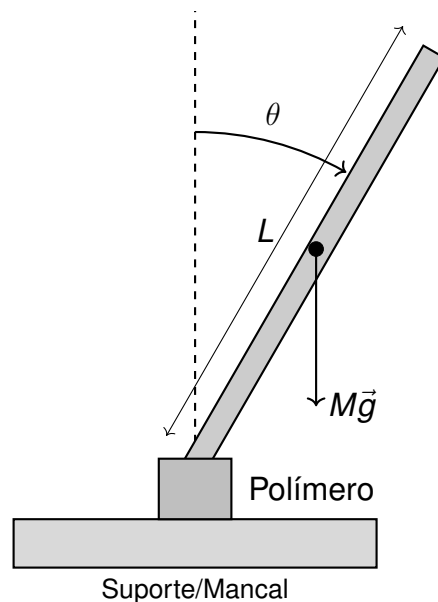


FÍSICA

Quando necessário, use a seguinte informação:

Para $\theta \ll 1$ assumamos $\sin\theta \approx \theta$.

Questão 1. Em um laboratório de engenharia de materiais, um aparato similar a um pêndulo invertido é utilizado para ensaiar a rigidez torcional de corpos de prova poliméricos cilíndricos. O sistema consiste em uma haste rígida e homogênea de massa M e comprimento L , firmemente acoplada em sua extremidade inferior ao centro do corpo de prova polimérico, o qual permanece fixo em seus mancais e atua como uma mola torcional. Quando a haste sofre uma deflexão angular θ em relação à vertical, o material polimérico torce e exerce um torque restaurador de natureza elástica $\tau_e = -k\theta$, em que k é a constante de rigidez torcional efetiva do corpo de prova. Durante o ensaio contínuo, a haste é inicialmente posicionada na vertical ($\theta = 0$), e uma câmara térmica no entorno do polímero eleva lentamente sua temperatura. Sabe-se que, ao se aproximar da transição vítrea, a rigidez k do polímero diminui gradativamente. Sabendo que a aceleração da gravidade local é g , responda aos itens a seguir.

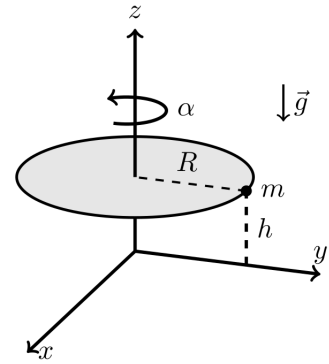


- Determine a rigidez torcional crítica k_c do polímero em função de M , g e L , sabendo que a posição $\theta = 0$ deixa de ser um ponto de equilíbrio estável para $k < k_c$.
- Identifique a quantidade e natureza dos pontos de equilíbrio do sistema (estável e/ou instável) de acordo com os possíveis valores de $k/k_c > 0$ no intervalo $-\pi/2 < \theta < \pi/2$.
- Tomando o mancal inferior como referência zero de altura para a energia gravitacional, esboce os possíveis gráficos representativos da energia potencial total do sistema (U_{total}) em função do ângulo θ , no intervalo $-\pi/2 < \theta < \pi/2$, de acordo com as situações identificadas no item **b**.

Questão 2. Considere um lançamento oblíquo de uma massa m , partindo da origem do plano xy , em que a velocidade inicial V faz um ângulo de 30° com a horizontal perfeitamente lisa. Sabendo que o coeficiente de restituição entre a massa m e o solo é $0,7$, determine

- a) a altura máxima após n choques;
- b) o intervalo de tempo para que a massa m atinja o mínimo da sua energia.

Questão 3. Um objeto de massa m encontra-se inicialmente em repouso (em $x = 0$), na extremidade de um carrossel de raio R e altura $z = h$ com relação ao solo. O coeficiente de atrito estático entre a massa e o carrossel é μ_e , e o coeficiente de atrito cinético entre a massa e o solo é μ_c . O carrossel começa a girar com uma aceleração angular constante α em um instante $t = 0$. Determine



- a distância entre ponto de contato da massa m com o solo e a origem do sistema de coordenadas;
- o instante no qual a massa para, considerando que ela não quica ao chegar ao solo, mas realiza um deslizamento.

