

Concurso Público do Instituto Federal de Sergipe para provimento dos cargos efetivos de Professor do EBTT

Física.

André V. Silva

www.andrevsilva.com

Wednesday 9th July, 2025

Contents

1	Questão 31 - Lei da Inércia	3
2	Questão 32 - 2º Lei de Newton	6
3	Questão 33 - Força de atrito no plano inclinado com atrito	8
4	Questão 34 - Energia potencial gravitacional e energia mecânica	10
5	Questão 35 - Conservação do momento linear/energia	11
6	Questão 36 - Conservação Momento Angular	14
7	Questão 37 - Astronomia	16
8	Questão 38 - Lei da Gravitação Universal	19
9	Questão 39 - Lei da Gravitação Universal	21
10	Questão 40 - Termodinâmica: Funções de Estado	22
11	Questão 41 - Lei da Termodinâmica: Carnot	24

12 Questão 42 - 2 Lei da Termodinâmica: Entropia	27
13 Questão 43 - Filmes Finos	30
14 Questão 44 - Difração de um feixe de luz laser	33
15 Questão 42 - Rede de Difração	35
16 Questão 46 - Ondas Estacionária	36
17 Questão 47 - Ondas Sonoras	39
18 Questão 48 - Pêndulo Simples	41
19 Questão 49 - Campo elétrico induzido por uma onda eletromagnética	43
20 Questão 50 - Lei de Gauss para dielétricos homogêneos	46
21 Questão 51 - Lei de Stefan–Boltzmann	49
22 Questão 52 - Temperatura de um corpo negro usando a lei de Wien	53
23 Questão 53 - Efeito fotoelétrico	54
24 Questão 54 - Efeito fotoelétrico	57
25 Questão 55 - Efeito Compton	59
26 Questão 56 - Efeito Compton	61
27 Questão 57 - Energia total relativística do elétron	64
28 Questão 58 - Relatividade de uma nave espacial	66
29 Questão 59 - Radioatividade	68
30 Questão 60 - Radioatividade	70

A Terra não é um referencial inercial porque ela tem movimentos acelerados, como a rotação em torno de seu eixo e a translação em torno do Sol. Esses movimentos geram forças fictícias (como Coriolis e centrífuga) que só existem em referenciais não inerciais.

Cálculo da aceleração centrípeta de um ponto na superfície da Terra devido à rotação:

- Raio da Terra: $R \approx 6,37 \times 10^6 \text{ m}$
- Período de rotação: $T = 24 \text{ h} = 86400 \text{ s}$

Passo 1: velocidade angular

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \approx \frac{2\pi}{86400} \approx 7,27 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$$

Passo 2: aceleração centrípeta

$$a_c = \omega^2 R$$

Substituindo os valores numéricos:

$$a_c = (7,27 \times 10^{-5})^2 \cdot 6,37 \times 10^6$$

$$a_c \approx 0,034 \text{ m/s}^2$$

Resultado:

$$a_c \approx 0,034 \text{ m/s}^2$$

Questão 31

1 Questão 31 - Lei da Inércia

A 1ª Lei de Newton do Movimento, ou Lei da Inércia, define os referenciais inerciais e os referenciais não inerciais. A Terra não é um referencial inercial porque possui

- (A) massa maior que a massa da Lua.
- (B) movimento de rotação em torno do seu eixo.

(C) superfície irregular, com deformações.

(D) massa menor que a massa do Sol.

Solução:

A resposta correta é alternativa **B**.

As Leis de Newton - Leis Fundamentais da Mecânica

Isaac Newton formulou, no século XVII, três princípios fundamentais que descrevem as relações entre as forças aplicadas a um corpo e o movimento que ele executa. Essas leis são a base da Mecânica Clássica.

1ª Lei de Newton - Lei da Inércia

“Todo corpo continua em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, a menos que seja obrigado a mudar esse estado por forças que sobre ele atuem.”

Em outras palavras: um corpo tende a manter sua velocidade constante (em módulo, direção e sentido) se a força resultante sobre ele for nula. Isso significa que a tendência natural dos corpos não é “parar” (como pensavam os gregos), mas sim manter o estado em que estão, seja parado, seja em movimento retilíneo uniforme.

Matematicamente:

$$\sum \vec{F} = 0 \implies \vec{v} = \text{constante}$$

2ª Lei de Newton - Princípio Fundamental da Dinâmica

“A força resultante sobre um corpo é igual ao produto da sua massa pela aceleração que ele adquire.”

Em outras palavras: quando a força resultante sobre um corpo é diferente de zero, ele sofre uma aceleração na mesma direção e sentido da força resultante.

Matematicamente:

$$\sum \vec{F} = m\vec{a}$$

onde:

- $\sum \vec{F}$: força resultante sobre o corpo
- m : massa do corpo (constante)
- \vec{a} : aceleração do corpo

Essa lei também pode ser interpretada como a relação de causa (força resultante) e efeito (aceleração).

3ª Lei de Newton - Princípio da Ação e Reação

“A toda ação corresponde sempre uma reação, de mesma intensidade, mesma direção e sentido oposto.”

Em outras palavras: sempre que um corpo A exerce uma força sobre um corpo B , o corpo B exerce uma força de mesma intensidade e direção, mas em sentido oposto, sobre o corpo A .

Matematicamente:

$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Essas forças:

- nunca se anulam entre si, pois atuam em corpos diferentes;
- sempre ocorrem em pares (ação e reação simultaneamente).

Resumo

Lei	Nome	Fórmula
1ª	Inércia	$\sum \vec{F} = 0 \implies \vec{v} = \text{constante}$
2ª	Dinâmica	$\sum \vec{F} = m\vec{a}$
3ª	Ação e Reação	$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$

Questão 32

2 Questão 32 - 2º Lei de Newton

Um bloco A de massa m_1 está sobre uma mesa horizontal. O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e a mesa é μ_k . Um fio inextensível e de massa desprezível, conectado ao bloco A , passa por uma polia de massa e atrito desprezíveis. Na outra extremidade do fio, está um bloco B de massa m_2 , suspenso. Quando o bloco A desliza sobre a mesa, puxado pelo bloco B , a tensão no fio é igual a:

- (A) $\frac{m_1 m_2 (1 + \mu_k) g}{m_1 + m_2}$
- (B) $\frac{(m_2 + \mu_k m_1) g}{m_1 + m_2}$
- (C) $\frac{m_1 m_2 (1 - \mu_k) g}{m_1 + m_2}$
- (D) $\frac{(m_2 - \mu_k m_1) g}{m_1 + m_2}$

Solução:

Queremos determinar a **tensão** T no fio.

Análise das forças

Bloco A (horizontal)

Forças horizontais no bloco A :

$$T - f_{\text{at}} = m_1 a$$

O atrito cinético é dado por:

$$f_{\text{at}} = \mu_k m_1 g$$

Portanto:

$$T - \mu_k m_1 g = m_1 a$$

$$T = m_1 a + \mu_k m_1 g$$

Bloco B (vertical)

Forças verticais no bloco B :

$$m_2 g - T = m_2 a$$

Equação do sistema

Os blocos têm aceleração comum a . Somamos as equações:

$$(T - \mu_k m_1 g) + (m_2 g - T) = m_1 a + m_2 a$$

O termo T se cancela:

$$m_2 g - \mu_k m_1 g = (m_1 + m_2) a$$

Assim:

$$a = \frac{m_2 g - \mu_k m_1 g}{m_1 + m_2}$$

Substituindo a em T

Substituímos a na equação do bloco A :

$$T = m_1 a + \mu_k m_1 g$$

$$T = m_1 \cdot \frac{m_2 g - \mu_k m_1 g}{m_1 + m_2} + \mu_k m_1 g$$

Distribuindo:

$$T = \frac{m_1 m_2 g - \mu_k m_1^2 g}{m_1 + m_2} + \frac{\mu_k m_1 g (m_1 + m_2)}{m_1 + m_2}$$

Somamos os termos:

$$T = \frac{m_1 m_2 g - \mu_k m_1^2 g + \mu_k m_1^2 g + \mu_k m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}$$

Os termos $-\mu_k m_1^2 g + \mu_k m_1^2 g$ se cancelam:

$$T = \frac{m_1 m_2 g + \mu_k m_1 m_2 g}{m_1 + m_2}$$

Fatorando:

$$T = \frac{m_1 m_2 g (1 + \mu_k)}{m_1 + m_2}$$

Resposta final:

$$T = \frac{m_1 m_2 g (1 + \mu_k)}{m_1 + m_2}$$

A resposta correta é alternativa **A**.

Questão 33

3 Questão 33 - Força de atrito no plano inclinado com atrito

Num plano inclinado com atrito, que faz um ângulo θ com uma superfície horizontal, está uma esfera em repouso. Na direção da iminência do movimento, a força de atrito do plano inclinado sobre a esfera será

- (A) perpendicular ao plano, apontando para baixo.
- (B) paralela ao plano, apontando para baixo.
- (C) perpendicular ao plano, apontando para cima.
- (D) paralela ao plano, apontando para cima.

Solução:

Força de atrito no plano inclinado com atrito

Uma **esfera em repouso** sobre um plano inclinado com atrito está sujeita a forças. O plano faz um ângulo θ com a horizontal.

Forças na direção do movimento iminente (para baixo do plano):

- Componente do peso ao longo do plano:

$$P_{\parallel} = mg \sin \theta$$

- Força de atrito estático: Ela se opõe ao movimento iminente (para cima do plano), ajustando-se para manter o equilíbrio. Seu valor máximo possível é dado por:

$$f_{\text{atrito máx}} = \mu_e N$$

onde

$$N = mg \cos \theta$$

é a força normal.

Valor real do atrito:

O valor real do atrito enquanto a esfera está em repouso **não é necessariamente o máximo possível**. Ele é apenas o necessário para equilibrar a componente do peso ao longo do plano:

$$f_{\text{atrito}} = mg \sin \theta$$

Resposta final:

A força de atrito do plano inclinado sobre a esfera, na direção do movimento iminente, é:

$$f_{\text{atrito}} = mg \sin \theta$$

Condições:

- Direção: ao longo do plano, para cima.
- O valor máximo que o atrito pode assumir é:

$$f_{\text{atrito máx}} = \mu_e mg \cos \theta$$

Se $mg \sin \theta > \mu_e mg \cos \theta$, a esfera não permaneceria em repouso, pois o atrito não seria suficiente para manter o equilíbrio.

A resposta correta é alternativa **D**.

Questão 34

4 Questão 34 - Energia potencial gravitacional e energia mecânica

Um drone paira a uma altitude de 20 m quando abandona uma caixa de massa igual a 5,0 kg, que cai e atinge o solo com velocidade de 12 m/s, numa região em que a gravidade vale $9,8 \text{ m/s}^2$. Quanta energia foi dissipada devido à resistência do ar durante a descida da caixa?

(A) 620 J.

(B) 540 J.

