

G. Kenchian, I. D. G. Leljbman, M. T. F. Cruz

Resumo

A correlação angular direcional gama-gama entre transições coincidentes dos níveis do ^{100}Ru , alimentados pelo decaimento β^+ e por captura de elétrons do ^{100}Rh foi medida, utilizando-se um espectrômetro de correlação angular Ge(Li)-Ge(Li) automático e de grande precisão mecânica.

A fonte de ^{100}Rh foi produzida na reação $^{100}\text{Ru}(p,n)^{100}\text{Rh}$ utilizando o feixe de prótons do Acelerador Ciclotron do IPEN.

Foram medidas 30 cascatas simples e 11 cascatas triplas produzindo como resultado a assinalação do spin dos estados de 1865 keV, 1881 keV, 2099 keV, 2167 keV, 2241 keV, 2517 keV, e 3070 keV e a determinação dos valores de mistura multipolar de 21 transições sendo que 12 delas pela primeira vez. Foi medido ainda o valor da razão de mistura multipolar $Q^2(E0/E2)$ da transição $2_2^+ \rightarrow 2_1^+$.

Abstract

The gamma-gamma directional angular correlations of coincident transitions have been measured in ^{100}Ru nuclide, following the β^+ and electron capture of ^{100}Rh using an angular correlation automatic spectrometer with two Ge(Li) detectors.

The ^{100}Rh source has been produced with $^{100}\text{Ru}(p,n)^{100}\text{Rh}$ reaction, using the proton beam of the Ciclotron Acelerador and enriched ^{100}Ru isotope.

We have measured 30 direct cascades and 11 triple cascades. The spin and the parity of the 1865 keV, 1881 keV, 2099 keV, 2167 keV, 2241 keV, 2517 keV, and 3070 keV levels have been established and multipole mixing ratios (δ) for 21 transitions have been obtained. 12 for the first time. Multipole mixing ratios $Q^2(E0/E2)$ has been also measured in the $2_2^+ \rightarrow 2_1^+$ transition.

INTRODUÇÃO

A correlação angular é uma das principais técnicas de espectroscopia na determinação de observáveis nucleares. São estes observáveis: o momento angular (spin) e paridade ligados aos estados nucleares e a característica multipolar da radiação emitida na transição, bem como, a contribuição de cada componente multipolar da transição (razão de mistura multipolar δ).

A técnica consiste na observação de dois gamas de uma cascata (fig.1) com um certo ângulo θ entre os detectores (fig.2). A observação do primeiro gama (γ_1), em uma determinada direção, seleciona um subconjunto de núcleos no estado de spin I com uma orientação definida. Um segundo gama (γ_2), em sucessão rápida, apresentará uma correlação angular com relação ao primeiro. A função de correlação angular entre estes gamas, está bem estabelecida no trabalho de Steffen¹⁾ e tem a forma:

$$W(\theta) = \sum_{\lambda} B_{\lambda}(\gamma_1) A_{\lambda}(\gamma_2) P_{\lambda}(\cos(\theta))$$

onde: $A_{\lambda}(\gamma_2)$ é o coeficiente de distribuição direcional do γ_2

$B_{\lambda}(\gamma_1)$ é o coeficiente de orientação direcional do γ_1

λ é par e $\lambda_{\max} = \min(2I, 2L, 2L)$.

Os parâmetros A_{λ} e B_{λ} são função do spin dos níveis envolvidos e da razão de mistura multipolar (δ) das transições envolvidos na cascata. A definição do sinal de δ usada neste trabalho é a usual descrita no trabalho de Krane e Steffen²⁾.

O estudo do ¹⁰⁰Ru foi motivado pela pequena quantidade de informação sobre mistura multipolar das transições gama bem como incertezas e divergências na assinalação de spin e paridade de alguns estados excitados, apresentados em trabalhos anteriores. Este trabalho está, ainda, inserido em uma sistemática de estudos Grupo de Espectroscopia Nuclear do Laboratório do Acelerador Linear (GEN-LAL) na região de massa $A \approx 100$.

Foram realizadas medidas de correlação angular gama-gama de uma série de cascatas com intensidade maior que 0,5%, pertencentes

