

MEDIDA DO ESPECTRO DE ENERGIA DOS NÊUTRONS
NO CICLOTRON DO IPEN-CNEN/SP

Ulysses d'Utra Bitelli
Paulo Rogério Pinto Coelho
Aucyone Augusto da Silva

Comissão Nacional de Energia Nuclear - SP
Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
Departamento de Tecnologia de Reatores
Divisão de Física de Reatores
Caixa Postal 11049 - Pinheiros
05499 - São Paulo - Brasil

RESUMO

Este trabalho descreve as medidas de intensidade e espectro de energia dos nêutrons provenientes da interação de prótons de alta energia num alvo de zinco, no ciclotron do IPEN-CNEN/SP, na produção de ^{67}Ga para uso médico a partir da reação $^{68}\text{Zn}(p,2n)^{67}\text{Ga}$. Para tal, foram irradiadas várias folhas de ativação, fixadas ao porta alvo do ciclotron e, através de suas taxas de reação, obtido o espectro de energia dos nêutrons com o código SAND-II. O espectro de nêutrons obtido foi utilizado como termo fonte do código DOT 3.5 para elaboração de um projeto de blindagem para nêutrons em torno do porta alvo.

ABSTRACT

This paper describes the measurements of the intensity and energy spectrum of neutrons produced from $^{68}\text{Zn}(p,2n)^{67}\text{Ga}$ reaction at the cyclotron during the ^{67}Ga production for Health Physics. The measurements were performed using several activation foils attached around the zinc target holder and the data were analysed using SAND II unfolding spectrum code. The neutron output spectrum from SAND II code was used as input to DOT 3.5 code to project a neutron shielding around the zinc target holder.

1. INTRODUÇÃO

O IPEN-CNEN/SP possui um ciclotron compacto de energia variável (CV-28) que acelera prótons (2 a 24 MeV), dêuterons (4 a 14 MeV), ions de ^3He (6 a 36 MeV) e partículas alfa (8 a 28 MeV), com aplicações em vários ramos tecnológicos e científicos, tais como: pesquisa e produção de radioisótopos para medicina, estudos de danos de radiação em materiais nucleares, e na análise por ativação. Um dos canais de irradiação (canal 7) do acelerador ciclotron do IPEN-CNEN/SP é utilizado para a produção do radioisótopo ^{67}Ga (irradiação de um alvo de zinco enriquecido a 98% com prótons de energia de 24 MeV), obtido através da reação $^{68}\text{Zn}(p, 2n)^{67}\text{Ga}$.

O alvo de zinco utilizado tem a forma de uma tira com as dimensões de 43,5 mm x 7,2 mm x 240 μm , eletrodepositado numa base de cobre de 71,8 mm x 27,3 mm x 1,5 mm, posicionado a 10^0 em relação ao feixe de prótons acelerados no ciclotron a 24 MeV e uma corrente no alvo de 23 a 25 μA . Esse alvo é montado num porta alvo de alumínio, conforme apresentado na figura 1, e refrigerado por água deionizada.

A medida do espectro de energia dos nêutrons serviu como dado de entrada (termo fonte) no cálculo de uma blindagem para nêutrons, utilizando o código DOT 3.5, na célula de produção do ^{67}Ga no ciclotron do IPEN-CNEN/SP.

2. DETALHES DO EXPERIMENTO

A distribuição espacial da intensidade de nêutrons acima de 1,2 MeV foi obtida irradiando-se várias folhas de ativação de níquel, fixadas diretamente na face externa do porta alvo do acelerador, em várias posições diferentes (ângulos), conforme indicado na figura 1.

A reação em questão é endotérmica do tipo $^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$ e apresenta uma energia de limiar para nêutrons rápidos de energia superior a 1,2 MeV. Tais nêutrons são subprodutos de reações do tipo (p,2n) e (p,n), que ocorrem preferencialmente no alvo de zinco, mas também na de cobre e porta alvo de alumínio.

O espectro de energia dos nêutrons foi medido utilizando-se folhas de ativação de vários materiais diferentes, com várias energias de limiar (vide tabelas 1 e 2), sempre fixadas na mesma posição (90° conforme figura 1), irradiadas em várias operações distintas de irradiação para produção de ^{67}Ga .

