

ANÁLISE DE EXPERIMENTOS CRÍTICOS DE ÓXIDOS MISTOS UTILIZANDO O
CÓDIGO HAMMER-TECHNION COM TRATAMENTO DE AUTOBLINDAGEM VIA
MÉTODO DE BONDARENKO

Alfredo Y. Abe e Adimir dos Santos*

Coordenadoria de Projetos Especiais - COPESP
Av. Prof. Lineu Prestes, 2242 - São Paulo
*Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, CNEN
Caixa Postal 11049 (Pinheiros), São Paulo, Brasil

RESUMO

O presente trabalho apresenta a verificação do método de autoblindagem via Bondarenko implementado no código HAMMER-TECHNION, para sistemas críticos contendo $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ utilizando a biblioteca de dados nucleares básicos JENDL-3. Os resultados obtidos apresentam excelente concordância quando comparados com os resultados obtidos pelo método original de tratamento de autoblindagem do código HAMMER-TECHNION.

INTRODUÇÃO

O método de Bondarenko para tratamento da autoblindagem das ressonâncias foi implementado no código HAMMER-TECHNION com sucesso[1]. A principal motivação inicial da implementação do método de Bondarenko no código HAMMER-TECHNION[2] para o tratamento da autoblindagem foi a possibilidade de acessar e avaliar os dados nucleares mais recentes das bibliotecas básicas JENDL-3 e ENDF/B-VI.

O trabalho de implementação do método foi verificado utilizando experimentos críticos térmicos das séries: TRX, BAPL e DIMPLE. Os resultados preliminares em termos dos parâmetros tais como taxas de reação e fator de multiplicação efetivo de neutrons mostraram excelente concordância quando comparados com valores experimentais e com métodos mais sofisticados como utilizado pelo módulo ROLAIDS do sistema AMPX-III[3]

O presente trabalho objetiva analisar sistemas críticos contendo óxidos mistos (PuO_2UO_2) utilizando o método de Bondarenko para o tratamento da autoblindagem das ressonâncias; a análise será efetuada utilizando-se dados nucleares da biblioteca básica JENDL-3 para os núclídeos actinídeos. O sistema contendo óxido misto a ser avaliado consiste de uma série de experimentos do programa de utilização de plutônio da Pacific Northwest Laboratories[4].

DESCRIÇÃO DO PROBLEMA PADRÃO

O problema padrão a ser analisado consiste de uma série de experimentos críticos utilizando varetas contendo $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ em diferentes concentrações do núclídeo Pu240 no elemento PuO_2 . O sistema é um arranjo crítico com células em geometria hexagonal com as seguintes dimensões:

- raio externo do combustível: 0.64135 cm,
- raio externo do encamisamento: 0.71755 cm,
- comprimento ativo da vareta: 91.44 cm .

A Tabela 1. ilustra os dados relativos a três tipos de células: 8% de Pu240, 16% de Pu240 e 24% de Pu240 com respectivas dimensões de "buckling" total, axial e o raio crítico do sistema. A Tabela 2. ilustra os dados de concentrações atômicas em átomos/barn.cm dos núclídeos das três células.

TABELA 1. Dados das Células de $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ com 2% de PuO_2

Caso A _i - $\text{UO}_2\text{-2%PuO}_2\text{(8%Pu-240)}$ - Temp. 22 °C				
Casos	B^2 (m ⁻²)	Pitch(inch)	B_z^2 (m ⁻²)	Rcrit. (cm)
A-1	93.70	0.800	8.864	19.0759
A-2	103.30	0.930	8.705	17.2032
A-3	101.30	1.050	8.646	17.2694
A-4	97.60	1.143	8.841	18.5125
A-5	75.60	1.320	8.891	22.4814
A-6	68.90	1.386	9.101	24.7639
Caso B _i - $\text{UO}_2\text{-2%PuO}_2\text{(16%Pu-240)}$ - Temp. 23 °C				
Casos	B^2 (m ⁻²)	Pitch(inch)	B_z^2 (m ⁻²)	Rcrit. (cm)
B-1	86.30	0.930	8.598	19.4366
B-2	85.40	1.050	8.579	19.5186
B-3	81.50	1.143	8.771	20.8723
B-4	61.60	1.320	8.894	26.1753
B-5	55.60	1.386	9.278	29.4928
Caso C _i - $\text{UO}_2\text{-2%PuO}_2\text{(24%Pu-240)}$ - Temp. 24 °C				
Casos	B^2 (m ⁻²)	Pitch(inch)	B_z^2 (m ⁻²)	Rcrit. (cm)
C-1	63.10	0.800	8.484	19.0759
C-2	79.40	0.930	8.672	17.2032
C-3	77.60	1.050	8.711	17.2694
C-4	72.20	1.143	8.878	18.5125
C-5	53.70	1.320	9.299	22.4814
C-6	44.30	1.386	9.435	24.7639

