

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

CONCURSO PÚBLICO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA
MARINHA (CP-CEM/2016)

ENGENHARIA NUCLEAR

PROVA ESCRITA DISCURSIVA
INSTRUÇÕES GERAIS

- 1- A duração da prova será de 05 horas e o tempo não será prorrogado. Ao término da prova, entregue o caderno ao Fiscal sem retirar os grampos de nenhuma folha.
- 2- Responda às questões utilizando caneta esferográfica azul ou preta. Não serão consideradas respostas e desenvolvimento da questão a lápis. Confira o número de páginas de cada parte da prova.
- 3- Só comece a responder à prova ao ser dada a ordem para iniciá-la, interrompendo a sua execução no momento em que for determinado.
- 4- O candidato deverá preencher os campos:
- NOME DO CANDIDATO; NÚMERO DA INSCRIÇÃO e DV.
- 5- Iniciada a prova, não haverá mais esclarecimentos. O candidato somente poderá deixar o seu lugar, devidamente autorizado pelo Supervisor/Fiscal, para se retirar definitivamente do recinto de prova ou, nos casos a seguir especificados, devidamente acompanhado por militar designado para esse fim: atendimento médico por pessoal designado pela Marinha do Brasil; fazer uso de banheiro e casos de força maior, comprovados pela supervisão do certame, sem que aconteça saída da área circunscrita para a realização da prova.
Em nenhum dos casos haverá prorrogação do tempo destinado à realização da prova e, em caso de retirada definitiva do recinto de prova, esta será corrigida até onde foi solucionada.
- 6- A solução deve ser apresentada nas páginas destinadas a cada questão.
- 7- Não é permitida a consulta a livros ou apontamentos.
- 8- A prova não poderá conter qualquer marca identificadora ou assinatura, o que implicará na atribuição de nota zero.
- 9- Será eliminado sumariamente do concurso e as suas provas não serão levadas em consideração, o candidato que:
 - a) der ou receber auxílio para a execução de qualquer prova;
 - b) utilizar-se de qualquer material não autorizado;
 - c) desrespeitar qualquer prescrição relativa à execução das provas;
 - d) escrever o nome ou introduzir marcas identificadoras noutra lugar que não o determinado para esse fim; e
 - e) cometer ato grave de indisciplina.

10- É PERMITIDO O USO DE CALCULADORA PADRÃO NÃO CIENTÍFICA

NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR

RUBRICA DO PROFESSOR	ESCALA DE	NOTA	USODA DE nsM
	000 A 080		

CAMPOS PREENCHIDOS PELOS CANDIDATOS	CONCURSO: CP-CEM/2014			
	NOME DO CANDIDATO:			
	Nº DA INSCRIÇÃO	DV	ESCALA DE	NOTA
		000 A 080		

CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 80 PONTOS)

1ª QUESTÃO (8 pontos)

Considere uma vareta combustível na forma de um cilindro longo, ser longo, nesse caso, significa que as temperaturas têm dependência apenas radial, mas não axial. Consequentemente os fluxos de calor ocorrem apenas radialmente.

A figura 1 a seguir ilustra a seção transversal de uma vareta combustível de PWR. Considere que não existe a folga entre pastilha e revestimento (gap), $t_g = 0$, ou seja, o raio externo da pastilha combustível (R_f) é igual ao raio interno do revestimento (R_{ic}), ic = inner cladding. O raio externo do revestimento (R_{oc}), oc = outer cladding, que é o raio da vareta, fica, de acordo com a Fig. 4, $R_{oc} = R_f + t_c$, em que t_c é a espessura do revestimento.

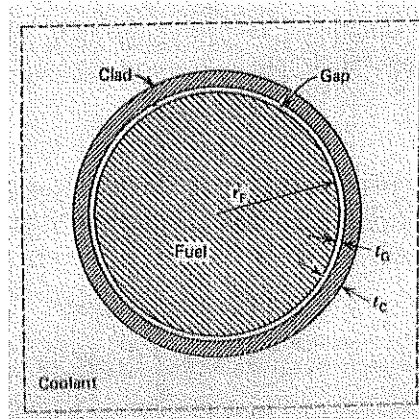


Figura 1: Geometria de uma vareta combustível típica

O vetor fluxo de calor num sólido é dado genericamente por

$$\vec{q}'' = -k \cdot \vec{\nabla} T \quad (1)$$

onde \vec{q}'' é o vetor fluxo de calor expresso em $\frac{J}{m^2 \cdot s}$;

$\vec{\nabla} T$ é o vetor gradiente da temperatura, expresso em $\frac{K}{m}$; e

k é a condutividade térmica do material expressa em $\frac{J}{m \cdot K \cdot s}$.

