

**LABORATÓRIO ABERTO
DE FÍSICA NUCLEAR**

N° E-91

Proposta de Experimento

Período :

Título: Medida da Vida-Média de Estados Isoméricos dos Núcleos ^{68}Ga e ^{67}Ge .

Responsável: Nilberto H. Medina

e-mail: medina@if.usp.br

Participantes: Paula R. P. Allegro, Nilberto H. Medina, José Roberto B. de Oliveira, Vitor A. P. de Aguiar, Roberto V. Ribas, Dennis L. Toufen, Vinicius Zaggatto, Marcilei A.G. Silveira, Diego Torres e Fernando Cristancho

Porta Voz: Paula R. P. Allegro

e-mail: allegro@if.usp.br

Número de dias solicitados: 10 dias (divididos em 1+6+3)

Datas preferidas:

Datas realmente impossíveis:

Canalização: 30A

Feixe	Est. Carga	$I_{\text{mínima}}$ (alvo)	V_{min}	V_{max}	Pulsado?
^{16}O	7+	1 nA	7,0	7,5	Não
^{12}C	6+	1 nA	7,0	7,5	Não

Alvos:

Pastilhas:

Características de Feixe Pulsado:

Continuação da Experiência já Aprovada N°: E-91

Outras informações:

Medida da Vida-Média de Estados Isoméricos dos Núcleos ^{68}Ga e ^{67}Ge .

P.R.P. Allegro^a, D.L. Toufen^{a,b}, N.H. Medina^a, J.R.B. Oliveira^a, R.V. Ribas^a,
V. A. P. Aguiar^a, V. Zaggatto^a, M. A. G. Silveira^c, D. Torres^d e F. Cristancho^d

^a Departamento de Física Nuclear – Instituto de Física da USP.

^b Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Guarulhos, Brasil.

^c Centro Universitário da FEI, S.B.Campo, Brasil.

^d Universidad Nacional de Colômbia, Colômbia.

Resumo

As experiências consistem na medida e procura de estados isoméricos dos núcleos ^{67}Ge e ^{68}Ga , previstos através do Modelo de Camadas em Larga Escala. Os isótopos serão produzidos através de reações de fusão-evaporação utilizando o acelerador Pelletron. As medidas e procura de estados isoméricos serão feitas utilizando o SISMEI (SIStema de Medidas de Estados Isoméricos), sistema desenvolvido para medida de vidas médias utilizando a técnica de coincidência atrasada entre partículas carregadas e raios γ .

Introdução e Justificativa

A estrutura dos núcleos, assim como a dos átomos, pode ser entendida a partir do estudo dos seus estados quânticos internos e suas interconexões. Conhecer os estados quânticos internos implica em determinar suas funções de onda, porém estas não podem ser medidas diretamente. Assim, devem-se estudar as propriedades de cada estado nuclear: energia, spin, paridade, vida média, probabilidades de transição reduzidas elétricas ($B(E\lambda)$) e magnéticas ($B(M\lambda)$), entre outras e, a partir delas, inferir informações a respeito da função de onda dos estados excitados. Dentre as propriedades dos estados nucleares, a vida média tem especial importância, pois é a partir dela que se pode determinar as probabilidades de transição reduzidas elétricas ($B(E\lambda)$) e magnéticas ($B(M\lambda)$). Tais probabilidades dependem fortemente da função de onda e por isso representam um teste robusto para modelos nucleares, visto que certos modelos podem prever bem as energias dos estados, porém não são capazes de determinar as funções de onda com precisão. Além disso, o conhecimento da vida média de um estado é ponto de partida para medidas de outras propriedades como o fator giromagnético (fator g) que pode ser utilizado para identificar a configuração de um determinado estado nuclear, como visto em [1].

Estados isoméricos geralmente ocorrem quando estes apenas decaem através de transições em que a variação de momento angular é maior ou igual a 3 ($\Delta I \geq 3$), no entanto existem diversos casos de estados isoméricos que decaem através de transições com $\Delta I \leq 2$ mas cuja energia do raio γ é pequena. Tanigaki [2], por exemplo, determinou a meia vida do primeiro estado excitado do ^{64}Ga em 21,9(7) μs . Este estado isomérico decai através de uma transição E2 ($\Delta I = 2$) cuja energia do raio γ vale apenas $E_\gamma = 42,89(10)$ keV.