(C) 480 J.

(D) 330 J.

Solução:

A energia potencial gravitacional inicial é:

$$E_{p, \text{inicial}} = mgh$$

Substituindo os valores:

$$E_{p, \text{inicial}} = 5,0 \cdot 9,8 \cdot 20 = 980 \text{ J}$$

A energia cinética final ao atingir o solo é:

$$E_{c, \text{final}} = \frac{1}{2}mv_f^2$$

Substituindo os valores:

$$E_{c, \text{final}} = \frac{1}{2} \cdot 5,0 \cdot (12)^2 = 360 \text{ J}$$

A energia dissipada pela resistência do ar é a diferença entre a energia potencial inicial e a energia cinética final:

$$E_d = E_{p, \text{inicial}} - E_{c, \text{final}} = 980 - 360 = 620 \text{ J}$$

Resposta final:

$$E_d = 620 \text{ J}$$

A resposta correta é alternativa **A**.

Questão 35

5 Questão 35 - Conservação do momento linear/energia

Em uma colisão unidimensional não relativística, uma partícula de massa $2m$ colide com uma partícula de massa m em repouso. Se as partículas se unirem após a colisão, que fração da energia cinética inicial será perdida na colisão?

(A) $1/5$.

(B) $1/4$.

(C) $1/3$.

(D) $1/2$.

Solução:

Em uma colisão unidimensional não relativística, uma partícula de massa $2m$ colide com uma partícula de massa m em repouso. Após a colisão, as partículas se unem.

Pergunta-se: que fração da energia cinética inicial é perdida na colisão?

Solução

1. Conservação do momento linear

Antes da colisão, apenas a partícula de massa $2m$ está em movimento, com velocidade v_0 :

$$p_{\text{inicial}} = (2m)v_0$$

Depois da colisão, as partículas estão unidas, formando um corpo de massa $3m$, com velocidade final v_f :

$$p_{\text{final}} = (3m)v_f$$

Pela conservação do momento linear:

$$\boxed{2mv_0 = 3mv_f}$$

Cancelando m :

$$v_f = \frac{2}{3}v_0$$

2. Energia cinética inicial

Antes da colisão:

$$E_{c,\text{inicial}} = \frac{1}{2}(2m)v_0^2 = mv_0^2$$

3. Energia cinética final

Depois da colisão:

$$E_{c,\text{final}} = \frac{1}{2}(3m)v_f^2$$

Substituindo $v_f = \frac{2}{3}v_0$:

$$E_{c,\text{final}} = \frac{1}{2}(3m) \left(\frac{2}{3}v_0 \right)^2$$

Calculando o quadrado:

$$E_{c,\text{final}} = \frac{1}{2}(3m) \cdot \frac{4}{9}v_0^2 = \frac{2}{3}mv_0^2$$

4. Energia perdida

Energia perdida:

$$E_{\text{perdida}} = E_{c,\text{inicial}} - E_{c,\text{final}} = mv_0^2 - \frac{2}{3}mv_0^2 = \frac{1}{3}mv_0^2$$

Fração perdida:

$$\text{Fração} = \frac{E_{\text{perdida}}}{E_{c,\text{inicial}}} = \frac{\frac{1}{3}mv_0^2}{mv_0^2} = \frac{1}{3}$$

Resposta final:

$$\frac{E_{\text{perdida}}}{E_{c,\text{inicial}}} = \frac{1}{3}$$

Portanto, a fração da energia cinética inicial perdida na colisão é $\frac{1}{3}$.

A resposta correta é alternativa **C**.

Conservação Momento Angular

O **momento angular** \vec{L} de um corpo é dado por:

$$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$$

Onde:

- \vec{L} : momento angular
- I : momento de inércia
- $\vec{\omega}$: velocidade angular

Princípio da Conservação

Se o **torque resultante externo** sobre um sistema é nulo:

$$\vec{L}_{\text{inicial}} = \vec{L}_{\text{final}} \Rightarrow I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2$$

Aplicações

- Patinadores puxando os braços e girando mais rápido
- Estrelas colapsando em pulsares
- Satélites e giroscópios

Teorema dos Eixos Paralelos (Steiner)

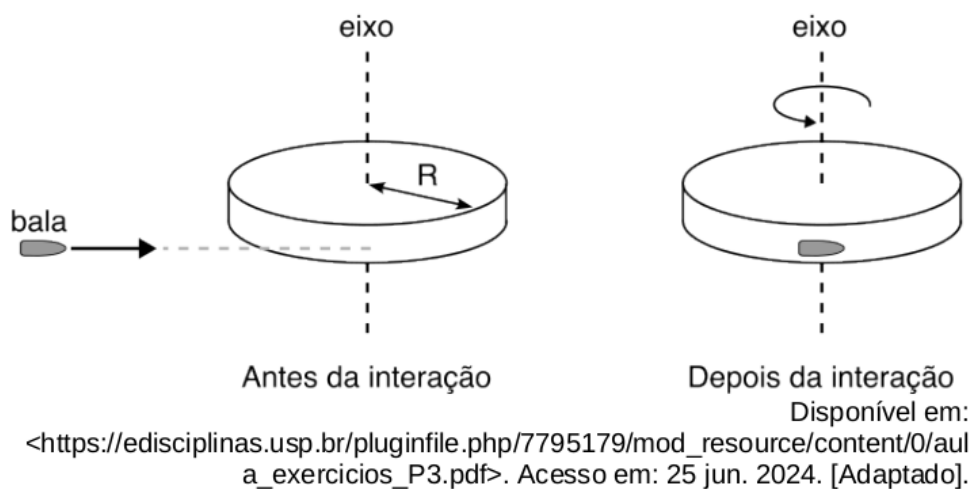
Seja I_{cm} o momento de inércia em relação ao centro de massa, então para um eixo paralelo a uma distância d :

$$I = I_{cm} + Md^2$$

Questão 36

6 Questão 36 - Conservação Momento Angular

Observe a figura a seguir.



Uma bala de massa m se move horizontalmente com velocidade v . A bala atinge a borda de um disco sólido, que está inicialmente em repouso, ficando cravada nele (ver a figura). O disco tem massa M , raio R , momento de inércia $MR^2/2$ e está livre para girar em torno de seu eixo. Qual é a velocidade angular do disco imediatamente após a bala ser cravada nele?

(A) $\omega = \frac{Mv}{(m+\frac{M}{2})R}$

(B) $\omega = \frac{mv}{(m+\frac{M}{2})R}$

(C) $\omega = \frac{mv}{(\frac{M}{2}-m)R}$

$$(D) \quad \omega = \frac{Mv}{(\frac{M}{2}-m)R}$$

Solução:

Princípio: Como não há torques externos atuando em torno do eixo vertical, o momento angular do sistema em relação ao eixo é conservado.

Antes da colisão

O momento angular do sistema em torno do eixo é apenas devido à bala:

$$L_{\text{inicial}} = mvR$$

Depois da colisão

Após a colisão, a bala fica presa ao disco na borda, e o sistema (disco + bala) gira com velocidade angular ω .

Momento angular do disco:

$$L_{\text{disco}} = I_{\text{disco}} \cdot \omega = \frac{1}{2}MR^2 \cdot \omega$$

Momento angular da bala (considerada puntiforme a distância R do eixo):

$$L_{\text{bala}} = mR^2 \cdot \omega$$

Assim, o momento angular total após a colisão é:

$$L_{\text{final}} = \left(\frac{1}{2}MR^2 + mR^2 \right) \omega$$

Conservação do momento angular

$$L_{\text{inicial}} = L_{\text{final}}$$

$$mvR = \left(\frac{1}{2}MR^2 + mR^2 \right) \omega$$

Dividindo ambos os lados por R :

$$mv = \left(\frac{1}{2}M + m\right) R\omega$$

Isolando ω :

$$\omega = \frac{mv}{R\left(\frac{1}{2}M + m\right)}$$

Resposta final:

$$\omega = \frac{mv}{\left(m + \frac{1}{2}M\right) R}$$

A resposta correta é alternativa **B**.

Questão 37

7 Questão 37 - Astronomia

Qual o astrônomo que propôs um modelo geocêntrico que permitia descrever e prever as posições dos planetas e que, para isso, propôs que o movimento retrógrado dos planetas não tem sempre o mesmo aspecto e duração?

- (A) Galileu Galilei.
- (B) Johannes Kepler.
- (C) Cláudio Ptolomeu.
- (D) Nicolau Copérnico.

Solução:

Resposta correta

(C) Cláudio Ptolomeu

Explicação detalhada

Quem foi Ptolomeu?

Cláudio Ptolomeu foi um astrônomo, matemático e geógrafo grego que viveu em Alexandria, no Egito, no século II d.C. Ele escreveu a obra *Almagesto*, que se tornou o principal tratado astronômico da Antiguidade e da Idade Média.

O que ele propôs?

Ptolomeu refinou o antigo modelo geocêntrico (originalmente defendido por Aristóteles e Hiparco), criando um sistema geométrico e matemático capaz de:

- Prever com precisão a posição dos planetas no céu em diferentes datas.
- Explicar por que os planetas às vezes parecem parar e andar para trás (*movimento retrógrado aparente*).

Como ele explicou o movimento retrógrado?

Para explicar o movimento retrógrado no **modelo geocêntrico**, Ptolomeu propôs que cada planeta não girava apenas em torno da Terra, mas fazia isso percorrendo duas trajetórias ao mesmo tempo:

- Um **deferente**: círculo grande ao redor da Terra.
- Um **epiciclo**: círculo menor, cujo centro se move ao longo do deferente.

Esse sistema (*deferente + epiciclo*) conseguia reproduzir as irregularidades do movimento dos planetas, inclusive o fato de que o movimento retrógrado não tinha sempre o mesmo tamanho nem a mesma duração para cada planeta.

Por que não as outras alternativas?

- **(A) Galileu Galilei**: Defendeu o heliocentrismo e fez observações com telescópio (*séc. XVII*).
- **(B) Johannes Kepler**: Refinou o heliocentrismo com órbitas elípticas, rejeitando o geocentrismo (*séc. XVII*).

- **(D) Nicolau Copérnico:** Propôs o heliocentrismo com órbitas circulares (*séc. XVI*).

Somente **Ptolomeu** defendeu um modelo **geocêntrico**, consistente com as crenças da época, que já explicava as variações do movimento retrógrado.

Resumo

Astrônomo	Modelo	Movimento retrógrado
Ptolomeu	Geocêntrico com epiciclos	Explicava corretamente o aspecto variável
Galileu	Heliocentrismo com telescópio	Observações em defesa do heliocentrismo
Kepler	Heliocentrismo com órbitas elípticas	Refinamento matemático
Copérnico	Heliocentrismo com órbitas circulares	Proposta inicial

A resposta correta é alternativa **C**.

