

MEDIDA DA PRODUÇÃO DE NÊUTRONS NA REAÇÃO DT

PAULO ROGÉRIO PINTO COELHO
 INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES IPEN/CNEN-SP
 Travessa R, 400 - Cid. Universitária - CEP 05422-970-Pinheiros
 São Paulo-Brasil

RESUMO

Foi implantado um sistema de medida absoluta da produção de nêutrons, emitidos por meio da reação DT (${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$), no alvo do acelerador Van de Graaff do IPEN-CNEN/SP. A técnica utilizada é a de medida da produção de partículas α (${}^4\text{He}$) emitidas na reação citada. A produção de nêutrons na reação DT é determinada com grande exatidão, erro menor do que 1,6%, no arranjo experimental montado. Para uma boa condição operacional do acelerador obteve-se uma produção de $(1,14 \pm 0,018) \times 10^7 \text{n/s}$ no alvo.

INTRODUÇÃO

Em muitos experimentos, nos quais são utilizados aceleradores, é necessário o conhecimento da produção de nêutrons no alvo do acelerador. O método implantado no laboratório do acelerador Van de Graaff para a determinação da produção de nêutrons no alvo do mesmo é a técnica de medida da partícula associada à reação que ocorre no alvo, a qual está bem estabelecida como uma das mais efetivas para esse fim [1,2,3].

DESCRIÇÃO DO ARRANJO EXPERIMENTAL

Utilizamos um acelerador tipo Van de Graaff como fonte de nêutrons, produzidos por meio da reação ${}^3\text{H}(d,n){}^4\text{He}$ (reação DT), bombardeando um alvo espesso de trítio, Amersham de $5,92 \text{ GBq/cm}^2$, com deutêrons (d) de até 200keV de energia. O arranjo experimental é apresentado de forma esquemática na figura 1.

As partículas α (${}^4\text{He}$), emitidas simultaneamente com os nêutrons na reação citada, são contadas utilizando um detector de

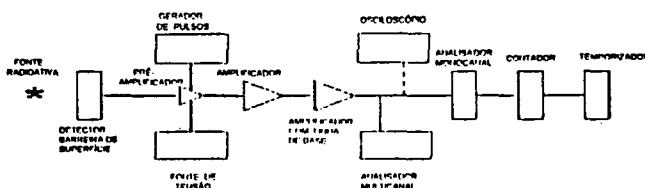


Figura 2 Diagrama de blocos do sistema eletrônico de medida de partícula α

estado sólido, tipo barreira de superfície, conectado a uma eletrônica apropriada, apresentada esquematicamente na figura 2. Este detector está instalado na extremidade de um tubo posicionado a 90° em relação ao tubo do alvo do acelerador (do feixe de deutêrons), conforme indicado na figura 3. Esses tubos são mantidos em vácuo da ordem de $4 \times 10^{-4} \text{ mbar}$ para reduzir a absorção e espalhamento de partículas (α e d) na trajetória destas. O alvo do acelerador foi posicionado a 45° em relação ao feixe de deutêrons.

MÉTODO DE CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE NÊUTRONS

A teoria e as fontes de erro envolvidas nesse método são apresentadas na literatura; alguns detalhes são aqui comentados para facilitar a compreensão dos problemas envolvidos em tais medidas.

Conhecendo-se a emissão de partículas α , em função do ângulo sólido, e conhecendo-se a cinemática da reação, pode-se calcular a emissão total de partículas α no alvo, a qual é igual à emissão total de nêutrons no alvo do acelerador na reação DT, visto que nessa reação, para cada partícula α emitida, é simultaneamente emitido um nêutron.

A produção total de nêutrons é dada [1] por:

$$Y_n = Y_\alpha = C(\theta) \cdot R_\alpha(\theta) \cdot (4\pi/\Delta\Omega_\alpha(\theta)),$$

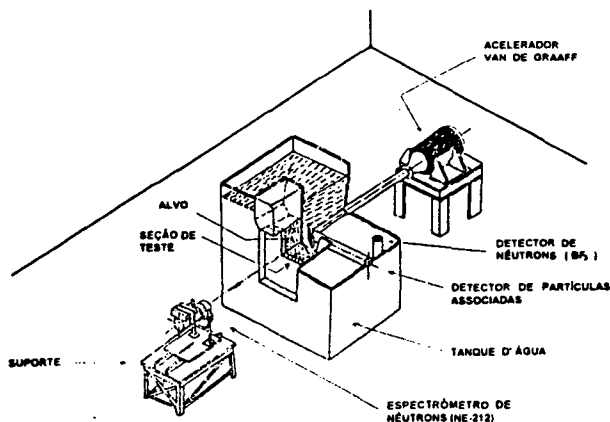


Figura 1 Visão esquemática do arranjo experimental

e um potencial de aceleração variando de 165 a 185kV.

