# DETERMINAÇÃO DO $\lambda_{TR}$ DE MEIOS MODERADORES PELO MÉTODO DE FONTE PULSADA

*H. R. FRANZEN*

**Publicação IEA — N.º 54**

Setembro — 1962

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA
Caixa Postal 11049 (Pinheiros)
CIDADE UNIVERSITÁRIA "ARMANDO DE SALLES OLIVEIRA"
SÃO PAULO — BRASIL

# DETERMINAÇÃO DO $\lambda_{TR}$ DE MEIOS MODERADORES PELO MÉTODO DE FONTE PULSADA

H.R. Franzen

Divisão de Física de Reatores - Instituto de Energia Atômica

São Paulo - Brasil

Publicação IEA nº 54

setembro - 1962.

CONSELHO NACIONAL DE PESQUISAS

Presidente: Almirante Octacílio Cunha

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Reitor: Prof. Antônio Barros de Ulhôa Cintra

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR

Presidente: Prof. Marcello Damy de Souza Santos

INSTITUTO DE ENERGIA ATÔMICA

Diretor: Prof. Luiz Cintra do Prado

Conselho Técnico Científico:

| | | |
|---|---|---|
| Prof. | Ivo Wolff | pelo C.N.Pq. |
| " | Rui Ribeiro Franco | pelo C.N.Pq. |
| Prof. | Francisco J.H. Maffei | pela U.S.P. |
| " | José Moura Gonçalves | pela U.S.P. |

Divisões Científicas:

Física Nuclear - Chefe: Prof. M.D. de Souza Santos

Física de Reatores-Chefe: Prof. P.Saraiva de Toledo

Radioquímica - Chefe: Prof. Fausto W. Lima

Radiobiologia - Chefe: Prof. R. R. Pieroni

Engenharia Nuclear - Chefe: Prof. L. C. Prado

Metalurgia Nuclear - Chefe: Prof.T.D.de Souza Santos

Engenharia Química - Chefe: Prof. P. Krumholz.

DETERMINAÇÃO DO $\lambda_{TR}$ DE MEIOS MODERADORES
PELO MÉTODO DE FONTE PULSADA

H.R. Franzen

Divisão de Física de Reatores - Instituto de Energia Atômica

RESUMO

Neste trabalho é desenvolvido um método simples para a determinação do caminho livre médio de transporte de meios moderadores, baseado, essencialmente, na obtenção das constantes de decaimento ( $\lambda$ ) para duas alturas diferentes de moderador.

Consideremos geometrias prismáticas e cilíndricas e as vidas médias experimentais dos neutrons injetados por uma fonte pulsada para duas diferentes alturas de moderadores. O valor do caminho livre médio de transporte será dado pela solução da equação:

$$2{,}84 \left[ \frac{(c_1+c_2)^2}{c_1\, c_2} - 1 \right] \lambda_{TR}^2 - (c_1+c_2)\lambda_{TR} + \frac{3(\lambda_2-\lambda_1)}{\bar{v}\, \pi^2} \, \frac{(c_1\, c_2)^2}{(c_1-c_2)} \cong 0 \quad (A)$$

onde $c_1$, $c_2$ são duas alturas diferentes do meio moderador.

## Introdução.

Antonov (1), Ramanna (2) e outros, determinaram os parâmetros $\Sigma_a \bar{v}$ e D dos meios moderadores que investigaram pelo método de fonte pulsada, extrapolando para $B^2=0$ a reta obtida no gráfico: constante de decaimento ($\lambda$) versus curvatura geométrica ($B^2$). Os coeficientes de difusão (D) dos meios moderadores foram determinados através dos declives das retas correspondentes. Para o cálculo das curvaturas geométricas, os caminhos livres médios de transporte foram preliminarmente estimados. Êste não conhecimento dos caminhos livres médios de transporte corretos, conduz a uma imprecisão no eixo das abcissas do gráfico $\lambda$ versus $B^2$ e, consequentemente, uma tediosa análise por regressão torna-se necessária para a obtenção dos valores corretos. Portanto, a determinação dos parâmetros por esta via é bastante trabalhosa.

O método apresentado é baseado essencialmente na determinação das constantes de decaimento ($\lambda$) dos neutrons para duas diferentes alturas de moderador, sendo que o caminho livre médio de transporte assim obtido, está bem próximo do correto. Consequentemente, o gráfico de $\lambda$ versus $B^2$, terá agora, no eixo das abcissas, valores da curvatura geométrica pràticamente corretos. A análise por regressão será também quase que imediata para a determinação do caminho livre médio de transporte correto do meio moderador.