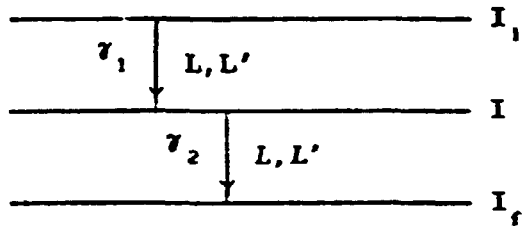


Fig.1. Cascata direta gama-gama

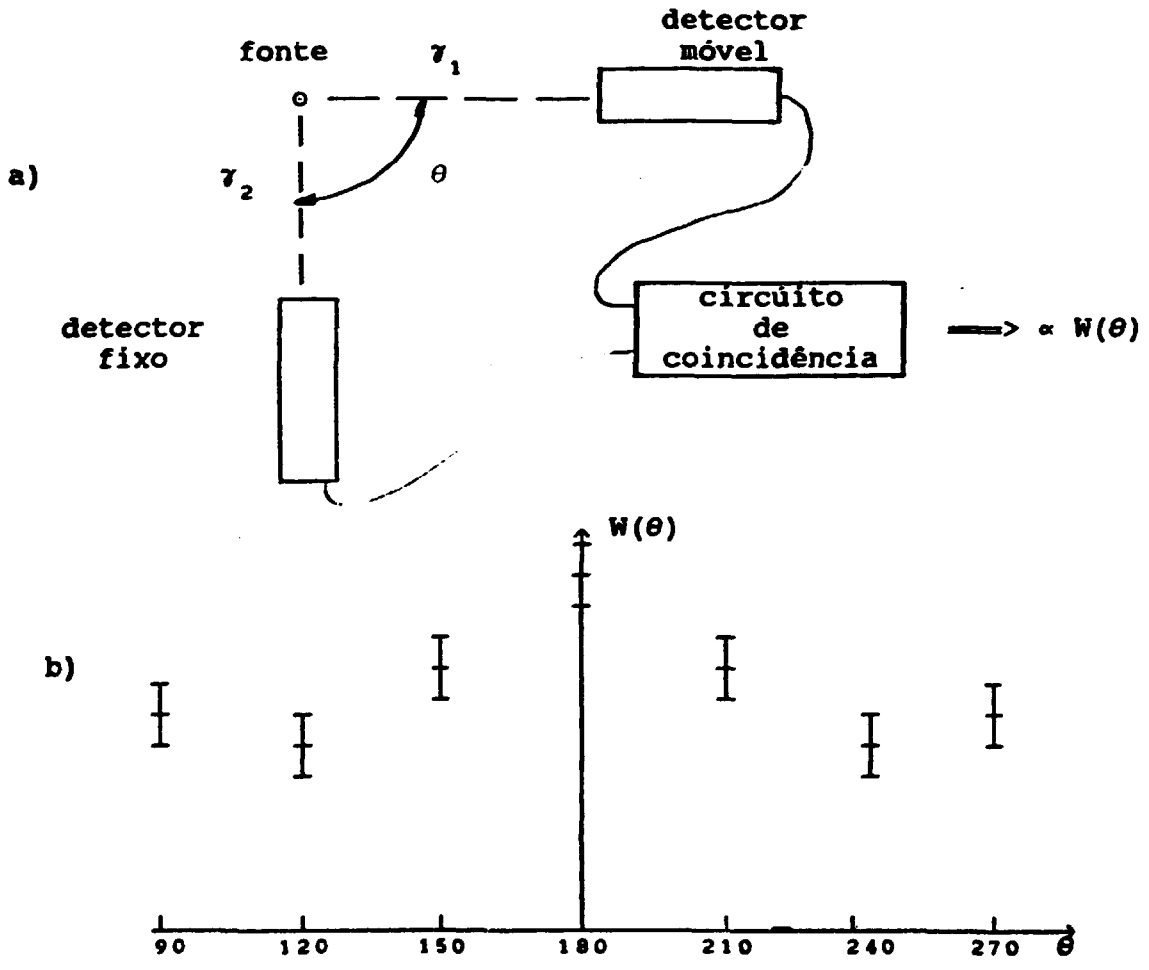


Fig.2. a) Arranjo básico do experimento de correlação angular. b) Resultado típico.

aos estados excitados do ^{100}Ru , alimentados pelo decaimento por β^+ e por captura de elétrons do ^{100}Rh . Foram ainda realizadas medidas de correlação angular múltipla e determinação da razão de mistura multipolar $Q^2(E0/E2)$ através de medidas de cascatas indiretas. Estas medidas visaram a confirmação e eliminação de dúvidas com respeito ao spin de alguns níveis e a determinação das misturas multipolares de algumas transições.

Equipamento Utilizado

Foi utilizado no experimento um espectrômetro de correlação angular automático com dois detectores de Ge(Li) de alta resolução em energia e de grande precisão mecânica. A mudança do ângulo entre os detectores era comandada por um microcomputador acoplado a um motor de passo ligado a mesa móvel do espectrômetro. A eletrônica de coincidência utilizada foi a convencional (com uma parte lenta para o sinal de energia e uma parte rápida para a marcação de tempo). O sistema de aquisição biparamétrico acoplado ao computador PDP11/84, instalado no LAL, permite a aquisição biparamétrica (energia do detector 1 e energia do detector 2) das contagens de coincidências totais, simultaneamente com as contagens dos eventos acidentais.