TABELA 2. Concentrações das Células (Átomos/barn.cm)

Nuclídeo	8% Pu-240	16% Pu-240	24% Pu-240
Combustível			
U-235	1.5040E-04	1.5030E-04	1.5030E-04
U-238	2.0703E-02	2.7020E-02	2.0710E-02
Pu-238	4.0000E-08	-----	-----
Pu-239	3.9740E-04	3.4820E-04	3.0440E-04
Pu-240	3.3440E-05	5.7580E-05	9.9400E-05
Pu-241	2.6400E-06	9.2300E-06	1.6800E-05
Pu-242	1.2000E-07	8.5860E-07	2.7000E-06
Am-241	4.7000E-07	-----	1.7000E-06
O-16	4.4010E-02	4.2560E-02	4.2580E-02
Revestimento			
Zircaloy-2	4.2260E-02	4.2260E-02	4.2260E-02
Moderador			
H-1	6.6710E-02	6.6700E-02	6.6680E-02
O-16	3.3360E-02	3.3350E-02	3.3340E-02

A análise dos casos consistirá na execução de vários cálculos celulares (casos A, B e C) com objetivo de obter o parâmetro de multiplicação efetiva de neutrons (K_{eff}) das células e as seções de choque em poucos grupos (4 grupos de energia) para utilização no cálculo de reator. O cálculo de reator será efetuado com o código CITATION[6] em geometria unidimensional considerando 30.0 cm de refletor de água utilizando-se os valores de "bucklings" e raio crítico fornecidos na Tabela 1.

ELABORAÇÃO DAS BIBLIOTECAS

A biblioteca de seções de choque em multigrupo na estrutura do código HAMMER-TECHNION foi elaborada utilizando-se o sistema NJOY[5] e AMPX-II, acessando os dados básicos da biblioteca JENDL-3. Os nuclídeos hidrogênio e oxigênio foram processados na temperatura de 300 Kelvin e para o elemento Zircaloy-2 utilizou-se os dados da biblioteca básica ENDF/B-IV.

Paralelamente foi elaborada a biblioteca com fatores de autoblindagem para os nuclídeos actinídeos, pois os fatores de autoblindagem segundo o método de Bondarenko são descritos parametricamente em termos de diluições (σ_0) e temperaturas.

Os fatores de autoblindagem dos nuclídeos actinídeos: Pu-239, Pu-240, Pu-241, Pu-242 e Am-241 foram gerados para as seguintes temperaturas: 300, 600, 900 e 1200 Kelvin. O nuclídeo U-235 foi extraído da biblioteca básica ENDF/B-V (arquivo standard) devido as deficiências encontradas com o nuclídeo da biblioteca JENDL-3[7].

Na elaboração da biblioteca de fatores de Bondarenko e sua inclusão na biblioteca original epitérmica/rápida foram desenvolvidos alguns programas auxiliares de formatação e compatibilização das novas quantidades a serem inseridas na biblioteca original do código HAMMER-TECHNION.

A Tabela 3., ilustra as diluições(σ_0) e as seções de choque potencial (σ_p) dos nuclídeos actinídeos.

TABELA 3. Dados Referente a Biblioteca de Fatores de Autoblindagem.