A verificação da expressão (A) foi feita para:

1. geometria cilíndrica com: R = 10 cm, moderador água.

   As alturas variaram desde 14 cm até 25 cm. Os valores necessários para a obtenção do caminho livre médio de transporte, foram obtidos através da expressão geral de fonte pulsada onde o têrmo $CB^4$ foi desprezado.

2. geometria prismática. Os resultados experimentais de $\lambda_1$, $\lambda_2$, $c_1$, $c_2$ foram retirados de artigos recentes.

2.1) moderador: água
diversos arranjos foram considerados.

2.2) moderador: grafita
arranjo: 200 cm x 200 cm x c. As alturas (c) variaram desde 120 cm até 200 cm.

Os êrros obtidos não ultrapassaram a 0,72%.

## I - Teoria.

Se um jato de neutrons é injetado num meio moderador, a constante de decaimento ($\lambda$) da harmônica fundamental da distribuição dos neutrons é dada como função da curvatura geométrica do meio ($B^2$), pela expressão:

$$\lambda = \Sigma_a \bar{v} + D B^2 - CB^4 \tag{1}$$

onde

$\lambda$ = constante de decaimento dos neutrons ($s^{-1}$)
$\Sigma_a$ = secção de choque macroscópica do meio ($cm^{-1}$)
$D$ = coeficiente de difusão ($cm^2/s$)
$\bar{v}$ = velocidade média (cm/s)
$B^2$ = curvatura geométrica ($cm^{-2}$)
$C$ = coeficiente de difusão de resfriamento ($cm^4/s$)

O têrmo $CB^4$ para pequenas curvaturas geométricas poderá ser desprezado e (1) se reduz:

$$\lambda = \Sigma_a \bar{v} + DB^2 \tag{2}$$

Considerando (2), resulta:

a) para altura $c_1$

$$\lambda_1 = \Sigma_a \bar{v} + D_1 \ B_1^2 \tag{3}$$

b) para altura $c_2$

$$\lambda_2 = \Sigma_a \bar{v} + D_1 B_2^2 \tag{4}$$

Subtraindo (3) de (4)

$$\lambda_2 - \lambda_1 = D \left(B_2^2 - B_1^2\right) \tag{5}$$

I.1) Geometria cilíndrica

Tomando a expressão (5) e considerando meios moderadores com geometria cilíndrica, as expressões para $B_1^2$ e $B_2^2$ serão dadas por:

$$B_1^2 = \left[\frac{j_o}{R + 0{,}71 \lambda_{TR}}\right]^2 + \left[\frac{\pi}{H_1 + 2(0{,}71)\lambda_{TR}}\right]^2 \tag{6}$$

$$B_2^2 = \left[\frac{j_o}{R + 0{,}71 \lambda_{TR}}\right]^2 + \left[\frac{\pi}{H_2 + 2(0{,}71)\lambda_{TR}}\right]^2 \tag{7}$$

onde

R = raio do cilindro

$j_o = 2{,}405$

$H_1$, $H_2$ = alturas do meio moderador = $c_1$, $c_2$.

Subtraindo (6) de (7), resulta:

$$B_2^2 - B_1^2 = \pi^2 \left\{ \left[ \frac{1}{H_2\left(1+\frac{1,42\,\lambda\,TR}{H_2}\right)} \right]^2 - \left[ \frac{1}{H_1\left(1+\frac{1,42\,\lambda\,TR}{H_1}\right)} \right]^2 \right\} \qquad (8)$$

Se $1,42\lambda_{TR} \ll H$, $\left( \frac{1}{1+\frac{1,42\lambda\,TR}{H}} \right)$ poderá ser desenvolvida em série de potências de $\left( \frac{1,42\lambda\,TR}{H} \right)$ até segunda ordem, resultando:

$$\left( \frac{1}{1+\frac{1,42\lambda\,TR}{H}} \right) \simeq 1 - \left( \frac{1,42\lambda TR}{H} \right) + \left( \frac{1,42\lambda\,TR}{H} \right)^2 \qquad (9)$$