Gravitação Universal

Lei da Gravitação Universal:

$$F = -G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

Campo gravitacional:

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

Energia potencial gravitacional:

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

Demonstração da Velocidade de Escape

A velocidade de escape é a mínima velocidade necessária para um corpo escapar da gravidade de um planeta, sem considerar resistência do ar.

Conservação de Energia

Considerando um corpo de massa m lançado da superfície de um planeta de massa M e raio R :

- Energia mecânica inicial:

$$E_{\text{inicial}} = \frac{1}{2}mv_e^2 - \frac{GMm}{R}$$

- Energia mecânica final (no infinito):

$$E_{\text{final}} = 0$$

Aplicando a conservação da energia:

$$\frac{1}{2}mv_e^2 - \frac{GMm}{R} = 0 \Rightarrow \frac{1}{2}v_e^2 = \frac{GM}{R} \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

Conclusão: A velocidade de escape depende apenas da massa e do raio do corpo celeste, e não da massa do objeto lançado.

Questao 38

8 Questão 38 - Lei da Gravitação Universal

Um foguete é lançado verticalmente para cima a partir da superfície da Terra. Se a velocidade inicial do foguete for metade da velocidade de escape da Terra, qual a altura que o foguete atingirá, em unidades do raio da Terra (R_T)? Despreze as influências da rotação da Terra no movimento do foguete.

- (A) $(7/3)R_T$.
- (B) $(5/3)R_T$.
- (C) $(2/3)R_T$.

(D) $(1/3)R_T$.

Solução:

A energia mecânica total do foguete se conserva, pois desprezamos a resistência do ar.

Na superfície da Terra ($r = R_T$), a energia total é a soma da energia cinética e potencial:

$$E_i = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{GM_T m}{R_T}$$

Na altura máxima ($r = r_{\max}$), a velocidade do foguete é nula ($v_f = 0$):

$$E_f = 0 - \frac{GM_T m}{r_{\max}}$$

Conservação da energia mecânica: $E_i = E_f$ Portanto:

$$\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{GM_T m}{R_T} = -\frac{GM_T m}{r_{\max}}$$

Cancelamos m em todos os termos:

$$\frac{1}{2}v_0^2 - \frac{GM_T}{R_T} = -\frac{GM_T}{r_{\max}}$$

Sabemos que a **velocidade de escape** é dada por:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM_T}{R_T}}$$

Como a velocidade inicial do foguete é $v_0 = \frac{v_e}{2}$, temos:

$$v_0^2 = \left(\frac{v_e}{2}\right)^2 = \frac{v_e^2}{4} = \frac{1}{4} \cdot \frac{2GM_T}{R_T} = \frac{GM_T}{2R_T}$$

Substituímos v_0^2 na equação da energia:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{GM_T}{2R_T} - \frac{GM_T}{R_T} = -\frac{GM_T}{r_{\max}}$$

$$\frac{GM_T}{4R_T} - \frac{GM_T}{R_T} = -\frac{GM_T}{r_{\max}}$$

$$-\frac{3}{4} \cdot \frac{GM_T}{R_T} = -\frac{GM_T}{r_{\max}}$$

Eliminamos o sinal e GM_T :

$$\frac{3}{4R_T} = \frac{1}{r_{\max}}$$

Então:

$$r_{\max} = \frac{4}{3}R_T$$

A altura máxima h_{\max} acima da superfície é:

$$h_{\max} = r_{\max} - R_T = \frac{4}{3}R_T - R_T = \frac{1}{3}R_T$$

Resposta final:

$$h_{\max} = \frac{1}{3}R_T$$

O foguete atinge uma altura máxima igual a $\frac{1}{3}$ do raio da Terra.

A resposta correta é alternativa **D**.

Questão 39

9 Questão 39 - Lei da Gravitação Universal

Um satélite de massa m orbita um planeta de massa M em uma órbita circular de raio R . O tempo necessário para uma volta completa do satélite em torno do planeta é

- (A) independente de M .
- (B) proporcional a $R^{3/2}$.
- (C) dependente de m .
- (D) proporcional a R^2 .

Solução:

A força gravitacional fornece a força centrípeta necessária:

$$\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$$

Cancelando m e resolvendo para v :

$$v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$

O período T é dado por:

$$T = \frac{2\pi R}{v}$$

Substituindo v :

$$T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{GM}} = \sqrt{\frac{4\pi^2}{GM}} \sqrt{R^3} = \sqrt{\frac{4\pi^2}{GM}} R^{3/2}$$

Resposta final:

$$T \propto R^{3/2}$$

A resposta correta é alternativa **B**.

Questão 40**10 Questão 40 - Termodinâmica: Funções de Estado**

Uma função de estado de um sistema termodinâmico fica completamente definida quando o estado do sistema é especificado. Isso pode ser representado num diagrama pressão-volume do sistema, que ilustra seus estados inicial e final. Qual das grandezas abaixo é uma função de estado de um sistema termodinâmico?

(A) A energia interna.

- (B) O calor.
- (C) O trabalho.
- (D) A massa.

Solução:

Introdução: Funções de Estado em Termodinâmica

A Termodinâmica é a área da Física que estuda as transformações de energia e as propriedades macroscópicas da matéria, como temperatura, pressão e volume. Para descrever um sistema termodinâmico, é necessário especificar o **estado do sistema**, que é determinado por um conjunto de variáveis chamadas **variáveis de estado**.

Quando um sistema evolui de um estado inicial para um estado final, podemos calcular as mudanças sofridas em algumas grandezas físicas. Algumas dessas grandezas dependem apenas do estado inicial e final do sistema, enquanto outras dependem do caminho seguido durante o processo.

O que é uma função de estado?

Uma **função de estado** é uma grandeza física cujo valor só depende do estado atual do sistema, isto é, das condições termodinâmicas (como P , V , T , U etc.), e **não depende do processo pelo qual o sistema chegou a esse estado**.

Ou seja:

As funções de estado são propriedades macroscópicas que caracterizam completamente o estado do sistema. Sua variação entre dois estados é a mesma, independentemente do caminho percorrido entre eles.

Exemplos clássicos de funções de estado:

- Energia interna (U)
- Entalpia (H)
- Entropia (S)

- Pressão (P)
- Volume (V)
- Temperatura (T)

Essas grandezas podem ser representadas em diagramas, como os famosos diagramas $P \times V$ ou $T \times S$, que ilustram estados e trajetórias de processos.

E o que não é função de estado?

Grandezas como o **calor trocado** (Q) e o **trabalho realizado** (W) durante um processo dependem de como o sistema evoluiu — são chamadas de **funções de processo**.

Por exemplo: para comprimir um gás do volume V_1 ao volume V_2 , o trabalho realizado pode ser maior ou menor dependendo do caminho seguido (isotérmico, adiabático etc.), mas a variação de energia interna só depende do estado inicial e final.

A resposta correta é alternativa **A**.

Questão 41

11 Questão 41 - Lei da Termodinâmica: Carnot

Uma bomba de calor serve para extrair calor do ambiente externo a 7°C e aquecer o interior de uma casa a 27°C . Considerando que a bomba é uma máquina de Carnot, para cada 15.000 J de calor entregue dentro de casa, a menor quantidade de trabalho que deve ser fornecido à bomba é

- (A) 2.500 J.
- (B) 2.000 J.
- (C) 1.500 J.
- (D) 1.000 J.

Solução:

Definição

Uma máquina térmica converte calor em trabalho, operando entre duas fontes térmicas.

Rendimento

$$\eta = \frac{W}{Q_q} = \frac{Q_q - Q_f}{Q_q} = 1 - \frac{Q_f}{Q_q}$$

- η : rendimento
- W : trabalho útil
- Q_q : calor absorvido da fonte quente
- Q_f : calor rejeitado à fonte fria

Rendimento da Máquina de Carnot

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_f}{T_q}$$

Calcular o rendimento da bomba de calor:

$$\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{7^\circ\text{C} + 273\text{K}}{27^\circ\text{C} + 273\text{K}} = 1 - \frac{280}{300} = 1 - 0.933333 = 0.066667 = 6.67\%$$

Agora podemos calcular o trabalho realizado pela bomba de calor:

$$W = \eta Q_q = 6.67\% \times 15.000\text{J} = 1.000\text{J}$$

A resposta correta é alternativa **D**.

Princípios da Termodinâmica

Primeiro Princípio

$$\Delta U = Q - W \quad \longrightarrow \quad Q = W + \Delta U$$

Segundo Princípio

- O calor não flui espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente.
- Entropia tende a aumentar.

O que é entropia?

A entropia (S) é uma função de estado que mede o grau de desordem de um sistema, a quantidade de microestados possíveis, e a irreversibilidade de processos.

Definição termodinâmica

Para processos reversíveis:

$$\Delta S = \int \frac{dQ_{\text{rev}}}{T}$$

Para temperatura constante (isotérmico):

$$\Delta S = \frac{Q_{\text{rev}}}{T}$$

Segunda Lei da Termodinâmica

$$\Delta S_{\text{total}} \geq 0$$

- $\Delta S_{\text{total}} = 0$: processo reversível
- $\Delta S_{\text{total}} > 0$: processo irreversível

Entropia estatística (Boltzmann)

$$S = k_B \ln \Omega$$

- $k_B = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$
- Ω : número de microestados possíveis

Unidade

Joules por Kelvin (J/K)

Exemplos onde a entropia aumenta

- Derretimento de gelo
- Expansão de gás
- Mistura de substâncias

Terceiro Princípio

- A entropia de um cristal perfeito é zero no zero absoluto (0 K).
-

Questão 42

12 Questão 42 - 2 Lei da Termodinâmica: Entropia

Um corpo de massa m com calor específico C à temperatura de 500 K é colocado em contato com outro corpo de mesma massa e mesmo calor específico à temperatura de 100 K . O sistema é colocado dentro de uma caixa isolada termicamente durante o processo. A variação da entropia do sistema quando os blocos alcançam o equilíbrio térmico é

- (A) $mC \ln 5$.
- (B) $mC \ln 3$.
- (C) $mC \ln(9/5)$.
- (D) $mC \ln(5/3)$.

Solução:

Variação de Entropia do Sistema

Dados do problema:

- Dois corpos idênticos: mesma massa m e mesmo calor específico C
- Temperatura inicial do corpo quente: $T_q = 500$ K
- Temperatura inicial do corpo frio: $T_f = 100$ K
- Caixa isolada termicamente (processo adiabático para o universo, mas irreversível para o sistema)

Queremos calcular a variação de entropia do sistema quando os corpos atingem o equilíbrio térmico.

