

22023EUF0001

João Ninguém

Instruções para a prova:

- Esta prova contém **40** problemas sobre mecânica clássica, eletromagnetismo, termodinâmica, física moderna, mecânica quântica e física estatística. Todas as questões têm o mesmo peso.
- O tempo de duração desta prova é de **4 horas**.
O tempo mínimo de permanência na sala é de 90 minutos.
- Não é permitido o uso de calculadoras ou outros instrumentos eletrônicos.
- Assinale as alternativas corretas na folha de respostas que se encontra no final do caderno de questões, preenchendo **inteiramente** o quadradinho correspondente a caneta azul ou preta.
Alternativas assinaladas fora da folha de respostas não serão consideradas Não destaque a folha de respostas. Erros na marcação da resposta podem ser corrigidos com corretivo branco.
- Ao final da prova, devolva tanto o caderno de questões quanto o formulário.

Questão 1 [mc1a] Um satélite de massa m se move em uma órbita circular de raio r , medido em relação ao centro da Terra. Dado um eixo que é perpendicular ao plano do movimento e passa pela origem (centro da Terra), qual é o módulo do momento angular do satélite em relação ao eixo e a energia total do sistema em termos da constante gravitacional G , da massa da Terra M , da massa do satélite m e do raio da órbita r ? Considere o atrito com a atmosfera como sendo desprezível e adote o zero de energia potencial gravitacional como sendo no infinito.

☒ $L = \sqrt{GMm^2r}; E = -\frac{1}{2} \frac{GMm}{r}$

☐ $L = \sqrt{GMm^2r}; E = -\frac{GMm}{r}$

☐ $L = \sqrt{GM^2mr}; E = \frac{GMm}{r}$

☐ $L = \sqrt{GM^2mr}; E = -\frac{1}{2} \frac{GMm}{r^2}$

☐ $L = \sqrt{GMmr}; E = -\frac{GMm}{r^2}$

Questão 2 [mc1b] Um satélite de massa m se move em uma órbita circular de raio r , medido em relação ao centro da Terra. Dado um eixo que é perpendicular ao plano do movimento e passa pela origem (centro da Terra), qual é o módulo do momento angular do satélite em relação ao eixo e a sua energia cinética em termos da constante gravitacional G , da massa da Terra M , da massa do satélite m e do raio da órbita r ? Considere o atrito com a atmosfera como sendo desprezível.

☒ $L = \sqrt{GMm^2r}; K = \frac{1}{2} \frac{GMm}{r}$

☐ $L = \sqrt{GMm^2r}; K = -\frac{GMm}{r}$

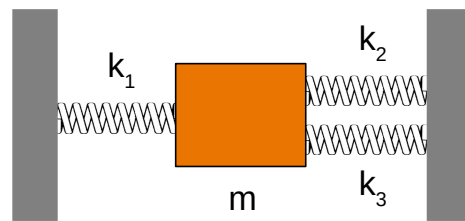
☐ $L = \sqrt{GM^2mr}; K = \frac{GMm}{r}$

☐ $L = \sqrt{GM^2mr}; K = -\frac{1}{2} \frac{GMm}{r^2}$

☐ $L = \sqrt{GMmr}; K = \frac{GMm}{r^2}$

Questão 3 [mc2a]

Um sistema composto por uma massa m acoplada a três molas ideais de constantes elásticas k_1 , k_2 e k_3 está montado como mostrado na figura ao lado. A massa pode oscilar (longitudinalmente à direção das molas) em torno de seu ponto de equilíbrio sobre uma superfície de atrito desprezível. Determine a frequência angular ω_0 de oscilação da massa. Assuma que, no equilíbrio, as molas estão relaxadas.



☒ $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_1+k_2+k_3}{m}}$

☐ $\omega_0 = \sqrt{\frac{(1/k_1)+k_2+k_3}{m}}$

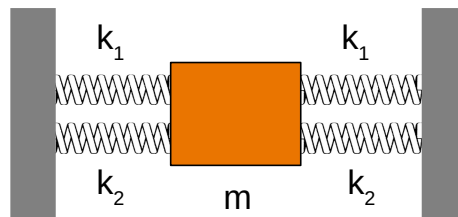
☐ $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_1+(1/k_2)+(1/k_3)}{m}}$

☐ $\omega_0 = \sqrt{\frac{(1/k_1)+(1/k_2)+(1/k_3)}{m}}$

☐ $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_1}{m}}$

Questão 4 [mc2b]

Um sistema composto por uma massa m acoplada a quatro molas ideais, duas de constantes elásticas k_1 e as outras duas de constante elástica k_2 , está montado como mostrado na figura ao lado. A massa pode oscilar (longitudinalmente à direção das molas) em torno de seu ponto de equilíbrio sobre uma superfície de atrito desprezível. Determine a frequência angular ω_0 de oscilação da massa. Assuma que, no equilíbrio, as molas estão relaxadas.



☒ $\omega_0 = \sqrt{\frac{2(k_1+k_2)}{m}}$

☐ $\omega_0 = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{k_1+k_2} + \frac{1}{k_1+k_2}\right)}{m}}$

☐ $\omega_0 = \sqrt{\frac{2(1/k_1)+2(1/k_2)}{m}}$

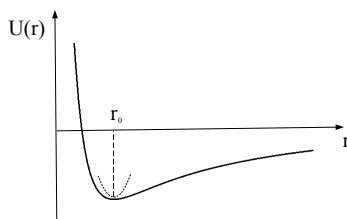
☐ $\omega_0 = \sqrt{\frac{k_1+k_2}{m}}$

☐ $\omega_0 = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{2k_1+2k_2}\right)}{m}}$

Questão 5 [mc3a] A energia potencial de uma molécula de LiBr pode ser descrita aproximadamente como

$$U(r) = \alpha e^2 \left[\frac{C}{7r^7} - \frac{1}{r} \right],$$

onde α e C são constantes positivas, e é o módulo da carga do elétron e r é a distância relativa entre os dois átomos. O comportamento de $U(r)$ é apresentado na figura abaixo. Determine a distância interatômica r_0 de equilíbrio da molécula e a “constante de mola” k (ou constante de força), assumindo uma aproximação harmônica no entorno de r_0 .



☒ $r_0 = C^{1/6}$ e $k = \frac{6\alpha e^2}{\sqrt{C}}$

☐ $r_0 = C^{1/6}$ e $k = \frac{6}{\sqrt{C}}$

☐ $r_0 = \left(\frac{C}{7}\right)^{1/6}$ e $k = \frac{6\sqrt{7}\alpha e^2}{\sqrt{C}}$

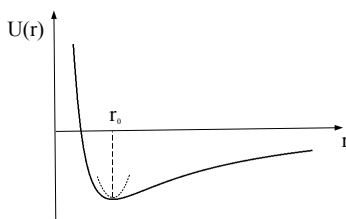
☐ $r_0 = \left(\frac{C}{7}\right)^{1/6}$ e $k = \frac{6\sqrt{7}}{\sqrt{C}}$

☐ $r_0 = \alpha e^2 C^{1/6}$ e $k = \sqrt{\frac{\alpha e^2}{C}}$

Questão 6 [mc3b] A energia potencial de uma molécula de Ar_2 pode ser descrita aproximadamente como

$$U(r) = \frac{D}{12} \left[\frac{a^{12}}{r^{12}} - \frac{2a^6}{r^6} \right],$$

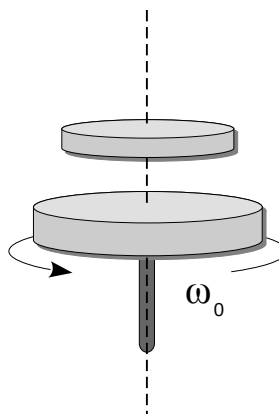
onde a e D são constantes positivas e r é a distância relativa entre os dois átomos. O comportamento de $U(r)$ é apresentado na figura abaixo. Determine a distância interatômica r_0 de equilíbrio da molécula e a “constante de mola” k (ou constante de força), assumindo uma aproximação harmônica no entorno de r_0 .



- ☐ $r_0 = a$ e $k = \frac{6D}{a^2}$
- ☐ $r_0 = a$ e $k = \frac{13D}{a^2}$
- ☐ $r_0 = \frac{a}{\sqrt[6]{2}}$ e $k = \frac{6D}{a^2}$
- ☐ $r_0 = \frac{a}{\sqrt[6]{2}}$ e $k = \frac{13D}{a^2}$
- ☐ $r_0 = \frac{a}{2}$ e $k = \frac{D}{a^4}$

Questão 7 [mc4a]

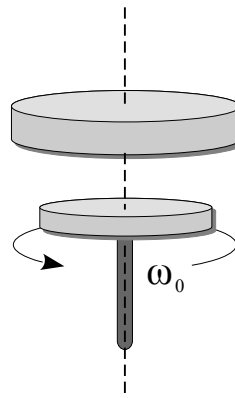
Um disco uniforme de momento de inércia $I_1 = I$ é montado sobre um eixo vertical de massa desprezível e gira livremente com velocidade angular ω_0 . Em um dado instante, deixa-se cair sobre esse disco girante (de uma altura desprezível) um outro disco uniforme de momento de inércia $I_2 = I/2$ e velocidade angular nula, como mostrado na figura ao lado. Devido ao atrito entre as superfícies dos discos, eles passam a girar juntos com velocidade angular ω_f . Determine a velocidade angular final ω_f do conjunto dos dois discos, assumindo que o eixo de rotação do sistema passa pelo seu centro de simetria. A energia cinética (de rotação) se conserva no processo?



- ☐ $\omega_f = \frac{2}{3}\omega_0$. A energia cinética de rotação não se conserva.
- ☐ $\omega_f = \frac{2}{3}\omega_0$. A energia cinética de rotação se conserva.
- ☐ $\omega_f = \frac{3}{2}\omega_0$. A energia cinética de rotação não se conserva.
- ☐ $\omega_f = \frac{3}{2}\omega_0$. A energia cinética de rotação se conserva.
- ☐ $\omega_f = \frac{\sqrt{2}}{3}\omega_0$. A energia cinética de rotação se conserva.

Questão 8 [mc4b]

Um disco uniforme de momento de inércia $I_1 = I$ é montado sobre um eixo vertical de massa desprezível e gira livremente com velocidade angular ω_0 . Em um dado instante, deixa-se cair sobre esse disco girante (de uma altura desprezível) um outro disco uniforme de momento de inércia $I_2 = 2I$ e velocidade angular nula, como mostrado na figura ao lado. Devido ao atrito entre as superfícies dos discos, eles passam a girar juntos com velocidade angular ω_f . Determine a velocidade angular final ω_f do conjunto dos dois discos, assumindo que o eixo de rotação do sistema passa pelo seu centro de simetria. A energia cinética (de rotação) se conserva no processo?