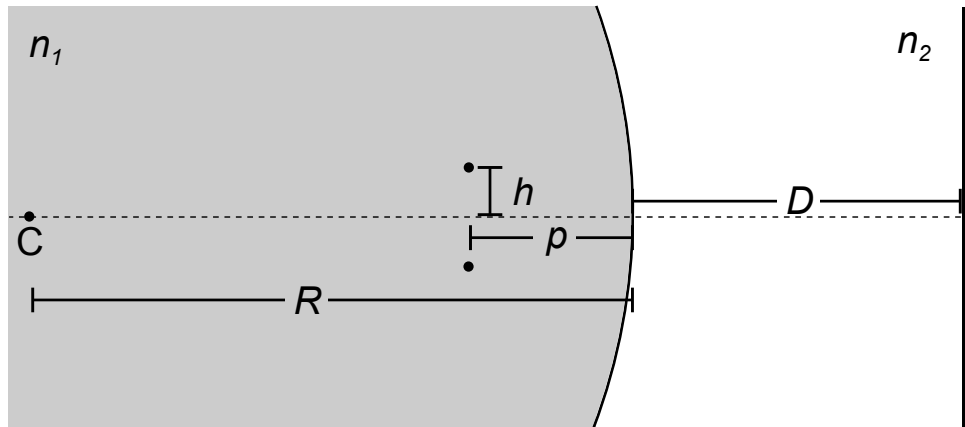
Questão 4. Um cilindro vertical, de seção transversal de área A e com paredes isolantes (adiabáticas), contém n mols de um gás ideal monoatômico. O cilindro é fechado na parte superior por um pistão de espessura desprezível de massa m , também isolante térmico, que pode deslizar verticalmente sem atrito. Inicialmente, há um recipiente de massa desprezível contendo uma quantidade de grãos de areia, que totaliza uma massa M em repouso sobre o pistão. O sistema está em equilíbrio térmico e mecânico, com o pistão a uma altura h_i em relação à base do cilindro. Considerando que a aceleração da gravidade local é g , que a constante universal dos gases é igual a R e que há vácuo acima do pistão, faça o que se pede.

a) Em um dado instante, os grãos de areia são retirados lentamente em um processo quase estático. Determine a altura h_f do pistão no estado final, quando não há mais areia, em função de m , M e h_i .

b) Considere uma nova situação em que toda a quantidade de areia é completamente retirada instantaneamente. Determine a equação que relaciona a altura máxima h_{max} atingida pelo pistão e m , M e h_i .

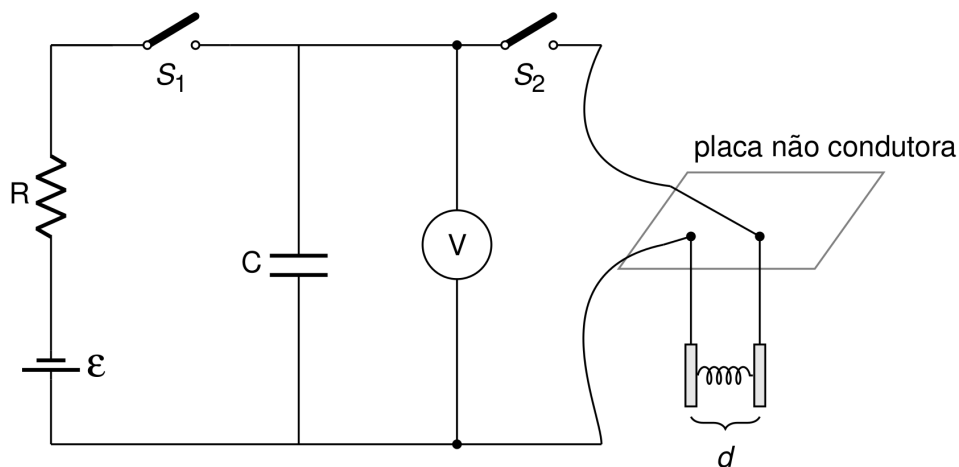
Questão 5. Duas fontes de luz pontuais, coerentes e de comprimento de onda λ , são colocadas a uma distância horizontal p do vértice de uma interface transparente côncava, de raio R . Essa interface separa o meio de índice de refração n_1 , onde estão as fontes, do meio de índice de refração n_2 , onde se encontra uma tela a uma distância D da interface. Considere que $\lambda \ll p \ll D$ e $n_2 > n_1$, conforme mostra a figura. As fontes de luz estão localizadas a uma distância h do eixo de simetria da interface, em semiplanos diametralmente opostos.

