

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

CONCURSO PÚBLICO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA
MARINHA (CP-CEM/2015)

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 em 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 noutro lugar que não o determinado para esse fim; e
 - e) cometer ato grave de indisciplina.
- 10- É PERMITIDA A UTILIZAÇÃO DE CALCULADORA PADRÃO NÃO CIENTÍFICA E RÉGUA SIMPLES.

NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR

RUBRICA DO PROFESSOR	ESCALA DE	NOTA			USO DA DE _{ns} M
	000 A 080				

CAMPOS PREENCHIDOS
PELOS CANDIDATOS

CONCURSO: CP-CEM/2015
NOME DO CANDIDATO:

Nº DA INSCRIÇÃO	DV	ESCALA DE	NOTA			USO DA DE _{ns} M
			000 A 080			

CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 80 PONTOS)

1ª QUESTÃO (8 pontos)

A energia média $f(t)$ emitida por segundo na forma de raios beta (β) e gamma (γ), em até t segundos após a fissão de um núcleo de Urânio 235 (^{235}U), pode ser estimada pela equação $f(t) = 2,66 \cdot t^{-1/2} \left(\frac{\text{Mev}}{\text{fissão} \cdot \text{segundo}} \right)$,

conhecida como fórmula de Way-Wigner. Essa equação é válida para intervalos de tempo entre $1 \leq t \leq 10^6$ segundos, isto é $t = [1, 10^6]$ segundos, para a fissão neutrônica térmica do ^{235}U . Considere a energia

térmica liberada por cada fissão igual a $3,1 \cdot 10^{-11} \frac{\text{J}}{\text{fissão}}$ ou $202,5 \frac{\text{Mev}}{\text{fissão}}$ e

responda:

- Utilize a fórmula de Way-wigner e calcule o tempo, após uma fissão simples do ^{235}U , que pode ser esperado para a liberação de metade do total de energia contida nos produtos de fissão. (4 pontos)
- Obtenha a expressão para a potência térmica liberada devido aos produtos de decaimento de fissão em uma PWR em T segundos de operação, a uma potência constante de 1000 MWe (Considere 1MWe = 3MWt). (2 pontos)
- Determine a potência de equilíbrio dos produtos físséis para um reator em unidades de MWt. (2 pontos)

Continuação da 1ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015

2ª QUESTÃO (8 pontos)

Para reduzir a taxa de exposição de uma fonte monodirecional de 1 MeV γ rays de Intensidade de $1,27 \times 10^9 (\gamma \text{ rays}) / (\text{cm}^2 - \text{sec})$ para 2,5 mR/hr, calcule:

- O fluxo através da blindagem. (4 pontos)
- A espessura de chumbo da blindagem. (4 pontos)

Dados:

$$\dot{X}(\text{mR/hr}) = C \Phi_b \text{ (Taxa de Exposição)}$$

$$C = 0,0659 E_0 (\mu_a / \rho)^{ar}$$

$$(\mu_a / \rho)^{ar} = 0,0232 \text{ cm}^2 / \text{g}$$

$$\Phi_b = \Phi_u B_m(\mu_a)$$

$$\Phi_u = \Phi_0 e^{-\mu a} = 3,884959 \times 10^2 \gamma - \text{rays} / \text{cm}^2 - \text{sec}$$

$$\mu = 0,518 \text{ cm}^{-1}$$

		Bm($\mu_0 x$)					
Material	E_0 MeV	$\mu_0 x$					
		1	2	4	7	10	15
Chumbo	0.5	1.24	1.39	1.63	1.87	2.08	
	1.0	1.38	1.68	2.18	2.80	3.40	4.20
	2.0	1.40	1.76	2.41	3.36	4.35	5.94
	3.0	1.36	1.71	2.42	3.55	4.82	7.18
	4.0	1.28	1.56	2.18	3.29	4.69	7.70
	6.0	1.19	1.40	1.87	2.97	4.69	9.53
	8.0	1.14	1.30	1.69	2.61	4.18	6.08
	10.0	1.11	1.24	1.54	2.27	3.54	7.70

Continuação da 2ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015

3ª QUESTÃO (8 pontos)

O detector a cintilação (scintillation detector), também conhecido por cintilador, é, atualmente, um dos dispositivos de detecção de partículas mais frequente e amplamente utilizado em física nuclear e de partículas. Explique o princípio de funcionamento de um detetor de radiação a cintilação.

