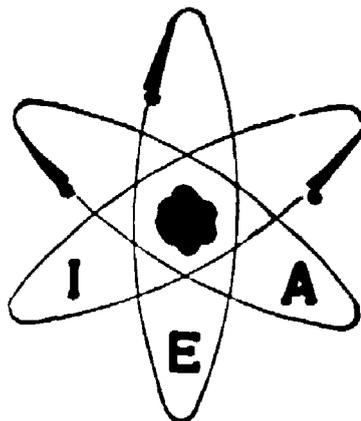


BR7801557



**EFEITO GRANULAR NAS SECÇÕES DE CHOQUE EFETIVAS
NOS REATORES DO TIPO HTGR.**

ANTONIO CARLOS DE ALMEIDA FERREIRA

INFORMAÇÃO IEA N.º 39
Janeiro — 1975

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

**EFEITO GRANULAR NAS SECÇÕES DE CHOQUE
EFETIVAS NOS REATORES DO TIPO HTGR.**

Antonio Carlos de Almeida Ferreira

**Coordenadoria de Engenharia Nuclear
Instituto de Energia Atômica
São Paulo - Brasil**

**Informação IEA Nº 39
Janeiro - 1975**

Instituto de Energia Atômica

Conselho Superior

Eng^o Roberto N. Jafet - Presidente
Prof.Dr.Emilio Mattar - Vice-Presidente
Prof.Dr.José Augusto Martins
Prof.Dr.Milton Campos
Eng^o Helcio Modesto da Costa

Superintendente

Rômulo Ribeiro Pieroni

EFEITO GRANULAR NAS SECÇÕES DE CHOQUE EFETIVAS NOS REATORES DO TIPO HTGR.

Antonio Carlos de Almeida Ferreira

Resumo

Os reatores do tipo do HTGR exibem uma dupla forma de heterogeneidade: primeiramente, do ponto de vista microscópico, os materiais absorvedores apresentam-se como grânulos dispersos em uma matriz de material moderador; e sob o aspecto macroscópico, as regiões de estrutura granular distribuem-se heterogeneamente em um meio também moderador. Previamente a análise celular, que permite passar da distribuição heterogênea macroscópica ao sistema finalmente homogêneo, é necessário que as regiões nas quais se concentram os aglomerados granulares possam ser tratadas como áreas de absorção uniforme. Essa passagem exige que se determine os fatores de autoblindagem dos grãos absorvedores. No presente trabalho estudam-se, para o domínio térmico, os efeitos granulares relevantes que os afetam: de um lado, sabendo-se que os grãos, além dos materiais absorvedores, ainda contêm núcleos espalhadores, e, de outro, que a proximidade das microsferas não permite ignorar as interações mútuas.

Introdução:

O cálculo das secções de choque efetivas de um reator do tipo HTGR deve levar em conta a presença de uma dupla heterogeneidade: a constituída pela configuração das barras absorvedoras, dispostas segundo um reticulado na estrutura do moderador, e a constituída pela própria barra, em si mesma já heterogênea, pois o material absorvedor apresenta-se sob a forma de grânulos dispersos na matriz de grafita de ligamento.

Os efeitos das heterogeneidades microscópicas podem ser traduzidos em termos dos fatores de autoblindagem dos grãos, que são os coeficientes multiplicativos das secções de choque reais dos materiais granulares. Por intermédio dessa correção, elimina-se a natureza discreta da distribuição de combustível dentro da barra, que passa a ser tratada como meio homogêneo, do qual participam tanto a grafita de ligamento como os materiais presentes nos grãos, agora diluídos uniformemente na matriz.

O objetivo deste trabalho é a estimativa dos fatores de autoblindagem dos grãos nas energias térmicas em reatores semelhantes ao HTGR. No que segue, apresentam-se brevemente os métodos adotados, e alguns resultados numéricos que permitem avaliar a importância da estrutura granular das barras combustíveis.

