

MEDIDA DE PARÂMETROS NEUTRÔNICOS PELA TÉCNICA
DE NÊUTRONS PULSADOS

Tufic Madi Filho (IPEN/CNEN-SP)
José Roberto Berretta (IPEN/CNEN-SP)

RESUMO

Foram medidos parâmetros de difusão de nêutrons para água leve, usando a técnica de nêutrons pulsados, com "bucklings" variáveis em geometrias cúbica e cilíndrica, em temperaturas de 24,7°C e 23,0°C respectivamente.

Os valores obtidos foram comparados com dados publicados na literatura.

ABSTRACT

Neutron diffusion parameters for light water were measured using the pulsed neutron technique with variable bucklings in the cubic and cylindrical geometries, at temperature 24.7°C and 23.0°C respectively.

The results obtained were compared with the data published in the literature.

INTRODUÇÃO

A medida de reatividade é um problema básico no projeto e na física dos reatores. O processo de determinação de reatividades pelo inverso da multiplicação subcrítica, baseado na medida de queda de barras e período, tem sido o padrão para esta medida. Mas este método é limitado a pequenos valores de reatividade, em torno de \$5 (reatividade em "dólar").

A técnica de nêutrons pulsados permite a exploração de intervalos de reatividade, várias vezes maiores que a acima mencionada, e não depende da medida de queda de barras ou período para calibração da reatividade [1].

No seu estágio atual, a técnica de nêutrons pulsados permite a realização de estudos de parâmetros de reatores, sendo que o interesse da física de reatores se situa tanto no conhecimento intrínseco destes parâmetros como no uso dos mesmos para verificação de códigos usados no cálculo de reatores.

A técnica de nêutrons pulsados pode ser empregada na determinação de seções de choque, densidade de fluxo, coeficiente de difusão, vida média de nêutrons, idade de nêutrons e outros parâmetros necessários para projeto de reatores.

No IPEN (Ex-IEA), foram realizados trabalhos de medidas de parâmetros de difusão da água para nêutrons térmicos pelo método da fonte pulsada [2, 3]. Estava sendo ainda desenvolvido um estudo para medidas de reatividade no reator IEA-R1, mas tal estudo foi interrompido.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é o aprendizado de uma técnica já bastante desenvolvida e utilizada, a técnica de nêutrons pulsados, com o propósito de sua utilização para realizar medidas de reatividade no reator IEA-R1.

Para este aprendizado foram feitas medidas de parâmetros de difusão de nêutrons em água leve, do qual é objeto este trabalho.

PARTE TEÓRICA

A técnica de nêutrons pulsados consiste em submeter um arranjo do material em estudo a um "jato" de nêutrons rápidos e medir o decaimento temporal, após a termalização do fluxo de nêutrons térmicos no referido arranjo.

Quando nêutrons rápidos são injetados no interior de um sistema moderador (o qual pode conter ou não material fissionável), são moderados e termalizados por colisões com os átomos do moderador, passando a existir uma distribuição característica de nêutrons em espaço e em energia, ao final do processo de termalização. Esta distribuição é chamada "fluxo de nêutrons térmicos", e decairá exponencialmente com uma constante de tempo λ (s^{-1}), sendo $1/\lambda$ o "tempo de vida efetivo dos nêutrons térmicos". Se as dimensões geométricas do moderador são caracterizadas pelo "buckling" (B^2), as constantes de decaimento obtidas experimentalmente podem ser escritas como:

$$\lambda = \lambda_0 + D_0 B^2 - CB^4 + \text{termos de maior ordem} . \quad (1)$$

λ_0 é a constante de decaimento para um meio infinito ($B^2 = 0$) e é igual a

$\Sigma_a v$ para um moderador $1/v$, D_0 é o coeficiente de difusão para um meio infinito e C é o coeficiente de difusão de resfriamento [4,5,6].

PARTE EXPERIMENTAL

Para determinar os parâmetros de difusão num expediente, pela técnica de nêutrons pulsados, como foi visto, deve-se injetar pulsos de nêutrons rápidos no sistema e, após a termalização, medir o decaimento temporal do fluxo de nêutrons térmicos, depois de um tempo tal que a única contribuição importante para o fluxo seja a da harmônica fundamental, como mostra a Figura 1. Da inclinação da reta obtida determina-se o valor de λ .

