

**LABORATÓRIO ABERTO DE FÍSICA NUCLEAR**  
**PAC 2018**

Proposal	N°
Title: Estudo da colisão do núcleo ${}^6\text{He}$ com alvos leves em baixas energias	
Responsable: Kelly C. C. Pires	e-mail: kelly@if.usp.br
Participants: Kelly C. C. Pires, Rubens Lichtenthäler Filho, Alinka Lépine-Szily, Osvaldo C. B. Santos, Cristiane S. Oliveira, Uiran U. da Silva, André Serra, Daniel M. Martini, Valdir Guimarães, Marlete Assunção, E. O. N. Zevallos, A. L. Lara, Juan C. Zamora, J. Alcantara-Nunez, V. Morcelle, A. Barioni, J. M. B. Shorto e colaboração RIBRAS.	
Spokeperson: Kelly C. C. Pires	e-mail: kelly@if.usp.br
Telephone: 3091-6821	Skype:
Number of days for experiment: 20	
Period planned for the experiment (are the setup ready for beam time?):	

Technical information

Ion source			Accelerator			Experimental Area	
Beam	Cathode	$I_{\text{mínima}}$	$V_{\text{min}}$	$V_{\text{max}}$	Bunched beam?	Beam line	Target
${}^7\text{Li}$	LiO	600nA	5	8		45B	${}^9\text{Be}$ , ${}^{197}\text{Au}$
${}^7\text{Li}$	LiO	500nA	5	8		45B	${}^{24}\text{Mg}$ , ${}^{197}\text{Au}$

Other relevant/needed information:

---

Proposta de Experiência ao PAC  
Laboratório Pelletron - IFUSP

## Estudo da colisão do núcleo ${}^6\text{He}$ com alvos leves em baixas energias

Kelly C. C. Pires, Rubens Lichtenthäler Filho, Alinka Lépine-Szily,  
Oswaldo C. B. Santos, Cristiane S. Oliveira, Uiran U. da Silva,  
André Serra, Daniel M. Martini, Valdir Guimarães, M. Assunção,  
E.O.N. Zevallos, A.L. Lara, Juan. C. Zamora, Juan Alcantara-Nuñez,  
V. Morcelle, A. Barioni, J.M.B. Shorto e colaboração RIBRAS.

20 de Setembro de 2018

### Resumo

Este projeto de pesquisa consiste no estudo da colisão entre o núcleo exótico  ${}^6\text{He}$  e alvos leves. Pretendemos medir distribuições angulares de espalhamento elástico, além de inferir nos processos envolvendo a produção de partículas alfas, como *breakup*. Parte dessas medidas fazem parte de um projeto regular de pesquisa FAPESP proc. 2016/21434-7, do qual sou coordenadora, e outra parte consiste no projeto de mestrado da aluna Cristiane Santos Oliveira, que iniciou as atividades no programa de pós graduação do IFUSP no 2o/2018 sob minha orientação.

## 1 Introdução

Reações nucleares envolvendo núcleos distantes da linha de estabilidade (núcleos exóticos) constituem uma área de investigação extremamente extensa e pouco explorada. Até o momento, a maioria dos estudos a respeito das propriedades nucleares foram feitos envolvendo núcleos em torno da linha de estabilidade, onde os tempos de vida dos núclídeos são razoavelmente longos. A medida que nos afastamos da linha de estabilidade as meias-vidas decrescem, dificultando o estudo experimental.

Os núcleos fora da linha de estabilidade podem ser importantes em estudos sobre nucleossíntese, evolução estelar e produção de energia em estrelas. Atualmente, existem muitos laboratórios no mundo dedicados a produzir feixes de núcleos fora da linha de estabilidade. A maioria dessas instalações

está localizada em grandes laboratórios nacionais de alta energia, totalmente dedicados à pesquisa.

No Brasil, o estudo de núcleos exóticos a baixas energias tem sido feito no sistema RIBRAS [1, 2], localizado no IFUSP, que permite estudos em uma região de energia ainda não estudada, onde novos fenômenos podem ser observados e poucos laboratórios podem alcançar. O RIBRAS consiste em dois solenóides supercondutores montados em uma das linhas de feixe do Acelerador 8UD-Pelletron de baixa energia do Departamento de Física Nuclear da Universidade de São Paulo. Essa facilidade é única na América do Sul e está em operação desde 2004, sendo capaz de produzir feixes secundários de núcleos exóticos leves, como  $^8\text{Li}$ ,  $^6\text{He}$ ,  $^{7,10}\text{Be}$ ,  $^8, 12\text{B}$  e outros com energias de 9 a 32 MeV.

## 2 Medidas da colisão $^6\text{He}$ em alvos leves

Neste projeto propomos estudar a interação do núcleo exótico  $^6\text{He}$  com alvos leves, como por exemplo  $^9\text{Be}$ ,  $^7\text{Li}$ ,  $^{10,11}\text{B}$ ,  $^{18}\text{O}$ ,  $^{24}\text{Mg}$ , etc. O núcleo  $^6\text{He}$  é halo de nêutrons e possui, por este motivo, propriedades distintas das conhecidas dos núcleos estáveis, o que o torna interessante de ser estudado.

