**Questão EM1A**

Uma certa quantidade de carga $Q$ é dividida em duas partes, $q$ e $Q - q$, as quais são em seguida afastadas por uma distância $d$. Qual é a relação entre $q$ e a carga inicial $Q$ para que a repulsão eletrostática entre as duas partes seja máxima?

.

- [x] a) $q = \frac{Q}{2}$
- [ ] b) $q = \frac{Q}{4}$
- [ ] c) $q = \ln(Q + 1)$
- [ ] d) $q = \ln(2)Q$
- [ ] e) $q = \frac{\ln(2)}{2}Q$

### Questão EM1B

Uma certa quantidade de carga $-Q$ é dividida em duas partes, $-q$ e $-Q+q$, as quais são em seguida afastadas por uma distância $d$. Qual é a relação entre $-q$ e a carga inicial $-Q$ para que a repulsão eletrostática entre as duas partes seja máxima?

.

- [x] a) $-q = -\frac{Q}{2}$
- [ ] b) $-q = -\frac{Q}{4}$
- [ ] c) $-q = -\ln(|Q|+1)$
- [ ] d) $-q = -\ln(2)Q$
- [ ] e) $-q = -\frac{\ln(2)}{2}Q$

### Questão EM2A

Um elétron de carga $-e$ e massa $m_e$ é colocado em um ponto do eixo central de um anel fino de raio $R$. O anel é positivamente carregado, possuindo uma densidade linear de carga uniforme $\lambda$, sendo a distância do elétron ao plano do anel dada por $z$. O elétron está confinado a se mover apenas ao longo do eixo do anel. Devido à força eletrostática, ele realiza oscilações de pequena amplitude na vizinhança do centro do anel. Qual é a frequência angular $\omega$ de oscilação do elétron no caso em que $z \ll R$?

.

- [x] a) $\omega = \sqrt{\frac{\lambda e}{2\epsilon_0 m_e R^2}}$
- [ ] b) $\omega = \sqrt{\frac{\lambda e}{2\epsilon_0 m_e z R}}$
- [ ] c) $\omega = \sqrt{\frac{\lambda e z}{2\epsilon_0 m_e R^3}}$
- [ ] d) $\omega = \sqrt{\frac{\lambda e}{\epsilon_0 m_e R^2}}$
- [ ] e) $\omega = \sqrt{\frac{\lambda e}{\epsilon_0 m_e z R}}$

**Questão EM2B**

Um elétron de carga $-e$ e massa $m_e$ é colocado em um ponto do eixo central de um anel fino de raio $R$. O anel possui uma carga positiva $Q$ distribuída uniformemente ao longo da sua circunferência, sendo a distância do elétron ao plano do anel dada por $z$. O elétron está confinado a se mover apenas ao longo do eixo do anel. Devido à força eletrostática, ele realiza oscilações de pequena amplitude na vizinhança do centro do anel. Qual é a frequência angular $\omega$ de oscilação do elétron no caso em que $z \ll R$?

.

- [x] a) $\omega = \sqrt{\frac{eQ}{4\pi\epsilon_0 m_e R^3}}$
- [ ] b) $\omega = \sqrt{\frac{eQ}{4\pi\epsilon_0 m_e z R^2}}$
- [ ] c) $\omega = \sqrt{\frac{eQz}{4\pi\epsilon_0 m_e R^4}}$
- [ ] d) $\omega = \sqrt{\frac{eQ}{2\pi\epsilon_0 m_e R^3}}$
- [ ] e) $\omega = \sqrt{\frac{eQ}{2\pi\epsilon_0 m_e z R^2}}$

### Questão EM3A

Considere dois capacitores cilíndricos, cada um deles formado por duas cascas cilíndricas coaxiais muito finas e longas, de comprimento $L$. A casca interna está carregada com carga $+Q$ e a casca externa está carregada com carga $-Q$. As cascas do primeiro capacitor têm raios $a$ e $b$, enquanto que as do segundo capacitor têm raios $a$ e $b'$ (considere $b > a$ e $b' > a$). Qual deve ser o valor de $b'$ para que a energia potencial elétrica total acumulada no campo elétrico do segundo capacitor seja metade da energia potencial elétrica total acumulada no campo elétrico do primeiro capacitor? Encontre $b'$ em termos de $a$ e $b$.

.

- [x] a) $b' = a^{\frac{1}{2}} b^{\frac{1}{2}}$
- [ ] b) $b' = \frac{b^2}{a}$
- [ ] c) $b' = \frac{b^3}{a^2}$
- [ ] d) $b' = \frac{b^2}{2a}$
- [ ] e) $b' = a^{\frac{3}{4}} b^{\frac{1}{4}}$

**Questão EM3B**

Um capacitor cilíndrico é formado por duas cascas cilíndricas coaxiais muito finas e longas, de comprimento $L$ e raios $a$ e $b$ ($b > a$). A casca interna está carregada com carga $+Q$ e a casca externa está carregada com carga $-Q$. Qual é a energia potencial elétrica total $U_{tot}$ armazenada no capacitor?

.

- [x] a) $U_{tot} = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 L} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$
- [ ] b) $U_{tot} = \frac{Q^2}{2\pi\epsilon_0 L} \ln\left(\frac{b}{a}\right)$
- [ ] c) $U_{tot} = \frac{Q^2}{2\pi\epsilon_0 L} \ln\left(\frac{b}{b-a}\right)$
- [ ] d) $U_{tot} = \frac{Q^2}{4\pi\epsilon_0 L^2}(b-a) \ln\left(\frac{b}{a}\right)$
- [ ] e) $U_{tot} = \frac{Q^2}{2\pi\epsilon_0 L^2}(2b-a) \ln\left(\frac{b}{b-a}\right)$

**Questão EM4A**

Considere dois fios longos paralelos, ambos com raio $a$. Os eixos centrais dos fios são separados por uma distância $D$. Os fios transportam correntes elétricas iguais, mas com sentidos contrários. Desprezando o fluxo no interior dos fios, qual é a indutância $L$ de um comprimento $l$ deste par de fios?

.

- [x] a) $L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln\left(\frac{D-a}{a}\right)$
- [ ] b) $L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} \ln\left(\frac{D-a}{a}\right)$
- [ ] c) $L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln\left(\frac{D+a}{a}\right)$
- [ ] d) $L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} \ln\left(\frac{D+a}{a}\right)$
- [ ] e) $L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} \ln\left(\sqrt{\frac{D-a}{a}}\right)$

### Questão EM4B

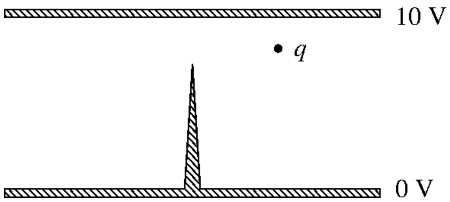
Considere dois fios longos paralelos, ambos com raio $a$. Os eixos centrais dos fios são separados por uma distância $D = 20a$. Os fios transportam correntes elétricas iguais, mas com sentidos contrários. Desprezando o fluxo no interior dos fios, qual é a indutância $L$ de um comprimento $l$ deste par de fios?

.

- [x] a) $L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln(19)$
- [ ] b) $L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} \ln(19)$
- [ ] c) $L = \frac{\mu_0 l}{\pi} \ln(21)$
- [ ] d) $L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} \ln(21)$
- [ ] e) $L = \frac{\mu_0 l}{4\pi} \ln\left(\sqrt{19}\right)$

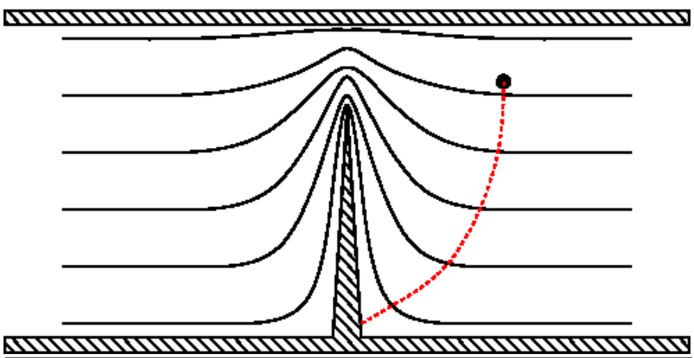
Questão EM5A

A figura abaixo ilustra duas superfícies metálicas em diferentes potenciais elétricos. Entre elas há uma carga de prova *q*>0 de massa desprezível inicialmente em repouso.

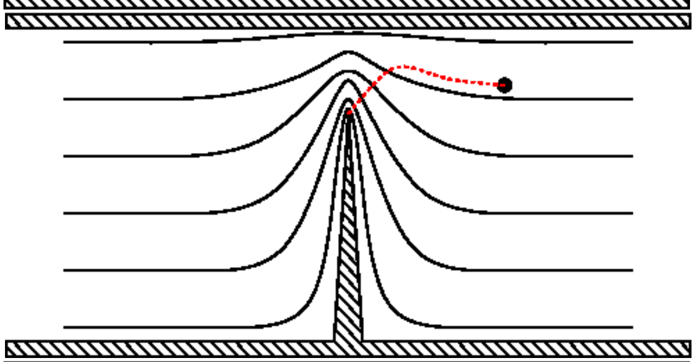



Assinale abaixo a alternativa que melhor representa as equipotenciais (linhas contínuas) e a trajetória da partícula (linha tracejada).

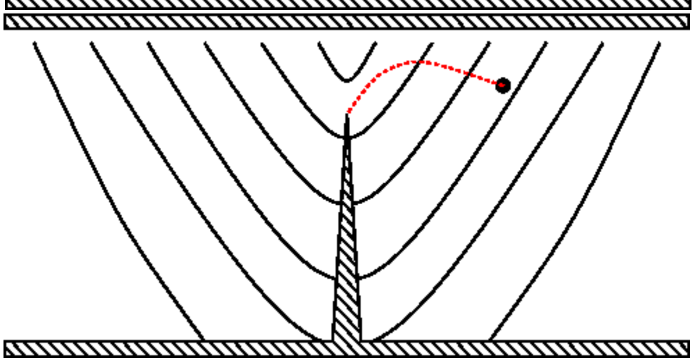
- [x] a)



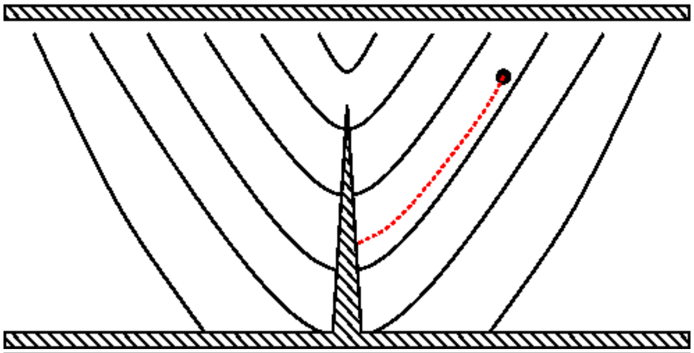
- [ ] b)



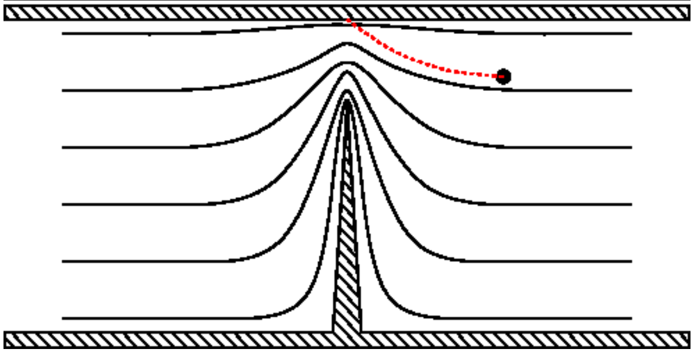
- [ ] c)



- [ ] d)

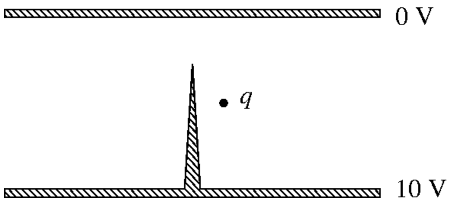


- [ ] e)



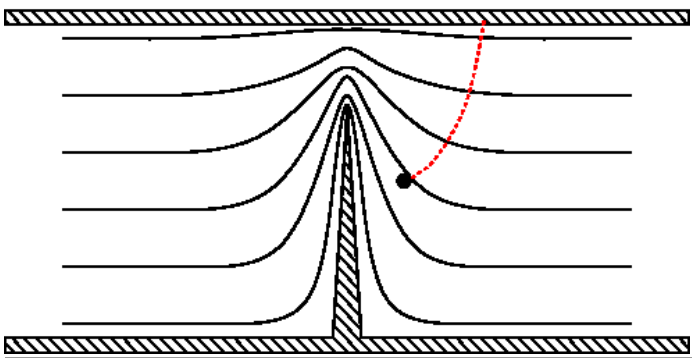
**Questão EM5B**

A figura abaixo ilustra duas superfícies metálicas em diferentes potenciais elétricos. Entre elas há uma carga de prova *q*>0 de massa desprezível inicialmente em repouso.

