

CALIBRAÇÃO DE UM DETECTOR BF₃ PARA MONITORAÇÃO DE FLUXO DE NÊUTRONS DE UM ACELERADOR TIPO VAN DE GRAAFF

JOSÉ ROBERTO BERRETTA TUFIC MADI FILHO
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR
Travessa R, 400 - Cidade Universitária
São Paulo - SP

RESUMO

Um método de cálculo foi desenvolvido com o objetivo de se determinar direta e rapidamente, na posição de irradiação da amostra em estudo, o fluxo de nêutrons produzidos por um acelerador.

O fluxo obtido por esse método é avaliado por comparação com o valor do fluxo calculado da atividade induzida em monitor de Alumínio.

INTRODUÇÃO

A determinação do fluxo de nêutrons, na posição de irradiação das amostras em estudo, é uma necessidade e um fator crítico para as análises do material irradiado [1].

Em trabalhos anteriores [2,4], foram apresentados estudos realizados e resultados de análises. Em todos os trabalhos nota-se a importância desse valor ser bem determinado. Essa importância torna-se mais severa quando se trabalha com radionuclídeos de meia-vida curta.

Neste trabalho é desenvolvido um método de cálculo do fluxo de nêutrons rápidos, visando sua determinação rápida e correta na posição de irradiação da amostra em estudo. A determinação do valor do fluxo imediatamente após a irradiação da amostra agiliza os cálculos de análise por ativação, dependentes desse valor.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foram utilizados:

a) Acelerador eletrostático tipo Van de Graaff;

b) Monitor de Alumínio, para determinação do fluxo de nêutrons, com as seguintes características:

massa = 45,34mg.
diâmetro = 7mm.

O diâmetro escolhido para o monitor foi o mesmo das amostras a serem irradiadas para análise. Isto devido a necessidade de se ter uma geometria de irradiação bem definida.

Esse material que é utilizado como monitor de nêutrons, possui uma secção de choque muito bem conhecida na literatura para as reações de ativação com nêutrons rápidos [3,5]:

$^{27}\text{Al}(n,p)^{27}\text{Mg}$ com $T_{1/2} = 9,46\text{min.}$

$^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$ com $T_{1/2} = 15\text{h.}$

As secções de choque para essas reações são: 72mb e 111mb respectivamente.

c) Detector de Germânio de alta pureza (HPGe) e eletrônica associada, para medida da atividade induzida no monitor de Alumínio.

d) Detector proporcional de nêutrons BF₃ e eletrônica associada.

O detector BF₃ é posicionado a 1,5m de distância do alvo de Trítio do acelerador,

sem moderador entre eles. A secção de choque do ^{10}B para nêutrons rápidos é de: 1,5 barn [6]

Na figura 1 é apresentado um esquema do posicionamento dos monitores de nêutrons: folha de irradiação e detector BF₃.

O detector BF₃ é utilizado na monitoração direta da produção de nêutrons pelo acelerador.

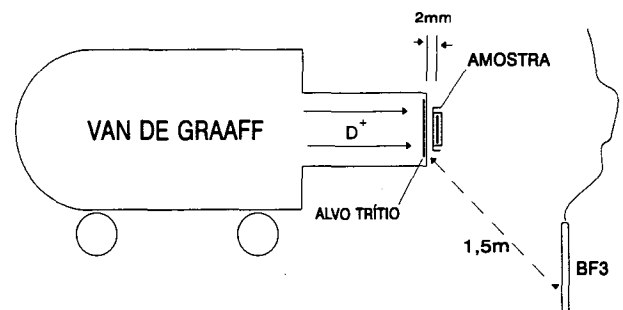


Figura 1 Esquema de posicionamento dos monitores

Em trabalhos anteriores [3], vimos que a produção de nêutrons pelo acelerador varia durante a irradiação da amostra. Esta variação é devido a fatores tais como: queima do alvo de Trítio, flutuação da tensão de aceleração do deuteron perda da qualidade de vácuo, etc.