As atividades induzidas nas folhas irradiadas foram medidas utilizando um detector de estado sólido de alta pureza de germânio (HPGe - High Purity Germanium detector) de $36,5 \text{ cm}^3$. O detector foi conectado a uma eletrônica convencional de espectrometria gama, conforme esquematizado na figura 2. Do conhecimento dos tempos de irradiação e das massas das folhas, obteve-se a atividade de saturação por núcleo alvo. Tais valores obtidos foram normalizados em função da carga integrada no alvo e dos tempos de irradiação, servindo de entrada, bem como o espectro característico da reação de formação do ^{67}Ga , ao código SAND II².

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados foram obtidos a partir das taxas de reação por núcleo alvo (atividade de saturação por núcleo alvo) e do espectro de energia de nêutrons característico da reação $^{68}\text{Zn}(p,2n)^{67}\text{Ga}$ (vide figura 3).

O código SAND II² é planejado para fornecer o espectro de nêutrons mais apropriado, para o conjunto de dados de entradas já citados em 620 grupos de energias de nêutrons de 10^{-10} MeV a 18 MeV, com uma precisão de ± 10 a 30 %, sendo 450 grupos entre 10^{-10} MeV e 1 MeV e 170 grupos de 1 MeV a 18 MeV. Tal código vem sendo utilizado por pesquisadores do grupo experimental de medidas de parâmetros nucleares da Divisão de Física de Reatores do IPEN-CNEN/SP em medidas de espectros de nêutrons dentro dos núcleos dos reatores de pesquisas IEA-R1³ e IPEN/MB-01.

Iterativamente, o código SAND II calcula, a partir do espectro de nêutrons teórico¹ e as taxas de reação medidas, o espectro de energia dos nêutrons, até que o valor obtido entre as taxas de reação, calculadas e medidas, não variem mais que um valor especificado na entrada do código (geralmente 5 %).

Os resultados obtidos podem ser visualizados nas figuras 1 e 4. Analisando-se os valores da figura 1, verificou-se que dentro do erro experimental, a produção de nêutrons é isotrópica no ângulo azimutal (exceto o ângulo de 270°, pois nessa direção existe a refrigeração do alvo com uma lâmina d'água e estrutura de alumínio).

O valor integral do fluxo de nêutrons rápidos acima de 1,1 MeV é de $1,26 \cdot 10^9$ nêutrons/cm².s, obtido pelo código SAND II na posição das medidas (90°).

O espectro de energia medido na posição ângulo de 90° em relação à incidência do feixe pode ser visualizado na figura 4.

4. CONCLUSÃO

As medidas apresentadas neste trabalho possibilitaram projetar uma blindagem de nêutrons ao redor do canal 7 de irradiação (produtor do ⁶⁷Ga) do ciclotron CV-28 do IPEN-CNEN/SP. Estes resultados serviram de dados de entrada (termo fonte) do programa de cálculo de blindagem, código DOT 3.5. O cálculo realizado por tal código se baseia no método de ordenadas discretas (SN) da solução da equação de transporte de nêutrons /5/.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer aos Engenheiros Antonio Augusto Zanchetta e Sulmair Gouveia de Araujo, responsáveis pela operação do ciclotron, e a Wagner Vanzella Dias da Proteção Radiológica pelo empenho e dedicação durante a realização das irradiações das folhas, e a Rogério Jerez pelas contagens das mesmas. Gostaríamos também de agradecer ao empenho do Dr. Adimir dos Santos na obtenção do espectro característico da produção de ⁶⁷Ga\1\.

REFERÊNCIAS

\1\ Carlson, B.V. Comunicação pessoal, Centro de Dados Nucleares, Instituto de Estudos Avançados, S.J.C., SP, Brasil.

\2\ McElroy, W.N.; Berg, S.; Crockett, T.B.; Tuttle, R.J. Measurements of Neutron Flux Spectra by a Multiple Foil Activation Interactive Method and Comparison with Reactor Physics Calculation and Spectrometer Measurements. Nucl. Sci. Eng., 36 : 15-27, 1969.

\3\ Bitelli, Ulysses d'Utra. Medida e Cálculo da Distribuição Espacial e Energética de Nêutrons no Núcleo do Reator IEA-R1. São Paulo, 1988. (Dissertação de Mestrado, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).

\4\ Handbook on Nuclear Activation Data. Technical Reports Series N.273, Viena, 1987.

