

MARINHA DO BRASIL

SERVIÇO DE SELEÇÃO DE PESSOAL DA MARINHA DO BRASIL

GABARITO DESENVOLVIDO

CP-CEM/2023 ENGENHARIA NUCLEAR

1) (8 pontos)

a) (2 pontos)

K em excesso é a reatividade adicional para permitir que o reator possa manter condições críticas por um ciclo inteiro de combustível (18-24 meses).

Como exemplos dos benefícios/funções do K em excesso, pode se garantir que o reator possa se tornar crítico durante uma condição de pico de xenônio após um “trip” do reator; e para compensar a reatividade negativa adicionada pelo coeficiente de potência durante um aumento de potência.

b) (2,4 pontos)

Inicialmente uma alta concentração de boro e venenos queimáveis são necessários para compensar o excesso de reatividade do núcleo.

A-B:

K em excesso diminui devido ao surgimento dos venenos de produtos e fissão (Xenônio e Samário). (0,4)

Após a partida da planta, há surgimento de produtos de fissão o que permite a diminuição da concentração de boro. (0,4)

B-C:

K em excesso aumenta devido à queima dos venenos queimáveis mais rápida que o combustível é consumido. (0,4)

Após isso, a concentração de boro pode ser aumentada porque a queima do veneno queimável é mais rápida que a depleção do combustível. (0,4)

C-D:

K em excesso diminui devido à queima do combustível e de outros produtos de fissão. (0,4)

Por último, a concentração de boro vai ser reduzida pela queima do combustível. (0,4)

c) (2 pontos)

-variação de reatividade do núcleo. ;

-potencial impedimento da partida do reator em função da reatividade negativa proveniente do aumento da concentração do Xenônio decorrente de um eventual desligamento rápido do reator

-Oscilações de xenônio no núcleo do reator.

Venenos de produtos de fissão são motivo de preocupação em reatores principalmente porque eles se tornam absorvedores parasitas de nêutron.

Como o xenônio e o samário removem os nêutrons do reator, eles terão um impacto no fator de utilização térmica e, portanto, no keff e na reatividade.

Várias operações do reator podem resultar em mudanças significativas na concentração de xenônio-135 e, portanto, mudanças significativas na reatividade. Para atingir ou manter um nível de potência do reator desejado, os operadores do reator devem ser capazes de reconhecer e contabilizar esses efeitos.

d) (1,6 pontos)

Não,(0,4 ponto)

K em excesso é diferente de K_{eff} . **K_{eff} é o fator de multiplicação de nêutrons que pode ser compreendido pela relação da quantidade de nêutrons da geração atual pela anterior.** A potência do reator é mantida constante em operação normal, em 100%. Os casos que o reator estará subcrítico são no desligamento e na redução de potência da planta. Os casos que o reator estará supercrítico são na partida e na elevação de potência. Quando o reator está crítico e quer se manter operando por um tempo precisa de ter excesso de reatividade. (1,2 ponto)

2) (8 pontos)

a) (2 pontos)

A alta sensibilidade do detector Geiger-Mueller é decorrente do fenômeno de avalanche (amplificação máximo de gás). Qualquer evento de radiação incidente que cause uma ionização primária resultará na ionização de todo o volume do gás desse detector. (1,0)

Ponto positivo: ao utilizá-lo o operador verifica a existência ou não de radiação no local. (0,5)

Ponto negativo: não há distinção do tipo de radiação captada. (0,5)

b) (2 pontos)

-Os contadores proporcionais de BF_3 são mais sensíveis a radiação incidente devido a multiplicação interna dos pares de íons criados pela radiação incidente. O número de pares de íons é proporcional a ionização inicial causada pela radiação incidente. (1 ponto)

-Região 3. (1 ponto)

c) (2 pontos)

Qualquer evento de radiação incidente que cause uma ionização primária não resultará na ionização de todo o volume do gás desse detector, ou não provocará ionizações secundárias. (1 ponto)

Região II. (1 ponto)

d) (2 pontos)

Uma câmara de ionização compensada é um detector de nêutrons que **efetivamente discrimina a corrente induzida por raios gama.** Normalmente, a câmara tem três eletrodos concêntricos, um revestido com um material sensível a nêutrons, **como ^{235}U ou um composto contendo ^{10}B .** As câmaras de íons compensados são amplamente utilizadas em reatores nucleares devido à sua capacidade de responder a campos de nêutrons que variam até dez ordens de grandeza; ou seja, esses detectores têm uma faixa dinâmica muito grande.