- ☒ $\omega_f = \frac{1}{3}\omega_0$. A energia cinética de rotação não se conserva.
- ☐ $\omega_f = \frac{1}{3}\omega_0$. A energia cinética de rotação se conserva.
- ☐ $\omega_f = 3\omega_0$. A energia cinética de rotação não se conserva.
- ☐ $\omega_f = 3\omega_0$. A energia cinética de rotação se conserva.
- ☐ $\omega_f = \frac{\sqrt{3}}{3}\omega_0$. A energia cinética de rotação se conserva.

Questão 9 [mc5a] Uma partícula de massa m se move em duas dimensões sob a ação da força

$$\mathbf{F} = a(4xy\hat{x} + 3y^2\hat{y}),$$

onde a é uma constante positiva. Determine o trabalho W realizado pela força \mathbf{F} quando a partícula se movimenta ao longo da parábola $y = x^2/c$, da origem do sistema de coordenadas até a posição $\mathbf{r} = c(\hat{x} + \hat{y})$, onde c é uma constante positiva.

- ☒ $W = 2ac^3$
- ☐ $W = ac^3$
- ☐ $W = 3ac^3$
- ☐ $W = 4ac^3$
- ☐ $W = 5ac^3$

Questão 10 [mc5b] Uma partícula de massa m se move em duas dimensões sob a ação da força

$$\mathbf{F} = a(5y^2\hat{x} + 4x^2\hat{y}),$$

onde a é uma constante positiva. Determine o trabalho W realizado pela força \mathbf{F} quando a partícula se movimenta ao longo da parábola $y = x^2/c$, da origem do sistema de coordenadas até a posição $\mathbf{r} = c(\hat{x} + \hat{y})$, onde c é uma constante positiva.

- ☒ $W = 3ac^3$
- ☐ $W = ac^3$
- ☐ $W = 2ac^3$
- ☐ $W = 4ac^3$
- ☐ $W = 5ac^3$

Questão 11 [mc6a] Uma partícula de massa m se move em uma dimensão sob a ação de uma força F . Verifica-se que a velocidade da partícula em termos da sua posição x é dada por

$$v(x) = \frac{k}{x},$$

onde k é uma constante positiva. Determine a força $F(x)$ em função da posição x da partícula.

- ☒ $F(x) = -mk^2/x^3$
- ☐ $F(x) = -2mk^2/x^3$
- ☐ $F(x) = -3mk^2/x^3$
- ☐ $F(x) = -mk^2/(2x^3)$
- ☐ $F(x) = -mk^2/(3x^3)$

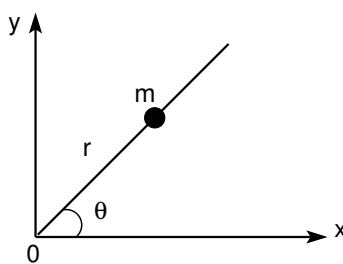
Questão 12 [mc6b] Uma partícula de massa m se move em uma dimensão sob a ação de uma força F . Verifica-se que a velocidade da partícula em termos da sua posição x é dada por

$$v(x) = \frac{k}{x^2},$$

onde k é uma constante positiva. Determine a força $F(x)$ em função da posição x da partícula.

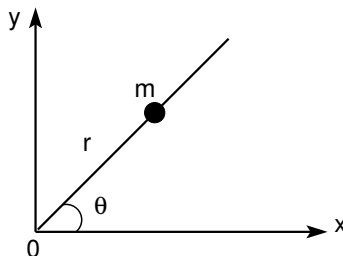
- ☒ $F(x) = -2mk^2/x^5$
- ☐ $F(x) = -mk^2/x^5$
- ☐ $F(x) = -4mk^2/x^5$
- ☐ $F(x) = -mk^2/(2x^5)$
- ☐ $F(x) = -mk^2/(4x^5)$

Questão 13 [mc7a] Uma barra muito longa e de massa desprezível se movimenta no plano xy . A barra está conectada à origem O e gira com uma velocidade angular constante $\omega = \omega\hat{z}$, como indicado na figura abaixo. Uma partícula de massa m pode se movimentar sem atrito ao longo da barra sob a ação da força $\mathbf{F} = a\hat{x}$, onde a é uma constante positiva. Determine a lagrangiana da partícula em termos da coordenada polar r .



- ☒ $L = \frac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2\omega^2) + ar \cos(\omega t)$
- ☐ $L = \frac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2\omega^2) - ar \sin(\omega t)$
- ☐ $L = \frac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2\omega^2) - ar \cos(\omega t)$
- ☐ $L = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + ar \sin(\omega t)$
- ☐ $L = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + ar \cos(\omega t)$

Questão 14 [mc7b] Uma barra muito longa e de massa desprezível se movimenta no plano xy . A barra está conectada à origem O e gira com uma velocidade angular constante $\omega = \omega\hat{z}$, como indicado na figura abaixo. Uma partícula de massa m pode se movimentar sem atrito ao longo da barra sob a ação da força $\mathbf{F} = b\hat{y}$, onde b é uma constante positiva. Determine a lagrangiana da partícula em termos da coordenada polar r .



☒ $L = \frac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2\omega^2) + br\sin(\omega t)$

☐ $L = \frac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2\omega^2) - br\cos(\omega t)$

☐ $L = \frac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2\omega^2) - br\sin(\omega t)$

☐ $L = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + br\cos(\omega t)$

☐ $L = \frac{1}{2}m\dot{r}^2 + br\sin(\omega t)$

Questão 15 [mc8a] Uma partícula de massa m se movimenta em três dimensões sob a ação de uma força central cuja energia potencial associada é dada por

$$U(r) = \frac{1}{3}kr^3,$$

onde k é uma constante positiva.

Analise as três afirmações abaixo sobre esse sistema e escolha a alternativa correta.

- I. A energia total E da partícula e seu momento angular \vec{L} são constantes de movimento.
- II. A partícula pode apresentar uma órbita circular estável e a relação entre o módulo do momento angular \vec{L} da partícula e o raio a dessa órbita circular é $L^2 = mka^5$.
- III. Para determinados valores da energia total E , a partícula pode apresentar órbitas não limitadas, isto é, órbitas que não apresentam um limite superior para os valores assumidos pela coordenada radial r .

☒ Apenas as afirmações I e II estão corretas.

☐ Apenas a afirmação I está correta.

☐ Apenas a afirmação II está correta.

☐ Apenas as afirmações I e III estão corretas.

☐ As afirmações I, II e III estão corretas.

Questão 16 [mc8b] Uma partícula de massa m se movimenta em três dimensões sob a ação de uma força central cuja energia potencial associada é dada por

$$U(r) = \frac{1}{3}kr^3,$$

onde k é uma constante positiva.

Analise as três afirmações abaixo sobre esse sistema e escolha a alternativa correta.

- I. A energia total E da partícula e seu momento angular \vec{L} são constantes de movimento.
- II. A partícula pode apresentar uma órbita circular estável e a relação entre o módulo do momento angular \vec{L} da partícula e o raio a dessa órbita circular é $L^2 = 2mka^5$.
- III. A partícula pode apresentar **apenas** órbitas limitadas, isto é, órbitas cuja coordenada radial r somente pode assumir valores tais que $r_1 \leq r \leq r_2$, onde r_1 e r_2 são os pontos de retorno radiais da órbita.

☒ Apenas as afirmações I e III estão corretas.

☐ Apenas a afirmação I está correta.

☐ Apenas a afirmação III está correta.

☐ Apenas as afirmações I e II estão corretas.

☐ As afirmações I, II e III estão corretas.

Questão 17 [em1a] Duas esferas condutoras, com raios iguais a R_A e R_B , onde $R_A > R_B$, estão ligadas por um fio metálico com capacitância desprezível. A distância entre os centros das esferas é d , onde $d \gg R_A$. O sistema possui uma carga líquida total Q , distribuída entre as esferas. Qual é o potencial elétrico V na superfície das esferas em termos de Q ? Assuma $V = 0$ no infinito.

☒ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(R_A + R_B)}$

☐ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(R_A - R_B)}$

☐ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(R_A + 2R_B)}$

☐ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(2R_A + R_B)}$

☐ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(3R_A - R_B)}$

Questão 18 [em1b] Duas esferas condutoras, com raios iguais a R_A e R_B , onde $R_A = 2R_B$, estão ligadas por um fio metálico com capacitância desprezível. A distância entre os centros das esferas é d , onde $d \gg R_A$. O sistema possui uma carga líquida total Q , distribuída entre as esferas. Qual é o potencial elétrico V na superfície das esferas em termos de Q ? Assuma $V = 0$ no infinito.

☒ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(3R_B)}$

☐ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R_B}$

☐ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(4R_B)}$

☐ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(5R_B)}$

☐ $V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{(2R_B)}$

Questão 19 [em2a] Duas espiras condutoras concêntricas A e B , com raios iguais a a e b , respectivamente, estão inicialmente contidas em um mesmo plano. Considere $b \gg a$. No instante $t = 0$, a espira A , com resistência R , começa a girar em torno de um de seus diâmetros com frequência angular constante ω , enquanto a espira B permanece em repouso. Se uma corrente elétrica I_B constante circula na espira B , qual é a força eletromotriz \mathcal{E} induzida na espira A ? Despreze efeitos de auto-indutância.

■ $\mathcal{E} = \frac{\mu_0 \omega I_B \pi a^2}{2b} \sin(\omega t)$

■ $\mathcal{E} = \frac{\mu_0 \omega I_B \pi a^2}{2b} \cos(\omega t)$

■ $\mathcal{E} = \frac{\mu_0 \omega I_B \pi b^2}{4a} \sin(\omega t)$

■ $\mathcal{E} = \frac{\mu_0 \omega I_B \pi b^2}{4a} \cos(\omega t)$

■ $\mathcal{E} = \frac{\mu_0 \omega I_B a^2}{2\pi b} \sin(\omega t)$

Questão 20 [em2b] Duas espiras condutoras concêntricas A e B , com raios iguais a a e b , respectivamente, estão inicialmente contidas em um mesmo plano. Considere $b \gg a$. No instante $t = 0$, a espira A , com resistência R , começa a girar em torno de um de seus diâmetros com frequência angular constante ω , enquanto a espira B permanece em repouso. Se uma corrente elétrica I_B constante circula na espira B , qual é a corrente elétrica I_A induzida na espira A ? Despreze efeitos de auto-indutância.

■ $I_A = \frac{\mu_0 \omega I_B \pi a^2}{2Rb} \sin(\omega t)$

■ $I_A = \frac{\mu_0 \omega I_B \pi a^2}{2Rb} \cos(\omega t)$

■ $I_A = \frac{\mu_0 \omega I_B \pi b^2}{4Ra} \sin(\omega t)$

■ $I_A = \frac{\mu_0 \omega I_B \pi b^2}{4Ra} \cos(\omega t)$

■ $I_A = \frac{\mu_0 \omega I_B a^2}{2\pi Rb} \sin(\omega t)$

Questão 21 [em3a] Um capacitor de capacitância C está totalmente carregado com uma carga Q_0 e com uma energia total armazenada igual a U_0 . No instante $t = 0$ o capacitor começa a descarregar através de um resistor de resistência R . Em termos da constante de tempo $\tau = RC$, em qual instante t' o capacitor terá um quarto de sua energia inicial U_0 ?