\5\ Rhoades W. A.; Hynatt, S.R. The Dot 3.5 Two dimensional discrete ordinates transporte code, Nov.1975(CCC-276).

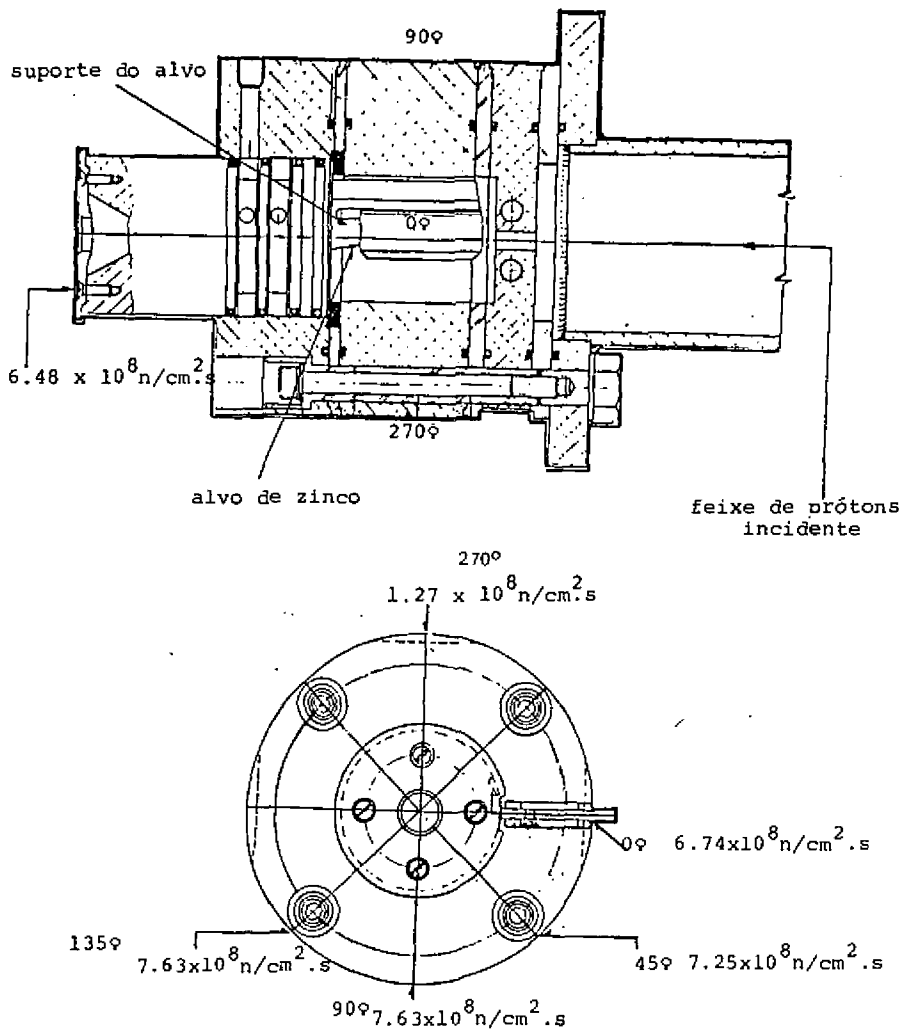


Figura 1 - Posicionamento das folhas de ativação durante as irradiações e os correspondentes valores medidos de intensidades de nêutrons rápidos ($E > 1.2$ MeV)

