

LABORATÓRIO ABERTO DE FÍSICA NUCLEAR

PAC 2016

Proposal	N°
Title: Estudos sobre reações de transferência envolvendo núcleos estáveis fracamente ligados	
Responsible: José Roberto Brandão de Oliveira	e-mail: zero@if.usp.br
Participants José Roberto Brandão de Oliveira Leandro Romero Gasques Luiz Carlos Chamon Marcos Aurélio Gonzalez Alvarez Nilberto Heder Medina Vinicius Antonio Bocaline Zagatto Juan Alcántara Nunês André Freitas Vitor Ângelo Paulino de Aguiar Ernesto Rossi Jr Iván Padrón	
Spokeperson: Vinicius Zagatto	e-mail: vinicius.zagatto@gmail.com
Telephone: (11) 3091-6961	Skype:
Number of days for experiment: 16	
Period planned for the experiment (are the setup ready for beam time?): A partir de Agosto de 2016	

Ion source			Accelerator			Experimental Area	
Beam	Cathode	$I_{\text{mínima}}$	V_{min}	V_{max}	Bunched beam?	Beam line	Target
6Li	LiO	400 nA	5,5	6	no	30-A/30-B	120Sn
7Li	LiO	400 nA	6	7	no	30-A/30-B	120Sn

Resumo

Pretende-se realizar um estudo sistemático de canais de transferência em reações que envolvam núcleos fracamente ligados. As reações a serem estudadas com o método de coincidências γ -partícula são ${}^6,7\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$, com energias de reação entre 3.5 e 4 MeV/u. Especial atenção será dada aos canais de transferência de nêutrons, permitindo assim estudar eventuais similaridades existentes entre isótopos. O espalhamento elástico também será medido de forma a obter os potenciais de espalhamento que devem ser utilizados nos acoplamentos dos demais canais.

1- Introdução

Estudos de mecanismos de reações nucleares tem sido amplamente utilizados para desvendar as inúmeras características ligadas aos núcleos. Um exemplo disso vem da referência [1], no qual reações de transferência são utilizadas para se estudar o efeito de *vibração gigante de pares*, ou da referência [2], na qual reações de dupla troca de carga geram estados ressonantes formados exclusivamente por nêutrons, o que representa a primeira medida de uma estrutura nuclear sem a presença de prótons. Reações de dupla troca de carga são também de interesse para grandes projetos da atualidade, tal como o projeto NUMEN [3], que visa realizar medidas que possam lançar alguma luz acerca da natureza dos neutrinos. Mesmo o simples espalhamento elástico pode ser utilizado para o estudo do potencial nuclear, tal qual como em [4], no qual o espalhamento *farside* do sistema ${}^{16}\text{O}+{}^{27}\text{Al}$ fornece informação acerca do potencial de interação existente entre estes núcleos. Estas referências recentes mostram a grande importância atual dos estudos de mecanismos de reações nucleares.

Recentemente, percebeu-se que um importante canal de reação nuclear ligado ao isótopo ${}^7\text{Li}$ é o *stripping* de um nêutron, processo no qual um nêutron do projétil é transferido ao alvo. Tal canal apresenta uma alta seção de choque e é altamente favorecido na sua formação, tanto que, muitas vezes, é um canal intermediário para outros canais de reação, como descrito, por exemplo, nas referências [5,6,7], nas quais o processo de transferência de um nêutron seguido do break-up do ejétil ${}^6\text{Li}$ resultante é mais intenso que o *break-up* direto. A referência [8] mostra que a transferência de 2n é um processo sequencial, passando, portanto, também pelo canal de *stripping* de 1 nêutron.

Além do estudo de reações de transferência por si só, o interesse no estudo de núcleos estáveis fracamente ligados (como os isótopos ${}^6,7\text{Li}$) que possam sofrer o *break-up* é importante pois consiste em uma primeira etapa para o posterior estudo de núcleos radioativos instáveis (distantes da linha de estabilidade).