■ $t' = \frac{\ln(4)}{2} \tau$

■ $t' = \frac{\ln(2)}{4} \tau$

■ $t' = 4\tau$

■ $t' = 2\tau$

■ $t' = \frac{\tau}{4}$

Questão 22 [em3b] Um capacitor de capacitância C está totalmente carregado com uma carga Q_0 e com uma energia total armazenada igual a U_0 . No instante $t = 0$ o capacitor começa a descarregar através de um resistor de resistência R . Em termos da constante de tempo $\tau = RC$, em qual instante t' o capacitor terá um terço de sua energia inicial U_0 ?

☒ $t' = \frac{\ln(3)}{2} \tau$

☐ $t' = \frac{\ln(2)}{3} \tau$

☐ $t' = 3\tau$

☐ $t' = 2\tau$

☐ $t' = \frac{\tau}{3}$

Questão 23 [em4a] O campo elétrico no interior de um capacitor de placas paralelas circulares é dado por $\mathbf{E} = E_0 (t/\tau)^2 \hat{\mathbf{z}}$. Qual é o campo magnético \mathbf{B} induzido entre as placas?

☒ $\mathbf{B} = r\mu_0\epsilon_0 E_0 \frac{t}{\tau^2} \hat{\phi}$

☐ $\mathbf{B} = r\mu_0\epsilon_0 E_0 \frac{t}{\tau^2} \hat{\mathbf{z}}$

☐ $\mathbf{B} = \pi r\mu_0\epsilon_0 E_0 \frac{t}{\tau^2} \hat{\phi}$

☐ $\mathbf{B} = \pi r\mu_0\epsilon_0 E_0 \frac{t}{\tau^2} \hat{\mathbf{z}}$

☐ $\mathbf{B} = 2\pi r\mu_0\epsilon_0 E_0 \frac{t}{\tau^2} \hat{\phi}$

Questão 24 [em4b] O campo elétrico no interior de um capacitor de placas paralelas circulares é dado por $\mathbf{E} = E_0 (t/\tau) \hat{\mathbf{z}}$. Qual é o campo magnético \mathbf{B} induzido entre as placas?

☒ $\mathbf{B} = r\mu_0\epsilon_0 \frac{E_0}{2\tau} \hat{\phi}$

☐ $\mathbf{B} = r\mu_0\epsilon_0 \frac{E_0}{2\tau} \hat{\mathbf{z}}$

☐ $\mathbf{B} = \pi r\mu_0\epsilon_0 \frac{E_0}{2\tau} \hat{\phi}$

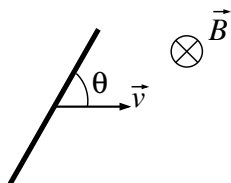
☐ $\mathbf{B} = \pi r\mu_0\epsilon_0 \frac{E_0}{2\tau} \hat{\mathbf{z}}$

☐ $\mathbf{B} = \pi r\mu_0\epsilon_0 \frac{E_0}{\tau} \hat{\phi}$

Questão 25 [em5a]

Uma barra metálica muito fina, homogênea e de comprimento d move-se sem girar e com velocidade constante \vec{v} . A velocidade \vec{v} faz um ângulo $\theta \neq \frac{\pi}{2}$ com a barra, como mostrado na figura abaixo. A barra move-se numa região onde há um campo magnético constante e uniforme \vec{B} , perpendicular à barra e a \vec{v} . Qual(is) das seguintes afirmações é(são) verdadeira(s)?

- I. Existe uma diferença de potencial elétrico não nula entre as extremidades da barra.
- II. A força total devido a \vec{B} sobre a barra é nula.
- III. O torque total devido a \vec{B} sobre a barra é nulo.

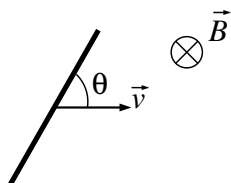


- ☒ Apenas I e II
- ☐ I, II e III
- ☐ Apenas II e III
- ☐ Apenas I
- ☐ Apenas III

Questão 26 [em5b]

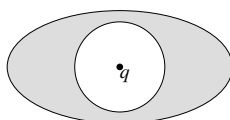
Uma barra metálica muito fina, homogênea e de comprimento d move-se sem girar e com velocidade constante \vec{v} . A velocidade \vec{v} faz um ângulo $\theta \neq \frac{\pi}{2}$ com a barra, como mostrado na figura abaixo. A barra move-se numa região onde há um campo magnético constante e uniforme \vec{B} , perpendicular à barra e a \vec{v} . Qual(is) das seguintes afirmações é(são) verdadeira(s)?

- I. Existe uma diferença de potencial elétrico não nula entre as extremidades da barra.
- II. A força total devido a \vec{B} sobre a barra é não nula.
- III. O torque total devido a \vec{B} sobre a barra é não nulo.

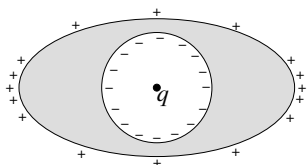


- ☒ Apenas I e III
- ☐ I, II e III
- ☐ Apenas I e II
- ☐ Apenas II
- ☐ Apenas III

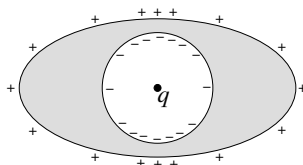
Questão 27 [em6a]



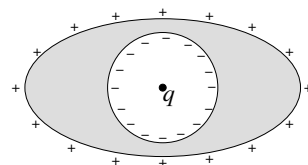
A figura acima ilustra um condutor elipsoidal, isolado e neutro que tem uma cavidade esférica em seu interior. Uma carga pontual $q > 0$ está fixa no centro da cavidade esférica, conforme ilustrado. Assinale a alternativa que melhor representa a densidade de cargas nas superfícies do condutor.



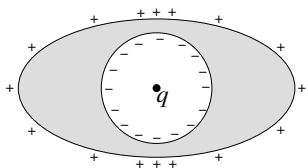
C



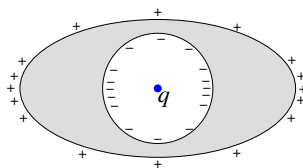
E



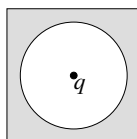
B



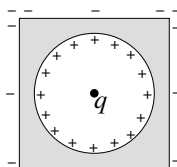
D



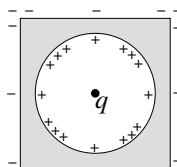
Questão 28 [em6b]



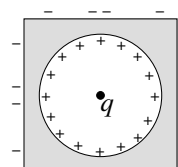
A figura acima ilustra um condutor cúbico, isolado e neutro que tem uma cavidade esférica em seu interior. Uma carga pontual $q < 0$ está fixa no centro da cavidade esférica, conforme ilustrado. Assinale a alternativa que melhor representa a densidade de cargas nas superfícies do condutor.



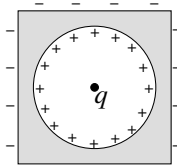
C



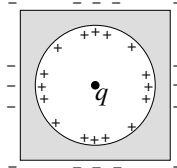
E



B

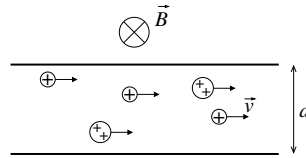


D



Questão 29 [em7a]

Sangue fluindo em um artéria de diâmetro $d = 8,0$ mm pode atingir velocidades de até $v = 60$ cm/s em módulo (veja o desenho esquemático abaixo). Sabendo que há íons no plasma sanguíneo (como Na^+ , K^+ , Mg^+ e Ca^{2+}), estime a máxima diferença de potencial elétrico que pode surgir nas paredes dessa artéria quando sob a ação de um campo magnético de módulo $B = 0,20$ T como mostrado na figura?



☒ 0,96 mV

☐ 9,6 mV

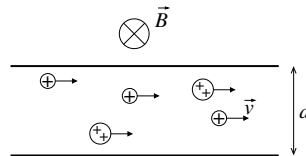
☐ 9,6 μV

☐ 0,96 μV

☐ 96 μV

Questão 30 [em7b]

Sangue fluindo em um artéria de diâmetro $d = 9,0$ mm pode atingir velocidades de até $v = 70$ cm/s em módulo (veja o desenho esquemático abaixo). Sabendo que há íons no plasma sanguíneo (como Na^+ , K^+ , Mg^+ e Ca^{2+}), estime a máxima diferença de potencial elétrico que pode surgir nas paredes dessa artéria quando sob a ação de um campo magnético de módulo $B = 0,10$ T como mostrado na figura?



☒ 0,63 mV

☐ 63 μV

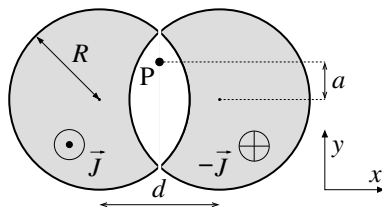
☐ 6,3 μV

☐ 0,63 μV

☐ 6,3 mV

Questão 31 [em8a]

A figura abaixo ilustra a seção reta de dois condutores cilíndricos paralelos idênticos e muito longos (parte cinza) que carregam, em sentidos opostos, densidades de corrente de módulo J uniformemente distribuídas em seu interior. Essa distribuição de correntes é equivalente àquela advinda de dois cilindros paralelos muito longos de seção reta circular de raio R , cujos eixos distam de $d < R$, tal que as correntes se cancelem na parte superposta (região branca). Qual é o campo magnético \vec{B} no ponto P, que está (verticalmente) a uma distância a do ponto médio do segmento que une os eixos dos cilindros e é normal a eles?



☐ $\vec{B} = \frac{1}{2}\mu_0 J d \hat{y}$

☐ $\vec{B} = \frac{1}{2}\mu_0 J \frac{ad}{R} \hat{y}$

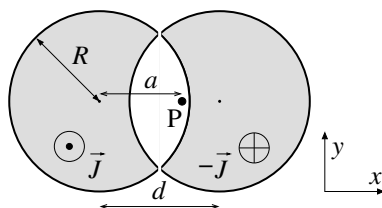
☐ $\vec{B} = -\frac{1}{2}\mu_0 J \sqrt{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + a^2} \hat{y}$

☐ $\vec{B} = -\frac{1}{2}\mu_0 J \frac{\left(\frac{d}{2}\right)^2 + a^2}{R} \hat{y}$

☐ $\vec{B} = \frac{1}{2}\mu_0 J \frac{\left(\left(\frac{d}{2}\right)^2 + a^2\right)^{3/2}}{R^2} \hat{y}$

Questão 32 [em8b]

A figura abaixo ilustra a seção reta de dois condutores cilíndricos paralelos idênticos e muito longos (parte cinza) que carregam, em sentidos opostos, densidades de corrente de módulo J uniformemente distribuídas em seu interior. Essa distribuição de correntes é equivalente àquela advinda de dois cilindros paralelos muito longos de seção reta circular de raio R , cujos eixos distam de $d < R$, tal que as correntes se cancelem na parte superposta (região branca). Qual é o campo magnético \vec{B} no ponto P, que está no plano que contém os eixos dos cilindros e dista de a do eixo do cilindro da esquerda?