Como as dimensões dos grãos são pequenas, é de esperar que, nas energias térmicas, a depressão interna do fluxo não seja muito pronunciada. Além disso, os grânulos são constituídos de UC_2 ou ThO_2 , e contêm quantidades razoáveis de materiais puramente espalhadores que atuam como fontes de neutrons secundários dentro dos grãos, o que contribui para atenuar ainda mais o efeito do bloqueio.

Esses fatos nos levam a supor que a correção de autoblindagem para os grãos, se vistos isoladamente, é pouco significativa. Não é assim, porém, quando consideramos a constelação

dos grânulos, pois a distância entre eles será muito inferior ao percurso livre de transporte no moderador de permeio e a interação entre os agentes absorvedores será forte. Em outras palavras, a principal consequência da estrutura heterogênea microscópica é o efeito de Dancoff.

Teoria:

Lane et al.⁽²⁾, com base em considerações estatísticas, estabeleceram a seguinte expressão simples para o cálculo da correção de Dancoff:

$$C = \frac{1}{1 + 1_0 N_0 \sigma_m} \quad (1)$$

que fornece a probabilidade de um neutron, após ter-se escapado de um grão, ser absorvido em outro grão. N_0 é a concentração de átomos absorvedores no grão, 1_0 a corda média do grão e σ_m a secção de choque de espalhamento do moderador de permeio por átomo absorvedor no conjunto. Essa fórmula será correta se a fração de volume dos grãos for muito pequena, vale dizer, em casos de alta diluição do absorvedor e se os grânulos estiverem distribuídos ao acaso.

Em razão dos efeitos de interferência mútua, a probabilidade de um neutron térmico, nascido no interior do grão, termine por sofrer colisão com o moderador da matriz, passa a ser dada por⁽³⁾:

$$P^* = P \frac{1 - C}{1 - C + 1_0 \Sigma P} \quad (2)$$

em substituição ao valor P , que forneceria a probabilidade de escape de um grão isolado. Aqui, Σ representa a secção de choque do absorvedor.

A probabilidade de escape de um grão isolado, puramente absorvedor, é modificada pela presença do material espalhador misturado, que tanto os grânulos férteis (ThO_2) como os físeis (UC_2) contêm. A expressão deduzida por Dyos e Pomraning⁽¹⁾ é a seguinte:

$$P = \frac{P_0}{1 - C(1 - P_0)} \quad (3)$$

onde P_0 representa a probabilidade de escape do neutron em primeiro voo e C a razão de espalhamento: $\frac{\Sigma_s}{\Sigma}$. A equação (3) baseia-se na hipótese de que a densidade das colisões, de qualquer ordem, no interior dos grânulos, ser uniforme, o que é uma aproximação realista quando se consideram as pequenas dimensões das partículas absorvedoras⁽⁴⁾.

Dyos e Pomraning⁽¹⁾ fornecem ainda uma expressão para P_0 para corpos esféricos de raio a :

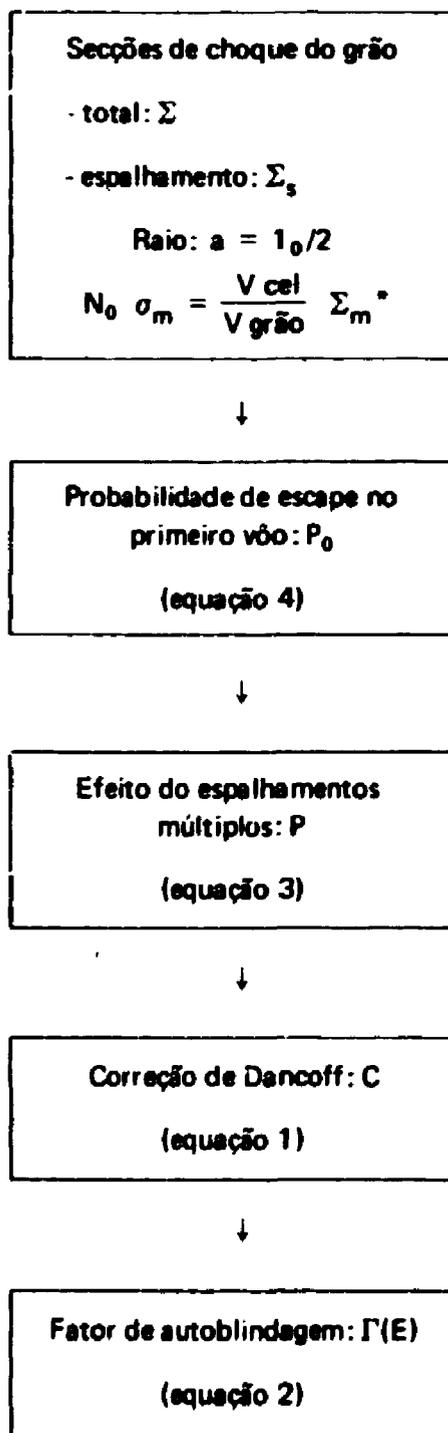
$$P_0 = \frac{3}{8(\Sigma a)^3} \left[2(\Sigma a)^2 - 1 + (1 + 2\Sigma a) e^{-2\Sigma a} \right] \quad (4)$$