Suponha condições de contorno e fonte de calor na vareta com perfis axissimétricos, isto é, dependência apenas do raio. Todas as propriedades e o fluxo de calor não possuem dependência axial e tangencial. Dessa forma, o fluxo de calor é dado por

$$q'' = -k \frac{dT}{dR} \quad (2)$$

Continuação da 1ª questão

em que o símbolo de vetor foi suprimido uma vez que o fluxo tem componente apenas na direção radial. A equação da condução de calor em coordenadas cilíndricas, apenas com fluxo radial e estado estacionário, é dada por

$$-\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \cdot k \frac{dT}{dr} \right) = q''' \quad (3)$$

onde q''' é a taxa de calor gerada no combustível expressa em $\frac{J}{m^3 \cdot s}$; $k = k_f$ é a condutividade térmica do combustível; e T = temperatura, expressa em grau Kelvin (K).

A solução geral da Eq. 3 é

$$T_f(r) = \frac{-q''' \cdot r^2}{4 \cdot k_f} + C_1 \cdot \ln(r) + C_2 \quad (4)$$

No revestimento, como não existe geração de calor, a Eq. 3 fica

$$-\frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \cdot k \frac{dT}{dr} \right) = 0 \quad (5)$$

A solução geral da Eq. 5 é

$$T_c(r) = C_3 \cdot \ln(r) + C_4 \quad (6)$$

A transferência de calor do revestimento para o fluido é dada por

$$q'' = h(T_{co} - T_f) \quad (7)$$

onde h é o coeficiente de troca de calor por convecção entre o fluido e o revestimento e é expresso em $\frac{J}{K \cdot s}$; T_{co} é a temperatura da superfície externa do revestimento; e T_f é a temperatura do fluido refrigerante, que aumenta à medida que o fluido escoa pelas varetas combustíveis $T_f = T_f(z)$. Assuma que as temperaturas referem-se a uma posição axial determinada na vareta e que, para essa posição, T_f é constante.

a) Obtenha a expressão do perfil radial de temperatura no combustível em função de k_f, T_0, q''', r .

Para isso, determine o valor de C_1 e C_2 na Eq. 4. Na parte do combustível, para resolver a equação de fluxo de calor, utilize como primeira condição de contorno a temperatura no centro da pastilha (T_0), mesmo que tenha valor ainda desconhecido nesta etapa da resolução da questão. (3 pontos)

Continuação da 1ª questão

b) Obtenha a expressão matemática do perfil radial de temperatura no revestimento em função de T_0, k_f, k_c, R_f, r .

Para isso, escreva a expressão matemática da condição de contorno na interface entre o combustível e o revestimento. Assuma que:

Para isso, escreva a expressão matemática da condição de contorno na interface entre o combustível e o revestimento. Assuma que:

- há continuidade na temperatura, isto é, a temperatura na parede externa do combustível é a mesma da parede interna do revestimento; e
- todo o calor gerado no combustível seja transferido radialmente para o revestimento.

Nota: Caso não tenha conseguido obter as expressões de C_1 e C_2 no item a, siga para o item c escrevendo as expressões em função simplesmente de C_1 e C_2 . (3 pontos)

c) Obtenha a temperatura do centro da pastilha (T_0) em função de k_f, k_c, R_f, h, R_{co} .

Para isso, escreva a expressão matemática da condição de contorno na interface entre o revestimento e o fluido refrigerante (R_{co}). Assuma que todo calor transferido para o revestimento seja, por sua vez, transferido ao fluido refrigerante.