Continuação da 3ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015

4ª QUESTÃO (8 pontos)

Uma nova planta nuclear com capacidade de 1 GWe foi planejada para suprir o aumento de demanda de energia na região sudeste do Brasil. Os seguintes dados são conhecidos a respeito desse novo reator comercial:

fator de capacidade de 90%;
fator de conversão nuclear para térmica de 95% (perda de energia devido à emissão de neutrinos);
fator de eficiência térmica de 35%;
operação conforme o Ciclo Rankine;
o único material fissionável existente no núcleo é ^{235}U ; e
o urânio utilizado no núcleo é enriquecido a 5,2 w/o ^{235}U (urânio 235 enriquecido a 5,2 %);.

Dados:

- O urânio natural é formado apenas por 0,71% de ^{235}U e 99,29% de ^{238}U ;
 - O urânio enriquecido a 4,4 w/o ^{235}U é obtido por meio do processo de enriquecimento isotópico de centrifugação, no qual o rejeito é formado por 0,25 w/o ^{235}U ;
 - A fissão de aproximadamente um grama (1,05 g) de ^{235}U produz 1 MWd de energia térmica;
 - 1 fissão libera 200 MeV; e
 - 1 MeV equivale a $1,6022\text{E}-13$ J.
- a) Apresente os cálculos que justificam a afirmativa de que a fissão de aproximadamente um grama de ^{235}U produz 1 MWd de energia térmica. (4 pontos)
- b) Calcule a quantidade de urânio natural necessário para alimentar este reator por ano? (4 pontos)

Continuação da 4ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015

5ª QUESTÃO (8 pontos)

Uma planta nuclear utiliza, a cada 18 meses, 30.000 kgU enriquecidos a 4,0 w/o ^{235}U (urânio 235 enriquecido a 4,0%) desde o dia 1º de janeiro de 2008, início da operação planta nuclear. O urânio enriquecido é obtido a partir do processo de enriquecimento isotópico por centrifugação, gerando rejeito empobrecido a 0,3 w/o. Uma vez que o baixo preço de U natural justificava a obtenção de combustível a partir de urânio natural com essas características (enriquecido a 4,0 w/o e empobrecido a 0,3 w/o), responda as perguntas abaixo.

- Escreva a fórmula que relaciona a alimentação (F) o produto (P), ou seja F/P em função dos enriquecimentos, e entre a unidade de separação isotópica (UTS) para P, ou seja, UTS/P. (2 pontos)
- Qual a relação entre a alimentação (F) para o produto (P) e a unidade de separação isotópica (UTS) para P para cada recarga de combustível nuclear? Qual a quantidade de urânio natural e de UTS necessária para cada recarga e desde o início de operação até 10 de junho de 2015? (2 pontos)
- Uma vez que o preço de urânio natural é elevado, a planta pretende alterar de 0,3 w/o para 0,2 w/o o empobrecimento do rejeito (T). Qual a nova relação entre F/P e UTS/P? Em relação à quantidade inicial de urânio natural (F) e de UTS, qual a porcentagem das novas quantidades? Indique se houve aumento ou redução nessas quantidades. (2 pontos)
- Qual o efeito de reutilizar o urânio empobrecido a 0,3 w/o (W) e utilizá-lo como alimentação (F) no processo de separação isotópica por centrifugação para gerar 4 w/o (P) e 0,2 w/o de rejeito (T). Quais as novas relações F/P e UTS/P? Qual relação W/P? (2 pontos)

Dados:

$$UTS = P \cdot (2 \cdot x_P - 1) \cdot \ln\left(\frac{x_P}{1 - x_P}\right) + W \cdot (2 \cdot x_W - 1) \cdot \ln\left(\frac{x_W}{1 - x_W}\right) - F \cdot (2 \cdot x_F - 1) \cdot \ln\left(\frac{x_F}{1 - x_F}\right)$$