☐ $\vec{B} = \frac{1}{2}\mu_0 J d \hat{y}$

☐ $\vec{B} = \frac{1}{2}\mu_0 J \frac{ad}{R} \hat{y}$

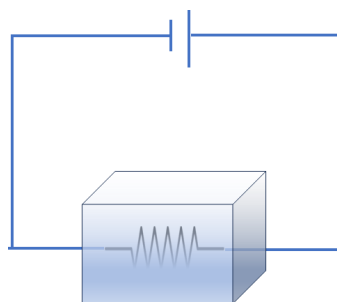
☐ $\vec{B} = -\frac{1}{2}\mu_0 J \sqrt{(d-a)^2 + a^2} \hat{y}$

☐ $\vec{B} = -\frac{1}{2}\mu_0 J \frac{(d-a)^2 + a^2}{R} \hat{y}$

☐ $\vec{B} = \frac{1}{2}\mu_0 J \frac{\left((d-a)^2 + a^2\right)^{3/2}}{R^2} \hat{y}$

Questão 33 [te1a]

Um líquido de massa m e calor específico c deve ser aquecido por uma variação de temperatura ΔT , sem alcançar a ebulição. Para isso, um resistor de resistência R é conectado a uma pilha de resistência interna insignificante. O resistor é inserido no líquido em uma cuba, conforme mostrado na figura. O tempo Δt necessário para alcançar a variação de temperatura é cronometrado. Se todo o calor gerado pelo resistor é transferido para o líquido, qual é a força eletromotriz da pilha?



☐ $\varepsilon = \sqrt{\frac{R m c \Delta T}{\Delta t}}$

☐ $\varepsilon = \sqrt{\frac{2R m c \Delta T}{\Delta t}}$

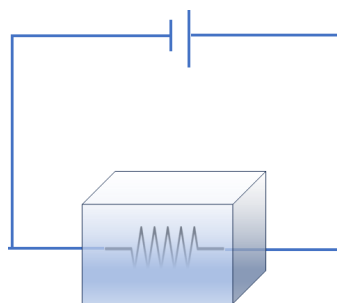
☐ $\varepsilon = 3\sqrt{\frac{R m c \Delta T}{\Delta t}}$

☐ $\varepsilon = \sqrt{\frac{3R m c \Delta T}{\Delta t}}$

☐ $\varepsilon = 2\sqrt{\frac{R m c \Delta T}{\Delta t}}$

Questão 34 [te1b]

Um líquido de massa m deve ser aquecido por uma variação de temperatura ΔT , sem alcançar a ebulição. Para isso, um resistor de resistência R é conectado a uma pilha de resistência interna insignificante e força eletromotriz ε . O resistor é inserido no líquido em uma cuba, conforme mostrado na figura. O tempo Δt necessário para alcançar a variação de temperatura é cronometrado. Se todo o calor gerado pelo resistor é transferido para o líquido, qual é o calor específico c do líquido?



☐ $c = \frac{\varepsilon^2 \Delta t}{m R \Delta T}$

☐ $c = \frac{2\varepsilon^2 \Delta t}{m R \Delta T}$

☐ $c = \frac{3\varepsilon^2 \Delta t}{2m R \Delta T}$

☐ $c = \frac{\varepsilon^2 \Delta t}{2m R \Delta T}$

☐ $c = \frac{\varepsilon^2 \Delta t}{3m R \Delta T}$

Questão 35 [te2a] Uma casa está a uma temperatura absoluta de equilíbrio T , sendo aquecida por meio de uma bomba de calor que retira calor de um rio que se encontra à temperatura absoluta T_0 , consumindo uma potência constante $dW/dt = \lambda$. O coeficiente de desempenho η de uma bomba de calor é a razão entre o calor que a bomba fornece e o trabalho necessário para operá-la, ambos ao longo de um ciclo de operação. A casa perde calor para o ambiente externo a uma taxa dada por $\alpha(T - T_0)$, onde α é uma constante. A temperatura de equilíbrio T da casa é:

☒ $T_0 + \frac{\eta\lambda}{\alpha}$

☐ T_0

☐ $T_0 + \frac{2\eta\lambda}{\alpha}$

☐ $T_0 + \frac{\lambda}{\alpha}$

☐ $T_0 + \frac{2\lambda}{\alpha}$

Questão 36 [te2b] Uma casa está a uma temperatura absoluta de equilíbrio T , sendo aquecida por meio de uma bomba de calor que retira calor de um rio que se encontra à temperatura absoluta T_0 , consumindo uma potência constante $dW/dt = \lambda$. O coeficiente de desempenho η de uma bomba de calor é a razão entre o calor que a bomba fornece e o trabalho necessário para operá-la, ambos ao longo de um ciclo de operação. A casa perde calor para o ambiente externo a uma taxa dada por $\alpha(T - T_0)$, onde α é uma constante. Para que a casa mantenha a temperatura de equilíbrio T , o coeficiente de desempenho η da bomba deve ser:

☒ $\eta = \frac{\alpha(T - T_0)}{\lambda}$

☐ $\eta = \frac{\alpha T}{\lambda}$

☐ $\eta = \frac{\alpha T_0}{\lambda}$

☐ $\eta = \frac{\lambda}{\alpha(T - T_0)}$

☐ $\eta = \frac{\lambda}{\alpha T}$

Questão 37 [te3a] Uma quantidade de água com massa de 1,0 kg a 0°C é aquecida até 100°C ao ser posta em contato com um reservatório térmico a 100°C em um processo irreversível. Considere que o calor específico da água é $c = 4 \text{ J/g}$, que $\ln\left(\frac{373}{273}\right) \approx \frac{3}{10}$ e que $\frac{100}{373} \approx \frac{1}{4}$. Quais são as variações de entropia da água, do reservatório e do universo no processo, respectivamente, em unidades de J/K? Dica: considere um processo reversível com os mesmos estados inicial e final para calcular as variações de entropia.

☒ 1200, -1000 , 200

☐ 1000, -1000 , 0

☐ 1200, -1000 , 0

☐ 1200, -1000 , -2200

☐ 1200, 0, 0

Questão 38 [te3b] Uma quantidade de água com massa de 2,0 kg a 0°C é aquecida até 100°C ao ser posta em contato com um reservatório térmico a 100°C em um processo irreversível. Considere que o calor específico da água é $c = 4 \text{ J/g}$, que $\ln\left(\frac{373}{273}\right) \approx \frac{3}{10}$ e que $\frac{100}{373} \approx \frac{1}{4}$. Quais são as variações de entropia da água, do reservatório e do universo no processo, respectivamente, em unidades de J/K ? Dica: considere um processo reversível com os mesmos estados inicial e final para calcular as variações de entropia.

☒ 2400, -2000 , 400

☐ 2000, -2000 , 0

☐ 2400, -2000 , 0

☐ 2400, -2000 , 4400

☐ 2400, 0, 0

Questão 39 [te4a] Um gás ideal monoatômico é descrito pelas equações

$$pV = nRT \quad \text{e} \quad U = \frac{3}{2}nRT$$

onde n é o número de moles e R é a constante universal dos gases. Em determinados processos de compressão, a temperatura e o volume do gás variam de um estado inicial dado por (T_0, V_0) até um estado qualquer dado por (T, V) obedecendo a relação

$$T = \left(\frac{V}{V_0}\right)^x T_0$$

onde x é uma constante não nula. O trabalho W realizado pelo gás num processo desse tipo para um valor genérico de x , ao ser comprimido a partir de (T_0, V_0) até o volume final V_1 , e o valor de x tal que o calor transferido para o gás no mesmo processo seja nulo são dados por

☒ $W = \frac{nRT_0}{x} \left[\left(\frac{V_1}{V_0}\right)^x - 1 \right]$ e $x = -\frac{2}{3}$

☐ $W = \frac{nRT_0}{2}$ e $x = -1$

☐ $W = \frac{nRT_0}{2} \ln \frac{V_1}{V_0}$ e $x = -\frac{1}{3}$

☐ $W = \frac{nRT_0}{x} \left[\left(\frac{V_1}{V_0}\right)^{2x} - 1 \right]$ e $x = -\frac{2}{3}$

☐ $W = \frac{nRT_0}{x} \left[\left(\frac{V_1}{V_0}\right)^x - 1 \right]$ e $x = 0$

Questão 40 [te4b] Um gás ideal diatômico é descrito pelas equações

$$pV = nRT \quad \text{e} \quad U = \frac{5}{2}nRT$$

onde n é o número de moles e R é a constante universal dos gases. Em determinados processos de compressão, a temperatura e o volume do gás variam de um estado inicial dado por (T_0, V_0) até um estado qualquer dado por (T, V) obedecendo a relação

$$T = \left(\frac{V}{V_0} \right)^x T_0$$

onde x é uma constante não nula. O trabalho W realizado pelo gás num processo desse tipo para um valor genérico de x , ao ser comprimido a partir de (T_0, V_0) até o volume final V_1 , e o valor de x tal que o calor transferido para o gás no mesmo processo seja nulo são dados por

☐ $W = \frac{nRT_0}{x} \left[\left(\frac{V_1}{V_0} \right)^x - 1 \right]$ e $x = -\frac{2}{5}$

☐ $W = \frac{nRT_0}{2}$ e $x = -1$

☐ $W = \frac{nRT_0}{2} \ln \frac{V_1}{V_0}$ e $x = -\frac{2}{9}$

☐ $W = \frac{nRT_0}{x} \left[\left(\frac{V_1}{V_0} \right)^x - 1 \right]$ e $x = -\frac{2}{3}$

☐ $W = \frac{nRT_0}{3x} \left[\left(\frac{V_1}{V_0} \right)^{3x} - 1 \right]$ e $x = 0$

Questão 41 [fm1a]

A espectroscopia Raman baseia-se no espalhamento de fótons por vibrações (fônons) da rede cristalina. A energia dos fônons é obtida através da medida da diferença entre as energias dos fótons incidente e espalhados. Na prática, esta diferença é aferida em termos da diferença entre os inversos dos comprimentos de onda $\Delta \left(\frac{1}{\lambda} \right)$, em unidades de cm^{-1} .

Se um determinado processo de espalhamento é detectado com $\Delta \left(\frac{1}{\lambda} \right) = 300 \text{ cm}^{-1}$, a energia do fônon associado é, aproximadamente

☐ 37 meV.

☐ 37 eV.

☐ 4,1 eV.

☐ 4,1 meV.

☐ 240 meV.