3) (8 pontos)

a) (2 pontos)

O CHF é a taxa de transferência de calor por unidade de área de uma vareta de combustível que inicialmente causa o DNB.

CHF é específico para uma dada localização no núcleo e condições da planta, tais como temperatura, pressão e vazão.

(2 pontos)

b) (2 pontos)

-CHF é maior na posição E. A razão DNB varia ao longo do canal, uma vez que tanto o fluxo de calor local quanto a entalpia do fluido variam. Quanto menor for a entalpia do fluido maior será o CHF. (2 pontos)

c) (2 pontos)

Mínimo DNBR: posição B.

A razão DNB varia ao longo do canal, uma vez que tanto o fluxo de calor local quanto a entalpia do fluido variam. Quanto maior entalpia do fluido menor é o CHF.

O fluxo de calor local está diminuindo mais lentamente que a queda do CHF, por isso o mínimo DNBR está na posição bravo (b). (2 pontos)

d) (2 pontos)

Aumentar a pressão do primário, À medida que a pressão aumenta, o RCS se afasta das condições de saturação para uma determinada temperatura, portanto, mais afastado do DNB. Assim, o reator está operando mais afastado do fluxo de calor crítico.

Alterar vazão, caso altere a velocidade da bomba do primário. O aumento da taxa de vazão através dos canais de refrigeração faz com que as bolhas de vapor formadas nos locais de nucleação sejam varridas a uma taxa mais alta, portanto, as bolhas de vapor podem ser produzidas a uma taxa mais alta antes que ocorra o DNB. Portanto, aumentar a vazão do RCS fornece DNBR adicional.

Taxa de geração de calor/diminuir potência do reator, Densidades de potência do reator reduzidas (fluxo de calor) resultam em uma temperatura mais baixa, portanto, mais distante do DNB. (2 pontos)

4) (8 pontos)

a) (2 pontos)

Sabendo que o reator está crítico quando o $K_{eff} = 1$ e a reatividade (ρ) = 0. Assim, a partir da regra prática, tem-se que:

Reatividade do núcleo = $-1,0 \% \Delta K/K \rightarrow 300$ cps (foi adicionado $1 \% \Delta K/K$ ao núcleo)

Reatividade do núcleo = $-0,5 \% \Delta K/K \rightarrow 600$ cps (foi adicionado mais $0,5 \% \Delta K/K$ ao núcleo)

$1,5 \% \Delta K/K$ deve ser adicionada.

Ou, inserir a possibilidade pela equação:

$$K_{eff} = 1/(1 - \rho)$$

Logo, K_{eff} inicial é igual a 0,98.

Quando $k_{eff} = 0,99$; a contagem será 300 cps.

Quando $K_{eff} = 0,995$, a contagem será 600 cps.

Aplicando a equação $\rho = (k_{eff} - 1)/k_{eff}$ para achar a reatividade inicial e final do núcleo.

Reatividade inicial = $-2 \% \Delta K/K$

Reatividade final = $-0,5 \% \Delta K/K$

Reatividade adicionada (final – inicial) = $1,5 \% \Delta K/K$

b) (2 pontos)

$$-6,918 + 2,675 + 1,575 - 1,040 + 0,500 = -3,208 \% \Delta K/K \text{ (2,0 ponto)}$$

c) (2 pontos)

A população de nêutrons atrasados não pode diminuir mais rápido do que a taxa de decaimento dos precursores de nêutrons atrasados. Após uma grande diminuição em k_{eff} e passados alguns minutos, a população de nêutrons diminui na taxa de decaimento do precursor de nêutrons retardado de vida mais longa que tem uma meia-vida de cerca de 55 s que vai gerar um período do reator próximo de 80 seg. (2 pontos)

d) (2 pontos)

É a quantidade instantânea de reatividade pela qual o núcleo de um reator nuclear está subcrítico, ou pode se tornar subcrítico de sua condição atual com a barra de controle mais reativa totalmente retirada do núcleo a qualquer momento durante o ciclo do núcleo.

(2 pontos)

5) (8 Pontos)

a) (1,5 pontos)

É o calor gerado pelo decaimento radioativo dos produtos de fissão após alguns dias de operação do reator, que chegam a cerca de 7% da potência térmica total do reator. Quando o reator é desligado, os produtos de fissão acumulados continuam a decair e liberar energia dentro do reator. Esta energia de decaimento do produto de fissão pode ser bastante considerável em termos absolutos, e um meio para resfriar o núcleo do reator após o desligamento deve ser fornecido em todos os reatores, exceto aqueles que operam em níveis de energia muito baixos. Se isso não for feito, a temperatura do combustível pode subir a um ponto em que a integridade do combustível é comprometida e os produtos de fissão são liberados.