386

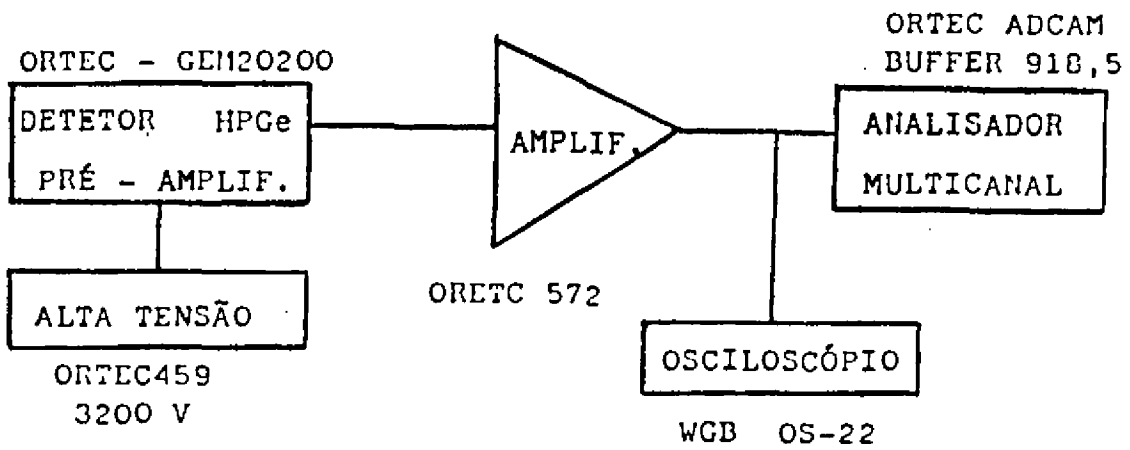


Figura 2 - Diagrama de blocos da bancada do detector HPGe

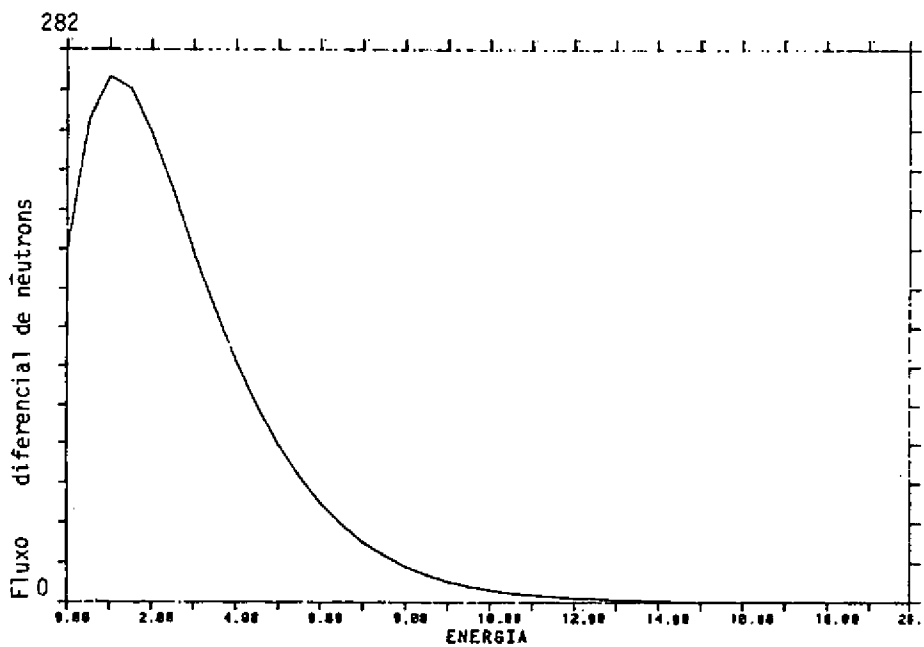


Figura 3 - Espectro energético dos nêutrons para a reação $^{67}\text{Zn}(p,n)^{67}\text{Ga}$ /1/