Questão 42 [fm1b]

A espectroscopia Raman baseia-se no espalhamento de fótons por vibrações (fônons) da rede cristalina. A energia dos fônons é obtida através da medida da diferença entre as energias dos fótons incidente e espalhados. Na prática, esta diferença é aferida em termos da diferença entre os inversos dos comprimentos de onda $\Delta \left(\frac{1}{\lambda} \right)$, em unidades de cm^{-1} .

Se um determinado processo de espalhamento é detectado com $\Delta \left(\frac{1}{\lambda} \right) = 200 \text{ cm}^{-1}$, a energia do fônon associado é, aproximadamente

☐ 25 meV.

☐ 25 eV.

☐ 6,2 eV.

☐ 6,2 meV.

☐ 161 meV.

Questão 43 [fm2a]

Considere um reator nuclear em que há emissão de nêutrons, com massa m_N , e a presença de dêuterons com massa m_D . Após um certo período, os dois tipos de partículas atingem o equilíbrio térmico. A razão entre os comprimentos de onda dos nêutrons e dos dêuterons térmicos é

☒ $\sqrt{\frac{m_D}{m_N}}.$

☐ $\sqrt{\frac{m_N}{m_D}}.$

☐ $\frac{m_D}{m_N}.$

☐ $\frac{m_N}{m_D}.$

☐ $\frac{m_D - m_N}{m_D}.$

Questão 44 [fm2b]

Considere um reator nuclear em que há emissão de nêutrons, com massa m_N , e a presença de dêuterons com massa m_D . Após um certo período, os dois tipos de partículas atingem o equilíbrio térmico. A razão entre os comprimentos de onda dos dêuterons e dos nêutrons térmicos é

☒ $\sqrt{\frac{m_N}{m_D}}.$

☐ $\sqrt{\frac{m_D}{m_N}}.$

☐ $\frac{m_D}{m_N}.$

☐ $\frac{m_N}{m_D}.$

☐ $\frac{m_D - m_N}{m_D}.$

Questão 45 [fm3a]

Uma molécula diatômica constitui-se de um átomo com massa $3M$ e outro de massa $4M$, separados por uma distância d . Considere que eles girem ao redor de um eixo que passa pelo centro de massa e é perpendicular à linha que os une. Se o momento angular desta molécula for quantizado como no modelo de Bohr, as velocidades angulares também serão quantizadas como (nas alternativas abaixo, $n = 1, 2, 3, \dots$)

☒ $\frac{7h}{24\pi M d^2} n.$

☐ $\frac{h}{\pi M d^2} n.$

☐ $\frac{7h}{12\pi M d^2} n.$

☐ $\frac{6h}{7\pi M d^2} n.$

☐ $\frac{7h}{6\pi M d^2} n.$

Questão 46 [fm3b]

Uma molécula diatômica constitui-se de um átomo com massa $2M$ e outro de massa $3M$, separados por uma distância d . Considere que eles girem ao redor de um eixo que passa pelo centro de massa e é perpendicular à linha que os une. Se o momento angular desta molécula for quantizado como no modelo de Bohr, as velocidades angulares também serão quantizadas como (nas alternativas abaixo, $n = 1, 2, 3, \dots$)

☒ $\frac{5h}{12\pi Md^2} n.$

☐ $\frac{h}{\pi Md^2} n.$

☐ $\frac{5h}{6\pi Md^2} n.$

☐ $\frac{3h}{5\pi Md^2} n.$

☐ $\frac{5h}{3\pi Md^2} n.$

Questão 47 [fm4a]

O experimento de Millikan, que permitiu obter o valor da carga elétrica q do elétron de massa m_0 , baseia-se na investigação da queda em condições de equilíbrio de gotículas de óleo carregadas eletricamente e sujeitas às forças de arrasto, do tipo $\vec{F}_a = -b\vec{v}$ (onde b é uma constante), e elétrica, devido a um campo elétrico aplicado \vec{E} . Considere uma variante deste experimento, na qual \vec{E} é aplicado horizontalmente. Ajustando-se o módulo do campo elétrico E , as gotículas passam a cair com velocidade constante em uma trajetória retilínea formando um ângulo θ com a vertical. Se v_T for a velocidade terminal das gotículas ao longo da trajetória, a carga elétrica pode ser obtida de

☒ $q = \frac{bv_T}{E} \sin(\theta).$

☐ $q = \frac{bv_T}{E} \cos(\theta).$

☐ $q = \frac{bv_T}{E} \tan(\theta).$

☐ $q = \frac{E}{bv_T} \sin(\theta).$

☐ $q = \frac{m_0 g}{bv_T} \cos(\theta).$

Questão 48 [fm4b]

O experimento de Millikan, que permitiu obter o valor da carga elétrica q do elétron de massa m_0 , baseia-se na investigação da queda em condições de equilíbrio de gotículas de óleo carregadas eletricamente e sujeitas às forças de arrasto, do tipo $\vec{F}_a = -b\vec{v}$ (onde b é uma constante), e elétrica, devido a um campo elétrico aplicado \vec{E} . Considere uma variante deste experimento, na qual \vec{E} é aplicado horizontalmente. Ajustando-se o módulo do campo elétrico E , as gotículas passam a cair com velocidade constante em uma trajetória retilínea formando um ângulo θ com a horizontal. Se v_T for a velocidade terminal das gotículas ao longo da trajetória, a carga elétrica pode ser obtida de

☒ $q = \frac{bv_T}{E} \cos(\theta).$

☐ $q = \frac{bv_T}{E} \sin(\theta).$

☐ $q = \frac{bv_T}{E} \tan(\theta).$

☐ $q = \frac{E}{bv_T} \sin(\theta).$

☐ $q = \frac{m_0 g}{bv_T} \cos(\theta).$

Questão 49 [fm5a]

A astronauta Aline se encontra em repouso em um referencial inercial quando, às 08h00 de seu relógio, o astronauta Beto passa por ela viajando com velocidade constante $0,80c$. Coincidentemente, o relógio de Beto também marca 08h00. Às 09h00 em seu relógio, Beto chega ao seu destino. De acordo com Aline, o comprimento do percurso de Beto foi de

- ☒ $1,4 \times 10^9$ km
- ☐ $8,5 \times 10^8$ km
- ☐ $1,0 \times 10^9$ km
- ☐ $9,2 \times 10^8$ km
- ☐ Não há dados suficientes para responder a pergunta.

Questão 50 [fm5b]

A astronauta Aline se encontra em repouso em um referencial inercial quando, às 08h00 de seu relógio, o astronauta Beto passa por ela viajando com velocidade constante $0,60c$. Coincidentemente, o relógio de Beto também marca 08h00. Às 09h20 em seu relógio, Beto chega ao seu destino. De acordo com Aline, o comprimento do percurso de Beto foi de

- ☒ $1,1 \times 10^9$ km
- ☐ $8,4 \times 10^8$ km
- ☐ $1,8 \times 10^9$ km
- ☐ $9,7 \times 10^8$ km
- ☐ Não há dados suficientes para responder a pergunta.

Questão 51 [fm6a]

Em um choque totalmente inelástico, uma partícula de massa de repouso $1,00 \text{ MeV}/c^2$ e energia cinética $2,00 \text{ MeV}$ colide com outra partícula em repouso de massa $2,00 \text{ MeV}/c^2$. Qual a massa de repouso do sistema de duas partículas após a colisão?

- ☒ $4,12 \text{ MeV}/c^2$
- ☐ $3,00 \text{ MeV}/c^2$
- ☐ $3,67 \text{ MeV}/c^2$
- ☐ $4,67 \text{ MeV}/c^2$
- ☐ $5,00 \text{ MeV}/c^2$

Questão 52 [fm6b]

Em um choque totalmente inelástico, uma partícula de massa de repouso $2,00 \text{ MeV}/c^2$ e energia cinética $1,00 \text{ MeV}$ colide com outra partícula em repouso de massa $1,00 \text{ MeV}/c^2$. Qual a massa de repouso do sistema de duas partículas após a colisão?

- ☒ $3,32 \text{ MeV}/c^2$
- ☐ $3,00 \text{ MeV}/c^2$
- ☐ $2,67 \text{ MeV}/c^2$
- ☐ $3,86 \text{ MeV}/c^2$
- ☐ $4,00 \text{ MeV}/c^2$

Questão 53 [fm7a]

Uma amostra é preparada contendo $1,0 \times 10^{20}$ partículas radioativas de vida média igual a 1,0 ano. Em cada decaimento, 10 fótons de comprimento de onda 1,0 pm são emitidos. Qual a taxa de produção de energia eletromagnética após 1,0 ano da amostra ter sido preparada?

- ☒ 2,3 W
- ☐ 4,4 W
- ☐ 0,3 W
- ☐ 0,9 W
- ☐ 6,3 W

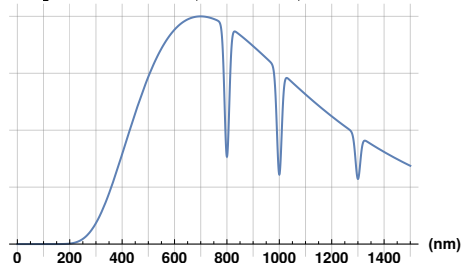
Questão 54 [fm7b]

Uma amostra é preparada contendo $2,0 \times 10^{20}$ partículas radiativas de vida média igual a 2,0 anos. Em cada decaimento, 6 fótons de comprimento de onda λ são emitidos. Após 2,0 anos da amostra ter sido preparada, a taxa de produção de energia eletromagnética é igual a 2,0 W. Qual o valor de λ ?

- ☒ 0,70 pm
- ☐ 0,56 pm
- ☐ 0,23 pm
- ☐ 1,1 pm
- ☐ 1,5 pm

Questão 55 [fm8a]

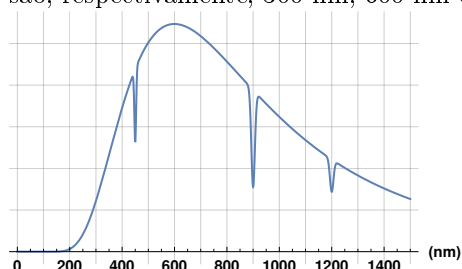
A figura abaixo é o espectro eletromagnético de um corpo celeste desconhecido que se distancia da Terra ao longo da linha de visada com velocidade relativística. As linhas de absorção correspondem a transições muito bem conhecidas, cujos comprimentos de onda no referencial do laboratório são, respectivamente, 400 nm, 500 nm e 650 nm. Qual é a temperatura na superfície desse corpo?



- ☒ $8,3 \times 10^3$ K
- ☐ $4,1 \times 10^3$ K
- ☐ $7,2 \times 10^3$ K
- ☐ $3,0 \times 10^3$ K
- ☐ Não há dados suficientes para responder essa pergunta.

