

CIBELE B. ZAMBONI, MANOEL T.F. DA CRUZ\*, ANDRÉ L. LAPOLLI, GARABED KENCHIAN\*, RODRIGO M. DE OLIVEIRA\*, EDUARDO LANDULFO, SONIA P. DE CA MARGO, JOSÉ A.G. DE MEDEIROS  
 INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES - CNEN/SP  
 \*UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - LABORATÓRIO ACELERADOR LINEAR - IFUSP

### RESUMO

O espectro de raios gama do  $^{139}\text{Ba}$  foi estudado através de espectroscopia simples e de coincidência, acompanhando-se o decaimento  $\beta^-$  do  $^{139}\text{Ba}$  (83 min). Cinco transições com energias de 268 KeV, 276 KeV, 388 KeV, 1524 KeV e 1900 KeV foram observadas pela primeira vez. Três transições com energias de 1043 KeV, 1517 KeV e 1894, anteriormente atribuídas a este decaimento, não foram detectadas.

### INTRODUÇÃO

A medida experimental de espectroscopia simples no núcleo de  $\text{Ba}^{139}$  ( $T_{1/2} = 83$  min) visa esclarecer a possível existência de níveis de energia, entre 200 KeV e 800 KeV, sugeridos em medidas com reações nucleares [1] e excitação Coulombiana [2], mas não observadas nos estudos que envolvem o decaimento beta [3,4,5,6,7].

Um levantamento bibliográfico criterioso mostrou que um grande número de trabalhos envolvendo reações nucleares tais como:  $(p,p'\gamma)$ ,  $(n,n'\gamma)$ ,  $(n,n')$ ,  $(\gamma,\gamma')$ ,  $(^3\text{He,d})$ ,  $(\alpha,\alpha')$ ,  $(\alpha,\alpha'\gamma)$  e  $(\text{N}^{14},\text{N}^{14}\gamma)$ , relacionadas na referência [1], foram realizadas para uma melhor definição da estrutura nuclear do núcleo de  $\text{Ba}^{139}$ , entre tanto o que se observa são esquemas de níveis bastante discrepantes.

Com o mesmo intuito, estudos envolvendo decaimento beta, também foram realizados. De modo geral, estes trabalhos dizem respeito a estudos parciais, isto é, limitados a uma determinada faixa de energia. Nestas medidas a incerteza maior fica no cálculo das intensidades (obtidas com absorvedores) além da indefinição de alguns níveis de energia. O estudo mais recente, referente a este decaimento foi realizado por Faller e outros [7]. Trata-se de um estudo parcial (análise feita para energias entre 200 a 1200 KeV) e com exceção da prova da existência da energia de 1043 KeV, sugerida em medidas de espectroscopia simples, o esquema de decaimento  $\beta^-$  do  $\text{Ba}^{139}$  é exatamente o mesmo sugerido por Berzins e outros [5] em 1969, o qual é considerado até o momento como sendo o mais completo.

Com base nisto, este trabalho apresenta resultados de um novo estudo envolvendo o decaimento  $\beta^-$  do  $\text{Ba}^{139}$  através de medidas de espectroscopia simples e de coincidência  $\gamma-\gamma$ .

### PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL E RESULTADOS

Fontes de  $\text{Ba}^{139}$ . A fonte radioativa foi obtida através da irradiação de 30 mg de nitrato de Bário, em um fluxo de nêutrons térmicos de  $3 \times 10^{12}$  n/cm<sup>2</sup>.s, no reator IEA-R1 do IPEN por 15 minutos, resultando numa fonte de  $\text{Ba}^{139}$  através da reação  $^{138}\text{Ba}(n,\gamma)^{139}\text{Ba}$ . Após a irradiação a amostra era dissolvida em algumas gotas de água, resultando numa fonte líquida a qual era acondicionada em porta amostra de lucite com dimensão de 5 mm comprimento x 3 mm diâmetro. Após a irradiação, aguardava-se por um período de ~ 30 minutos para o decaimento dos isótopos de meia-vida curta:  $\text{Ba}^{131\text{m}}$  ( $T_{1/2} = 14,6$  min) e  $\text{Ba}^{137\text{m}}$  ( $T_{1/2} = 2,6$  min), só então tinha início a coleta de dados.

Cada amostra foi utilizada por 4 horas pois, após

este período a interferência devido aos isótopos de meia-vida mais longa, principalmente  $\text{Ba}^{131}$  ( $T_{1/2} = 11$  dias), tornava-se significativa. No total foram feitas 19 fontes de  $\text{Ba}^{139}$ , resultando num tempo de aquisição de ~ 80 hs, gerando estatística significativamente maior do que as medidas realizadas anteriormente.

