

MEDIDA DE CORRELAÇÃO ANGULAR DIRECIONAL γ - γ PARA
TRANSIÇÕES NO NÚCLEO ^{140}Ce

Professores Responsáveis

Qibela Bugno ZAMBONI, André Luis LAPOLLI

Participantes:

Maria Cecília da Silva FIGUEIRA, Maria Lucia YONEAMA,
Johnny Ferraz DIAS, José Agostinho Gonçalves de MEDEIROS

Resumo

A correlação angular direcional das transições gama no núcleo de ^{140}Ce foram medidas a partir do decaimento β^- do ^{140}La , com $T_{1/2} = 40,9$ hs, utilizando um espectrômetro gama constituído por dois detectores de germânio. As medidas foram realizadas para 8 cascatas gama e a razão de mistura multipolar, δ , para a maioria das transições gama foram extraídas dos presentes resultados.

γ - γ DIRECTIONAL CORRELATIONS MEASUREMENTS FOR
TRANSITIONS IN ^{140}Ce

Abstract

The directional correlations of coincident gamma transitions have been measured in ^{140}Ce following the β^- decay of ^{140}La , with $T_{1/2} = 40,9$ hs, using a spectrometer consisting of two Ge detectors. The measurements were carried out for 8 gamma cascades and the multipole mixing ratios, δ , for the majority gamma transitions were extracted from the present results.

INTRODUÇÃO

A determinação experimental de certos parâmetros dos estados excitados de um núcleo, tais como: energia, spin, paridade, momentos nucleares e meia-vida, são de fundamental importância no teste de modelos para obtenção de informações sobre estrutura nuclear. Em particular, para uma cascata γ - γ , os spins dos níveis e a razão de mistura multipolar das transições gama podem ser obtidas pela utilização da técnica de correlação angular direcional^{1,2}. Basicamente, esta técnica consiste na medida da taxa de coincidência de raios gama provenientes de um mesmo núcleo, isto é de uma cascata γ - γ em função da direção em que são emitidos.

Este trabalho tem como objetivo principal o conhecimento da técnica de correlação angular direcional e para este propósito foram feitas medidas de correlação angular direcional no núcleo de ¹⁴⁰Ce. Os dados obtidos permitiram a avaliação da sequência de spins correta referentes a dez cascatas estudadas bem como o cálculo da razão de mistura multipolar das transições gama envolvidas no estudo.

PRINCIPIOS GERAIS DE CORRELAÇÃO ANGULAR γ - γ

Estudos relacionados com a probabilidade de emissão de fótons, por núcleos radioativos mostram que esta depende do ângulo entre o spin nuclear e a direção de emissão. Devido a orientação ao acaso dos spins nucleares na amostra radioativa, os raios gama são emitidos isotropicamente conseqüentemente, para a obtenção de um conjunto de núcleos com orientação específica dos spins, é necessário criar-se o padrão anisotrópico na amostra.

Uma das maneiras consiste na seleção de núcleos com spins alinhados, obtidos através da emissão de duas radiações gama sucessivas γ_1 e γ_2 . A observação de γ_1 em uma direção fixa, seleciona um conjunto de núcleos com direção de spin especificado, isto significa que a detecção do primeiro gama em uma direção fixa corresponde a selecionar núcleos com spin alinhado. O segundo gama emitido em sucessão, γ_2 , mostra então uma correlação angular definitiva em relação a γ_1 .

Para que a correlação angular anisotrópica seja observada é necessário que o spin do estado

intermediário (I') permaneça alinhado até a emissão de γ s. Isso requer que a vida média do estado intermediário seja pequena ($\tau \leq 10^{-10}$ seg) e ou que a forma física da amostra seja tal que não hajam campos extra nucleares perturbando a orientação do spin intermediário da cascata. Nestas condições, a correlação é denominada correlação angular direcional não perturbada e permite a obtenção de dados que fornecem informações sobre spins dos níveis nucleares e multipolaridades das transições gama envolvidas.

A função correlação angular direcional que descreve a dependência angular das coincidências γ - γ é dada por⁸:

$$W(\theta) = \sum_k A_{kk} P_k \cos(\theta), \text{ com } k \text{ par} \quad (1)$$

onde:

A_{kk} são os coeficientes de correlação angular

$P_k \cos(\theta)$ o polinômio de Legendre

Em geral, $k_{\max} = 4$, pois as multipolaridades das transições gama (L,L+1) são na maioria das vezes, do tipo dipolar ou quadrupolar. Desta forma a equação de $W(\theta)$ restringe-se a:

$$W(\theta) = A_{00} + A_{22} P_2 \cos(\theta) + A_{44} P_4 \cos(\theta) \quad (2)$$

É comum normalizar-se esta função em relação a A_{00} .