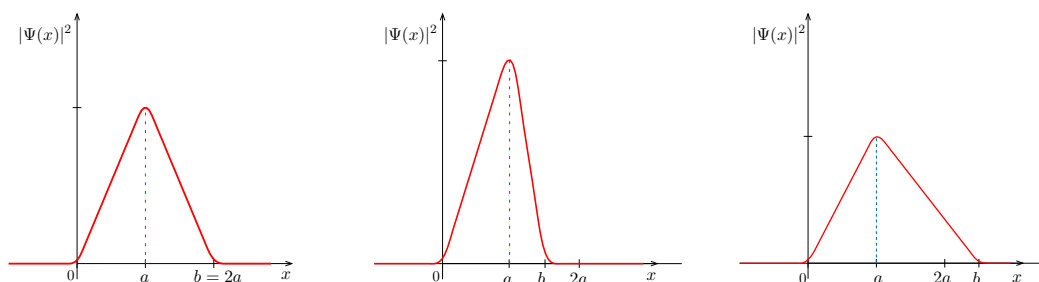
Questão 56 [fm8b]

A figura abaixo é o espectro eletromagnético de um corpo celeste desconhecido que se distancia da Terra ao longo da linha de visada com velocidade relativística. As linhas de absorção correspondem a transições muito bem conhecidas, cujos comprimentos no referencial do laboratório são, respectivamente, 300 nm, 600 nm e 800 nm. Qual é a temperatura na superfície desse corpo?



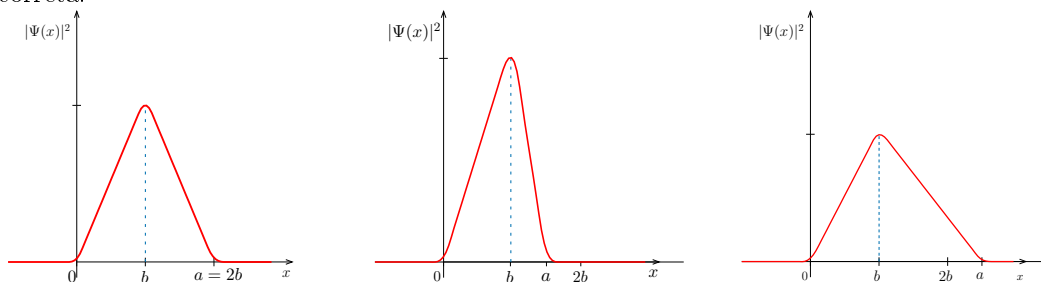
- ☒ $7,2 \times 10^3$ K
- ☐ $4,8 \times 10^3$ K
- ☐ $6,2 \times 10^3$ K
- ☐ $3,0 \times 10^3$ K
- ☐ Não há dados suficientes para responder essa pergunta.

Questão 57 [mq1a] Considere a dinâmica quântica de uma partícula em uma dimensão. A figura abaixo mostra três possibilidades para o módulo quadrado da função de onda dessa partícula, $|\Psi(x)|^2$, num determinado instante, para diferentes valores do parâmetro b . Marque a afirmativa correta:



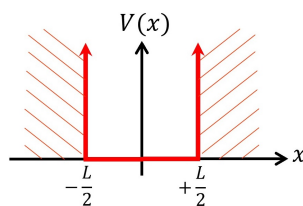
- ☒ O valor esperado da posição da partícula está à direita da posição mais provável de encontrar a partícula se $b > 2a$.
- ☐ O valor esperado da posição da partícula está à esquerda da posição mais provável de encontrar a partícula se $b > 2a$.
- ☐ O valor esperado da posição da partícula está à direita da posição mais provável de encontrar a partícula se $b < 2a$.
- ☐ O valor esperado da posição da partícula está à esquerda da posição mais provável de encontrar a partícula se $b = 2a$.
- ☐ O valor esperado da posição da partícula coincide com a posição mais provável de encontrar a partícula independente do valor de b .

Questão 58 [mq1b] Considere a dinâmica quântica de uma partícula em uma dimensão. A figura abaixo mostra três possibilidades para o módulo quadrado da função de onda dessa partícula, $|\Psi(x)|^2$, num determinado instante, para diferentes valores do parâmetro a . Marque a afirmativa correta:



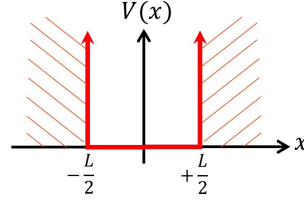
- ☒ O valor esperado da posição da partícula está à direita da posição mais provável de encontrar a partícula se $a > 2b$.
- ☐ O valor esperado da posição da partícula está à esquerda da posição mais provável de encontrar a partícula se $a > 2b$.
- ☐ O valor esperado da posição da partícula está à esquerda da posição mais provável de encontrar a partícula se $a = 2b$.
- ☐ O valor esperado da posição da partícula está à direita da posição mais provável de encontrar a partícula se $a < 2b$.
- ☐ O valor esperado da posição da partícula coincide com a posição mais provável de encontrar a partícula independente do valor de a .

Questão 59 [mq2a] Considere a dinâmica quântica de uma partícula sob a ação do potencial do tipo poço infinito unidimensional de largura L , como mostrado na figura. A função de onda da partícula, que se encontra no estado fundamental, é $\Psi(x) = \sqrt{\frac{2}{L}} \cos\left(\frac{\pi}{L}x\right)$. Assinale a opção correta para os valores esperados da posição, $\langle x \rangle$, do momento linear, $\langle p \rangle$, do quadrado da posição, $\langle x^2 \rangle$, e do quadrado do momento linear, $\langle p^2 \rangle$, e para o produto da incerteza na posição pela incerteza no momento linear, $\sigma_x \sigma_p$, respectivamente. O quadrado da incerteza em uma grandeza O é dado por: $\sigma_O^2 = \langle O^2 \rangle - \langle O \rangle^2$. Dica: Utilize as propriedades de funções pares e ímpares.



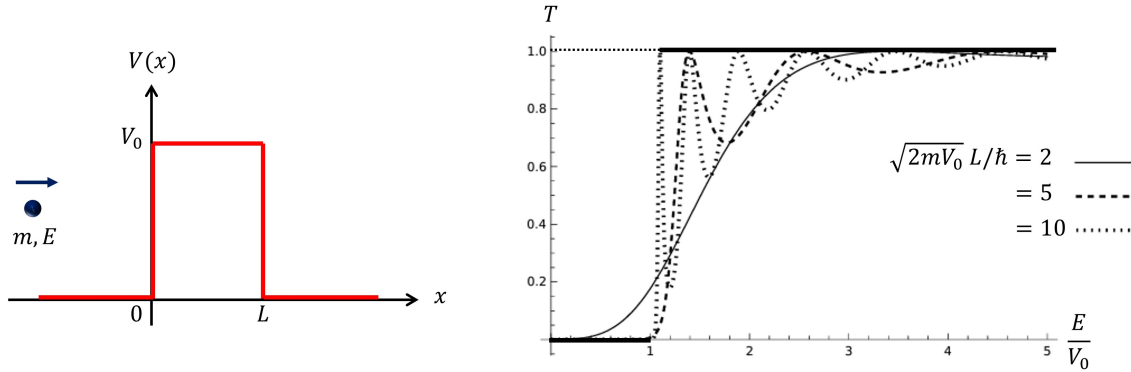
- ☒ 0, 0, $\frac{0,32L^2}{\pi^2}$, $\frac{\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $0,57\hbar$
- ☐ 0, 0, $\frac{0,16L^2}{\pi^2}$, $\frac{\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $0,40\hbar$
- ☐ 0, 0, $\frac{0,32L^2}{\pi^2}$, $\frac{\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $0,40\hbar$
- ☐ 0, 0, $\frac{0,16L^2}{\pi^2}$, $\frac{\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $0,57\hbar$
- ☐ 0, $\sqrt{0,1}\frac{\pi\hbar}{L}$, $\frac{0,32L^2}{\pi^2}$, $1,1\frac{\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $0,57\hbar$

Questão 60 [mq2b] Considere a dinâmica quântica de uma partícula sob a ação do potencial do tipo poço infinito unidimensional de largura L , como mostrado na figura. A função de onda da partícula, que se encontra no segundo estado excitado, é $\Psi(x,t) = \sqrt{\frac{2}{L}} \cos\left(\frac{3\pi}{L}x\right)$. Assinale a opção correta para os valores esperados da posição, $\langle x \rangle$, do momento linear, $\langle p \rangle$, do quadrado da posição, $\langle x^2 \rangle$, e do quadrado do momento linear, $\langle p^2 \rangle$, e para o produto da incerteza na posição pela incerteza no momento linear, $\sigma_x \sigma_p$, respectivamente. O quadrado da incerteza em uma grandeza O é dado por: $\sigma_O^2 = \langle O^2 \rangle - \langle O \rangle^2$. Dica: Utilize as propriedades de funções pares e ímpares.



- ☒ 0, 0, $\frac{0,75L^2}{\pi^2}$, $\frac{9\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $2,6\hbar$
- ☐ 0, 0, $\frac{0,010L^2}{\pi^2}$, $\frac{9\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $0,30\hbar$
- ☐ 0, 0, $\frac{0,010L^2}{\pi^2}$, $\frac{9\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $2,6\hbar$
- ☐ 0, 0, $\frac{0,75L^2}{\pi^2}$, $\frac{9\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $0,30\hbar$
- ☐ 0, $\sqrt{0,1}\frac{3\pi\hbar}{L}$, $\frac{0,75L^2}{\pi^2}$, $1,1\frac{9\pi^2\hbar^2}{L^2}$, $2,6\hbar$

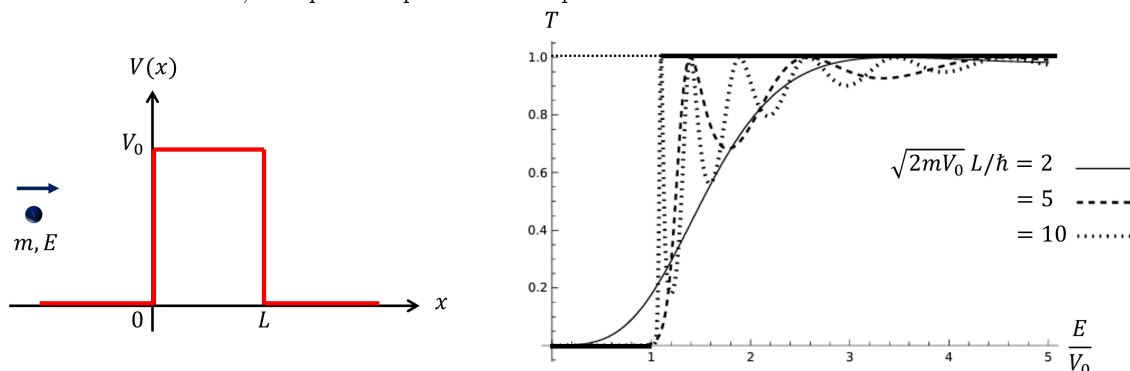
Questão 61 [mq3a] Considere a dinâmica unidimensional de uma partícula de massa m , que é lançada com energia E de encontro a uma barreira de potencial de altura V_0 e largura L , a partir de um ponto à esquerda da barreira, como mostrado na figura abaixo (lado esquerdo). O gráfico (lado direito) mostra a probabilidade de transmissão T da partícula através da barreira em função da razão E/V_0 para quatro casos, indicados pela função degrau em linha sólida grossa e pelas curvas em linhas sólida fina, tracejada e pontilhada. Se V corresponde a uma afirmativa verdadeira e F a uma afirmativa falsa, indique a sequência correspondente às afirmativas abaixo:



- A probabilidade de transmissão dada pela função degrau corresponde ao caso quântico, enquanto as demais correspondem ao caso clássico.
- Ao contrário de uma partícula clássica, uma partícula quântica tem uma probabilidade não nula de atravessar uma barreira de potencial mesmo quando sua energia é menor do que a altura da barreira.
- Ao contrário de uma partícula clássica, uma partícula quântica tem uma probabilidade não nula de ser refletida por uma barreira de potencial mesmo quando sua energia é maior do que a altura da barreira.
- A probabilidade de transmissão quântica se aproxima do comportamento clássico para partículas de maior massa (considerando a mesma barreira de potencial), ou seja, a probabilidade vai a zero quando $E/V_0 < 1$ e atinge 1 em um número cada vez maior de pontos quando $E/V_0 > 1$.