Outra fonte de erro no cálculo da produção de nêutrons no alvo do acelerador refere-se às reações competitivas $D(D,n)^3\text{He}$ e $^3\text{He}(D,p)^4\text{He}$. A primeira reação advém da absorção de deutérons no alvo, no tubo de vóo (alvo) do acelerador ou diafragma de feixe de deutérons existente nesse tubo. O ^3He da segunda reação é produzido pelo decaimento β do trítio (T) do alvo, com uma meia vida de 12 anos. As seções de choque para deutérons de energia menor do que 200keV, dessas duas reações, são respectivamente de aproximadamente 100 e de 10 a 100 vezes menor do que a da reação DT. Estima-se que essas duas reações contribuem para o erro com menos de 0,3% [1] nas condições deste experimento (alvo novo de trítio e energia menor do que 200keV).

Avaliação das fontes de erro na medida da produção de nêutrons

Analisando as fontes de erro na sequência exposta anteriormente, temos que:

a) acumulou-se contagem por um tempo suficiente para obtenção de uma contagem de cerca de 40000 partículas α no detector, o que corresponde a um desvio padrão de 200 contagens, ou seja, um erro de 0,5%, considerando que o processo de detecção é estatístico e segue uma distribuição gaussiana.

b) visando reduzir o erro no fator de geometria, o arranjo experimental foi construído com os parâmetros apresentados na figura 4. A posição ideal para cálculo do fator de geometria ocorre com o feixe de deutérons incidindo no centro do alvo enquanto que as piores situações correspondem a estes incidindo na borda do alvo nas posições mais

afastadas e mais próximas do detector de α . Comparando o valor calculado para a posição ideal com os obtidos para as piores posições obtém-se os limites para a faixa de erro no cálculo do fator de geometria. Utilizando as fórmulas apropriadas para cálculo de fator de geometria [8], verificamos que para o nosso arranjo este valor é $1,39 \times 10^5$ e que os erros máximos estão entre +0,67% e -0,65%.

O feixe de deutérons incidente no alvo tem o diâmetro de 9,4mm, definido por um diafragma conforme indicado na figura 3. Esse diafragma é de tântalo, material que tem a característica de ser mau absorvedor de deutério (esquenta com a colisão do feixe e libera o gás deutério) e por isso, diminui a formação de uma fonte secundária de nêutrons pela reação $D(d,n)^3\text{He}$. No tubo do detector de partículas α foram posicionados convenientemente 5 diafragmas de alumínio, com as aberturas indicadas na figura 3, de modo a tornar insignificante a contagem de partículas α espalhadas no tubo pois, estas partículas quando emitidas fora do ângulo sólido de detecção teriam de sofrer multiespalhamento antes de atingir o detector.

c) o valor do fator de anisotropia, considerando a posição do detector de partículas α (vide figura 4) e a energia dos deutérons incidentes utilizada (165 a 185keV), é, conforme a referência [1], de 1,0050, com um erro menor do que $\pm 0,09\%$ correspondente a soma de $\pm 0,02\%$ de incerteza devido à variação na energia dos deutérons incidentes com uma incerteza máxima de $\pm 0,07\%$ devido à impossibilidade de localizar em que ponto do alvo o feixe de deutérons está incidindo; assim sendo, o ângulo θ de detecção de partículas α está entre os valores θ mínimo ($\theta_{\min} = 89,8^\circ$) e θ máximo ($\theta_{\max} = 90,19^\circ$), indicados na figura 4, o que acarreta este erro no valor de R_α que é função desse ângulo.

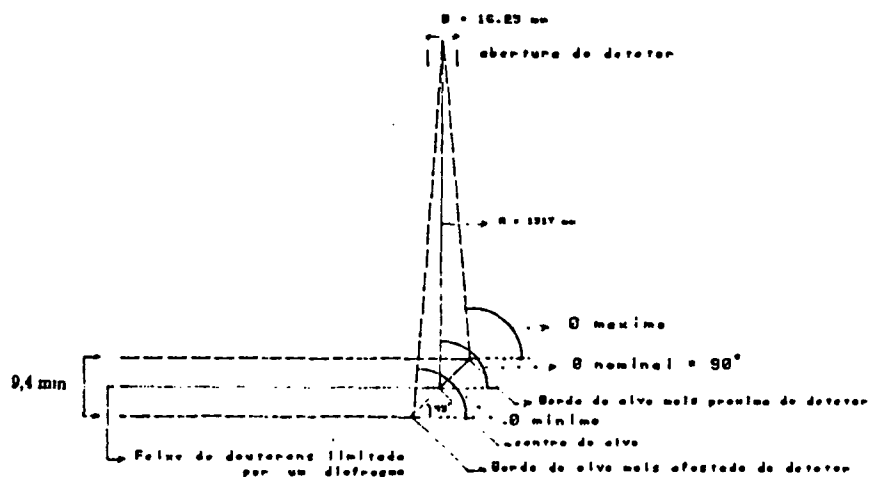


Figura 4 Esquema do arranjo experimental para cálculo do fator de geometria.

