

LABORATÓRIO ABERTO DE FÍSICA NUCLEAR PAC 2016

Proposal	N°
Title: Espalhamento elástico de projéteis radioativos (^{10}C , ^{14}C e ^{15}C) em alvo de	
Responsible: Valdir Guimaraes (USP)	E-mail: valdirg@if.usp.br
Participants: Juan Carlos Zamora (IFUSP), Marlete Assunção (UNIFESP), Juan Alcantara-Nunez, Gurpreet Kaur (IFUSP), Alessandro Lara (IFUSP), Erick Oscar Natividad Zevallos (IFUSP), Luciana Dourado (IFUSP), Rubens Lichtenthaler Fo., Kelly. C. C. Pires (IFUSP), Osvaldo Botelho Santos (IFUSP), Uiran da Silva (IFUSP), Edilson Crema (IFUSP), Andres Arazi (Tandar-Argentina), Jesus Lubian (UFF), Roberto Linares (UFF), Barbara Paes (UFF), Erica Cardozo (UFF), Jeannie Rangel (UFF), Viviane Morcelle (UFRRJ), Davi da Silva Monteiro (UNILA), Adriana Barioni (UNIFESP).	
Spokeperson: Valdir Guimaraes	e-mail: valdirg@if.usp.br
Telephone:	Skype:
Number of days for experiment:	18 dias
Period planned for the experiment (are the setup ready for beam time?): Uma semana em Abril, uma semana em Maio e uma semana em Agosto de 2019.	

Technical information

Ion source			Accelerator			Experimental Area	
Beam	Cathode	$I_{\text{mínima}}$	V_{min}	V_{max}	Bunched beam?	Beam line	Target
^{10}B		500 nA	6.0	8.0	não	45-B	^{58}Ni
^{11}B		500 nA	6.0	8.0	não	45-B	^{58}Ni
^{13}C		500 nA	6.0	8.0	não	45-B	^{58}Ni
^{18}O		500nA	6.0	8.0	não	45-B	^{58}Ni

Other relevant/needed information:

Feixes primários mínimos no alvo de produção (RIBRAS 45-B) de 200 nA. Um feixe primário menor do que esse praticamente inviabiliza as medidas.

Espalhamento elástico de projéteis radioativos ^{10}C e ^{14}C em ^{58}Ni .

Valdir Guimarães¹⁾, Marlete Assunção²⁾, Juan Carlos Zamora¹⁾, Juan Alcantara-Nunez, Gurpreet Kaur¹⁾, Alessandro Lara¹⁾, Erick Oscar Natividad Zevallos¹⁾, Luciana Dourado¹⁾, Rubens Lichtenthaler Fo.¹⁾, Kelly. C. C. Pires¹⁾, Osvaldo Botelho Santos¹⁾, Uiran da Silva¹⁾, Edilson Crema¹⁾, Jesus Lubian³⁾, Roberto Linares³⁾, Barbara Paes³⁾, Erica Cardozo³⁾, Jeannie Rangel Borges³⁾, Andres Arazi⁴⁾, Viviane Morcelle⁵⁾, Davi da Silva Monteiro⁶⁾, Adriana Barioni⁷⁾.

- 1) Instituto de Física da USP (IFUSP) – São Paulo – SP.
- 2) Universidade Federal de São Paulo – Campus Diadema – SP.
- 3) Universidade Federal Fluminense (UFF) – Niterói – RJ.
- 4) Laboratório Tandem – Argentina.
- 5) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) – Rio de Janeiro - RJ.
- 6) Universidade de Integração Latino Americana (UNILA) – Fóz do Iguaçu – PR.
- 7) Universidade Federal de São Paulo – Campus Santos, SP.

Motivação Científica

A possibilidade de usar feixes radioativos para experimentos em física nuclear tem possibilitado a investigação do comportamento de núcleos em condições extremas. Medidas de reações diretas com feixes de núcleos radioativos estão fornecendo importantes informações sobre a estrutura nuclear bem como trazendo importantes contribuições para elucidar alguns problemas de estrutura nuclear e reações de interesse astrofísico [1]. Uma ferramenta bastante utilizada no estudo de núcleos longe da linha de estabilidade é o espalhamento elástico. A descrição da seção de choque de espalhamento elástico é bastante sensível ao potencial de interação entre os núcleos projétil e alvo e a estrutura dos núcleos envolvidos. Esse mecanismo é útil para se investigar principalmente a superfície de núcleos ricos em nêutrons ou prótons, e com isso podemos determinar raio nuclear e forma radial da distribuição de densidade da matéria nuclear bem como verificar influência de mecanismos de reação na seção de choque total de reação. Uma característica importante de núcleos exóticos é serem fracamente ligados e o limiar de decaimento de partículas ser muito próximo do estado fundamental. Portanto, ao investigarmos o espalhamento elástico de núcleos exóticos, devemos levar em conta que durante a interação do projétil com o alvo, existe a possibilidade de que esses núcleos sejam excitados em estados do contínuo. Esse mecanismo se chama breakup. O problema do efeito do canal de breakup tem sido muito estudado na literatura, mas apresenta ainda