Durante a irradiação do monitor de Alumínio, simulamos algumas variações na produção de nêutrons, como mostra a figura 2.

O tempo de irradiação foi de 610 segundos. Para obtenção do espectro da figura 2 o sistema de contagem (MCA) foi ajustado para funcionar em modo MCS (Multichannel Scaling) com o tempo de 1 segundo por canal, sendo utilizado, portanto 610 canais para acompanhar a produção de nêutrons durante toda a irradiação da folha de Alumínio, segundo a segundo.

A atividade induzida no Alumínio, foi determinada usando a linha gama do Sódio-24, obtido da reação $^{27}\text{Al}(n,\alpha)^{24}\text{Na}$.

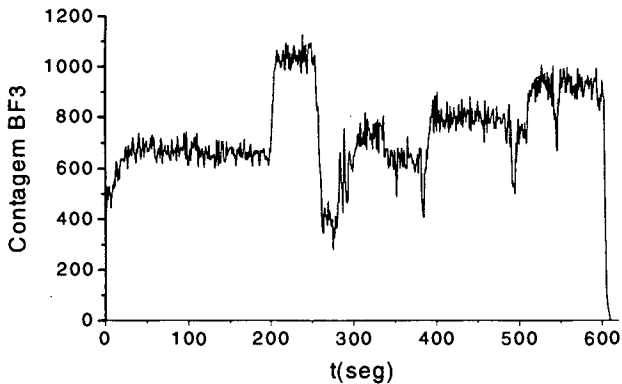


Figura 2 Flutuação da produção de nêutrons durante a irradiação monitorada por um detector BF₃

O fluxo de nêutrons, na geometria de irradiação, é obtido usando a atividade induzida no Alumínio através da equação 1.

$$\phi = \frac{CM\lambda}{NmFf\sigma\epsilon f_{\gamma} (1 - e^{-\lambda t_i})(e^{-\lambda t_d} - e^{-\lambda t_f})} \quad (1)$$

onde;

- σ =secção de choque para a reação
- N =número de Avogadro
- F =fração do elemento na amostra
- f =fração do isótopo na amostra
- ϵ =eficiência de detecção do fóton
- f_{γ} =intensidade gama
- m =massa da amostra
- λ =constante de decaimento do radioisótopo formado
- t_i =tempo de irradiação da amostra
- t_d =tempo de decaimento entre o final da irradiação e o início da contagem
- t_f =tempo de decaimento mais tempo de contagem

Para atenuar o efeito da flutuação da produção de nêutrons durante a irradiação da amostra em estudo, o espectro de contagem no BF₃ foi dividido em intervalos de 10 segundos. A atividade total induzida na amostra será igual à somatória das atividades parciais obtidas para cada intervalo i de irradiação.

O fluxo utilizado para cálculo de cada atividade parcial é obtido de:

$$\phi_i = \phi f_i \quad (2)$$

onde:

- ϕ_i =fluxo no intervalo de tempo i de irradiação
- ϕ =fluxo na posição de irradiação, eq. 1
- f_i =fator de proporcionalidade.

$$f_i = \frac{\bar{C}_i}{\bar{C}} \quad (3)$$

onde:

- \bar{C}_i = Contagem média no intervalo i .
- \bar{C} = Contagem média durante todo o tempo de irradiação.

ANÁLISE DE DADOS

O fluxo de nêutrons na posição da amostra, usado para o cálculo dos fluxos parciais, foi obtido da atividade do ²⁴Na. O valor encontrado foi de:

$$\phi = 2,1478 \cdot 10^7 \text{ n/cm}^2\text{s}$$

Com esse valor e da equação 3 foram obtidos os ϕ_i (fluxo parcial do intervalo i).