2 - Estudo de Reações de Transferência e Break-up

A proposta que se apresenta é de realizar um estudo sistemático que envolva núcleos fracamente ligados, explorando mecanismos de reações que envolvam canais de transferência de partículas e de

break-up. A ideia fundamental é explorar eventuais similaridades estruturais que possam existir entre dois isótopos estáveis de um certo elemento, tais como os casos dos isótopos de lítio e de boro. Além disso, também pretende-se estudar os mecanismos de reação sofridos pelo núcleo estável fracamente ligado ${}^9\text{Be}$.

As reações de interesse propostas inicialmente são ${}^{6,7}\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$. As reações serão executadas em energias próximas da barreira *Coulombiana*, com energias que variam de 3.5 a 4 MeV/u, favorecendo assim a formação de canais de transferência de partículas.

Cálculos utilizando o Q das reações nucleares permitiram estimar quais serão os canais finais que se poderão observar, assim como as energias de excitação estimadas para os núcleos residuais gerados. Estas informações podem ser vistas na tabela 1.

Tabela 1: Tabela mostrando os principais canais de saída de cada uma das reações de interesse. Há também informações acerca do valor Q de reação desse canal, assim como a energia de excitação esperada para o mesmo.

Inicial	Canal Final	Q (MeV)	E Exci. (MeV)
${}^7\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$	${}^8\text{Be}+{}^{119}\text{In}$	6,658	0
	${}^5\text{Li}+{}^{122}\text{Sn}$	4,036	2,794
	${}^6\text{Li}+{}^{121}\text{Sn}$	-1,080	-0,271
${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$	${}^4\text{He}+{}^{122}\text{Sb}$	8,897	2,586
	${}^5\text{He}+{}^{121}\text{Sb}$	2,091	2,534
	${}^5\text{Li}+{}^{121}\text{Sn}$	2,472	0,542
	${}^7\text{Li}+{}^{119}\text{Sn}$	-4,321	-2,037

Além de reações de transferência há também o interesse em utilizar novos equipamentos de medida. Essas medidas serão as primeiras a utilizarem as fotomultiplicadores SiPM na detecção de partículas carregadas e detectores LYSO para detectores de raios- γ . Testes de eletrônica para esses em dias livres podem ser requeridos a fim de averiguar as condições ótimas de funcionamento destes equipamentos.

3- Inserção no IFUSP

O Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) já há alguns anos vem utilizando a técnica de coincidências de partículas com raios- γ para o estudo dos mais diversos aspectos no que tange a física nuclear. No ano de 2011 tal técnica foi aperfeiçoada e ajustada para que a coincidência γ -partícula pudesse auxiliar no estudo de reações nucleares que envolvessem canais inelásticos. A adaptação da técnica foi realizada durante o mestrado de Vinicius Zagatto, por meio de estudos da reação ${}^{18}\text{O}+{}^{110}\text{Pd}$ a energias próximas da barreira *Coulombiana*. Os resultados foram publicados em [9], mostrando os estudos relacionados apenas ao espalhamento inelástico. Mais recentemente estendeu-se estes estudos para sistemas que envolviam núcleos fracamente ligados (${}^7\text{Li}$ e ${}^9\text{Be}$) e fortes canais de transferência de partículas. Estes trabalhos resultaram em uma tese de

Doutorado (reação ${}^7\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$ a energias próximas da barreira), o trabalho ainda em andamento do aluno André Freitas (reação ${}^{10}\text{B}+{}^{120}\text{Sn}$ a energias próximas da barreira) e uma recente publicação na revista *Journal of Physics G* [8], no qual aborda-se justamente os efeitos de reações de transferência e de processos de *break-up* sobre o espalhamento de núcleos fracamente ligados.

