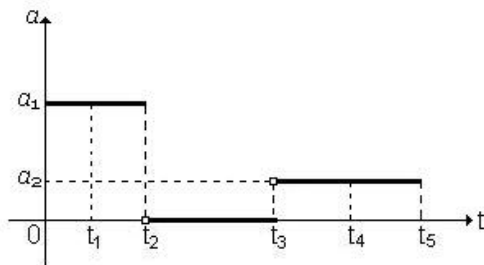


Solução Comentada da Prova de Física

01. Uma partícula parte do repouso, no instante $t = 0$, na direção positiva do eixo x . O gráfico da aceleração da partícula ao longo eixo x , em função do tempo, é mostrado na figura abaixo.



Determine a velocidade da partícula nos instantes de tempo t_1 , t_2 , t_3 , t_4 e t_5 .



Solução: A questão aborda o conteúdo da cinemática.

Entre os intervalos de tempo $0 \leq t \leq t_2$ e $t_3 < t \leq t_5$ o movimento da partícula é uniformemente acelerado com acelerações a_1 e a_2 , respectivamente. No intervalo $t_2 < t \leq t_3$, o movimento é uniforme, visto que a aceleração da partícula é nula. Dessa forma, as velocidades da partícula nos instantes t_1 , t_2 , t_3 , t_4 e t_5 são, respectivamente:

$$v_1 = a_1 t_1$$

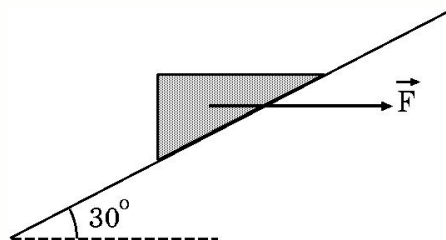
$$v_2 = a_1 t_2$$

$$v_3 = a_1 t_2$$

$$v_4 = a_1 t_2 + a_2 (t_4 - t_3)$$

$$v_5 = a_1 t_2 + a_2 (t_5 - t_3)$$

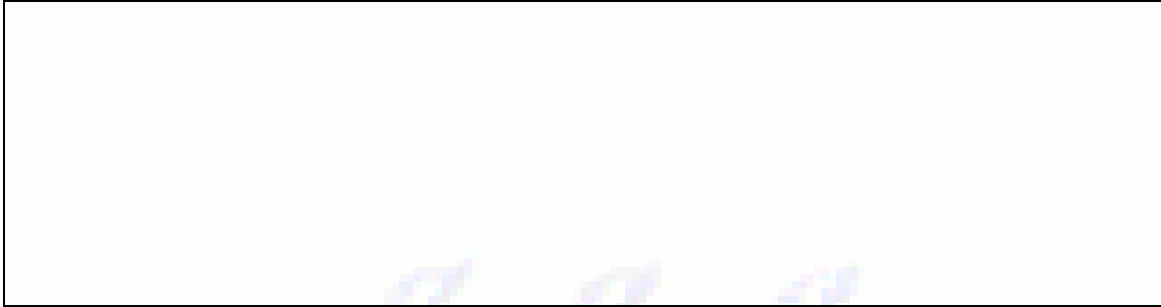
02. Uma cunha de massa $m = 2 \text{ kg}$ é empurrada sobre um plano inclinado por uma força horizontal F , de intensidade igual a 20 N , conforme figura abaixo.



$$\text{Dados: } g = 10 \text{ m/s}^2 \quad \sin 30^\circ = 1/2 \quad \cos 30^\circ = \sqrt{3}/2 \quad \tan 30^\circ = \sqrt{3}/3$$

Sabendo que a velocidade com que a cunha sobe o plano é constante, determine:

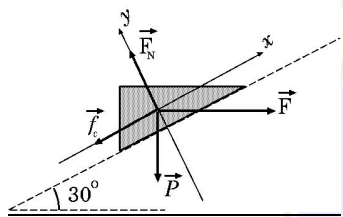
A) a intensidade da força exercida pelo plano inclinado sobre a cunha.



B) o coeficiente de atrito cinético entre a cunha e o plano inclinado.



