ESPECTROSCOPIA GAMA NOS NÍVEIS EXCITADOS DE ^{155}Eu

F.A. Genezini, C.B. Zamboni, R. Semmler, *M.T. F da Cruz , *J.Y. Zevallos-Cháves, * H. Dias

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares - IPEN-CNEN/SP
Av. Lineu Prestes 2.242
05508-900, Butantã, São Paulo, SP, Brasil

*Universidade de São Paulo – IFUSP/SP
Rua do Matão , Travessa R, 187
05508-970, Butantã, São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

Neste trabalho pretende-se obter informações adicionais dos estados excitados do núcleo ^{155}Eu por meio da determinação experimental da energia das transições gama (E_γ), associadas ao decaimento β^- do núcleo de ^{155}Sm ($T_{1/2}$ =22min), utilizando as técnicas de espectroscopia gama unidimensional e coincidência gama-gama, via análise bidimensional. Os valores obtidos pela análise unidimensional foram comparados com os obtidos pela análise bidimensional fornecendo subsídios para propor ao esquema de níveis excitados do ^{155}Eu um total de 80 transições, das quais 49 observadas pela primeira vez.

Keywords: gamma spectroscopy, beta decay, gamma energy, ^{155}Eu

I. INTRODUÇÃO

A motivação para realização destas medidas deve-se primordialmente a falta de dados referentes às transições gama que compõem o atual esquema de decaimento beta ^{155}Sm, que popula os estados excitados do ^{155}Eu. Uma pesquisa bibliográfica recente mostra que o estudo de maior relevância referente a este decaimento foi realizado em 1969 por Ungrin *et al.* [1] usando detetores de Ge(Li) e NaI(Tl). Alem disso, apenas dois trabalhos que estudam este núcleo através da técnica de correlação angular gama-gama contribuem com algum dado experimental como proposição de spin e paridade de níveis excitados. Estes trabalhos foram realizados na década de setenta, sendo o mais recente realizado em 1974, por Begzhanov *et al.* [2], utilizando detetores de Ge(li). Os estudos mais recentes envolvem reações nucleares, a saber: ^{152}Sm(t,α) [3], ^{153}Eu(t,p) [4] e ^{154}Sm(^{3}He,d) [5], que populam níveis com energia de excitação superior ao decaimento beta do ^{155}Sm. Portanto, apesar da contribuição de dados recentes, via reações nucleares, para a maioria dos níveis excitados do ^{155}Eu, não existem valores de spin e paridade definitivos ou propostos, principalmente na região de energia que envolve o decaimento beta do ^{155}Sm (< 1500keV). Não existe também medidas envolvendo as transições gama de intensidade relativa intermediárias ou fracas (entre 0,05% e 10%), que compõem a maior parte da desexcitação nuclear, onde a intensidade relativa é avaliada considerando-se a transição gama mais intensa do decaimento beta, como 100%. Desta forma, a determinação de parâmetros nucleares é de fundamental importância para elaboração de um esquema de níveis atualizado para o decaimento beta do ^{155}Sm.

II. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

As medidas de espectroscopia simples e de coincidência tem por objetivo atualizar as informações sobre o decaimento beta do núcleo de ^{155}Sm, uma vez que como já foi citado, os dados presentes na literatura foram obtidos com instrumentação de limitada precisão. Estas medidas consistem basicamente na aquisição de espectros unidimensionais e bidimensionais, respectivamente, visando determinar com precisão os valores de energia de transições gama.

Espectrômetros. O espectrômetro gama, montado no Laboratório de Estrutura Nuclear do IPEN, é composto por um detetor de HPGe de 190 cm^3 de volume e resolução de 1,98 keV para a energia de 1332 keV do ^{60}Co, um amplificador linear (ORTEC 671) operando em modo "inhibit", e um analisador multicanal (ORTEC-919) associado a um microcomputador PC para visualização e analise de dados.

