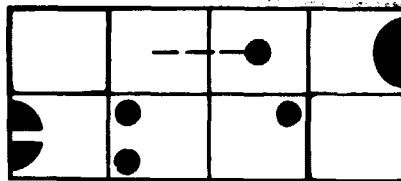


IPR-DR-62
PMC-P
~~IAIS-mf-1736~~



SEMINÁRIOS DE TRABALHO EM FÍSICA DE REATORES

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE NEUTRONS PULSADOS À SUBCRÍTICA URÂNIO
E ANÁLISE DE RUÍDOS DO REATOR TRIGA MARK I

(Experiências realizadas com Martin Kolb)

Novembro 1972

Carlos. A. Santoro et al

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIATIVAS

U. F. M. G. - C. N. E. N.

Cidade Universitária - Pampulha

BELO HORIZONTE - BRASIL

INSTITUTO DE PESQUISAS RADIOATIVAS
DIVISÃO DE REATORES
PROJETO DA MONTAGEM CRITICA

NOTA PRO-9
DR-102
NOVEMBRO-1972

SEMINARIOS DE TRABALHO EM FISICA DE REATORES

APLICAÇÃO DA TECNICA DE NEUTRONS PULSADOS A SUBCRITICA URANIE
E ANALISE DE RUIDOS DO REATOR TRIGA MARK I

(Experiências realizadas com Martin Kolb*)

Carlos A. Santoro **
José Angel S. Isasi ***
Mércio Fernando R. Resende **
Omar C. Ferreira **
Lao Holland ****
Roberto Stasiulevicius *****
Pérpétua A. Soares **

-
- * Gesellschaft für Kernenergieverwertung in Schiffbau und Schifffahrt mbH,
Geesthacht, R.F.Alemanha
** Instituto de Pesquisas Radioativas, Belo Horizonte
*** Centro de Investigaciones Nucleares, Montevideo, Uruguaí (bolsistas da
CNEN-Brasil)
**** Instituto de Energia Atômica, São Paulo
***** Instituto de Engenharia Nuclear, Rio de Janeiro.

BR7500519

1. APLICAÇÃO DA TÉCNICA DA FONTE PULSADA DE NEUTRONS AO ARRANJO SUBCRÍTICO URÂNIO.
RESULTADOS PRELIMINARES.

1.1. Introdução

Em julho de 1972, dentro do Programa de Cooperação Brasil-Alemanha, o IPR recebeu a visita do Dr. M.KOLB, e sob sua orientação foi iniciado um estudo preliminar da subcrítica URÂNIO pelo método da fonte pulsada de neutrons.

O objetivo imediato era a obtenção de parâmetros do meio multiplicador (constantes de decaimento assintóticas e reatividades). O objetivo não imediato, porém mais importante é a aquisição de técnicas experimentais (inclusive conjunto de programas de cálculo numérico) para futura exploração do arranjo subcrítico a água pesada CAPITU.

1.2. Descrição da URÂNIO. Modificações introduzidas

Trata-se de um sistema de Urânio natural e água leve, utilizado no IPR para treinamento de pessoal e familiarização com técnicas de medidas de interesse para a física e cálculo dos reatores nucleares.

A água é utilizada como moderador e refletor. Um tanque cilíndrico de material orgânico (lucoflex) é o vaso do reator. Uma placa de aço de 50mm de esp/

espessura, contendo 217 furos, colocada no topo do cilindro, serve como elemento de suporte para o combustível. Uma placa de alumínio de menor espessura, solidária com a primeira, de idêntica geometria, colocada no interior do tanque, assegura a verticalidade das barras.

Características :

Tanque H = 1300 mm ϕ = 1000 mm
Volume H₂O 1 m³

Reticulado hexagonal, passo 45 mm

Combustível

Densidade = 18.8 g/cm³

Dimensões H = 1000 mm ϕ = 26 mm

Revestimento - Alumínio

ϕ_{int} = 26.8 mm ϕ_e = 30 mm

Razão de volume V_{mod}/V_{comb} = 1.96

Massa de Urânio \approx 1.5 toneladas

Julgou-se conveniente dividir a experiência em duas etapas :

- a) determinação da constante de decaimento do tanque, contendo apenas moderador; o interesse destas medidas reside no fato de ser a constante de decaimento da água bem conhecida, pelo menos para pequenos valores da curvatura geométrica $|1|$ servindo assim para a aferição das técnicas empregadas.
- b) determinar constantes de decaimento do reticulado não refletido. A justificação para se estudar o reticulado não refletido é a maior facilidade de comparação das medidas com previsões teóricas.

cmp/

A fim de eliminar o refletor, os espaços vazios entre o reticulado e as paredes do tanque foram preenchidos com isopor.

