

**LABORATÓRIO ABERTO
DE FÍSICA NUCLEAR**

N°

Proposta de Experimento

Período : 1 ano

Título: Medida da excitação do ^8Li em alvo de ^{120}Sn

Responsável: Osvaldo Camargo Botelho dos Santos

e-mail: osvaldo.santos@usp.br

Participantes:

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

Porta Voz: Osvaldo Camargo Botelho dos Santos

e-mail: osvaldo.santos@usp.br

Número de dias solicitados: 15

Datas preferidas: Outubro/Novembro/2023

Datas realmente impossíveis:

Canalização: 45-B

Feixe	Est. Carga	I_{mínima} (feixe primario)	V_{min}	V_{max}	Pulsado?
^7Li	3+	300 nA	6.0	6.5	

Alvos: ^{120}Sn e ^{197}Au

Pastilhas:

Características de Feixe Pulsado:

Continuação da Experiência já Aprovada N°:

Outras informações:

1 Objetivos

A proposta tem como objetivo medir a excitação do isótopo ${}^8\text{Li}$ para o seu primeiro estado excitado ($0.98\text{MeV}; 1+$). Para isso, realizaremos medições em coincidência temporal entre os raios-gama emitidos pelo ${}^8\text{Li}$ excitado e o próprio ${}^8\text{Li}$, a fim de determinar a probabilidade de transição reduzida desse estado. Utilizaremos detectores de LYSO para medir os raios-gama e detectores de barreira de superfície de silício para medir o ${}^8\text{Li}$. Essa experiência será conduzida no RIBRAS [1–4] (*Radioactive Ion Beams in Brasil*) do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP).

2 Introdução

A medida da excitação coulombiana para o primeiro estado excitado $E(2+)$ tem sido um tema de grande interesse, especialmente quando se trata de núcleos fora da linha de estabilidade. Essa medida fornece informações sobre a intensidade da interação eletromagnética envolvida na transição entre dois estados nucleares específicos. A excitação de um núcleo está relacionada à sua deformação. Quanto mais deformado for um núcleo, maior será a seção de choque de excitação. Por outro lado, é muito difícil excitar um núcleo esférico. Núcleos que apresentam características de números mágicos, por exemplo, são mais esféricos, e, por esse motivo, a energia de excitação para o primeiro estado excitado tende a ser elevada e os valores de $B(E2)$ são muito baixos. Quando se trata do isótopo ${}^8\text{Li}$, existem muitas dúvidas na comunidade científica em relação ao valor da probabilidade de transição reduzida. O ${}^8\text{Li}$ é um núcleo fora da linha de estabilidade que têm um estado excitado ligado ($0.98, 1+$). Foram realizadas medidas da excitação coulombiana do ${}^8\text{Li}$ em alvo de ${}^{nat}\text{Ni}$ [5] que indicam altos valores da probabilidade de excitação quadrupolar $B(E2)$. Os valores teóricos de $B(E2)$ para este núcleo, estão entre 1 e $2\text{ e}^2\text{fm}^4$ [6, 7], enquanto os valores experimentais estão entre 30 e $55\text{ e}^2\text{fm}^4$ [5, 8]. A dificuldade em medir a excitação do ${}^8\text{Li}$ está relacionada ao fato de que o feixe secundário é produzido tanto no estado fundamental ($2+$) quanto no estado excitado (${}^8\text{Li}^*$), com uma alta probabilidade de ocorrência em ambos. A energia de excitação é de apenas $E_x=0.980\text{ keV}$, o que torna difícil separar o feixe de ${}^8\text{Li}$ do feixe de ${}^8\text{Li}^*$. Portanto, medindo-se apenas as partículas de ${}^8\text{Li}$ espalhadas, fica difícil ter certeza de que o evento vem de fato de uma excitação do projétil ou é uma contaminação do feixe produzido no alvo primário. Para garantir que estamos de fato medindo as partículas que foram excitadas no alvo secundário, é necessário realizar medidas em coincidência entre o raio-gama emitido pelo ${}^8\text{Li}$ excitado e o próprio ${}^8\text{Li}$.