O projeto em questão está bem inserido no contexto dos estudos realizados recentemente no IFUSP. Os projetos MCTI/CNPq Universal 14/2014 (Processo 447085/2014-0) de M.A.Alvarez ("Desenvolvimento de instrumentação para medidas de reações nucleares"), e 443519/2014-5 de L. Gasques ("Um estudo completo dos canais de reação para sistemas envolvendo núcleos fracamente ligados"), visam justamente adquirir/desenvolver eletrônica e equipamentos fundamentais para medidas em física nuclear, além disso, ambos os professores são colaboradores futuros desse projeto.

Colaborações também serão feitas com o grupo de pesquisa ligado ao solenoide supercondutor RIBRAS, que demonstrou recentemente interesse na medição de coincidências γ -partícula para estudos de núcleos exóticos.

Além dos projetos e colaborações anteriormente citados, o estudo aqui proposto serão desenvolvidos diretamente por dois projetos de pós doutorado submetidos recentemente à FAPESP, o sistema Nossa Caixa (fase 1) proposto sob o encargo do pesquisador Kumar Raju Mukhi, e também o projeto FAPESP proposto por Vinicius Antonio Bocaline Zagatto, que visa calcular teoricamente as reações propostas neste PAC.

4- Tempo de Máquina Pedido

O tempo de máquina pedido para cada experimento será detalhado a seguir:

- ${}^7\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$ – As seções de choque de transferência medidas são da ordem de décimos de mb/sr. Para obtê-las com uma estatística razoável (algumas centenas de contagens por pico) é necessário que se adquiram dados por volta de 4 dias. Essas medidas exigem também que se faça ao menos um dia de medidas em uma energia mais baixa que servirão para calibração (Excitação Coulombiana). Todas essas medidas descritas até aqui serão realizadas na canalização 30A. Além disso deseja-se medir o espalhamento elástico desta mesma reação na canalização 30B, somando assim cerca de 3 dias a mais para a medida de uma distribuição angular completa com estatística suficiente. Este experimento já foi realizado, no entanto como novos detectores recentemente adquiridos serão utilizados, é razoável que se utilize uma reação já conhecida a fim de testar o funcionamento dos mesmos.
- ${}^6\text{Li}+{}^{120}\text{Sn}$ – Espera-se que as ordens de grandeza das seções de choque e estatística sejam os mesmos, com isso pede-se 5 dias na linha 30A e 3 dias na linha 30B.
- **TEMPO TOTAL:** 16 dias

Bibliografia

- [1] Cappuzzello, F. *et al.* *Signatures of the Giant Pairing Vibration in the ^{14}C and ^{15}C atomic nuclei*. *Nat. Commun.* 6:6743 doi: 10.1038/ncomms7743 (2015).
- [2] K. Kisamori *et al.* *Phys. Rev. Lett.* 116, 052501 (2016).
- [3] F. Cappuzzello *et al.*, *Eur. Phys. J. A* (2015) 51.
- [4] J.R.B de Oliveira *et al.*, *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 40 105101 (2013).
- [5] D. Martinez Heimann, A. J. Pacheco, O. A. Capurro, A. Arazi, P. F. F. Carnelli *et al.*, *AIP Conf. Proc.* 1423, 109, 2012.
- [6] A. Shrivastava, A. Navin, N. Keeley, K. Mahata, K. Ramachandran, V. Nanal, V. V. Parkar, A. Chatterjee and S. Kailas, *Phys. Lett. B* 633, 463–468, 2006.
- [7] A. Shrivastava, A. Navin, A. Diaz-Torres, V. Nanal, K. Ramachandran, M. Rejmund, S. Bhattacharyya, A. Chatterjee, S. Kailas, A. Lemasson, R. Palit, V.V. Parkar, R.G. Pillay, P.C. Rout, Y. Sawant, *Phys. Lett. B* 718 931, 2013.
- [8] V A B Zagatto *et al* 2016 *J. Phys. G: Nucl. Part. Phys.* **43** 055103 .
- [9] V.A.B. Zagatto, J.R.B. de Oliveira *et al.*, *Nucl. Inst. Meth. A* 749 p.19–26, 2014.