

# Medida de Vidas Médias de Estados Nucleares Excitados Através da Técnica RDDS

Ricardo Di Curzio Lera<sup>1</sup>, Prof. Dr. Luiz Guilherme Regis Emediato<sup>2</sup>

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

ricardodclera@mail.com / prelemediato@fei.edu.br

**Resumo:** Este projeto visa estudar e demonstrar um dos métodos mais utilizados de medição dos tempos de vida médios de estados nucleares excitados, parâmetro fundamental para o estudo da física nuclear.

Tais medições se darão através da análise dos espectros doppler produzidos pelo isótopo a ser estudado, praseodímio-136, utilizando-se diferentes softwares especializados.

## 1. Introdução

A estrutura nuclear é explicada por uma diversidade de modelos teóricos que se adequam relativamente bem para determinadas regiões de massa atômica.

Um dos parâmetros importantes para se avaliar estes modelos é a deformação nuclear  $\beta$  cuja medida está diretamente relacionada com os tempos de vidas médios dos estados nucleares excitados.

Para a medição destas vidas médias nucleares utilizaremos a técnica de medida de distância de recuo e efeito Doppler RDDS – *Recoil Distance Doppler Shift Method* [1]. Esta técnica consiste na análise dos espectros de radiação  $\gamma$  provenientes de um resíduo excitado no processo de fusão-evaporação.

Será estudada a reação nuclear com dados brutos já coletados que contém rica informação de transições gama dos principais canais de reação, algumas delas ainda sem identificação.

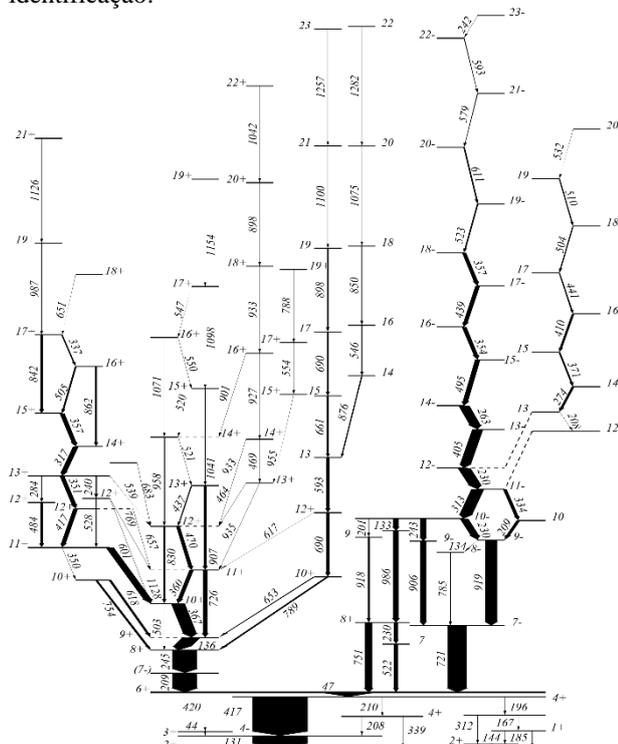
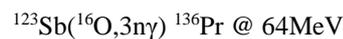


Figura 1 – Espectro de bandas energéticas do praseodímio-136 [6]

## 2. Metodologia

Durante o experimento, um resíduo excitado de praseodímio-136 é gerado pela reação nuclear:



Este resíduo recua uma distância predeterminada antes de colidir com um anteparo móvel. São produzidas emissões de radiação  $\gamma$  antes e após a colisão da partícula. A excitação produz um espectro gama de acordo com o esquema de níveis da Figura 1.

O raio  $\gamma$  emitido em voo pelo núcleo de recuo sofre um deslocamento Doppler produzindo uma variação de energia  $\Delta E$  dada por  $\Delta E = E_0\beta \cos \theta$ , onde  $\theta$  é o ângulo de detecção em relação à direção de recuo e  $\beta$  é a velocidade de recuo relativa à velocidade da luz. O valor de  $\beta$  neste experimento é 1,33%.

A Figura 2 exhibe o esquema do efeito Doppler para uma reação particular de excitação coulombiana do urânio-238. Contudo, ela serve para ilustrar as mudanças das intensidades dos gamas do núcleo de recuo emitido em voo e o núcleo em repouso emitido no plunger de chumbo. A distância é proporcional ao tempo com resolução de 0,25ps/ $\mu\text{m}$ .

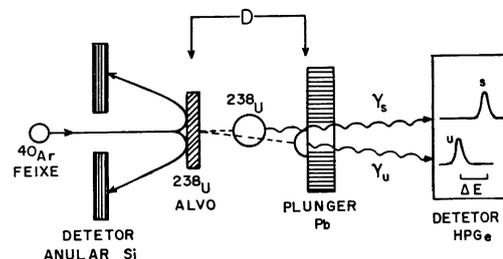


Figura 2 – Esquema demonstrando o efeito Doppler de uma emissão gama.

O controle da distância é feito por um motor de passos acoplado a um eixo telescópico micrométrico com resolução de 0,1 $\mu\text{m}$  por passo e controlado à distância por um microcomputador (vide Figura 3). Já a detecção de raios gama é feita por meio de um detector de alta pureza HPGe de 22% de eficiência, com resolução de 2keV.