As medidas devem ser repetidas para sistemas de diferentes dimensões, de tal modo que seja possível levantar o gráfico λ versus B^2 , como mostra a Figura 2. Neste trabalho foram utilizados 7 (sete) cubos e 5 (cinco) cilindros de dimensões variadas. Um vez traçado o gráfico λ versus B^2 , podemos determinar alguns parâmetros, para as condições empregadas, diretamente do gráfico, como indicado na Figura 2.

Da Figura 2 temos, que se extrapolarmos o gráfico para $B^2 = 0$ e $\lambda = 0$ obtemos:

$$\frac{1}{L_t^2} = \frac{v_0 \Sigma_a}{D_0} \quad (2)$$

e

$$\lambda_0 = \frac{1}{t_d} = v_0 \Sigma_a, \quad (3)$$

onde,

L_t^2 = área de difusão térmica,

t_d = tempo de difusão térmica,

Σ_a = seção de choque macroscópica de absorção,

v_0 = velocidade dos neutrons térmicos = 2200m/s,

D_0 = coeficiente de difusão para um meio infinito.

As Equações (2) e (3) são escritas fazendo a hipótese de que os nêutrons térmicos tivessem uma só velocidade. Todavia, em qualquer sistema real os nêutrons não têm todos a mesma velocidade, mas sim uma distribuição que se aproxima de uma maxwelliana. Isto faz com que os valores de v_0 , Σ_a e D_0 , medidos experimentalmente, sejam valores médios. Assim, corrigindo as Equações (2) e (3) para valores médios, temos:

$$\frac{1}{L_T^2} = \frac{\bar{\Sigma}_a}{\bar{D}} \quad (4)$$

e

$$\frac{1}{t_d} = \frac{2\bar{\Sigma}_a \bar{v}}{\sqrt{\pi}} \quad (5)$$

Descrição do Equipamento

A fonte de nêutrons pulsados utilizada foi um gerador eletrostático SAMES BS-2, que possui um tubo selado com deutério e um alvo de trítio. Os nêutrons produzidos na reação do deutério acelerado com o trítio do alvo são emitidos com uma energia em torno de 14 MeV.

O arranjo físico, apresentado na Figura 3, foi construído com as paredes de parafina borada revestida com cádmio para evitar que os nêutrons que escapem do sistema retornem e mascarem as medidas. Dentro deste arranjo foram colocados sete cubos e cinco cilindros de dimensões diferentes, nos quais foi colocada água deionizada, que foi o moderador estudado. O detector BF₃ é colocado no arranjo numa posição abaixo dos cubos e cilindros. O detector e o equipamento eletrônico utilizados são dados no diagrama de blocos, Figura 4 e descrito a seguir:

1. Detector de Nêutrons BF₃: RS-P1-0810-202 + 1930
2. Pré-amplificador: ORTEC Modelo 109PC
3. Fonte de Alta Tensão: ORTEC Modelo 456
4. Amplificador: ORTEC Modelo 435A
5. TIME MARK GENERATOR: Tektronix Tipo 184
6. Pulse Generator: Tektronix PG 508 50 MHZ
7. Analisador Multicanal: TMC - Tempo de Voo
8. Mesa de Controle de Fonte SAMES BS-2
(Neutron Generator Tube type 18600R)
Contendo: Controle de alta tensão, controle da fonte de íons e pressão do gás e pulsador.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Usa-se ondas quadradas para geração dos pulsos. Os parâmetros associados aos "jatos" de nêutrons, são:

- largura de pulso "t" (usado 5 ms),
- razão de repetição dos pulsos "R" em Hz,

onde: $R = \frac{1}{T}$ e T = período dos pulsos (usado 50 ms).

