

**LABORATÓRIO ABERTO  
DE FÍSICA NUCLEAR**

N°

**Proposta de Experimento**

**Período : 1 ano**

**Título:** Procura de estados excitados de  $^{36}\text{Ar}$  com estrutura de cluster  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$ : possível banda hiper-deformada

**Responsável: Alinka Lépine-Szily**

**e-mail: alinka@dfn.if.usp.br**

**Participantes:** Jose Roberto B. Oliveira, Nilberto H. Medina, Wayne Seale, Ewa W. Cybulska, Vinicius Zagotto, Leandro Gasques, Luiz C. Chamon, Rubens Lichtenthaler, Valdir Guimarães, Djalma R. Mendes Jr, Erich Leistenschneider, Pedro Neto de Faria, Adriana Barioni, Viviane Morcelle, Maria Carmem Moraes, Ruben Pampa, Juan Carlos Zamora, Juan Alcântara, Valdir Scarduelli, Kelly Cristina C. Pires, Roberto Linares

**Porta Voz: Alinka Lépine-Szily**

**e-mail: alinka@dfn.if.usp.br**

**Número de dias solicitados: 3**

**Datas preferidas:**

**Datas realmente impossíveis:**

**Canalização: 30A**

| <b>Feixe</b> | <b>Est. Carga</b> | <b><math>I_{\text{mínima}}</math> (alvo)</b> | <b><math>V_{\text{min}}</math></b> | <b><math>V_{\text{max}}</math></b> | <b>Pulsado?</b> |
|--------------|-------------------|----------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| 24Mg         | 5+,6+             | 20nA                                         | 5.0                                | 7.0                                | não             |
|              |                   |                                              |                                    |                                    |                 |

**Alvos:  $^{12}\text{C}$**

**Pastilhas:  $\text{MgO}$**

**Características de Feixe Pulsado:**

**Continuação da Experiência já Aprovada N°:**

**Outras informações:**

## Procura de estados excitados de $^{36}\text{Ar}$ com estrutura de cluster $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$ : possível banda hiper-deformada

Dois trabalhos recentemente publicados [1,2], sugerem a existência de uma banda hiper-deformada (HD) no núcleo  $^{36}\text{Ar}$ . As evidências indiretas vem do estudo do espalhamento elástico de  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$  [3,4]. Distribuições angulares completas do espalhamento elástico medidas em 15 energias entre  $E_{\text{cm}}=10.67$  e 16.0 MeV mostram acentuadas oscilações mesmo em energias na barreira coulombiana ou abaixo dela.

Cálculos com o potencial de São Paulo não apresentam oscilações. Foram incluídas ressonâncias dependentes de energia, com forma de Breit-Wigner, na matriz de espalhamento  $S$  do modelo óptico, somadas ao termo  $l=l_r$ , onde  $l_r=J$  é o spin da ressonância

$$S_{l_r}(E) = S_{l_r}^o + S_{l_r}^{\text{res}}(E) = S_{l_r}^o - \frac{iD_r e^{2i\phi_r}}{(E - E_r) + i\frac{\Gamma_r}{2}} \quad (2)$$

Onde  $D_r$  é a amplitude do processo ressonante, ou largura elástica,  $\Gamma_r$  é a largura total,  $E_r$  é a energia de ressonância e  $\phi_r$  é a fase relativa da mistura entre o processo ressonante e o fundo, ambos contribuindo ao canal elástico. Os parâmetros  $D_r$ ,  $\Gamma_r$ ,  $E_r$ ,  $\phi_r$  foram sendo determinados com ajustes às distribuições angulares com uma minimização de  $\chi^2$ . Para um bom ajuste de todas as distribuições angulares foram necessárias ressonâncias com spins  $J=l_r=2,4,6,7,8$ , nas energias  $E_r=10.851, 11.420, 13.210, 15.396$  e 16.180 MeV. Abaixo apresentamos o ajuste de algumas distribuições angulares.

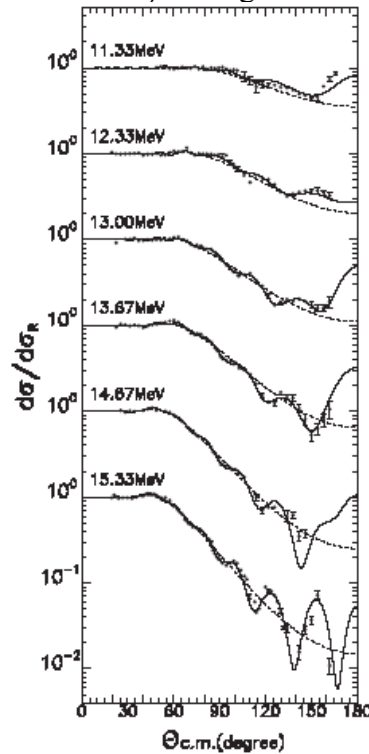


Figura 1. Exemplos de distribuições angulares elásticas de  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$ , ajustadas com a inclusão de 5 ressonâncias, nas energias citadas no texto.