Análise de Dados

Para a análise dos dados foram realizadas correções de efeitos indesejados como correção do ângulo sólido dos detectores, correção das contagens acidentais, correções devido ao patamar Compton e correção para o decaimento da fonte.

Com a possibilidade de se realizar a aquisição em modo biparamétrico onde todas as coincidências detectadas são armazenadas, a tarefa de janelamento de energias para a definição das cascatas de interesse passa a ser digital. Esta tarefa foi

realizada pelo programa FATIAS³⁾ instalado no computador PDP 11/84 que a partir dos eventos armazenados, monta os espectros de coincidência para cada ângulo. O ajuste dos picos do espectro de coincidência foi realizado pelo programa IDEFIX¹⁰⁾.

Ajuste da função de correlação angular

A função de correlação angular foi ajustada pelo método dos mínimos quadrados, tomando o valor da mistura multipolar de uma das transições como parâmetro do ajuste. Assim χ^2 foi minimizado em função do parâmetro δ_γ , onde

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^n \left\{ \frac{W_{\text{teo}}(\theta_j; \delta) - W_{\text{exp}}(\theta_j)}{\sigma(\theta_j)} \right\}^2$$

O programa CORREL realizou o ajuste da função de correlação angular levando em conta as informações sobre a função de eficiência dos detectores na correção do ângulo sólido dos detectores, obtida experimentalmente. Este programa é a conclusão do método desenvolvido por Procida⁴⁾ para correção experimental de ângulo sólido.

Resultados obtidos

A tab.1 apresenta os valores de mistura multipolar das transições, propostos por este trabalho. Nos casos de valores obtidos em mais de uma cascata, o valor médio é o apresentado. A fig.3 apresenta o esquema de níveis simplificado proposto por este trabalho. O valor da razão de mistura multipolar $Q^2(E0/E2) = 0,043(36)$ da transição de 822 keV foi medida pela primeira vez e o resultado é apresentado na tab.2.

energia (keV)	spin dos níveis	multipola- ridade	razão de mistura multipolar	resultados de outros trabalhos	
				autor	δ
302	$2^- - 3^-$	M1, E2	2,7(9) 0,16(10)		
370	$2^- - 2^+$	E1, M2	-1,3(13)		
378	$0^+ - 2^+$	E2			
446	$2^- - 2^-$	M1, E2	+0,11(3)	a)	4,5(5)
519	$3^+ - 2^+$	M1, E2	0,01(9) 4,3-1;3		
540	$2^+ - 0^+$	E2			
588	$2^- - 3^+$	E1, M2	-0,03(3)		
590	$0^+ - 2^+$	E2			
687	$4^+ - 2^+$	E2			
748	$2^- - 3^-$	M1, E2	-0,51(12)		
817	$2^- - 2^+$	E1, M2	0,7(6)		
822	$2^+ - 2^+$	M1, E2	3,70(41)	a) b) c) d) e)	3,5(4) 3,5-0;1;3 5,4-1;1;3 >2,8 3,8(4)
1034	$2^- - 3^+$	E1, M2	-0,11(6)		
1155	$2^+ - 2^+$	M1, E2	0,8-0;1;3		
1107	$2^- - 2^+$	E1, M2	-0,016(22)	b) c)	0,06(5) 0,1(1)
1201	$0^+ - 2^+$	E2			
1326	$2^+ - 2^+$	M1, E2	-1,6-0;1;3		
1342	$3^+ - 2^+$	M1, E2	6,8-1;3	b) c)	0,22-0;1;3 0,53-0;1;3
1362	$2^+ - 0^+$	E2			
1512	$0^+ - 2^+$	E2			
1553	$2^- - 2^+$	E1, M2	-0,003(20)	b) c)	0,03(3) 0,00(5)

continua

a) Babenco⁵⁾ b) Koike⁶⁾ c) Kawakame⁷⁾ d) Berzins⁸⁾
e) Media proposta por Lange⁹⁾

Tab.1 Valores médios de razão de mistura multipolar das várias transições proposto por este trabalho e por trabalhos anteriores

continuação

energia (keV)	spin dos níveis	multipola- ridade	razão de mistura multipolar	resultados de outros trabalhos	
				autor	δ
1560	2 ⁻ 2 ⁻	M1,E2	-0,72-0,32	c)	0,13(5)
1627	3 ⁻ 2 ⁻	E1,M2	0,09(6)		
1701	1 ⁺ 2 ⁻	M1,E2	-6,3 ^{+3,9} _{-2,9}		
1929	2 ⁻ 2 ⁻	E1,M2	0,07(2)		
1977	2 ⁺ 2 ⁻	M1,E2	1,3 ^{+1,8} _{-0,8}		
2376	2 ⁻ 2 ⁻	E1,M2	-0,037(16)		
2530	2 ⁽⁻⁾ 2 ⁻	-	-,14(6)		