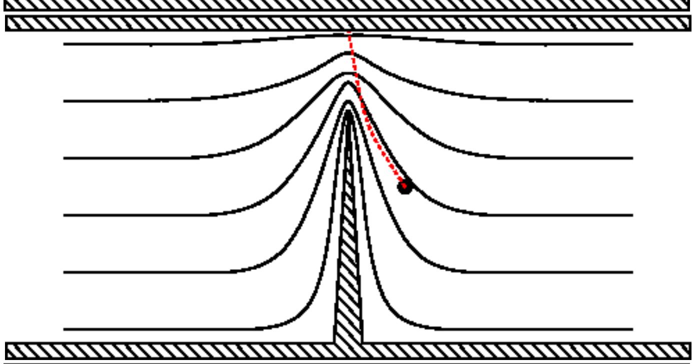



Assinale abaixo a alternativa que melhor representa as equipotenciais (linhas contínuas) e a trajetória da partícula (linha tracejada).

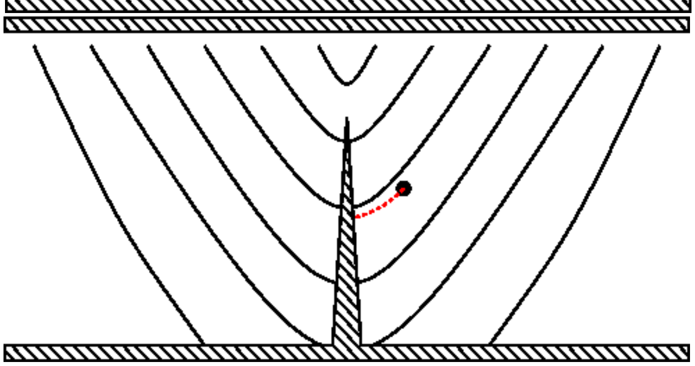
- [x] a)



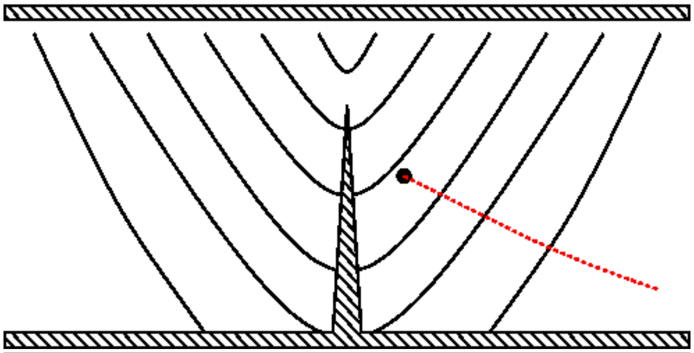
- [ ] b)



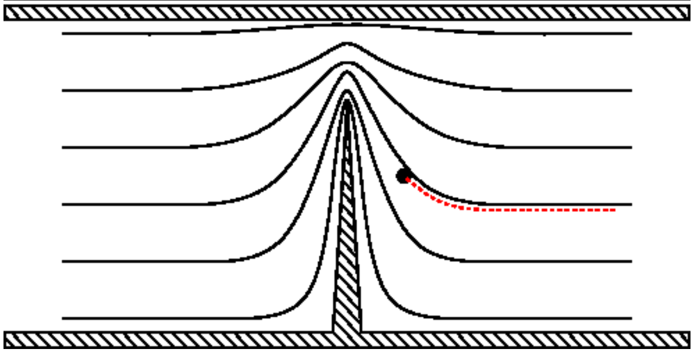
- [ ] c)



d)

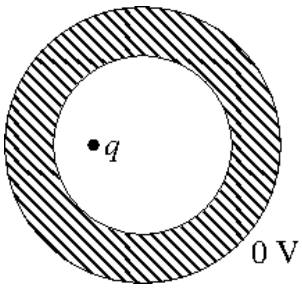


e)

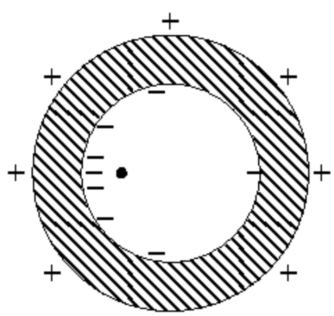
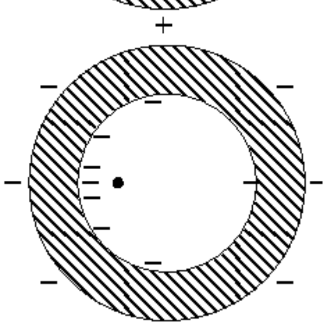
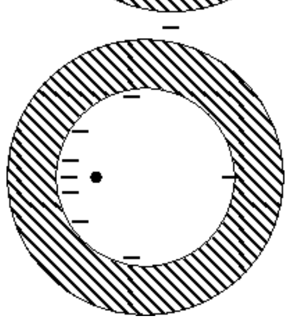


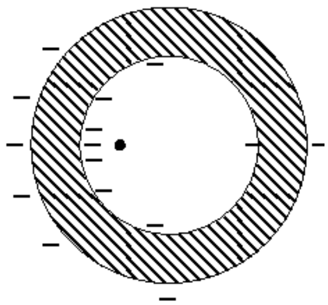
Questão EM6A

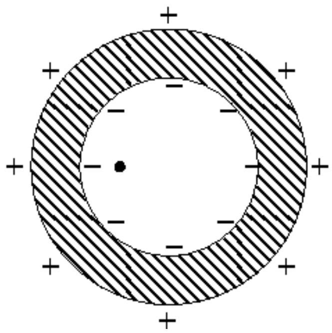
A figura abaixo ilustra uma casca esférica espessa, perfeitamente condutora, isolada e neutra. Uma carga pontual $q$>0 está fixa dentro da esfera (fora do centro) como ilustrado.




Assinale abaixo a alternativa que melhor representa a densidade de cargas sobre as superfícies da casca esférica.

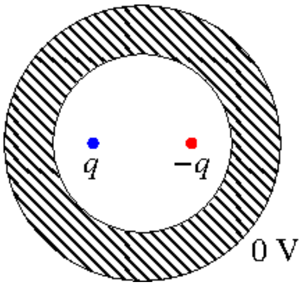
- [x] a) 
- [ ] b) 
- [ ] c) 

d) 

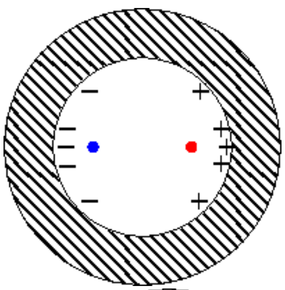
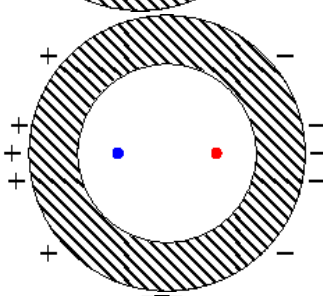
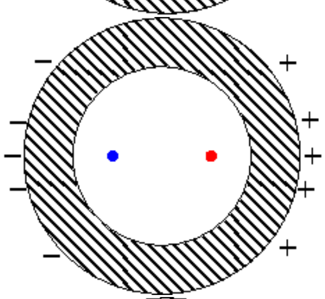
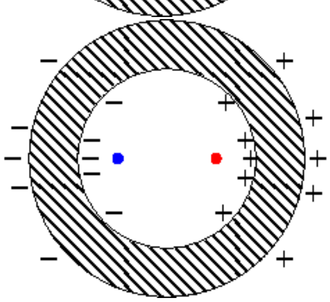
e) 

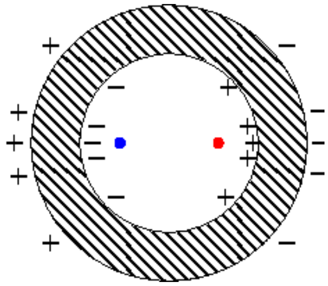
Questão EM6B

A figura abaixo ilustra uma casca esférica espessa, perfeitamente condutora, isolada e neutra. Um dipolo elétrico ($q$>0) está fixo dentro da esfera como ilustrado.



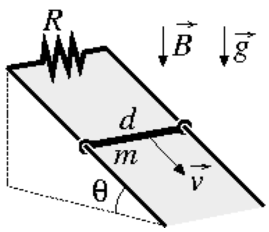

Assinale abaixo a alternativa que melhor representa a densidade de cargas sobre as superfícies da casca esférica.

- [x] a) 
- [ ] b) 
- [ ] c) 
- [ ] d) 

e) 

Questão EM7A

Uma barra metálica de massa $m$, comprimento $d$ e resistência elétrica desprezível desliza com velocidade $v$ por trilhos fixos de fios paralelos e perfeitamente condutores como ilustra a figura abaixo.

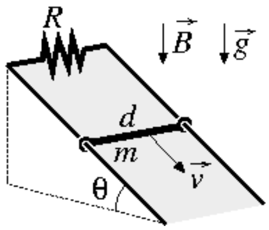



O plano dos trilhos faz um ângulo θ com a horizontal e está numa região onde há um campo magnético constante de magnitude $B$ paralelo ao campo gravitacional de magnitude $g$. Os fios do trilho são conectados por um fio condutor de resistência $R$. O módulo da componente da força magnética sobre a barra ao longo do plano do trilho é

- [x] a) $B^2d^2v \cos^2(\theta)\ /\ R$
- [ ] b) $B^2d^2v \sin(\theta)\cos(\theta)\ /\ R$
- [ ] c) $Bdv \cos^2(\theta)\ /\ R$
- [ ] d) $Bdv \cos(\theta)\sin(\theta)\ /\ R$
- [ ] e) $B^2d^2v \cos(\theta)\ /\ R$

Questão EM7B

Uma barra metálica de massa $m$, comprimento $d$ e resistência elétrica desprezível desliza sem atrito por trilhos fixos de fios paralelos e perfeitamente condutores como ilustra a figura abaixo.




O plano dos trilhos faz um ângulo θ com a horizontal e está numa região onde há um campo magnético constante de magnitude $B$ paralelo ao campo gravitacional de magnitude $g$. Os fios do trilho são conectados por um fio condutor de resistência $R$. A velocidade terminal $v$ com que a barra desliza ao longo do plano do trilho é

- [x] a) $mgR \sin(\theta) \;/\; (B^2 d^2 \cos^2(\theta))$
- [ ] b) $mgR \;/\; (B^2 d^2 \cos(\theta))$
- [ ] c) $mgR \sin(\theta) \;/\; (Bd \cos^2(\theta))$
- [ ] d) $mgR \;/\; (Bd \cos(\theta))$
- [ ] e) $mgR \sin(\theta) \;/\; (B^2 d^2 \cos(\theta))$

Questão EM8A

Numa determinada região do espaço longe de quaisquer cargas e correntes há um campo magnético de intensidade $B_0\cos(k(x\text{-}ct))$ que está na direção $z$ de um sistema de coordenadas. $B_0$ e $k$ são constantes e $c$ é a velocidade da luz no vácuo.

