

## LABORATÓRIO ABERTO DE FÍSICA NUCLEAR PAC 2023

Proposal	N°
Title: Dinâmica de espalhamento e reações induzidas pelas colisões $^8\text{B}+^9\text{Be}$ e $^7\text{Be}+^9\text{Be}$ .	
Responsible: Uiran Umbelino da Silva (IFUSP)	e-mail: <a href="mailto:uiran@if.usp.br">uiran@if.usp.br</a>
Participants: Osvaldo Camargo Botelho dos Santos, Kelly Cristina Cezaretto Pires, André Serra, Alinka Lépine-Szily e a colaboração RIBRAS.	
Spokesperson: Uiran Umbelino da Silva (IFUSP)	e-mail: <a href="mailto:uiran@if.usp.br">uiran@if.usp.br</a>
Telephone: (11) 95279-0150	Skype:
Number of days for experiment:	30
Period planned for the experiment (are the setup ready for beam time?): 2023-2024	

### Technical information

Ion source			Accelerator			Experimental Area	
Beam	Cathode	$I_{\text{mínima}}$	$V_{\text{min}}$	$V_{\text{max}}$	Bunched beam?	Beam line	Target
6Li		500 nA	6,4 MV	6,6 MV		45B	9Be
6Li		500 nA	6,9 MV	7,1 MV		45B	9Be
6Li		500 nA	7,4 MV	7,6 MV		45B	9Be
6Li		500 nA	7,9 MV	8,0 MV		45B	9Be

Other relevant/needed information:

PAC - 2023

# Dinâmica de espalhamento e reações induzidas pelas colisões ${}^8\text{B}+{}^9\text{Be}$ e ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$ .

Uiran Umbelino da Silva

19 de junho de 2023

Supervisor: Prof. Dr. Rubens Lichtenthaler Filho

**Canalização:** 45-B RIBRAS.

**Tempo requisitado:** 30 dias.

**Feixe Primário:**  ${}^6\text{Li}$  com  $E = 26 - 32$  MeV e  $V_{\text{term}} = 5,5 - 8$  MV.

**Responsáveis:** Uiran Umbelino da Silva e Rubens Lichtenthaler Filho.

**Colaboradores:** Osvaldo Camargo Botelho dos Santos, Kelly Cristina Cezaretto Pires, André Serra, Alinka Lépine-Szily e a colaboração RIBRAS.

## Resumo

Medidas recentes do espalhamento elástico do sistema  ${}^8\text{B} + {}^9\text{Be}$  em  $E_{\text{lab}} = 23,7$  MeV mostraram indícios de um potencial fortemente refrativo [1]. Este potencial é produzido por uma geometria real de longo alcance, podendo ser um efeito da estrutura *halo* deste isótopo. Os acoplamentos com reaoes de espalhamento inelástico (CC), transferência (CRC) e quebra (CDCC) foram estudados e não mostraram influência relevante no canal elástico. Em contrapartida, a análise de modelo óptico mostrou um alto valor de seção de choque total de reação deste sistema. Porém, ainda são necessários mais dados experimentais para afirmar que este sistema apresenta este padrão de comportamento. Desta forma, este projeto tem como foco uma série de medidas utilizando o sistema RIBRAS para produção e focalização do feixe exótico de  ${}^8\text{B}$ , e seu contaminante de interesse  ${}^7\text{Be}$ , em diversas energias.

# 1 Introdução

O sistema RIBRAS (Radioactive Ion Beams in Brasil) [2, 3] já produziu com sucesso núcleos *halo*, como o  ${}^6\text{He}$  e  ${}^8\text{B}$  (candidato). Recentemente foram obtidos dados experimentais inéditos do espalhamento elástico do núcleo candidato à *halo* de prótons  ${}^8\text{B}$  em um alvo de  ${}^9\text{Be}$ . Estes dados foram analisados sob o formalismo do modelo óptico e de canais acoplados [1]. O primeiro indicou a existência de um potencial fortemente refrativo, causado por uma difusividade real ( $a_0 = 1,3(1)$  fm) consideravelmente maior que o valor considerado padrão (0,65 fm). Este dados mostraram um forte padrão de interferência *near-far* (ver Fig. 1), sendo a componente *far-side* dominante em ângulos acima de  $\theta_{\text{cm}} = 40^\circ$ . Uma primeira interpretação deste comportamento é devido ao efeito

