

NÍVEIS EXCITADOS DO NÚCLEO DE ^{139}La

Vânia Xavier de Oliveira, Cibele Bugno Zamboni, Ana Maria Graciano Figueiredo

Comissão Nacional de Energia Nuclear
IPEN / SP
Caixa postal 11049 - Pinheiros
05422-970 - São Paulo - Brasil
e-mail: vxolivei@net.ipen.br
e-mail: czamboni@net.ipen.br
e-mail: grafigue@ih0.ipen.br

RESUMO

O espectro de raios γ do núcleo ^{139}La foi investigado pelas técnicas de espectroscopia simples e de coincidências $\gamma\gamma$, utilizando-se fontes radioativas de ^{139}Ba ($T_{1/2}=83$ minutos). Foi determinada também a pureza química do composto de bário utilizado, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ por meio da técnica de análise por ativação com nêutrons. Os resultados obtidos por estas investigações sugerem a existência de quatro transições, observadas pela primeira vez, associadas ao esquema de níveis do núcleo de ^{139}La .

INTRODUÇÃO

O estudo dos níveis excitados do núcleo de ^{139}La , através de reações nucleares e decaimento radioativo, permite a compreensão de sua estrutura nuclear. Experimentos envolvendo partículas carregadas [1], espalhamento inelástico de nêutrons e excitação coulombiana [2,3] sugerem a existência de níveis excitados no ^{139}La abaixo de 2,0 MeV. Entretanto, alguns desses níveis não foram observados nos estudos envolvendo decaimento β^- do ^{139}Ba e EC do ^{139}Ce [4]. Como a desexcitação do ^{139}Ce ocorre somente pela energia de 166 keV, o estudo via decaimento beta é de fundamental importância para eliminar discrepâncias existentes no esquema de níveis do ^{139}La proposto pelos vários experimentos citados. Desta forma, este trabalho apresenta medidas de energia e intensidade relativa de transições- γ associadas ao decaimento β^- do ^{139}Ba . Paralelamente, foi realizado o experimento de análise por ativação com nêutrons instrumental, para a determinação da composição química da amostra de bário utilizada. Esta análise foi feita com o objetivo de identificar transições- γ provenientes de outros núclídeos também presentes na amostra.

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DE DADOS

Fontes Radioativas. As fontes de ^{139}Ba foram obtidas a partir da irradiação de 15mg de bário natural, na forma de $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, em um fluxo de nêutrons térmicos de 3×10^{12} n/cm².s por 15 minutos, no reator IEA-R1 do IPEN. Desta forma a produção de ^{139}Ba dava-se através da reação $^{138}\text{Ba}(n, \gamma)^{139}\text{Ba}$. Como no processo de irradiação também há a produção dos isótopos de meias-vidas curtas: $^{131\text{m}}\text{Ba}$ ($T_{1/2}=14,6$ minutos) e $^{137\text{m}}\text{Ba}$ ($T_{1/2}=2,6$ minutos), aguardava-se por um período de 50 minutos para início das medidas. Devido a presença do isótopo de meia-vida longa, ^{131}Ba ($T_{1/2}=11$ dias), as fontes foram contadas por um período de 4 horas havendo mínima interferência deste isótopo no espectro de raios- γ resultante.

Espectroscopia gama. O espectro de raios- γ foi investigado por dois espectrômetros independentes constituídos por detectores coaxiais de HPGe e Ge(Li) de 60cm³ e 35cm³ respectivamente. Ambos os espectrômetros foram montados no interior de uma capela de chumbo visando minimizar a incidência de radiação de fundo do laboratório. Um suporte de lucite, foi montado, circundando cada detector, a fim de

sustentar a fonte a uma distância de 20cm e garantir sua centralização. A cada detector foi associado um amplificador com saída para rejeição de empilhamento, sendo os espectros adquiridos em 4096 canais.

O espectro de raios- γ obtido com o espectrômetro de HPGe foi adquirido via controlador CAMAC, no Laboratório do Acelerador Linear (LAL) do IFUSP. Estes dados forneceram os valores de energia e intensidade das transições γ .