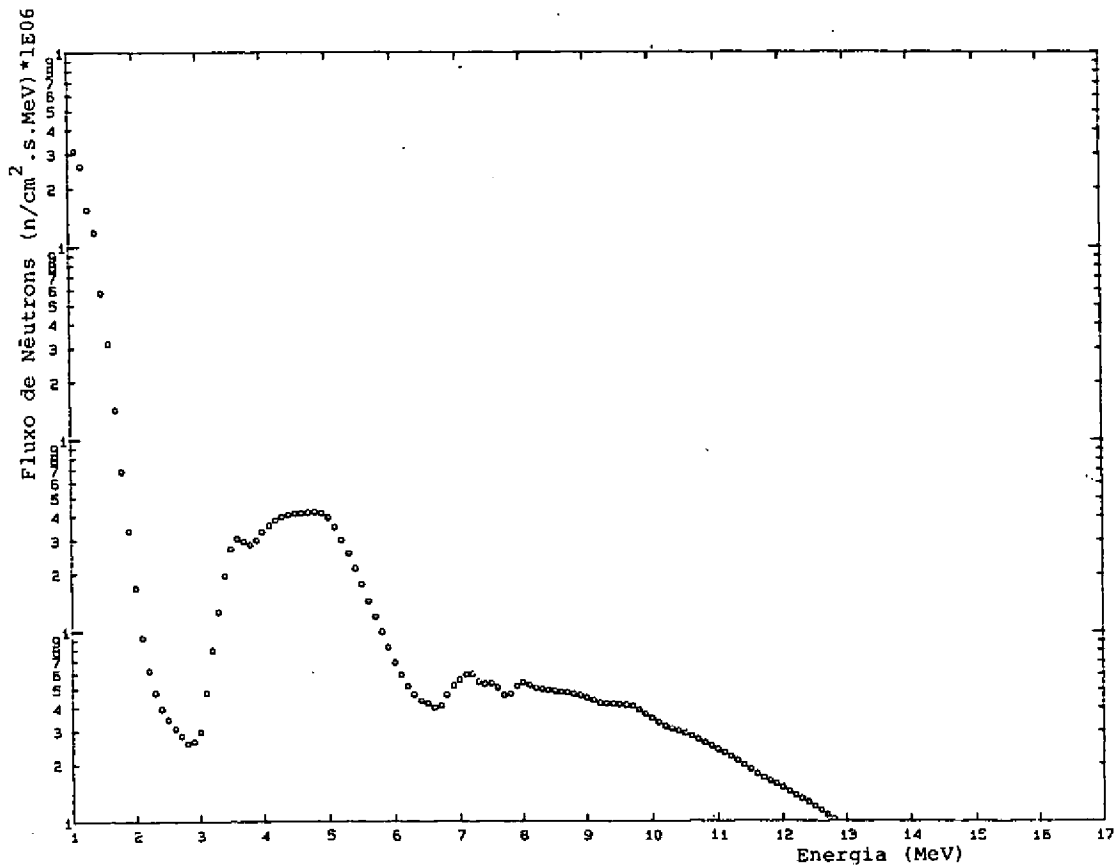


Figura 4 - Espectro de nêutrons

TABELA 1 - RESULTADO DAS ATIVIDADES DE SATURAÇÃO CALCULADAS A PARTIR DE ESPECTRO DE NEUTRONS OBTIDO PELO CODIGO SAND II.

FOLS	REAÇÕES	ATIVIDADE DE SATURAÇÃO		DESVIO. PERC. (%)
		MEDIDA	CALCULADA	MEDIDO/CALCULADO
Ni	$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	$5,642 \cdot 10^{-17}$	$5,740 \cdot 10^{-17}$	-1,71
Ti	$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$	$1,052 \cdot 10^{-17}$	$9,884 \cdot 10^{-18}$	6,41
	$^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$	$1,114 \cdot 10^{-17}$	$1,148 \cdot 10^{-17}$	-2,93
	$^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$	$7,845 \cdot 10^{-19}$	$7,824 \cdot 10^{-19}$	0,26
Fe	$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$	$1,580 \cdot 10^{-18}$	$1,726 \cdot 10^{-18}$	-8,49
Al	$^{27}\text{Al}(n,)^{24}\text{Na}$	$1,700 \cdot 10^{-18}$	$1,615 \cdot 10^{-18}$	5,25
In	$^{115}\text{In}(n,n')^{115\text{m}}\text{In}$	$2,859 \cdot 10^{-15}$	$2,824 \cdot 10^{-15}$	1,21

TABELA 2 - LIMITES DE ENERGIA EM CUJO INTERVALO SE ENCONTRA 90% DA ATIVIDADE DE SATURAÇÃO.

Reações	Limites de Sensibilidade dos Detetores	
	Energia Inferior(MeV)	Energia Superior (MeV)
$^{58}\text{Ni}(n,p)^{58}\text{Co}$	1,200	10,70
$^{46}\text{Ti}(n,p)^{46}\text{Sc}$	4,000	13,30
$^{47}\text{Ti}(n,p)^{47}\text{Sc}$	0,690	10,00
$^{48}\text{Ti}(n,p)^{48}\text{Sc}$	7,700	15,90
$^{56}\text{Fe}(n,p)^{56}\text{Mn}$	5,800	14,40
$^{27}\text{Al}(n,)^{24}\text{Na}$	7,300	14,50
$^{115}\text{In}(n,n')^{115\text{m}}\text{In}$	0,475	1,10