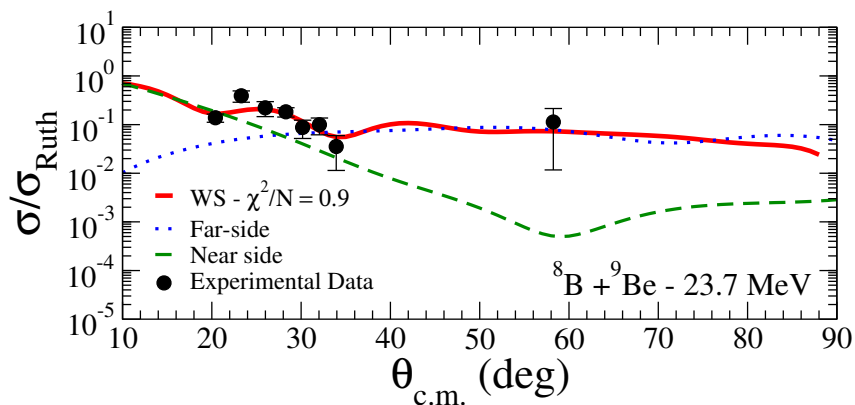


Figura 1: Interferência *near-far* obtida pelo potencial refrativo do sistema  ${}^8\text{B}+{}^9\text{Be}$  em  $E_{\text{lab}} = 23,7$  MeV.

do próton de valência que estende o potencial real à grandes distâncias. A estimativa da seção de choque total de reação deste sistema ( $\approx 1700$  mb), também fornecida por esta análise, mostra que a absorção por canais de reação é bastante intensa e deve acontecer na região de interação mais interna. Entretanto, estes dados ainda necessitam de mais estatística para afirmar assertivamente que este sistema apresenta este comportamento. Por fim, a análise por canais acoplados mostrou que canais de reação não interferem significativamente na dinâmica de espalhamento elástico [1]. Porém, o acoplamento com canais de reação pode aumentar a medida que a energia do feixe fica mais próxima da barreira Coulombiana ( $V_b = 6,4$  MeV [4]), onde o tempo de interação projétil-alvo aumenta.

Portanto, este projeto tem como objetivo uma medição sistemática do espalhamento elástico do sistema  ${}^8\text{B}+{}^9\text{Be}$ , em 4 energias (14, 16, 19 e 21 MeV), utilizando o RIBRAS.

## 2 Experimentos Propostos

### 2.1 Espalhamento elástico do sistema ${}^8\text{B}+{}^9\text{Be}$

Através de cálculos de perda de energia (StopX) e cinemática de reação (Kineq), as posições dos picos de espalhamento elástico foram obtidas. Além disso, estes cálculos fornecem uma estimativa do straggling energético dos feixes secundários em cada alvo e permitem, desta forma, a simulação dos espectros biparamétricos. A Fig. 2 mostra a comparação entre os espectros biparamétricos simulados e obtidos experimentalmente [1]. Como pode ser observado, o sistema de detecção baseado em telescópios fornece total separação e identificação dos isótopos que compõem o feixe secundário. Nas energias mais baixas, espera-se que as partículas espalhadas não atravessem o detector mais fino ( $\Delta E$ ). Nestes casos, medidas utilizando apenas um detector (E) fornecem a plena separação e identificação do feixe secundário, como já medido por *Morcelle et al* no sistema RIBRAS [5].

