

MARINHA DO BRASIL
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA

CONCURSO PÚBLICO PARA INGRESSO NO CORPO DE ENGENHEIROS DA
MARINHA (CP-CEM/2018)

ENGENHARIA NUCLEAR

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 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 DE RÉGUA SIMPLES.

NÃO DESTACAR A PARTE INFERIOR

RUBRICA DO PROFESSOR	ESCALA DE	NOTA			USO DA DEEnsM
	000 A 080				

CAMPOS PREENCHIDOS PELOS CANDIDATOS	CONCURSO: CP-CEM/2018					
	NOME DO CANDIDATO:					
	Nº DA INSCRIÇÃO		DV	ESCALA DE	NOTA	
			000 A 100			

CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS (VALOR: 80 PONTOS)

1ª QUESTÃO (8 pontos)

Referente ao ciclo do nêutron em um reator nuclear térmico do tipo PWR (*Pressurized water reactor*), reator à água pressurizada típico que utiliza urânio de baixo enriquecimento como combustível, responda às perguntas a seguir.

- a) Qual é a fórmula dos seis fatores utilizada para o cálculo do Fator de Multiplicação de nêutrons (k)? Identifique o nome de cada um dos fatores. (1 ponto)
- b) Identifique o significado de cada um dos fatores (da fórmula dos seis fatores) e assinale em qual faixa de valores indicada abaixo cada um está normalmente incluído: por significado entende-se citar qualitativamente como o fator é definido, não sendo necessária a reprodução fiel de sua fórmula literal. Justifique sua resposta. (6 pontos)

Faixa 1: fator com valor $> 1,0$

Faixa 2: fator com valor $< 1,0$

Faixa 3: fator sempre = $1,0$

Faixa 4: fator sempre = 0 (zero)

- c) Durante uma operação de redução de potência nuclear, barras de controle são inseridas no núcleo do reator. Qual dos fatores (da fórmula dos seis fatores) é fortemente influenciado por essa ação? Justifique sua resposta. (1 ponto)

Continuação da 1ª questão

Continuação da 1ª questão

2ª QUESTÃO (8 pontos)

Um feixe de radiação gama (γ) de 3.0 MeV tem uma intensidade de $8,3 \times 10^5$ ftons/cm².seg e atinge uma blindagem de 45 cm de espessura que consiste de 50% água e 50% ferro (os componentes estão misturados no volume). Sendo assim, analise a tabela a seguir.

Tabela 1 - Coeficiente de absorção de massa (μ_a/ρ) para diversos materiais, em unidade cm²/g