O espectrômetro de Ge(Li) montado no Laboratório de Estrutura Nuclear (LEN) do IPEN, foi utilizado para obtenção do espectro- γ na faixa de energia de 100keV a 1,0MeV, em função de sua boa eficiência neste range de energia. Nenhuma medida de intensidade foi obtida por este sistema e os dados referentes a energia foram, posteriormente, comparados ao do primeiro experimento (com HPGe) confirmando os valores de energia determinados.

As energias foram obtidas através da calibração dos detectores usando-se fontes padrão [5] e programas de ajustes estatísticos [6,7]. As intensidades relativas

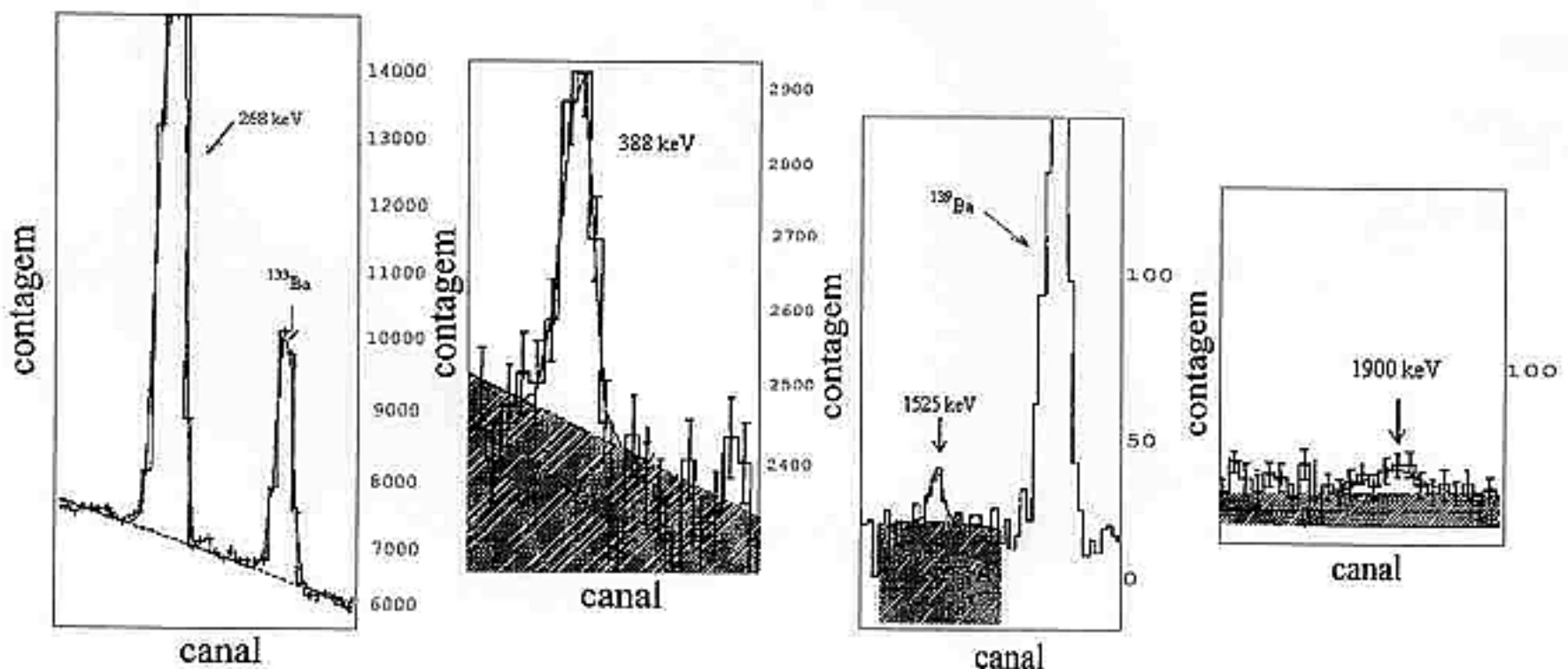
foram obtidas levando-se em conta a eficiência do detector de HPGe. Para este cálculo considerou-se a transição de 1420keV como 100%. Os dados de energia e intensidade obtidos são compatíveis com a compilação do NDS[4].

Foram identificadas 30 transições- γ sendo quatro observadas pela primeira vez e 26 que confirmam dados anteriores, apresentados na referência [8]. Na TABELA 1 são apresentados os dados de energia e intensidade referentes às quatro energias identificadas pela primeira vez.