O período de geração de nêutrons deve ser suficientemente longo para que haja tempo para o decaimento do ϕ_T (fluxo térmico), evitando, assim, a superposição de pulsos, Figura 1. O ajuste de tempo de contagem do multicanal deve ser menor que o período de geração dos nêutrons, para que não haja superposição de pulsos e possa ser determinado o tempo de decaimento dos nêutrons térmicos. Foram usados 1024 canais com 8 μ s de tempo por canal e com 16 μ s de tempo morto para os 1024 canais. Os 16 μ s de T.M. bloqueiam os dois canais subsequentes a aceitação do pulso.

Beckurts [4] apresenta um procedimento para a escolha da taxa de repetição e da largura de pulso. Baseado em valores observados de λ é dado o seguinte intervalo de valores para taxa de repetição e largura de pulso:

Taxa de repetição: pode variar de 10 a 10⁴s⁻¹

Largura de pulso : pode variar de 10ms à 10 μ s.

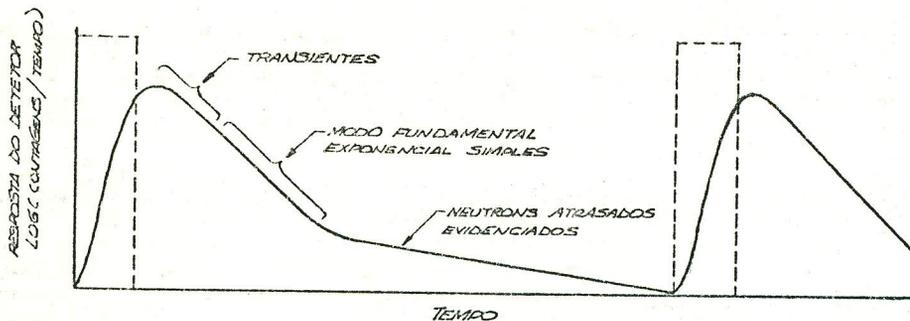


Figura-1 - Decaimento de Nêutrons Têrmicos em Função do Tempo.

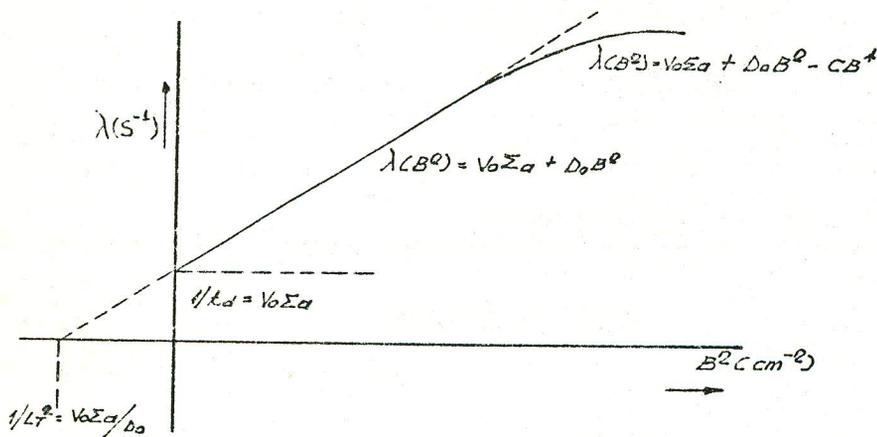


Figura-2 - Constante de Decaimento em Função do "buckling" [5]

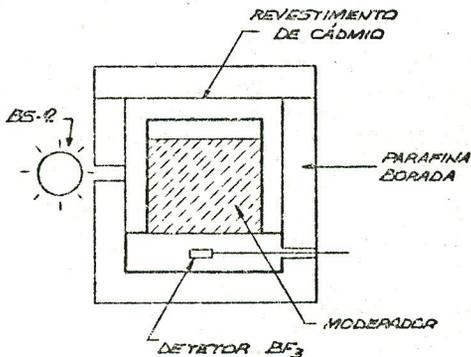


Figura-3 - Arranjo Físico

Com base nesse procedimento, sendo λ para a água leve da ordem de $4800s^{-1}$, dever-se-ia ter utilizado largura de pulso e período de até $200\mu s$ e $2ms$, respectivamente. Mas, devido a problemas nos ajustes do sistema eletrônico associado usou-se largura de pulso e período iguais a $5ms$ e $50ms$ respectivamente.