Espectroscopia Simples. O espectro soma dos raios gama observados no decaimento do  $\text{Ba}^{139}$  foi obtido utilizando-se o espectrômetro- $\gamma$  constituído de um detector vertical de HPGe de 60 cm<sup>3</sup>, montado no interior de uma capela de chumbo, visando reduzir a incidência de radiação de fundo do laboratório. Um suporte circular de lucite foi montado sobre o detector com duas finalidades: de sustentar a fonte a uma distância de 20 cm e de garantir sua centralização no espectrômetro- $\gamma$ . Deste modo não havia material de número atômico elevado entre a fonte e o detector minimizando efeitos de espalhamento e absorção no sistema de detecção.

Estas medidas foram realizadas no Laboratório do Acelerador Linear (IFUSP), o qual é equipado com um sistema de detecção biparamétrico associado ao controlador CAMAC e ao computador PDP 11/45, o que possibilita a análise numérica dos espectros em energia através de programas instalados no PDP. [8,9]

A eletrônica associada é a convencional em energia. O esquema de montagem deste sistema é apresentado na figura 1. Este sistema consiste de um detector de Germanio hiperpuro de 60 cm<sup>3</sup> e um amplificador ORTEC - modelo 572, com saída para rejeição de empilhamento. Os pulsos amplificados são convertidos em 4096 canais por um conversor analógico-digital (ADC) Northern-621 em anticoincidência com os sinais de empilhamento do amplificador. O ADC é conectado ao MBD, periférico do computador PDP 11/45, através de um sistema CAMAC, onde são construídos os espectros. O emulador, um programa residente no PDP, mantém a "conversa" entre ADC  $\leftrightarrow$  CAMAC  $\leftrightarrow$  MBD  $\leftrightarrow$  PDP.

A resolução obtida com este sistema foi de 1,75 KeV, na energia de 1332 KeV do  $^{60}\text{Co}$ .

Tabela 1. Energias e Intensidades das transições- $\gamma$  que seguem o decaimento do  $Ba^{139}$ .

Energia (KeV)	Intensidade		
	Neste trabalho sem absorvedor	Ref. [4] Pb(32mm)	Ref. [5] Pb-Cd(5mm)
166	66021(7736)	6320	7300
268	144,575(702)	—	—
276	11,239(193)	—	—
388	1,606(157)	—	—
1053	0,337( 48)	0,33(10)	0,12
1090	4,556( 99)	6,2(4)	3,1
1215	1,482( 57)	1,35(35)	1,2
1219	2,123( 69)	1,9(4)	1,5
1254	13,080(163)	15,5(6)	10
1256	1,613( 77)	<1,2	1,7
1310	6,093( 84)	6,1(3)	5,4
1370	1,027( 89)	1,13(11)	1,1
1381	0,103( 24)	0,11(6)	0,03
1392	0,007( 3)	0,06(4)	0,03
1420	100	100	100
1476	0,630( 27)	0,63(5)	0,61
1517	—	<0,01	0,02
1524	0,071( 29)	—	—
1536	0,887( 35)	0,81(6)	1,0
1558	0,103( 14)	0,078(30)	0,09
1578	0,217( 18)	0,20(5)	0,2
1595	0,773( 40)	0,79(6)	0,93
1601	0,749( 31)	<0,06	0,08
1683	0,979( 36)	0,98(5)	1,2
1691	0,062( 14)	—	0,09
1754	0,034( 11)	0,033(17)	0,02
1761	0,025( 10)	<0,009	0,02
1767	0,052( 16)	0,066(25)	0,1
1797	0,031( 12)	—	0,03
1894	—	0,008(6)	0,02
1900	0,031( 18)	—	—
1920	0,046( 24)	0,030(14)	0,04
2060	0,014( 10)	0,019(9)	0,05