3 Materiais e Métodos

No RIBRAS, é possível reduzir a presença de ${}^8\text{Li}$ excitado por meio de um ajuste na corrente do solenoide, e bloquear o feixe de menor energia no lollipop, mas eliminar completamente o feixe produzido no estado excitado é muito difícil. Na figura 1, apresento a projeção do espalhamento elástico do ${}^8\text{Li}$, que foi espalhado em um alvo de ouro com 4.5 mg/cm^2 , no eixo da energia total. Esse experimento foi recentemente realizado no RIBRAS [9].

Na tese de doutorado do Osvaldo [10], foi realizado um estudo onde a corrente do solenoide foi variada e uma comparação entre a produção do ${}^8\text{Li}$ e do ${}^8\text{Li}^*$ foi realizada (ver figura 1). Nessa comparação é possível observar claramente que, para a corrente do solenoide em 36.1 A , a produção dos dois feixes é praticamente igual. Quando subimos a corrente do solenoide a produção do ${}^8\text{Li}$ aumenta e a produção do ${}^8\text{Li}^*$ diminui. Por volta de 36.5 A temos o máximo de produção para o ${}^8\text{Li}$ e a medida que subimos ainda mais a corrente a produção diminui para ambos os feixes. O comportamento apresentado é previsto, pois espera-se que as trajetórias do ${}^8\text{Li}^*$, por causa da sua energia, tenham um raio de curvatura menor do que as trajetórias do ${}^8\text{Li}$ dentro do solenoide do RIBRAS. tendo isso em vista, decidimos desenvolver um programa de

simulação para produção de feixes no RIBRAS, com a finalidade de verificar se existe alguma situação em que poderíamos eliminar o feixe de menor energia.

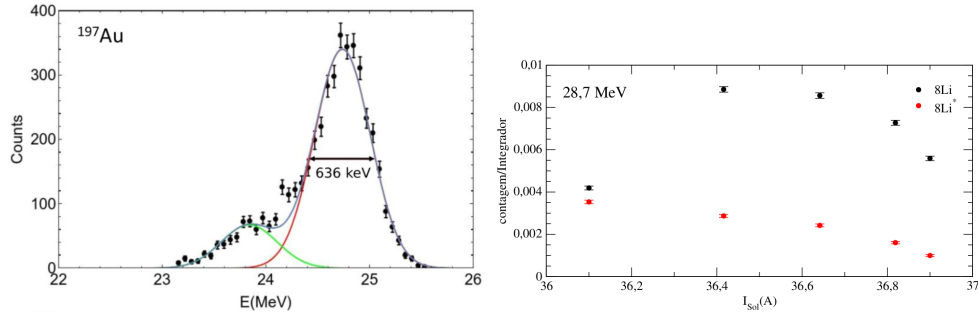


Figura 1: Feixe de ^8Li produzido no RIBRAS (esquerda) e curvas de produção dos picos de ^8Li e $^8\text{Li}^*$ (direita).

3.1 Simulação dos feixes de Lítio-8 na energia de 22 MeV no RIBRAS

Realizamos uma simulação para a produção do Lítio-8 considerando um feixe primário de ^7Li com energia de 24 MeV e um alvo primário de ^9Be com uma espessura de $12\ \mu\text{m}$. Nessa simulação foi considerada a reação $^9\text{Be}(^7\text{Li}, ^8\text{Li})$ e todo o processo de straggling no alvo primário, perda de energia e transmissão pelo solenoide e perda de energia no alvo secundário. Além disso, levamos em conta as dimensões do feixe primário no alvo primário e a cinemática da reação de produção. Na figura 2 apresento as trajetórias dos feixes produzidos. Ao observar as trajetórias constatamos que o raio de curvatura do ^8Li é ligeiramente maior do que o raio de curvatura do $^8\text{Li}^*$, e as trajetórias se separam de maneira suficiente a uma distância de 20 cm do alvo secundário. Portanto, aparentemente o uso de um bloqueador a 20 cm do alvo secundário poderia eliminar quase que integralmente o feixe de $^8\text{Li}^*$.