A intensidade e a direção do vetor de Poynting correspondente são, respectivamente,

- [x] a) $(c/\mu_0)(B_0)^2\cos^2(k(x\text{-}ct))$ e $x$
- [ ] b) $-(c/\mu_0)(B_0)^2\cos^2(k(x\text{-}ct))$ e $y$
- [ ] c) $(c/\mu_0)(B_0)^2\sin(k(x\text{-}ct))\cos(k(x\text{-}ct))$ e $x$
- [ ] d) $-(c/\mu_0)(B_0)^2\sin(k(x\text{-}ct))\cos(k(x\text{-}ct))$ e $y$
- [ ] e) 0

Questão EM8B

Numa determinada região do espaço longe de quaisquer cargas e correntes há um campo magnético de intensidade $B_0\cos(k(x\text{-}ct))$ que aponta na direção z de um sistema de coordenadas. $B_0$ e $k$ são constantes e $c$ é a velocidade da luz no vácuo.

A intensidade luminosa total é

- [x] a) em média igual a $c(B_0)^2 / (2\mu_0)$ e a onda eletromagnética se propaga na direção $x$
- [ ] b) em média igual a $c(B_0)^2 / (2\mu_0)$ e a onda eletromagnética se propaga na direção $-y$
- [ ] c) em média igual a $c(B_0)^2 / (2\mu_0)$ e a onda eletromagnética se propaga na direção $z$
- [ ] d) em média igual a zero e instantaneamente igual a $c(B_0)^2 \sin(2k(x\text{-}ct)) / (2\mu_0)$
- [ ] e) nula tanto em média quanto instantaneamente

### Questão TE5A

Um átomo tem níveis de energia $0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, ...,$ com 1, 2, 1, .... sendo suas respectivas degenerescências. Ele está em equilíbrio um reservatório térmico a temperatura $T$ que é baixa o suficiente para que $e^{-\beta\varepsilon_j}$ possa ser completamente desprezada para todas as energias $\varepsilon_j$, $j \geq 3$. A energia média $\langle\varepsilon\rangle$ deste átomo é dada por:

.

- [x] a) $\dfrac{2\varepsilon_1 e^{-\beta\varepsilon_1} + \varepsilon_2 e^{-\beta\varepsilon_2}}{1 + 2e^{-\beta\varepsilon_1} + e^{-\beta\varepsilon_2}}$
- [ ] b) $\dfrac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{3}$
- [ ] c) $\dfrac{(2\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{4}$
- [ ] d) $\dfrac{\varepsilon_1 e^{-\beta\varepsilon_1} + \varepsilon_2 e^{-\beta\varepsilon_2}}{1 + e^{-\beta\varepsilon_1} + e^{-\beta\varepsilon_2}}$
- [ ] e) $\dfrac{\varepsilon_1 e^{-2\beta\varepsilon_1} + \varepsilon_2 e^{-\beta\varepsilon_2}}{1 + e^{-2\beta\varepsilon_1} + e^{-\beta\varepsilon_2}}$

### Questão TE5B

Um átomo tem níveis de energia $0, \varepsilon_1, \varepsilon_2, ...,$ com 1, 2, 3, .... sendo suas respectivas degenerescências. Ele está em equilíbrio com um reservatório térmico a temperatura $T$ que é baixa o suficiente para que $e^{-\beta\varepsilon_j}$ possa ser completamente desprezada para todas as energias $\varepsilon_j$, $j \geq 3$. A energia média $\langle\varepsilon\rangle$ deste átomo é dada por:

.

- [x] a) $\dfrac{2\varepsilon_1 e^{-\beta\varepsilon_1} + 3\varepsilon_2 e^{-\beta\varepsilon_2}}{1 + 2e^{-\beta\varepsilon_1} + 3e^{-\beta\varepsilon_2}}$
- [ ] b) $\dfrac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3)}{3}$
- [ ] c) $\dfrac{(2\varepsilon_2 + 3\varepsilon_3)}{5}$
- [ ] d) $\dfrac{\varepsilon_1 e^{-\beta\varepsilon_1} + \varepsilon_2 e^{-\beta\varepsilon_2}}{1 + e^{-\beta\varepsilon_1} + e^{-\beta\varepsilon_2}}$
- [ ] e) $\dfrac{\varepsilon_1 e^{-2\beta\varepsilon_1} + \varepsilon_2 e^{-3\beta\varepsilon_2}}{1 + e^{-2\beta\varepsilon_1} + e^{-3\beta\varepsilon_2}}$

## Questão TE6A

O número de microestados acessíveis $\Omega(E,V,N)$ de um gás com $N$ átomos, encerrados em uma caixa de volume $V$ com energia entre $E$ e $E+\delta E$ é dado pela relação de proporcionalidade

$$\Omega(E,V,N) \propto E^{\frac{3N}{2}} V^N$$

Supondo que o gás se encontre a uma pressão $p = 10^5$ Pa e a temperatura $T = 400$ K, podemos dizer que a densidade $\rho = \frac{N}{V}$ deste gás multiplicada pela constante de Boltzmann $k_B$ é dada por:

.

- [x] a) $250 \ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$
- [ ] b) $50 \ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$
- [ ] c) $30 \ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$
- [ ] d) $100 \ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$
- [ ] e) $25 \ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$

### Questão TE6B

O número de microestados acessíveis $\Omega(E, V, N)$ de um gás com $N$ átomos, encerrados em uma caixa de volume $V$ com energia entre $E$ e $E + \delta E$, é dado pela relação de proporcionalidade

$$\Omega(E, V, N) \propto E^{\frac{3N}{2}} V^N$$

Supondo que o gás se encontre a uma pressão $p = 9.10^4$ Pa e a temperatura $T = 300$ K, podemos dizer que a densidade $\rho = \frac{N}{V}$ deste gás multiplicada pela constante de Boltzmann $k_B$ é dada por:

.

- [x] a) $300\ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$
- [ ] b) $200\ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$
- [ ] c) $900\ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$
- [ ] d) $30\ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$
- [ ] e) $10\ \frac{\mathrm{Pa}}{\mathrm{K}}$

## Questão TE7A

Uma balança muito sensível consiste de uma mola de quartzo suspensa por um suporte fixo. A balança está à uma temperatura $T$ em equilíbrio com o ambiente. A menos de uma constante relativa ao referencial adotado, a energia de uma massa $m$, com momento $p$, suspensa pela mola quando deformada de uma quantidade $x$, é descrita por:

$$E(x) = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}\alpha(x - \frac{mg}{\alpha})^2,$$

onde $\alpha$ é a constante elástica da mola e $g$ a aceleração gravitacional.

Sendo $\beta = 1/(k_B T)$, onde $k_B$ é a constante de Boltzmann, podemos dizer que a elongação média da mola $\langle x \rangle$, e a dispersão $\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle$ nesta elongação, neste sistema clássico, são dadas respectivamente por:

.

- [x] a) $\langle x \rangle = \dfrac{mg}{\alpha}$ , $\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle = \dfrac{1}{\alpha\beta}$
- [ ] b) $\langle x \rangle = \dfrac{mg}{\alpha}$ , $\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle = \dfrac{m^2 g^2}{\alpha^2}$
- [ ] c) $\langle x \rangle = \dfrac{mg}{\alpha}$ , $\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle = \dfrac{\alpha + \beta m^2 g^2}{\beta\alpha^2}$
- [ ] d) $\langle x \rangle = 0$ , $\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle = \dfrac{\alpha + \beta m^2 g^2}{\beta\alpha^2}$
- [ ] e) $\langle x \rangle = \sqrt{\dfrac{1}{\alpha\beta}}$ , $\langle (x - \langle x \rangle)^2 \rangle = \dfrac{m^2 g^2}{\alpha^2}$

**Questão TE7B**

Uma balança muito sensível consiste de uma mola de quartzo suspensa por um suporte fixo. A balança está à uma temperatura $T$ em equilíbrio com o ambiente. A menos de uma constante relativa ao referencial adotado, a energia de uma massa $m$, com momento $p$, suspensa pela mola quando deformada de uma quantidade $x$, é descrita por:

$$E(x,p) = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2}\alpha(x - \frac{mg}{\alpha})^2,$$

onde $\alpha$ é a constante elástica da mola e $g$ a aceleração gravitacional.

Sendo $\beta = 1/(k_B T)$, onde $k_B$ é a constante de Boltzmann, podemos dizer que a elongação média da mola $\langle x \rangle$, e seu segundo momento $\langle x^2 \rangle$, neste sistema clássico, são dadas respectivamente por:

.

- [x] a) $\langle x \rangle = \dfrac{mg}{\alpha}$ , $\langle x^2 \rangle = \dfrac{\alpha + \beta m^2 g^2}{\beta \alpha^2}$
- [ ] b) $\langle x \rangle = \dfrac{mg}{\alpha}$ , $\langle x^2 \rangle = \dfrac{m^2 g^2}{\alpha^2}$
- [ ] c) $\langle x \rangle = \dfrac{mg}{\alpha}$ , $\langle x^2 \rangle = \dfrac{1}{\alpha \beta}$
- [ ] d) $\langle x \rangle = 0$ , $\langle x^2 \rangle = \dfrac{1 + \beta m^2 g^2}{\beta \alpha^2}$
- [ ] e) $\langle x \rangle = \sqrt{\dfrac{1}{\alpha \beta}}$ , $\langle x^2 \rangle = \dfrac{m^2 g^2}{\alpha^2}$

**Questão TE8A**

Considere duas situações possíveis para um gás clássico de particulas livres/ideais de massa $m$. Na situação I, o sistema é composto por dois compartimentos completamente isolados um do outro por uma parede (fixa, impermeável e adiabática), com $N/2$ átomos em cada compartimento de volume $V/2$ e ambos mantidos à temperatura $T$ uma vez que estão em contato com o mesmo reservatório térmico. Em uma situação II, a parede é removida, e agora o sistema em equilíbrio com o reservatório à temperatura $T$ tem os mesmos $N$ átomos que passam a ocupar o volume todo $V$. A razão entre as funções de partição na situação I e na situação II, $\frac{Z_I}{Z_{II}}$, é dada por:

.

- [x] a) $\dfrac{N!}{2^N (N/2)!^2}$
- [ ] b) Esta razão deve depender linearmente da temperatura
- [ ] c) $\dfrac{N!}{2^N}$
- [ ] d) $2^N$
- [ ] e) $\dfrac{N!}{(N/2)!^2}$

**Questão TE8B**

Considere duas situações possíveis para um gás clássico de particulas livres/ideais de massa $m$. Na situação I, o sistema é composto por dois compartimentos completamente isolados um do outro por uma parede (fixa, impermeável e adiabática), com $N/2$ átomos em cada compartimento de volume $V/2$ e ambos mantidos à temperatura $T$ uma vez que estão em contato com o mesmo reservatório térmico. Em uma situação II, a parede é removida, e agora o sistema em equilíbrio com o reservatório à temperatura $T$ tem os mesmos $N$ átomos que passam a ocupar o volume todo $V$. A diferença entre as energias livre de Helmholtz ($\Delta F = F_{II} - F_I$) nas duas situações é dada por:

.

- [x] a) $-k_b \ln(\frac{2^N (N/2)!^2}{N!})T$
- [ ] b) Esta diferença não pode depender da temperatura
- [ ] c) Esta diferença depende da temperatura mas não linearmente
- [ ] d) $k_b \ln(\frac{2^N (N/2)!^2}{N!})$
- [ ] e) $k_b \ln(\frac{2^N}{N!})T$

**Questão FM1A**

Considere o modelo de Bohr para o átomo de Hidrogênio. Devido ao movimento circular de um elétron de carga $q$ ao redor do núcleo, o elétron possui um momento magnético $I{\cdot}A$ associado à corrente elétrica $I$ e à area da espira $A$ formada pelo seu movimento.