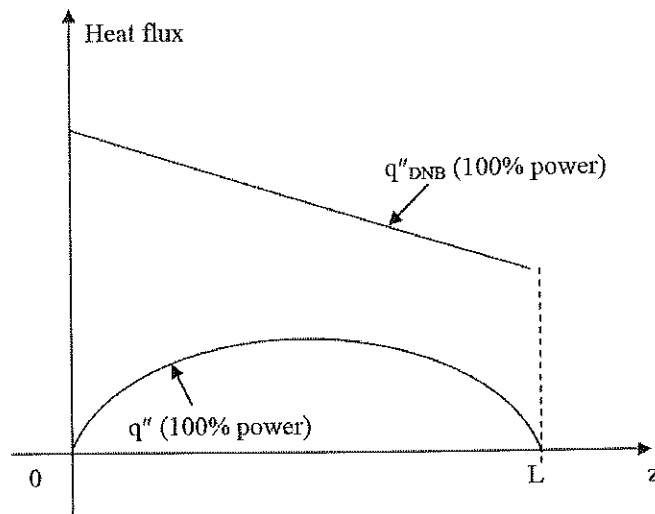
Continuação da 5ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015

6ª QUESTÃO (8 pontos)

Analise a figura a seguir.



A curva de "Departure of Nuclear Boiling" (DNB) e o perfil de fluxo de calor no canal quente de um reator de água pressurizada (PWR), operando a 100% de potência, são apresentados (qualitativamente) na figura acima, como função da posição axial do núcleo (z). Desenhe, qualitativamente, como as curvas de fluxo de calor do reator (q'') e de DNB (q''_{DNB}) serão alteradas caso a potência do reator seja aumentada (sem alterar a taxa do fluxo de massa, de pressão e de temperatura de entrada) em 10% (de "100% power" para ">100% power").

Continuação da 6ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015

7ª QUESTÃO (8 pontos)

Assuma que nêutrons de energia ($E=0,9$ MeV) são introduzidos em um tanque de He^4 , onde $\Sigma_s = 10^{-4} \text{ cm}^{-1}$.

Dados: $V(E) = 22.000 \frac{\text{cm}}{\text{seg}}$

- a) Qual o intervalo de tempo entre o momento da introdução da fonte de nêutron e sua primeira colisão? (2 pontos)
- b) Apresente no mínimo 3 (três) razões que expliquem por que a densidade de nêutrons em um reator nuclear é função da posição, da direção e da energia. (6 pontos)

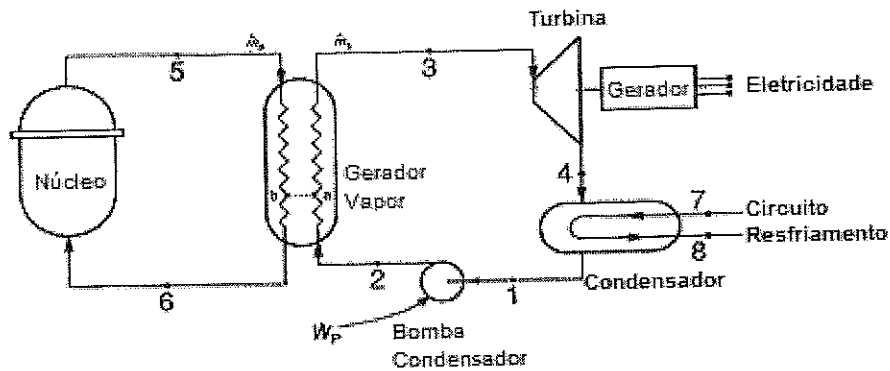
Continuação da 7ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015

8ª QUESTÃO (8 pontos)

Observe a figura a seguir.