Material	Gamma-ray energy, MeV													
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.25	1.50	2	3	4
H	.295	.265	.243	.212	.189	.173	.160	.140	.126	.113	.103	.0876	.0691	.0579
Be	.132	.119	.109	.0945	.0847	.0773	.0715	.0628	.0565	.0504	.0459	.0394	.0313	.0266
C	.149	.134	.122	.106	.0953	.0870	.0805	.0707	.0636	.0568	.0518	.0444	.0356	.0304
N	.150	.134	.123	.106	.0955	.0869	.0805	.0707	.0636	.0568	.0517	.0445	.0357	.0306
O	.151	.134	.123	.107	.0953	.0870	.0806	.0708	.0636	.0568	.0518	.0445	.0359	.0309
Na	.151	.130	.118	.102	.0912	.0833	.0770	.1676	.0608	.0546	.0496	.0427	.0348	.0303
Mg	.160	.135	.122	.106	.0944	.0860	.0795	.0699	.0627	.0560	.0512	.0442	.0360	.0315
Al	.161	.134	.120	.103	.0922	.0840	.0777	.0683	.0614	.0548	.0500	.0432	.0353	.0310
Si	.172	.139	.125	.107	.0954	.0869	.0802	.0706	.0635	.0567	.0517	.0447	.0367	.0323
P	.174	.137	.122	.104	.0928	.0846	.0780	.1685	.0617	.0551	.0502	.0436	.0358	.0316
S	.188	.144	.127	.108	.0958	.0874	.0806	.0707	.0635	.0568	.0519	.0448	.0371	.0328
Ar	.188	.135	.117	.0977	.0867	.0790	.0730	.0638	.0573	.0512	.0468	.0407	.0338	.0301
K	.215	.149	.127	.106	.0938	.0852	.0786	.0689	.0618	.0552	.0505	.0438	.0365	.0327
Ca	.238	.158	.132	.109	.0965	.0876	.0809	.0708	.0634	.0566	.0518	.0451	.0376	.0338
Fe	.344	.183	.138	.106	.0919	.0828	.0762	.0664	.0595	.0531	.0485	.0424	.0361	.0330
Cu	.427	.206	.147	.108	.0916	.0820	.0751	.0654	.0585	.0521	.0476	.0418	.0357	.0330
Mo	1.03	.389	.225	.130	.0998	.0851	.0761	.0648	.0575	.0510	.0467	.0414	.0365	.0349
Sn	1.58	.563	.303	.153	.109	.0886	.0776	.0647	.0568	.0501	.0459	.0408	.0367	.0355
I	1.83	.648	.339	.165	.114	.0913	.0792	.0653	.0571	.0502	.0460	.0409	.0370	.0360
W	4.21	1.44	.708	.293	.174	.125	.101	.0763	.0640	.0544	.0492	.0437	.0405	.0402
Pt	4.75	1.64	.795	.324	.191	.135	.107	.0800	.0659	.0554	.0501	.0445	.0414	.0411
Tl	5.16	1.80	.866	.346	.204	.143	.112	.0824	.0675	.0563	.0508	.0452	.0420	.0416
Pb	5.29	1.84	.896	.356	.208	.145	.114	.0836	.0684	.0569	.0512	.0457	.0421	.0420
U	10.60	2.42	1.17	.452	.259	.176	.136	.0952	.0757	.0615	.0548	.0484	.0445	.0440
Air	.151	.134	.123	.106	.0953	.0868	.0804	.0706	.0636	.0567	.0517	.0445	.0357	.0307
NaI	1.57	.568	.305	.155	.111	.0901	.0789	.0657	.0577	.0508	.0465	.0412	.0367	.0351
H ₂ O	.167	.149	.136	.118	.106	.0966	.0896	.0786	.0706	.0630	.0575	.0493	.0396	.0339
Concrete	.169	.139	.124	.107	.0954	.0870	.0804	.0706	.0635	.0567	.0517	.0445	.0363	.0317
Tissue	.163	.144	.132	.115	.100	.0936	.0867	.0761	.0683	.0600	.0556	.0478	.0384	.0329

Dados:

$e^{-12,69}$	$3,082 \cdot 10^{-6}$
$e^{-7,236}$	$7,202 \cdot 10^{-4}$
$e^{-3,618}$	0,0268

$$I_u = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot a}$$

$$\rho_{\text{ferro}} = 7,8 \text{ g/cm}^3$$

$$\rho_{\text{água}} = 1,0 \text{ g/cm}^3$$

Prova : CONHECIMENTOS PROFISSIONAIS
Profissão: ENGENHARIA NUCLEAR

Concurso: CP-CEM/2018

Continuação da 2ª questão

Com base nessas informações, faça o que se pede.

- Determine a magnitude da intensidade do feixe não colidido, do outro lado da blindagem. (3 pontos)
- Determine a magnitude do fluxo, considerando o fator de construção/acumulação (*buildup*) do outro lado da blindagem. Considere um fator de construção/acumulação $B = 5,52$. (2 pontos)
- Explique qualitativamente, sem necessidade de cálculo, com base na tabela 2 abaixo, quais as implicações na determinação do fator de construção (*buildup*) de exposição para um feixe monodirecional de radiação gama, ao se realizar uma blindagem em duas camadas distintas, de mesma espessura cada, em uma primeira situação, aplicando primeiro uma camada de água seguida de uma camada de chumbo e, em uma outra situação, ao se realizar o inverso, primeiro uma camada de chumbo e posteriormente uma camada de água. Inclua na sua resposta em qual situação o fator de construção/acumulação será maior. (3 pontos)

Tabela 2 - Fator de Construção/acumulação (*Buildup*) de exposição para fonte monodirecional

Material	E_0 , MeV	$\mu_0 x$					
		1	2	4	7	10	15
Água	0.5	2.63	4.29	9.05	20.0	35.9	74.9
	1.0	2.26	3.39	6.27	11.5	18.0	30.8
	2.0	1.84	2.63	4.28	6.96	9.87	14.4
	3.0	1.69	2.31	3.57	5.51	7.48	10.8
	4.0	1.58	2.10	3.12	4.63	6.19	8.54
	6.0	1.45	1.86	2.63	3.76	4.86	6.78
	8.0	1.36	1.69	2.30	3.16	4.00	5.47
	10.0	1.31	1.63	2.18	2.97	3.81	5.00
Chumbo	0.5	1.24	1.39	1.63	1.87	2.08	4.20
	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	0.08
	10.0	1.11	1.24	1.54	2.27	3.54	7.70