Se este elétron estiver no segundo estado excitado de um átomo de hidrogênio, seu momento magnético é:

- [x] a) $\frac{3q\hbar}{2m}$
- [ ] b) $\frac{3q\hbar}{m}$
- [ ] c) $\frac{q\hbar}{2m}$
- [ ] d) $\frac{2q\hbar}{m}$
- [ ] e) $\frac{9q\hbar}{2m}$

**Questão FM1B**

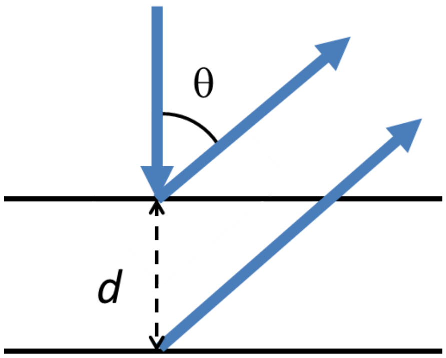
Considere o modelo de Bohr para o átomo de Hidrogênio. Devido ao movimento circular de um elétron de carga $q$ ao redor do núcleo, o elétron possui um momento magnético associado $I{\cdot}A$ à corrente elétrica $I$ e à area da espira $A$ formada pelo seu movimento.

Se este elétron estiver no primeiro estado excitado do átomo de hidrogênio, o seu momento magnético é:

- [x] a) $\frac{q\hbar}{m}$
- [ ] b) $\frac{3q\hbar}{2m}$
- [ ] c) $\frac{q\hbar}{2m}$
- [ ] d) $\frac{2q\hbar}{m}$
- [ ] e) $\frac{9q\hbar}{2m}$

Questão FM2A

Um feixe de nêutrons incide normalmente à superfície de um cristal. Um máximo de difração de primeira ordem é observado em um ângulo de 60° em relação à normal, tal como na figura. Esta difração ocorre devido a uma família de planos distanciados de d = 0,40 nm.

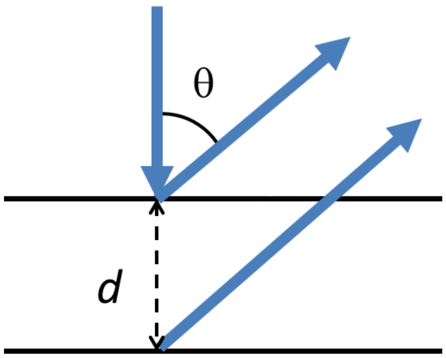



Considerando a energia de repouso do nêutron como $mc^2 = 940$ MeV, a energia cinética dos nêutrons é aproximadamente:

- [x] a) 2,3 meV.
- [ ] b) 6,8 meV.
- [ ] c) 5,1 meV.
- [ ] d) 2,3 eV.
- [ ] e) 5,1 MeV.

Questão FM2B

Um feixe de elétrons incide normalmente à superfície de um cristal. Um máximo de difração de primeira ordem é observado em um ângulo de 60° em relação à normal, tal como na figura. Esta difração ocorre devido a uma família de planos distanciados de $d =$ 0,40 nm.

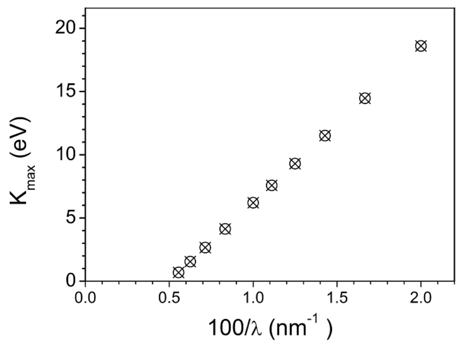



Considerando que a energia de repouso do elétron é aproximadamente $mc^2 = 500$ keV, a energia cinética dos elétrons incidentes é de:

- [x] a) 4,3 eV.
- [ ] b) 9,6 eV.
- [ ] c) 12,8 eV.
- [ ] d) 3,2 MeV.
- [ ] e) 9,6 keV.

Questão FM3A

A energia cinética máxima de fotoelétrons ejetados de um metal é medida para diversos comprimentos de onda da luz incidente em um experimento que aborda o efeito fotoelétrico. Os dados coletados encontram-se no gráfico abaixo.

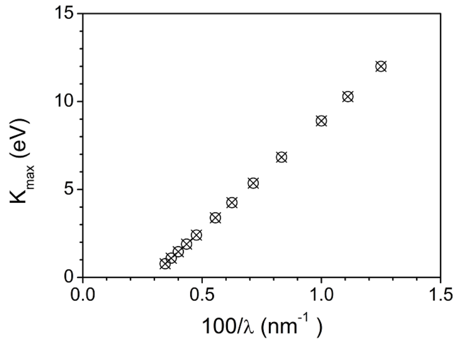



Através de sua análise, podemos estimar a função trabalho deste metal como:

- [x] a) 6,2 eV.
- [ ] b) 5,1 eV.
- [ ] c) 0,62 keV.
- [ ] d) 13,6 eV.
- [ ] e) 0,51 eV.

**Questão FM3B**

A energia cinética máxima de fotoelétrons ejetados de um metal é medida para diversos comprimentos de onda da luz incidente em um experimento que aborda o efeito fotoelétrico. Os dados coletados encontram-se no gráfico abaixo.

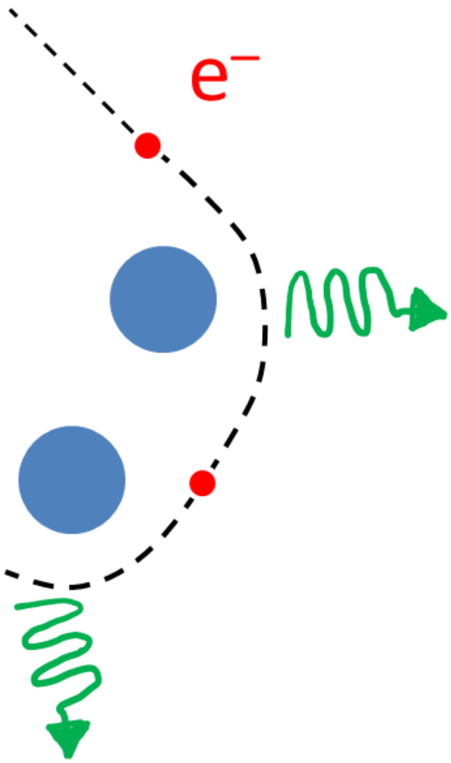



Através de sua análise, podemos estimar a função trabalho do metal como:

- [x] a) 3,7 eV.
- [ ] b) 3,0 eV.
- [ ] c) 13,6 eV.
- [ ] d) 0,3 keV.
- [ ] e) 1,5 eV.

Questão FM4A

Em um modelo simplificado de *bremsstrahlung* em um tubo de raios-X, desprezando perdas de energia por outros processos, podemos considerar a emissão de fótons por desacelerações sucessivas de elétrons . Considere um elétron com energia cinética inicial de 41,3 keV que produz dois fótons antes de entrar em repouso.

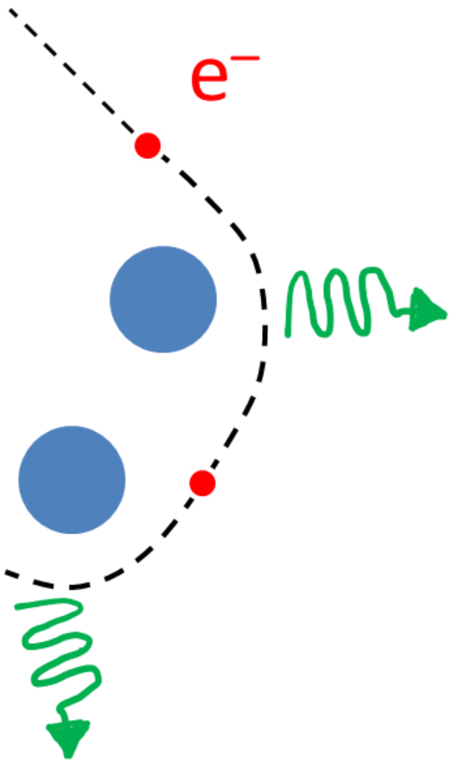



Se o segundo fóton possui um comprimento de onda de 0,120 nm, o comprimento de onda do primeiro fóton emitido é:

- [x] a) 0,040 nm.
- [ ] b) 0,030 nm.
- [ ] c) 0,120 nm.
- [ ] d) 0,300 nm.
- [ ] e) 0,024 nm.

Questão FM4B

Em um modelo simplificado de *bremsstrahlung* em um tubo de raios-X, desprezando perdas de energia por outros processos, podemos considerar a emissão de fótons em desacelerações sucessivas. Considere um elétron com energia cinética inicial de 41,3 keV que produz dois fótons antes de entrar em repouso.




Se o segundo fóton possui um comprimento de onda de 0,120 nm, a razão entre os comprimentos de onda do segundo e do primeiro fóton emitido é:

- [x] a) 3.
- [ ] b) 4.
- [ ] c) 5.
- [ ] d) 1/3.
- [ ] e) 1/5.

Questão FM5A

Considere um processo hipotético, representando pela fórmula $a + \bar{a} \rightarrow \gamma$, em que um par isolado, formado por uma partícula ($a$) e sua antipartícula ($\bar{a}$), se aniquila e dá origem a um único fóton ($\gamma$).

Analise esse processo no referencial do centro de massa do par e, com base nessa análise, assinale a afirmativa correta.

- [ ] a) É um processo que ocorre naturalmente, bastando para isso que a energia total e o momento total sejam conservados.
- [ ] b) O processo somente é observado caso a partícula e a antipartícula sejam, respectivamente, um elétron e um pósitron.
- [x] c) O processo não ocorre, uma vez que violaria princípios físicos fundamentais.
- [ ] d) O processo somente pode ocorrer se a frequência do fóton for suficientemente alta.
- [ ] e) Nenhuma das demais alternativas é correta.

**Questão FM5B**

Considere um processo hipotético, representando pela fórmula $\gamma + p \rightarrow a + \bar{a} + p$ , em que um fóton ($\gamma$), na presença de uma partícula espectadora $p$, dá origem a um par formado por uma partícula ($a$) e sua antipartícula ($\bar{a}$).

Analise esse processo no referencial do centro de massa do sistema após a criação do par e, com base nessa análise, assinale a afirmativa correta.

- [ ] a) É um processo que ocorre naturalmente, mesmo na ausência da partícula espectadora, bastando para isso que a energia total e o momento total sejam conservados.
- [ ] b) O processo não ocorre se a partícula espectadora for um segundo fóton.
- [x] c) O processo somente é verificado na presença da partícula espectadora, caso contrário seriam violados princípios físicos fundamentais.
- [ ] d) O processo ocorre mesmo na ausência da partícula espectadora, desde que a frequência do fóton seja suficientemente alta.
- [ ] e) Nenhuma das demais alternativas é correta.

Questão FM6A

Uma nave espacial viaja da Terra até uma estrela localizada a uma distância $D$ do Sol (medida no referencial do Sol), sendo $D$ muito maior que a distância entre a Terra e o Sol. A nave percorre a distância $D$ em um tempo próprio $\Delta t$, com uma velocidade praticamente constante $v$ medida em relação ao Sol.

Sendo $c$ a velocidade da luz no vácuo, indique entre os valores abaixo o que melhor aproxima, com um algarismo significativo, a razão $v/c$ quando $D$ é igual a 4 anos-luz e $\Delta t$ é igual a 3 anos terrestres.

- [ ] a) 0,5
- [ ] b) 0,6
- [ ] c) 0,7
- [x] d) 0,8
- [ ] e) 0,9

**Questão FM6B**

Uma nave espacial viaja da Terra até uma estrela localizada a uma distância $D$ do Sol (medida no referencial do Sol), sendo $D$ muito maior que a distância entre a Terra e o Sol. A nave percorre a distância $D$ em um tempo próprio $\Delta t$, com uma velocidade praticamente constante $v$ medida em relação ao Sol.

