

**LABORATÓRIO ABERTO
DE FÍSICA NUCLEAR**

N°

Proposta de Experimento

Período :

Título: Distribuição de barreiras quase-elásticas para o sistema $^{16}\text{O} + ^{120}\text{Sn}$

Responsável: Leandro R Gasques, Paulo Gomes

e-mail: lgasques@if.usp.br

Participantes: Leandro Gasques, Marcos Alvarez, José Roberto Oliveira, Edílson Crema, Paulo Roberto Gomes, Paulina Amador, Mario Cubero, Djalma Mendes Jr., Roberto Linares, Pedro Neto de Faria, Érica Nunes

Porta Voz: Leandro Gasques

e-mail: lgasques@if.usp.br

Número de dias solicitados: 6

Datas preferidas: março/abril 2014

Datas realmente impossíveis: fevereiro 2014

Canalização: 30B

| Feixe | Est. Carga | I_{mínima} (alvo) | V_{min} | V_{max} | Pulsado? |
|--------------|-------------------|----------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------|
| 16O | 6 ou 7 | 10nA | 6.5 | 8 | Não |
| | | | | | |

Alvos: ^{120}Sn

Motivação

Um dos assuntos mais atuais na área de reações nucleares a baixas energias é a investigação do comportamento da fusão entre íons pesados a energias bem abaixo da barreira Coulombiana. Foi verificado experimentalmente que a inclinação da função de excitação de fusão a estas energias muito baixas aumenta em relação à inclinação a energias próximas à da barreira Coulombiana [1]. Este comportamento é conhecido como “hindrance of fusion cross section at deep sub-barrier energies” e não pode ser explicado por cálculos tradicionais de canais acoplados. Existe uma energia de limiar E_s para a qual a inclinação da função de excitação muda de valor. Esta região de energia é particularmente importante para entender o mecanismo de fusão em astrofísica [2, 3].

Teoricamente ainda não existe uma clara explicação para o fenômeno de supressão da fusão a baixas energias, onde supressão deve ser entendido como esta variação da inclinação da inclinação da função de excitação. Existem dois principais enfoques para esta investigação teórica: adiabático [4] e diabático [5]. No primeiro, a supressão seria causada pela necessidade de se vencer uma segunda barreira, interna, antes de se formar o núcleo composto. O segundo usa um potencial raso e a supressão se deve ao corte de momentos angulares elevados na seção de choque de fusão nestas baixas energias. De forma geral, a supressão da fusão parece ser devida à competição com outros mecanismos de reação, como por exemplo a quase-fissão, muito importante no caso de sistemas pesados. Em energias muito abaixo da barreira, a quase-fissão pode ser considerada como correspondente à formação de estados di-nucleares, ou nuclear-molecular, e pode ocorrer mesmo para sistemas de massa média [6]. O processo de captura contém tanto a fusão quanto a quase-fissão. Recentemente o grupo de Dubna de G. Adamian e V. Sargsyan desenvolveu uma metodologia baseada no enfoque de difusão quântica (quantum diffusion approach) [6, 7] e estudou a mudança do regime de interação a energias bem abaixo da barreira no processo de captura, baseado na mudança da inclinação da sua função de excitação. Muito recentemente este grupo russo propôs [8] uma relação direta entre a energia de limiar E_s para a o aparecimento da supressão da fusão a baixas energias e a energia E_{ch} no qual o regime de interação se modifica na

captura sub-Coulombiana. Este estudo teve muito sucesso para explicar diversos sistemas.

Como experimentalmente é muito mais simples medir espalhamento quase-elástico do que o processo de captura, mostrou-se oportuno demonstrar a relação direta entre ambos processos, devido à conservação de fluxo de reação [8]. Pode-se escrever que

$$P_{qe}(E_{c.m.}, J) + P_{cap}(E_{c.m.}, J) = 1 \quad \text{e portanto} \quad dP_{cap}/dE_{c.m.} = -dP_{qe}/E_{c.m.} \quad (1),$$

onde P_{qe} é a probabilidade de reflexão e P_{cap} é a probabilidade de captura ou transmissão. A probabilidade de reflexão para momento angular $J = 0$ é dada pela razão da seção de choque diferencial quase-elástica e a seção de choque diferencial de Rutherford a 180 graus [9, 10], isto é, pela expressão

$$P_{qe}(E_{c.m.}, J = 0) = -d\sigma_{qe} / d\sigma_{Ruth} \quad (2).$$

A distribuição de barreira quase-elástica D_{qe} é obtida tomando a primeira derivada de P_{qe} em relação a $E_{c.m.}$ [9], isto é

$$D_{qe}(E_{c.m.}) = -dP_{qe}(E_{c.m.}, J = 0) / dE_{c.m.} = dP_{cap}(E_{c.m.}, J = 0) / dE_{c.m.} \quad (3)$$