(1,5 ponto)

b) (0,5 pontos)

Sim, pois existe decaimento dos produtos de fissão.

c) (6 pontos)

Assim que toda água do gerador de vapor tiver evaporado (GV seco), não haverá dissipador de calor para o RCS e, portanto, o RCS começará a aquecer a uma taxa proporcional à entrada de calor total e inversamente proporcional à massa do RCS.

A entrada total de calor para o RCS é a soma do calor de decaimento e do calor RCP, menos as perdas de calor ambiente:

$$Q'_{\text{entrada}} = Q'_{\text{Decay Heat}} + Q'_{\text{RCP}} - Q'_{\text{ambiente}} \quad (1 \text{ ponto})$$

$$Q'_{\text{entrada}} = 3400 * 1\% \text{ MW} + 14,4\text{MW} - 2,4\text{MW} = 46\text{MW} \quad (1 \text{ ponto})$$

Aplicando a equação $Q' = m' \cdot cp \cdot \Delta T$ para encontrar a taxa de aquecimento: (1 ponto)

$$46\text{MW} = 46\text{MJ/s} = 46 * 3600\text{MJ/hr}$$

$$\Delta T = Q_{\text{entrada}} / m' \cdot cp = 46 * 10^6 * 3600 / (4600 * 144000) = 250^\circ\text{C/hr} \quad (3 \text{ pontos})$$

6) (8 pontos)

a) (1,6 pontos)

Aumenta. A diminuição de temperatura do combustível insere reatividade positiva, considerando um coeficiente de temperatura negativo (o que ocorre para um PWR típico). A diminuição da temperatura aumenta a probabilidade de escape da ressonância (da fórmula de 6 fatores)

b) (1,6 pontos)

Inalterada. Caso o reator estará acima do ponto de adição de calor. O aumento da população neutrônica causada pela fonte de nêutrons é negligenciável.

c) (1,6 pontos)

Inalterada. Feixe de elétrons não terá interação nuclear com o combustível.

d) (1,6 pontos)

Diminui. O cádmio absorve nêutrons, diminuindo a população neutrônica. Diminui o fator de utilização térmica (da fórmula de 6 fatores).

e) (1,6 pontos)

Diminui. A diminuição de enriquecimento do combustível diminui o fator de utilização térmica por diminuir a seção de choque macroscópica para fissão do combustível, ou seja, **diminui material físsil para o mesmo fluxo neutrônico.**

7) (8 pontos)

a) (2 pontos)

$$X = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{d^2} = \frac{12,97 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^4 \cdot 5}{400^2 \cdot 60} = \frac{1,621 \cdot 10^7}{1,6 \cdot 10^5} = 101,32R$$

b) (1,5 ponto)

$$D_{ar} = X \cdot 0,00876 = 0,8876Gy$$

c) (1,5 pontos)

$$D_{tumor} = D_{ar} \cdot 1,11 = 0,8876 \cdot 1,11 = 0,9856Gy$$

d) (3 pontos)

A atividade da fonte diminui durante o tempo em que ficou guardada, portanto, seria necessário aumentar o tempo de exposição no novo exame ou diminuir a distância entre o paciente e a fonte.

– Solução considerando o aumento de tempo (1,5 pontos)

$$A = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = 15 \cdot e^{\frac{-0,693 \cdot 20}{5,26}} = 15 \cdot e^{-2,635} = 15 \cdot 0,072 = 1,08kCi$$

$$t = \frac{X \cdot d^2}{\Gamma \cdot A} = \frac{101,35 \cdot 400^2}{12,97 \cdot 10^3 \cdot 1,08 \cdot 10^3} = \frac{1,62 \cdot 10^7}{1,401 \cdot 10^7} = 1,15horas = 69minutos$$

– Solução considerando a diminuição da distância entre a fonte e o paciente **(1,5 pontos)**

$$d^2 = \frac{\Gamma \cdot A \cdot t}{X} = \sqrt{\frac{12,97 \cdot 10^3 \cdot 1,08 \cdot 10^3 \cdot 5}{101,32 \cdot 60}} = \sqrt{\frac{1,167 \cdot 10^6}{101,32}} = 107,32cm$$