O erro acumulado no experimento é menor ou igual a 1,6%. O maior erro ocorre se considerarmos a não compensação no efeito das fontes de erro citadas e as piores condições de geometria, as quais são difíceis de ocorrer na prática (verifica-se que o feixe de deutérons atinge de modo aproximadamente homogêneo a área do alvo definida pelo diafragma de 9,8mm de abertura). Assim sendo, temos a medida da produção de nêutrons, na reação DT, com grande exatidão no aparato experimental montado.

Medidas, resultados e comentários

O sistema de detecção de partículas α foi calibrado utilizando-se uma fonte de partículas α de atividade conhecida (fonte de ^{241}Am de $6,06 \pm 0,14 \text{MBq}$). Esta fonte de ^{241}Am foi posicionada no local do alvo do acelerador e sua atividade foi medida com o detector tipo barreira de superfície; dessa forma, pode-se determinar a atenuação do feixe de partículas α no ar, para o nível de vácuo em que é operado o acelerador ($4 \times 10^{-5} \text{mbar}$). Verificou-se experimentalmente que a eficiência total (ϵ_{tot}) do sistema de contagem de partícula α emitidas no alvo é $\epsilon_{\text{tot}} = 1,68 \times 10^{-6}$ e que apenas 23,4% dessas partículas α emitidas na direção do detector tipo barreira de superfície são detectadas por este, sendo que o restante é espalhado ou absorvido no ar devido a não se operar o acelerador com um nível de vácuo maior.

No acelerador, obteve-se para uma boa condição operacional do mesmo, um feixe de deutérons no alvo de trítio de $12 \mu\text{A}$ com uma produção de $(1,14 \pm 0,018) \times 10^7$ nêutrons por segundo (n/s) no alvo do acelerador e igual quantidade de partículas α . O fator de calibração obtido é $5,94 \times 10^5$ nêutrons por contagem α líquida (contagem total menos contagem de fundo). Dos dados acima citados verifica-se que obtivemos $9,5 \times 10^5 \text{n/s}/\mu\text{A}$ de feixe no alvo, o que é pouco se compararmos com o valor médio de projeto $1 \times 10^7 \text{n/s}/\mu\text{A}$, para esse tipo de acelerador. Isto se deve ao acelerador Van de Graaff não estar em condições ótimas de funcionamento e principalmente por não dispor-se de uma lente magnética para focalizar, no alvo, o feixe de deutérons acelerados. O que está sendo utilizado é um diafragma para bloquear os deutérons que não atingiriam a área de interesse no alvo, ou seja, há uma redução na intensidade do feixe que o atingiria.

REFERÊNCIAS

[1] FEWELL, T. R. An evaluation of the alpha counting technique for determining 14MeV neutron yields. *Nucl. Instr. and Meth.*, 61:61-71, 1968.

[2] HERTEL, N. E.; WEHRING, B. W. Absolute monitoring of DD and DT neutron fluences using the associated-particle technique. *Nucl. Instr. and Meth.*, 172:501-506, 1980.

[3] SHIRATO, S. et alii. Absolute determination of T-d neutron yields by associated particle method. *Nucl. Instr. and Meth. Phys. Res.*, A278:477-483, 1989.

[4] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Handbook on nuclear activation data*. April 1987. (Technical reports series n° 273).

[5] SEAGRAVE, J. D. *D(d,n)He³ and T(d,n)He⁴ neutron source handbook*. Los Alamos, Los Alamos Scientific Laboratory, 1958. (LAMS-2162).

[6] BENVENISTE, J. et alii. The problem of measuring the absolute yield of 14MeV neutrons by means of an alpha counter. *Nucl. Instr. Meth.*, 7:306-314, 1960.

[7] HOLLAND, L. *Thermal neutron flux in water produced by non-reactor sources and their use for neutron radiography*. Birmingham, 1971. (PhD Thesis University of Birmingham).

[8] MASKET, A. A. Solid angle contour integrals, series and tables. *Rev. of Sci. Instr.*, 28:191, 1957.

ABSTRACT

The absolute neutron yields in DT reaction was measured using the Van de Graaff accelerator of IPEN-CNEN/SP. With the experimental system built DT neutron yields have been determined with high accuracy, less than 1.6%, using the associated-particle technique. An yield of $(1.14 \pm 0.018) \times 10^7$ n/s was obtained.