Outras medidas na literatura, de espalhamento elástico de  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$  a energias mais altas e de  $^{16}\text{O}+^{20}\text{Ne}$ , também indicaram a existência de ressonâncias quase-moleculares, em energias excitação mais altas no núcleo composto  $^{36}\text{Ar}$ .

Colocamos as energias de excitação no  $^{36}\text{Ar}$  da banda do estado fundamental e da banda super-deformada já observada (SD) [5] e das ressonâncias quase-moleculares observadas nos espalhamentos elásticos, e os apresentamos num gráfico, com energia de excitação versus  $J(J+1)$ . Ver Figura 2 abaixo.

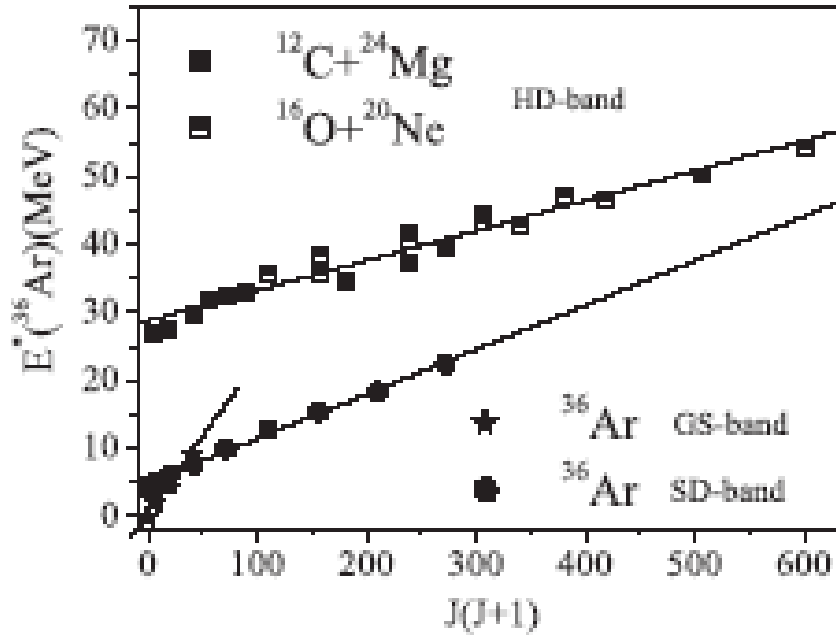


Figura 2. Energia de excitação em  $^{36}\text{Ar}$  das ressonâncias obtidas no espalhamento elástico de  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$  e  $^{16}\text{O}+^{20}\text{Ne}$ , em função de  $J(J+1)$ , juntamente, com a banda do estado fundamental e a banda super-deformada do  $^{36}\text{Ar}$ .

$$E^*(^{36}\text{Ar}) = E_0 + \frac{\hbar^2}{2I} J(J+1). \quad (3)$$

Ajustando os dados de  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$  e  $^{16}\text{O}+^{20}\text{Ne}$  por meio de uma reta, obtemos para cabeça de banda  $E_0 = 28.8(6)$  MeV, e para momento de inércia  $I = 4.4(2)$  MeVfm<sup>2</sup>, valor bem superior ao momento de inércia da banda SD,  $I = 2.9(7)$  MeVfm<sup>2</sup>. A banda dos estados quase-moleculares tem momento de inércia maior, portanto é um possível candidato a banda hiper-deformada, em concordância com cálculos de modelo de alfa-cluster e cálculos mais recentes de modelo de Nilsson para isômeros de forma [2].

Nossa proposta atual é tentar observar estes estados em outros canais que o elástico, para ter mais firmeza em afirmar que estamos observando estados, ressonâncias no núcleo composto  $^{36}\text{Ar}$ . O decaimento gama destas ressonâncias não deve ser observável, pois são

estados de larguras totais grandes  $\Gamma \sim 1$  MeV, e devem decair por emissão de partículas. Por esta razão a captura radiativa  $^{12}\text{C}(^{24}\text{Mg}, \gamma)$  deve ser uma medida muito difícil e de seção de choque muito baixa. Mas os decaimentos  $^{12}\text{C}(^{24}\text{Mg}, \alpha \gamma)^{32}\text{S}$  ou  $^{12}\text{C}(^{24}\text{Mg}, 2\alpha \gamma)^{28}\text{Si}$  foram observados em medidas de  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$  a energias mais altas [6] e tem seções de choque razoáveis, como mostra a tabela abaixo.