Nuclídeo	Número de σ_0	Valores dos σ_0	Seção de choque potencial σ_p
Pu-239	6	10^{10} , 10^4 , $3.0E+03$, 10^3 , 300.0 e 50.0	10.20
Pu-240	6	10^{10} , 10^5 , 10^4 , 10^3 , 100.0 e 50.0	10.60
Pu-241	4	10^{10} , 10^5 , 10^4 e 10^3	10.94
Pu-242	5	10^{10} , 10^5 , 10^4 , 10^3 e 10^2	10.69
Am-241	4	10^{10} , 10^4 , 10^3 e 10^2	11.34
U-235	6	10^6 , $5.0+E03$ 500.0, 10^2 , 50 e 1.0	10.20
U-238	7	10^4 , $3.0E+03$, 10^2 , 70.0, 50.0, 30.0 e 10.0	10.20

* extraído do código EPRI-CELL[8]

O fluxograma da Figura 1. ilustra as etapas utilizadas para a elaboração das bibliotecas do código HAMMER-TECHNION utilizando os sistemas NJOY, AMPX-II e os programas auxiliares desenvolvidos. Inicialmente o sistema NJOY acessa os dados da biblioteca básica e no final desta inicia-se o tratamento para a formatação e verificação de consistência utilizando o sistema AMPX-II.

A etapa referente a manipulação dos fatores de autoblindagem é executada pelos programas AMPXR-B e HELPBOND, o primeiro executa a formatação de um arquivo contendo apenas os fatores de autoblindagem matricialmente em função das diluições, temperaturas, reações e grupo de energia para um dado nuclídeo. O segundo programa, HELPBOND, é o programa HELP original modificado para incluir o fatores de autoblindagem na biblioteca epitérmica/rápida original.

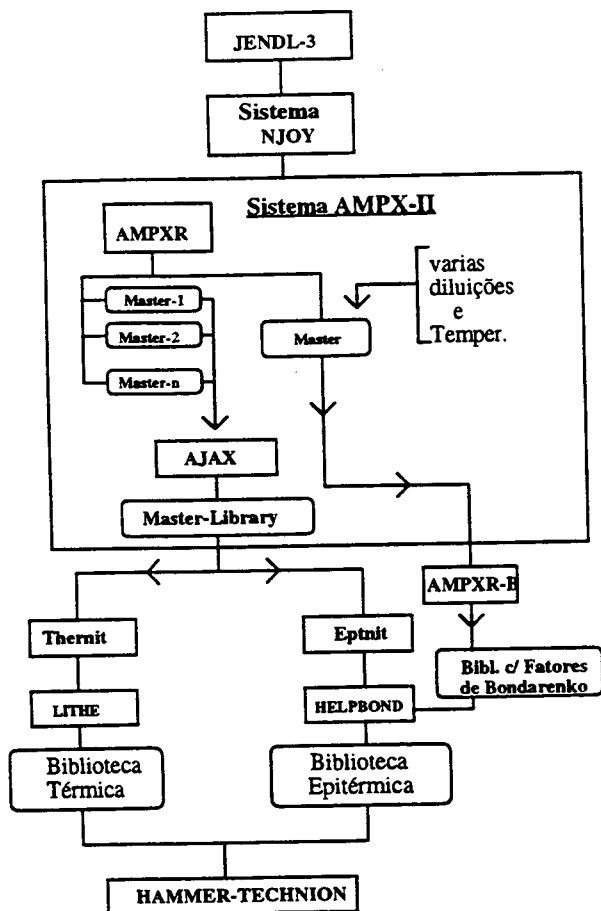


Figura 1. Fluxograma Esquemático da Elaboração de Biblioteca de Seções de Choque do Código HAMMER-TECHNION.

RESULTADOS OBTIDOS

Com a biblioteca elaborada procedeu-se a avaliação dos problemas padrões (Casos A, B e C). Esta avaliação compreendeu em obter o parâmetro de multiplicação efetiva de neutrons (K_{ef}) via cálculo celular e as seções de choque em poucos grupos (4 grupos) de energia para posterior cálculo de reator utilizando o código CITATION. No cálculo de reator foi considerado geometria cilíndrica unidimensional, refletida com 30.0 cm de água e "buckling" axial fornecido.