A equação (3) é muito importante porque mostra que é possível obter a mudança da taxa de queda da seção de choque de captura $dP_{cap}(E_{c.m.}, J = 0) / dE_{c.m.}$ a energias sub-Coulombianas, difícil de ser medida e observada, medindo a distribuição de barreiras quase-elástica D_{qe} . O grupo de Dubna previu a rápida variação da inclinação de D_{qe} abaixo da energia de limiar devido à mudança do regime de interação no processo de captura sub-Coulombiana. Este efeito é mais pronunciado em núcleos esféricos, pois em deformados há outros efeitos de mútuas orientações que mascaram o presente efeito. A figura 1 mostra a comparação das previsões teóricas [8] e os dados experimentais para distribuição de barreiras de fusão [11] para o sistema $^{16}\text{O} + ^{120}\text{Sn}$. A parte superior da figura está em escala linear e a inferior em escala logarítmica, onde a mudança de inclinação pode ser melhor observada. Acredita-se que diferença nas posições do máximo principal, teórico e experimental, de cerca de 0.8 MeV, deve-se aos incrementos de energia utilizados na obtenção da distribuição de barreiras de fusão experimental e incertezas nas medidas, segundo importantes trabalhos sobre este assunto [9, 12]. De fato,

a comparação entre os cálculos usando o mesmo quantum diffusion approach para captura e distribuição de barreiras de fusão experimental está em excelente acordo, conforme pode ser visto na figura 2 [8]. A figura 3 mostra a qualidade dos cálculos usando o quantum diffusion approach para determinar seção de choque de captura a partir de função de excitação de espalhamento quase-elástico. Os cálculos são da ref. [13] e os dados são da Ref. [11]. Estes resultados dão confiança nas previsões teóricas usando quantum diffusion approach.