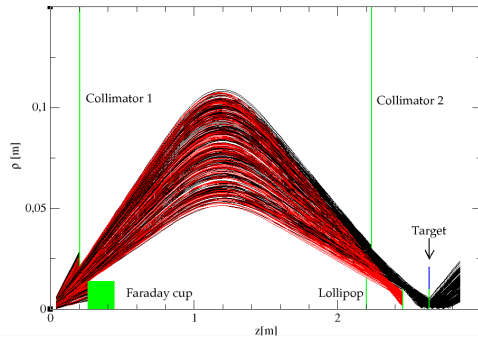


Figura 2: Trajetórias ρ vs z das partículas de ^8Li (pretas) e $^8\text{Li}^*$ (vermelhas) simuladas para energia de ^7Li 24 MeV e alvo primário de ^9Be com 12 um de espessura.

3.2 Cálculos de excitação do feixe de Lítio-8

Realizamos cálculos de excitação do ^8Li na colisão com um alvo de ^{120}Sn em várias energias. Nos resultados apresentados na figura 3, as curvas vermelhas só possuem deformação coulombiana, enquanto que nas curvas pretas tem deformação coulombiana + nuclear. Pode-se observar que, da energia de 24 MeV em diante a interferência do potencial nuclear começa ser importante para ângulos acima de 40° . Com base nisso, e vendo que a seção de choque de excitação aumenta com a energia, proponho realizar medidas considerando energia entre 22 MeV para o ^8Li .

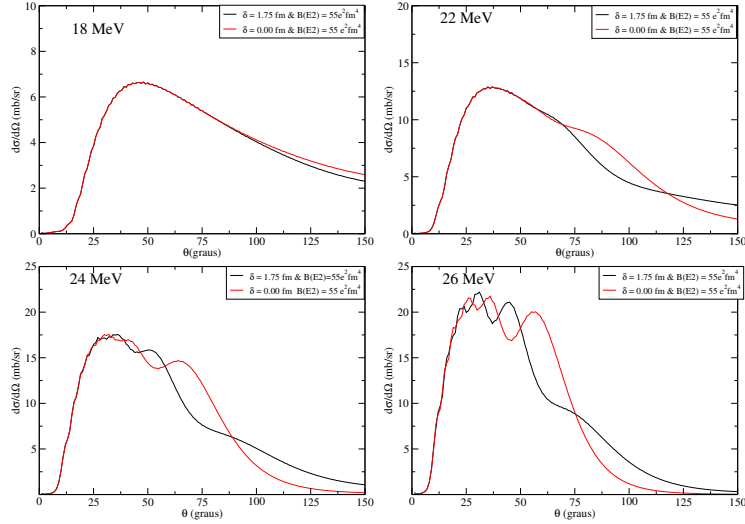


Figura 3: Cálculo da excitação do ^8Li . Nas curvas pretas, foi considerada a deformação coulombiana+nuclear, enquanto nas curvas vermelhas foi considerada apenas a deformação coulombiana.

Considerando os cálculos da figura 3 e a energia de 22 MeV para o ^8Li , obtemos uma proporção entre o espalhamento elástico e o primeiro estado excitado, para o ângulo de 35° , sendo $\sigma_{\text{coul}}/\sigma_{\text{Ruth}} = 0.15\%$.

3.3 Montagem experimental

O professor Dr. José Roberto Brandão de Oliveira projetou um espectrômetro gama chamado "Nossa Caixa" para ser utilizado na câmara central do RIBRAS, a fim de realizar medidas em coincidência gama-partícula. Esse aparato é composto por 108 cristais cintiladores de LYSO(Ce), abrangendo uma ampla região angular sólida (conforme mostrado na figura 4). Para a detecção do ^8Li , serão utilizados sistemas telescópicos de detectores com detectores de barreira de superfície. Devido à geometria do nossa caixa, há uma limitação angular para o posicionamento dos telescópios, sendo possível cobrir uma região angular de até 40° .