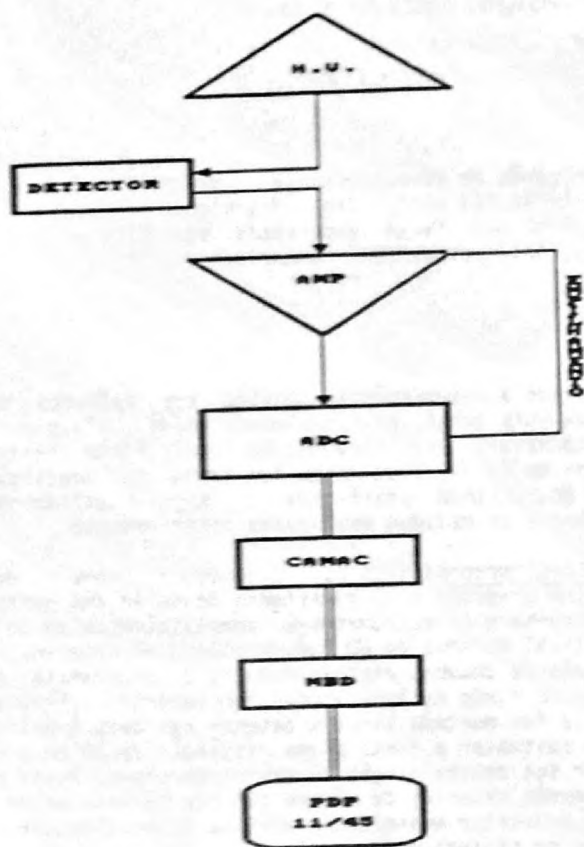


Fig. 1 Eletrônica de detecção do experimento de espectroscopia

Para calibração de energia e eficiência do detector foram utilizadas fontes de  $^{133}Ba$ ,  $^{60}Co$ ,  $^{22}Na$ ,  $^{137}Cs$  e  $^{152}Eu$ , juntamente com a fonte de  $^{139}Ba$ .

As intensidades foram obtidas através da correção das áreas dos fotopicos em função da eficiência do detector.

De posse dos dados de calibração, da área dos fotopicos dos espectros- $\gamma$  somados e com o auxílio de dados da literatura, identificava-se as transições- $\gamma$  observadas.

A tabela 1 apresenta as energias e respectivas intensidades das transições que seguem o decaimento  $\beta^-$  do  $Ba^{139}$  observadas neste trabalho. Para efeito de comparação são também apresentados os resultados de outros trabalhos [4,5].

De acordo com esta tabela pode-se observar a presença de 5 novas transições correspondentes as energias de: 268 KeV, 276 KeV, 388 KeV, 1524 KeV e 1900 KeV. O critério para atribuí-las a este decaimento foram:

- i) apresentaram meia-vida compatível com o decaimento do  $Ba^{139}$
- ii) não foram produzidas por efeitos secundários de detecção, como: simples ou duplo escape, borda Compton, soma ou empilhamento
- iii) não provieram da radiação de fundo ou de contaminantes da amostra

Com relação as transições de 1043 KeV, 1517 KeV e 1894 KeV, anteriormente atribuídas a este decaimento [1], não foram detectadas.

Coincidência  $\gamma-\gamma$ . Estas medidas foram realizadas utilizando-se um detector de Ge(Li) de 50 cm<sup>3</sup> e um detector de HPGe de 89 cm<sup>3</sup>. Os eixos de simetria dos cristais detectores formavam um ângulo de 130° sendo que a fonte era posicionada na intersecção dos eixos. Colimadores de chumbo envolviam os detectores com a finalidade de impedir que fótons espalhados num detector fossem de

tectados no outro, provocando um evento de coincidência espúria.

A resolução em tempo, do pico de coincidências para o  $^{60}\text{Co}$ , foi estimada em 11 ns.

A aquisição de dados em modo bidimensional utilizou 4096 canais para o detector de  $89\text{ cm}^3$  e 2048 canais para o outro de  $50\text{ cm}^3$ . A determinação da taxa de coincidências acidentais foi efetuada juntamente com a medida de coincidências totais.

A análise dos dados bidimensionais foi efetuada com a utilização do programa FATIAS [8] que permite a escolha de janelas em energias, em qualquer quantidade de canais para cada um dos detectores, projetando no eixo do outro detector os eventos de coincidências  $\gamma$ - $\gamma$ , ali contidos. Cada projeção consiste de um espectro unidimensional que é analisado via programa IDEFIX [9].

Foram adquiridos 35 espectros bidimensionais, cada um com 3 horas de tempo de contagem. A janela de coincidência do espectro de tempo continha eventos na faixa de energia entre 100 KeV e 1700 KeV. Ficaram sem análise, portanto, os espectros de eventos coincidentes com as transições- $\gamma$  de energia acima de 1700 KeV.

Nesta medida foi feita a análise de uma única janela, correspondente a energia de 166 KeV, a qual é coincidente com as demais transições [1]. O resultado dessas medidas confirmam as relações de coincidências já estabelecidas, exceto para as transições de 1043 KeV e 1517 KeV, e sugerem a coincidência das transições de 268 KeV, 276 KeV e 388 KeV com o raio  $\gamma$  de 166 KeV.

Na figura 2 é apresentado o esquema de níveis do  $^{139}\text{La}$  sugerido neste trabalho, juntamente com os dados mais recentes, de estudos referentes a decaimento beta [5,7] e reações nucleares [1], para comparação.

