

MARINHA DO BRASIL  
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

CONCURSO PÚBLICO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA  
MARINHA (CP-CEM/2017)

**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. Respostas e desenvolvimentos a lápis não serão considerados. 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 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 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 atribuição de nota zero.
- 9- Será eliminado sumariamente do concurso e 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 noutro lugar que não o determinado para esse fim; e
  - e) cometer ato grave de indisciplina.
- 10- ESTÁ AUTORIZADA A UTILIZAÇÃO DE CALCULADORA PADRÃO NÃO CIENTÍFICA.

**NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR**

<b>RUBRICA DO PROFESSOR</b>	<b>ESCALA DE</b>	<b>NOTA</b>	<b>USO DA DE<sub>EnsM</sub></b>
	000 A 080		

<b>CAMPOS PREENCHIDOS PELOS CANDIDATOS</b>	<b>CONCURSO: CP-CEM/2017</b>		
	<b>NOME DO CANDIDATO:</b>		
	<b>Nº DA INSCRIÇÃO</b>	<b>DV</b>	
	<b>ESCALA DE</b>	<b>NOTA</b>	<b>USO DA DE<sub>EnsM</sub></b>
	000 A 080		

CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 80 PONTOS)

1ª QUESTÃO (8 pontos)

Dentre os produtos originados a partir de uma reação de fissão nuclear, estão os fragmentos de fissão, os nêutrons, os raios gama, os raios beta e os neutrinos. Com relação a esses produtos responda às perguntas a seguir.

- a) Qual é a diferença entre os nêutrons prontos e os nêutrons atrasados em uma reação nuclear? (4 pontos)
  
- b) Qual é a importância dos nêutrons atrasados para a operação do reator? (4 pontos)

Continuação da 1ª questão

**2ª QUESTÃO (8 pontos)**

Explique cada um dos termos a seguir, utilizando equações, gráficos, curvas e quaisquer outros recursos apropriados.

- a) Qual a diferença entre isótopos físséis e férteis? (3 pontos)
- b) Descreva a equação da Lei de Fick e explique o que ela representa fisicamente. (3 pontos)
- c) Apresente, na forma de equação, a definição do fator multiplicador de nêutrons ( $K$ ) e defina para quais valores de  $K$  um reator é crítico, subcrítico e supercrítico. (2 pontos)

Continuação da 2ª questão

Continuação da 2ª questão

**3ª QUESTÃO (8 pontos)**

- a) A formulação matemática de teoria da difusão de nêutrons é baseada no balanço de nêutrons em um elemento de volume diferencial. Deduza a equação de balanço de nêutrons (equação da continuidade), descrevendo cada um dos seus termos.

Continuação da 3ª questão

**4ª QUESTÃO (8 pontos)**

A meia-vida de uma amostra de  $I^{131}$  é de 8,1 dias. A atividade dessa amostra é de 100 kBq. Com base nessas informações, calcule a massa de  $I^{131}$  correspondente nessa amostra.

Dados:

$$N_{Av} = 6,0225 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$1 \text{ uma} = 931 \text{ MeV}$$

$$1 \text{ MeV} = 1,60210 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$M(I^{131}) = 130,9061 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

Continuação da 4ª questão

5ª QUESTÃO (8 pontos)

Sabe-se que a seção de choque para o  $^{235}\text{U}$  a 1MeV é:

$$\sigma_s = 4 \text{ barns} \quad \sigma_i = 1,4 \text{ barns} \quad \sigma_f = 1,2 \text{ barns} \quad \sigma_a = 1,3 \text{ barns}$$

Sabendo-se também que todas as outras seções de choque podem ser desconsideradas nessa energia, faça o que se pede.

- Determine a seção de choque total na energia de 1MeV. (3 pontos)
- Determine a razão de captura por fissão ( $\alpha$ ) na energia de 1MeV. (3 pontos)
- O espectro de radiação pode ser caracterizado em dois grupos principais: aqueles que consistem em uma ou mais energias discretas (espectro linha) e aqueles que consistem em uma ampla distribuição de energias (espectro contínuo). Classifique uma das fontes de radiação listadas abaixo como do tipo "linha" ou "contínua". (2 pontos)

Partículas Alpha:

Partículas Beta:

Raios Gamma:

Raio X característico:

Elétrons convencionais:

Elétrons Auger:

Fragmentos de Fissão:

Bremsstrahlung:

Continuação da 5ª questão

**6ª QUESTÃO (8 pontos)**

Considere um feixe de nêutrons com energia de 2MeV incidente sobre uma lâmina de água pesada ( $D_2O$ ). Considere também que seção de choque total do deutério e do oxigênio nessa energia é de 2,6 barn e 1,6 barn, respectivamente. Sendo assim, responda às perguntas a seguir.