vários problemas em aberto. A principal dificuldade consiste na devida separação e interpretação de processos como breakup direto e fusão incompleta que, do ponto de vista experimental, produzem os mesmos canais de saída. Na tentativa de compreender esse problema realizamos cálculos comparativos onde levamos em conta com mais detalhes o acoplamento com contínuo para os sistemas ${}^6\text{He}$ e ${}^8\text{B}$ num alvo leve de ${}^{12}\text{C}$ e para um alvo mais pesado como o ${}^{58}\text{Ni}$ [2]. Para o alvo leve o acoplamento com o contínuo foi desprezível para ambos projéteis leves ricos em próton ${}^8\text{B}$ e em nêutron ${}^6\text{He}$, enquanto que o acoplamento com o breakup foi importante para descrever o espalhamento de ${}^8\text{B}$ no alvo de ${}^{58}\text{Ni}$, onde o desafio foi compreender a competição entre o breakup colombiano e o breakup nuclear.

Recentemente realizamos várias medidas de espalhamento elástico em alvo de ${}^{58}\text{Ni}$. Propusemos e medimos no laboratório Tandem da Argentina o espalhamento elástico de ${}^{10}\text{B}$ e ${}^{11}\text{B}$ em alvo de ${}^{58}\text{Ni}$ em várias energias próximas a barreira Coulombiana. Os dados de ${}^{11}\text{B}+{}^{58}\text{Ni}$ mostraram resultados interessantes em termos de efeitos de reorientação do projétil [3] enquanto que a análise para os dados de ${}^{10}\text{B}+{}^{58}\text{Ni}$ mostraram que o termo spin-orbita é relevante para descrever as distribuições angulares [4]. Propusemos e medimos também, no laboratório da University of Notre Dame em 2014, o espalhamento elástico do feixe radioativo do ${}^{10}\text{C}$ em alvo de ${}^{58}\text{Ni}$. Nessa experiência medimos uma distribuição angular em 6 ângulos, sendo que 4 traseiros (entre 90 e 150 graus) em uma única energia (32 MeV). O ${}^{10}\text{C}$ é isótopo radioativo rico em prótons do carbono, com spin $J^\pi=0^+$, e é um núcleo bastante interessante por possuir propriedades exóticas. Ele decai por 3 possíveis canais; $2p+{}^8\text{Be}$ (3.82 MeV), $p+{}^9\text{B}$ (4.006 MeV) e $\alpha+{}^6\text{Be}$ (5.101 MeV), que são combinações da configuração de cluster $\alpha+\alpha+p+p$. O ${}^{10}\text{C}$ é o único núcleo a ter uma estrutura chamada Bruniana (super-borromeano) [5] onde a interação de 4-corpos $\alpha+\alpha+p+p$ seria associada a 4 anéis interligados, e assim como núcleos borromeanos, quando um dos anéis é quebrado os outros se separam. Os dados obtidos em Notre Dame correspondem a uma única distribuição angular a $E_{\text{LAB}}=30$ MeV (energia acima da barreira Colombiana). Nessas medidas, para nos livrarmos da influência do contaminante de ${}^{11}\text{C}$ produzimos o feixe de ${}^{10}\text{C}$ em no estado excitado $J^\pi=2^+$ a 3.536 MeV).

