

# Medida de Vidas Médias dos Estados Nucleares do Isótopo $^{136}\text{Pr}$ Através da Técnica RDDS

Antonio Vitor Grossi Bassi<sup>1</sup>, Prof. Dr. Luiz Guilherme Regis Emediato<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Centro Universitário da FEI

antoniovitor.gb@gmail.com / prelemediato@fei.edu.br

**Resumo:** O projeto visa estudar as transições gama com finalidade de determinar os tempos de vida médios pertencentes ao radionuclídeo praseodímio-136, através da técnica *Recoil Distance Doppler Shift* (RDDS), que é uma das mais utilizadas na obtenção dos tempos de vida médios de estados nucleares excitados de fração de picosegundos a nanosegundos. Os dados foram obtidos através da análise espectroscópica das transições gama utilizando *softwares* especializados.

## 1. Introdução

A estrutura nuclear pode ser compreendida através de diversos modelos teóricos que se adequam apropriadamente para determinadas regiões de massa atômica e a vida média é um parâmetro importante para se inferir sobre esses modelos.

Para mensurarmos as vidas médias nucleares optamos pelo método RDDS que consiste em uma análise dos espectros de recuo da radiação  $\gamma$ , emitidos por um radionuclídeo produzido através de uma reação nuclear.

Foi estudada a reação nuclear que produz o praseodímio-136 com dados brutos coletados anteriormente, contendo rica informação de transições gama dos principais canais de reação.

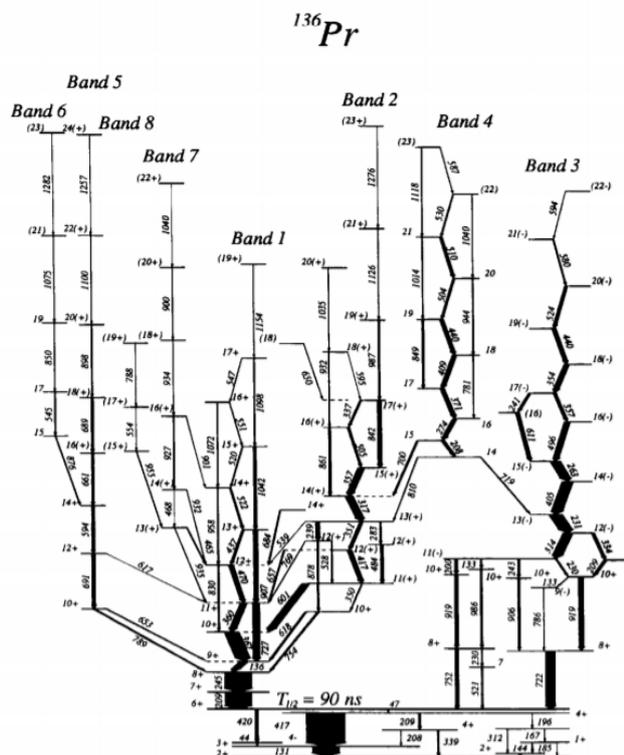
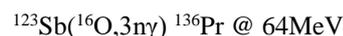


Figura 1 - Visão completa do espectro de bandas energéticas do  $^{136}\text{Pr}$  [1].

## 2. Metodologia

As propriedades de um núcleo tais como fatores giromagnéticos, probabilidades de transição  $\gamma$  e deformação nuclear  $\beta$  estão diretamente vinculadas com os tempos de vida média dos níveis de energia e, portanto, são de grande importância no âmbito da física nuclear para se compreender a estrutura dos núcleos. As medições de vidas médias avaliam o tempo de decaimento do estado excitado do núcleo e por esta razão a ordem de grandeza deste tempo é um fator determinante no método utilizado. As estimativas de Weisskopf para uma região de massa  $A=130$ , indicam que as vidas médias sejam da ordem de picosegundos.

Durante o experimento, um núcleo excitado de praseodímio-136 é produzido através de uma reação de fusão-evaporação dada pela seguinte reação:



O núcleo gerado recua no vácuo uma distância regulada em fração de microns antes de colidir com um anteparo móvel (*stopper*). Durante o processo, raios- $\gamma$  provenientes dos decaimentos dos estados nucleares são emitidos durante o voo de recuo do resíduo.

Os raios emitidos em voo sofrem um deslocamento Doppler, o que produz uma variação de energia  $\Delta E$  dada pela equação  $\Delta E = E_0 \beta \cos(\theta)$ , onde  $E_0$  é a parcela de energia emitida após a colisão,  $\theta$  é o ângulo de detecção em relação a direção de recuo e  $\beta$ , neste caso, trata-se da velocidade de recuo da partícula relativa à velocidade da luz. O valor de  $\beta$  neste experimento é de 0,66%. A reação produz o espectro de bandas da figura 1 cujas bandas 1 e 3 são de interesse e alimentam o estado isomérico de 90ns de spin e paridade 6+.

A figura a seguir ilustra o esquema da técnica RDDS:

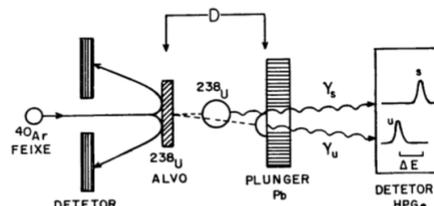


Figura 2 - Diagrama ilustrando a técnica RDDS.

A regulação da distância de recuo da partícula é feita através de um transdutor de tempo *plunger* [2], que conta um motor de passos acoplado à um eixo telescópico de resolução 0,1 $\mu\text{m}$ /passo. As detecções das radiações  $\gamma$  são feitas por um detector de germânio HPGGe de 22% de eficiência e resolução de 2 keV.