Dados:

$$M_D = 2,01410 \text{ g/mol}$$

$$M_O = 15,9994 \text{ g/mol}$$

$$\rho_{D_2O} = 1,105 \text{ g/cm}^3$$

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ /mol}$$

- a) Qual é a seção de choque macroscópica total do  $D_2O$  a 2MeV? (3 pontos)
- b) Qual é a espessura de lâmina para que a intensidade do feixe não colidido seja reduzida em um fator de 10 vezes? (3 pontos)
- c) Se um nêutron incidente colide com a placa, qual é a probabilidade relativa de colidir com um deutério? (2 pontos)

Continuação da 6ª questão

Continuação da 6ª questão

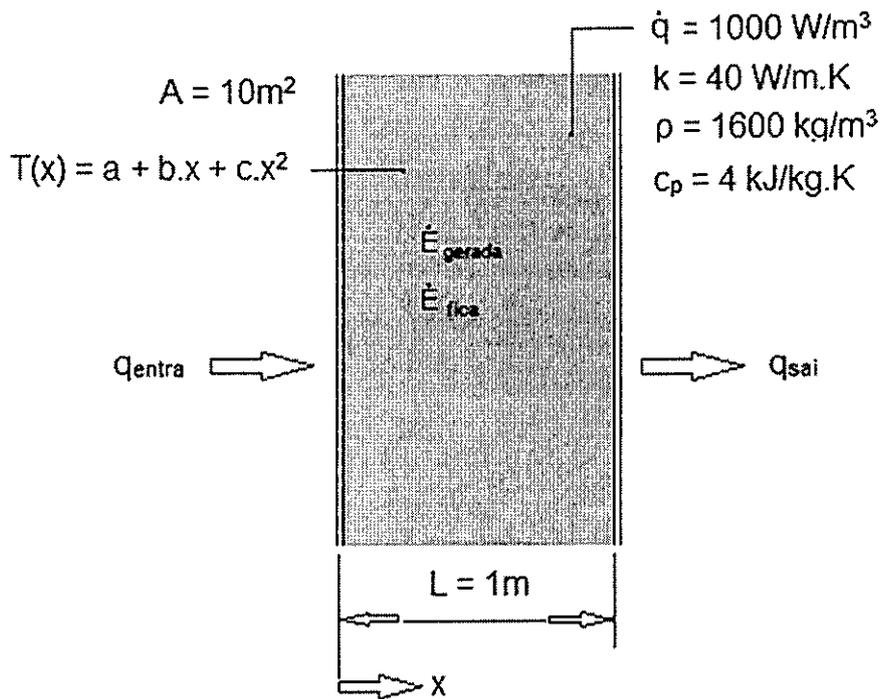
7ª QUESTÃO (8 pontos)

Explique como um transistor de efeito de campo pode ser usado como uma chave tanto com sinais analógicos como com sinais digitais. Considere o circuito da figura abaixo para fazer as suas explicações.

A distribuição de temperatura através de uma parede de 1m de espessura em um certo tempo é dada por:

$$T(x) = a + bx + cx^2$$

Onde T está em graus Celsius e x em metros, enquanto  $a=900^\circ\text{C}$ ,  $b=-300^\circ\text{C}$  e  $c=-50^\circ\text{C}/\text{m}^2$ . A parede possui uma área de  $10\text{m}^2$ , com propriedades de  $\rho=1600\text{kg}/\text{m}^3$ ,  $k=40\text{W}/\text{m.K}$  e  $c_p=4\text{kJ}/\text{kg.K}$ , e com geração interna de calor  $\dot{q} = 1000\text{W}/\text{m}^3$ , conforme representa a figura abaixo.



Sendo assim, determine:

- a taxa de transferência de calor entrando na parede ( $x=0\text{m}$ ) e saindo da parede ( $x=1\text{m}$ ). (3 pontos)
- a taxa de armazenamento de energia dentro da parede. (3 pontos)
- a taxa de mudança de temperatura, em função do tempo, em  $x=0\text{ m}$ ,  $x=0,25\text{ m}$  e  $x=0,5\text{ m}$ . (2 pontos)

Continuação da 7ª questão

Continuação da 7ª questão

**8ª QUESTÃO (8 pontos)**

Com relação ao ciclo do combustível nuclear, faça o que se pede.

- a) Descreva de forma sucinta o ciclo do urânio, desde a sua mineração, até o repositório temporário ou final, sem o reprocessamento. (3 pontos)
- b) Dentro do ciclo do combustível, existe a etapa de enriquecimento do urânio. Descreva, pelo menos três formas de enriquecimento de urânio, destacando qual é a forma de enriquecimento de urânio mais utilizada comercialmente nos dias de hoje, e explique o porquê. (3 pontos)
- c) Descreva uma vantagem e uma desvantagem do reprocessamento do combustível nuclear. (2 pontos)

Continuação da 8ª questão

Continuação da 8ª questão .