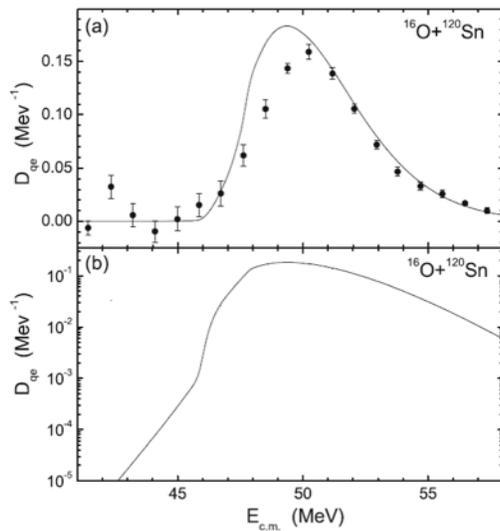


figure 1

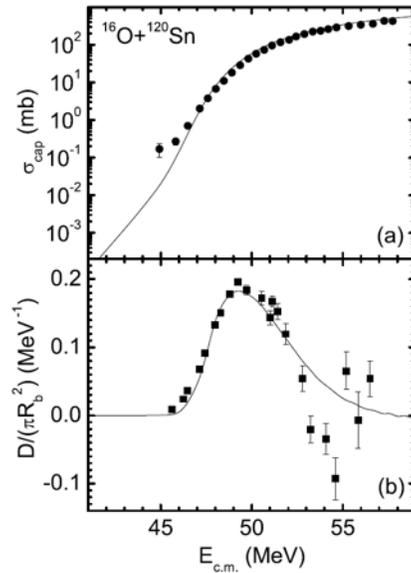


figure 2

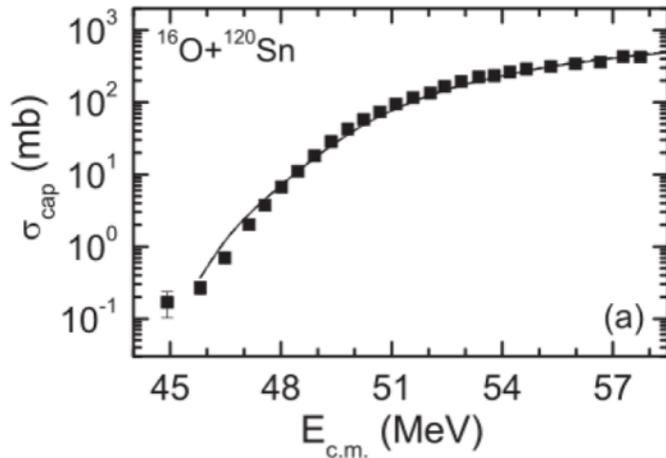


figure 3

Proposta de experimento

Das figuras 1, 2 e 3 é possível verificar que ainda não foi possível determinar experimentalmente a energia limiar de mudança da inclinação da função de excitação de fusão a energias abaixo da barreira Coulombiana. Os dados experimentais existentes são de fusão, muito mais difíceis de serem medidos que espalhamento quase-elástico a ângulo traseiro, e não descem a energias muito baixas. A previsão teórica para o valor desta energia limiar para o sistema $^{16}\text{O} + ^{120}\text{Sn}$ é de cerca de 4 MeV abaixo da energia da barreira Coulombiana, possível de ser investigado por nós no Laboratório Pelletron, através de medidas precisas de espalhamento quase-elástico a ângulo traseiro. Para outros sistemas esféricos, esta energia encontra-se ainda mais abaixo das energias das respectivas barreiras, o que torna este sistema particularmente atraente para ser nosso escolhido.

Pretendemos realizar medidas de espalhamento quase-elástico em um intervalo de energia entre 50 e 62 MeV em passos de 1 MeV com incerteza da ordem de 1%. Para tanto, iremos utilizar 2 detectores telescópios formados por um detector gasoso e um detector de barreira de superfície, montados a 160° com respeito a direção do feixe. Utilizando um alvo de ^{120}Sn com espessura da ordem de algumas centenas de $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, e intensidade de feixe da ordem de algumas dezenas de nA, solicitamos 6 dias de máquina para realização e montagem desse experimento.

Referencias

- 1- C.L. Jiang et al., Phys. Rev. Lett. 89, 052701 (2002); Phys. Rev. C 71, 044613 (2005); Phys. Rev. C 73, 014613 (2006)
- 2- K. Langanke, C. A. Barnes, Adv. Nucl. Phys. 22, 173 (1996)
- 3- A. Aprahamian, K. Langanke, M. Wiecher, prog. Part. Nucl. Phys. 54, 535 (2005)
- 4- T. Ichikawa, K. Hagino, A. Iwamoto, Phys. Rev. C 75, 054603 (2007); Phys. Rev. Lett. 103, 202701 (2009); Phys. Rev. C 75, 064612 (2007)
- 5- S. Misicu, H. Esbensen, Phys. Rev. Lett. 96, 112701 (2006); Phys. Rev. C 75, 054603 (2007)
- 6- V.V. Sargsyan et al., Phys. Rev. C 84, 064614 (2011); Phys. Rev. C 85, 024616 (2012); Phys. Rev. C 85, 069903 (2012)
- 7- V.V. Sargsyan et al., Europ. Phys. J. A 45, 125 (2010); Europ. Phys. J. A 47, 38 (2011); Phys. Rev. C 85, 017603 (2012); Phys. Rev. C 85, 037602 (2012); Phys. Rev. C 86, 034614 (2012)
- 8- V.V. Sargsyan, G.G. Adamian, N. V. Antonenko, W. Sheid, H. Q. Zhang, Europ. Phys. J. A 49, 19 (2013)
- 9- H. Timmers et al., Nucl. Phys. A 584, 190 (1995); J. Phys. G 23, 1175 (1997); Nucl. Phys. A 633, 421 (1998)
- 10- E. Piasecki et al., Phys. Rev. C 80, 054613 (2009); Phys. Rev. C 85, 054604 (2012); Phys. Lett. B 615, 55 (2005)
- 11- S. Sinha et al., Phys. Rev. C 64, 024607 (2001)
- 12- M. Dasgupta, D.J. Hinde, N. Rowley, A.M. Stefanini, Annu. Rev. Nucl. Part. 48, 401 (1998)
- 13- V.V. Sargsyan, G.G. Adamian, N. V. Antonenko, P.R. S. Gomes, Phys. Rev. C 87, 044611 (2013)