Os coeficientes A_{kk} dependem dos spins dos níveis e das multipolaridades das transições gama. São descritos como o produto de dois fatores, em que cada um depende, somente, de uma das transições:

$$A_{kk} = A_k(\gamma_1) A_k(\gamma_2) \quad (3)$$

onde

$$A_k(\gamma) = \frac{F_k(I' I L L) + 2 \delta F_k(I' I L L+1) + \delta^2 F_k(I' I L+1 L+1)}{1 + \delta^2}$$

Os coeficientes F_k dizem respeito a adição vetorial dos momentos angulares. Podem ser calculados, e encontram-se tabelados na referência 4.

O parâmetro δ , por sua vez, representa a razão de mistura multipolar para cada transição gama. Como, em geral, somente L e $L+1$ são componentes multipolares predominantes, a interpretação física de δ pode ser expressa por:

$$\delta^2 = \frac{\text{intensidade da transição com multipolaridade } L+1}{\text{intensidade da transição com multipolaridade } L}$$

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para a realização das medidas de correlação angular das cascatas $\gamma\text{-}\gamma$ do núcleo de ^{140}Ce utilizou-se fontes radioativas de ^{140}La obtidas pela reação $^{139}\text{La}(n,\gamma)^{140}\text{La}$. Aproximadamente 10 mg de óxido de lantânio foi irradiado em um fluxo de nêutrons térmicos de $10^{13}\text{ n/cm}^2\text{ s}$, no Reator IEA-R1, por um período de 4 horas. O ^{140}La , assim obtido, foi dissolvido em HNO_3 concentrado, resultando numa fonte líquida. Parte desta amostra era transferida para um porta amostra de lucite (5 mm x 3 mm de diâmetro) e colocada no centro geométrico da mesa do espectrômetro onde eram efetuadas as medidas.

Foram utilizadas fontes líquidas para minimizar qualquer efeito de atenuação nas correlações angulares e também para facilitar o controle de atividade inicial de cada amostra. Este controle era feito por meio do acréscimo de gotas da solução ativa sendo estabelecida uma atividade inicial de $\approx 10\ \mu\text{Ci}$.

O espectrômetro- γ empregado era constituído por dois detetores de Germânio. Um detetor fixo (HPGe) e um movel (Ge(Li)) de 89 cm², e 48 cm³ de volume, respectivamente. As coincidências γ - γ foram registradas usando a eletrônica convencional e um analisador de altura de pulso de 4096 canais. A janela em energia, no detetor de 89 cm² foi colocada no fotopico de 1596 KeV, enquanto o outro detetor foi utilizado para medir os espectros de coincidências.

O número total de coincidências verdadeiras para cada cascata γ - γ estudada foi determinado calculando-se a área do fotopico correspondente e corrigindo-se para as coincidências acidentais e espalhamento Compton. Estas contribuições foram determinadas separadamente. Um atraso de 1 μ s nos pulsos de um dos detetores, antes de chegar à unidade de coincidência forneceu a contribuição de acidentais. A correção de Compton determinada a partir de uma janela adjacente a do fotopico selecionado, foi desprezível.

RESULTADOS

A tabela I mostra as várias cascatas γ - γ estudadas e o valor experimental dos coeficientes A_{22} e A_{44} obtidos neste estudo.

Os valores experimentais de A_{kk} foram obtidos através de um ajuste de mínimos quadrados da função $W(\theta)$, dada pela equação (2). Este ajuste é feito com o auxílio de um programa de computador, onde os erros estatísticos são calculados com base em propagação de erros. Os A_{kk} , assim obtidos, não podem ser comparados com os valores teóricos sem que sejam feitas as correções devido aos efeitos de geometria finita dos detetores. Tais correções são dadas por fatores $Q_k(\gamma)$ que estão tabelados na referência 5 para o detetor de Ge(Li) e que são calculados através do programa Qcal, descrito na referência 6, para o detetor HPGe. Os valores de A_{kk} para as cascatas medidas por Saxena e Sharma⁷ foram incluídos nesta tabela para comparação.

A razão de mistura multipolar das transições- γ juntamente com a sequência de spin consistente com os dados de correlação angular, de

propriedades do decaimento e resultado de outros estudos são apresentados na tabela II. A razão de mistura multipolar foi determinada de maneira usual através do programa de ajuste χ^2 x δ , descrito em detalhes na referência 8, fornecendo o melhor ajuste entre a sequência de spins apropriada e a razão de mistura multipolar procurada por meio do valor mínimo de χ^2 .