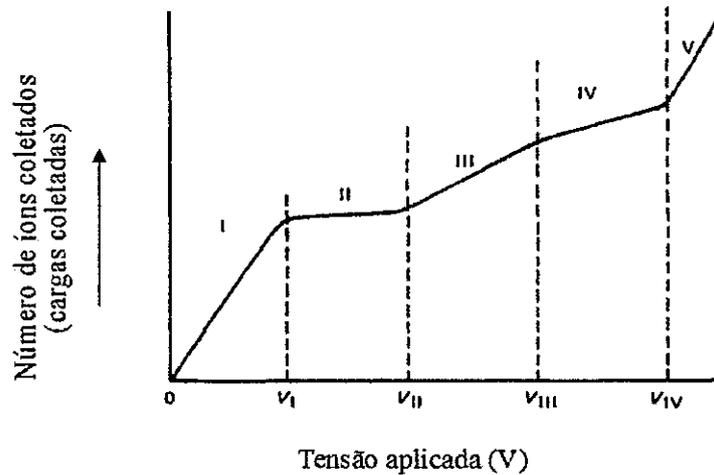
Continuação da 2ª questão

Continuação da 2ª questão

3ª QUESTÃO (8 pontos)

Com relação aos detectores a gás, faça o que se pede.

- a) Nomeie no gráfico "tensão aplicada ao detector" x "número de íons coletados por unidade de tempo" abaixo as regiões (I a V) de operação dos diferentes tipos de detectores a gás que operam por pulso, explique resumidamente cada uma das regiões e diga qual a razão para que os contadores a gás não possam operar na região I. (4 pontos).



- b) Faça um diagrama esquemático do interior de um tubo fotomultiplicador largamente empregado como parte constituinte dos contadores à cintilação e explique o funcionamento desse tipo de contador. (4 pontos).

Continuação da 3ª questão

Continuação da 3ª questão

Continuação da 3ª questão

4ª QUESTÃO (8 pontos)

Referente a uma recarga de combustível em um reator do tipo PWR (*Pressurized water reactor*), reator à água pressurizada, faça o que se pede.

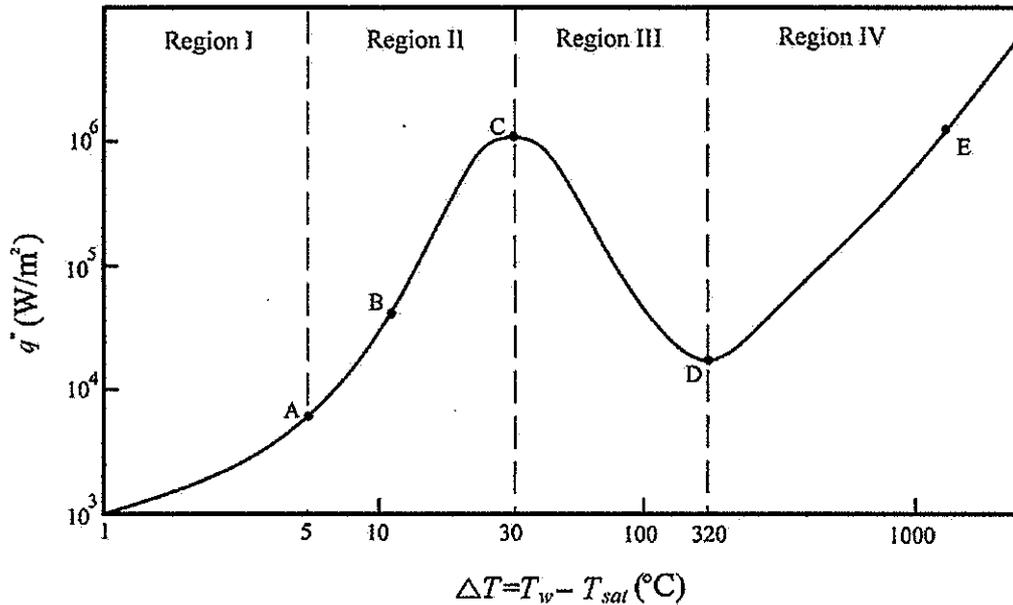
- a) Cite e descreva sucintamente pelo menos 5 etapas do processo de recarga do combustível. (5 pontos)
- b) Explique por que todos os elementos combustíveis são removidos do núcleo se, normalmente, somente ocorre a substituição de uma parte (fração) desses elementos. (3 pontos)