Na região de massa $A=60-70$, diversos núcleos de Zn, Ga e Ge com número de massa A ímpar e núcleos duplamente ímpares de Ga apresentam estados isoméricos, tais como mostram as referências [3 -10]. No caso dos isótopos duplamente ímpares de Ga, a maioria dos estados isoméricos conhecidos é proveniente de transições E2 com energias menores do que 250 keV enquanto que para os isótopos de Zn, Ga, e Ge com número de massa A ímpar, a maioria desses estados isoméricos são devidos a transições do tipo M2. Recentemente, os estados excitados dos isótopos duplamente ímpares de Ga, assim como dos núcleos de Zn, Ga e Ge com número de massa A ímpar foram alvo de um recente estudo utilizando as previsões Modelo de Camadas em Larga Escala [11]. Nesse estudo, também foram realizadas medidas no acelerador Pelletron para

determinação da meia vida dos estados isoméricos 7^- e $9/2^+$, pertencentes respectivamente aos núcleos ^{66}Ga e ^{67}Ge , cujas experiências foram aprovadas em PAC anterior de 2011.

Das previsões teóricas utilizando o Modelo de Camadas em Larga Escala da ref. [11], duas se mostraram interessantes como estimativa de candidatos a estados isoméricos, não conhecidos até o momento experimentalmente: o estado 0^+ , pertencente ao núcleo ^{68}Ga e o estado $9/2^-$, pertencente ao núcleo ^{67}Ge . As previsões do Modelo de Camadas em Larga Escala, obtidas utilizando o código Antoine [12] e a interação residual JUN45 [13], indicam uma meia vida igual a 411 ns para o estado 0^+ do núcleo ^{68}Ga e de 469 ns para o estado $9/2^-$ do núcleo ^{67}Ge . Caso a previsão do Modelo de Camadas não se realize, os dias de máquina serão utilizados para se fazer uma procura de estados isoméricos na região de massa $A=60-70$ através de reações nucleares utilizando-se os feixes disponíveis no acelerador Pelletron ^9Be , $^{10,11}\text{B}$, $^{12,13}\text{C}$ e $^{16,18}\text{O}$ e os alvos de ^{46}Ti , ^{51}V , ^{55}Mn e $^{58,60}\text{Ni}$.

Medidas no Pelletron

Os isótopos serão produzidos através de reações de fusão-evaporação (vide Tabela 1) utilizando o acelerador Pelletron. O núcleo ^{68}Ga será produzido através da reação $^{55}\text{Mn}(^{16}\text{O}, 2\text{pn})^{68}\text{Ga}$ enquanto que para a produção do núcleo ^{67}Ge será utilizada novamente a reação $^{58}\text{Ni}(^{12}\text{C}, 2\text{pn})^{67}\text{Ge}$. Essa reação foi utilizada na experiência realizada em 2012, entretanto, o sistema de aquisição de dados não foi otimizado para a medida de raios gama de energias baixas. A previsão do modelo de camadas é que o estado $9/2^-$ decaia para o estado $7/2^-$ com energias da ordem de 90 keV.

A medida das meias vidas dos estados isoméricos será feita utilizando o SISTEMA para Medidas de Estados Isoméricos (SISMEI) desenvolvido por Toufen [14]. O SISMEI é composto por 10 detectores de partícula do tipo “Phoswich” acomodadas ao redor de uma câmara em forma de dodecaedro (SACI – Sistema Ancilar de Cintiladores [15]) e dois detectores de raios γ : um detector de GeHP e um de NaI(Tl). O detector de GeHP é utilizado devido a sua boa resolução em energia (~2 keV em 1,3 MeV), essencial para distinguir picos de raios γ com energias próximas. Já o detector de NaI(Tl) tem uma resolução em tempo superior (~7 ns), o que é importante para se realizar medidas de vidas médias mais curtas. A resolução temporal dos detectores de GeHP é da ordem de dezenas de ns.

Este sistema utiliza uma técnica alternativa para a medida de vidas médias de estados nucleares na faixa de 10 ns a 10 μs , sem a utilização de feixe pulsado. Esta técnica baseia-se principalmente na coincidência atrasada entre partículas carregadas (prótons e alfas) evaporadas pelo núcleo composto, formado na reação de fusão-evaporação, e os raios γ emitidos pelo núcleo residual. No SISMEI, o núcleo residual formado na reação nuclear, após a evaporação de partículas (~ 10^{-19} s), recua em vácuo, por uma distância suficiente para permitir a blindagem dos detectores de raios gama da intensa radiação proveniente do alvo, até atingir um anteparo (*stopper*). Com isso, os decaimentos de estados isoméricos com vida-média da ordem do tempo de vôo do núcleo, ou superior, podem ser observados por detectores de raios gama nas proximidades do anteparo, em coincidência atrasada com as partículas carregadas observadas nos detectores do SACI. O sinal do início da contagem de tempo (*start*) é dado pelos detectores de partículas carregadas do SACI e o sinal do fim da contagem de tempo (*stop*) é fornecido pelos detectores de raios γ de NaI(Tl) e/ou GeHP, posicionados na extremidade final do cone.