A Figura 1.2.1. mostra esta modificação.

A Figura 1.2.2. mostra a disposição do combustível com a carga de 161 barras, empregada neste trabalho.

1.3. Teoria

A teoria relativa à aplicação da fonte pulsada de neutrons a sistemas moderadores e multiplicadores é discutida na referência [2], onde encontramos também uma extensa bibliografia sobre o assunto.

Após a injeção de um pulso de neutrons rápidos num sistema, quando os neutrons já atingiram o estágio de difusão a distribuição espaço-temporal da densidade neutrônica pode ser representada por

$$n(\vec{r}, t) = \sum_j A_j \varphi_j(\vec{r}) e^{-\alpha_j t}$$

No caso de um moderador puro,

$$\alpha_0 = \bar{v} \bar{\Sigma}_a + D_0 B_0^2$$

onde: $\bar{\Sigma}_a$ e \bar{v} são respectivamente a secção de choque macroscópica de absorção e velocidade média da distribuição maxwelliana à temperatura correspondente.

D_0 é o coeficiente de difusão
 B_0^2 é a curvatura geométrica do sistema.

omp/

Para um meio multiplicador homogêneo diluído no mesmo moderador,

$$\alpha = \nu \Sigma_a + D_0 B_0^2 - \nu \Sigma_f \left[\bar{\nu} \bar{P}(B^2) - 1 - (\Sigma_c / \Sigma_f) \right]$$

onde:

- Σ_f = secção de choque macroscópica de fissão do combustível
- Σ_c = secção de choque macroscópica de captura do combustível
- $\bar{\nu}$ = número médio de neutrons prontos emitidos por fissão
- $P(B^2)$ = transformada de Fourier do núcleo de moderação, que pode ser interpretada como produto de probabilidade de escape à ressonância e probabilidade de não-fuga dos neutrons rápidos.

1.4. Aparelhagem Experimental

1.4.1. Fonte de neutrons Pulsados

Como fonte de neutrons pulsados foi utilizado um Gerador de Neutrons Kaman Nuclear A-1254. As principais unidades desta máquina são o acelerador propriamente dito, gerador de alta tensão, sistema de refrigeração e painel de controle. A figura 1.4.1. é um diagrama de bloco do acelerador.

A fonte de íons é do tipo "Penning Ion Gauge" - a ação combinada de um potencial de + 5 Kv e de um campo magnético de 600 Gauss, numa geometria adequada produz pulsos de deuterons que são acelerados por um potencial de até 190 Kv contra um alvo de trítio. A fonte de neutrons propriamente dita é a reação $T(d,n)He^4$. A fonte de íons e o alvo são refrigerados com gás freon. O alvo é polarizado a + 600 V, para impedir que a corrente de retorno de eletrons atue como uma fonte de raios-X.

cmp/

Os valores nominais para a largura dos pulsos de ions(d) e frequência de pulsação(f) são respectivamente

$$5 \leq d \leq 2 \times 10^5 \mu s$$

$$f = 2,5 \cdot 10^5 \text{ Hz}$$

1.4.2. Analizador Multicanal

Foi utilizado um analisador multicanal Hewlett Packard 5401 A/B, com 1024 canais. A função multi-scaler deste analisador permite seleccionar larguras de canal de $10 \mu s$ e $5 s$; o tempo morto por canal é de $2,2 \mu s$. A saída de dados pode ser feita via impressora, fita perfurada ou registrador.