TABLE I. Intensities (mb) of prominent  $\gamma$ -ray transitions from the  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$  reaction.

| $E_\gamma$<br>keV  | Nucleus          | $J_i^\pi$       | $J_f^\pi$       | $E_{\text{Lab}}(^{24}\text{Mg})$ MeV |     |     |
|--------------------|------------------|-----------------|-----------------|--------------------------------------|-----|-----|
|                    |                  |                 |                 | 50                                   | 60  | 70  |
| 461*               | $^{34}\text{Cl}$ | $1^+$           | $0^+$           | 17                                   | 13  | 8   |
| 491                | $^{34}\text{Cl}$ | $7^+$           | $5^+$           | 11                                   | 23  | 22  |
| 967                | $^{32}\text{S}$  | $\frac{1}{2}^-$ | $\frac{5}{2}^+$ | 2                                    | 6   | 22  |
| 1001               | $^{34}\text{S}$  | $5^-$           | $4^+$           | 29                                   | 32  | 25  |
| 1067               | $^{34}\text{S}$  | $5^-$           | $3^-$           | 24                                   | 27  | 20  |
| 1136               | $^{31}\text{P}$  | $\frac{1}{2}^-$ | $\frac{5}{2}^+$ | 10                                   | 22  | 27  |
| 1176 <sup>a</sup>  | $^{34}\text{S}$  | $2^+$           | $2^+$           | 34                                   | 34  | 20  |
| 1266*              | $^{31}\text{P}$  | $\frac{3}{2}^+$ | $\frac{1}{2}^+$ | 164                                  | 217 | 205 |
| 1319               | $^{34}\text{S}$  | $3^-$           | $2^+$           | 17                                   | 19  | 14  |
| 1369*              | $^{24}\text{Mg}$ | $2^+$           | $0^+$           | 56                                   | 68  | 76  |
| 1779*              | $^{28}\text{Si}$ | $2^+$           | $0^+$           | 111                                  | 181 | 217 |
| 1966*              | $^{33}\text{S}$  | $\frac{5}{2}^+$ | $\frac{3}{2}^+$ | -                                    | 13  | 38  |
| 2127* <sup>a</sup> | $^{34}\text{S}$  | $2^+$           | $0^+$           | 119                                  | 116 | 70  |
| 2234* <sup>b</sup> | $^{31}\text{P}$  | $\frac{5}{2}^+$ | $\frac{1}{2}^+$ | 92                                   | 114 | 114 |
| 2560               | $^{34}\text{S}$  | $4^+$           | $2^+$           | 62                                   | 64  | 42  |
| Total <sup>c</sup> |                  |                 |                 | 559                                  | 722 | 728 |

A proposta é usar o espectrômetro SACI-PERERE, onde selecionaria os canais alfa e 2 alfa com os telescópios de phoswich e detectaria os gamas de decaimento de  $^{32}\text{S}$  e  $^{28}\text{Si}$  em coincidência. Gostaria de medir uma função de excitação entre as energias  $E_{\text{cm}}=10-16\text{MeV}$ . Para limpar a reação de alfas provenientes de impurezas no alvo, pretendo usar feixe de  $^{24}\text{Mg}$  e alvo de  $^{12}\text{C}$  puro.

Neste PAC estou pedindo alguns dias apenas para testar a viabilidade do projeto.

Referencias:

1. Possible Hyperdeformed band in  $^{36}\text{Ar}$  observed in  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$  elastic scattering W.Sciani, Y.Otani, A.Lépine-Szily et al Phys. Rev.C80, 034319 (2009)

2. Elongated shape isomers in  $^{36}\text{Ar}$  nucleus, J.Cseh, J.darai, W.Sciani et al  
Phys. Rev.C 80 034320 (2009)
3. [The C-12+Mg-24 elastic scattering: An example of anomalous transparency at Coulomb barrier energies](#) Sciani, W; LepineSzily, A; Lichtenthaler, R, et al.  
Nuclear Physics A620 ; 91-113 (1997)
4. [Anomalous Heavy-Ion Scattering Near The Coulomb Barrier](#) Lepineszily, A;  
Sciani, W; Watari, Yk, Et Al. Physics Letters B304; 45-49 (1993)
5. C.E.Svensson et al Phys. Rev. Lett. 85, 2693 (2000).
6. Comparison of gama-ray yield functions for the  $^{12}\text{C}+^{24}\text{Mg}$  and  $^{16}\text{O}_{28}\text{Si}$   
reactions.R.M.Freeman, F.Haas, B.Heusch, S.M.Lee Phys. Rev C 20, 569(1979)