Tabela 1: Reações de fusão-evaporação que serão utilizadas para produção dos isótopos ^{68}Ga e ^{67}Ge juntamente com a energia de feixe necessária e as seções de choque de produção de cada núcleo estimadas através do programa PACE [16].

Reação	Energia do feixe (MeV)	Seção de choque (mb)
$^{55}\text{Mn}(^{16}\text{O}, 2\text{pn})^{68}\text{Ga}$	55	80
$^{58}\text{Ni}(^{12}\text{C}, 2\text{pn})^{67}\text{Ge}$	50	225

Solicitação de Dias de Máquina

Para a procura e medida de vidas médias nos isótopos na região de massa $A=60$, solicita-se:

- **1 dia** para testes da eletrônica de aquisição e do arranjo experimental. Neste teste será utilizada a reação $^{46}\text{Ti}(^{11}\text{B},1p2n)^{54}\text{Fe}$, Efeixe = 30 – 40 MeV. Esta experiência já foi realizada anteriormente utilizando o SISMEI [15] e representa um bom teste para o sistema.
- **6 dias** para medida do estado isomérico do núcleo ^{68}Ga . Para a medida do núcleo ^{68}Ga , com uma corrente de 1 nA e alvo de 1 mg/cm^2 , estima-se uma taxa de detecção do raio gama proveniente do estado isomérico da ordem de 300 contagens/hora.
- **3 dias** para medida do estado isomérico do núcleo ^{67}Ge . Para a medida do núcleo ^{67}Ge , com uma corrente de 1 nA e alvo de 1 mg/cm^2 , estima-se uma taxa de detecção do raio gama proveniente do estado isomérico da ordem de 600 contagens/hora.

Total de dias solicitados: 10 dias.

Justificativa para não utilização do período solicitado no PAC 2012.

Os 10 dias aprovados pelo PAC 2012 não foram utilizados por falta de calendário disponível para experimentos no laboratório. Também os resultados dos cálculos utilizando o Modelo de Camadas em Larga Escala, combinados com os dados tomados anteriormente no Pelletron e na Flórida State University, foram muito promissores, sendo o suficiente para a finalização da tese de doutoramento da então aluna Paula R. P. Allegro. Assim foi possível abrir mão destes dias em pró dos experimentos ligados a outros estudantes, aprovados em outros projetos pelo PAC.

Referências

- [1] IONESCU-BUJOR, M. et al. **Physics Letters B**, v. 495, p. 289-284, 2000.
- [2] TANIGAKI, M. et al. **The European Physical Journal A**, v. 6, p. 119-120, 1999.
- [3] JUNDE, H., DONG, Y., MEIRONG, H., ENSDF <2008.
- [4] BROWNE, E., TULI, J. K., Nuclear Data Sheets 111, 2425 (2010).
- [5] JUNDE, H., XIAOLONG, H., TULI, J.K. , Nuclear Data Sheets 106, 159 (2005).
- [6] BHAT, M. R., TULI, J.K. , Nuclear Data Sheets 90, 269 (2000).
- [7] SINGH, B., Nuclear Data Sheets 108, 197 (2007).
- [8] BROWNE, E., TULI, J.K. Nuclear Data Sheets 111, 1093 (2010).
- [9] MCCUTCHAN, E.A., Nuclear Data Sheets 113, 1735 (2012).
- [10] TULI, J.K. , Nuclear Data Sheets 103, 389 (2004).
- [11] ALLEGRO, P. R. P., **Sistemática de núcleos ímpar-ímpar de Ga na região de massa $A = 60 - 70$** . 2013. (Doutorado em Ciências) - Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- [12] CAURIER, E.; NOWACKI, F., **Acta Phys. Polonica B**, v. 30, p. 705, 1999.
- [13] HONMA, H. et al., **Phys. Rev. C**, v. 80, p. 064323, 2009.
- [14] TOUFEN, D. L. **Sistema para Medidas de Estados Isoméricos**. 2008. (Mestrado em Ciências) - Instituto de Física da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.
- [15] ALCÁNTARA-NÚÑEZ, J.A. et al. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A**, v. 497, p. 429-439, 2003.
- [16] GRAVON, A. **Physical Review C**, v.21, p. 230-236, 1980.