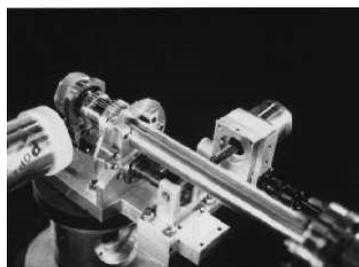


Figura 3 – Transdutor de tempo “Plunger”

A análise dos dados é primeiramente executada por meio de um software denominado DAMM [2]. Este programa permite integrar as áreas dos espectros de radiação  $\gamma$ , obtendo-se assim a intensidade dos mesmos (vide Figura 4).

Com esses dados, é montado um gráfico da intensidade da radiação em função da distância percorrida. Para a normalização dos picos foram utilizadas as relações:

$$Ru = \frac{Au}{Au + As} ; Rs = \frac{As}{Au + As}$$

Onde Au é a área do pico sem efeito doppler e As é a área do pico com efeito doppler. Esta análise é feita pelo código ROOT [3].

A conversão da distância medida em tempo depende da velocidade de recuo do núcleo residual. Cada micrometro corresponde a 0,25ps. Sabendo-se que o decaimento estatístico depende de uma exponencial negativa, temos:

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

Onde a vida média é dada por:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$

Finalmente, é utilizado o programa LIFETIME [4] para o cálculo das vidas médias. Este software executa um ajuste de mínimos quadrados sobre os dados experimentais considerando o esquema global de decaimento modelado a partir do esquema de níveis da Figura 1, utilizando as equações de Bateman [5]. O programa leva em conta efeitos de perturbação sobre as curvas de decaimento medidas.

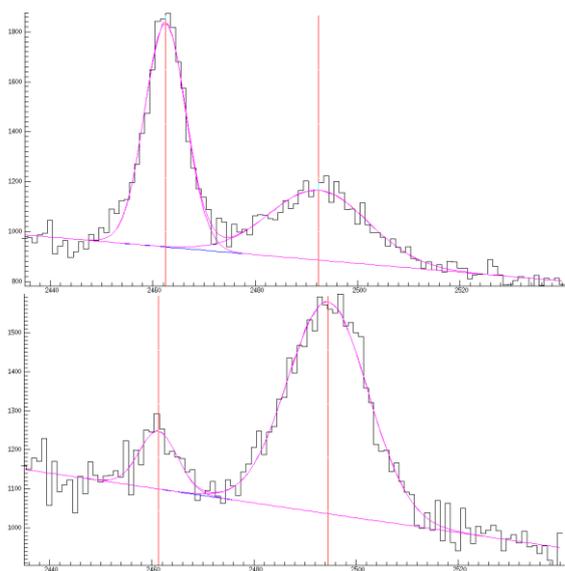


Figura 4 – Duas aproximações de espectros de raio- $\gamma$  nas distâncias de 32 $\mu$ m (gráfico superior) e 285 $\mu$ m (gráfico inferior), geradas em DAMM.

### 3. Discussão de Resultados

Observou-se um considerável efeito Doppler sobre o espectro de radiação  $\gamma$  estudado, particularmente sobre os

picos de energia 601keV (Figura 4) e 645keV. A variação das intensidades destes picos permitirá o cálculo da vida média dos estados em questão (Figura 5).

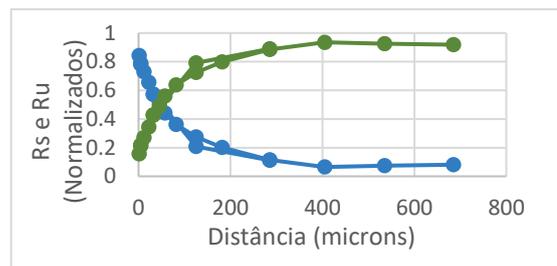


Figura 5 – Gráfico parcial da intensidade do pico 601 (azul) e do pico 610 causado pelo efeito Doppler (verde) em função da distância.

O valor da vida média é extraído do gráfico de  $\ln(Ru)$  em função do tempo (vide Figura 6).

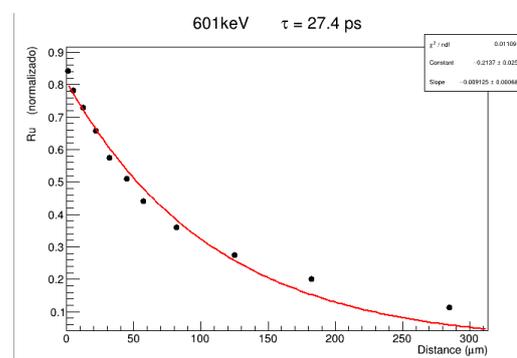


Figura 6 – Gráfico da intensidade do pico 601.

## 4. Conclusões

Embora os valores das vidas médias calculados a partir dos gráficos  $\ln(Ru)$  sejam  $\tau_1 = 27,4$ ps (601keV) e  $\tau_2 = 17,4$ ps (645keV), eles devem ser refinados pelo código LIFETIME que será a última etapa destes cálculos.

## 5. Referências

- [1] L.G.R. Emediato, Tese de Doutorado, Vidas Médias em  $^{133,132}\text{Ce}$  e  $^{136}\text{Pr}$ , Universidade de São Paulo, 1995
- [2] W.T. Milner – UPAK - DAMM, STOPX, EVAPOR, Oak Ridge National Laboratory-ORNL 1994.
- [3] ROOT - Data Analysis Framework. CERN - Centre Européen Pour La Recherche Nucleaire. Switzerland. 2017.
- [4] 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.
- [5] H. Bateman. "Solution of a System of Differential Equations Occurring in the Theory of Radio-active Transformations," Proc. Cambridge Phil. Soc. IS, 423 (1910).
- [6] 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.

<sup>1</sup> Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 02/16 a 01/17.