Temperatura de equilíbrio

Como os corpos têm mesma massa e mesmo calor específico, a energia perdida pelo quente é igual à energia ganha pelo frio. Assim, a temperatura de equilíbrio é a média aritmética:

$$T_e = \frac{T_q + T_f}{2} = \frac{500 + 100}{2} = 300 \text{ K}$$

Variação de entropia de cada corpo

Sabemos que a variação de entropia de um corpo com calor específico constante é dada por:

$$\Delta S = mC \int_{T_i}^{T_f} \frac{dT}{T} = mC \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right)$$

Para o corpo quente:

$$\Delta S_q = mC \ln \left(\frac{T_e}{T_q} \right) = mC \ln \left(\frac{300}{500} \right) = mC \ln(0,6)$$

Para o corpo frio:

$$\Delta S_f = mC \ln \left(\frac{T_e}{T_f} \right) = mC \ln \left(\frac{300}{100} \right) = mC \ln(3)$$

Variação de entropia total do sistema

A variação de entropia total do sistema é a soma das variações de cada corpo:

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_q + \Delta S_f = mC \ln(0,6) + mC \ln(3)$$

Utilizando a propriedade dos logaritmos:

$$\ln(0,6) + \ln(3) = \ln(0,6 \times 3) = \ln(1,8)$$

Logo:

$$\Delta S_{\text{total}} = mC \ln\left(\frac{9}{5}\right)$$

Resposta final:

$$\Delta S_{\text{total}} = mC \ln\left(\frac{9}{5}\right)$$

A resposta correta é alternativa **C**.

Condições para Interferência em Filmes Finos (Incidência Normal)

Quando a luz incide perpendicularmente a um filme fino de espessura d e índice de refração n , a diferença de caminho óptico entre os dois feixes refletidos é:

$$\Delta = 2nd$$

A condição de interferência depende da ocorrência (ou não) de inversão de fase ao refletir nas interfaces.

Interferência Construtiva

- Com inversão de fase em uma das interfaces:

$$2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

- Sem inversão de fase (ou inversão em ambas):

$$2nd = m\lambda$$

Interferência Destrutiva

- Com inversão de fase em uma das interfaces:

$$2nd = m\lambda$$

- Sem inversão de fase (ou inversão em ambas):

$$2nd = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda$$

Onde:

- n é o índice de refração do filme;
 - d é a espessura do filme;
 - λ é o comprimento de onda da luz no ar;
 - $m \in \mathbb{Z}$ é a ordem da interferência.
-

Questão 43

13 Questão 43 - Filmes Finos

Luz com 650 nm de comprimento de onda incide perpendicularmente em um filme fino de sabão, que tem índice de refração igual a 1,30. Sabendo que esse filme está suspenso

no ar, qual a menor espessura que esse filme deve ter para que as ondas refletidas por ele sofram interferência construtiva?

- (A) 320 nm.
- (B) 242 nm.
- (C) 125 nm.
- (D) 117 nm.

Solução:

Interferência construtiva em um filme de sabão

Dados:

- Comprimento de onda no ar: $\lambda_0 = 650 \text{ nm}$
- Índice de refração do filme: $n_f = 1,30$
- Índice de refração do ar: $n_{ar} \approx 1$

O filme está suspenso no ar. Queremos a menor espessura e para que a luz refletida tenha interferência construtiva.

Condição de fase

Quando a luz incide sobre a superfície do filme:

- Na interface ar–sabão ($n_{ar} < n_{sabão}$), ocorre inversão de fase de π (equivalente a $\lambda/2$).
- Na interface sabão–ar ($n_{sabão} > n_{ar}$), não ocorre inversão.

Como há uma inversão de fase, a condição para **interferência construtiva** é:

$$2e = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda_f$$

Para a menor espessura ($m = 0$):

$$2e = \frac{\lambda_f}{2} \implies e = \frac{\lambda_f}{4}$$

Comprimento de onda no filme

No interior do filme, o comprimento de onda é menor:

$$\lambda_f = \frac{\lambda_0}{n_f} = \frac{650}{1,30} \approx 500 \text{ nm}$$

Espessura mínima

Substituindo:

$$e_{\text{mín}} = \frac{\lambda_f}{4} = \frac{500}{4} = 125 \text{ nm}$$

Resposta final:

$$e_{\text{mín}} = 125 \text{ nm}$$

A resposta correta é alternativa **C**.

Intervalo válido para o comprimento de onda de um laser

O comprimento de onda (λ) de um laser depende do material ativo utilizado no laser e pode abranger diferentes regiões do espectro eletromagnético. Abaixo estão os intervalos típicos para lasers comuns:

Tipo de laser	Comprimento de onda (λ)
Laser ultravioleta (UV)	180 nm a 400 nm
Laser visível (vermelho–violeta)	400 nm a 700 nm
Laser infravermelho próximo (NIR)	700 nm a 1400 nm
Laser infravermelho médio	1400 nm a 3000 nm
Laser infravermelho distante	> 3000 nm

Exemplos comuns de lasers visíveis:

- Laser vermelho (He-Ne ou diodo): 630 nm ~ 680 nm

- Laser verde (Nd:YAG com dobro da frequência): 532 nm
- Laser azul: 405 nm ~ 488 nm
- Laser violeta: ~ 400 nm

Para lasers visíveis, o intervalo típico de comprimento de onda válido é aproximadamente:

$$400 \text{ nm} \leq \lambda \leq 700 \text{ nm}$$

Questão 44

14 Questão 44 - Difração de um feixe de luz laser

Um feixe de luz laser incide sobre uma fenda estreita, e uma figura de difração é observada sobre uma tela localizada a 5,0 m da fenda. A distância vertical entre o centro do primeiro mínimo acima do máximo central e o centro do primeiro mínimo abaixo do máximo central é de 20 mm. Qual é a largura da fenda?

- (A) 0,30 mm.
- (B) 0,45 mm.
- (C) 0,55 mm.
- (D) 0,65 mm.

Solução:

Passo 1: Condição para os mínimos

Para uma fenda simples, os mínimos ocorrem em ângulos θ tais que:

$$a \cdot \sin \theta = m\lambda$$

Para o primeiro mínimo ($m = 1$):

$$\sin \theta_1 = \frac{\lambda}{a}$$

Passo 2: Relação geométrica na tela

Na tela, a distância vertical entre o máximo central e o primeiro mínimo é aproximadamente:

$$y_1 = L \cdot \tan \theta_1 \approx L \cdot \sin \theta_1$$

A distância total entre o primeiro mínimo acima e o primeiro mínimo abaixo é:

$$\Delta y = 2y_1$$

Substituindo y_1 :

$$\Delta y = 2L \cdot \sin \theta_1$$

E como $\sin \theta_1 = \lambda/a$:

$$\Delta y = 2L \cdot \frac{\lambda}{a}$$

Passo 3: Resolvendo para a

Isolando a :

$$a = 2L \cdot \frac{\lambda}{\Delta y}$$

Substituindo os valores numéricos:

$$a = 2 \cdot 5,0 \cdot \frac{6,5 \times 10^{-7}}{0,020}$$

$$a = 10,0 \cdot 3,25 \times 10^{-5} = 3,25 \times 10^{-4} m$$

Convertendo para milímetros:

$$a = 0,325 mm$$

Resposta final:

$$a \approx 0,325 mm$$

A resposta correta é alternativa **A**.

Questão 45

15 Questão 42 - Rede de Difração

Uma rede de difração possui $1,25 \times 10^4$ fendas uniformemente espaçadas, de forma que a largura total da rede é 25,0 mm. Determine o ângulo θ correspondente ao máximo de primeira ordem.

- (A) $4,35 \times 10^{-4}$ rad/nm.
- (B) $5,26 \times 10^{-4}$ rad/nm.
- (C) $3,87 \times 10^{-4}$ rad/nm.
- (D) $2,19 \times 10^{-4}$ rad/nm.

Solução:

Dados:

- Número de fendas: $N = 1,25 \times 10^4$
- Largura da rede: $L = 25,0 \text{ mm} = 25,0 \times 10^{-3} \text{ m}$
- Ordem do máximo: $m = 1$

Passo 1: Condição para o máximo de difração

Para um máximo de ordem m , a condição de difração é:

$$d \sin \theta = m\lambda$$

Para $m = 1$ e pequenos ângulos ($\sin \theta \approx \theta$):

$$\theta \approx \frac{\lambda}{d}$$

Logo, a razão θ/λ é:

$$\frac{\theta}{\lambda} \approx \frac{1}{d}$$

Passo 2: Espaçamento entre as fendas

O espaçamento d entre fendas é dado por:

$$d = \frac{L}{N}$$

Substituindo os valores:

$$d = \frac{25,0 \times 10^{-3}}{1,25 \times 10^4} = 2,0 \times 10^{-6} \text{ m}$$

Passo 3: Calculando θ/λ

Em m^{-1} :

$$\frac{\theta}{\lambda} = \frac{1}{2,0 \times 10^{-6}} = 5,0 \times 10^5 \text{ m}^{-1}$$

Convertendo para nm^{-1} , sabendo que $1 \text{ m} = 10^9 \text{ nm}$:

$$\frac{\theta}{\lambda} = 5,0 \times 10^5 \times 10^{-9} = 5,0 \times 10^{-4} \text{ rad/nm}$$

O valor mais próximo entre as alternativas é:

$$\frac{\theta}{\lambda} = 5,26 \times 10^{-4} \text{ rad/nm}$$

A resposta correta é alternativa **B**.

Questão 46

16 Questão 46 - Ondas Estacionária

Um pesquisador que está estudando a propagação de ondas em uma corda observa a seguinte situação: uma onda estacionária se forma na corda, com nós (pontos de

amplitude zero) a cada 0,5 m, amplitude de 2,0 m e velocidade de propagação de 2,0 m/s. A equação que o pesquisador obtém para descrever a onda estacionária é

(A) $y(x, t) = 2 \sin(\pi x) \cos(4\pi t)$

(B) $y(x, t) = 2 \sin(2\pi x) \cos(4\pi t)$

(C) $y(x, t) = 2 \sin(2\pi x) \cos(\pi t)$

(D) $y(x, t) = 2 \sin(\pi x) \cos(\pi t)$

Solução:

Resolução:

Dados do problema:

- Distância entre nós consecutivos: $0,5 \text{ m}$
- Amplitude máxima: $A = 2,0 \text{ m}$
- Velocidade de propagação: $v = 2,0 \text{ m/s}$

Queremos encontrar a equação da onda estacionária no formato:

$$y(x, t) = 2A \sin(kx) \cos(\omega t)$$

Sabemos que o fator $2A$ já é dado como 2,0, então apenas precisamos determinar k e ω .

Passo 1: distância entre nós

Em uma onda estacionária, a distância entre dois nós consecutivos é igual a $\lambda/2$. Como o problema informa que essa distância é $0,5 \text{ m}$, temos:

$$\frac{\lambda}{2} = 0,5 \quad \implies \quad \lambda = 1,0 \text{ m}$$

Passo 2: número de onda k

O número de onda é dado por:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{1,0} = 2\pi$$

Portanto, o fator espacial da solução é $\sin(2\pi x)$.