Nota: Ao contrário da transição do combustível para o revestimento, onde há continuidade na temperatura, existe descontinuidade do revestimento para o fluido, pois isso é condição necessária para haver fluxo de calor por convecção, de acordo com o modelo dado pela Eq. 7. (2 pontos)

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

2ª QUESTÃO (8 pontos)

Suponha que um reator possua as seguintes características:

- Potência: $\dot{Q} = 3.600$ MW
- Número de Elementos Combustíveis: $N_{FA} = 748$
- Número de Varetas Combustível (Pins) por Elementos combustível: $N_P = 64$
- Comprimento do Núcleo: $L = 3,81$ m
- Fator de Pico de Potência Radial: $P_{rad} = 1,3$
- Fator de Pico de Potência Local: $P_{loc} = 1,2$
- Fator de Pico de Potência Axial: $P_{ax} = 1,4$
- Diâmetro Externo da pastilha Combustível: $d_{co} = 12,3$ mm

Sendo assim, calcule:

- a) O valor da \bar{Q}' (Averaged Linear Heat Generation Rate = densidade linear média de potência) para o núcleo. (2 pontos)
- b) O valor do $\dot{Q}_{FA,peak}$ (Peak Fuel Assembly Power = potência gerada no elemento combustível de máxima potência). (1 ponto)
- c) O valor do \bar{q}'_{peak} (Average Fuel Pin Power in the Fuel Assembly = potência média na vareta combustível). (2 pontos)
- d) O valor do q'_{peak} (Peak Axial Linear Power = densidade linear máxima de potência). (2 pontos)
- e) O valor do $q''_{co,peak}$ (Peak Heat Flux = fluxo de calor (potência) de pico). (1 ponto)

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

3ª QUESTÃO (8 pontos)

Um reator de água pressurizada (PWR - *pressurized water reactor*), com eficiência térmica de 33%, tem 1/3 do seu combustível trocado em ciclos de 18 (dezoito) meses, conforme descrito a seguir:

- Durante dezessete meses, o reator opera na sua capacidade nominal, com *specific power* de 40kWh/kgU, e com fator de disponibilidade de 95%; e
- Durante um mês, não produz energia devido à troca programada do combustível existente no núcleo do reator.

Com base nessas informações, responda:

- a) Quais são os valores das taxas de queima (*cycle burnup* - B_c) para o ciclo de dezoito meses desse reator PWR em $\frac{MWh}{kgU}$? (2 pontos)
- b) Caso o reator passe a trabalhar 25% acima do seu valor nominal, qual o novo valor de B_c ? (2 pontos)
- c) Qual o valor máximo da taxa de queima para um núcleo completo desse reator (B_d) para a situação descrita no item a e para a situação descrita no item b? (2 pontos)
- d) Qual o valor da taxa média de queima no final da vida B_1 (EOFPL - *End of Full Power Life*) para a situação descrita no item a e para a situação descrita no item b? (1 ponto)
- e) Quantos kWh são produzidos por kgU enriquecido com condição de ciclo de operação de 18 meses e $B_d=50$ MWh·d/kgU? Assuma eficiência térmica de 0,33%. (1 ponto)

Continuação da 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

4ª QUESTÃO (8 pontos)

Cite duas vantagens e duas desvantagens de usar o UO_2 como material da pastilha cerâmica em reatores PWR.

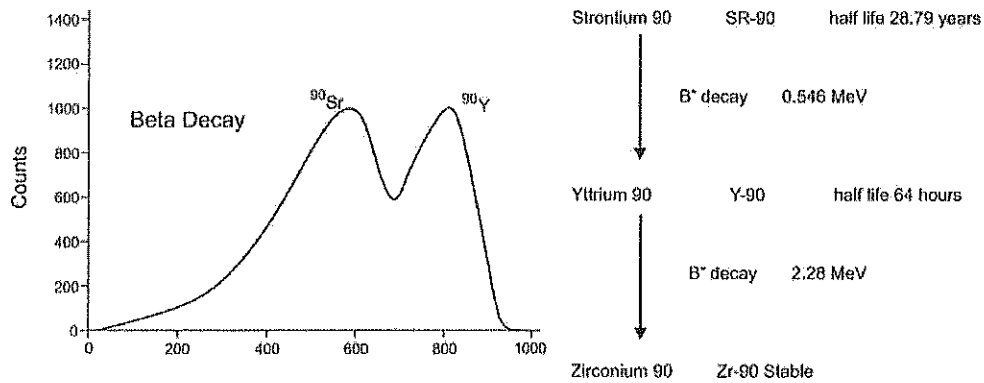
Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