O espectrômetro de coincidência, montado no Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP [6], é composto por uma mesa (base metálica) que suporta dois detetores de HPGe com volume de ~90cm^3 e resolução da ordem de 2,0 keV para a energia de 1333 keV. Colimadores de chumbo são associados aos detetores com a função de minimizar a probabilidade de um gama incidir em um detetor após ser espalhado pelo outro detetor. A posição angular escolhida para o par de detetores foi de 120 graus. A mesa permite que a fonte em estudo seja posicionada em seu centro geométrico, em um eixo acoplado a um motor que faz com a mesma gire com a freqüência de 5 rpm, evitando a influência de qualquer assimetria da fonte na medida. A eletrônica associada a cada detetor constituiu-se por um amplificador linear (ORTEC-572), um amplificador rápido (ORTEC-579), um discriminador de fração constante (ORTEC-584), o módulo multidetector [7], um conversor analógico digital (ORTEC- AD413A) e um conversor de diferença de tempo (LeCroy -2228). Os três últimos módulos operam em padrão CAMAC, e o restante em padrão NIM. O módulo multidetector grava os dados em formato fila, ou seja, evento por evento. Para cada evento, são registradas as informações de energia e tempo dos detetores participantes. O programa de aquisição gera arquivos distintos a cada 3Mb de dados acumulados. No presente estudo, cada fonte produzia em média 3 arquivos antes de sua atividade decair e ser substituída por outra fonte, sem que a aquisição fosse interrompida.

Fontes radioativas. As fontes radioativas de ^{155}Sm foram produzidas através da reação nuclear ^{154}Sm(n,γ)^{155}Sm. Aproximadamente 5mg de óxido de Samário enriquecido a ^{154}Sm em 98% (armazenado em frasco de polietileno), foram irradiados num fluxo de nêutrons térmicos de aproximadamente 10^{13} n/cm^{2}s, no reator IEA-R1m do IPEN, por um período de um minuto. Para as medidas de espectroscopia simples, foram realizadas 75 irradiações, sendo que em cada irradiação foram medidos 4 espectros de 22,5 minutos para eventual acompanhamento da meia-vida, totalizando ~137 horas de medida. Também foram obtidas medidas com fontes padrão para calibração em energia e em eficiência do sistema de aquisição. Para obtenção do espectro da radiação de fundo presente na medida, irradiou-se o frasco de polietileno (vazio) e procedeu-se a aquisição seguindo o mesmo procedimento experimental empregado nas medidas com as fontes de ^{155}Sm, para posterior correção. Para as medidas de coincidências foram realizadas 103 irradiações, que resultaram em aproximadamente 137 horas de medidas de coincidência $\gamma\gamma$.

A aquisição dos dados para cada fonte foi iniciada aproximadamente após 10 minutos de sua irradiação, com duração aproximada de 80 minutos.

III. ANÁLISE DE DADOS

Espectroscopia simples. A etapa inicial da análise de dados consistiu em relocar os espectros para uma única calibração em energia, pois alguns deles sofreram deslocamento em canais durante a aquisição. Para que esta correção não acarretasse perda de resolução em energia, ela foi baseada no método proposto por Helene et al. [8]. Após esta etapa, os espectros relocados foram somados, extraiu-se a contribuição de fundo e o espectro resultante foi submetido a análise espectroscópica, via programa IDF [9].

Espectroscopia de coincidência. Um pico bidimensional é formado pela composição dos fenômenos de detecção que ocorrem em ambos os detetores. O programa BIDIM [7] destina-se a visualização dos dados de medidas em coincidência e ajustes de picos bidimensionais. Para entender seu modo de processar os dados, consideremos inicialmente a análise dos fenômenos presentes em um pico unidimensional . Basicamente três fenômenos destacam-se: um fundo polinomial de grau N, um pico gaussiano posicionado em x_0 com amplitude A associado à absorção total do fóton via efeito fotoelétrico e um degrau a esquerda do pico gaussiano e que termina em x_0, associado à coleção incompleta de carga. A amplitude *D* do degrau, é geralmente escrita na forma $D = F.A$, ou seja, define-se a amplitude do degrau como uma fração (*F*) da amplitude do pico correspondente. Em um espectro bidimensional, estes fenômenos existem em ambos os detetores. Deste modo, a função a ser ajustada a uma região bidimensional é uma composição destes efeitos em ambos os detetores. No programa BIDIM, este ajuste é efetuado pelo método dos mínimos quadrados linearizado (conhecido como Método de Gauss) com o uso de formalismo matricial, que corresponde a se ajustar em um processo iterativo os desvios dos parâmetros em relação às estimativas atuais de cada um deles.