Finalmente, o fator de autoblindagem, conforme estabeleceram por vias independentes Dyos e Pomraning⁽¹⁾ e Lane et al.⁽²⁾ é a probabilidade de escape do grão:

$$\Gamma(E) = P^*(E), \quad (5)$$

entrando no computo de $\Gamma(E)$ todos os fatores que influem na sorte do neutron.

O diagrama seguinte representa o esquema de procedimento para o cálculo do fator de autoblindagem.



* V_{cel} é o volume da célula esférica de um grão; Σ_m é a secção de choque macroscópica do moderador da matriz.

É oportuno observar que P_0 é pouco sensível à forma do grânulo.

Resultados:

Aplicamos a teoria, cujos resultados foram aqui resumidos, aos grânulos do reator. As secções de choque microscópicas acham-se no programa THERMOS. Os quadros I e II exibem os resultados numéricos.

Quadro I
Fatores de autoblindagem nos grânulos de UC_2 para
as secções de choque do programa THERMOS:

a Grupo	50 μ m			100 μ m	150 μ m
	P_0	P	$\Gamma(E)$	$\Gamma(E)$	$\Gamma(E)$
1	0,869	0,870	0,309	0,294	0,280
2	0,931	0,932	0,470	0,454	0,438
3	0,953	0,954	0,569	0,553	0,538
4	0,964	0,965	0,636	0,522	0,607
5	0,971	0,972	0,685	0,671	0,658
6	0,975	0,977	0,722	0,709	0,697
7	0,979	0,980	0,751	0,739	0,728
8	0,981	0,983	0,774	0,764	0,754
9	0,983	0,985	0,794	0,784	0,775
10	0,985	0,987	0,811	0,802	0,793
11	0,986	0,988	0,825	0,817	0,809
12	0,987	0,989	0,838	0,830	0,822
13	0,988	0,990	0,849	0,842	0,835
14	0,989	0,991	0,858	0,852	0,845
15	0,990	0,992	0,867	0,861	0,855
16	0,991	0,992	0,875	0,869	0,863
17	0,991	0,993	0,883	0,877	0,872
18	0,992	0,994	0,890	0,885	0,880
19	0,992	0,994	0,896	0,892	0,887
20	0,993	0,995	0,903	0,898	0,894
21	0,993	0,995	0,908	0,904	0,900
22	0,994	0,996	0,913	0,909	0,905
23	0,994	0,996	0,916	0,913	0,909
24	0,994	0,996	0,917	0,914	0,910
25	0,994	0,995	0,912	0,909	0,905
26	0,994	0,996	0,914	0,910	0,906
27	0,995	0,997	0,933	0,930	0,928
28	0,996	0,998	0,945	0,943	0,942
29	0,996	0,998	0,952	0,951	0,950
30	0,997	0,999	0,956	0,955	0,954