Com esta largura de pulso ($5ms$), o tempo morto do multicanal ($16\mu s$) que bloqueia os dois canais após a aceitação do pulso não interfere nas contagens no início da curva de decaimento.

Na Figura 5 temos um exemplo do decaimento do fluxo de nêutrons térmicos em função do tempo, para um dado "buckling" geométrico. Dos gráficos do decaimento de nêutrons, em função do tempo, são determinados os valores da constante de decaimento (λ), para os vários "bucklings" utilizados. Com os valores de λ são traçados os gráficos de λ versus B^2 para geometria cúbica, Figura 6 e para geometria cilíndrica, Figura 7.

As curvas das Figuras 6 e 7 foram traçadas por ajuste dos pontos por mínimos quadrados, para as quais temos as seguintes equações:

$$\lambda(B^2) = 4987,24 + 37598,2 B^2 - 7922,52 B^4 \quad \text{geometria cúbica, e}$$

$$\lambda(B^2) = 4938,75 + 39494,8 B^2 \quad \text{geometria cilíndrica.}$$

Das curvas ajustadas por mínimos quadrados obtemos os parâmetros de difusão de nêutrons na água. Na Tabela-1 são apresentados os valores de coeficiente de difusão médio (D), secção de choque macroscópica média de absorção ($\bar{\Sigma}_a$), área de difusão térmica (L_T^2), comprimento de difusão térmica (L_T), tempo de difusão térmica (t_d), coeficiente de difusão de resfriamento (C), coeficiente de difusão para um meio infinito (D_0), constante de decaimento para um meio infinito (λ_0) obtidos neste trabalho, em comparação com valores da literatura.

TRABALHOS FUTUROS

Pretende-se realizar, ainda na fase de estudo de nêutrons pulsados, medidas com meio multiplicador (solução com urânio) e com grafite. Para tais estudos será utilizado um multicanal mais moderno e serão feitos os ajustes necessários no equipamento para se utilizar a largura de pulso e o período mais adequados aos experimentos.

CONCLUSÃO

Os valores de λ foram obtidos fazendo-se análise dos dados com o código "Statistical Analysis System" (S.A.S.). As equações de $\lambda(B^2)$ foram obtidas por mínimos quadrados com os dados fornecidos pelo S.A.S.. Os desvios dos dados experimentais foram verificados através dos códigos utilizados, mas não foi feito um estudo de propagação de erros.

Para a geometria cilíndrica, o uso de apenas 5 (cinco) "bucklings" forneceu valores discrepantes para o coeficiente C ; tal discrepância impossibilitou escrever uma equação que o contivesse.

Da Tabela-1, nota-se que os valores de B^2 são utilizados em faixas de diferentes valores. Mesmo assim, os valores obtidos neste trabalho não apre-

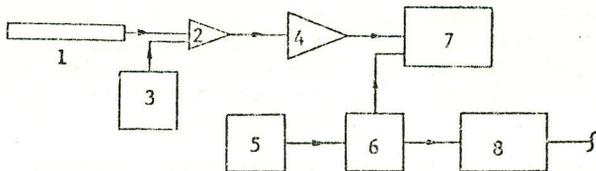


Figura-4 - Diagrama de Blocos Contendo o Detector e o Equipamento Eletrônico Utilizado