Os dados obtidos estão no modo fila, isto é, todas as coincidências observadas são registradas em um único arquivo na seguinte seqüência: energia registrada no primeiro detetor, energia registrada no segundo detetor, tempo registrado no primeiro detetor e tempo registrado no segundo detetor.

Os dados provenientes de cada detetor são histogramados em uma matriz de 256 colunas por 256 linhas e visualizados em um histograma bidimensional, onde cada um dos eixos (horizontal e vertical) corresponde à energia em cada um dos detetores, e as contagens em cada canal bidimensional são indicadas segundo um código de cores. Todos os parâmetros iniciais podem ser indicados pelo usuário, tais como: largura a meia altura, fator de degrau e posição dos picos.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A energia das transições gama identificadas pela analise unidimensional e bidimensional são apresentadas na Tabela 2. Os resultados são comparados aos dados da literatura [10] .

Os resultados obtidos propõem a existência de 80 transições gama, muitas observadas pela primeira vez, além da determinação da energia com melhor precisão na maioria dos casos.

TABELA 2. Energia das Transições Gama Pertencentes ao Decaimento Beta do ^{155}Sm.

Presente estudo	Firestone [10]
24,64(19)	25,69(6)
29,97(22)	30,5(5)
41,80(7)	
43,020(10)	
48,546(11)	
49,79(7)	
	53,1(4)
	61,55(6)
62,834(29)	63,1(5)
	64,5(5)
74,185(19)	
75,964(3)	
78,079(3)	78,66(7)
79,747(8)	80,0(5)
85,388(14)	84,1(5)
87,995(8)	
90,749(10)	90,1(5)
100,10(4)	
104.874(1)	104,320(5)
115,57(4)	
129,171(11)	
	138,30(15)
141, 352(2)	141,411(11)
153,703(24)	
166,82(14)	167,16(6)
168,49(10)	169,1(3)
	178,3(5)
185,221(6)	183,4(5)
	195,7(4)
202.025(35)	203,1(2)
	220,1(6)
	228,7(6)
	229(1)
244,056(1)	245,73(5)
267,698(13)	
274,783(19)	
	280 (1)
285,71(4)	287,1(4)
291,577(26)	
292,524(8)	
304,74(12)	307,3(3)
348,196(3)	
404,871(18)	
421,63(12)	
	426,2(2)
454,95(5)	
456,20(6)	
457,595(13)	
	460,80 (13)
476,84(6)	
503,151(21)	
504,466(7)	
	510,2(2)
516,619(15)	
	522,54(15)
	571,8(2)
575(1)	
575,805(3)	
600,678(35)	
601,691(10)	603,8(2)
623,59(12)	
	631,2(2)
	648,6(2)
655,73(5)	
656,752(38)	
	664,00(16)
668,54(37)	665(1)
	677,2(3)
	713,4(8)
716, 60(5)	
717,803(15)	
757,16(5)	
758,240(18)	758,0(15)
762,005(26)	
	768,4(4)
775,136(29)	
782,880(39)	
784,267(13)	
795,27(4)	
	818,1*
824,443(30)	
828,98(13)	830(20)
847,26(5)	
848,857(14)	
	861,1*
	880 (10)
897,420(36)	
898,825(9)	
	911*
919, 09(7)	
921,150(30)	923*
	932,9(4)
951,417(16)	
954,049(30)	
955,613(9)	
	997,9(4)
1019,22(5)	1018*
1103,178(30)	1002,7(3)

1104,614(11)	
1055,413(57)	1055*
1095,477(31)	1096*
1139,358(22)	1132*
1157,17(5)	1159,7 (3)
1173,22(23)	1174,5 (15)
1191, 041(37)	1197,7 (4)
1206,30 (8)	1207,8 (10)
1220,86(7)	1223,0 (3)