a) Babenco⁵⁾ b) Koike⁶⁾ c) Kawakame⁷⁾ d) Berzins⁸⁾

Tab.1 Valores médios de razão de mistura multipolar das várias transições proposto por este trabalho e por trabalhos anteriores

in- dice	casca (MeV)	seqüência de spins	mistura multipolar $Q^2(E0/E2)$
1.24	1107- 822- 540	2(0)2(Q)2(0)0	0,066(61)
1.25	1553- 822- 540	2(0)2(Q)2(0)0	0,031(43)
média			0,043(36)

Tab.2 Resultados da medida de $Q^2(E0/E2)$ da transição 822 keV

Ainda como resultados obtivemos:

-A constatação dos spins e paridades bem estabelecidos dos estados de 540 keV, 1130 keV, 1226 keV, 1362 keV, 2469 keV e 2915 keV que serviram também como referência nas medidas efetuadas.

-A assinalação do spin e paridade igual a 2⁺ para o estado de 1865 keV que apresentava valor duvidoso (1,2)⁺.

-A assinalação do spin e paridade igual a 3⁺ para o estado de 1881 keV que apresentava valor duvidoso (3,4)⁺.

-A assinalação do spin e paridade igual a 2^+ para o estado de 2099 keV que apresentava valor duvidoso (2^-).

-A assinalação do spin e paridade igual a 3^- para o estado de 2167 keV que apresentava valor duvidoso (2^-).

-A assinalação do spin e paridade igual a 1^+ para o estado de 2241 keV, assinalação esta feita pela primeira vez neste trabalho.

-A confirmação do spin e paridade igual a 2^+ para o estado de 2517 keV que apresentava sua assinalação duvidosa.

-A confirmação do spin e paridade igual a 2^- para o estado de 3070 keV que apresentava sua assinalação duvidosa.

-A medida da razão de mistura multipolar da transição de 822 keV $\delta(E2/M1)=3.70(41)$ compatíveis com valores anteriormente medidos e com o valor médio proposto por Lange⁹⁾.

-A medida da razão de mistura multipolar da transição de 1342 keV $\delta(E2/M1)=6.8^{+1.8}_-1.0$, valor este bastante diferente dos obtidos em trabalhos anteriores^{6,7,8)}. Esta diferença foi justificada levando se em conta que, nos trabalhos anteriores foram utilizados detectores de NaI(Tl) que não conseguem resolver, satisfatoriamente, o duplete 1325-1342 keV e a presença de um pico na região de energia de 1354 keV proveniente do escape duplo da transição de 2376 keV.

VII. Conclusão

A utilização do espectrômetro automático de correlação angular com dois detectores de Ge(Li) associado a uma técnica sofisticada e completa de redução e análise de dados, se mostrou de grande valia na determinação de valores de spin dos estados nucleares excitados do ¹⁰⁰Ru, particularmente levando-se em conta a grande complexidade encontrada no esquema de desintegração do ¹⁰⁰Rh. Os valores de razão de mistura multipolar de uma série de transições puderam ser medidos, alguns confirmando valores já conhecidos e outros pela primeira vez.

Referências

- 1) R.M.Steffen, Proc. Conf. Angular Correlation in Nuclear Disintegration, (1970), Delft, Holanda. H.van Krugten e B.van Nooijen eds., Rotterdam Univ. Press, (1971).
- 2) K.S.Krane e R.M.Steffen, Phys. Rev. C4(1971)1419.
- 3) J.M.Cohenca, Manual do Programa FATIAS, Lal-IFUSP, 1983.
- 4) Procida, V.L.C., Dissertação de Mestrado, IFUSP, 1990.
- 5) V.V.Babenco, I.N.Vishnevskii, V.A.Zheltonozhskii, V.C.Svyato e V.V.Trishin, Izv. Akad. Nauk SSSR, 42(1978)93.
- 6) M.Koike, K. Hisataque, N. Ono e K.Takahashi, Nucl. Phys. 54(1964)129.
- 7) H. Kawakami e K. Hisatake, J. Phys. Soc. Japan 24(1968)614.
- 8) G. Berzins, M.E.Bunker e J.W.Staner, Phys.Rev. 187(1989)1618.
- 9) J.Lange e J.H.Hamilton, Rev. Mod. Phys, 54 (1982) 119.
- 10) P. Gouffon, Manual do Programa IDEFIX, LAL-IFUSP, 1982.
- 11) C.M.Lederer e V.S.Shirley eds., Table of Isotopes, 7ed. John Wiley and Sons, Inc., 1978.