Passo 3: frequência angular ω

Usamos a relação entre velocidade, frequência e comprimento de onda:

$$v = \lambda f \implies f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2,0}{1,0} = 2,0 \text{ Hz}$$

E como $\omega = 2\pi f$, temos:

$$\omega = 2\pi \cdot 2 = 4\pi$$

Passo 4: equação final

Substituindo os valores encontrados:

$$y(x, t) = 2 \sin(2\pi x) \cos(4\pi t)$$

Resposta correta:

$$y(x, t) = 2 \sin(2\pi x) \cos(4\pi t)$$

Essa equação possui duas partes principais:

Parte espacial: $\sin(kx)$

- Determina o padrão fixo de **nós** (onde a amplitude é sempre zero) e **ventres** (onde a amplitude é máxima).
- Define a forma da onda ao longo do espaço.

Parte temporal: $\cos(\omega t)$

- Descreve a oscilação harmônica no tempo.
- Cada ponto vibra com a frequência angular ω , mas com amplitude espacialmente determinada.

A resposta correta é alternativa **B**.

Questão 47

17 Questão 47 - Ondas Sonoras

Duas fontes de ondas sonoras idênticas emitem ondas com comprimento de onda de 0,5 m em fase. As fontes estão separadas por uma distância de 1,5 m. Haverá interferência construtiva ao longo da linha que liga as duas fontes nas posições:

(A) 0,25 m, 0,75 m, 1,25 m.

(B) 0,5 m, 1,0 m, 1,25 m.

(C) 0,5 m, 1,0 m, 1,5 m.

(D) 0,25 m, 0,5 m, 1,25 m.

Solução:

A diferença de caminhos entre as ondas emitidas pelas duas fontes deve ser um múltiplo inteiro de λ para que ocorra **interferência construtiva**:

$$\Delta r = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Colocando as fontes nos pontos $x = 0$ e $x = d$, ao longo do eixo x , temos para um ponto x :

$$\Delta r = |x - (d - x)| = |2x - d|$$

Para interferência construtiva:

$$2x - d = m\lambda$$

Resolvendo para x :

$$x = \frac{d + m\lambda}{2}$$

Substituindo $d = 1,5$ e $\lambda = 0,5$:

$$x = \frac{1,5 + 0,5m}{2} = 0,75 + 0,25m$$

Para que x esteja entre 0 e 1,5, os valores possíveis de m são $m = -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3$, o que resulta nas posições:

$$x = 0,0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25; 1,5 \text{ m}$$

Entre as alternativas dadas, a correta é:

$$(A) \ 0,25 \ m, \ 0,75 \ m, \ 1,25 \ m$$

A resposta correta é alternativa **A**.

Equilíbrio do Corpo Rígido e da Partícula

Condições de equilíbrio:

$$\sum \vec{F} = 0 \quad (\text{equilíbrio translacional})$$

$$\sum \vec{\tau} = 0 \quad (\text{equilíbrio rotacional})$$

Torque (momento de uma força):

$$\tau = r F \sin \theta$$

$$\vec{\tau} = \frac{d\vec{L}}{dt}$$

$$\tau = I \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0 \quad \text{MHS}$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2 \sin \theta = 0 \quad \text{MHS}$$

Solução geral EDO:

$$\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega t + \varphi)$$

Rotação de um Corpo Rígido

$$\omega = \frac{d\theta}{dt}, \quad \alpha = \frac{d\omega}{dt}$$

Questão 48

18 Questão 48 - Pêndulo Simples

Um pêndulo simples de comprimento $L = 10 \text{ m}$ oscila com um ângulo máximo de oito graus $0,14 \text{ rad}$. Considere a aceleração da gravidade $g = 10 \text{ m/s}^2$. A equação diferencial que descreve o movimento do pêndulo para pequenos ângulos é dada por: $\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2\theta = 0$ sendo ω a frequência angular do pêndulo e θ o ângulo de deslocamento em função do tempo t . Considerando as condições iniciais $\theta(0) = \theta_0$ e $\frac{d\theta}{dt}(0) = 0$, a solução geral da equação diferencial para o pêndulo é:

(A) $\theta(t) = 0,14 \cos(0,1t)$.

(B) $\theta(t) = 0,14 \cos(0,4t)$.

(C) $\theta(t) = 0,14 \cos(0,8t)$.

(D) $\theta(t) = 0,14 \cos(t)$.

Solução:

Demonstração da equação do movimento do pêndulo simples a partir do torque

Considere um pêndulo simples com comprimento L e massa m , oscilando em torno do ponto de suspensão com um ângulo $\theta(t)$ em relação à posição de equilíbrio vertical.

1. Torque devido à força peso

A força peso atua verticalmente para baixo com intensidade mg . O torque em relação ao ponto de suspensão é:

$$\tau = -mgL \sin \theta,$$

onde o sinal negativo indica que o torque tende a restaurar o pêndulo para a posição de equilíbrio ($\theta = 0$).

2. Momento de inércia do pêndulo simples

Como o pêndulo é uma massa pontual no final de um fio de massa desprezível, o momento de inércia em relação ao ponto de suspensão é:

$$I = mL^2.$$

3. Equação do movimento rotacional

Aplicando a segunda lei de Newton para rotações, temos:

$$\tau = I\alpha,$$

onde $\alpha = \frac{d^2\theta}{dt^2}$ é a aceleração angular. Substituindo,

$$-mgL \sin \theta = mL^2 \frac{d^2\theta}{dt^2}.$$

Dividindo ambos os lados por mL^2 :

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \sin \theta = 0.$$

4. Aproximação para pequenos ângulos

Para pequenas oscilações, onde $\theta \ll 1$ (rad), podemos aproximar $\sin \theta \approx \theta$, obtendo a equação linearizada:

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{g}{L} \theta = 0.$$

Definindo

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}},$$

a equação diferencial torna-se

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} + \omega^2 \theta = 0.$$

5. Solução da equação diferencial

A solução geral da equação é

$$\theta(t) = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t),$$

onde as constantes A e B são determinadas pelas condições iniciais.

Dadas as condições:

$$\theta(0) = \theta_0, \quad \frac{d\theta}{dt}(0) = 0,$$

temos:

$$\theta(0) = A = \theta_0,$$

e

$$\frac{d\theta}{dt} = -A\omega \sin(\omega t) + B\omega \cos(\omega t) \implies \frac{d\theta}{dt}(0) = B\omega = 0 \Rightarrow B = 0.$$

Assim, a solução final é

$$\theta(t) = \theta_0 \cos(\omega t) = \theta_0 \cos\left(\sqrt{\frac{g}{L}} t\right).$$

$$\theta(t) = \theta_0 \cos\left(\sqrt{\frac{10}{10}} t\right) = \theta_0 \cos(t).$$

A resposta correta é alternativa **D**.

Questão 49

19 Questão 49 - Campo elétrico induzido por uma onda eletromagnética

Considere uma região no espaço onde existe um campo elétrico variável no tempo, dado por $\vec{E} = E_0 \sin(\omega t) \hat{z}$, sendo E_0 a amplitude do campo elétrico, ω a frequência angular e t o tempo. De acordo com as equações de Maxwell, esse campo elétrico variável irá induzir um campo magnético também variável, dando origem a uma onda

eletromagnética. Supondo que a onda eletromagnética se propague na direção $+y$ e que não haja cargas livres ou correntes na região, a expressão que descreve o campo magnético B induzido nessa região é:

(A) $B = \frac{E_0}{c} \sin(\omega t) \hat{x}$.

(B) $B = -\frac{E_0}{c} \sin(\omega t) \hat{x}$.

(C) $B = \frac{E_0}{c} \cos(\omega t) \hat{x}$.

(D) $B = -\frac{E_0}{c} \cos(\omega t) \hat{x}$.

Solução:

1. Forma geral da onda eletromagnética no vácuo

No vácuo, uma onda plana que se propaga na direção $+\hat{y}$ tem os campos elétrico e magnético na forma:

$$\vec{E}(y, t) = E_0 \sin(ky - \omega t) \hat{z},$$

$$\vec{B}(y, t) = B_0 \sin(ky - \omega t) \hat{x}.$$

A relação entre as amplitudes E_0 e B_0 é dada por:

$$B_0 = \frac{E_0}{c}.$$

Considere a região do espaço onde o campo elétrico é dado por:

$$\vec{E}(y, t) = E_0 \sin(ky - \omega t) \hat{z}.$$

Queremos determinar o campo magnético associado $\vec{B}(y, t)$, calculando o rotacional de \vec{E} e usando a **lei de Faraday**:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

2. Cálculo do rotacional de \vec{E}

O campo elétrico tem apenas a componente z , que depende apenas de y e t . Em coordenadas cartesianas:

$$\nabla \times \vec{E} = \begin{vmatrix} \hat{x} & \hat{y} & \hat{z} \\ \partial_x & \partial_y & \partial_z \\ 0 & 0 & E_z \end{vmatrix} = \left(\frac{\partial E_z}{\partial y} \right) \hat{x} - \left(\frac{\partial E_z}{\partial x} \right) \hat{y} + 0 \hat{z}.$$

Como $E_z = E_0 \sin(ky - \omega t)$, temos:

$$\frac{\partial E_z}{\partial y} = kE_0 \cos(ky - \omega t), \quad \frac{\partial E_z}{\partial x} = 0.$$

Assim:

$$\nabla \times \vec{E} = kE_0 \cos(ky - \omega t) \hat{x}.$$

3. Lei de Faraday

Pela lei de Faraday:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}.$$

Logo:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = -\nabla \times \vec{E} = -kE_0 \cos(ky - \omega t) \hat{x}.$$

4. Integração no tempo

Para encontrar $\vec{B}(y, t)$, integramos no tempo:

$$\vec{B}(y, t) = \int \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} dt = -kE_0 \int \cos(ky - \omega t) dt \hat{x}.$$

Como y é constante na derivada temporal, podemos integrar diretamente:

$$\int \cos(ky - \omega t) dt = -\frac{1}{\omega} \sin(ky - \omega t).$$

Portanto:

$$\vec{B}(y, t) = \frac{kE_0}{\omega} \sin(ky - \omega t) \hat{x}.$$

5. Relação entre k , ω e c

No vácuo, sabemos que:

$$c = \frac{\omega}{k} \quad \text{ou equivalentemente} \quad \frac{k}{\omega} = \frac{1}{c}.$$

Substituindo:

$$\vec{B}(y, t) = \frac{E_0}{c} \sin(ky - \omega t) \hat{x}.$$

6. Resposta final

Portanto, a expressão para o campo magnético induzido é:

$$\vec{B}(y, t) = \frac{E_0}{c} \sin(ky - \omega t) \hat{x}$$

A resposta correta é alternativa **A**.