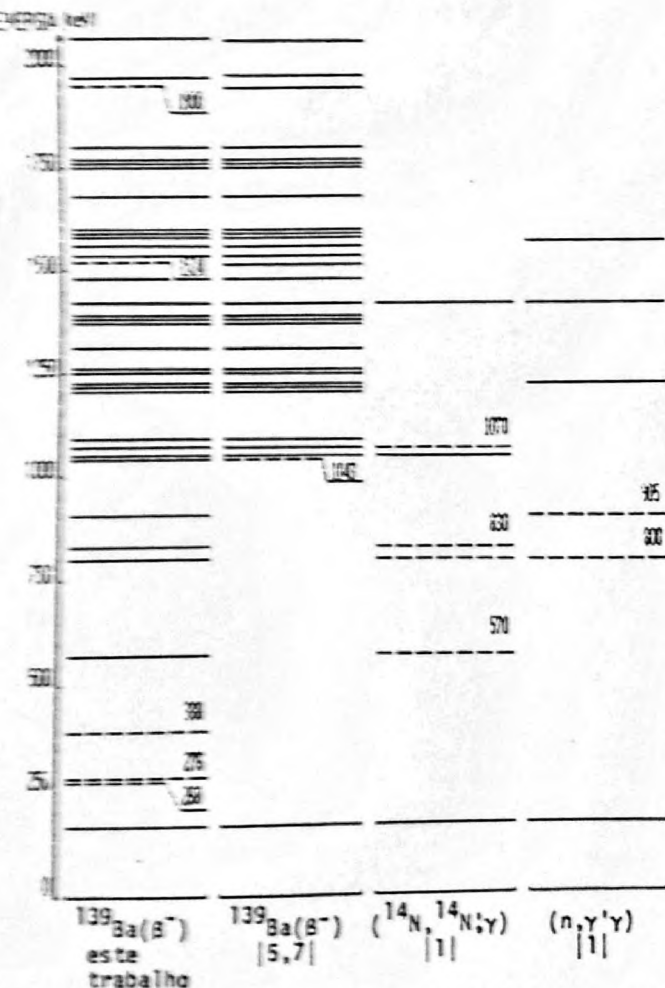


Fig. 2 Comparação do esquema de níveis obtido neste trabalho com estudos recentes.

Um estudo recente envolvendo a reação  $(n, n'\gamma)$  [10], sugere a existência de 6 novas transições: 174 KeV, 307 KeV, 362 KeV, 403 KeV, 477 KeV e 580 KeV, entretanto sua colocação no esquema de níveis é incompatível com as regras que regem o decaimento beta.

REFERÊNCIAS

- [1] Burrows, T.W., "Nuclear Data Sheets for A = 139", N.D.S. Vol. 57, 383-398, 1989.
- [2] Kulkarni, R.G. and Andhradev, K., "Investigation of level properties of  $^{139}\text{La}$ ", Can. J. Phys. 57, 1940-1948, 1979.
- [3] Kelly, W.H., Beard, G.B., Chaffee, W.B. and Conser, J.M., "The 85 minutes activity of  $\text{Ba}^{139}$ ", Nucl. Phys. 19, 79-83, 1960.
- [4] Hill, J.C. and Wiedenbeck, M.L., "Levels in the N = 82 nucleus  $^{139}\text{La}$  populated in  $^{139}\text{Ba}$  decay", Nucl. Phys. A119, 53-64, 1968.
- [5] Berzins, G., Bunker, M.E. and Stamer, J.W., "The decay scheme of  $\text{Ba}^{139}$ ", Nucl. Phys. A128, 294-304, 1969.
- [6] Laird, R.E. "Radioactive decay of  $^{139}\text{Ba}$ ", Phys. Rev. C17, 1498-1500, 1978.
- [7] Faller, S.H., Stone, C.A., Robertson, J.D., Chung, C., Aras, N.K. and Walters, W.B., "Decay of 83-min  $^{139}\text{Ba}$  to levels of  $^{139}\text{La}$  and the decay of 18-min  $^{141}\text{Ba}$  to levels of  $^{141}\text{La}$ ", Phys. Rev. C34, 654-665, 1986.
- [8] Cohenca, J.M., "Manual dos Programas BIDI e FATIAS", Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP, São Paulo, SP, Brasil, 1983.
- [9] Gouffon, P., "Manual do Programa IDEFIX", Laboratório do Acelerador Linear do IFUSP, São Paulo, Brasil, 1983.
- [10] Abbondando, A., Boiti, A. and Demanens F., "A study of the  $^{139}\text{La}(n, n'\gamma)^{139}\text{La}$  reaction", Nuo. Cim. 97 n° 5, 647-661, 1987.

ABSTRACT

The  $\gamma$  ray spectrum of the  $^{139}\text{La}$  was studied either by simple and coincidence spectroscopic method following the  $^{139}\text{Ba}$  (83 min)  $\beta^-$  decay. Five energy transitions with 268 KeV, 276 KeV, 388 KeV, 1524 KeV and 1900 KeV were observed by the first time. Three other transitions with 1043 KeV, 1517 KeV and 1894 KeV proposed by earlier investigators, were not observed.