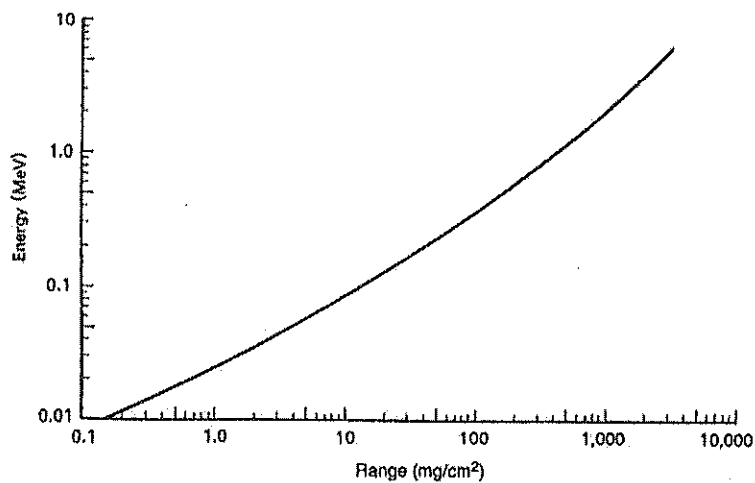
Concurso: CP-CEM/2016

5ª QUESTÃO (8 pontos)

Analise os dados e as figuras a seguir.



- A partícula de Ítrio sempre acompanha a de Estrôncio
- $R = \text{Range, mg/cm}^2$
- $E = \text{Máxima Energia Beta, MeV}$
- $R(\text{ g/cm}^2) = \rho(\text{ g/cm}^3) \times \text{Espessura Mínima (cm)}$



Com base nas informações acima, responda qual deve ser a espessura mínima de blindagem para partículas betas emitidas pelo ^{90}Sr , nos casos a seguir.

- O material é Plaxiglass. $\rho = 1.18 \text{ g/cm}^3$. (4 Pontos)
- O material da blindagem é alumínio. $\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$. (4 Pontos)

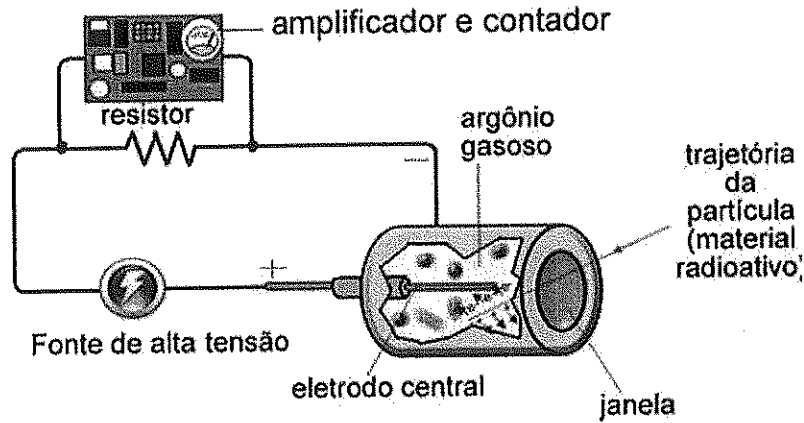
Continuação da 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

6ª QUESTÃO (8 pontos)

Observe a figura a seguir.



Explique, em detalhes, o funcionamento de um contador Geiger-Muller, como ele é usado para medir radiação e qual o tipo de radiação ele mede. Utilize o esquema acima para auxiliá-lo na sua resposta.

Continuação da 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

7ª QUESTÃO (8 pontos)

Faça o que se pede.

- a) Descreva sucintamente a função do circuito primário e secundário de um PWR. (4 pontos)
- b) Cite duas vantagens e duas desvantagens de um reator PWR em relação a um reator BWR. (4 pontos)

Continuação da 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

8ª QUESTÃO (8 pontos)

Para geometrias básicas como esfera, tiras retangulares (*slab*), cilindros e paralelepípedos, é possível obter expressões analíticas fechadas para o fluxo escalar de nêutrons, quando o meio é uniforme, ou seja, apresenta seções de choque e coeficiente de difusão de nêutrons constante por todo o meio e para regime monoenergético.

A equação de difusão para regime monoenergético, sem dependência temporal (situação de criticalidade) é escrita em sua forma geral como

$$-D \cdot \nabla^2 \Phi(\vec{r}) + \Sigma_a \Phi(\vec{r}) = \nu \cdot \Sigma_f \Phi(\vec{r}) \quad (1)$$

onde \vec{r} representa as coordenadas de posição, variando em função do sistema de coordenadas utilizado: cartesiano, cilíndrico ou esférico;

D é o coeficiente de difusão de nêutrons;

Σ_a é a seção de choque de absorção de nêutrons;

Σ_f é a seção de choque de fissão; e

ν é o número médio de nêutrons gerados por fissão.