Solução: A questão envolve a utilização das leis de Newton. Para sua solução, o diagrama de corpo isolado da cunha deve ser construído, conforme figura abaixo. Como é dito explicitamente que a cunha tem velocidade constante, a resultante das forças sobre ela é nula. Assim, tomando o sistema de eixos



x e y , mostrado na figura ao lado, teremos:

$$\sum F^y = 0 \quad \therefore \quad F_N - P \cos 30^\circ - F \sin 30^\circ = 0 \quad (1)$$

Como $P = mg$, peso da cunha, segue da equação (1) que a intensidade da força normal aplicada pelo plano sobre a cunha vale:

$$F_N = mg \cos 30^\circ + F \sin 30^\circ = 10(\sqrt{3} + 1) \text{ N} \quad (2)$$

Por outro lado,

$$\sum F^x = 0 \quad \therefore \quad F \cos 30^\circ - P \sin 30^\circ - f_c = 0 \quad (3)$$

Logo,

$$f_c = F \cos 30^\circ - P \sin 30^\circ = 10(\sqrt{3} - 1) \text{ N} \quad (4)$$

Portanto, a intensidade da força exercida pelo plano inclinado, F_{plano} , sobre a cunha é:

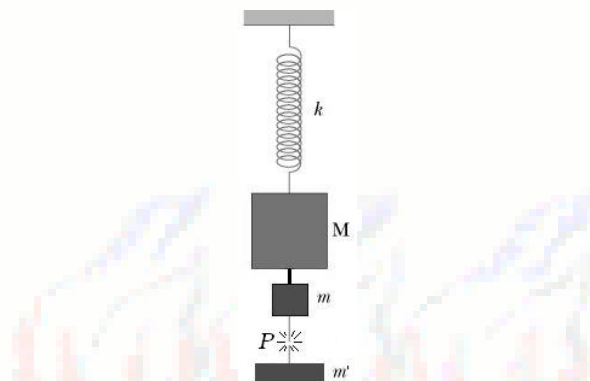
$$F_{\text{plano}} = \sqrt{f_c^2 + F_N^2} = 20\sqrt{2} \text{ N}, \quad (\text{item A})$$

onde F_N e f_c são dadas nas equações (2) e (4).

Como a força de atrito cinético é dada por $f_c = \mu_c F_N$, onde μ_c é o coeficiente de atrito cinético, obtemos μ_c a partir da razão:

$$\mu_c = \frac{f_c}{F_N} = \frac{\sqrt{3} - 1}{\sqrt{3} + 1} = 2 - \sqrt{3} \quad (\text{item B}).$$

03. Três corpos de massas M , m e m' encontram-se suspensos, verticalmente, através de uma mola ideal de constante elástica k , conforme figura abaixo. Os corpos M e m estão ligados por uma barra rígida e de massa desprezível. O sistema como um todo está em repouso. O fio que prende o corpo de massa m' é cortado no ponto P , gerando assim uma oscilação no restante do sistema.



Determine:

- A) a amplitude A e o período T do movimento resultante do sistema formado pelos corpos M e m .

- B) o módulo da velocidade máxima atingida pelos corpos M e m .

Solução: A questão envolve o estudo do movimento harmônico simples.

Antes de o fio ser cortado, podemos pensar na seguinte situação: o corpo de massa m' gera uma força, igual ao seu peso, sobre o conjunto das massas M e m . Estando o sistema em equilíbrio, pode-se, então, afirmar que a força elástica que equilibra o peso do corpo de massa m' é

$$kx = m'g \Rightarrow x = \frac{m'g}{k} \quad (1)$$

Quando o fio é cortado, o sistema de massas M e m passa a oscilar em movimento harmônico simples. A amplitude A desse movimento é igual ao deslocamento provocado na mola, quando o corpo de massa m' estava ligado às massas M e m . Portanto,

$$A = \frac{m'g}{k} \quad (2)$$

O período do movimento oscilatório das massas M e m é dado por

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(m+M)}{k}} \quad (3)$$

A velocidade máxima atingida pelo conjunto de massas M e m ocorre, quando a energia potencial elástica inicial for totalmente convertida em energia cinética, ou seja,

$$\frac{1}{2}(M+m)v^2 = \frac{1}{2}k\left(\frac{m'g}{k}\right)^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{(m'g)^2}{k(M+m)}}$$

04. Uma onda que se propaga ao longo do eixo x pode ser descrita pela equação de onda $y = A \cos(px - qt)$, onde p e q são constantes. Determine:

- A) o comprimento de onda.
- B) o período.
- C) a velocidade de propagação da onda.



Considere agora um carro que se move ao longo do eixo x , em sentido contrário à propagação da onda anteriormente descrita, com velocidade constante $V = 2q/p$.

D) Determine a frequência da onda observada pelo motorista do carro.

Solução: A questão envolve o estudo das ondas.