Medidas da colisão  $^6\text{He}+^9\text{Be}$  [3] mostraram uma grande produção de partículas alfa nos espectros biparamétricos. Estas partículas podem ser provenientes de diferentes canais de reação, como, por exemplo, a quebra do projétil  $^6\text{He}$ , a excitação e a quebra do alvo  $^9\text{Be}$ , a transferência de 2 nêutrons  $^9\text{Be}(^6\text{He}, ^4\text{He})^{11}\text{Be}$ , a transferência de 1 nêutron,  $^9\text{Be}(^6\text{He}, ^5\text{He})^{10}\text{Be}$ , na qual o núcleo  $^5\text{He}$  se quebra em  $^4\text{He}+n$ . Além destes processos diretos, podemos citar a fusão completa  $^6\text{He}+^9\text{Be} \rightarrow ^{15}\text{C}$  formando o núcleo composto  $^{15}\text{C}$  que decai emitindo nêutrons, alfas e gamas.

Apesar de não identificado o mecanismo responsável pela produção dessas partículas alfa, foi verificado que o *breakup* do projétil  $^6\text{He}$  em  $(^4\text{He}+n+n)$  parece ser mais importante do que o *breakup* do alvo de  $^9\text{Be}$  em  $(^4\text{He}+^4\text{He}+n)$ , afetando de forma significativa o espalhamento elástico [3]. Desta forma, propomos a realização de medidas experimentais para este sistema com o objetivo de identificar os processos responsáveis pela produção das partículas alfa.

Além disso, o estudo da colisão  $^6\text{He}+^{24}\text{Mg}$  é interessante e inédito e da colisão  $^6\text{He}+^{18}\text{O}$  é relevante pois envolve tanto a dispersão elástica como a reação de transferência  $^{18}\text{O}(^6\text{He}, ^8\text{He})^{16}\text{O}$ , que fornece informação espectroscópica da transferência de dois nêutrons formando o  $^8\text{He}$ . Neste sentido serão realizados testes para verificar a possibilidade de produção do alvo de  $^{18}\text{O}$ .

### 3 Materiais e Métodos

Utilizaremos o sistema RIBRAS para seleção e focalização do feixe radioativo de  ${}^6\text{He}$ . Para a produção deste feixe exótico utilizaremos  ${}^9\text{Be}({}^7\text{Li}, {}^6\text{He})$  como reação de produção. O sistema de detecção que pretendemos utilizar consiste em telescópios  $\Delta E - E$  formados por detectores de barreira de superfície de silício com  $\Delta E$  de  $20\mu\text{m}$  e  $E$  de  $1000\mu\text{m}$  de espessura.

A identificação dos processos responsáveis pela produção das partículas alfa, pode ser feita utilizando o sistema RIBRAS associado a uma eletrônica que permita a detecção das partículas em coincidência. Será necessário altas tensões no terminal do acelerador Pelletron ( $V_{term} \approx 8\text{ MV}$ ) e o sistema de detecção deverá ser posicionado em ângulos estratégicos para possibilitar a observação do  ${}^6\text{He}$  em coincidência com uma partícula alfa, o que garante que a partícula alfa é proveniente do *breakup* do alvo, e não do projétil.

Além disso, medidas desse sistema em energias mais baixas do que as realizadas até o momento [3, 4] são também interessantes, pois possibilitam o estudo dos efeitos relacionados às distribuições angulares, nas quais foram observadas oscilações [3]. Neste sentido, as medidas poderiam ser realizadas a partir de  $E_{lab}({}^6\text{He}) = 10\text{ MeV}$ , visto que uma energia menor não seria factível devido as perdas de energia associadas ao feixe de  ${}^6\text{He}$ .

### 4 Solicitação

Solicitamos 20 dias de máquina para a realização de dois experimentos: um que corresponde as medidas relacionadas ao projeto FAPESP e outro relacionado ao projeto de Mestrado da aluna Cristiane. As medidas  ${}^6\text{He}+{}^9\text{Be}$  em coincidência só poderão ser realizadas utilizando  $V_{term}=8,0\text{ MV}$ , o que corresponde a  $E_{lab}=27\text{ MeV}$ . Já o espalhamento elástico  ${}^6\text{He}+{}^{24}\text{Mg}$  poderá ser realizado em energias mais baixas. A priori, 20 dias é um tempo razoável devido às baixas intensidades dos feixes exóticos, nos possibilitando obter ao menos uma distribuição angular em cada experimento. Além disso, alguns dias serão utilizados para testar a eletrônica em coincidência.

### Referências

- [1] A. Lépine-Szily, R. Lichtenthaler, and V. Guimarães, Eur. Phys. J. A. 50, 128 (2014).
- [2] R. Lichtenthaler and *et al.*, Few-Body Syst, 57, 157 (2016).
- [3] K.C.C. Pires and *et al.*, Phys. Rev. C., v. 83, (2011), 064603.
- [4] M. Majer and *et al.*, The European Physical Journal A - Hadrons and Nuclei. 43(2), (2010), 153.