Sendo $c$ a velocidade da luz no vácuo, indique entre os valores abaixo o que melhor aproxima, com um algarismo significativo, a razão $v/c$ quando $D$ é igual a 7 anos-luz e $\Delta t$ é igual a 24 anos terrestres.

- [x] a) 0,3
- [ ] b) 0,4
- [ ] c) 0,5
- [ ] d) 0,6
- [ ] e) 0,7

**Questão FM7A**

A emissão de radiação térmica de um ser humano a uma temperatura normal (cerca de 36 graus Celsius) pode ser analisada aproximando-o como um corpo negro.

Nessas condições, indique entre as alternativas abaixo aquela que melhor aproxima a ordem de grandeza da energia de um fóton correspondente ao comprimento de onda que maximiza essa radiação térmica.

- [ ] a) $10^{-22}$ J
- [x] b) $10^{-20}$ J
- [ ] c) $10^{-18}$ J
- [ ] d) $10^{-16}$ J
- [ ] e) $10^{-14}$ J

Questão FM7B

O universo é preenchido por uma radiação térmica cujo espectro corresponde àquele de um corpo negro a uma temperatura efetiva de aproximadamente 3 K.

Indique entre as alternativas abaixo aquela que melhor aproxima a ordem de grandeza da energia de um fóton correspondente ao comprimento de onda que maximiza essa radiação térmica.

- [x] a) $10^{-22}$ J
- [ ] b) $10^{-20}$ J
- [ ] c) $10^{-18}$ J
- [ ] d) $10^{-16}$ J
- [ ] e) $10^{-14}$ J

Questão FM8A

Determine o comprimento de onda da luz incidente sobre um alvo de tungstênio que liberará elétrons com velocidade máxima de $1{,}4\times10^6$ m/s. A função trabalho do tungstênio vale 4,5 eV.

O valor que mais se aproxima é:

- [x] a) $10^{-7}$ m
- [ ] b) $10^{-9}$ m
- [ ] c) $10^{-11}$ m
- [ ] d) $10^{-5}$ m
- [ ] e) $10^{-3}$ m

**Questão FM8B**

Determine a frequência da luz incidente sobre um alvo de tungstênio que liberará elétrons com velocidade máxima de $1{,}4\times10^5$ m/s. A função trabalho do tungstênio vale 4,5 eV.

O valor que mais se aproxima é:

- [ ] a) $10^{13}$ Hz
- [x] b) $10^{15}$ Hz
- [ ] c) $10^{17}$ Hz
- [ ] d) $10^{9}$ Hz
- [ ] e) $10^{11}$ Hz

### Questão MC1A

Uma esfera maciça de raio $R$ e massa $M$ que está girando com velocidade angular $\omega$ em torno de um eixo que passa pelo seu centro cai verticalmente e colide de forma totalmente inelástica com a superfície de uma mesa. Considere que quaisquer deformações da mesa e da esfera devido a esta colisão sejam desprezíveis. Suponha que o eixo de rotação é paralelo à mesa e a esfera tem um coeficiente de atrito cinético $\mu$ com a superfície da mesa. Por certo período inicial, a esfera desliza e rola sobre a superfície, e após um tempo $t$ ela passa a rolar sem deslizar. Dado que o momento de inércia de uma esfera maciça é de $\frac{2}{5}MR^2$ para rotações em relação a eixos passando pelo seu centro, o valor de $t$ é:

.

Nota: considere a colisão com a superfície da mesa como sendo *completamente* inelástica.

- [x] a) $t = \dfrac{2\omega_0 R}{7\mu g}$
- [ ] b) $t = \dfrac{2\omega_0 R}{\mu g}$
- [ ] c) $t = \dfrac{2\omega_0 R}{5\mu g}$
- [ ] d) $t = \dfrac{\omega_0 R}{\mu g}$
- [ ] e) $t = \dfrac{\omega_0 R}{5\mu g}$

**Questão MC1B**

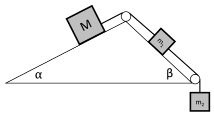
Uma esfera oca de raio $R$ e massa $M$ que está girando com velocidade angular $\omega$ em torno de um eixo que passa pelo seu centro cai verticalmente e colide de forma totalmente inelástica com a superfície de uma mesa. Considere que quaisquer deformações da mesa e da esfera devido a esta colisão sejam desprezíveis. Suponha que o eixo de rotação é paralelo à mesa e a esfera tem um coeficiente de atrito cinético $\mu$ com a superfície da mesa. Por certo período inicial, a esfera desliza e rola sobre a superfície, e após um tempo $t$ ela passa a rolar sem deslizar. Dado que o momento de inércia de uma esfera oca é de $\frac{2}{3}MR^2$ para rotações em relação a eixos passando pelo seu centro, o valor de $t$ é:

.

Nota: considere a colisão com a superfície da mesa como sendo *completamente* inelástica.

- [ ] a) $t = \dfrac{2\omega_0 R}{7\mu g}$
- [ ] b) $t = \dfrac{2\omega_0 R}{\mu g}$
- [x] c) $t = \dfrac{2\omega_0 R}{5\mu g}$
- [ ] d) $t = \dfrac{\omega_0 R}{\mu g}$
- [ ] e) $t = \dfrac{\omega_0 R}{5\mu g}$

Questão MC3A

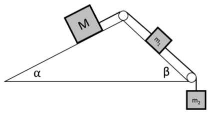



Três blocos de massa $M$, $m_1$ e $m_2$ deslizam para a esquerda com uma velocidade constante v, como mostrado na figura. Considere que não haja atrito entre os blocos e as superfícies, que as polias girem sem atrito em torno dos eixos, mas que haja atrito suficiente entre os fios que ligam os blocos e as polias de forma a evitar que os fios deslizem por elas, e que os fios sejam inextensíveis. Sabendo que $m_1 = m_2 = m$, qual das seguintes relações é correta?

.

- [x] a) $M g \mathrm{sen}\alpha = (1 + \mathrm{sen}\beta)\, mg$
- [ ] b) $M g \mathrm{sen}\alpha = (2 + \mathrm{sen}\beta)\, mg$
- [ ] c) $M g \mathrm{sen}\alpha = (1 + 2\mathrm{sen}\beta)\, mg$
- [ ] d) $M g \cos\alpha = (2 + \cos\beta)\, mg$
- [ ] e) $M g \cos\alpha = (1 + \cos\beta)\, mg$

**Questão MC3B**

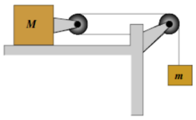



Três blocos de massa $M$, $m_1$ e $m_2$ deslizam para a esquerda com uma velocidade constante v, como mostrado na figura. Considere que não haja atrito entre os blocos e as superfícies, que as polias girem sem atrito em torno dos eixos, mas que haja atrito suficiente entre os fios que ligam os blocos e as polias de forma a evitar que os fios deslizem por elas, e que os fios sejam inextensíveis. Sabendo que $2m_1 = m_2 = 2m$, qual das seguintes relações é correta?

.

- [ ] a) $Mg\text{sen}\alpha = (1 + \text{sen}\beta)\, mg$
- [x] b) $Mg\text{sen}\alpha = (2 + \text{sen}\beta)\, mg$
- [ ] c) $Mg\text{sen}\alpha = (1 + 2\text{sen}\beta)\, mg$
- [ ] d) $Mg\cos\alpha = (2 + \cos\beta)\, mg$
- [ ] e) $Mg\cos\alpha = (1 + \cos\beta)\, mg$

Questão MC4A

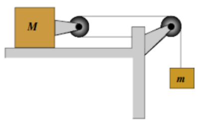



Um bloco de massa m está suspenso por um fio inextensível e é ligado a um bloco de massa M pelo arranjo de polias mostrado na figura. Há atrito suficiente entre o fio e as polias para que o fio não deslize nas polias, e não há atrito entre a superfície horizontal e o bloco de massa M. Quando liberado a partir do repouso, o bloco de massa m é acelerado para baixo. A aceleração do bloco de massa $m$ pode ser escrita como:

.

- [x] a) $a_m = mg\left(m + \frac{M}{4}\right)^{-1}$
- [ ] b) $a_m = mg\left(m + \frac{M}{2}\right)^{-1}$
- [ ] c) $a_m = mg\left(2m + \frac{M}{2}\right)^{-1}$
- [ ] d) $a_m = mg$
- [ ] e) $a_m = mg\left(m + 2M\right)^{-1}$

**Questão MC4B**




Um bloco de massa m está suspenso por um fio inextensível e é ligado a um bloco de massa M pelo arranjo de polias mostrado na figura. Há atrito suficiente entre o fio e as polias para que o fio não deslize nas polias, e não há atrito entre a superfície horizontal e o bloco de massa M. Quando liberado a partir do repouso, o bloco de massa m é acelerado para baixo. A aceleração do bloco de massa $M$ pode ser escrita como:

.

- [ ] a) $a_M = mg\left(m + \frac{M}{4}\right)^{-1}$
- [ ] b) $a_M = mg\left(m + \frac{M}{2}\right)^{-1}$
- [x] c) $a_M = mg\left(2m + \frac{M}{2}\right)^{-1}$
- [ ] d) $a_M = mg\left(m + 2M\right)^{-1}$
- [ ] e) $a_M = g$

### Questão MC5A

Uma partícula de massa $m$ se movimenta em duas dimensões sob a ação da força

$$\mathbf{F} = \left(ax^2 + by^2\right)\hat{x} + (axy)\,\hat{y},$$

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

.

- [x] a) $W = \left(\frac{2}{3}a + \frac{1}{3}b\right)c^3$
- [ ] b) $W = \left(\frac{1}{3}a + \frac{1}{3}b\right)c^3$
- [ ] c) $W = \left(a + \frac{1}{3}b\right)c^3$
- [ ] d) $W = \left(\frac{4}{3}a + \frac{1}{3}b\right)c^3$
- [ ] e) $W = \left(\frac{5}{3}a + \frac{1}{3}b\right)c^3$

**Questão MC5B**

Uma partícula de massa $m$ se movimenta em duas dimensões sob a ação da força

$$\mathbf{F} = \left(ax^2 + 2by^2\right)\hat{x} + (bxy)\,\hat{y},$$

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

.

- [x] a) $W = \left(\frac{1}{3}a + b\right)c^3$
- [ ] b) $W = \left(\frac{1}{3}a + \frac{1}{3}b\right)c^3$
- [ ] c) $W = \left(\frac{1}{3}a + \frac{2}{3}b\right)c^3$
- [ ] d) $W = \left(\frac{1}{3}a + \frac{4}{3}b\right)c^3$
- [ ] e) $W = \left(\frac{1}{3}a + \frac{5}{3}b\right)c^3$

## Questão MC6A

Uma partícula de massa $m$ se movimenta em três dimensões sob a ação de uma força $\mathbf{F}$, cujas componentes em coordenadas cilíndricas $\rho$, $\varphi$ e $z$ são dadas por

$$F_\rho = a\rho^2 \cos\varphi, \qquad F_\varphi = b\rho^2 \mathrm{sen}\varphi, \qquad F_z = 2az^2,$$

onde $a$ e $b$ são constantes. Determine o valor da constante $b$, de modo que a força $\mathbf{F}$ seja conservativa.

.

- [x] a) b = -a/3
- [ ] b) b = -2a/3
- [ ] c) b = -4a/3
- [ ] d) b = -a
- [ ] e) b = -2a

### Questão MC6B

Uma partícula de massa $m$ se movimenta em três dimensões sob a ação de uma força $\mathbf{F}$, cujas componentes em coordenadas cilíndricas $\rho$, $\varphi$ e $z$ são dadas por

$$F_\rho = b\rho^2 \text{sen}\varphi, \qquad F_\varphi = 2a\rho^2 \cos\varphi, \qquad F_z = az^2,$$

onde $a$ e $b$ são constantes. Determine o valor da constante $b$, de modo que a força $\mathbf{F}$ seja conservativa.

.