8) (8 pontos)

a) (3 pontos)

$$A = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = 10 \cdot e^{\frac{-0,693 \cdot 3}{8,04}} = 10 \cdot e^{-0,2586} = 10 \cdot 0,772 = 7,72 \text{ mCi ou } 28,26 \cdot 10^7 \text{ Bq}$$

b) (5 pontos)

$$N_0 = \frac{2,56 \cdot 10^{23}}{131} = 1,45 \cdot 10^{22} \text{ átomos iniciais de } I^{131}$$

$$\begin{aligned} N &= N_0 \cdot e^{-\lambda t} = 1,45 \cdot 10^{22} \cdot e^{\frac{-0,693 \cdot 3}{8,04}} = 1,45 \cdot 10^{22} \cdot e^{-0,2586} = 1,45 \cdot 10^{22} \cdot 0,772 \\ &= 1,12 \cdot 10^{22} \text{ átomos remanescentes de } I^{131} \end{aligned}$$

$$\%_{\text{remanescente}} = 1 - \frac{N_0 - N}{N_0} = 1 - \frac{(1,45 - 1,12) \cdot 10^{22}}{1,45 \cdot 10^{22}} = 77,24\%$$

9) (8 pontos)

a) (3 pontos)

$$M_{D_2O} = 20,0276 \text{ g/mol}$$

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

$$N_{D_2O} = \frac{\rho_{D_2O} * N_A}{M_{D_2O}} = \frac{1,105 * 6,022 * 10^{23}}{20,0276} = 3,323 * 10^{22} \frac{\text{moleculas}}{\text{cm}^3}$$

A seção de choque macroscópica é dada pela seguinte equação:

$$\sum_t^{\nu_2 \nu} (2 \text{ MeV}) = N_D * \sigma_t^D + N_O * \sigma_t^O$$

$$= 2 * (3,323 * 10^{22}) * (3,6 * 10^{-24}) + (3,323 * 10^{22}) * (2,4 * 10^{-24})$$

$$= 37,9008 * 10^{-2} = 0,379/\text{cm}$$

b) (3 pontos)

$$I(x) = I_0 e^{-\Sigma_t^{D_2O} x}$$

$$1/5 = e^{-\Sigma_t^{D_2O} x}$$

$$x = \ln 5 / \Sigma_t^{D_2O}$$

$$x = 1,609/0,379 = 4,245 \text{ cm}$$

c) (2 pontos)

$$\sum_t^D = 2 * N_{D_2O} * \sigma_t^D$$

$$\sum_t^O = N_{D_2O} * \sigma_t^O$$

A probabilidade relativa de colisão do deutério dada uma colisão com o D₂O:

$$\frac{\sum_t^D}{\sum_t^D + \sum_t^O} = \frac{2 * N_{D_2O} * \sigma_t^D}{2 * N_{D_2O} * \sigma_t^D + N_{D_2O} * \sigma_t^O}$$

$$= 2 * 3,6 / (2 * 3,6 + 2,4) = 75 \%$$

10) (8 pontos)

a) (6 pontos)

Sabe-se que:

Pela equação da continuidade: a vazão de entrada é a mesma vazão de saída.

Pela 1ª lei da termodinâmica: $h_e = h_{ss} + w_s$

h_entrada: h_e

h_saída_isentrópica: h_{ss}

trabalho_isentrópico: w_s

Pela 2ª lei da termodinâmica: $s_e = s_{ss}$

Entropia_entrada: s_e

Entropia_saída_isentrópica: s_{ss}

Na saída da turbina:

$$s_{ss} = s_e = 7,1229 = 0,7549 + x_{ss} * 7,2536$$

$$x_{ss} = 0,8779 \quad (2 \text{ pontos})$$

$$h_{ss} = 225,9 + x_{ss} * 2373,1 = 225,9 + 0,8779 * 2373,1 = 2309,3 \text{ kJ/kg}$$

$$w_s = h_e - h_{ss} = 3051,2 - 2309,3 = 741,9 \text{ kJ/kg} \quad (2 \text{ pontos})$$

Como o trabalho real é 600 kJ/kg, a eficiência isentrópica da turbina é $600/741,9 = 80,9 \%$ (2 pontos)

b) (2 pontos)

$$h_s = h_e - 600 = 3051,2 - 600 = 2451,2 \text{ kJ/kg} \quad (1 \text{ ponto})$$

$$2451,2 = 225,9 + x_s * 2373,1$$

$$x_s = 0,9377 = 93,77\% \quad (1 \text{ ponto})$$