Com os espectros obtidos experimentalmente, se dá início à primeira análise no software *Display, Analysis and Manipulation Module* [3] (DAMM) aonde integramos as áreas de cada pico das transições de interesse, desta forma calculando as respectivas intensidades.

Com os dados de saída fornecidos pelo DAMM, constrói-se um gráfico de decaimento das intensidades de radiação normalizadas em função da distância de recuo. Para a normalização utilizamos as relações:

$$Ru = \frac{I_0}{I_s + I_0} (1); \quad Rs = \frac{I_s}{I_s + I_0} (2)$$

onde  $I_0$  é a intensidade do pico que não sofreu efeito Doppler e  $I_s$  a intensidade do pico alargado pelo efeito Doppler. A conversão da distância que o núcleo percorre em tempo depende da velocidade relativística de recuo  $\beta$ . Cada micrometro corresponde a  $0,5ps @ \beta = 0,66\%$  e o decaimento estatístico é dado pela exponencial negativa:

$$\ln(Ru) = -\lambda t (3)$$

E a vida média é dada por:  $\tau = \frac{1}{\lambda}$

- (1) Ru: Intensidade normalizada *unshifted*.
- (2) Rs: Intensidade normalizada *shifted*.
- (3)  $\lambda$ : Taxa de transição do estado excitado.

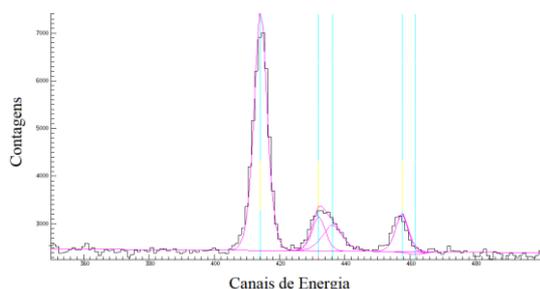


Figura 3 – Integração de espectro feita pelo software DAMM na distância de 30,4  $\mu\text{m}$ .

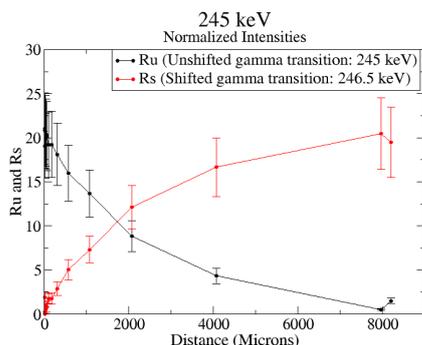


Figura 4 – Gráfico das intensidades normalizadas.

Com as curvas de decaimento extraídas, os dados resultantes são analisados pelo código LIFETIME [5] para o cálculo da vida média. O software executa um ajuste de mínimos quadrados sobre os dados extraídos pelo DAMM levando em consideração o esquema de decaimento global modelado a partir do diagrama de bandas energéticas da figura 1 e com base nas equações

de Bateman [5]. O programa leva em conta os efeitos de perturbação sobre as curvas medidas, como a geometria do detector, freamento no anteparo, eficiência do detector, coeficiente de conversão interna e perda do alinhamento em voo. [6]

### 3. Discussão dos Resultados

Esquema de Decaimento  
Praseodímio - 136  
Banda 1 - Rotacional

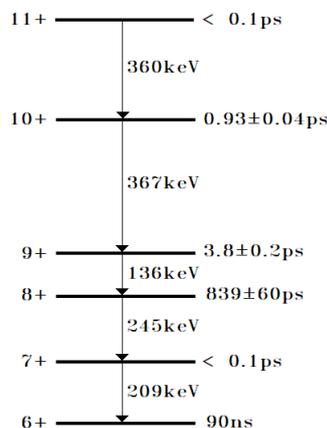


Figura 6 - Esquema de decaimento para a banda principal do  $^{136}\text{Pr}$ .

Após as análises no LIFETIME foram determinados os tempos de vida médios para a banda rotacional do espectro (banda 1 da figura 1). A figura 6 ilustra o esquema de decaimento da banda com os tempos de vida média  $\tau$  de cada nível.

### 4. Conclusões

As vidas médias obtidas são as primeiras medidas na literatura para uma banda rotacional de um núcleo ímpar-ímpar dada a dificuldade experimental e a complexidade do espectro devido as duas partículas de valência (próton e nêutron). A partir das vidas médias obtidas podemos calcular as taxas de transição reduzidas e inferir a deformação nuclear.

### 5. Referências

- [1] C. M. Petrache et al., Evolution from spherical to various deformed shapes in the odd-odd  $^{136}\text{Pr}$  nucleus, *Nuclear Physics A* 603 (1996) 50-76.
- [2] L.G.R. Emediato – Projeto Plunger – Medida de Meias-Vidas de Estados Nucleares Excitados, FAPESP (1988).
- [3] W.T. Milner – UPAK - DAMM, STOPX, EVAPOR, Oak Ridge National Laboratory-ORNL 1994.
- [4] Semidecoupled band structure in odd-odd  $^{134}\text{La}$  and  $^{136}\text{Pr}$  J.R.B Oliveira, L.G.R. Emediato, et al. *Phys. Rev. C* 45, 2740 (1992)
- [5] J.C. Wells, M.P. Fewell & N.R. Johnson – LIFETIME, A Computer Program for Analyzing Doppler-Shift Recoil-Distance Nuclear Lifetime Data, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-9105, (1985).
- [6] L.G.R. Emediato, Tese de Doutorado, Vidas Médias em  $^{133}\text{Ce}$  e  $^{136}\text{Pr}$ , Universidade de São Paulo (1996).

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 08/18 a 09/19.