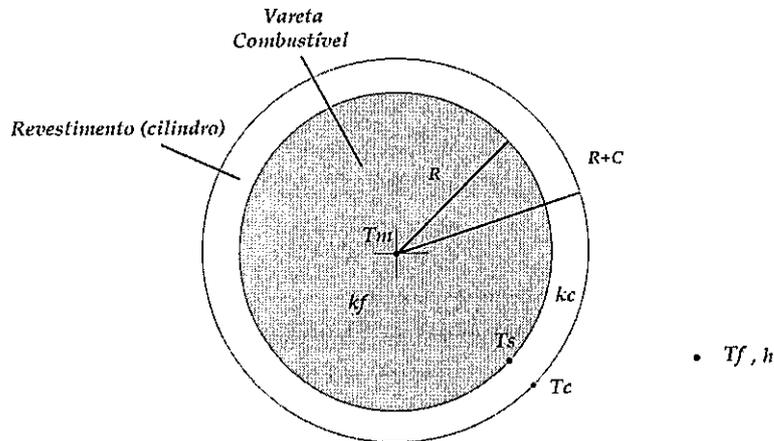
9ª QUESTÃO (8 pontos)

Um cilindro possui comprimento  $l$ , raio interno  $R$  e espessura de parede  $C$ , com  $l \gg R$ . Sua condutividade térmica, uniforme e constante, é  $k_c$ . As temperaturas sobre as superfícies interna e externa desse cilindro são constantes, respectivamente,  $T_s$  e  $T_c$ . Nesta situação, a distribuição de temperaturas em função do raio do cilindro é dada pela seguinte expressão:

$$T(r) = T_c + \frac{(T_s - T_c)}{\ln[R/(R+C)]} \ln[r/(R+C)]$$

para  $R \leq r \leq (R+C)$  e  $T_s > T_c$ .

- Sendo assim, obtenha a expressão para a taxa de calor a partir da Lei de Fourier para a condução térmica. (3 pontos)
- Este mesmo cilindro é utilizado como revestimento de uma vareta combustível de um reator nuclear. Considere a vareta sólida, possuindo raio  $R$  e comprimento  $l$ , e com sua temperatura na linha de centro  $T_m$ , conforme a figura abaixo.



A vareta possui condutividade térmica  $k_f$ , constante e uniforme, e  $q_c$  é a taxa de transferência de calor na superfície externa do revestimento, onde o raio é  $R+C$ . O conjunto vareta e revestimento é resfriado por um escoamento em contato com o revestimento externo, cuja temperatura do fluido é  $T_f$  e o coeficiente de transferência de calor por convecção é  $h$ . Deste modo, desenvolva e apresente a expressão para o cálculo da taxa de transferência de calor  $q_c$ , em função da diferença de temperatura  $(T_m - T_f)$ . (Observação: Considere que não há folga entre a vareta e o cilindro de revestimento). (5 pontos)

Continuação da 9ª questão

Continuação da 9ª questão

Continuação da 9ª questão

**10ª QUESTÃO (8 pontos)**

Um terço do núcleo de um reator de água pressurizada (PWR - Pressurizer Water Reactor) é removido e substituído uma vez por ano. Para uma planta PWR com potência nominal de 1000 MWe, cada recarregamento requer, aproximadamente, 33.000 kg de UO<sub>2</sub> enriquecido a 3.2%. Considerando que uma planta de enriquecimento de urânio é alimentada com urânio natural a 0.711%, e a saída de urânio empobrecido é de 0,20%, responda às perguntas a seguir.

a) Qual a quantidade de urânio necessária para alimentar a unidade de enriquecimento de urânio, de modo a atender à demanda de recarregamento do reator nuclear PWR? (4 pontos)

Dados:

$$M_F = \left( \frac{x_P - x_T}{x_F - x_T} \right) * M_P$$

$M_F$  = massa de alimentação

$M_P$  = massa de produto

$x_P$  = fração de enriquecimento do produto

$x_T$  = fração de enriquecimento do rejeito

$x_F$  = fração de enriquecimento da alimentação

b) Considerando a seguinte Função de Valor:

$$V(x) = (1 - 2x) * \ln\left(\frac{1-x}{x}\right),$$

Onde x é o percentual em peso de urânio enriquecido.

Qual seria o custo do enriquecimento supondo que 1 kg de UTS - Unidade de Trabalho Separativo (SWU - Separative Work Unit) custa \$130,75. (4 pontos)

Dados:

$$V(0,032) = 3,191$$

$$V(0,00711) = 4,869$$

$$V(0,002) = 6,188$$

$$UTS = M_P * [V(x_P) - V(x_T)] - M_F * [V(x_F) - V(x_T)]$$

Continuação da 10ª questão

Continuação da 10ª questão