Substituindo (9) em (8) e desprezando os têrmos em $\left( \frac{1,42\lambda\,TR}{H} \right)^4$ resulta:

$$B_2^2 - B_1^2 \simeq \frac{\pi^2}{H_1\,H_2} \left\{ (H_1^2 - H_2^2) - 2\,(1,42) \left[ \frac{H_1^2}{H_2} - \frac{H_2^2}{H_1} \right] \lambda\,TR \right. +$$

$$\left. + 3\,(1,42)^2 \left[ \left( \frac{H_1}{H_2} \right)^2 - \left( \frac{H_2}{H_1} \right)^2 \right] \lambda\,TR^2 - 2(1,42)^3 \left[ \frac{H_1^2}{H_1^3} - \frac{H_2^2}{H_1^3} \right] \lambda\,TR^3 \right\} \qquad (10)$$

E, finalmente, levando (10) em (5):

$$K\,(H_1\,H_2)^2 \simeq -2\,(1,42)^3 \left[ \frac{H_1^5 - H_2^5}{(H_1\,H_2)^3} \right] \lambda^4 TR + 3(1,42)^2 \left[ \frac{H_1^4 - H_2^4}{(H_1\,H_2)^2} \right] \lambda^3 TR -$$

6.

$$- 2(1,42) \left[\frac{H_1^3 - H_2^3}{H_1 \quad H_2}\right] \lambda_{TR}^2 + (H_1 - H_2) \lambda_{TR} \qquad (11)$$

onde

$$K = \frac{3 ( \lambda_2 - \lambda_1)}{\pi^2} \qquad (12)$$

A análise numérica dos valores dos têrmos em $\lambda_{TR}^4$ e $\lambda_{TR}^3$ mostra que poderão ser desprezados e rearranjando (11) tem-se:

$$2,84 \left[\frac{\left(H_1 + H_2\right)^2}{H_1 \quad H_2} - 1\right] \lambda_{TR}^2 - (H_1 + H_2) \lambda_{TR} + \frac{3(\lambda_2 - \lambda_1)}{\pi^2} \frac{(H_1 H_2)^2}{(H_1 - H_2)} \simeq 0 \qquad (13)$$

I.2) Geometria Prismática

Tomando a expressão (5) e considerando meios moderadores com geometria prismática, as expressões para $B_1^2$ e $B_2^2$ serão dadas por:

$$B_1^2 = \pi^2 \left\{ \left[\frac{1}{a_1 + 2(0,71) \lambda_{TR}}\right]^2 + \left[\frac{1}{b_1 + 2(0,71) \lambda_{TR}}\right]^2 + \left[\frac{1}{c_1 + 2(0,71) \lambda_{TR}}\right]^2 \right\} \qquad (14)$$

$$B_2^2 = \pi^2 \left\{ \left[\frac{1}{a_2 + 2(0,71) \lambda_{TR}}\right]^2 + \left[\frac{1}{b_2 + 2(0,71) \lambda_{TR}}\right]^2 + \left[\frac{1}{c_2 + 2(0,71) \lambda_{TR}}\right]^2 \right\} \qquad (15)$$

onde:

$a_1$, $a_2$ = comprimentos do meio moderador

$b_1$, $b_2$ = larguras do meio moderador

$c_1$, $c_2$ = alturas do meio moderador

Considerando $a_1 = a_2$, $b_1 = b_2$, $B_2^2 - B_1^2$ será dado por:

$$B_2^2 - B_1^2 = \pi^2 \left\{ \left[ \frac{1}{c_2\left(1 + \frac{1,42}{c_2}\lambda_{TR}\right)} \right]^2 - \left[ \frac{4}{c_1\left(1 + \frac{1,42}{c_1}\lambda_{TR}\right)} \right]^2 \right\} \qquad (16)$$

Se $\frac{1,42\lambda_{TR}}{H} \ll c$, $\left( \frac{1}{1 + \frac{1,42\lambda_{TR}}{c}} \right)$ poderá ser desenvolvido em série de potências de $\frac{1,42\lambda_{TR}}{c}$ até segunda ordem, resultando:

$$\left( \frac{1}{1 + \frac{1,42\lambda_{TR}}{c}} \right) \simeq 1 - \frac{1,42\lambda_{TR}}{c} + \left[ \frac{1,42\lambda_{TR}}{c} \right]^2 \qquad (17)$$