* sem avaliação da incerteza

Os estados excitados do núcleo de ^{155}Eu a partir do decaimento β^- do ^{155}Sm foram investigados utilizando as técnicas de espectroscopia-γ simples e em coincidência $\gamma\gamma$. Em função do uso de detetores de melhor resolução em energia e da alta estatística na medida de espectroscopia simples, foi possível a identificação de dubletos com precisão. Alem disso , utilizando o sistema multidetector [6] nas medida de coincidência, foi possível obter e analisar espectros bidimensionais que forneceram condições de identificar, e em alguns caso confirmar, vários mutipletos observados na medida de espectroscopia unidimensional, além de fornecerem relações que sugerem a proposição de novas transições γ no esquema de decaimento beta do Sm^{155}.

A análise das incertezas, em todas as etapas, foi obtida utilizando-se a metodologia de covariâncias, que pode ser considerada como uma forma completa de avaliar incertezas em dados experimentais, pois além da estimativa da incerteza total, tem-se informações sobre as correlações entre os erros de todos os parâmetros envolvidos.

Finalmente, pode-se concluir que os experimentos realizados mostram a necessidade de um estudo complementar, envolvendo as relações de coincidências entre as transições gama determinadas, para que seja possível posicioná-las na faixa de energia que abrange o decaimento beta do Sm^{155}, confirmando a proposição dessas transições γ no esquema de níveis em estudo, contribuindo para sua interpretação teórica.

REFERÊNCIAS

[1] Ungrin, J.; Sujkowski, Z.; Johns, M. W., **Decay of ^{155}Sm**, Nucl. Phys., A123, 1, 1969.

[2] Begzhanov, R.B.; Kobylov, O.S.; Sulaimonov , M.; Ilhadjanov, N.A. , **Study of excited states of some odd europium isotopes**, Proc. 24th Ann., Conf. Nucl. Spectrosc. Struct. At. Nuclei, Kharkov, p. 105 ,1974

[3] Zybert, L.; England, J. B. A.; Field, G. M.; Karban, O.; Zybert, R.; Becha , M.; Pinder, C. N.; Morrison, G. C.; **Deep Proton-Hole States in ^{147}Pr, ^{151}Pm And ^{155}Eu** , Nucl. Phys., A510, 441, 1990.

[4] Burke, D. G.; Flynn, E. R.; Sherman, J. D.; Sunier, J.W., **Studies of States in ^{153}Eu and ^{155}Eu With the (t,p) Reaction**, Nucl. Phys., A258, 118, 1976.

[5] Ungrin, J.; Burke, D. G.; Johns, M. W., **A Study of Levels in ^{153}Eu and ^{155}Eu by the (^{3}He,d) Reaction**, Nucl. Phys., A132, 322, 1969.

[6] BARG Fº.D.; NEVES R.C.; VANIN, V.R. **Isa-to-CAMAC Interface. Proceedings of the XX Brazilian Worshop on Nuclear Physics**, Guaratingueta S.P., 424-426, 1997.

[7] Guimarães Filho, Z. O., **Medidas Precisas de Energias de Transições Gama em Coincidência : Espectroscopia das Séries do ^{232}U e ^{233}U**., Dissertação de Mestrado, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 1998.

[8] Helene, O.; Moralles, M., **Comparison of two methods for relocation of multichannel spectra** Nucl. Instr. and Meth.,A 378, 124-626, 1996.

[9] Gouffon, P., **Manual do Programa Idefix**. São Paulo, Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear, 1982.

[10] Firestone, R. B., Shirley, V. S, **Table of Isotopes**, Wiley, New York, 1996.

ABSTRACT

In this work the excited levels of ^{155}Eu have been investigated by studying the gamma rays emitted following the beta decay of ^{155}Sm . Single and $\gamma\gamma$ coincidence spectra were measured and the results were compared. The energies of 80 gamma rays have been determined, 49 for the first time.