Os resultados obtidos são apresentados nas Tabelas 4 a 9; estes são comparados com os resultados obtidos de um cálculo original do código HAMMER-TECHNION via o tratamento de autoblindagem pelo método de Nordheim. Somente para o caso A é apresentada uma comparação com resultados obtidos utilizando as seções de choque autoblindadas previamente com o módulo ROLAIDS do sistema AMPX-II.

TABELA 4. Fator de Multiplicação Efetiva (K_{ef}) para o Caso A ($\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ com 8% de Pu-240) Obtido via Cálculo Celular.

CASO	HAMMER TECHNION c/ Bondarenko	HAMMER TECHNION c/ Nordheim	HAMMER TECHNION c/ ROLAIDS
A-1	0.98492	0.98513	0.99232
A-2	1.01549	1.02165	1.02636
A-3	1.02374	1.03209	1.03447
A-4	1.01817	1.02667	1.02734
A-5	1.01669	1.02190	1.02034
A-6	1.00700	1.01503	1.00822

TABELA 5. Fator de Multiplicação Efetiva (K_{ef}) para Caso A ($\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ com 8% de Pu-240) Obtido via o Código Citation.

CASO	HAMMER TECHNION c/ Bondarenko + Citation	HAMMER TECHNION c/ Nordheim + Citation	HAMMER TECHNION c/ ROLAIDS + Citation
A-1	0.99305	0.99545	0.99861
A-2	0.99846	1.00472	1.00597
A-3	0.99590	1.00325	1.00311
A-4	1.00260	1.00975	1.00848
A-5	1.00619	1.00982	1.00687
A-6	1.00493	1.00716	1.00372

TABELA 6. Fator de Multiplicação Efetiva (K_{ef}) para o Caso B ($\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ com 16% de Pu-240) Obtido via Cálculo Celular.

CASO	HAMMER TECHNION c/ Bondarenko	HAMMER TECHNION c/ Nordheim*
B-1	1.03142	1.03676
B-2	1.03481	1.04190
B-3	1.02717	1.02419
B-4	1.02124	1.02472
B-5	1.00940	1.01122

TABELA 7. Fator de Multiplicação Efetiva (K_{ef}) para Caso B ($\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ com 16% de Pu-240) Obtido via o Código Citation.

CASO	HAMMER TECHNION c/ Bondarenko + Citation	HAMMER TECHNION c/ Nordheim* + Citation
B-1	1.01422	1.01930
B-2	1.01094	1.01686
B-3	1.01280	1.01847
B-4	1.01456	1.01668
B-5	1.01234	1.01354

TABELA 8. Fator de Multiplicação Efetiva (K_{ef}) para o Caso C ($\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ com 24% de Pu-240) Obtido via Cálculo Celular.

CASO	HAMMER TECHNION c/ Bondarenko	HAMMER TECHNION c/ Nordheim*
C-1	1.00175	1.00310
C-2	1.00603	1.01185
C-3	1.01195	1.01886
C-4	1.00925	1.01505
C-5	0.99915	1.00180
C-6	0.99745	0.99792

TABELA 9. Fator de Multiplicação Efetiva (K_{ef}) para Caso C ($\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ com 24% de Pu-240) Obtido via Código Citation.

CASO	HAMMER TECHNION c/ Bondarenko + Citation	HAMMER TECHNION c/ Nordheim* + Citation
C-1	0.99580	0.99780
C-2	0.99597	1.00143
C-3	0.99783	1.00369
C-4	1.00204	1.00725
C-5	1.00284	1.00505
C-6	1.00190	1.00237

* utilizando a biblioteca ENDF/B-IV[9]

Os resultados obtidos para o caso A via cálculo celular, Tabela 4., apresentam boa concordância principalmente no comportamento do auto-valor. Os valores obtidos via cálculo original (método de Nordheim) e com as seções de choque autoblandadas via ROLAIDS foram obtidos utilizando a biblioteca básica ENDF/B-IV.