- ☐ F, V, V, V
- ☐ F, V, V, F
- ☐ F, V, F, V
- ☐ V, F, F, F
- ☐ V, F, V, F

Questão 62 [mq3b] Considere a dinâmica unidimensional de uma partícula de massa m , que é lançada com energia E de encontro a uma barreira de potencial de altura V_0 e largura L , a partir de um ponto à esquerda da barreira, como mostrado na figura abaixo (lado esquerdo). O gráfico (lado direito) mostra a probabilidade de transmissão T da partícula através da barreira em função da razão E/V_0 para quatro casos, indicados pela função degrau em linha sólida grossa e pelas curvas em linhas sólida fina, tracejada e pontilhada. Se V corresponde a uma afirmativa verdadeira e F a uma afirmativa falsa, indique a sequência correspondente às afirmativas abaixo:



- A probabilidade de transmissão dada pela função degrau corresponde ao caso clássico, enquanto as demais correspondem ao caso quântico.
- Ao contrário de uma partícula quântica, uma partícula clássica tem uma probabilidade nula de atravessar uma barreira de potencial se sua energia for menor do que a altura da barreira.
- Ao contrário de uma partícula quântica, uma partícula clássica tem uma probabilidade não nula de ser refletida por uma barreira de potencial se sua energia for maior do que a altura da barreira.
- A probabilidade de transmissão quântica se aproxima do comportamento clássico para partículas de menor massa (considerando a mesma barreira de potencial), ou seja, a probabilidade vai a zero quando $E/V_0 < 1$ e atinge 1 em um número cada vez maior de pontos quando $E/V_0 > 1$.

- ☐ V, V, F, F
☐ V, F, F, F
☐ F, F, V, V
☐ V, V, V, F
☐ V, F, V, F

Questão 63 [mq4a] A equação de autovalores do Hamiltoniano de um oscilador harmônico unidimensional é dada por

$$H |n\rangle = E_n |n\rangle,$$

onde $|n\rangle$ são os autoestados ortonormais do hamiltoniano H , $E_n = \hbar\omega(n + 1/2)$ os autovalores de energia correspondentes, e $n = 0, 1, \dots$. Seja $|\psi\rangle = \sqrt{0,5} e^{i\theta_0} |0\rangle + \sqrt{0,3} e^{i\theta_1} |1\rangle + R_2 e^{i\theta_2} |2\rangle$ o vetor de estado normalizado de um dado oscilador harmônico unidimensional, onde θ_0 , θ_1 e θ_2 são constantes reais. A constante real $R_2 > 0$ e o valor esperado da energia desse oscilador valem, respectivamente:

- ☐ $\sqrt{0,2}$ e $1,2 \hbar\omega$
☐ $0,2$ e $0,80 \hbar\omega$
☐ $0,2$ e $1,2 \hbar\omega$
☐ $\sqrt{0,2}$ e $0,80 \hbar\omega$
☐ $0,04$ e $0,70 \hbar\omega$

Questão 64 [mq4b] A equação de de autovalores do Hamiltoniano de um oscilador harmônico unidimensional é dada por

$$H |n\rangle = E_n |n\rangle,$$

onde $|n\rangle$ são os autoestados ortonormais do hamiltoniano H , $E_n = \hbar\omega(n + 1/2)$ os autovalores de energia correspondentes, e $n = 0, 1, \dots$. Seja $|\psi\rangle = \sqrt{0,3} e^{i\theta_0} |0\rangle + \sqrt{0,2} e^{i\theta_1} |1\rangle + R_2 e^{i\theta_2} |2\rangle$ o vetor de estado normalizado de um dado oscilador harmônico unidimensional, onde θ_0 , θ_1 e θ_2 são constantes reais. A constante real $R_2 > 0$ e o valor esperado da energia desse oscilador valem, respectivamente:

☒ $\sqrt{0,5}$ e $1,7 \hbar\omega$

☐ $0,5$ e $1,7 \hbar\omega$

☐ $0,5$ e $1,1 \hbar\omega$

☐ $\sqrt{0,5}$ e $1,1 \hbar\omega$

☐ $0,25$ e $0,61 \hbar\omega$

Questão 65 [mq5a]

A parte angular da função de onda de uma determinada partícula movendo-se em um potencial central é dada por

$$\psi(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \cos \theta \sin \varphi,$$

em que θ e φ são os ângulos polares e azimutal, respectivamente. Quais são os resultados possíveis de medidas da componente z do momento angular orbital L_z dessa partícula?

☒ $-\hbar$ e \hbar

☐ 0

☐ $-2\hbar$ e $2\hbar$

☐ $-\hbar$, 0 e \hbar

☐ $-\hbar/2$ e $\hbar/2$

Questão 66 [mq5b]

A parte angular da função de onda de uma determinada partícula movendo-se em um potencial central é dada por

$$\psi(\theta, \varphi) = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \cos \theta \sin 2\varphi,$$

em que θ e φ são os ângulos polares e azimutal, respectivamente. Quais são os resultados possíveis de medidas da componente z do momento angular orbital L_z dessa partícula?

☒ $-2\hbar$ e $2\hbar$

☐ 0

☐ $-\hbar$ e \hbar

☐ $-\hbar$, 0 e \hbar

☐ $-\hbar/2$ e $\hbar/2$

Questão 67 [mq6a]

Considere uma partícula de massa m movendo-se em uma dimensão sob a ação de um potencial do tipo poço infinito

$$V(x) = \begin{cases} 0, & |x| < a/2 \\ \infty, & |x| \geq a/2 \end{cases},$$

sendo a uma constante positiva com dimensão de comprimento. As soluções para a equação de Schrödinger independente do tempo desse problema podem ser rotuladas por um inteiro positivo n : $H\psi_n(x) = E_n\psi_n(x)$, onde H é o hamiltoniano, $\psi_n(x)$ a autofunção e E_n o auto-valor de energia correspondente ao estado n . Para quais estados teríamos $|\psi_n(x)|^2 = 0$ em $x = 0$?

- ☒ Apenas estados com n par.
- ☐ Apenas o estado fundamental, $n = 1$.
- ☐ Apenas estados com n ímpar.
- ☐ Todos os estados.
- ☐ Todos os estados exceto o estado fundamental.

Questão 68 [mq6b]

Considere uma partícula de massa m movendo-se em uma dimensão sob a ação de um potencial do tipo poço infinito

$$V(x) = \begin{cases} 0, & |x| < a/2 \\ \infty, & |x| \geq a/2 \end{cases},$$

sendo a uma constante positiva com dimensão de comprimento. As soluções para a equação de Schrödinger independente do tempo desse problema podem ser rotuladas por um inteiro positivo n : $H\psi_n(x) = E_n\psi_n(x)$, onde H é o hamiltoniano, $\psi_n(x)$ a autofunção e E_n o auto-valor de energia correspondente ao estado n . Para quais estados teríamos um máximo local de $|\psi_n(x)|^2$ em $x = 0$?

- ☒ Apenas estados com n ímpar
- ☐ Apenas o estado fundamental, $n = 1$
- ☐ Apenas estados com n par.
- ☐ Todos os estados.
- ☐ Todos os estados exceto o estado fundamental.

Questão 69 [mq7a]

Considere dois spins $1/2$, \vec{S}_1 e \vec{S}_2 , cuja interação é descrita por meio do hamiltoniano

$$H = \frac{J}{\hbar^2} \vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2 = \frac{J}{\hbar^2} (S_1^x S_2^x + S_1^y S_2^y + S_1^z S_2^z),$$

em que $J > 0$ tem dimensão de energia. A energia do estado fundamental desse sistema é

- ☒ $-3J/4$
- ☐ 0
- ☐ $-J/4$
- ☐ $J/4$
- ☐ $3J/4$

Questão 70 [mq7b]

Considere dois spins $1/2$, \vec{S}_1 e \vec{S}_2 , cuja interação é descrita por meio do hamiltoniano

$$H = -\frac{J}{\hbar^2} \vec{S}_1 \cdot \vec{S}_2 = -\frac{J}{\hbar^2} (S_1^x S_2^x + S_1^y S_2^y + S_1^z S_2^z),$$

em que $J > 0$ tem dimensão de energia. A energia do estado fundamental desse sistema é

- ☒ $-J/4$
- ☐ 0
- ☐ $-3J/4$
- ☐ $J/4$
- ☐ $3J/4$

Questão 71 [mq8a]

Considere um sistema quântico com um espaço de estados tridimensional e a seguinte representação de um operador quântico J , numa certa base ortonormal do espaço,

$$J = a \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix},$$

onde a é uma constante. Suponha que o sistema esteja no seguinte estado

$$\begin{bmatrix} 1/2 \\ 1/2 \\ 1/\sqrt{2} \end{bmatrix},$$

representado na mesma base. Uma medida da quantidade física associada ao operador J^2 é realizada e o valor a^2 é obtido. Ao medirmos a quantidade física associada ao operador J imediatamente em seguida, podemos afirmar que

- ☒ obtemos $+a$ com probabilidade $1/3$ e $-a$ com probabilidade $2/3$
- ☐ obtemos $+a$ com probabilidade $1/4$, 0 com probabilidade $1/4$ e $-a$ com probabilidade $1/2$
- ☐ obtemos $+a$ com probabilidade $2/3$ e $-a$ com probabilidade $1/3$
- ☐ obtemos 0 com probabilidade 1
- ☐ obtemos $+a$ com probabilidade $1/2$ e 0 com probabilidade $1/2$

Questão 72 [mq8b]