Questão 50

20 Questão 50 - Lei de Gauss para dielétricos homogêneos

Considere uma esfera de raio R feita de um material dielétrico linear e homogêneo com permissividade elétrica ε . Uma carga total $+Q$ está uniformemente distribuída no volume da esfera. De acordo com a lei de Gauss, o campo elétrico E dentro ($r < R$) e fora ($r \geq R$) da esfera é:

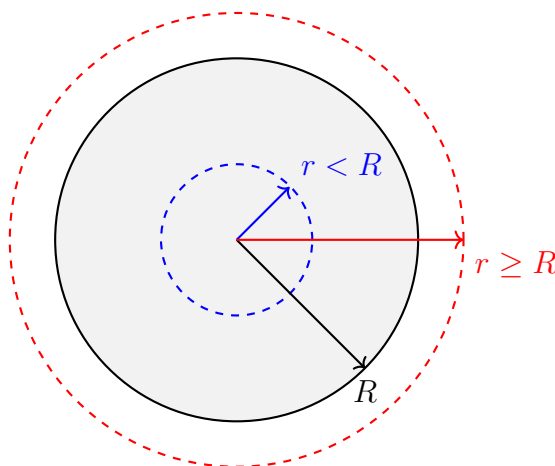
(A) $\frac{Q}{4\pi\varepsilon R^3} \hat{r}$ se $r < R$ e $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \hat{r}$ se $r \geq R$.

(B) $\frac{Qr^2}{4\pi\varepsilon R^2} \hat{r}$ se $r < R$ e $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \hat{r}$ se $r \geq R$.

(C) $\frac{Qr}{4\pi\varepsilon R^3} \hat{r}$ se $r < R$ e $\frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 r^2} \hat{r}$ se $r \geq R$.

$$(D) \quad \frac{Qr}{4\pi\epsilon R^2} \hat{r} \quad \text{se} \quad r < R \quad \text{e} \quad \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \hat{r} \quad \text{se} \quad r \geq R.$$

Superfícies gaussianas para os casos $r < R$ e $r \geq R$



Solução:

1. Densidade de carga volumétrica

A carga está uniformemente distribuída no volume da esfera:

$$\rho = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3Q}{4\pi R^3}.$$

2. Lei de Gauss para dielétricos

No material dielétrico, o campo elétrico \vec{E} está relacionado ao deslocamento elétrico \vec{D} por:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E}.$$

A lei de Gauss para \vec{D} em forma integral:

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{A} = Q_{\text{int}}.$$

Para simetria esférica, escolhemos uma superfície gaussiana esférica de raio r .

3. Campo dentro da esfera ($r < R$)

A carga contida em uma esfera de raio $r < R$ é:

$$Q_{\text{int}}(r) = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi r^3.$$

Aplicando a lei de Gauss para D_r :

$$D_r \cdot 4\pi r^2 = Q_{\text{int}}(r) \quad \Rightarrow \quad D_r = \frac{\rho r}{3}.$$

Como $\vec{E} = \vec{D}/\varepsilon$, temos:

$$E_r(r < R) = \frac{D_r}{\varepsilon} = \frac{\rho r}{3\varepsilon}.$$

Substituindo ρ :

$$E_r(r < R) = \frac{1}{3\varepsilon} \cdot \frac{3Q}{4\pi R^3} \cdot r = \frac{Qr}{4\pi\varepsilon R^3}.$$

—

4. Campo fora da esfera ($r \geq R$)

Para $r \geq R$, toda a carga Q está contida:

$$D_r \cdot 4\pi r^2 = Q \quad \Rightarrow \quad D_r = \frac{Q}{4\pi r^2}.$$

Logo:

$$E_r(r \geq R) = \frac{D_r}{\varepsilon} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon r^2}.$$

—

5. Resposta final

O campo elétrico E_r em todos os pontos do espaço é dado por:

$$E_r(r) = \begin{cases} \frac{Qr}{4\pi\varepsilon R^3}, & r < R \\ \frac{Q}{4\pi\varepsilon r^2}, & r \geq R \end{cases}$$

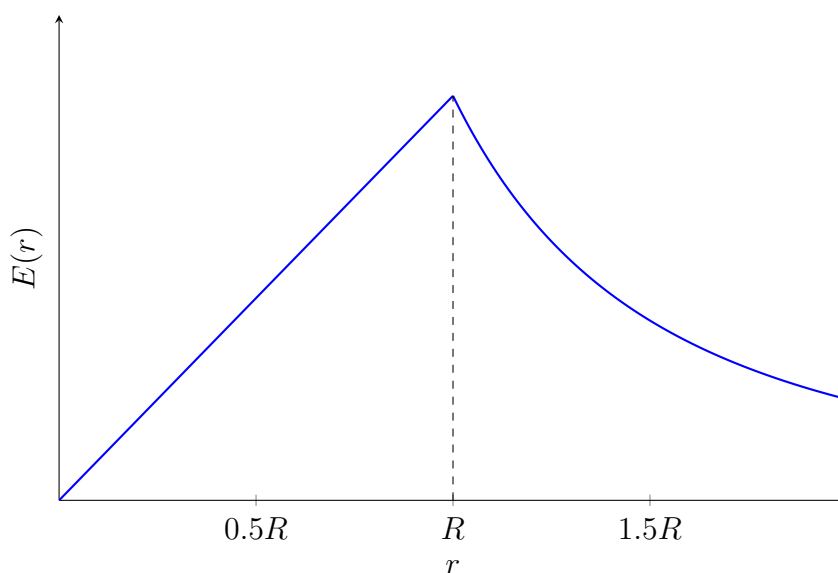
A resposta correta é alternativa **C**.

Campo elétrico $E(r)$ em função de r

O campo elétrico radial $E(r)$ em uma esfera uniformemente carregada com raio R é dado por:

$$E(r) = \begin{cases} \frac{Qr}{4\pi\epsilon R^3}, & r < R \\ \frac{Q}{4\pi\epsilon r^2}, & r \geq R \end{cases}$$

O gráfico abaixo mostra qualitativamente o comportamento de $E(r)$ em função de r .



Questão 51

21 Questão 51 - Lei de Stefan–Boltzmann

Se a temperatura de um corpo negro dobra, a potência total irradiada por unidade de área

- (A) aumenta por um fator 2.
- (B) aumenta por um fator 4.

- (C) aumenta por um fator 8.
- (D) aumenta por um fator 16.

Solução:

Variação da potência irradiada por um corpo negro ao dobrar a temperatura

De acordo com a **lei de Stefan–Boltzmann**, a potência irradiada por unidade de área P/A de um corpo negro é dada por:

$$\frac{P}{A} = \sigma T^4,$$

onde:

- $\sigma \approx 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ é a constante de Stefan–Boltzmann;
- T é a temperatura absoluta do corpo em kelvins.

Suponha que a temperatura inicial do corpo seja T_0 , e a potência inicial irradiada por unidade de área seja:

$$\left(\frac{P}{A}\right)_0 = \sigma T_0^4.$$

Quando a temperatura dobra ($T = 2T_0$), a nova potência irradiada por unidade de área é:

$$\frac{P}{A} = \sigma (2T_0)^4 = \sigma \cdot 2^4 T_0^4 = 16 \cdot \sigma T_0^4.$$

Ou seja:

$$\frac{P}{A} = 16 \cdot \left(\frac{P}{A}\right)_0$$

Resposta final

Se a temperatura de um corpo negro dobra, a potência irradiada por unidade de área aumenta 16 vezes.

A resposta correta é alternativa **D**.

Aplicação da Lei do Deslocamento de Wien

A **Lei do Deslocamento de Wien** estabelece uma relação inversa entre o comprimento de onda no qual a emissão de radiação de um corpo negro é máxima e a sua temperatura absoluta. Matematicamente:

$$\lambda_{\text{pico}} \cdot T = b$$

onde:

- λ_{pico} é o comprimento de onda de pico (em metros),
- T é a temperatura absoluta (em kelvins),
- $b = 2,897 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ é a constante de Wien.

Importância e aplicações

A Lei de Wien é amplamente utilizada para:

- Determinar a temperatura de estrelas, planetas e outros corpos celestes a partir de suas curvas espectrais.
- Estimar a cor de um corpo aquecido (por exemplo, metais incandescentes em fundições).
- Diagnóstico em processos industriais de aquecimento, fornos e lâmpadas.
- Prever a emissão dominante de radiação térmica em diferentes temperaturas.

Exemplos práticos

1. **O Sol:** O pico de emissão do Sol está em aproximadamente $\lambda_{\text{pico}} = 500 \text{ nm}$ (luz verde). Aplicando a Lei de Wien:

$$T = \frac{b}{\lambda_{\text{pico}}} = \frac{2,897 \times 10^{-3}}{500 \times 10^{-9}} \approx 5794 \text{ K.}$$

Portanto, a temperatura superficial do Sol é cerca de 5800 K.

2. **Uma lâmpada incandescente:** Para uma lâmpada cujo filamento brilha com pico em $\lambda_{\text{pico}} = 1000 \text{ nm}$ (infravermelho próximo):

$$T = \frac{2,897 \times 10^{-3}}{1000 \times 10^{-9}} \approx 2897 \text{ K}.$$

Essa é uma temperatura típica do filamento de tungstênio.

3. **Uma estrela fria:** Uma estrela com temperatura superficial $T = 3000 \text{ K}$ emite radiação de pico em:

$$\lambda_{\text{pico}} = \frac{b}{T} = \frac{2,897 \times 10^{-3}}{3000} \approx 966 \text{ nm}.$$

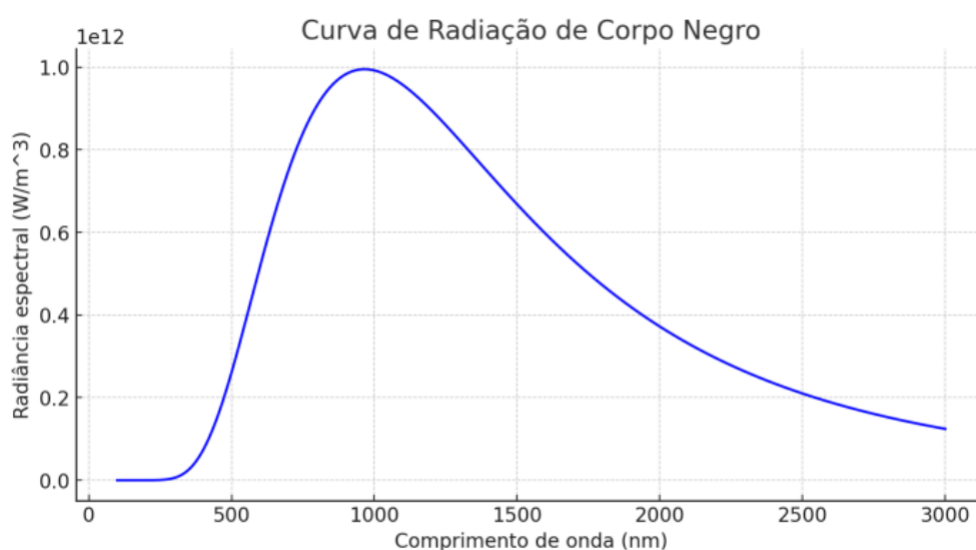
O que está no infravermelho próximo.