Tabela I - Coeficientes de correlação angular

| Cascata- γ (keV) | A_{22} | A_{44} |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| 487-1597 | 0.114 ± 0.016 | -0.034 ± 0.026 |
| | 0.098 ± 0.003^a | -0.021 ± 0.006^a |
| 752-1597 | -0.081 ± 0.059 | -0.042 ± 0.092 |
| | -0.030 ± 0.036^a | 0.029 ± 0.064^a |
| 816-1597 | -0.099 ± 0.027 | 0.093 ± 0.041 |
| | -0.097 ± 0.006^a | 0.009 ± 0.011^a |
| 868-1597 | -0.025 ± 0.055 | 0.107 ± 0.086 |
| | -0.075 ± 0.023^a | -0.058 ± 0.042^a |
| 919-1597 | 0.290 ± 0.070 | -0.140 ± 0.109 |
| | 0.132 ± 0.080^a | -0.015 ± 0.120^a |
| 925-1597 | 0.240 ± 0.049 | -0.040 ± 0.076 |
| | 0.337 ± 0.045^a | 0.007 ± 0.070^a |
| 329-(487)-1597 | -0.157 ± 0.038 | 0.053 ± 0.056 |
| | -0.110 ± 0.005^a | -0.041 ± 0.008^a |
| 432-(487)-1597 | 0.404 ± 0.087 | 0.147 ± 0.142 |
| | 0.240 ± 0.026^a | 0.023 ± 0.045^a |

^aDados retirados da Referência 7.

Tabela II - Razão de Mistura Multipolar

| Cascata- γ (keV) | sequencia de spins | D E L T A |
|----------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 487-1597 | 4 - 2 - 0 | 0 |
| 752-1597 | 2 - 2 - 0 | 0.43 ± 0.06 |
| | | 0.30 ± 0.07^a 0.02 |
| 816-1597 | 3 - 2 - 0 | -0.02 ± 0.03 |
| | | -0.04 ± 0.01^a |
| 868-1597 | 3 - 2 - 0 | 0.07 ± 0.03 |
| | | 0.25 ± 0.02^a |
| 919-1597 | 3 - 2 - 0 | 1.03 ± 0.40 0.54 |
| | | -0.08 ± 0.06^a 0.02 |
| | 4 - 2 - 0 | 0.75 ± 0.34 0.54 |
| | | 0.06 ± 0.09^a |
| 925-1597 | 2 - 2 - 0 | 0.04 ± 0.04 |
| | | -0.15 ± 0.07^a |
| 329-(487)-1597 | 3 - 4 - 2 - 0 | 0.05 ± 0.07 |
| | | -0.02 ± 0.01^a |
| 432-(487)-1597 | 3 - 4 - 2 - 0 | -1.14 ± 0.34 0.56 |
| | | -0.55 ± 0.10^a |
| | 4 - 4 - 2 - 0 | -0.36 ± 0.30 0.38 |
| | | -0.50 ± 0.10^a 0.07 |

^aDados retirados da Referência 7.

REFERENCIAS

- 01 - ROSE, H.J. & BRINK, D.M. Angular distributions of gamma rays in terms of phase-defined reduced matrix elements. Rev. Mod. Phys., 39(2):306-47, 1967.
- 02 - FRAUENFELDER, H. & STEFFEN, R.M. Angular distribution of nuclear radiation: (A) Angular correlation. In: SIEGBAHN., ed. Alpha beta and gamma-ray spectroscopy. Amsterdam, North-Holland, 1965.V.2,p.997- 1198.
- 03 - STEFFEN, R.M. & ALDER, K. Angular distribution and correlation of gamma-ray. In: HAMILTON, W.D., ed. The electromagnetic interaction in nuclear spectroscopy. Amsterdam, North-Holland, 1975. p. 505-82.
- 04 - FERENTZ, M. & ROSENZWEIG, N. Table of angular correlation coefficients. In: SIEGBAHN, K., ed. Alpha, beta and gamma-ray spectroscopy. Amsterdam, North-Holland, 1965. V.2, p.1687-90.
- 05 - CAMP, D.O. & VAN LEHN, A.L. Finite solid-angle corrections for Ge(Li) detectors. Nucl. Instrum. Method., 76:192-240, 1969
- 06 - RIBAS, R. São Paulo, Univ. São Paulo, Instituto de Física. Comunicação pessoal, 1984.

07 - SAXENA, R.N. & SHARMA, H.D. Directional Correlation of the Gamma Transitions in ^{140}Ce . Phys. Rev C7, 395-402, 1972.

08 - SOUSA, M.O.M.D. Correlação angular gama-gama para transições nos núcleos de Te^{127} e Te^{129} . São Paulo, 1984, (Tese de doutoramento, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).