TABELA 1. Energias e Intensidades das transições- γ observadas pela primeira vez.

ENERGIA (keV)	INTENSIDADE (%)
268,27 (7)	21,011(181)
388,60 (4)	0,413(2)
1524,65 (18)	0,0770 (5)
1900,33 (13)	0,0438 (7)

Figura 1. Espectros parciais referentes às transições- γ observadas pela primeira vez.



Os espectros parciais referentes às transições- γ observadas pela primeira vez são apresentados na Fig. 1 acima. Devido ao fato de que 99% da desintegração beta do ^{139}Ba ocorre diretamente para o estado fundamental e primeiro estado excitado (72% e 27% respectivamente) resta apenas ~1% para alimentar os demais níveis

excitados. Este fato conduziu trabalhos anteriores [9-12] ao uso de absorvedores, o que gera atenuação nos valores de intensidade. O presente estudo não fez uso de absorvedores e conseqüentemente obteve uma medida mais precisa dos valores de intensidade

Para que se possa fazer a apreciação dos resultados é apresentado na TABELA 2 a seguir um sumário das condições em que os trabalhos anteriores [9,10] foram realizados juntamente com a descrição das condições do presente estudo.

TABELA 2. Sumário das Condições em que os trabalhos anteriores [9,10] foram Realizados Juntamente com as Condições deste Trabalho.

	Presente Trabalho	Berzins e outros[10]	Hill e outros[9]
fonte e massa	Ba natural, fonte líquida; 15mg Ba(NO ₃) ₂	Ba natural, fonte líquida; 50mg Ba(NO ₃) ₂	¹³⁸ Ba 99,8%, fonte líquida
detector e resolução (keV)	HPGe 60cm ³ - 1,75keV Ge(Li) 35cm ³ - 2,1keV	Ge(Li) 45cm ³ - 2,6keV	Ge(Li) trapezoidal 40cm ³ - 2,9keV
absorvedor	-	5mm espessura -Pb-Cd	0,32cm Pb
número de canais	4096	1600	1200
tempo de contagem	80 horas	não fornece	não fornece

Coincidência γ - γ . Dois experimentos de coincidências foram realizados. No primeiro foi usado uma combinação de detectores de HPGe de 89cm³ e Ge(Li) de 50cm³. Esta medida foi realizada no LAL que permite a aquisição em modo biparamétrico. A resolução em tempo do sistema eletrônico "fast-slow" foi estimado em 11ns e o método de análise foi o mesmo empregado por Brown e outros [13].

O segundo experimento foi realizado no LEN usando a combinação de detectores de HPGe de 75cm³ e NaI(Tl) de 7,6cm x 7,6cm. Estas medidas foram obtidas usando sistema de coincidências rápidas e um analisador de altura de pulsos. A energia de 166keV foi observada no cintilador de NaI(Tl) enquanto a intensidade dos raios- γ de todo o espectro foi obtida pelo detector de HPGe.

Em ambos os experimentos os eixos de simetria dos detectores formavam ângulo de 130° sendo a fonte posicionada na intersecção dos eixos. Colimadores cônicos de chumbo envolviam os detectores com a finalidade de impedir que fótons espalhados num detector fossem detectados no outro provocando um evento de coincidência espúrio. Foi feita a correção de coincidências acidentais para cada experimento. Na TABELA 3 é apresentado um sumário das condições em que os trabalhos anteriores [9,10] foram realizados juntamente com a descrição das condições do presente estudo.

TABELA 3. Sumário das Condições em que os trabalhos anteriores de coincidência [9,10] foram Realizados Juntamente com as Condições deste Trabalho.

	Presente Trabalho	Berzins e outros[10]	Hill e outros[9]
detectores e resolução	1ª medida: HPGe (89cm ³) Ge(Li) 50cm ³ 2,0keV 2,2keV 2ª medida: HPGe (75cm ³) e NaI(Tl)	NaI(Tl) (3"x3") e Ge(Li) 45cm ³ 2,6keV	NaI(Tl) (3"x3") e Ge(Li) 32cm ³ para região de 100 a 1000keV e NaI(Tl) (3"x3") e Ge(Li) 45cm ³ para 1000 a 2000keV
resolução em tempo	11 ns (1ª medida)	180 ns	85 ns
número de canais	1ª medida: 4096 x 2048 2ª medida: 4096	800	800
janelas em energia (keV)	1ª medida: 5 janelas com Ge(Li) em 166, 268, 1090, 1254+1256, 1310. 2ª medida: 1 janela com NaI(Tl) em 165keV.	1 janela com detector de NaI(Tl) em 165keV	1 janela com detector NaI(Tl) em 165keV
ângulo entre detectores	130°	180°	180°
tempo de contagem	105 horas	80 horas	~34 horas