A equação geral de uma onda que se propaga para a direita, ao longo do eixo x é

$$y = A \cos \left[\left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) x - \left(\frac{2\pi}{T} \right) t + \varphi_0 \right]. \quad (1)$$

Comparando a equação de onda dada no problema com a equação (1), tem-se que:

$$p = \frac{2\pi}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{2\pi}{p} \quad (\text{item A})$$

onde λ é o comprimento de onda;

$$q = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{q} \quad (\text{item B})$$

onde T é o período. Sendo o período igual ao inverso da frequência, obtém-se, então, a seguinte relação:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{q}{2\pi}.$$

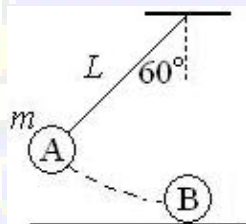
A velocidade de propagação da onda é, portanto, obtida pela equação $v = \lambda f$. Logo,

$$v = \frac{2\pi}{p} \cdot \frac{q}{2\pi} = \frac{q}{p}. \quad (\text{item C})$$

A velocidade na qual o motorista percebe a aproximação da onda é $v' = V + v = \frac{3q}{p}$. Assim, desde que o comprimento de onda não se altera, a frequência da onda observada pelo motorista do carro é

$$f' = \frac{v'}{\lambda} = \frac{\frac{3q}{p}}{\frac{2\pi}{p}} \Rightarrow f' = \frac{3q}{2\pi} \quad (\text{item D})$$

- 05.** Um corpo A de massa m encontra-se inicialmente em repouso, suspenso por fio de massa desprezível e comprimento L , que forma um ângulo de 60° com a vertical, de acordo com a figura abaixo. Um outro corpo B, em repouso sobre uma superfície plana e sem atrito, é também mostrado na figura. O corpo A é liberado do repouso e passa a movimentar-se de acordo com a trajetória indicada (linha tracejada) na figura.



Considere que, no choque entre A e B, toda a energia mecânica de A é transferida para B, da seguinte forma: 50 % na forma de energia cinética e 50 % na forma de calor. Determine a variação de temperatura do corpo B, sabendo que seu calor específico vale c . Considere que a aceleração da gravidade é constante e de módulo g , e que nenhuma transformação de fase é observada no sistema.

Solução: A questão aborda a conservação da energia total entre processos mecânicos e térmicos, e a conservação do momento linear. A energia mecânica total do corpo A corresponde à sua energia potencial gravitacional inicial. Logo,

$$E_{mA} = mgh$$

onde h é a altura inicial do corpo A, em relação à altura do corpo B, que consideraremos como o nível de altura zero. Portanto,

$$E_{mA} = mgL(1 - \cos 60^\circ) = \frac{1}{2}mgL.$$

Como 50% da energia mecânica de A é transferida ao corpo B, na forma de calor, então, a quantidade de calor Q transferida ao corpo B é $Q = \frac{1}{2}E_{mA}$. Portanto,

$$Q = m_B c \Delta T \Rightarrow \frac{1}{2}E_{mA} = m_B c \Delta T \Rightarrow \frac{1}{4}mgL = m_B c \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{mgL}{4m_B c}.$$

A massa do corpo B pode ser obtida a partir dos princípios da conservação da energia mecânica do corpo A, quando este se desloca entre a sua posição inicial e aquela no ponto mais baixo de sua trajetória, e do princípio de conservação do momento linear no choque entre os corpos A e B. Considerando ainda que metade da energia inicial do corpo A é transferida na forma de energia cinética para o corpo B, obtemos $m_B = 2m$. Portanto, a variação de temperatura do corpo B é dada por:

$$\Delta T = \frac{gL}{8c}.$$

06. Considere um gás ideal monoatômico, encerrado num recipiente de volume V e submetido a uma temperatura absoluta T . Se este gás for submetido a um processo adiabático qualquer (expansão ou compressão), mantendo seu número de moles constante, determine:

A) a razão entre os calores molares a pressão e volume constantes do gás.

B) a relação entre T e V ao longo deste processo, em termos do valor obtido em (A).



Solução: A questão envolve o estudo dos gases ideais. Para sua solução, devem ser utilizadas as equações de estado de um gás ideal,

$$pV = nRT, \quad (1)$$

onde p é a pressão do gás, V o seu volume, n é o número de moles, T sua temperatura absoluta e R é a chamada constante universal dos gases, juntamente com a relação

$$pV^\gamma = \text{constante}, \quad (2)$$

válida para um gás submetido a um processo adiabático qualquer. Na equação (2) utilizamos a constante $\gamma = C_p / C_v$, a razão entre os calores molares a pressão e volume constantes, respectivamente. Reunindo as equações (1) e (2), teremos,

$$nRT V^\gamma / V = \text{constante} \quad \therefore \quad T V^{\gamma-1} = \text{constante} \quad (3)$$

onde n e R foram embutidos na constante, já que não variam durante o processo. Para determinar o valor da razão γ para um gás ideal monoatômico, precisamos da equação que determina a energia interna de um gás ideal monoatômico,

$$U = (3/2)nRT, \quad (4)$$

onde o fator de $3/2$ se deve ao teorema da equipartição da energia. Por outro lado, podemos usar a primeira lei da termodinâmica para um processo a volume constante, para relacionar a variação da energia interna ΔU com o calor $Q = nC_v\Delta T$ envolvido no processo,