Propostas de medidas

Para completar nosso estudo sistemático, e investigar efeitos de cluster estamos propondo medidas de distribuições angulares para o espalhamento elástico de projéteis radioativos ${}^{10}\text{C}$ e ${}^{14}\text{C}$ em alvo de ${}^{58}\text{Ni}$. Esses isótopos de carbono são radioativos e serão produzidos com o sistema RIBRAS do Pelletron. Mediremos distribuições angulares entre

20 e 70 graus em intervalos de 5 graus e de 70 a 100 graus em intervalo de 10 graus, em duas energias próximas a barreira coulombiana, 32 e 35 MeV tanto para o ^{10}C quanto para o ^{14}C . Vamos comparar a medida do espalhamento de $^{10}\text{C}+^{58}\text{Ni}$ a 32 MeV com os resultados obtidos da medida realizada na University of Notre Dame em 2014. Para evitar o problema das medidas em ângulos traseiros de Notre Dame vamos utilizar os dois solenoides para purificar um pouco mais o feixe de ^{10}C e ^{14}C . O arranjo experimental consistirá de 2 telescópios do tipo ΔE -E, para medidas em ângulos dianteiros e três detectores single E para medir a energia das partículas espalhadas em ângulos traseiros. A identificação das partículas será feita com os telescópios ΔE -E onde os detectores ΔE devem ter 25 μm de espessura. Os três detectores E serão montados em um sistema que permite uma separação de aproximadamente 10 graus entre eles.

Esperamos para esses dois feixes uma intensidade da ordem de 2×10^5 pps, para $1 \mu\text{A}$ de feixe primário de ^{10}B e ^{13}C , respectivamente, suficiente para essas medidas. Considerando que podemos obter em torno $0.2 \mu\text{A}$ de feixe primário de ^{10}B e ^{13}C no alvo de produção, esperamos uma taxa em torno de 5×10^4 pps dos feixes radioativos. Essa taxa de feixe secundário seria razoável para essas medidas de espalhamento elástico. Pretendemos também testar a viabilidade de se produzir feixes radioativo de ^{15}C com o sistema RIBRAS para futuras medidas.

Os dados de ^{14}C a serem obtidos serão analisados pela profa. Viviane Morcelle enquanto que os dados de ^{10}C serão analisados por um aluno.

As estimativas de tempo de medida foram realizadas se baseando em cálculos do espalhamento elástico com o potencial de São Paulo (normalização $NI=NR=1.0$) para os respectivos sistemas. Obtivemos como resultado desses cálculos uma seção de choque da ordem de 50 mbar e 100 mbar no ângulo de 90 graus para o espalhamento de ^{10}C e ^{14}C em ^{58}Ni a 35 e 32 MeV, respectivamente. Considerando uma intensidade para os feixes secundários de 5×10^4 pps, uma espessura do alvo de níquel de $2,0 \text{ mg/cm}^2$ e um ângulo sólido de 5 msr, calculamos que podemos ter 25 e 50 contagens por dia para as energias de 35 e 32 MeV, respectivamente para o espalhamento de ^{10}C e ^{14}C em ^{58}Ni . Pretendemos medir 5 ângulos simultaneamente. Para cobrir o intervalo entre 20 e 100 graus precisaremos então fazer 3 medidas com esse conjunto de detectores.

Considerando então que para ter uma estatística em torno de 10%, ou seja, em torno de 100 contagens para os ângulos mais traseiros, estamos solicitando um total de 18 dias de máquina. Se tivermos uma intensidade maior ou menor para os feixes radioativos, vamos manter essa divisão de tempo de máquina. Sendo que nesse caso teremos uma estatística melhor ou pior.

Fizemos a seguinte divisão de tempo de máquina para cada energia.

- ✚ Produção do feixe de ^{10}C -> 1 dia.
- ✚ Distribuição angular espalhamento de ^{10}C em ^{58}Ni a 35 MeV -> 3.0 dias.
- ✚ Distribuição angular espalhamento de ^{10}C em ^{58}Ni a 32 MeV -> 2.0 dias.
- ✚ Produção do feixe de ^{14}C -> 1 dia.
- ✚ Distribuição angular espalhamento de ^{14}C em ^{58}Ni a 35 MeV -> 3,0 dias.
- ✚ Distribuição angular espalhamento de ^{14}C em ^{58}Ni a 32 MeV -> 2,0 dias.
- ✚ Teste de produção de feixe de ^{15}C -> 2,0 dias.
- ✚ Medidas de distribuição angular de ^{10}C ou ^{15}C -> 4 dias.

Referências

- [1] J. J. Kolata, V. Guimarães, E. F. Aguilera, *Euro. Phys. Journ. A* **52**, 123 (2016)
- [2] B. Paes, J. Lubian, V. Guimarães, *Nucl. Phys. A* (2012).
- [3] N. Deshmukh, V. Guimarães, et al., *Phys. Rev. C* 92, 054615 (2015).
- [4] V. Scarduelli, E. Crema, V. Guimarães, et al., *Phys. Rev. C* 96, 054610 (2017).
- [5] N. Curtis, *et al.*, *Journal of Physics: Conference Series* **111**, 012022 (2008).