1.4.3. Deteccão de Neutrons Térmicos

Foram utilizados dois detetores de trifluoreto de boro (BF_3) enriquecidos a 96% no isótopo ^{10}B , e com pressão de 60 cm Hg. Estes detetores são um modelo comercial da "nancy wood" (G-10-05), cilíndricos, com diâmetro de 1" de comprimento ativo de 5".

A discriminação contra raios-gama provenientes dos produtos de fissão e da captura de neutrons térmicos foi obtida pelo uso de um nível de discriminação conveniente nos canais de contagem.

Os detetores foram colocados no interior do arranjo, retirando-se as barras de combustível correspondentes às respectivas posições. Tubos de material orgânico parcialmente cheios com parafina foram utilizados como guias para os detetores.

1.4.4. Deteccão de Neutrons Rápidos

Foi utilizado um monitor de neutrons rápidos baseado na reacção

$C^{12}(n,n')\beta\alpha$, descrito em detalhe na referência [3]. Este monitor permitiu monitorar a surgência da fonte de neutrons, e também a forma do pulso de ions, como veremos na secção 1.5. deste relatório.

1.4.5. Sistemas de Contagem

As figuras 1.4.2. e 1.4.3. são respectivamente, diagramas de bloco dos canais de contagem de neutrons térmicos e do canal de monitoração de neutrons rápidos.

1.5. Resultados Experimentais

1.5.1. Pulso de neutrons rápidos

Foram realizadas algumas medidas preliminares sem monitoração do pulso rápido. O comportamento anormal do pulso térmico nestas medidas (vide Fig.1.5.1.) indicou a existência de problemas no sistema de pulsação. A manutenção mostrou que para tensões de aceleração acima de 160 Kv havia ruptura do isolamento de alta voltagem. Na Figura 1.5.2. temos o pulso rápido contaminado, detetado pelo monitor referido na secção 1.4.4. Na mesma figura, temos o pulso rápido, após ajuste das condições de operação. Note-se que o "pulso ajustado" foi traçado com escala de tempo ampliada por um fator 10.

1.5.2. Descrição das medidas. Obtenção das constantes de decaimento

As constantes de decaimento do meio multiplicador foram obtidas por um processo gráfico. No caso do meio moderador puro em alguns casos, procedeu-se também a um ajuste das curvas de decaimento por mínimos quadrados, após subtração da componente constante das mesmas. Esta componente constante pode ser identificada cerca de 3 ms após o início do pulso rápido (vide Figuras 1.5.3. e 1.5.4.) e corresponde ao "background" no caso do moderador puro, e "background" mais neutrons retardados no ca

so do meio multiplicador.

Na Figura 1.5.3. ilustra-se os vários componentes da curva de decaimento: a subtração da componente constante nos dá o decaimento dos neutrons prontos (curva 1 na Fig. 1.5.3.); a curva de decaimento dos neutrons prontos também foi decomposta em duas, o decaimento mais lento correspondendo ao modo fundamental e o mais rápido possivelmente ao 1º harmônico espacial (curvas 2 e 3 na Figura 1.5.3.).

Como era de se esperar, o valor atribuído à contagem residual influi decisivamente no valor obtido para a constante de decaimento. Para se obter a ordem de grandeza deste efeito, em alguns casos, calculou-se a constante de decaimento após a subtração do valor médio da contagem residual (\overline{BG}) e após a subtração de um valor $\overline{BG} + 3 \sqrt{\overline{BG}}$ onde $\sqrt{\overline{BG}}$ é o desvio padrão em \overline{BG} . Os valores obtidos para as constantes de decaimento diferem entre si de cerca de 8% nas condições de nossas medidas. A Figura 1.5.4. ilustra o procedimento acima descrito.

Não foi efetuada correção de tempo morto para os resultados aqui apresentados. A razão disto é que as taxas de contagem envolvidas em nossas curvas de decaimento são no máximo de alguns milhares de pulsos por segundo, no pico do pulso de neutrons. Na zona de maior interesse (decaimento assintótico) as taxas de contagem decaem rapidamente, tornando desprezíveis as correções.