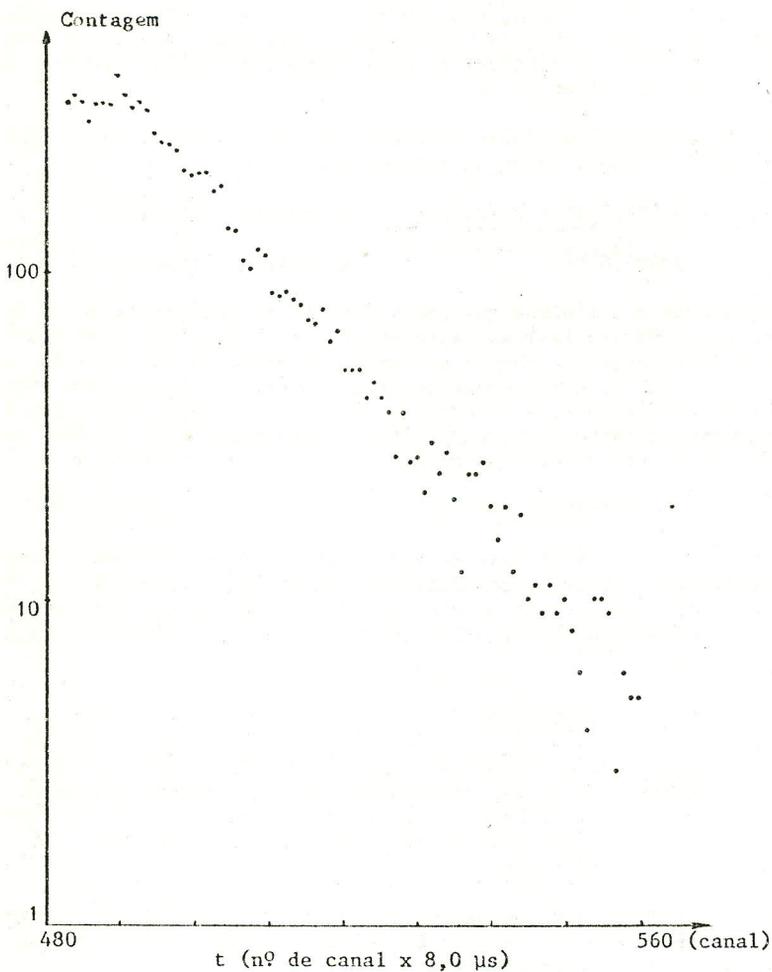


Figura-5 - Decaimento de Nêutrons Versus Tempo: Escala Monolog

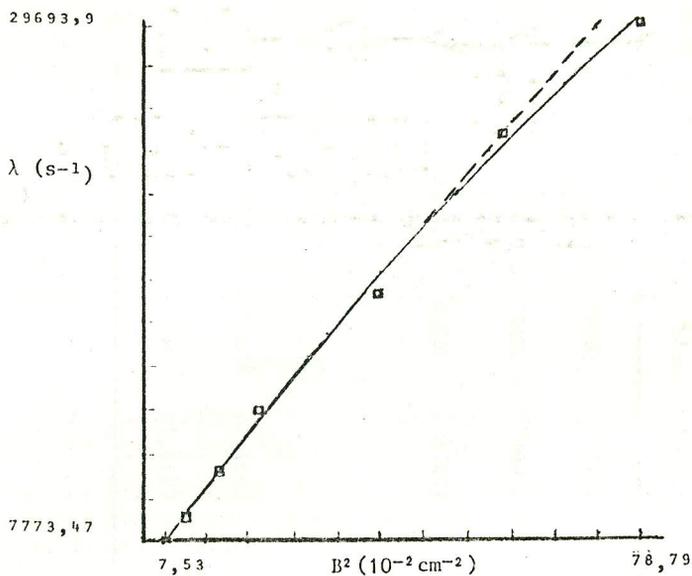


Figura-6 - Constante de Decaimento (λ) Versus "Buckling" (B^2) Geometria Cúbica

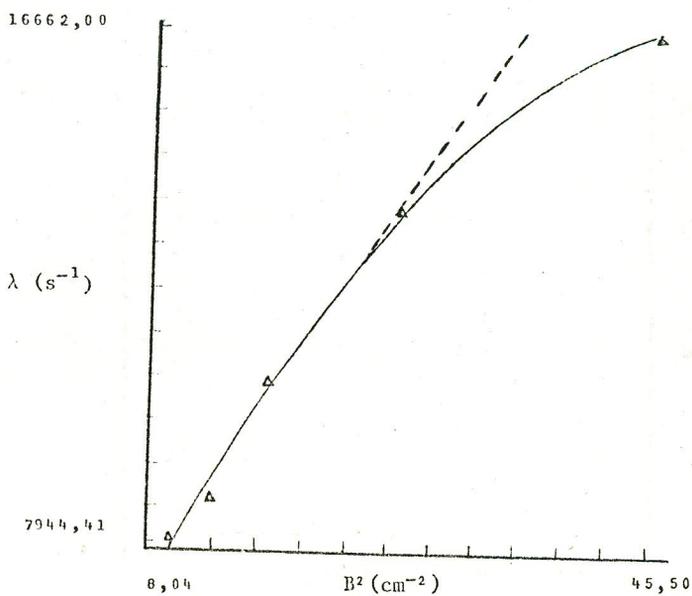


Figura-7 - Constante de Decaimento (λ) Versus "Buckling" (B^2) Geometria Cilíndrica

Tabela 1. Comparação dos Dados Publicados na Literatura com os Obtidos neste Trabalho

Referência	\bar{D} (cm)	$\bar{\lambda}_a$ cm ⁻¹	L_T^2 cm ²	L_T cm	t_d 10 ⁻⁴ s	C cm ⁴ s ⁻¹	λ_o s ⁻¹	D_o cm ² s ⁻¹	B ² faixa cm ⁻²	Temperatu- ra da água °C
4	-	-	-	2,77	-	-	4729	36196	0,0312 a 0,1825	19
5	-	-	-	2,828	-	5116	4768	37503	0,013 a 0,591	26,7
6	-	-	-	-	-	7300	4892	36340	0,1 a 0,7	20
8	0,16	0,0197	8,1	2,85	2,1					
Neste Trabalho										
geometria cúbica	0,150	0,0199	7,539	2,746	2,005	7922,52	4987,24	37598,2	0,075 a 0,787	24,7
cilíndrica	0,158	0,0198	7,997	2,828	2,025	-	4938,75	39494,8	0,080 a 0,402	23,0

sentam grandes variações com os publicados, a não ser com o valor de C da referência 5. De modo geral apresentam boa concordância, com variação máxima em D_0 (geometria cilíndrica) de aproximadamente 9%.

AGRADECIMENTO

Agradecemos ao Chefe da Divisão de Reatores e Experimentação Nuclear, Ms. Joel Alvarenga de Souza e ao Chefe do Departamento de Reatores e Experimentação, Dr. José Antonio Diaz Dieguez pelo apoio na execução deste trabalho.