Continuação da 4ª questão

5ª QUESTÃO (8 pontos)

Com relação à transferência de calor em uma vareta combustível, faça o que se pede.

a) Nomeie e descreva cada uma das regiões do gráfico "fluxo de calor" x "diferença de temperatura" abaixo. (4 pontos)



b) Identifique, com base no gráfico acima, o ponto onde ocorre o fluxo crítico de calor. (2 pontos)

c) Cite uma vantagem e uma desvantagem de operar um reator próximo ao fluxo crítico de calor. (2 pontos)

Continuação da 5ª questão

Continuação da 5ª questão

6ª QUESTÃO (8 pontos)

Com relação à configuração de um combustível empregado em reatores tipo PWR, faça o que se pede.

- a) Descreva, em detalhes, um elemento combustível (ou também denominado conjunto combustível) típico do tipo pastilha cilíndrica. Inclua esquemas sem escala, se julgar necessário. Cite o número aproximado de elementos combustíveis em um reator PWR típico comercial para geração de energia elétrica de 1100 MWe. (4 pontos)
- b) Explique sucintamente cada problema encontrado nos combustíveis nucleares tipo pastilha cilíndrica citado abaixo.
- I- Inchamento da pastilha combustível. (1 ponto)
 - II- Densificação da pastilha combustível. (1 ponto)
 - III- Expansão/deformação térmica. (1 ponto)
 - IV- Interação entre pastilha e revestimento. (1 ponto)

Continuação da 6ª questão

Continuação da 6ª questão

Continuação da 6ª questão

7ª QUESTÃO (8 pontos)

Referente à instrumentação nuclear em um reator do tipo PWR (*Pressurized Water Reactor*), reator à água pressurizada, faça o que se pede.

- a) Explique as duas categorias de instrumentação: *in-core* (interno ao núcleo) e *ex-core* (externo ao núcleo). (3 pontos)
- b) A maioria dos detectores de nêutrons para esses reatores é do tipo a gás. Quais são as vantagens desse tipo de detector? (5 pontos)

Continuação da 7ª questão

8ª QUESTÃO (8 pontos)

Para uma vareta combustível de um reator nuclear do tipo PWR (reator à água pressurizada) típico, com pastilha combustível de raio 4,096 mm, raio interno do revestimento de 4,178 mm e raio externo do revestimento de 4,75 mm, faça o que se pede a seguir, considerando que a temperatura máxima no combustível não exceda 1577 °C.

Dados:

Coefficiente de transferência de calor do refrigerante = 28,4 kW/m².°C

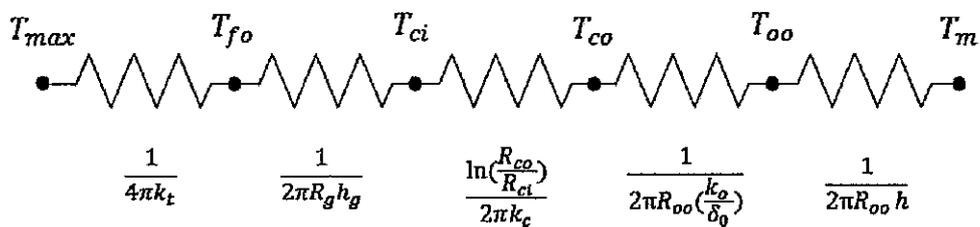
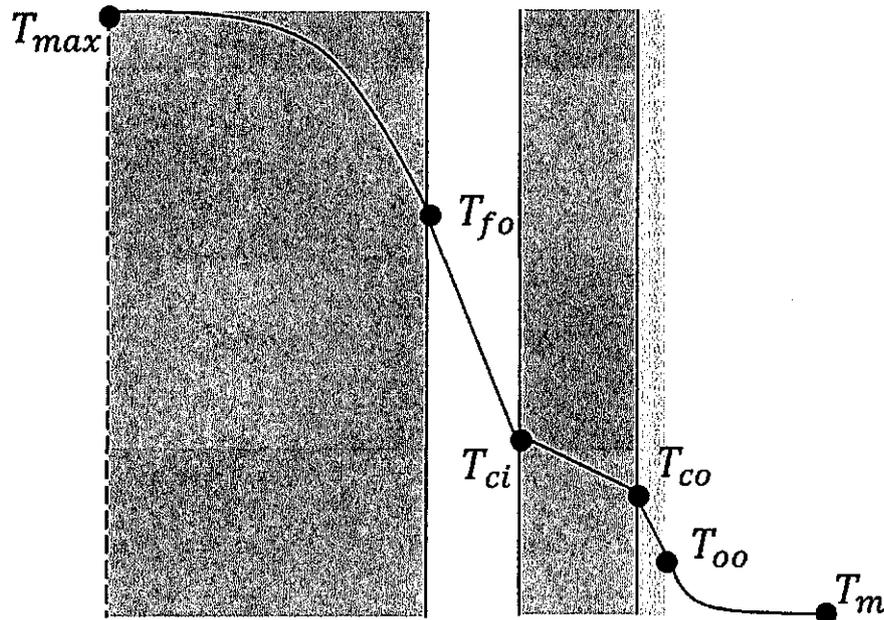
temperatura do refrigerante = 307,5 °C