1.5.3. Discussão dos Resultados

As tabelas 1.5.1. e 1.5.2. relacionam os valores obtidos para as constantes de decaimento na água e no meio multiplicador. Estes resultados estão resumidos nas figuras 1.5.5. e 1.5.6. onde os valores de α são colocados em função da posição do detetor, ao longo do raio do vaso cilíndrico

1. H₂O

O valor médio dos valores experimentais (Fig. 5.5.) é

$$\bar{\alpha} = 4620 \text{ s}^{-1}$$

Tomando como base resultados experimentais e teóricos da referência | 1 |, a constante de decaimento do cilindro de lucoflex, calculado e como foi indicado na secção III é

$$\alpha \approx 5120 \text{ s}^{-1}$$

A diferença entre o valor médio dos nossos pontos experimentais e o valor calculado é muito grande, se levarmos em conta que a precisão com que podem ser determinadas as constantes de decaimento assintóticas em moderadores de grandes dimensões é atualmente de 1% ou melhor.

Uma possível explicação para a discrepância seria a ausência de uma blindagem conveniente (parafina e Cd) para o arranjo. Isto é, nessas medidas estariam sendo afetadas por reflexões nas paredes do laboratório. Em algumas das medidas correspondentes a posições periféricas do detetor, este efeito é bem visível, como pode ser notado na Figura 1.5.7.

2. H₂O + U

A média dos valores experimentais da constante de decaimento fundamental ($\nu = 0$)

$$\bar{\alpha} = 2530 \text{ s}^{-1}$$

Para o primeiro harmônico ($\nu = 1$), temos $\bar{\alpha}_1 = 6000 \text{ s}^{-1}$ nas posições do detetor afastadas de menos de 20 cm do centro do cilindro. Para posições do detetor mais próximas da superfície lateral, é nitidamente inferior, o que novamente sugere que o "decaimento do laboratório" é

teja interferindo com nossos resultados.

No caso do meio multiplicador, não foi possível estimar a constante de decaimento como indicamos na seção 1.3. por faltarem informações a respeito de $P(B^2)$.

1.6. Conclusões - Sugestões Para Trabalho Futuro

Os resultados aqui divulgados não pretendem ser completos nem definitivos. Seguindo o espírito da nossa Introdução, eles servirão de elemento para indicar problemas relevantes que aparecem na aplicação das técnicas pulsadas. Com base no que foi visto, pode-se recomendar :

1. Que o pulso rápido seja monitorado durante a realização de cada medida.
2. Que as curvas de decaimento sejam analisadas por método de mínimos quadrados que determine o "background" simultaneamente com os demais parâmetros do decaimento (vide por exemplo a ref. | 4 |).
3. Que o arranjo seja convenientemente blindado com parafina e cádmio para evitar que o decaimento do ambiente interaja com o decaimento do sistema.

TABELA 1.5.1. - MEIO MODERADOR (H₂O)

POSIÇÃO DO DET.	$\alpha_1(10^2 \text{ s}^{-1})$	$\alpha_2(10^2 \text{ s}^{-1})$	OBSERVAÇÕES
B. 10	26	-	Medidas feitas sem monitoração do pulso rápido
I. 10	56	-	
I. 10	41	-	
I. 10	51	-	Análise gráfica para apenas um harmônico
I. 10	55	-	
I. 10	52	-	
I. 10	56	-	
I. 10	53	-	
B. 10	43	-	
C. 13	47	-	
F. 9	41	57	
B. 10	15	34	A existência de muitos harmônicos interferiu na análise gráfica
I. 10	46	-	
I. 10	47	-	
F ₉	47	-	
B. 10	18	55	A existência de muitos harmônicos interferiu na análise gráfica

TABELA 1.5.2. - MEIO MULTIPLICADOR (H₂O + U)

POSIÇÃO DO DET.	α_1	α_2	OBSERVAÇÕES
F ₁₆	30	-	Análise gráfica
F ₁₆	32	-	para apenas
B ₉	29	-	um harmônico
B ₉	29	-	
I. 10	28	58	
B. 9	22	41	
F ₁₆	21	46	
I. 10	32	63	
E. 9	25	62	
I. 10	32	63	
I. 10	32	57	Sem combustível em J ₉
G. 9	24	61	
D. 9	31	74	
I. 10	26	54	Pulso duplo
G. 9	25	62	Pulso duplo
B. 10	22	39	Pulso duplo

omp/