Na TABELA 4 são apresentados os resultados da medida de coincidência deste trabalho. Devido a baixa intensidade das transições- γ ($<10^{-3}\%$) os dados em alguns casos não são conclusivos.

TABELA 4 . Relações de coincidências observadas com a janela de 166keV.

E (keV)	coincidência com 165keV	E (keV)	coincidência com 165keV
165.96	não	1524.65	
268.27	provável	1536.02	não
388.60		1577.83	não
1053.83	sim	1594.95	sim
1090.71	sim	1600.38	sim
1215.31	sim	1682.81	não
1218.81	não	1690.51	sim
1254.36	sim	1754.68	sim
1256.66	não	1762.72	não
1310.37	sim	1766.00	não
1370.25	sim	1796.35	sim
1380.80	não	1900.33	
1392.17	sim	1920.21	
1420.19	não	2061.22	
1476.09	não		

Análise por Ativação. Esta análise foi feita com o objetivo de identificar e quantificar o composto químico de bário utilizado na produção de fontes radioativas de ^{139}Ba .

Quando uma amostra é irradiada em um fluxo conhecido de nêutrons, a atividade induzida A_i , pode ser expressa por:

$$A_i = \frac{z \phi \sigma N_{av} m f \left[1 - e^{-\left(0,693t_{irrad}/t_{1/2}\right)} \right]}{M}$$

Onde:

z = coeficiente de detecção (depende da natureza do instrumento de detecção, eficiência, geometria)

- ϕ = fluxo de nêutrons
- σ = seção de choque
- N_{av} = número de Avogrado
- m = massa do elemento
- f = abundância isotópica
- $t_{1/2}$ = meia-vida do isótopo
- t_{irrad} = tempo de irradiação
- M = massa atômica do elemento

A determinação qualitativa e quantitativa dos núclídeos formados é feita pela espectrometria de raios- γ , o que permite a realização de análises multielementares. Para tanto, foram realizadas irradiações com nêutrons, no reator IEA-R1 do IPEN, com alíquotas de 150mg de nitrato de bário embaladas em recipientes de alumínio (irradiações longas) ou polietileno (irradiações curtas). As alíquotas foram submetidas a períodos de irradiação de: 4 minutos, 20 minutos e 8 horas, o que possibilitou a determinação de radioisótopos de meias-vidas diferentes no composto analisado. Os espectros- γ gerados foram obtidos por um detector de HPGe de 30cm^3 , com resolução de 1,9keV, acoplado a um analisador multicanal e um microcomputador. A análise dos espectros foi efetuada por meio do programa VISPECT [14]. Os resultados obtidos são apresentados na TABELA 5 e discutidos a seguir.

Não foram observados picos além dos provenientes dos diferentes isótopos de bário nas irradiações por períodos de 20 minutos e 8 horas. Somente nos espectros obtidos no experimento em que a amostra foi irradiada por 4 minutos e medida após períodos de decaimento (entre final da irradiação e o início de contagem) de 5 e 20 minutos, foi observada a presença dos radioisótopos ^{24}Na , ^{28}Al e ^{56}Mn . Juntamente com a amostra, foram irradiados o material de referência W-1 (USGS) e uma alíquota de uma solução de concentração de Mn, para se realizar a análise quantitativa desses elementos. Os resultados encontram-se na TABELA 6.

TABELA 5. Radioisótopos Utilizados e suas Características Nucleares.

Elemento	Radioisótopo	Produção	Meia-Vida	Energia (keV)
Na	^{24}Na	$^{23}\text{Na}(n,\gamma)^{24}\text{Na}$	15 h	1368,4
Al	^{28}Al	$^{27}\text{Al}(n,\gamma)^{28}\text{Al}$	2,31 min	1778,9
Mn	^{56}Mn	$^{55}\text{Mn}(n,\gamma)^{56}\text{Mn}$	2,58 h	846,9

TABELA 6. Concentração dos elementos Na, Al, Mn no nitrato de bário utilizado.