Resumo

A Lei de Wien é uma ferramenta fundamental para relacionar a cor aparente ou o comprimento de onda dominante da radiação emitida por um corpo negro à sua temperatura, permitindo medições indiretas de temperatura em muitas áreas da ciência e tecnologia.

Questão 52

Observe o gráfico a seguir.



Elaborado pelo(a) autor(a).

22 Questão 52 - Temperatura de um corpo negro usando a lei de Wien

O gráfico acima mostra a curva de radiância espectral de um corpo negro, com o pico da emissão ocorrendo em 966 nm. Utilizando a Lei de Wien, que relaciona o comprimento de onda de pico da emissão de um corpo negro com a sua temperatura, selecione a resposta que mais se aproxima do resultado calculado para a temperatura desse corpo negro. (Dados: Constante de deslocamento de Wien $b = 2,897 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$.)

- (A) 3000 K.
- (B) 3100 K.
- (C) 3300 K.
- (D) 3900 K.

Solução:

Determinação da temperatura de um corpo negro usando a lei de Wien

A lei do deslocamento de Wien estabelece que:

$$\lambda_{\text{pico}} \cdot T = b$$

onde:

- λ_{pico} é o comprimento de onda no qual a radiância espectral é máxima (em metros),
- T é a temperatura absoluta do corpo negro (em kelvins),
- $b = 2,897 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$ é a constante de deslocamento de Wien.

Dados do problema:

O pico da emissão ocorre em:

$$\lambda_{\text{pico}} = 966 \text{ nm} = 966 \times 10^{-9} \text{ m} = 9,66 \times 10^{-7} \text{ m}.$$

Cálculo da temperatura:

A temperatura é dada por:

$$T = \frac{b}{\lambda_{\text{pico}}}$$

Substituindo os valores:

$$T = \frac{2,897 \times 10^{-3}}{9,66 \times 10^{-7}}.$$

Efetuada a divisão:

$$T \approx 2998 \text{ K}.$$

Resposta final:

$$T \approx 3000 \text{ K}$$

Portanto, a temperatura do corpo negro é aproximadamente **3000 K**.

A resposta correta é alternativa **A**.

Questão 53**23 Questão 53 - Efeito fotoelétrico**

Uma superfície metálica é exposta a luz de comprimento de onda de 400 nm para induzir o efeito fotoelétrico. A função trabalho do metal é de 2,0 eV. São dadas a Constante de Planck $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J.s}$, a velocidade da luz $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$ e $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$. Utilizando a equação do efeito fotoelétrico podemos determinar a energia cinética máxima dos elétrons ejetados da superfície metálica, que

(A) 0,95 eV.

(B) 1,10 eV.

(C) 1,25 eV.

(D) 1,50 eV.

Solução:

Efeito Fotoelétrico: Cálculo da energia cinética máxima

Uma superfície metálica é iluminada com luz de comprimento de onda $\lambda = 400 \text{ nm}$, e sua função trabalho é:

$$W_0 = 2,0 \text{ eV}.$$

Queremos calcular a energia cinética máxima $K_{\text{máx}}$ dos elétrons ejetados.

Equação do efeito fotoelétrico

A equação do efeito fotoelétrico é:

$$E_f = W_0 + K_{\text{máx}},$$

onde E_f é a energia do fóton incidente:

$$E_f = h\nu = \frac{hc}{\lambda}.$$

Conversão de unidades

O comprimento de onda em metros:

$$\lambda = 400 \text{ nm} = 400 \times 10^{-9} \text{ m}.$$

A constante de Planck:

$$h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}.$$

Velocidade da luz:

$$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s.}$$

Energia do fóton

Calculamos E_f em joules:

$$E_f = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,626 \times 10^{-34} \cdot 3,0 \times 10^8}{400 \times 10^{-9}}.$$

Efetuada a conta:

$$E_f \approx 4,97 \times 10^{-19} \text{ J.}$$

Convertendo para elétron-volts ($1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$):

$$E_f = \frac{4,97 \times 10^{-19}}{1,602 \times 10^{-19}} \approx 3,1 \text{ eV.}$$

Energia cinética máxima

Usamos:

$$K_{\text{máx}} = E_f - W_0.$$

Substituindo os valores:

$$K_{\text{máx}} = 3,1 \text{ eV} - 2,0 \text{ eV} = 1,1 \text{ eV.}$$

Resposta final

$$K_{\text{máx}} \approx 1,1 \text{ eV}$$

A energia cinética máxima dos elétrons ejetados é aproximadamente 1,1 eV.

A resposta correta é alternativa **B**.

Questão 54

24 Questão 54 - Efeito fotoelétrico

No efeito fotoelétrico ocorre a emissão de elétrons de uma superfície metálica quando radiação incide sobre essa superfície. A radiação mais eficaz para que o efeito fotoelétrico ocorra é a

- (A) radiação de raios X.
- (B) radiação infravermelha.
- (C) radiação ultravioleta.
- (D) radiação de micro-ondas.

Solução:

Efeito Fotoelétrico: Resolução e valores típicos da função trabalho

Quando luz incide sobre a superfície de um metal, elétrons podem ser ejetados se a energia do fóton E_f for maior ou igual à função trabalho W_0 do metal:

$$E_f = W_0 + K_{\text{máx}}$$

onde:

- $E_f = \frac{hc}{\lambda}$ é a energia do fóton;
- W_0 é a função trabalho do metal;
- $K_{\text{máx}}$ é a energia cinética máxima dos elétrons.

Resolução do problema:

Dados:

$$\lambda = 400 \text{ nm}, \quad W_0 = 2,0 \text{ eV}, \quad hc = 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}.$$

Energia do fóton:

$$E_f = \frac{1240}{400} = 3,1 \text{ eV}.$$

Energia cinética máxima:

$$K_{\text{máx}} = E_f - W_0 = 3,1 - 2,0 = 1,1 \text{ eV}.$$

Resposta:

$$K_{\text{máx}} \approx 1,1 \text{ eV}$$

Função trabalho de alguns metais e comprimentos de onda limites:

A função trabalho W_0 está relacionada ao comprimento de onda máximo λ_{lim} para que o efeito fotoelétrico ocorra:

$$\lambda_{\text{lim}} = \frac{hc}{W_0}$$

com $hc = 1240 \text{ eV} \cdot \text{nm}$.

Metal	Função trabalho W_0 (eV)	λ_{lim} (nm)
Césio (Cs)	1,9	653
Potássio (K)	2,3	539
Sódio (Na)	2,7	459
Cálcio (Ca)	3,2	388
Cobre (Cu)	4,7	264
Prata (Ag)	4,3	288
Ouro (Au)	5,1	243

Resumo:

- A energia cinética máxima dos elétrons ejetados é a diferença entre a energia do fóton incidente e a função trabalho.

- Quanto menor a função trabalho, maior o comprimento de onda limite para o efeito fotoelétrico.
- Metais alcalinos (como cézio e potássio) são mais fáceis de ionizar.

A resposta correta é alternativa **C**.

Questão 55

25 Questão 55 - Efeito Compton

Um fóton com um comprimento de onda inicial de $0,10 \text{ nm}$ colide com um elétron inicialmente em repouso. Após a colisão, o fóton é espalhado com um ângulo de 60° em relação à sua direção original. Sabendo que $\cos 60^\circ = 0,5$, dada a constante de Compton $2,43 \times 10^{-12} \text{ m}$ e usando a fórmula do efeito Compton para calcular a mudança no comprimento de onda do fóton espalhado, podemos determinar o novo comprimento de onda do fóton após o espalhamento, que é de:

- (A) $0,102 \text{ nm}$.
- (B) $0,222 \text{ nm}$.
- (C) $0,220 \text{ nm}$.
- (D) $0,232 \text{ nm}$.

Solução:

Efeito Compton: Cálculo do novo comprimento de onda do fóton

Um fóton com comprimento de onda inicial:

$$\lambda_0 = 0,10 \text{ nm} = 1,0 \times 10^{-10} \text{ m}$$

é espalhado por um elétron inicialmente em repouso, formando um ângulo de:

$$\theta = 60^\circ.$$

Sabemos que:

$$\cos 60^\circ = 0,5$$

e a **constante de Compton** do elétron é:

$$\lambda_C = 2,43 \times 10^{-12} \text{ m}.$$

Fórmula do efeito Compton

A variação no comprimento de onda do fóton é dada por:

$$\Delta\lambda = \lambda_C(1 - \cos\theta)$$

Substituindo os valores:

$$\Delta\lambda = 2,43 \times 10^{-12} \cdot (1 - 0,5) = 2,43 \times 10^{-12} \cdot 0,5 = 1,215 \times 10^{-12} \text{ m}.$$

Novo comprimento de onda

O novo comprimento de onda do fóton é:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda$$

Substituindo:

$$\lambda = 1,0 \times 10^{-10} + 1,215 \times 10^{-12} = 1,01215 \times 10^{-10} \text{ m}.$$

Convertendo para nanômetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$):

$$\lambda = 0,101215 \text{ nm}.$$

Resposta final

$$\lambda \approx 0,1012 \text{ nm}$$

O novo comprimento de onda do fóton espalhado é aproximadamente 0,1012 nm.

A resposta correta é alternativa **A**.

Questão 56

26 Questão 56 - Efeito Compton

No efeito Compton, um fóton incide sobre um elétron inicialmente em repouso e é espalhado, fazendo com que o elétron recue. Quando o ângulo de espalhamento φ varia de 0° a 90° , o ângulo de recuo do elétron θ varia no intervalo:

- (A) $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$.
- (B) $0^\circ \leq \theta < 90^\circ$.
- (C) $0^\circ \leq \theta < 120^\circ$.
- (D) $90^\circ \leq \theta < 120^\circ$.

Solução:

Demonstração da relação entre os ângulos no efeito Compton

No efeito Compton, um fóton incide com momento \vec{p}_γ e energia $E_\gamma = h\nu$ sobre um elétron em repouso. Após a colisão:

- o fóton é espalhado com ângulo φ e comprimento de onda aumentado (λ'),
- o elétron recua com ângulo θ e energia cinética K .