- [x] a) b = 6a
- [ ] b) b = 2a
- [ ] c) b = 3a
- [ ] d) b = 4a
- [ ] e) b = 5a

### Questão MC7A

Uma partícula de massa $m$ se movimenta em uma dimensão sob a ação de uma força

$$F(t) = mAe^{-\gamma t},$$

onde $A$ e $\gamma$ são constantes positivas. Considerando que a partícula estava inicialmente na origem do sistema de coordenadas e sua velocidade inicial $v_0 = 2A/\gamma$, a posição da partícula $x(t)$ em função do tempo é dada por:

.

- [x] a) $x(t) = \frac{A}{\gamma^2}\left(3\gamma t - 1 + e^{-\gamma t}\right)$
- [ ] b) $x(t) = \frac{2A}{5\gamma^2}\left(4\gamma t + 1 - e^{-\gamma t}\right)$
- [ ] c) $x(t) = \frac{2A}{3\gamma^2}\left(\gamma t + 2 - 2e^{-\gamma t}\right)$
- [ ] d) $x(t) = \frac{2A}{3\gamma^2}\left(5\gamma t - 2 + 2e^{-\gamma t}\right)$
- [ ] e) $x(t) = \frac{A}{2\gamma^2}\left(\gamma t + 3 - 3e^{-\gamma t}\right)$

**Questão MC7B**

Uma partícula de massa $m$ se movimenta em uma dimensão sob a ação de uma força

$$F(t) = mAe^{-\gamma t},$$

onde $A$ e $\gamma$ são constantes positivas. Considerando que a partícula estava inicialmente em repouso na posição $x_0 = 2A/\gamma^2$, a posição da partícula $x(t)$ em função do tempo é dada por:

.

- [x] a) $x(t) = \frac{A}{\gamma^2}\left(1 + \gamma t + e^{-\gamma t}\right)$
- [ ] b) $x(t) = \frac{A}{\gamma^2}\left(3 - \gamma t - e^{-\gamma t}\right)$
- [ ] c) $x(t) = \frac{2A}{3\gamma^2}\left(1 + 2\gamma t + 2e^{-\gamma t}\right)$
- [ ] d) $x(t) = \frac{2A}{\gamma^2}\left(3 - 2\gamma t - 2e^{-\gamma t}\right)$
- [ ] e) $x(t) = \frac{A}{\gamma^2}\left(5 - 3\gamma t - 3e^{-\gamma t}\right)$

## Questão MC8A

Uma partícula na forma de uma pequena esfera de massa $m$ é atravessada por um arame rígido e pode se mover ao longo do arame sem atrito. O movimento da partícula é descrito em termos das coordenadas cilíndricas $\rho$, $\varphi$ e $z$. O arame tem a forma de uma hélice, cuja equação em coordenadas cilíndricas é dada por $\rho = R$ e $z = a\varphi$. A partícula também está sob a ação do potencial $V(x) = bx$. Aqui $a$ e $b$ são constantes positivas. A lagrangiana $L$ da partícula e sua equação de movimento são dadas por:

.

- [x] a) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2+a^2\right)\dot{\varphi}^2 - bR\cos\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2+a^2\right)\ddot{\varphi} - bR\,\text{sen}\varphi = 0$
- [ ] b) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2+a^2\right)\dot{\varphi}^2 + bR\cos\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2+a^2\right)\ddot{\varphi} + bR\,\text{sen}\varphi = 0$
- [ ] c) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2+a^2\right)\dot{\varphi}^2 - bR\,\text{sen}\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2+a^2\right)\ddot{\varphi} + bR\cos\varphi = 0$
- [ ] d) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2+a^2\right)\dot{\varphi}^2 + bR\,\text{sen}\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2+a^2\right)\ddot{\varphi} - bR\cos\varphi = 0$
- [ ] e) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2+a^2\right)\dot{\varphi}^2 - bR\cos\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2+a^2\right)\ddot{\varphi} + bR\cos\varphi = 0$

### Questão MC8B

Uma partícula na forma de uma pequena esfera de massa $m$ é atravessada por um arame rígido e pode se mover ao longo do arame sem atrito. O movimento da partícula é descrito em termos das coordenadas cilíndricas $\rho$, $\varphi$ e $z$. O arame tem a forma de uma hélice, cuja equação em coordenadas cilíndricas é dada por $\rho = R$ e $z = a\varphi$. A partícula também está sob a ação do potencial $V(y) = by$. Aqui $a$ e $b$ são constantes positivas. A lagrangiana $L$ da partícula e sua equação de movimento são dadas por:

.

- [x] a) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2 + a^2\right)\dot{\varphi}^2 - bR\,\text{sen}\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2 + a^2\right)\ddot{\varphi} + bR\cos\varphi = 0$
- [ ] b) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2 + a^2\right)\dot{\varphi}^2 + bR\,\text{sen}\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2 + a^2\right)\ddot{\varphi} - bR\cos\varphi = 0$
- [ ] c) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2 + a^2\right)\dot{\varphi}^2 - bR\cos\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2 + a^2\right)\ddot{\varphi} - bR\,\text{sen}\varphi = 0$
- [ ] d) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2 + a^2\right)\dot{\varphi}^2 + bR\cos\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2 + a^2\right)\ddot{\varphi} + bR\,\text{sen}\varphi = 0$
- [ ] e) $L = \frac{1}{2}m\left(R^2 + a^2\right)\dot{\varphi}^2 - bR\,\text{sen}\varphi \quad \text{e} \quad m\left(R^2 + a^2\right)\ddot{\varphi} - bR\text{sen}\varphi = 0$

### Questão MQ1A

Seja $\psi(x)$ uma função de onda normalizada que descreve, em um dado instante, o estado de uma partícula em movimento unidimensional, cujos valores médios de posição e de momentum linear são $\langle\hat{x}\rangle_\psi = x_0$ e $\langle\hat{p}\rangle_\psi = p_0$, respectivamente. Considere que uma nova função de onda seja definida como

$$\Phi(x) = e^{ikx}\psi(x),$$

onde $k$ é uma constante real. Analise as seguintes afirmações e assinale abaixo a alternativa correta.

I. O valor médio da posição calculado usando a nova função de onda $\Phi(x)$ é $\langle\hat{x}\rangle_\Phi = x_0 + 1/k$.

II. O valor médio do momentum linear calculado usando a nova função de onda $\Phi(x)$ é $\langle\hat{p}\rangle_\Phi = p_0 + \hbar k$.

III. As funções de onda $\psi(x)$ e $\Phi(x)$ representam o mesmo estado físico, pois diferem apenas por uma fase global. Portanto, fornecem os mesmos valores médios de posição e de momentum da partícula.

.

- [ ] a) Apenas a afirmação I está correta.
- [x] b) Apenas a afirmação II está correta.
- [ ] c) Apenas a afirmação III está correta.
- [ ] d) As afirmações I e II estão corretas.
- [ ] e) Nenhuma das afirmações está correta.

## Questão MQ1B

Seja $\psi(x)$ uma função de onda normalizada que descreve, em um dado instante, o estado de uma partícula em movimento unidimensional, cujos valores médios de posição e de momentum linear são $\langle \hat{x} \rangle_\psi = x_0$ e $\langle \hat{p} \rangle_\psi = p_0$, respectivamente. Considere que uma nova função de onda seja definida como

$$\Phi(x) = e^{ikx}\psi(x),$$

onde $k$ é uma constante real. Analise as seguintes afirmações e assinale abaixo a alternativa correta.

I. O valor médio da posição calculado usando a nova função de onda $\Phi(x)$ é $\langle \hat{x} \rangle_\Phi = x_0 + k$.

II. O valor médio do momentum linear calculado usando a nova função de onda $\Phi(x)$ é $\langle \hat{p} \rangle_\Phi = \hbar k$.

III. As funções de onda $\psi(x)$ e $\Phi(x)$ representam o mesmo estado físico, pois diferem apenas por uma fase global. Portanto, fornecem os mesmos valores médios de posição e de momentum da partícula.

.

- [ ] a) Apenas a afirmação I está correta.
- [ ] b) Apenas a afirmação II está correta.
- [ ] c) Apenas a afirmação III está correta.
- [ ] d) As afirmações I e II estão corretas.
- [x] e) Nenhuma das afirmações está correta.

## Questão MQ2A

Considere uma partícula de massa $m$ cuja função energia potencial seja dada por

$$V(x) = -\frac{\hbar^2 a^2}{m} \operatorname{sech}^2(ax),$$

onde $a$ é uma constante real positiva e $\operatorname{sech}(x) = 2/(e^x + e^{-x})$. Analise as seguintes afirmações sobre esse sistema e assinale abaixo a alternativa correta.

I. O espectro de energia da partícula é contínuo para valores de energia $E > 0$.

II. O espectro de energia da partícula é discreto para valores de energia no intervalo $-\frac{\hbar^2 a^2}{m} \leq E < 0$

III. As autofunções de energia podem ser escritas como funções pares ou ímpares da posição da partícula.

.

- [ ] a) Apenas a afirmação I está correta.
- [ ] b) Apenas a afirmação II está correta.
- [ ] c) Apenas a afirmação III está correta.
- [x] d) Todas afirmações estão corretas.
- [ ] e) Nenhuma das afirmações está correta.

## Questão MQ2B

Considere uma partícula de massa $m$ cuja função energia potencial seja dada por

$$V(x) = -\frac{\hbar^2 a^2}{m}\text{sech}^2(ax),$$

onde $a$ é uma constante real positiva e $\text{sech}(x) = 2/(e^x + e^{-x})$. Analise as seguintes afirmações sobre esse sistema e assinale abaixo a alternativa correta.

I. O espectro de energia da partícula é contínuo para para todos os valores de energia.

II. A energia do estado fundamental é $-\frac{\hbar^2 a^2}{m}$, i.e., o mínimo da função energia potencial.

III. As autofunções de energia podem ser escritas como funções pares ou ímpares da posição da partícula.

.

- [ ] a) Apenas a afirmação I está correta.
- [ ] b) Apenas a afirmação II está correta.
- [x] c) Apenas a afirmação III está correta.
- [ ] d) Todas afirmações estão corretas.
- [ ] e) Nenhuma das afirmações está correta.

## Questão MQ3A

Considere o caso de uma partícula quântica sujeita a um potencial harmônico de frequência $\omega$ centrado em $x = 0$, cujo estado inicial seja dado pela função de onda normalizada

$$\Psi(x,0) = \alpha\psi_n(x) + \beta\psi_m(x),$$

onde $\alpha$ e $\beta$ são constantes reais, e $\psi_n(x)$ e $\psi_m(x)$ são duas das possíveis autofunções de energia, normalizadas (nesse problema as autofunções de energia podem ser escritas como funções reais).

Assinale abaixo a alternativa correta sobre o valor médio da posição $\langle\hat{x}\rangle_\Psi$ da partícula no estado $\Psi(x,0)$ e a probabilidade $P(x,t)dx$ de se encontrar a partícula entre $x$ e $x + dx$ no instante $t$.

.

- [ ] a) $$\langle\hat{x}\rangle_\Psi = 0,$$ $$P(x,t)dx = \Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\cos(\omega t)\Big)dx.$$

- [ ] b) $$\langle\hat{x}\rangle_\Psi = 0,$$ $$P(x,t)dx = \Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\cos[(n-m)\omega t]\Big)dx.$$

- [ ] c) $$\langle\hat{x}\rangle_\Psi = \int_{-\infty}^{\infty} x\left(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\right)dx,$$ $$P(x,t)dx = \Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\cos(\omega t)\Big)dx.$$

- [x] d) $$\langle\hat{x}\rangle_\Psi = 2\alpha\beta\int_{-\infty}^{\infty} x\psi_n(x)\psi_m(x)dx,$$ $$P(x,t)dx = \Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\cos[(n-m)\omega t]\Big)dx.$$

- [ ] e) $$\langle\hat{x}\rangle_\Psi = \int_{-\infty}^{\infty} x\Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\Big)dx,$$ $$P(x,t)dx = \Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x)\Big)dx.$$

**Questão MQ3B**

Considere o caso de uma partícula quântica sujeita a um potencial harmônico de frequência $\omega$ centrado em $x = 0$, cujo estado inicial seja dado pela função de onda normalizada

$$\Psi(x,0) = \alpha\psi_n(x) + \beta\psi_m(x),$$

onde $\alpha$ e $\beta$ são constantes reais, e $\psi_n(x)$ e $\psi_m(x)$ são duas das possíveis autofunções de energia, normalizadas, que nesse problema podem ser escritas como funções reais.