condutividade do combustível = 3,011 W/m.°C

condutividade do revestimento = 18,69 W/m.°C

condutividade do gás hélio = 0,277 W/m.°C

para o espaço (gap) entre a pastilha e o revestimento, considere apenas a transferência de calor por condução no gás hélio.



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

Continuação da 8ª questão

$\ln(0,88)$	-0,1278
$\ln(0,98)$	-0,0202
$\ln(1,02)$	0,0198
$\ln(1,137)$	0,1284
$\ln(1,16)$	0,1484

- a) Calcule a máxima potência linear (q') em [kW/m] que pode ser permitida atendendo às condições do enunciado. (3 pontos).
- b) Segundo a potência linear acima, qual é a temperatura na superfície externa da pastilha combustível? Caso não tenha calculado o item (a), utilize o valor de 33 kW/m para resolver este item. (2 pontos).
- c) Calcule novamente a máxima potência linear, porém admita agora que uma camada de oxidação se formou ao redor do revestimento de 0,4 mm de espessura e condutividade de 0,020 W/cm.°C (3 pontos).

Continuação da 8ª questão

Continuação da 8ª questão

Continuação da 8ª questão

9ª QUESTÃO (8 pontos)

Um reator esférico composto de ^{235}U metálico está operando em um estado crítico ($K_{\text{ef}} = 1$) no vácuo. Explique o que acontece com o K_{ef} quando o sistema é modificado conforme cada situação abaixo. Essas modificações são independentes e o reator inicia crítico em cada caso. Além disso, em algumas situações é possível que exista mais de uma resposta correta, portanto elabore uma breve justificativa da sua resposta.

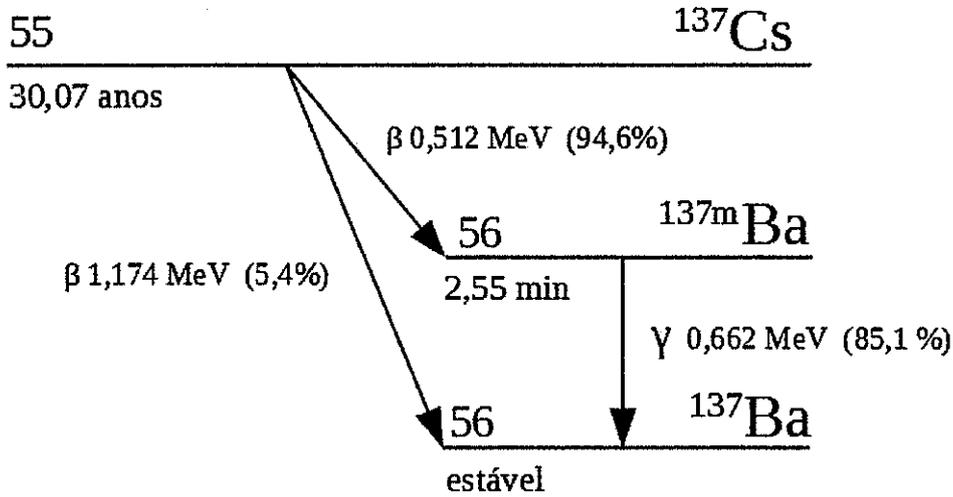
Dado: Buckling Geométrico para esfera $B^2 = \left(\frac{\pi}{R}\right)^2$