Os valores de ϕ_i obtidos foram utilizados para o cálculo da atividade esperada da outra reação do Alumínio; ²⁷Al(n,p)²⁷Mg, usando a equação 4:

$$A = NmFf\sigma \sum_{i=1}^n \phi_i (1 - e^{-\lambda t_i})(e^{-\lambda t_d}) \quad (4)$$

onde;

ϕ_i =fluxo de nêutrons durante o intervalo de irradiação i

t_i =tempo de irradiação do intervalo de tempo i (10 segundos)

t_d =tempo de decaimento entre o final da irradiação e o início da contagem

Empregando a análise de propagação de erros, equação 5, determinamos os erros nos valores do fluxo e da atividade obtidos experimentalmente. O maior erro obtido foi para a atividade: 4,45%

$$\sigma_u^2 = \left(\frac{\delta u}{\delta x}\right)^2 \sigma_x^2 + \left(\frac{\delta u}{\delta y}\right)^2 \sigma_y^2 + \dots \quad (5)$$

A atividade calculada pelo método aqui descrito é comparada com a atividade medida experimentalmente na tabela 1.

Tabela 1 comparação dos resultados

Medido	711 Bq
Calculado pelo presente trabalho	728 Bq
variação	2,4%

CONCLUSÃO

A atividade obtida através da formação de ²⁷Mg, que possui uma meia vida relativamente curta, é mais sensível às flutuações da produção de nêutrons. Por essa razão foi utilizada para comprovar a consistência do método desenvolvido.

Da tabela 1 temos que a variação apresentada entre o valor medido e o calculado é de apenas 2,4%.

Isto viabiliza o uso desse método em irradiações rotineiras, com a vantagem de não necessitar do uso de um monitor na mesma posição da amostra [2] eliminando, assim correções de sombreamento na amostra, simplificando os cálculos da análise por ativação.

Esse método apresenta sua validade para geometrias bem definidas e posicionamento dos monitores BF₃ e de Alumínio. Este último colocado na posição de irradiação da amostra, utilizado na calibração do sistema.

REFERÊNCIAS

[1] HOLMBERG, P.; HYVÖNEN, M.; TARVAINEN, M. Cross-sections of 14 MeV Neutron Reactions on Phosphorus and Calcium. **Journal of Radioanalytical Chemistry**, vol. 42 (1978) 477-484.

[2] BERRETTA, J. R.; CUNHA, I. I. L.; MADI F^o. T. Determinação de Fósforo em Amostras de Osso com Nêutrons de 14 MeV Usando Al e Ba como Monitores de Fluxo. **Anais do II Encontro Nacional de Aplicações Nucleares**. (Caxambu, MG, Brasil, 25-29 Outubro, 1993). Caxambu, 1993, Vol. 1 p. 33-34.

[3] MADI F^o. T.; BERRETTA, J. R.; CUNHA, I. I. L. Medida de Fluxo de nêutrons produzidos por um acelerador eletrostático usando monitores de Alumínio e Bário. **Anais do II Encontro Nacional de Aplicações Nucleares**. (Caxambu, MG, Brasil, 25-29 Outubro, 1993). Caxambu, 1993, Vol. 1 p. 37-38.

[4] MADI F^o. T.; CUNHA, I. I. L. Determinação de Fósforo em Amostras de Osso por Análise por Ativação Usando Nêutrons Rápidos, **Anais do III Congresso Geral de Energia Nuclear**. (Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

[5] KAWADE, K.; YAMAMOTO, H.; YAMADA, T.; KATOH, T.; IIDA, T.; TAKAHASHI, A. **Measurement of Formation Cross Sections of Short-Lived Nuclei by 14 MeV Neutrons**. Japan Atomic Energy Research Institute, 1990. (JAERI-M 90-171 1990)

[6] **BNL-325 - Neutron Cross Section, V.1 Z=1 to 20**

ABSTRACT

A direct and quick calculation method was developed to determine the neutron flux density produced in the accelerator, in position near of the sample to be studied. The system was calibrated in the defined geometry.

The flux density obtained by this method was compared with the calculated flux value by measuring of the activity induced in the Al foil.