Elemento	Concentração (em ppm)
Na	14 ± 4
Al	12 ± 2
Mn	$0,33 \pm 0,09$

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos pela técnica de análise por ativação, foi possível identificar a presença de transições- γ associadas ao decaimento β^- dos núcleos de ^{24}Na , ^{28}Al e ^{56}Mn . Esses dados juntamente com resultados obtidos pelas medidas de espectroscopia- γ do núcleo de ^{131}Ba , realizadas nas mesmas condições do presente experimento[15], sustentam a existência das novas transições associadas ao decaimento β^- do ^{139}Ba . Entretanto, devido à fraca alimentação beta ($<10^{-3}\%$)[4] dos níveis excitados, os dados de coincidências $\gamma\gamma$ não permitiram o posicionamento das energias de 268keV, 388keV, 1524keV e 1900keV no esquema de níveis do ^{139}La .

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos pesquisadores do Laboratório do Acelerador Linear da Universidade de São Paulo (LAL-IFUSP) pela valiosa cooperação durante a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] Wildenthal ,B.H., Newman, E. and Auble R.L.. **Study of the Level Structure of N=82 Nuclei via Proton-Transfer Reactions.** Phys. Lett 27B, 628; 1968.
- [2] Wilenzik ,R.M. and Palms ,J.M.. **γ -Ray Measurements from $\text{La}^{139}(\text{n},\text{n}'\gamma)$, Using a Ge(Li) Detector.** Bull. Am. Phys. Soc. 11, 102; 1966.
- [3] Abbondanno, U., Boitti, A., Demanins, F.. **A Study of the $^{139}\text{La}(\text{n},\text{n}'\gamma)^{139}\text{La}$ Reaction.** Il Nuovo Cim. 97, 5, 647; 1987.
- [4] Nuclear Data Sheets, 57 (1); 1989.

[5] International Atomic Energy Agency. **X-Ray and Gamma-Ray Standards for Detector Calibration,** Viena, September, 1991. (IAEA-TECDOC-619)

[6] Vanin, V.. **Manual do Programa Panoramix,** Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear; 1988.

[7] Gouffon, P.. **Manual do programa IDEFIX,** Universidade de São Paulo, Instituto de Física, Laboratório do Acelerador Linear; 1982.

[8] Oliveira, V.X., Zamboni, C.B., **Medidas de Espectroscopia Simples no Núcleo de ^{139}La ,** IV Encontro Anual de Iniciação Científica, 7-9 julho, Maringá-PR; 1995.

[9] Hill, J.C. and Wiedenbeck, M.L.. **Levels in The N=82 Nucleus ^{139}La Populated in ^{139}Ba Decay.** Nucl. Phys. A, 119, 53-64; 1968.

[10] Berzins, G., Bunker, M.E., Starner, J.W.. **The Decay Scheme of ^{139}Ba .** Nucl. Phys. A, 128, 294-304; 1969.

[11] Laird, R.E.. **Radioative Decay of ^{139}Ba .** Phys. Rev. C 17, 1948; 1978.

[12] Faller, S.H., Stone, C.A., Robertson, J.D., Chung, C., Aras, N.K., Waeters, W.B.. **Decay of 83-min ^{139}Ba to Levels of ^{139}La and The Decay of 18-min ^{141}Ba to Levels of ^{141}La .** Phys. Rev.C 34, 654-65; 1986.

[13] Brown, R.A., Roulston, K.I., Ewan, G.T., Andersson, G.I.. **Can.J. Phys** 47, 1017; 1969.

[14] Manual do Programa VISPECT. Comunicação Interna. Supervisão de Radioquímica. IPEN.

[15] Oliveira, V.X., Comunicação Interna, Supervisão de Física Nuclear, IPEN-SP; 1995.

ABSTRACT

The gamma ray spectrum of ^{139}La following the β decay of ^{139}Ba ($T_{1/2}=83\text{min}$) has been studied using the single and coincidence spectroscopic techniques. Neutron activation analysis was employed to determine the impurities in the chemical compound, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, used in the experiment. The energies and intensities of four γ -rays were observed for the first time in the decay of ^{139}Ba .