- a) O reator é rapidamente comprimido para um terço do seu volume original. (2 pontos)
- b) O reator é imerso em uma grande piscina de água. (2 pontos)
- c) Uma fonte de nêutrons é colocada ao lado do reator. (2 pontos)
- d) O reator é deixado em operação por um longo período de tempo. (2 pontos)

Continuação da 9ª questão

10ª QUESTÃO (8 pontos)

Qual o fluxo de radiação gama produzida por uma fonte pontual de 1,0 mCi de ^{137}Cs (esquema de decaimento abaixo) a uma distância de 100 cm? (0,5 ponto) E se a distância for de 400 cm? (0,5 ponto)



Dados:

$$\Phi = \frac{S \cdot f \cdot t}{4\pi \cdot r^2}; S[t/s]$$

$$\dot{X} = 0,0659 \cdot \Phi_{\gamma} \cdot E \cdot (\mu_a/\rho)^{\text{air}}; \text{ resultado em } [mR/hr]$$

$$\dot{X}_{(x)} = \dot{X}_{(0)} \cdot e^{-\mu \cdot x}$$

$$1\text{Ci} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ desintegrações/seg}$$

$$\ln(1,21 \cdot 10^{-3}) = -6,717$$

- a) Calcule a espessura de uma blindagem de chumbo necessária para reduzir a taxa da dose de exposição a uma distância de 2,5 m de uma fonte pontual de ^{137}Cs de 16 Ci para 1,0 mR/h. Desconsidere os fótons de espalhamento, ou seja o fator de construção/acumulação (*Buildup*), utilize μ_a/ρ (ar) = 0,0296 cm^2/g e, para obter dados do chumbo, utilize a tabela a seguir. (4 pontos)

Continuação da 10ª questão

Tabela de dados para o Chumbo

Chumbo
($\rho = 11.35 \text{ g/cm}^3$)

Energia (keV)	μ (cm^{-1})	μ/ρ (cm^2/g)	μ_{en}/ρ (cm^2/g)
10	1482.31	130.6	124.7
15	1266.66	111.6	91.0
20	980.1860	86.36	68.99
30	344.1320	30.32	25.36
40	162.9860	14.36	12.11
50	91.2654	8.041	6.740
60	56.9884	5.0210	4.1490
70 ^[a]	35.0670	3.0896	2.6186
80	27.4557	2.4190	1.9160
100	62.9812	5.5490	1.9760
150	22.8589	2.0140	1.0560
200	11.3330	0.9985	0.5870
300	4.5752	0.4031	0.2455
400	2.6366	0.2323	0.1370
500	1.8319	0.1614	0.0913
600	1.4165	0.1248	0.0682
662	1.2419	0.1094	0.0587

- b) Recalcule a taxa de dose de exposição acima considerando os fótons de espalhamento, ou seja, considere o fator de construção/acumulação (*Buildup*) e interpole para obter dados da tabela a seguir, se necessário. (3 pontos)

Continuação da 10ª questão

Fator de construção/acumulação (*buildup*) de exposição para fótons de energia E versus μx

μx	Energy (MeV)									
	0.1	0.5	1	2	3	4	5	6	8	10
Pb										
0.5	1.51	1.14	1.2	1.21	1.23	1.21	1.25	1.26	1.3	1.28
1.0	2.04	1.24	1.38	1.4	1.4	1.36	1.41	1.42	1.51	1.51
2.0	3.39	1.39	1.68	1.76	1.73	1.67	1.71	1.73	1.9	2.01
3.0	5.6	1.52	1.95	2.14	2.1	2.02	2.05	2.08	2.36	2.63
4.0	9.59	1.62	2.19	2.52	2.5	2.4	2.44	2.49	2.91	3.42
5.0	17.0	1.71	2.43	2.91	2.93	2.82	2.88	2.96	3.59	4.45
6.0	30.6	1.8	2.66	3.32	3.4	3.28	3.38	3.51	4.41	5.73
7.0	54.9	1.88	2.89	3.74	3.89	3.79	3.93	4.13	5.39	7.37
8.0	94.7	1.95	3.1	4.17	4.41	4.35	4.56	4.84	6.58	9.44

Continuação da 10ª questão

Continuação da 10ª questão