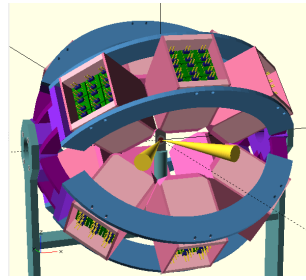


Figura 4: Aparato experimental "Nossa caixa" para a montagem dos detectores de LYSO(Ce) na câmara central do RIBRAS. A base do cone que aponta para o alvo no centro da figura representa a posição dos detectores de partículas que foram posicionados no ângulo de espalhamento de 40° .

3.4 Estimativa da incerteza média

Estimamos a incerteza relativa considerando uma janela de tempo de 10 ns e 100 h de experimento com feixe de 10^6 pps de ^8Li com $E_{\text{lab}} = 22$ MeV. A menor incerteza observada na estimativa foi de 18% para o ângulo de espalhamento de $\theta = 35^\circ$.

4 Solicitação

Solicitamos um período de 15 dias para realizar o experimento. Vamos realizar medidas com um feixe de ^8Li com uma energia de $E_{lab} = 22$ MeV. Para esse propósito, será necessário um feixe de ^7Li com energia de $E_{lab} = 24$ MeV. Portanto, a tensão no terminal do acelerador deve ser de 6 MV.

Referências

- [1] A. Lépine-Szily, R. Lichtenthaler, and V. Guimarães, “The Radioactive Ion Beams in Brazil (RIBRAS) facility,” *Eur. Phys. J. A.*, vol. 50, p. 128, 2014.
- [2] R. Lichtenthäler, A. Lépine-Szily, V. Guimarães, and et al, “Radioactive Ion Beams in Brazil (RIBRAS),” *Eur. Phys. J. A.*, vol. 25, pp. 733–736, 2005.
- [3] R. Lichtenthäler, M. A. G. Alvarez, A. Lépine-Szily, and et al., “RIBRAS: The Facility for Exotic Nuclei in Brazil,” *Few-Body Systems*, vol. 57, pp. 157–163, 2016.
- [4] R. Lichtenthäler, O. C. B. Santos, A. Serra, and et al., “Experiments with $A = 6-8$ exotic beams in RIBRAS,” *Eur. Phys. J. A*, vol. 57, p. 92, 2021.
- [5] J. A. Brown, F. D. Becchetti, J. W. Jänecke, and e. a. Ashktorab, “Coulomb excitation of ^8Li ,” *Phys. Rev. Lett.*, vol. 66, pp. 2452–2455, May 1991.
- [6] P. Descouvemont and E. C. Pinilla, “Microscopic description of ^8Li +nucleus and of ^8B +nucleus scattering,” *Few-Body Systems*, vol. 60, p. 11, Mar. 2019.
- [7] P. Descouvemont and D. Baye, “Quadropole excitation of 8li in a microscopic three-cluster model,” *Physics Letters B*, vol. 292, no. 3, pp. 235–238, 1992.
- [8] R. J. Smith, J. J. Kolata, and e. a. Lamkin, “Elastic and inelastic scattering of ^8Li from ^{12}C ,” *Phys. Rev. C*, vol. 43, pp. 2346–2352, May 1991.
- [9] O. C. B. Santos, R. Lichtenthäler, K. C. C. Pires, and et al., “Evidence of the effect of strong stripping channels on the dynamics of the $^8\text{Li} + ^{58}\text{Ni}$ reaction,” *Phys. Rev. C*, vol. 103, p. 064601, Jun 2021.
- [10] O. C. B. Santos, “Estudo do espalhamento elástico e reações do projétil ^8li em alvos de massa leve, intermediária e pesada,” Ph.D. dissertation, Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP), 2021.