Subtraindo (17) em (16) e desprezando os têrmos em $\left( \frac{1,42\lambda_{TR}}{c} \right)^4$ resulta:

$$B_2^2 - B_1^2 \simeq \left( \frac{\pi}{c_1\ c_2} \right)^2 \left\{ (c_1^2 - c_2^2) - 2(1,42) \left[ \frac{c_1^2}{c_2} - \frac{c_2^2}{c_1} \right] \lambda_{TR} + 3(1,42)^2 \left[ \left( \frac{c_1}{c_2} \right)^2 - \left( \frac{c_2}{c_1} \right)^2 \right] \lambda_{TR}^2 - 2\,(1,42)^3 \left[ \frac{c_1^2}{c_2^3} - \frac{c_2^2}{c_1^3} \right] \lambda_{TR}^3 \right\} \qquad (18)$$

e finalmente (18) em (5), resulta:

$$K\,(c_1\ c_2) \simeq -2(1,42)^3 \left[ \frac{c_1^5 - c_2^5}{(c_1\ c_2)^3} \right] \lambda_{TR}^4 + 3(1,42)^2 \left[ \frac{c_1^4 - c_2^4}{(c_1\ c_2)} \right] \lambda_{TR}^3 - 2\,(1,42) \left[ \frac{c_1^3}{c_1} - \frac{c_2^3}{c_2} \right] \lambda_{TR}^2 + (c_1 - c_2)\,\lambda_{TR}$$

onde

$$K = \frac{3(\lambda_2 - \lambda_1)}{\bar{v}\,\pi^2} \qquad (20)$$

A análise numérica dos valores dos têrmos em $\lambda_{TR}^4$ e $\lambda_{TR}^3$ mostra que poderão ser desprezados e rearranjando (19) resulta:

$$2{,}84\left[\frac{(c_1+c_2)^2}{c_1\,c_2} - 1\right]\lambda_{TR}^2 - (c_1 + c_2)\lambda_{TR} + \frac{3(\lambda_2 - \lambda_1)}{\bar{v}\,\pi^2}\,\frac{(c_1\;c_2)^2}{(c_1-c_2)} \cong 0 \qquad (21)$$

II - <u>Cálculo do êrro</u>

II.1) Reescrevendo a expressão (13) obtida para a geometria cilíndrica, resulta:

$$\alpha\,\lambda_{TR}^2 - 2\beta\,\lambda_{TR} + j \cong 0 \qquad (22)$$

onde

$$\alpha = 2{,}84\left[\frac{(H_1 + H_2)^2}{H_1\;H_2} - 1\right] \qquad (23)$$

$$\beta = \frac{H_1 + H_2}{2} \qquad (24)$$

$$\gamma = \left[\frac{3(\lambda_2 - \lambda_1)}{\bar{v}\,\pi^2}\right]\frac{(H_1\;H_2)^2}{(H_1 - H_2)} \qquad (25)$$

O êrro na determinação do caminho livre médio de transporte será dado por:

$$\sigma_{\lambda TR}^2 = \left(\frac{\partial\lambda_{TR}}{\partial\alpha}\right)^2\sigma_\alpha^2 + \left(\frac{\partial\lambda_{TR}}{\partial\beta}\right)^2\sigma_\beta^2 + \left(\frac{\partial\lambda_{TR}}{\partial\gamma}\right)^2\sigma_\gamma^2 \qquad (26)$$

onde as derivadas parciais são:

$$\frac{\partial \lambda_{TR}}{\partial \alpha} = \frac{\gamma - \lambda_{TR} (\beta - \alpha\gamma)^{1/2}}{\alpha (\beta^2 - \alpha\gamma)} \qquad (27)$$

$$\frac{\partial \lambda_{TR}}{\partial \beta} = - \frac{\lambda_{TR}}{(\beta^2 - \alpha\gamma)} \qquad (28)$$

$$\frac{\partial \lambda_{TR}}{\partial \gamma} = \frac{1}{2 (\beta^2 - \alpha\gamma)^{1/2}} \qquad (29)$$

e $\sigma_\alpha^2$, $\sigma_\beta^2$, $\sigma_\gamma^2$ serão dados por:

$$\sigma_\alpha^2 = \frac{2{,}84(H_1^2 - H_2^2)}{H_1 \ H_2} \left[ \frac{\sigma^2 \ H_1}{H_1^2} + \frac{\sigma^2 \ H_2}{H_1^2} \right] \qquad (30)$$

$$\sigma_\beta^2 = \frac{1}{4} \left[ \sigma^2 \ H_1 + \sigma^2 \ H_2 \right] \qquad (31)$$

$$\sigma_\gamma^2 = \frac{K^2(H_1 \ H_2)^2}{(H_1 - H_2)^4} \left[ H_2^2 \ (H_1 - 2 \ H_2)^2 \ \sigma^2 \ H_1 + H_1^2 \ (2 \ H_1 - H_2)^2 \ \sigma^2 H_2 \right] +$$

$$+ \left[ \frac{c}{\lambda_2 - \lambda_1} \right]^2 ( \sigma^2_{\lambda 1} + \sigma^2_{\lambda 2} ) \qquad (32)$$