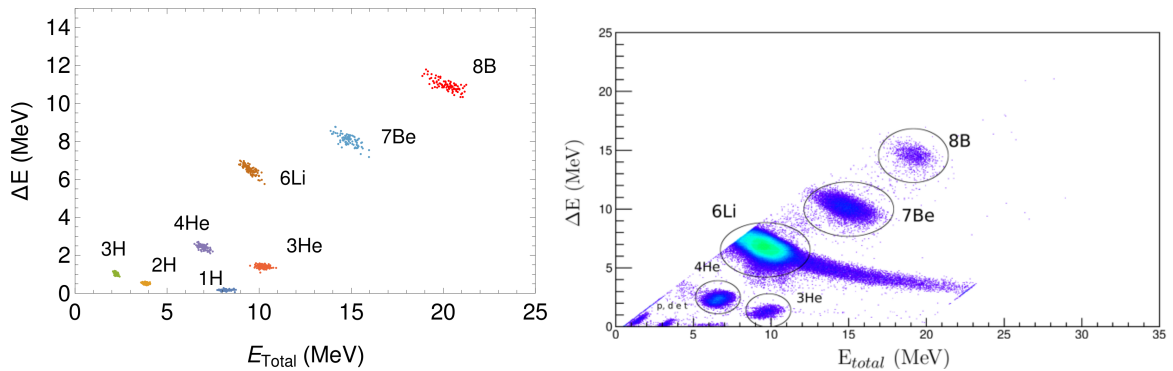


Figura 2: Simulação (esquerda) e medida experimental (direita) do espectro biparamétrico do espalhamento elástico do sistema  ${}^8\text{B}+{}^9\text{Be}$  em  $E_{lab} = 24$  MeV e  $\theta_{lab} = 15^\circ$ .

### 2.2 Espalhamento elástico do sistema ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$

Um dos feixes contaminantes da reação de produção  ${}^6\text{Li}+{}^3\text{He}$  é o isótopo de interesse  ${}^7\text{Be}$ . Este núcleo é produzido com moderada intensidade ( $\sim 10^4$  pps) e apresenta diversas peculiaridades muito interessante, como a fraca energia de ligação na configuração de *cluster*  ${}^7\text{Be} \rightarrow {}^4\text{He} + {}^3\text{He}$  ( $S_\alpha = 1,587$  MeV). O estudo do espalhamento elástico  ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$  fornece importantes informações sobre o potencial de interação deste sistema, que mostrou ter uma geometria imaginária de longo alcance [1, 6]. Além disso, através de cálculos de

CDCC (ver Fig. 3 [1]), sua distribuição angular mostrou indícios de que o acoplamento com canais de quebra podem ser significativos em energias mais próximas da barreira Coulombiana ( $V_b = 4,8$  MeV). Neste trabalho serão analisados os dados de espalhamento

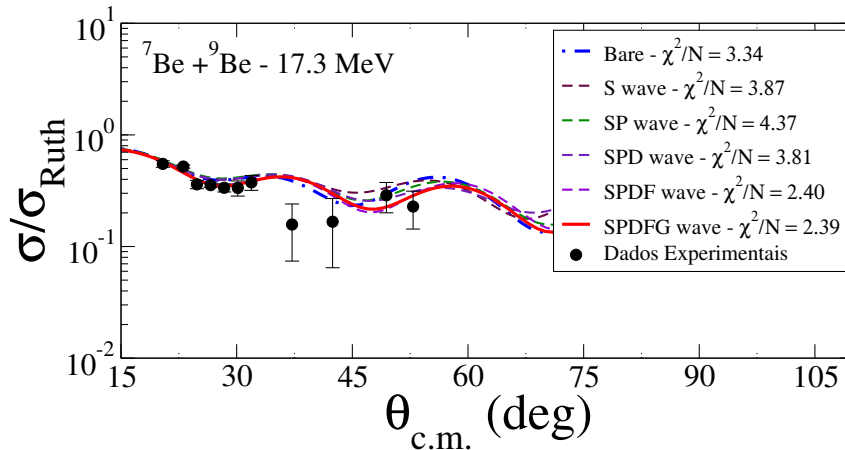


Figura 3: Distribuição angular elástica do sistema  ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$  comparada com cálculos de CDCC.

elástico deste sistema nas energias aproximadas de 10, 12, 14 e 15 MeV. Além disso, o núcleo de  ${}^7\text{Be}$  tem grande importância no estudo de reações do  ${}^8\text{B}$ , por ser o caroço nuclear da configuração *halo* do mesmo. Cálculos de canais acoplados usam as informações sobre a interação de seus componentes nucleares como ingredientes e, portanto, são necessários potenciais realistas envolvendo o núcleo de  ${}^7\text{Be}$  para a análise dos dados do isótopo  ${}^8\text{B}$ .