Um reator a água pressurizada (PWR), cujo diagrama simplificado é apresentado na figura acima, está operando de acordo com as seguintes condições:

Estado	Temperatura (K)	Pressão (kPa)	Condição de Operação	Entalpia (kJ/kg)	Entropia (kJ/kg K)
1		7	Líquido Saturado	163.4	0.5590
2		7,800	Líquido Sub-resfriado		
3		7,800	Vapor saturado	2762	5.759
4		7	Mistura Duas Fases		
5	600	15,500	Líquido Sub-resfriado	1497	3.498
6	565	15,500	Líquido Sub-resfriado	1295	3.151
7			Líquido Sub-resfriado		
8			Líquido Sub-resfriado		
		7	Vapor saturado	2571	8.27

Dados:

- a eficiência isentrópica da turbina é de 85%;
- a eficiência da bomba é de 85%; e
- a densidade do líquido no estado 2 é 995 kg/m³.

Com relação a esse PWR, responda:

- Desenhe o diagrama temperatura-entropia (diagrama T-S) para este ciclo (Rankine) para os 3 loops (primário), secundário e terciário. (6 pontos)
- Calcule a eficiência termodinâmica da planta. (2 pontos)

Continuação da 8ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015

9ª QUESTÃO (8 pontos)

Considere a transferência de calor na pastilha, no espaço entre a pastilha e o revestimento, e no revestimento de uma vareta de combustível, na condição inicial sem quebra e relocação da pastilha.

Calcule:

- A temperatura no centro da pastilha T_{max} . (3 pontos)
- A temperatura na superfície externa da pastilha T_{fo} . (3 pontos)
- A temperatura na superfície interna do revestimento T_{ci} . (2 pontos)

Dados:

Geometria:

- diâmetro externo do Revestimento - 11,20 mm;
- espessura do Revestimento - 0,71 mm;
- espaço entre a pastilha e o revestimento - 180 μ m; e
- R_g - raio médio do espaço entre a pastilha e o revestimento

$$\frac{R_{fo} + R_{ci}}{2}$$

Coefficientes de Transferência de Calor:

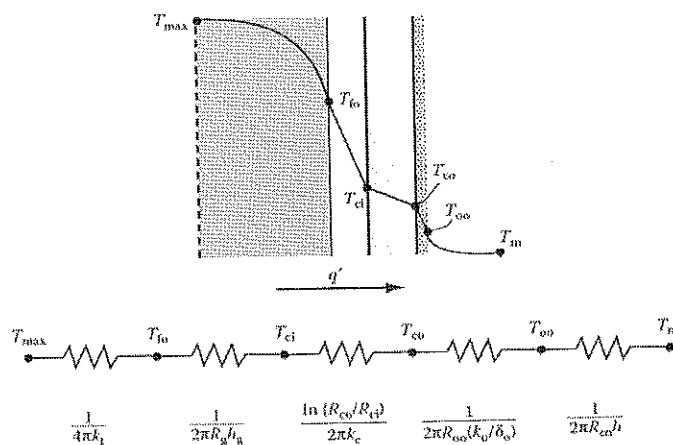
- condutividade do revestimento = 17 W/m.K;
- condutância do espaço entre o revestimento e a pastilha = 4300 m^2K ; e
- condutividade da Pastilha = 2,418 W/m.K.

Condições de Operação:

- temperatura externa ao revestimento (T_{co}) = 295 °C; e
- taxa linear de geração de calor = 44 KW/m.

Considere uma taxa de deposição volumétrica uniforme na pastilha e zero no revestimento.

Continuação da 9ª questão



$$T_{\max} - T_m = \frac{q'}{2\pi} \left[\frac{1}{2k_f} + \frac{1}{R_g h_g} + \frac{1}{k_c} \ln\left(\frac{R_{co}}{R_{ci}}\right) + \frac{1}{R_{oo} k_o / \delta_o} + \frac{1}{R_{co} h} \right]$$

x	ln(x)
1,11	0,104360
1,12	0,113329
1,13	0,122218
1,14	0,131028
1,15	0,139762
1,16	0,148420

Continuação da 9ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015

10ª QUESTÃO (8 pontos)

O que é **RIA** (Reactivity Initiated Accident) e **LOCA** (Loss of Coolant Accident)? Cite um exemplo de RIA e um exemplo de LOCA.

Continuação da 10ª questão

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2015