QUADRO II

Fatores de autoblindagem nos grânulos de ThO₂ para as secções de choque do programa THERMOS:

a	50 μ m			100 μ m	150 μ m	
	Grupo	P ₀	P	I'(E)	I'(E)	
	1	0,992	0,994	0,590	0,588	0,586
	2	0,995	0,997	0,705	0,703	0,702
	3	0,996	0,998	0,754	0,752	0,751
	4	0,997	0,998	0,780	0,779	0,778
	5	0,997	0,999	0,798	0,797	0,796
	6	0,997	0,999	0,809	0,809	0,808
	7	0,997	0,999	0,818	0,817	0,817
	8	0,997	0,999	0,825	0,824	0,824
	9	0,998	0,999	0,830	0,829	0,829
	10	0,997	0,999	0,834	0,834	0,833
	11	0,997	0,999	0,837	0,837	0,837
	12	0,998	1,000	0,841	0,840	0,840
	13	0,997	0,999	0,843	0,843	0,842
	14	0,998	1,000	0,845	0,845	0,845
	15	0,997	0,999	0,847	0,847	0,846
	16	0,997	0,999	0,849	0,849	0,848
	17	0,998	1,000	0,850	0,850	0,850
	18	0,998	1,000	0,852	0,852	0,852
	19	0,997	1,000	0,853	0,853	0,853
	20	0,998	1,000	0,855	0,855	0,854
	21	0,997	1,000	0,856	0,856	0,856
	22	0,997	1,000	0,857	0,857	0,857
	23	0,997	1,000	0,859	0,859	0,858
	24	0,998	1,000	0,850	0,860	0,860
	25	0,997	1,000	0,861	0,861	0,861
	26	0,998	1,000	0,862	0,862	0,862
	27	0,999	1,000	0,863	0,863	0,863
	28	0,998	1,000	0,864	0,864	0,864
	29	0,999	1,000	0,865	0,865	0,865
	30	0,999	1,000	0,866	0,866	0,866

Foram os seguintes os dados utilizados nos cálculos:

- densidade de ThO₂: 9,86 g/cm³ (5)
- densidade do UC: 11,28 g/cm³ (5)
- concentração de urânio nas barras: 0,2 g/cm³
- concentração de tório nas barras: 1 g/cm³
- enriquecimento do urânio: 20%

Os diâmetros 100 μm , 200 μm e 300 μm para os quais foram efetuados os cálculos, representam valores típicos da distribuição dos diâmetros dos grânulos do HTGR

Para fins de comparação, foram indicados nas tabelas, para o diâmetro de 100 μm , os valores de autoblindagem quando se tratam as esferulas como absorvedores puros isolados (P_0), quando se inclui a presença dos espalhadores adicionados (P) e quando se considera a correção de Dancoff (Γ). É este último efeito que, de longe, domina os coeficientes de autoblindagem como já tínhamos antecipado

O exame das tabelas revela ainda que para as dimensões estudadas os fatores de blindagem são aproximadamente lineares com os diâmetros. Isso autoriza a ignorar a dispersão dos diâmetros nas amostras e a substituir a distribuição estatística pelo seu valor médio

Nas altas energias térmicas a absorção é diminuída sensivelmente e os valores de $\Gamma(E)$ tornam-se relativamente insensíveis às variações do diâmetro

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1 DYOS, M. W. & POMRANING, G. C. Effective thermal neutron cross sections for materials with grain structure **Nucl. Sci. Engng.**, New York, 25, 8-11, 1966
- 2 LANE, R. K. et alii. Resonance absorption in materials with grain structure **Nucl. Sci. Engng.**, New York, 14:390-6, 1962
- 3 NORDHEIM, L. W. The theory of resonance absorption. In BIRKHOFF, G. & WIGNER, E. P. eds **Nuclear reactor theory: proceedings of symposia in applied mathematics**. Providence, American Mathematical Society, 1961. v.11, p.58-88
- 4 SAUER, A. Thermal utilization in the square lattice cell **J. nucl. Energy, A/B**, London 18: 425-47, 1964
- 5 WEAST, R. C., ed. **Handbook of chemistry and physics** 53 ed. Cleveland, Ohio, The Chemical Rubber Co. 1972/73