Considere um sistema quântico com um espaço de estados tridimensional e a seguinte representação de um operador quântico J , numa certa base ortonormal do espaço,

$$J = a \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix},$$

onde a é uma constante. Suponha que o sistema esteja no seguinte estado

$$\begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} \\ 1/2 \\ 1/2 \end{bmatrix},$$

representado na mesma base. Uma medida da quantidade física associada ao operador J^2 é realizada e o valor a^2 é obtido. Ao medirmos a quantidade física associada ao operador J imediatamente em seguida, podemos afirmar que

- ☒ obtemos $+a$ com probabilidade $2/3$ e $-a$ com probabilidade $1/3$
- ☐ obtemos $+a$ com probabilidade $1/3$ e $-a$ com probabilidade $2/3$
- ☐ obtemos $+a$ com probabilidade $1/2$, 0 com probabilidade $1/4$ e $-a$ com probabilidade $1/4$
- ☐ obtemos 0 com probabilidade 1
- ☐ obtemos $+a$ com probabilidade $1/2$ e 0 com probabilidade $1/2$

Questão 73 [fe1a] Considere um sistema de duas partículas interagentes 1 e 2, ambas em contato com um mesmo reservatório térmico de temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. Cada partícula é caracterizada pela variável n_i ($i = 1, 2$), que pode assumir os valores 0 ou 1. A energia do sistema vale $\epsilon(n_1 + n_2)$ se $n_1 \neq n_2$ e $\epsilon(n_1 + n_2) + \Delta$ se $n_1 = n_2$, onde ϵ e Δ são constantes positivas. A probabilidade do sistema estar no estado de maior energia é dada por:

- ☒ $\frac{e^{-\beta(2\epsilon+\Delta)}}{e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-\beta(2\epsilon+\Delta)}}$
- ☐ $\frac{e^{-\beta\Delta}}{e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-\beta(2\epsilon+\Delta)}}$
- ☐ $\frac{e^{-\beta\Delta}}{e^{-\beta\Delta} + e^{-\beta\epsilon} + e^{-\beta(\epsilon+\Delta)}}$
- ☐ $\frac{e^{-\beta\Delta}}{e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon}}$
- ☐ $\frac{1}{1 + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon}}$

Questão 74 [fe1b] Considere um sistema de duas partículas interagentes 1 e 2, ambas em contato com um mesmo reservatório térmico de temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. Cada partícula é caracterizada pela variável n_i ($i = 1, 2$), que pode assumir os valores 0 ou 1. A energia do sistema vale $\epsilon(n_1 + n_2)$ se $n_1 \neq n_2$ e $\epsilon(n_1 + n_2) + \Delta$ se $n_1 = n_2$, onde ϵ e Δ são constantes positivas. A probabilidade do sistema ocupar o estado com energia Δ é dada por:

- ☒ $\frac{e^{-\beta\Delta}}{e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-\beta(2\epsilon+\Delta)}}$
- ☐ $\frac{e^{-\beta(2\epsilon+\Delta)}}{e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-\beta(2\epsilon+\Delta)}}$
- ☐ $\frac{e^{-\beta\Delta}}{e^{-\beta\Delta} + e^{-\beta\epsilon} + e^{-\beta(\epsilon+\Delta)}}$
- ☐ $\frac{e^{-\beta\Delta}}{e^{-\beta\Delta} + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon}}$
- ☐ $\frac{1}{1 + 2e^{-\beta\epsilon} + e^{-2\beta\epsilon}}$

Questão 75 [fe2a] Considere um sistema formado por N partículas independentes em contato com um reservatório térmico à temperatura T ($\beta = 1/k_B T$), no qual cada partícula pode assumir valores de energia $\epsilon_n = n\epsilon$, onde $\epsilon > 0$ e $n = 1, 3, 5, 7, \dots$. A expressão para a energia total média do sistema U é dada por:

- ☒ $U = N\epsilon \left(\frac{e^{2\beta\epsilon} + 1}{e^{2\beta\epsilon} - 1} \right)$
- ☐ $U = N\epsilon \left(\frac{e^{2\beta\epsilon} - 1}{e^{2\beta\epsilon} + 1} \right)$
- ☐ $U = N\epsilon \left(\frac{e^{\beta\epsilon} + 1}{e^{\beta\epsilon} - 1} \right)$
- ☐ $U = N\epsilon \left(\frac{e^{\beta\epsilon} - 1}{e^{\beta\epsilon} + 1} \right)$
- ☐ $U = N\epsilon$

Questão 76 [fe2b] Considere um sistema formado por N partículas independentes em contato com um reservatório térmico à temperatura T ($\beta = 1/k_B T$), no qual cada partícula pode assumir valores de energia $\epsilon_n = n\epsilon$, onde $\epsilon > 0$ e $n = 0, 2, 4, 6, \dots$. A expressão para a energia total média do sistema U é dada por:

■ $U = \frac{2N\epsilon}{e^{2\beta\epsilon} - 1}$

□ $U = N\epsilon \left(\frac{e^{\beta\epsilon} - 1}{e^{\beta\epsilon} + 1} \right)$

□ $U = \frac{2N\epsilon}{e^{2\beta\epsilon} + 1}$

□ $U = \frac{N\epsilon}{e^{\beta\epsilon} - 1}$

□ $U = N\epsilon \left(\frac{e^{\beta\epsilon} + 1}{e^{\beta\epsilon} - 1} \right)$

Questão 77 [fe3a] Considere um oscilador harmônico unidimensional em contato com um reservatório térmico à temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$] descrito pela Hamiltoniana

$$\mathcal{H} = \frac{p^2}{2M} + V(q), \quad (1)$$

onde $V(q) = \frac{M\omega^2 q^2}{2}$, se $q > 0$, e $V(q) = \epsilon + \frac{M\omega^2 q^2}{2}$, se $q < 0$. A expressão para a função de partição canônica é dada por:

■ $Z = \frac{\pi}{\beta h \omega} (1 + e^{-\beta\epsilon})$

□ $Z = \frac{\pi}{\beta h \omega}$

□ $Z = \frac{\pi}{\beta h \omega} (1 - e^{-\beta\epsilon})$

□ $Z = \frac{\pi}{\beta h \omega} (1 + e^{\beta\epsilon})$

□ $Z = \frac{\pi}{\beta h \omega} (1 - e^{\beta\epsilon})$

Questão 78 [fe3b] Considere um oscilador harmônico unidimensional em contato com um reservatório térmico à temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$] descrito pela Hamiltoniana

$$\mathcal{H} = \frac{p^2}{2M} + V(q), \quad (2)$$

onde $V(q) = -\frac{\epsilon}{2} + \frac{M\omega^2 q^2}{2}$, se $q > 0$, e $V(q) = \frac{\epsilon}{2} + \frac{M\omega^2 q^2}{2}$, se $q < 0$. A expressão para a função de partição canônica é dada por:

■ $Z = \frac{2\pi}{\beta h \omega} \cosh \left(\frac{\beta\epsilon}{2} \right)$

□ $Z = \frac{2\pi}{\beta h \omega} \sinh \left(\frac{\beta\epsilon}{2} \right)$

□ $Z = \frac{2\pi}{\beta h \omega} (1 + e^{-\frac{\beta\epsilon}{2}})$

□ $Z = \frac{\pi}{\beta h \omega}$

□ $Z = \frac{\pi}{\beta h \omega} (1 - e^{\frac{\beta\epsilon}{2}})$

Questão 79 [fe4a] Um sistema é formado por N íons magnéticos localizados e independentes, em contato com um reservatório à temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. Cada íon tem energia dada por $\epsilon = -\mu_0 h S_i + D S_i^2$, onde μ_0, h, D e S_i denotam, respectivamente, o magneton de Bohr, a intensidade do campo magnético externo, o campo cristalino e a variável de spin, respectivamente, esta última podendo assumir os valores $S_i = -3, -1, 1, 3$. A expressão para o momento de quadrupolo médio por íon $q = \sum_{i=1}^N \langle S_i^2 \rangle / N$ é dada por

■ $q = \frac{9e^{-9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{-\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h)}{e^{-9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{-\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h)}$

B $q = \frac{9e^{-9\beta D} \sinh(3\beta\mu_0 h) + e^{-\beta D} \sinh(\beta\mu_0 h)}{e^{-9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{-\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h)}$

C $q = -\frac{9e^{9\beta D} \sinh(3\beta\mu_0 h) + e^{\beta D} \sinh(\beta\mu_0 h)}{e^{9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h)}$

D $q = -\frac{9e^{9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h)}{e^{9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h)}$

E $q = \frac{2 \cosh(\beta\mu_0 h)}{e^{\beta D} + 2 \cosh(\beta\mu_0 h)}$

Questão 80 [fe4b] Um sistema é formado por N íons magnéticos localizados e independentes, em contato com um reservatório à temperatura T [$\beta = (k_B T)^{-1}$]. Cada íon tem energia dada por $\epsilon = -\mu_0 h S_i + D S_i^2$, onde μ_0, h, D e S_i denotam, respectivamente, o magneton de Bohr, a intensidade do campo magnético externo, o campo cristalino e a variável de spin, respectivamente, esta última podendo assumir os valores $S_i = -3, -1, 1, 3$. A expressão para a magnetização média por íon $m = \sum_{i=1}^N \langle S_i \rangle / N$ é dada por

■ $m = \frac{3\mu_0 e^{-9\beta D} \sinh(3\beta\mu_0 h) + \mu_0 e^{-\beta D} \sinh(\beta\mu_0 h)}{e^{-9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{-\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h)}$

B $m = \frac{3\mu_0 e^{9\beta D} \sinh(3\beta\mu_0 h) + \mu_0 e^{\beta D} \sinh(\beta\mu_0 h)}{e^{9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h)}$

C $m = 2\mu_0 \tanh(\beta\mu_0 h) (e^{-9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{-\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h))$

D $m = 2\mu_0 \tanh(\beta\mu_0 h)$

E $m = \frac{\mu_0 e^{\beta D}}{e^{-9\beta D} \cosh(3\beta\mu_0 h) + e^{-\beta D} \cosh(\beta\mu_0 h)}$

Folha de Respostas

22023EUF0001**João Ninguém**QUESTÃO 1 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 2 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 3 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 4 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 5 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 6 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 7 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 8 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 9 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 10 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 11 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 12 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 13 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 14 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 15 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 16 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 17 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 18 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 19 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 20 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 21 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 22 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 23 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 24 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 25 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 26 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 27 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 28 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 29 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 30 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 31 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 32 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 33 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 34 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 35 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 36 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 37 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 38 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 39 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 40 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 41 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 42 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 43 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 44 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 45 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 46 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 47 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ EQUESTÃO 48 : ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

CATALOG

QUESTÃO 49 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 50 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 51 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 52 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 53 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 54 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 55 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 56 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 57 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 58 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 59 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 60 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 61 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 62 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 63 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 64 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 65 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 66 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 67 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 68 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 69 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 70 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 71 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 72 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 73 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 74 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 75 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 76 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 77 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 78 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 79 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

QUESTÃO 80 : ☐ ☐ B ☐ C ☐ D ☐ E

CATALOG