Queremos fazer um agradecimento especial à Senhorita Edna Maria Martins Coelho pelo excelente trabalho de datilografia que permitiu a publicação deste.

REFERÊNCIAS

- [1] B.E. SIMMONS e J.S. KING, "A pulsed neutron technique for reactivity determination" Nucl. Sci. Eng., 3, 595-608, 1958.
- [2] M. CARVALHO e S.P. SOBRINHO "Estudo preliminar dos parâmetros de difusão da água para neutrons térmicos pelo método da fonte pulsada", IPEN, São Paulo, Brasil, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Nov-1965 (Publ. IEA-107)
- [3] H.R. FRANZEN, "Determinação do λ_{tr} de meios moderadores pelo método de fonte pulsada", IPEN, São Paulo, Brasil, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Set. 1962 (Publ. IEA-54).
- [4] J.A. CZUBEK; K. DROZDOWICZ; A. IGIELSKI; E. KRYNICKA - DROZDOWICZ; Z. SOBCZYŃSKI; U. WOŹNICKA, "Thermal neutron diffusion parameters for light water", Nucleonika, 25(5), 657-666, 1980.
- [5] W.M. LOPEZ e J.R. BEYSTER, "Measurement of neutron diffusion parameters in water by the pulsed neutron method", Nucl. Sci. Eng., 12, 190-202, 1962.
- [6] K.H. BECKURTS, "Reactor physics research with pulsed neutron sources", Nucl. Instruments and Methods, 11, 144-168, 1961.
- [7] F.A. VALENTE, A Manual of Experiments in Reactor Physics, The Macmillan Company N.York, 1963.
- [8] J.R. LAMARSH, Introduction to Nuclear Reactor Theory, Addison - Wesley, Reading, Mass., 1966.