$$\Delta U = Q \quad (5)$$

Fazendo uma variação ΔU na equação (4), teremos

$$(3/2)nR\Delta T = nC_v\Delta T \quad \therefore \quad C_v = (3/2)R \quad (6)$$

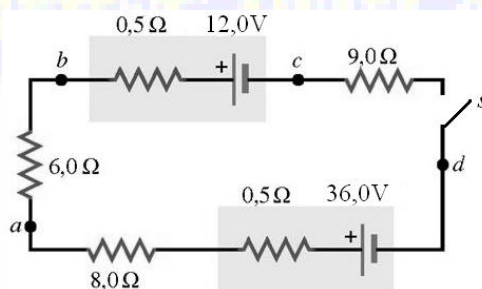
Mas o calor molar a pressão constante C_p se escreve como

$$C_p = C_v + R \quad \therefore \quad C_p = (5/2)R$$

Como a razão γ (também chamada de expoente de Poisson) se escreve como

$$\gamma = C_p / C_v \quad \therefore \quad \text{(A) } \gamma = 5/3 \quad \text{tal que} \quad \text{(B) } T V^{2/3} = \text{constante}$$

07. Considere o circuito mostrado na figura abaixo.



Considere a chave s aberta.

A) Determine a diferença de potencial entre os pontos b e c .

Considere agora a chave s fechada. Determine:

B) a corrente no circuito.

C) a diferença de potencial entre os pontos a e b .

Solução: A questão aborda o conteúdo de circuitos elétricos.

Quando a chave s está aberta nenhuma corrente circula no circuito. Assim, a diferença de potencial entre os pontos b e c será a igual à força eletromotriz da bateria de 12 V. Logo,

$$V_b - V_c = 12V . \quad (\text{item A})$$

Quando a chave s é fechada, uma corrente passa a existir no circuito. Seu valor é determinado pela lei das malhas de Kirchhoff, ou seja,

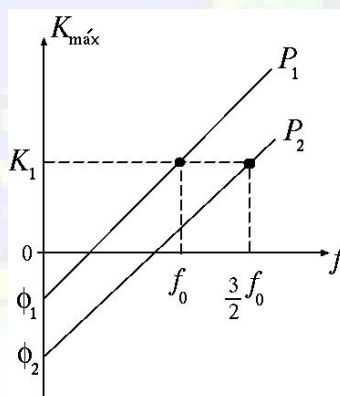
$$i = \frac{36 - 12}{0,5 + 0,5 + 6,0 + 8,0 + 9,0} = 1A . \quad (\text{item B})$$

A diferença de potencial entre os pontos a e b é dada simplesmente pelo produto da resistência elétrica entre os pontos e a corrente. Assim,

$$V_a - V_b = (6,0\Omega) \cdot (1,0A) = 6,0V . \quad (\text{item C})$$

08. Max Planck acreditava que a energia eletromagnética, como é o caso da luz, uma vez irradiada, se espalharia pelo espaço como uma onda produzida na água. Em 1905, Albert Einstein abandonou esta abordagem ondulatória, propondo que a energia radiante estaria quantizada em pacotes concentrados, ou fótons, de energia hf , onde f é a frequência da radiação e h é a constante de Planck. Quando luz incide sobre uma superfície metálica, podemos ter o aparecimento de elétrons ejetados da superfície. Einstein explicou este fenômeno dizendo que, durante este processo, chamado de efeito fotoelétrico, um fóton é completamente absorvido por um elétron do metal. A energia cinética máxima $K_{\text{máx}}$ com que um elétron na superfície será ejetado depende da energia incidente do fóton e da energia mínima necessária para que o elétron vença as forças atrativas que o mantêm preso ao metal, chamadas de função trabalho ϕ do material.

Considere, então, duas superfícies metálicas P_1 e P_2 , de materiais diferentes. Incidindo-se luz de frequência f sobre estas superfícies, o seguinte gráfico é produzido (em escala arbitrária).



Calcule a diferença $\phi_2 - \phi_1$ entre as funções trabalho das duas superfícies.

Solução: A questão aborda o efeito fotoelétrico. Para sua solução, é necessário o uso da equação para a energia cinética máxima dos elétrons ejetados do metal,

$$K_{\text{máx}} = hf - \phi \quad (1)$$

Do gráfico proposto, vemos que, se a frequência da luz incidente sobre as superfícies P_1 e P_2 for f_0 e $3f_0/2$, respectivamente, a energia cinética máxima dos elétrons ejetados é a mesma, ou seja, $K_{\text{máx}} = K_1$. Com isto, podemos usar a equação (1), tal que

Placa P_1 : $K_1 = hf_0 - \phi_1 \quad (2)$

Placa P_2 : $K_1 = h3f_0/2 - \phi_2 \quad (3)$

Resolvendo o sistema acima, teremos

$$\phi_2 - \phi_1 = hf_0/2$$

