. Estimamos uma taxa de contagem do feixe de  $^6\text{He}$  da ordem de  $10^{4-5}$  partículas por segundo (pps) com esse feixe primário.

Como sistema de detecção, serão utilizados detectores *strip* (DSSD) de grande área em conjunto com detectores normais de silício. A instalação dos detectores *strip* no RIBRAS está prevista para ocorrer nos próximos meses.

Será utilizada a nova eletrônica baseada em *digitizers*, a qual substitui completamente a eletrônica analógica convencional, composta por amplificadores, discriminadores e conversores analógico-digital (ADCs), por um único módulo: o *digitizer*. Esse *digitizer* recebe o sinal diretamente do pré-amplificador e realiza a digitalização. Além disso, possui um relógio interno (*clock*) que permite medidas de diferença de tempo com uma resolução de picossegundos (ps), viabilizando medidas em coincidência de forma direta. Também é possível programar alguns módulos da eletrônica para adquirir dados somente em coincidência com outro módulo de referência, filtrando assim eventos indesejáveis e otimizando o espaço de armazenamento.

A nova eletrônica já está instalada no RIBRAS e em pleno funcionamento, permitindo uma aquisição de dados mais eficiente e uma maior precisão nas medidas realizadas.

## 4 Solicitação

Nessa proposta será utilizada a linha 45B do LAFN (RIBRAS), para a realização das medidas propostas. O feixe primário de  ${}^7\text{Li}$  terá uma energia de  $E=32$  MeV, o que corresponde a uma tensão terminal de aproximadamente  $V_{\text{term}} \approx 8,0$  MV, e uma intensidade mínima de 300 nA no alvo. Assim, estamos planejando realizar as medidas na energia máxima de  ${}^6\text{He}$ ,  $E_{\text{lab}} \approx 27,0$  MeV. **Estimamos que, nessas condições, um período de 15 dias de operação do acelerador seja suficiente para realizar as medidas de *breakup* e espalhamento elástico.** Prevemos que esse experimento possa ser realizado no início de 2024, assim que os detectores STRIPS forem instalados no RIBRAS.

## Referências

- [1] A. Lépine-Szily, R. Lichtenthaler, and V. Guimarães, Eur. Phys. J. A. 50, 128 (2014).
- [2] R. Lichtenthäler and *et al.* The Eur. Phys. Journal A25, suppl. 1, (2005), 1773.
- [3] A. Lépine-Szily and *et al.* Nuclear Physics News, v23, n3, 5-11 (2013).
- [4] R. Lichtenthäler and *et al.* Eur. Phys. J. A, v57, 92, (2021).
- [5] P. N. de Faria and *et al.* Phys. Rev. C81, 044605, (2010).
- [6] E. F. Aguilera and *et al.* Phys. Rev. C63, 061603, (2001).
- [7] L. Acosta and *et al.* Phys. Rev. C84, 044604 (2011).
- [8] O. R. Kakuee and *et al.* Nucl. Phys. A728, 339, (2003).
- [9] A. M. Sánchez-Benítez and *et al.* J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 31 S1953 (2005).
- [10] A. M. Sánchez-Benítez and *et al.* Nucl. Phys. A803, 30, (2008).
- [11] K.C.C. Pires and *et al.* Few-Body Systems, v. 57, (2016), 315-318.
- [12] O. C. B. Santos and *et al.* Phys. Rev C103, 064601 (2021).
- [13] O. C. B. Santos and *et al.* Eur. Phys. Jour A, v.59, 48 (2023).

- [14] S. Appannababu and *et al.*, Phys. Rev. C99, (2019), 014601.
- [15] K.C.C. Pires and *et al.* Phys. Rev. C98, (2018), 014614.
- [16] P. Mohr and *et al.* Phys. Rev. C82, (2010), 044606.
- [17] M.S. Hussein and *et al.* Phys. Lett. **B640**, Issue 3, (2006), 91-95.