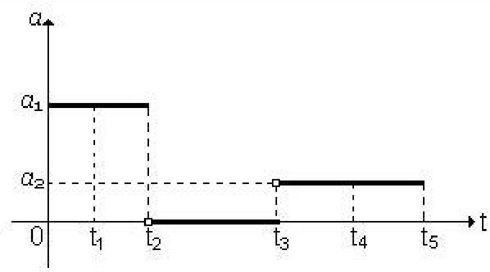
01. Uma partícula parte do repouso, no instante t = 0, na direção positiva do eixo x. O gráfico da aceleração da partícula ao longo eixo x, em função do tempo, é mostrado na figura abaixo.

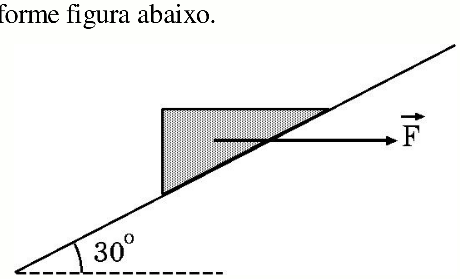


Determine a velocidade da partícula nos instantes de tempo t_1, t_2, t_3, t_4 e t_5.

Solução: A questão aborda o conteúdo da cinemática.
Entre os intervalos de tempo $0 \le t \le t_2$ e $t_3 < t \le t_5$ o movimento da partícula é uniformemente acelerado com acelerações a_1 e a_2, respectivamente. No intervalo $t_2 < t \le t_3$, 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 kg é empurrada sobre um plano inclinado por uma força horizontal F, de intensidade igual a 20 N, conforme figura abaixo.



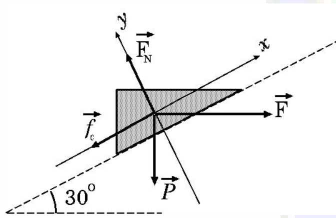
Dados: g = 10 m/s^2 sen 30° = 1/2   cos 30° = √3 /2   tan 30° = √3 /3

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

$$\sum F^y = 0 \quad \therefore \quad F_N - P\cos 30^o - F\text{sen } 30^o = 0 \qquad (1)$$

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

$$\textbf{(A)} \qquad \mathbf{F_N = \mathit{mg}\cos 30^o + F\text{sen } 30^o = 10(\sqrt{3} + 1)\ N}$$

Por outro lado,

$$\sum F^x = 0 \quad \therefore \quad F\cos 30^o - P\text{sen } 30^o - f_c = 0 \qquad (2)$$

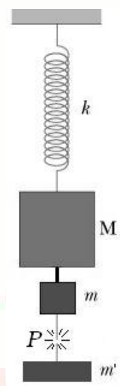
Como a força de atrito cinético é dada por $f_c = \mu_c F_N$, onde μ_c é o coeficiente de atrito cinético, segue de (1) e (2),

$$\mu_c F_N = F\cos 30^o - P\text{sen } 30^o \quad \therefore \quad \mu_c = (F\cos 30^o - mg\text{sen } 30^o)/(F\text{sen } 30^o + mg\cos 30^o)$$

ou seja,

$$\textbf{(B)} \quad \mathbf{\mu_c = (F - \mathit{mg}\tan 30^o)/(F\tan 30^o + \mathit{mg}) = (1 - \sqrt{3}/3)/(1 + \sqrt{3}/3) = 2 - \sqrt{3}}$$

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

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

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,

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

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

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

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 freqüência 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

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

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

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

onde λ é o comprimento de onda;

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

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

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

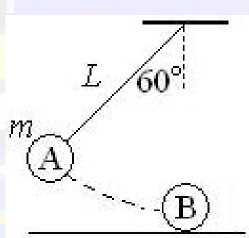
A velocidade de propagação da onda é, portanto, obtida pela equação $v = \lambda f$. Logo,

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

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 freqüência da onda observada pelo motorista do carro é

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

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^{o} 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. 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,

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

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,

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

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,

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

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

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

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,

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

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,

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

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,

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

Fazendo uma variação ΔU na equação (4), teremos

$$(3/2)nR\Delta T = nC_V\Delta T \quad \therefore \quad C_V = (3/2)R \qquad (6)$$

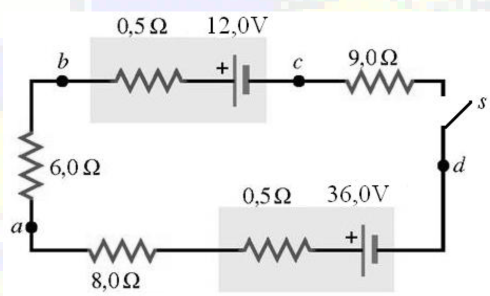
Mas o calor molar a pressão constante C_p se escreve como

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

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

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

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,

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

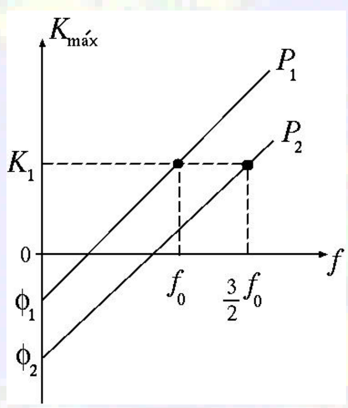
Quando a chave *s* é fechada, uma corrente passa a existir no circuito. Seu valor é determinado pela lei das malhas de Kirchhoff, ou seja,

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

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,

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

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 freqüência 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 $K_{máx}$ 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 freqüência f sobre estas superfícies, o seguinte gráfico é produzido (em escala arbitrária).



Calcule a diferença ϕ_2 - ϕ_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,

$$K_{máx} = hf - \phi \qquad (1)$$

Do gráfico proposto, vemos que, se a freqüência 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, $K_{máx} = K_1$. Com isto, podemos usar a equação (1), tal que

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

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

Resolvendo o sistema acima, teremos

$$\boldsymbol{\phi_2 - \phi_1 = hf_0/2}$$