Assinale abaixo a alternativa correta sobre o valor médio do momentum linear $\langle\hat{p}\rangle_\Psi$ da partícula no estado $\Psi(x,0)$ e a probabilidade $P(x,t)dx$ de se encontrar a partícula entre $x$ e $x+dx$ no instante $t$.

.

- [ ] a) $$\langle\hat{p}\rangle_\Psi = \frac{\hbar}{i}\int_{-\infty}^{\infty}\Psi(x,0)\left(\frac{\partial}{\partial x}\Psi(x,0)\right)dx,$$
$$P(x,t)dx = \Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\cos(\omega t)\Big)dx.$$

- [ ] b) $$\langle\hat{p}\rangle_\Psi = \frac{\hbar}{i}\int_{-\infty}^{\infty}\Big[\alpha^2\psi_n(x)\left(\frac{\partial}{\partial x}\psi_n(x)\right) + \beta^2\psi_m(x)\left(\frac{\partial}{\partial x}\psi_m(x)\right)\Big]dx,$$
$$P(x,t)dx = \Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\cos(\omega t)\Big)dx.$$

- [ ] c) $$\langle\hat{p}\rangle_\Psi = 0,$$
$$P(x,t)dx = \Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\cos(\omega t)\Big)dx.$$

- [x] d) $$\langle\hat{p}\rangle_\Psi = 0,$$
$$P(x,t)dx = \Big(\alpha^2\psi_n^2(x) + \beta^2\psi_m^2(x) + 2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\cos[(n-m)\omega t]\Big)dx.$$

- [ ] e) $$\langle\hat{p}\rangle_\Psi = 0,$$
$$P(x,t)dx = \Big(2\alpha\beta\psi_n(x)\psi_m(x)\cos[(n-m)\omega t]\Big)dx.$$

## Questão MQ4A

Suponha que o hamiltoniano $\hat{H}$ e um observável $\hat{O}$ de um determinado sistema físico sejam escritos, na base ortonormal $\{|1\rangle, |2\rangle\}$, como

$$\hat{H} = \Delta\Big( |1\rangle\langle 1| + |2\rangle\langle 2| \Big) - \lambda\Big( |1\rangle\langle 2| + |2\rangle\langle 1| \Big) \quad \text{e} \quad \hat{O} = -\lambda\,|1\rangle\langle 1| + \lambda\,|2\rangle\langle 2|$$

sendo as constantes $\Delta$ e $\lambda$ reais e positivas. Supondo que no instante inicial $t = 0$ o estado do sistema seja o autoestado de $\hat{O}$ com **menor** autovalor, assinale abaixo a alternativa correta.

.

- [ ] a) A diferença de energia entre os autovalores de $\hat{H}$ é $2(\Delta - \lambda)$.
- [ ] b) A diferença de energia entre os autovalores de $\hat{H}$ é $(\Delta - \lambda)$.
- [x] c) A probabilidade de uma medição da **energia** fornecer o **menor** autovalor é sempre 50% para todos os instantes de tempo.
- [ ] d) No instante $t = \pi\hbar/(\Delta - \lambda)$ a probabilidade será zero de uma medição de $\hat{O}$ fornecer o **menor** autovalor.
- [ ] e) No instante $t = \pi\hbar/(2(\Delta - \lambda))$ a probabilidade será zero de uma medição de $\hat{O}$ fornecer o **menor** autovalor.

**Questão MQ4B**

Suponha que o hamiltoniano $\hat{H}$ e um observável $\hat{O}$ de um determinado sistema físico sejam escritos, na base ortonormal $\{|1\rangle, |2\rangle\}$, como

$$\hat{H} = \Delta\Big(|1\rangle\langle 1| + |2\rangle\langle 2|\Big) - \lambda\Big(|1\rangle\langle 2| + |2\rangle\langle 1|\Big) \quad \text{e} \quad \hat{O} = -\lambda\,|1\rangle\langle 1| + \lambda\,|2\rangle\langle 2|$$

sendo as constantes $\Delta$ e $\lambda$ reais e positivas. Supondo que no instante inicial $t = 0$ o estado do sistema seja o autoestado de $\hat{O}$ com **maior** autovalor, assinale abaixo a alternativa correta.

.

- [ ] a) A diferença de energia entre os autovalores de $\hat{H}$ é $2\Delta$.
- [ ] b) A diferença de energia entre os autovalores de $\hat{H}$ é $2(\Delta - \lambda)$.
- [x] c) A probabilidade de uma medição da **energia** fornecer o **maior** autovalor é sempre 50% para todos os instantes de tempo.
- [ ] d) No instante $t = \pi\hbar/(2\Delta)$ a probabilidade será 100% de uma medição de $\hat{O}$ fornecer o **maior** autovalor.
- [ ] e) No instante $t = \pi\hbar/(2(\Delta - \lambda))$ a probabilidade será 100% de uma medição de $\hat{O}$ fornecer o **maior** autovalor.

### Questão MQ5A

Considere um átomo de hidrogênio, sem levar em conta o spin do elétron, em um estado descrito pela função de onda

$$\Psi(r) = \frac{1}{\sqrt{11}} \left(\psi_{100} - 3\psi_{211} + \psi_{322}\right),$$

onde as funções $\psi_{nlm}(r)$ são autofunções normalizadas do operador Hamiltoniano.

Dentre as alternativas abaixo, escolha aquela que representa o valor esperado da energia neste estado, expresso em termos da energia do estado fundamental $E_0$.

.

- [x] a) $\langle E \rangle = \frac{11}{36} E_0$
- [ ] b) $\langle E \rangle = 0$
- [ ] c) $\langle E \rangle = -\frac{7}{11} E_0$
- [ ] d) $\langle E \rangle = E_0$
- [ ] e) $\langle E \rangle = -\frac{41}{396} E_0$

## Questão MQ5B

Considere um átomo de hidrogênio, sem levar em conta o spin do elétron, em um estado descrito pela função de onda

$$\Psi(r) = \frac{1}{\sqrt{11}} \left(\psi_{100} - 3\psi_{211} + \psi_{322}\right),$$

onde as funções $\psi_{nlm}(r)$ são autofunções normalizadas do operador Hamiltoniano.

Dentre as alternativas abaixo, escolha aquela que representa o valor esperado de $L^2$, onde $\vec{L}$ é o momentum angular orbital.

.

- [x] a) $\langle L^2 \rangle = \frac{24}{11}\hbar^2$
- [ ] b) $\langle L^2 \rangle = 0$
- [ ] c) $\langle L^2 \rangle = -\frac{12}{11}\hbar^2$
- [ ] d) $\langle L^2 \rangle = \frac{5}{\sqrt{11}}\hbar^2$
- [ ] e) $\langle L^2 \rangle = -\frac{1}{11}\hbar$

**Questão MQ6A**

Uma partícula de massa $m$ está confinada a uma região unidimensional delimitada por $0 \leq x \leq L$. Esse sistema se encontra em um estado descrito pela função de onda

$$\Psi(x,t) = A\,\mathrm{sen}\left(\frac{2\pi}{L}x\right)\exp\left(-i\frac{2\pi^2\hbar}{mL^2}t\right) + B\,\mathrm{sen}\left(\frac{4\pi}{L}x\right)\exp\left(-i\frac{8\pi^2\hbar}{mL^2}t\right)$$

onde A e B são constantes reais que satisfazem a condição de normalização.

Indique a afirmativa correta com relação à situação descrita acima.

.

- [x] a) O valor esperado do *momentum* linear é nulo.
- [ ] b) Como se trata de uma combinação de estados estacionários, a densidade de probabilidade da posição da partícula não varia no tempo.
- [ ] c) A densidade de probabilidade da posição da partícula não é nula em nenhum ponto do intervalo $0 \leq x \leq L$.
- [ ] d) O valor médio da energia do sistema é $\langle E\rangle = \frac{5\pi^2\hbar^2}{mL^2}$.
- [ ] e) Esse é um estado com energia bem definida, dada por $E = \frac{10\pi^2\hbar^2}{mL^2}$.

**Questão MQ6B**

Uma partícula de massa $m$ está confinada a uma região unidimensional delimitada por $0 \leq x \leq L$. Esse sistema se encontra em um estado descrito pela função de onda

$$\Psi(x,t) = A\,\mathrm{sen}\left(\frac{2\pi}{L}x\right)\exp\left(-i\frac{2\pi^2\hbar}{mL^2}t\right) + B\,\mathrm{sen}\left(\frac{4\pi}{L}x\right)\exp\left(-i\frac{8\pi^2\hbar}{mL^2}t\right)$$

onde A e B são constantes reais que satisfazem a condição de normalização.

Indique a afirmativa correta com relação à situação descrita acima.

.

- [x] a) Uma medida do *momentum* linear da partícula irá encontrar apenas dois valores possíveis de magnitudes, que são $p = (2\pi\hbar/L)$ ou $p = (4\pi\hbar/L)$.
- [ ] b) Como se trata de uma combinação de estados estacionários, a densidade de probabilidade da posição da partícula não varia no tempo.
- [ ] c) Como é uma soma de autofunções pares, a densidade de probabilidade sempre tem um nó (é nula) no ponto $L/2$.
- [ ] d) O valor médio do *momentum* linear é $\langle p \rangle = 6\pi^2\hbar/L$.
- [ ] e) Esse é um estado com energia bem definida, dada por $E = \frac{10\pi^2\hbar^2}{mL^2}$.

**Questão MQ7A**

Um observável de um sistema quântico com três estados é representado pela matriz

$$\mathrm{M} = \mathfrak{m}\begin{pmatrix} 0 & 2 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 \end{pmatrix}$$

onde $\mathfrak{m}$ é um número real positivo com a dimensão física apropriada.
Selecione a alternativa correta.

.

- [x] a) O observável M tem dois autovalores iguais.
- [ ] b) Todos os possíveis resultados de medidas de M têm valores positivos.
- [ ] c) Todos os autovalores de M são idênticos.
- [ ] d) Os autovalores de M são todos diferentes.
- [ ] e) É possível obter o resultado $\sqrt{2}\,\mathfrak{m}$ em uma medida de M.

**Questão MQ7B**

Um observável de um sistema quântico com três estados é representado pela matriz

$$\mathrm{M} = \mathfrak{m}\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2i \\ 0 & 2i & 0 \end{pmatrix}$$

onde $\mathfrak{m}$ é um número real positivo com a dimensão física apropriada e $i = \sqrt{-1}$.
Selecione a alternativa correta.

.

- [x] a) Todos os autovalores de M são diferentes.
- [ ] b) Todos os possíveis resultados de medidas de M têm valores positivos.
- [ ] c) Esse observável tem dois autovalores iguais.
- [ ] d) Todos os autovalores de M são iguais.
- [ ] e) É possível obter o resultado $\sqrt{2}\,\mathfrak{m}$ em uma medida de M.

## Questão MQ8A

Considere as seguintes funções de onda para um sistema de duas partículas idênticas não interagentes.

$$\Psi\left(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2\right) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\psi_\alpha\left(\mathbf{r}_1\right)\psi_\beta\left(\mathbf{r}_2\right) + \psi_\alpha\left(\mathbf{r}_2\right)\psi_\beta\left(\mathbf{r}_1\right)\right]$$

$$\Phi\left(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2\right) = \frac{1}{\sqrt{2}}\left[\psi_\alpha\left(\mathbf{r}_1\right)\psi_\beta\left(\mathbf{r}_2\right) - \psi_\alpha\left(\mathbf{r}_2\right)\psi_\beta\left(\mathbf{r}_1\right)\right]$$

onde os índices 1 e 2 nas coordenadas identificam cada partícula, e os índices $\alpha$ e $\beta$ representam conjuntos de números quânticos que especificam completamente os estados individuais.