### 2.3 Materiais e métodos:

As medidas serão realizadas na câmara de espalhamento central do RIBRAS, utilizando telescópios ( $\Delta E-E$ ) de silício montados em vários ângulos. O feixe secundário de  ${}^8\text{B}$  é produzido pela reação  ${}^3\text{He}({}^6\text{Li}, {}^8\text{B})$ . Para isso, será utilizado um sistema de alvo de produção gasoso que permite que o gás de  ${}^3\text{He}$  seja mantido sob pressão constante ( $\sim 1024$  mbar), que está sendo montado e deverá estar em operação em breve. Atualmente, temos cerca de 6 litros de gás de  ${}^3\text{He}$  para realizar o experimento. O sistema de detecção e a eletrônica de aquisição já estão montados e em operação. Inicialmente, realizam-se testes do alvo gasoso com gás de  ${}^4\text{He}$ , eletrônica e aquisição, e quando tudo está pronto, substituímos o gás por  ${}^3\text{He}$  e imediatamente iniciamos as medidas. Neste experimento, pretendemos utilizar uma pressão maior de gás no alvo primário (2 atm) a fim de aumentar a produção de  ${}^8\text{B}$ . Estamos em condições de iniciar estas medidas assim que o

primeiro solenoide estiver frio, o que esperamos que ocorra no 2o semestre de 2023.

### 2.3.1 Estimativa do tempo necessário para este experimento:

Para estimar o tempo de máquina necessário para estes experimentos utilizamos o feixe menos intenso de  $^8\text{B}$ . Através de experimentos passados, obtivemos seções de choque do sistema  $^8\text{B}+^9\text{Be}$  e, através dela, estimamos que para a realização destes experimentos é necessário, ao menos, uma semana para cada energia de feixe primário. Desta forma, solicitamos 30 dias de máquina para estas medidas, distribuídas uniformemente entre as quatro experiências propostas. A tabela 1 mostra a energia do feixe e configurações estimadas para o funcionamento do acelerador.

Tabela 1: Feixes primários requisitados para estas experiências

$E_{^6\text{Li}}$ (MeV)	$V_t$ (MV)	$f_{\text{ME-200}}$ (MHz)	$I_{\text{CF7}}$ (nA)	$E_{^8\text{B}}$ (MeV)	$E_{^7\text{Be}}$ (MeV)
26	6,48	20,185	300	14,3	10,4
28	6,98	20,950	300	16,6	12,1
30	7,48	21,690	300	18,8	13,7
32	7,98	22,405	300	21,0	15,3

## Referências

- [1] U. Umbelino *et al.*, “Quasielastic scattering of light radioactive and stable projectiles on  $^9\text{Be}$ ,” *Phys. Rev. C*, vol. 106, p. 054602, Nov 2022.
- [2] R. Lichtenthäler *et al.*, “RIBRAS: The Facility for Exotic Nuclei in Brazil,” *Few Body Systems*, vol. 57, pp. 157–163, 2016.
- [3] A. Lépine-Szily *et al.*, “The Radioactive Ion Beams in Brazil (RIBRAS) facility,” *Eur. Phys. J. A*, vol. 50, p. 128, 2014.
- [4] A. S. Freitas *et al.*, “Woods-Saxon Equivalent to a Double Folding Potential,” *Braz. J. Phys.*, vol. 46, p. 120, 2016.
- [5] V. Morcelle *et al.*, “ $^8\text{B}+^{27}\text{Al}$  scattering at low energies,” *Phys. Rev. C*, vol. 95, p. 014615, 2017.

- [6] U. Umbelino *et al.*, “Two-neutron transfer in  ${}^7\text{Be}+{}^9\text{Be}$  collisions,” *Phys. Rev. C*, vol. 99, p. 064617, June 2019. Publisher: American Physical Society.