II. 2) para a geometria prismática, reescrevendo a expressão (21) resulta:

$$\xi \lambda_{TR}^2 - 2 \rho \lambda_{TR} + \mu = 0 \qquad (33)$$

Verificamos de imediato, que as expressões apresentadas para calcular o êrro do $\lambda_{TR}$ no caso da geometria cilíndrica, são válidas, também, para êste caso, bastando apenas mudar:

$$\alpha = \xi \qquad H_1 = c_1$$

$$\beta = \rho$$

$$\gamma = \mu \qquad H_2 = c_2$$

Os êrros que figuram nas tabelas I, II, III, foram calculados através da expressão (26) com os seguintes valores estimados :

II. 3) moderador água: os êrros nas alturas são de 0,05 cm

II. 4) moderador grafita:os êrros nas alturas são de 0,2 cm

II. 5) os valores das constantes de decaimento ($\lambda$) apresentados, contém 1% de êrro no caso da água (tabela II), e no caso da grafita, os êrros se encontram na tabela III.

III. 6) pela análise numérica, os produtos:

$$\sigma_{\alpha}^2 \left(\frac{\partial \lambda_{TR}}{\partial \alpha}\right)^2, \ \sigma_{\beta}^2 \left(\frac{\partial \lambda_{TR}}{\partial \beta}\right)^2 ; \ \sigma_{\xi}^2 \left(\frac{\partial \lambda_{TR}}{\partial \xi}\right)^2 , \ \sigma_{\rho}^2 \left(\frac{\partial \lambda_{TR}}{\partial \rho}\right)^2$$

foram desprezados em face dos produtos $\sigma_{\gamma}^2 \left(\frac{\partial \lambda_{TR}}{\partial \gamma}\right)^2 ; \ \sigma_{\mu}^2 \left(\frac{\partial \lambda_{TR}}{\partial \mu}\right)^2$

III. 7) o êrro padrão do $\lambda_{TR}$ médio é dado pela expressão:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum (x_i - M)^2}{n(n-1)}}$$

onde

n = número de observações

$\sum (x_i - M)^2$ = somatório dos quadrados dos desvios.

## III - Resultados

### III. 1) Geometria Cilíndrica

moderador : água

R = 10 cm

Tabela I

| $H_1$ (cm) | $H_2$ (cm) | $\lambda_1$ $(10^3)$ $(s^{-1})$ | $\lambda_2$ $(10^3)$ $(s^{-1})$ | K $(10^{-3})$ $(cm^{-1})$ | $\lambda_{TR}$ (cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 18 | 14 | 7,4256 | 7,9801 | 0,766086 | 0,4305 |
| 20 | 15 | 7,2635 | 7,9994 | 0,74040 | 0,4262 |
| 25 | 20 | 7,0081 | 7,2635 | 0,35290 | 0,4270 |

$\lambda_{TR\ médio} = 0,4279 \pm 0,0013$ cm

Os valores de $\lambda_1$, $\lambda_2$, que constam na Tabela I, foram calculados através da expressão (2), com as seguintes constantes:

$\Sigma_a = 0,022\ cm^{-1}$; $v = 2.200$ m/s; $\lambda_{TR} = 0,4248$ cm.

Confrontando o valor do $\lambda_{TR}$ obtido com o $\lambda_{TR} = 0,4248$ cm calculado com as constantes do ANL-5800, o êrro é de 0,72 % .

III. 2) Geometria prismática

moderador : água

Tabela II

| $a_1$ (cm) | $b_1$ (cm) | $c_1$ (cm) | $c_2$ (cm) | $\lambda_1$ $s^{-1}$ | $\lambda_2$ $s^{-1}$ | $K(10^{-5})$ $(cm^{-1})$ | $\lambda_{TR}$ (cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 31,1 | 60,2 | 26,4 | 16,5 | 5722 | 6437 | 87,317 | 0,450 ± 0,024 |
| 76,2 | 76,2 | 10,2 | 7,62 | 7980 | 10205 | 271,720 | 0,462 ± 0,013 |
| 17,6 | 17,6 | 17,7 | 12,6 | 7980 | 9037 | 110,521 | 0,404 ± 0,025 |
| 15,2 | 29,7 | 16,5 | 14,6 | 7854 | 8140 | 34,927 | 0,3836 ± 0,071 |
| 31,1 | 60,2 | 26,4 | 19,1 | 5722 | 6147 | 81,902 | 0,4342 ± 0,041 |

$$\lambda_{TR\ \text{médio}} = 0{,}4272 \pm 0{,}014 \text{ cm}$$

Os valores utilizados para o cálculo do caminho livre médio de transporte são experimentais e foram retirados da referência (3). Confrontando o valor do $\lambda_{TR}$ médio com o $\lambda_{TR}$ = 0,4252 cm (ANL-5800), o êrro é de 0,47 % .