Indique a alternativa correta.

.

- [x] a) A função $\Psi\left(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2\right)$ pode representar um sistema de bósons.
- [ ] b) A função $\Psi\left(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2\right)$ pode representar um sistema de férmions.
- [ ] c) A função $\Phi\left(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2\right)$ pode representar um sistema de bósons.
- [ ] d) A função $\Phi\left(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2\right)$ pode representar um sistema de partículas de *spin* inteiro.
- [ ] e) Um sistema de bósons deve ser representado pela composição $\left[\Psi\left(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2\right) + \Phi\left(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2\right)\right]/2$.

## Questão MQ8B

Considere as seguintes funções de onda para um sistema de duas partículas idênticas não interagentes.

$$\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\psi_\alpha(\mathbf{r}_1)\, \psi_\beta(\mathbf{r}_2) + \psi_\alpha(\mathbf{r}_2)\, \psi_\beta(\mathbf{r}_1)\right]$$

$$\Phi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[\psi_\alpha(\mathbf{r}_1)\, \psi_\beta(\mathbf{r}_2) - \psi_\alpha(\mathbf{r}_2)\, \psi_\beta(\mathbf{r}_1)\right]$$

onde os índices 1 e 2 nas coordenadas identificam cada partícula, e os índices $\alpha$ e $\beta$ representam conjuntos de números quânticos que especificam completamente os estados individuais.

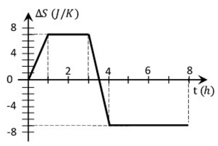
Indique a alternativa correta.

.

- [x] a) As funções $\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ e $\Phi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ representam, respectivamente, um sistema de bósons e um sistema de férmions.
- [ ] b) A função $\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ pode representar um sistema de partículas de *spin* semi-inteiro.
- [ ] c) A função $\Phi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ pode representar um sistema de partículas de *spin* inteiro.
- [ ] d) As funções $\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ e $\Phi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)$ representam, respectivamente, um sistema de férmions e um sistema de bósons.
- [ ] e) Um sistema de bósons deve ser representado pela composição $\left[\Psi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2) + \Phi(\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2)\right]/2$.

**Questão TE1A**

O gráfico abaixo mostra como a variação da entropia $\Delta S$ de um sistema termodinâmico $A$ evolui no tempo, devido à troca de calor com o ambiente. A escala de tempo do experimento, que inicia no tempo $t = 0\ h$, é tal que todas as mudanças do estado termodinâmico de $A$ são consideradas reversíveis e quase-estáticas. Não há produção de entropia no universo formado por $A$ e o ambiente com o qual está em contato térmico.




A respeito da situação experimental descrita e com base no gráfico apresentado, considere as seguintes afirmativas:

I. Entre os tempos $t = 1\ h$ e $t = 3\ h$ o sistema $A$ sofreu um processo exotérmico.

II. No período de tempo entre $t = 4\ h$ e $t = 8\ h$ a quantidade de energia térmica que o sistema $A$ trocou com o ambiente foi certamente maior do que a quantidade de calor trocada com o ambiente no período de tempo entre $t = 1\ h$ e $t = 3\ h$.

III. Entre os tempos $t = 0$ e $t = 3\ h$ o sistema $A$ recebe calor do ambiente, enquanto que entre os tempos $t = 4\ h$ e $t = 8\ h$ o sistema $A$ cede calor ao ambiente.

IV. No instante $t = 3,5\ h$ , não há troca líquida de calor entre o sistema $A$ e o ambiente.

Sobre as afirmativas I a IV, acima, pode-se afirmar que são, respectivamente (“V”=“Verdadeira”, “F”=“Falsa”):

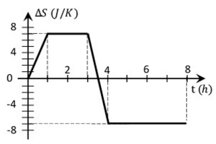
.

Nota: considere a energia térmica mencionada em II como sendo "calor".

- [x] a) F,F,V,V
- [ ] b) V,F,F,V
- [ ] c) F,V,F,F
- [ ] d) V,V,F,F
- [ ] e) V,V,V,F

**Questão TE1B**

O gráfico abaixo mostra como a variação da entropia $\Delta S$ de um sistema termodinâmico $A$ evolui no tempo, devido à troca de calor com o ambiente. A escala de tempo do experimento, que inicia no tempo $t = 0\ h$, é tal que todas as mudanças do estado termodinâmico de $A$ são consideradas reversíveis e quase-estáticas. Não há produção de entropia no universo formado por $A$ e o ambiente com o qual está em contato térmico.




A respeito da situação experimental descrita e com base no gráfico apresentado, considere as seguintes afirmativas:

I. Entre os tempos $t = 1\ h$ e $t = 3\ h$ o sistema $A$ sofreu um processo endotérmico.

II. No período de tempo entre $t = 4\ h$ e $t = 8\ h$ a quantidade de energia térmica que o sistema $A$ trocou com o ambiente foi certamente menor do que a quantidade de calor trocada com o ambiente no período de tempo entre $t = 1\ h$ e $t = 3\ h$.

III. Entre os tempos $t = 0$ e $t = 3\ h$ o sistema $A$ recebe calor do ambiente, enquanto que entre os tempos $t = 4\ h$ e $t = 8\ h$ o sistema $A$ cede calor ao ambiente.

IV. No instante $t = 3,5\ h$ há troca líquida de calor entre o sistema $A$ e o ambiente.

Sobre as afirmativas I a IV, acima, pode-se afirmar que são, respectivamente ("V"="Verdadeira", "F"="Falsa"):

.

Nota: considere a energia térmica mencionada em II como sendo "calor".

- [x] a) V, F, V, F
- [ ] b) V, F, F, V
- [ ] c) F, V, F, F
- [ ] d) F, F, F, F
- [ ] e) F, V, V, F

**Questão TE2A**

A ordem de grandeza do volume ocupado por uma molécula do ar, dentro de uma sala de aula a temperatura e pressão ambientes, assim como a ordem de grandeza da distância média entre as moléculas do ar dentro desta mesma sala de aula são, respectivamente:

.

Nota: considere o "volume ocupado por uma molécula" como sendo o volume específico (volume do recipiente dividido pelo número de moléculas).

- [x] a) $10^{-7}\ \mu m^3$ e $10^1\ nm$
- [ ] b) $10^{-6}\ \mu m^3$ e $10^{-1}\ \mu m$
- [ ] c) $10^6\ nm^3$ e $10^2\ nm$
- [ ] d) $10^{-6}\ \mu m^3$ e $10^0\ nm$
- [ ] e) $10^{-6}\ \mu m^3$ e $10^{-3}\ \mu m$

**Questão TE2B**

A ordem de grandeza do volume ocupado por uma molécula do ar, dentro de uma sala de aula a temperatura e pressão ambientes, assim como a ordem de grandeza da distância média entre as moléculas do ar dentro desta mesma sala de aula são, respectivamente:

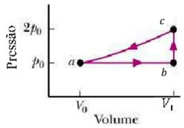
.

Nota: considere o "volume ocupado por uma molécula" como sendo o volume específico (volume do recipiente dividido pelo número de moléculas).

- [x] a) $10^{-7}\ \mu m^3$ e $10^{-2}\ \mu m$
- [ ] b) $10^{-8}\ \mu m^3$ e $10^{-1}\ \mu m$
- [ ] c) $10^{7}\ nm^3$ e $10^{2}\ nm$
- [ ] d) $10^{-6}\ \mu m^3$ e $10^{0}\ nm$
- [ ] e) $10^{-8}\ \mu m^3$ e $10^{-3}\ \mu m$

## Questão TE3A

Um mol de um gás monoatômico ideal é submetido ao ciclo termodinâmico mostrado na figura, onde $V_1 = 4V_0$.



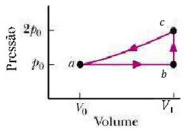

O trabalho realizado pelo gás quando vai do estado $a$ para o estado $c$ ao longo da trajetória $a \to b \to c$, a variação da energia interna no processo $b \to c$ e a variação da entropia do gás neste mesmo processo são, respectivamente:

.

- [x] a) $3p_0V_0$, $6p_0V_0$ e $3Rln2/2$
- [ ] b) $8p_0V_0$, $3p_0V_0$ e $3Rln2/4$
- [ ] c) $3p_0V_0$, $4p_0V_0$ e $3Rln2/4$
- [ ] d) $8p_0V_0$, $3p_0V_0$ e $6Rln2/2$
- [ ] e) $3p_0V_0$, $4p_0V_0$ e $6Rln2/2$

**Questão TE3B**

Um mol de um gás monoatômico ideal é submetido ao ciclo termodinâmico mostrado na figura, onde $V_1 = 8V_0$.




O trabalho realizado pelo gás quando vai do estado $a$ para o estado $c$ ao longo da trajetória $a \to b \to c$, a variação da energia interna no processo $b \to c$ e a variação da entropia do gás neste mesmo processo são, respectivamente:

.

- [x] a) $7p_0V_0$, $12p_0V_0$ e $3Rln2/2$
- [ ] b) $16p_0V_0$, $3p_0V_0$ e $3Rln2/4$
- [ ] c) $4p_0V_0$, $8p_0V_0$ e $3Rln2/4$
- [ ] d) $8p_0V_0$, $4p_0V_0$ e $6Rln2/2$
- [ ] e) $7p_0V_0$, $8p_0V_0$ e $6Rln2/2$

**Questão TE4A**

Um edifício é aquecido, e mantido a uma temperatura $T$, por meio de uma bomba de calor ideal que usa um rio à temperatura $T_0 < T$ como fonte de calor. A bomba de calor consome uma potência $P$ (trabalho $W$ por ciclo) e o edifício perde calor para o ambiente a uma taxa $\alpha(T - T_0)$, onde $\alpha$ é uma constante positiva. Considerando que a bomba de calor opere de forma cíclica como uma máquina de Carnot, a expressão para a máxima temperatura em que o prédio pode ser mantido é dada por:

.

- [x] a) $T = T_0 + \frac{P}{2\alpha}\left(1 + \sqrt{1 + 4\alpha T_0/P}\right)$
- [ ] b) $T = T_0 + \frac{P}{\alpha}\left(1 + \sqrt{1 + \alpha T_0/P}\right)$
- [ ] c) $T = T_0 + \frac{P}{2\alpha}\left(1 + \sqrt{1 - 2\alpha T_0/P}\right)$
- [ ] d) $T = T_0 + \frac{2P}{\alpha}\left(1 + \sqrt{1 + \alpha T_0/P}\right)$
- [ ] e) $T = T_0 + \frac{2P}{\alpha}\left(1 + \sqrt{1 - 2\alpha T_0/P}\right)$

**Questão TE4B**

Um edifício é refrigerado, mantido a uma temperatura $T$, por meio de um aparelho de ar-condicionado ideal que usa um corpo massivo à temperatura $T_0 > T$ como absorvedor de calor. O aparelho de ar-condicionado consome uma potência $P$ (trabalho $W$ por ciclo) e o edifício recebe uma quantidade de calor do ambiente a uma taxa $\alpha(T_0 - T)$, onde $\alpha$ é uma constante positiva. Considerando que o aparelho de ar-condicionado opere de forma cíclica como uma máquina de Carnot, a expressão para a mínima temperatura em que o prédio pode ser mantido é dada por:

.

- [x] a) $T = T_0 + \frac{P}{2\alpha}\left(1 - \sqrt{1 + 4\alpha T_0/P}\right)$
- [ ] b) $T = T_0 + \frac{P}{\alpha}\left(1 - \sqrt{1 + \alpha T_0/P}\right)$
- [ ] c) $T = T_0 + \frac{P}{2\alpha}\left(1 - \sqrt{1 - 2\alpha T_0/P}\right)$
- [ ] d) $T = T_0 + \frac{2P}{\alpha}\left(1 - \sqrt{1 + \alpha T_0/P}\right)$
- [ ] e) $T = T_0 + \frac{2P}{\alpha}\left(1 - \sqrt{1 - 2\alpha T_0/P}\right)$