O cálculo de reator, Tabela 5., ilustra também uma boa concordância no comportamento do autovalor.

Os resultados dos casos B e C para o cálculo celular, Tabelas 6 e 8., também ilustram um boa concordância e coerência dos resultados.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos via método de Bondarenko para sistemas contendo óxidos mistos foram bastante satisfatórios, principalmente se comparados com métodos tradicionais. Importante salientar que a comparação entre resultados envolveu diferentes metodologias (Nordheim, Bondarenko) e diferentes bibliotecas (JENDL-3 e ENDF/B-IV); no entanto os resultados obtidos foram bastante concordantes. Convém ressaltar também que existe um grau de imprecisão na quantidade "buckling" experimental, responsável por um desvio significativo nos resultados calculados do parâmetro K_{ef} quando comparado com o valor experimental de $K_{ef}=1.000$.

Sob o ponto de vista do método de autoblandagem via Bondarenko, observa-se que este reproduz excelentes resultados, fato já observado no trabalho anterior para problemas padrões térmicos.

Importante salientar que devido a falta de dados referentes aos parâmetros intermediários de ressonância para a família do plutônio, foi utilizado neste trabalho os mesmos fatores do nuclideo actínico U-238. Desta forma, deve-se futuramente avaliar de forma criteriosa, a influência deste parâmetro nos resultados, bem como de parâmetros diferenciais como taxas de reações.

ABSTRACT

The present work summarizes the verification of the treatment of self-shielding based on Bondarenko method in HAMMER-TECHNION cell code for the $\text{PuO}_2\text{-UO}_2$ critical system using JENDL-3 nuclear data library. The results obtained are in excellent agreement with the original treatment of self-shielding employed by HAMMER-TECHNION cell code.

REFERÊNCIAS

- [1] Abe, Y. A., Santos A., "Implementação do Método de Bondarenko para o Tratamento da Autoblandagem no Código HAMMER-TECHNION", IX-ENFIR, Encontro Nacional de Física de Reatores e Termo-Hidráulica, 25-29 de Outubro de 1993; Caxambu MG, Brasil.
- [2] Barhen, J.; Rhotenstein, W. and Taviv, E., *The HAMMER Code System Technion*, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel, NP-565, 1978.
- [3] Greene, N. M., Ford III, W. E. et alli, "AMPX-II: A Modular Code System for Generating Coupled Multigroup Neutron Gamma Libraries from Data in ENDF Format", PSR-63, Oak National Laboratories.
- [4] Dawson, F.G.; "Plutonium utilization program - FY 1967 through 1970: program analysis and plans", Richland, WA, Battele Pacific Northwest Labs., 1966 (BNWL-298).
- [5] MacFarlane, R. E.; Muir, D. W. and Boicourt, R. M.; *The NJOY Nuclear Data Processing System, Vol. 1: User's Manual*, Los Alamos, Los Alamos National Laboratory, LA-9393-M, 1982.
- [6] Fowler, T. B.; Vondy, D. R. and Cunningham, G. W., *Nuclear Reactor Core Analysis Code: CITATION*, Oak Ridge, Oak Ridge National Laboratory, ORNL-TM-2496, Rev. 2, July 1971.
- [7] Santos, A.; "Solução de Problemas Padrões com os Sistemas Acoplados NJOY/AMPX-II/HAMMER-TECHNION e a Biblioteca JENDL-3", VIII-ENFIR, Encontro Nacional de Física de Reatores e

Termo-Hidráulica, 25-29 de Outubro de 1993; Atibaia SP, Brasil.

[8] ARMP - Advanced Recycle Methodology Program: **EPRI-CELL code description**, Report CCM-3, Electric Power Research Institute, Sept. 1979.

[9] Rodrigues, M. A. R.; "**Ánalyse de Experimentos Críticos de PuO₂-UO₂ utilizando os sistemas NJOY/AMPX-II/HAMMER-TECHNION**", Tese de Mestrado IPEN/CNEN, 1990.