IV. 3) Geometria prismática

moderador: grafita

arranjo : 200 cm x 200 cm x c

Tabela III

| $c_1$ (cm) | $c_2$ (cm) | $\lambda_1$ ($s^{-1}$) | $\lambda_2$ ($s^{-1}$) | K ($cm^{-1}$) | $\lambda_{TR}$ (cm) |
|---|---|---|---|---|---|
| 200 | 140 | 225 ± 4 | 273 ± 5 | $5,862 \times 10^{-5}$ | 2,46 ± 0,155 |
| 200 | 160 | 225 ± 4 | 252 ± 5 | $3,297 \times 10^{-5}$ | 2,49 ± 0,287 |
| 160 | 120 | 252 ± 5 | 311 ± 6 | $7,205 \times 10^{-5}$ | 2,57 ± 0,170 |

$$\lambda_{TR\ \text{médio}} = 2,506 \pm 0,032 \text{ cm}$$

Os valores de $c_1$, $c_2$, $\lambda_1$, $\lambda_2$, são experimentais e foram retirados do artigo de J. Lalande (4).

O caminho livre médio de transporte obtido experimentalmente por J. Lalande, foi de 2,50 cm. Confrontando-o com o nosso resultado obtido, o êrro é de 0,24 % .

IV - Conclusões

A análise dos resultados obtidos com os resultados corretos dos caminhos livres médios de transporte, mostram que os êrros não ultrapassaram a 0,72% no caso da água e 0,25% para o caso da grafita e, portanto, concluimos que o método aqui desenvolvido é bastante satisfatório.

V - Agradecimentos

O autor aproveita a oportunidade para agradecer ao Prof. Paulo Saraiva de Toledo, Chefe da Divisão de Física de Reatores, o incentivo e as valiosas discussões realizadas no decur so dêste trabalho. À srtª Myriam de Carvalho e ao sr. J.Max Cohenca, pela realização dos cálculos numéricos, nossos agradecimentos.

## VI - Apendix

A mesma expressão (21) pode ser aplicada para a determinação do caminho livre médio no caso de geometria prismática - célula com cavidade cilíndrica, altura infinita. J. lalande (5).

A expressão geral é dada por:

$$\lambda = \Sigma_a \bar{v} + D_o \Pi^2 + D_o B^2 \qquad (33)$$

onde

$\lambda$ = constante de decaimento dos neutrons ($s^{-1}$)

$\Sigma_a$ = secção de choque macroscópica do meio ($cm^{-1}$)

$D_o$ = coeficiente de difusão do meio homogêneo ($cm^2/s$)

$B^2$ = curvatura geométrica ($cm^{-2}$)

$\Pi^2$ = curvatura geométrica do meio moderador com altura infinita ($cm^{-2}$).

Determinando-se as vidas médias dos neutrons para duas diferentes curvaturas geométricas e, efetuando-se a diferença entre as respectivas expressões, resultará:

$$\lambda_2 - \lambda_1 = D_o \left( B_2^2 - B_1^2 \right) \qquad (34)$$

Substituindo (16) em (34) e aplicando-se raciocínio análogo , chegaremos à expressão (21), que nos permite calcular o caminho livre médio de transporte.

## Referências


(1) Antonov et al, Neutron diffusion by the impulse method, Peaceful Uses of Atomic Energy vol. 5, 1955.

(2) Ramanna et al, Measurements of $L^2$ and $\tau$ for $H_2O$ and Be, Peaceful Uses of Atomic Energy vol. 5, 1955.

(3) W.M. Lopez and J.R. Beyster, Measurements of Diffusion Parametters in Water by Pulsed Neutron Method, N.S. and Eng., Feb. 62, nº 2.

(4) J. Lalande, Determination des constantes nucleaires du graphite par la méthode des neutrons pulsés.

(5) J. Lalande, Calcul du temps de vie des neutrons thermique dans un modérateur héterogene graphite - cadmium.

Vérification expérimentale par la méthode des neutrons pulsés.


oooo

ma.