A Eq. (1) descreve um balanço de nêutrons num ponto qualquer no interior do meio físsil. O ponto é entendido como um elemento de volume infinitesimal no interior do meio.

- Transcreva, da referida equação, o termo correspondente à variação da população de nêutrons num ponto do meio físsil causada pela entrada e saída de nêutrons pelas fronteiras do elemento de volume. (2 pontos)
- Num meio físsil de geometria finita, quando $\nu \cdot \Sigma_f - \Sigma_a = 0$, o meio físsil é crítico, subcrítico ou supercrítico? Utilize uma explicação qualitativa baseada no balanço de nêutrons dado pela Eq. (1), sem desenvolvimento matemático. (2 pontos)
- Suponha uma esfera inicialmente crítica. Qual o efeito do aumento do coeficiente de difusão no raio da esfera de maneira que a criticalidade seja mantida? (2 pontos)
- Suponha que a esfera, inicialmente crítica, fosse revestida por um material não físsil de seção de choque de absorção extremamente elevada e seção de choque de espalhamento extremamente baixa, mas não nula. A esfera tornar-se-ia subcrítica ou supercrítica? Justifique a resposta. (2 pontos)

Continuação da 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

9ª QUESTÃO (8 pontos)

Em um núcleo de reator PWR, as barras de controle têm a função de manter a reatividade do núcleo, evitando que esta aumente de modo a não gerar uma abrupta inserção de reatividade e potência. Considere que cada elemento combustível tenha seu próprio elemento de controle com as respectivas barras de absorção de nêutrons.

Explique por que uma retirada igual, em termos de altura, de dois elementos de controle, um deles localizado no centro do núcleo e o outro localizado na periferia, provoca aumentos de reatividade diferentes. Suponha que os elementos combustíveis estejam queimados igualmente e que as barras de controle de cada um estejam inseridas na mesma altura.

10ª QUESTÃO (8 pontos)

A reatividade $\rho(t)$ de um reator de água pressurizada (PWR - *pressurized water reactor*) determina a proximidade relativa do fator de multiplicação k (nível de criticalidade do núcleo) do estado crítico, em um instante t .

O fator k é definido como:

$$k \equiv \frac{N_2}{N_1} \equiv \frac{P(t)}{L(t)}$$

Onde:

N_2 é a população de nêutrons de uma dada geração;

N_1 é a população de nêutrons da geração anterior;

$P(t)$ é a taxa de nêutrons produzidos no instante t ; e

$L(t)$ é a taxa de nêutrons perdidos no instante t .

A reatividade pode ser controlada, em reator nuclear, inserindo ou retirando as varetas de controle do núcleo ou adicionando/removendo absorvedores de nêutron no moderador - alterações na temperatura do combustível e do moderador, bem como o *void content* (fração de volume de vapor) do moderador afetam os valores da reatividade. A taxa de variação da reatividade $\dot{\rho}$ pode ser representada como

$$\dot{\rho} = \dot{\rho}_{CS} + \frac{\partial \rho}{\partial T_F} \dot{T}_F + \frac{\partial \rho}{\partial T_M} \dot{T}_M + \frac{\partial \rho}{\partial \alpha_M} \dot{\alpha}_M$$

Onde:

$\dot{\rho}_{CS}$ é a taxa de variação da reatividade devido ao sistema de controle;

\dot{T}_F é a taxa de variação da temperatura do combustível;

\dot{T}_M é a taxa de variação da temperatura do moderador;

$\dot{\alpha}_M$ é a taxa de variação da fração do volume de vapor do moderador; e o termo $\partial \rho / \partial T_F$ é conhecido como coeficiente Doppler.

Respostas às questões abaixo assumindo um reator PWR.

a) Indique a faixa de valores de k que representam o Sistema crítico; o sistema supercrítico; e sistema subcrítico.
(3 pontos)

b) Apresente, em função de k , a expressão da reatividade.
(2 pontos)

Continuação da 10ª questão

- c) Explique, com base no efeito Doppler, o que acontece quando há um aumento da temperatura do combustível. (1 ponto)
- d) Explique o que acontece quando há um aumento da temperatura do moderador. (1 ponto)
- e) Com base nas explicações dos itens c e d, os valores de $\partial\rho/\partial T_F$ e de $\partial\rho/\partial T_M$ são positivos ou negativos? (1 ponto)

Continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016

Continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2016