Conservação da quantidade de movimento

No sistema de coordenadas onde o fóton inicial se propaga ao longo do eixo x , temos:

$$\vec{p}_\gamma = p_\gamma \hat{x}$$

e após a colisão:

$$\vec{p}'_\gamma = p'_\gamma (\cos \varphi \hat{x} + \sin \varphi \hat{y})$$

$$\vec{p}_e = p_e (\cos \theta \hat{x} + \sin \theta \hat{y})$$

Componentes no eixo x

$$p_\gamma = p'_\gamma \cos \varphi + p_e \cos \theta$$

Componentes no eixo y

$$0 = p'_\gamma \sin \varphi - p_e \sin \theta$$

Da segunda equação, obtemos:

$$p_e \sin \theta = p'_\gamma \sin \varphi$$

Da primeira equação, isolamos $p_e \cos \theta$:

$$p_e \cos \theta = p_\gamma - p'_\gamma \cos \varphi$$

Tangente do ângulo θ

Dividindo as componentes y/x , temos:

$$\tan \theta = \frac{p_e \sin \theta}{p_e \cos \theta} = \frac{p'_\gamma \sin \varphi}{p_\gamma - p'_\gamma \cos \varphi}$$

Expressando em termos de energias

Sabemos que $p_\gamma = \frac{E_\gamma}{c}$ e $p'_\gamma = \frac{E'_\gamma}{c}$, onde E'_γ é a energia do fóton espalhado:

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos \varphi)}$$

Substituímos p'_γ na equação anterior para obter $\tan \theta$ em função de φ e E_γ .

Resultado final:

A relação geral é:

$$\tan \theta = \frac{\sin \varphi}{\frac{E_\gamma}{E'_\gamma} - \cos \varphi}$$

ou ainda, substituindo E'_γ :

$$\tan \theta = \frac{\sin \varphi}{\left(1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2}(1 - \cos \varphi)\right) - \cos \varphi}$$

Essa é a relação entre o ângulo de espalhamento do fóton φ e o ângulo de recuo do elétron θ no efeito Compton.

O E_γ é a energia inicial do fóton, e definimos a razão adimensional:

$$\alpha = \frac{E_\gamma}{m_e c^2}.$$

Substituindo α , a expressão fica:

$$\tan \theta = \frac{\sin \varphi}{\left(1 + \alpha(1 - \cos \varphi)\right) - \cos \varphi}.$$

Limite quando $\varphi \rightarrow 0^\circ$

Para $\varphi \rightarrow 0^\circ$, temos:

$$\sin \varphi \rightarrow 0, \quad \cos \varphi \rightarrow 1.$$

No denominador:

$$\left(1 + \alpha(1 - \cos \varphi)\right) - \cos \varphi \rightarrow (1 + 0) - 1 = 0.$$

Portanto:

$$\tan \theta \rightarrow 0 \quad \implies \quad \theta \rightarrow 0.$$

Limite quando $\varphi = 90^\circ$

Para $\varphi = 90^\circ$, temos:

$$\sin \varphi = 1, \quad \cos \varphi = 0.$$

No denominador:

$$(1 + \alpha(1 - 0)) - 0 = 1 + \alpha.$$

Logo:

$$\tan \theta = \frac{1}{1 + \alpha}.$$

Observações:

- Para fótons de baixa energia ($\alpha \ll 1$): $1 + \alpha \approx 1$, então $\tan \theta \approx 1$, ou seja, $\theta \approx 45^\circ$.
- Para fótons de alta energia ($\alpha \gg 1$): $1 + \alpha$ é grande, então $\tan \theta \approx 0$, ou seja, θ pequeno.

Portanto, mesmo para $\varphi = 90^\circ$, o ângulo θ permanece **menor que** 90° .

Conclusão

O ângulo de recuo do elétron θ varia no intervalo:

$$0^\circ \leq \theta < 90^\circ$$

A resposta correta é alternativa **B**.

Questão 57

27 Questão 57 - Energia total relativística do elétron

Sabendo que a massa do elétron é $9,11 \times 10^{-31}$ kg, a velocidade da luz é 3×10^8 m/s e $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19}$ J, a energia total de um elétron movendo-se com uma velocidade de $\left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right)c$ é de:

(A) 0,510 MeV.

(B) 0,723 MeV.

(C) 1,024 MeV.

(D) 1,105 MeV.

Solução:

Cálculo da energia total relativística do elétron

Dados:

- Massa do elétron: $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$
- Velocidade da luz: $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$
- $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$
- Velocidade do elétron: $v = \frac{\sqrt{3}}{2}c$

Fator de Lorentz

A energia total relativística do elétron é dada por:

$$E = \gamma m_e c^2$$

com o fator de Lorentz:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Sabemos que:

$$\frac{v}{c} = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{v}{c}\right)^2 = \frac{3}{4}$$

Portanto:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{3}{4}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{4}}} = 2$$

Energia de repouso do elétron

A energia de repouso do elétron é:

$$E_0 = m_e c^2$$

Substituindo os valores:

$$E_0 = (9,11 \times 10^{-31}) \cdot (3,0 \times 10^8)^2 = 9,11 \times 10^{-31} \cdot 9,0 \times 10^{16} = 8,199 \times 10^{-14} \text{ J}$$

Energia total do elétron

$$E = \gamma E_0 = 2 \cdot 8,199 \times 10^{-14} = 1,6398 \times 10^{-13} \text{ J}$$

Conversão para eV

Sabemos que $1 \text{ eV} = 1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$, então:

$$E = \frac{1,6398 \times 10^{-13}}{1,602 \times 10^{-19}} \approx 1,024 \times 10^6 \text{ eV} = 1,024 \text{ MeV}$$

Resposta final:

$$E \approx 1,02 \text{ MeV}$$

A energia total do elétron em movimento com velocidade $\frac{\sqrt{3}}{2}c$ é aproximadamente: 1,02 MeV.

A resposta correta é alternativa **C**.

Questão 58

28 Questão 58 - Relatividade de uma nave espacial

Uma nave espacial viaja a uma velocidade de $0,85c$ em relação à Terra, sendo $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ a velocidade da luz no vácuo. Um relógio a bordo da nave marca 1 hora. Aproximando $\sqrt{0,2775} = 0,53$, durante esse tempo a distância percorrida e o tempo decorrido para um observador na Terra são, respectivamente:

(A) Distância: $1,7 \times 10^9 \text{ km}$, Tempo: 1,9 horas.

(B) Distância: $1,7 \times 10^9 \text{ km}$, Tempo: 3,8 horas.

(C) Distância: $3,1 \times 10^8 \text{ km}$, Tempo: 2,9 horas.

(D) Distância: $3,1 \times 10^8 \text{ km}$, Tempo: 3,9 horas.

Solução:

Problema: nave viajando a $0,85c$

Uma nave espacial viaja a uma velocidade $v = 0,85c$, com $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$. O relógio a bordo da nave marca um tempo próprio $t_0 = 1 \text{ h}$. Sabendo que $\sqrt{0,2775} = 0,53$, queremos calcular:

- A distância percorrida para um observador na Terra.
- O tempo decorrido para um observador na Terra.

Fator de Lorentz

O tempo medido na Terra é dilatado:

$$t = \gamma t_0$$

com:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Calculamos:

$$\left(\frac{v}{c}\right) = 0,85 \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{v}{c}\right)^2 = 0,7225$$

Logo:

$$1 - \frac{v^2}{c^2} = 1 - 0,7225 = 0,2775$$

Como $\sqrt{0,2775} = 0,53$, temos:

$$\gamma = \frac{1}{0,53} \approx 1,89$$

Assim:

$$t = \gamma t_0 = 1,89 \cdot 1 = 1,89 \text{ h} \approx 1,9 \text{ h}$$

Distância percorrida na Terra

Na Terra, a distância percorrida é:

$$d = vt$$

com:

$$v = 0,85 \cdot 3,0 \times 10^8 = 2,55 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Convertendo $t = 1,9 \text{ h}$ para segundos:

$$t = 1,9 \cdot 3600 = 6840 \text{ s}$$

Então:

$$d = 2,55 \times 10^8 \cdot 6840 \approx 1,744 \times 10^{12} \text{ m} = 1,744 \times 10^9 \text{ km} \approx 1,7 \times 10^9 \text{ km}$$

Resposta final:

Distância: $1,7 \times 10^9 \text{ km}$ Tempo: $1,9 \text{ h}$
--

A resposta correta é alternativa **A**.

Questão 59

29 Questão 59 - Radioatividade

Um hospital utiliza o isótopo radioativo Tecnécio-99m (^{99m}Tc) para exames de diagnóstico por imagem. O Tecnécio-99m tem uma meia-vida de aproximadamente 6 horas. Se uma dose inicial de 120 mg de Tecnécio-99m é administrada a um paciente, quanto tempo será necessário para que a quantidade de isótopo no corpo do paciente caia para 15 mg? (Dados: $\ln 2 = 0,693$ e $\ln(0,125) = -2,079$.)

- (A) 10 horas.
- (B) 12 horas.
- (C) 14 horas.
- (D) 18 horas.

Solução:

Dados:

- Meia-vida do Tecnécio-99m: $T_{1/2} = 6$ horas
- Dose inicial: $N_0 = 120$ mg
- Dose final desejada: $N = 15$ mg
- $\ln 2 = 0,693$
- $\ln(0,125) = -2,079$

A quantidade de isótopo após um tempo t é dada por:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

onde λ é a constante de decaimento.

A constante λ está relacionada à meia-vida por:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \implies \lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{6} = 0,1155 \text{ h}^{-1}$$

Queremos o tempo t para que a quantidade caia para 15 mg, ou seja:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \implies \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \implies t = -\frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$$

Calculando:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{15}{120} = 0,125$$

$$t = -\frac{1}{0,1155} \ln(0,125) = -\frac{1}{0,1155} \times (-2,079) = \frac{2,079}{0,1155} \approx 18 \text{ horas}$$

 Resposta: $t \approx 18$ horas

A resposta correta é alternativa **D**.

Questão 60

30 Questão 60 - Radioatividade

Durante uma escavação arqueológica, um arqueólogo encontra restos de uma antiga fogueira contendo pedaços de madeira. A atividade do carbono-14 na amostra de madeira é medida e encontrada como sendo 12,5% da atividade do carbono-14 em organismos vivos. Sabendo que a meia-vida do carbono-14 é de aproximadamente 5730 anos, a idade da amostra de madeira pode ser determinada e vale: (Dados: $\ln 2 = 0,693$ e $\ln(0,125) = -2,079$.)

- (A) 5.730 anos.
- (B) 8.585 anos.
- (C) 11.460 anos.
- (D) 17.190 anos.

Solução:

Dados:

- Fração da atividade atual em relação à original: $\frac{N}{N_0} = 12,5\% = 0,125$
- Meia-vida do carbono-14: $T_{1/2} = 5730$ anos
- $\ln 2 = 0,693$
- $\ln(0,125) = -2,079$

A atividade após um tempo t é dada por:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

onde λ é a constante de decaimento.

Calculando λ :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} = \frac{0,693}{5730} \approx 1,21 \times 10^{-4} \text{ ano}^{-1}$$

Determinando o tempo t :

$$\frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t} \implies \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -\lambda t \implies t = -\frac{1}{\lambda} \ln\left(\frac{N}{N_0}\right)$$

Substituindo os valores:

$$t = -\frac{1}{1,21 \times 10^{-4}} \times \ln(0,125) = \frac{2,079}{1,21 \times 10^{-4}} \approx 17\,190 \text{ anos}$$

Resposta: $t \approx 17\,190$ anos

A resposta correta é alternativa **D**.