Considerando a aproximação paraxial para esse sistema óptico, responda aos itens a seguir, utilizando apenas os parâmetros mencionados no enunciado.



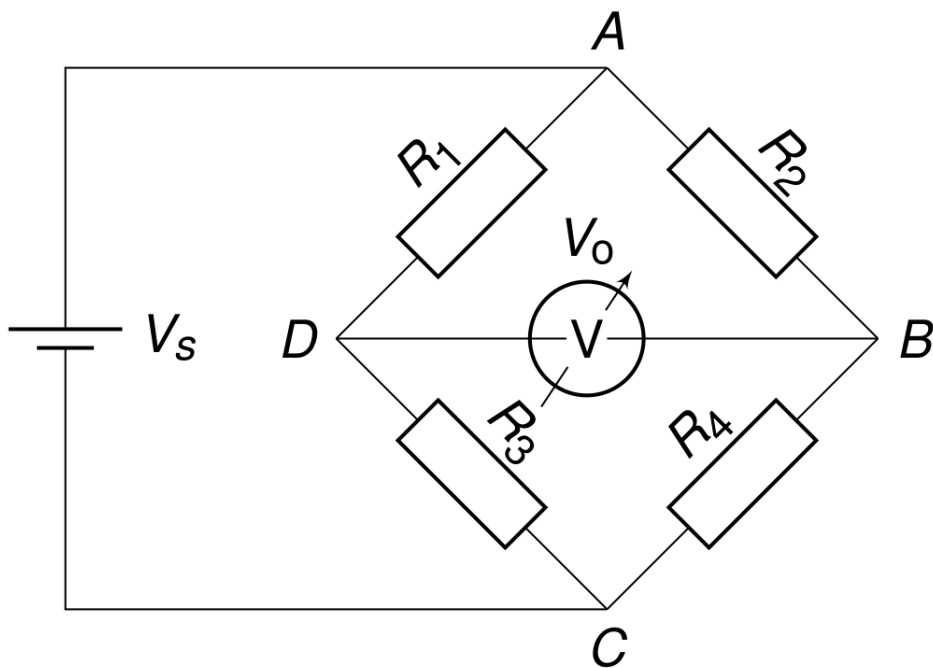
- a) Determine a expressão da posição horizontal p' da imagem das fontes pontuais com relação à interface e determine as posições verticais da imagem das fontes pontuais em função de n_1 , n_2 , R e p .
- b) Determine a distância entre o ponto luminoso central e a primeira franja luminosa do padrão de interferência projetado na tela quando $R \rightarrow \infty$.

Questão 6. Considere o circuito da figura abaixo, o qual está ligado por dois fios idênticos e condutores, suspensos numa placa não condutora rígida e fixa no espaço, a duas placas planas paralelas metálicas, neutras, de área A ($A = a^2$) e capacitância C igual à do capacitor do circuito. As placas paralelas estão a uma distância d ($d \ll a$) uma da outra na situação inicial de equilíbrio e estão ligadas entre si por uma mola ideal não condutora que está no seu comprimento natural. Inicialmente, as chaves S_1 e S_2 estão abertas. No instante t_1 , a chave S_1 é fechada, e o capacitor carrega alimentado por uma fonte com diferença de potencial ε . Depois de o capacitor estar completamente carregado, no instante t_2 , a chave S_1 é aberta, e a chave S_2 é fechada. Em um instante $t_3 > t_2$, o sistema se encontra no ponto de equilíbrio, e a tensão medida pelo voltímetro é um quarto daquela em t_2 . Considere que as placas condutoras permanecem paralelas em todas as situações. Para o instante t_3 , obtenha



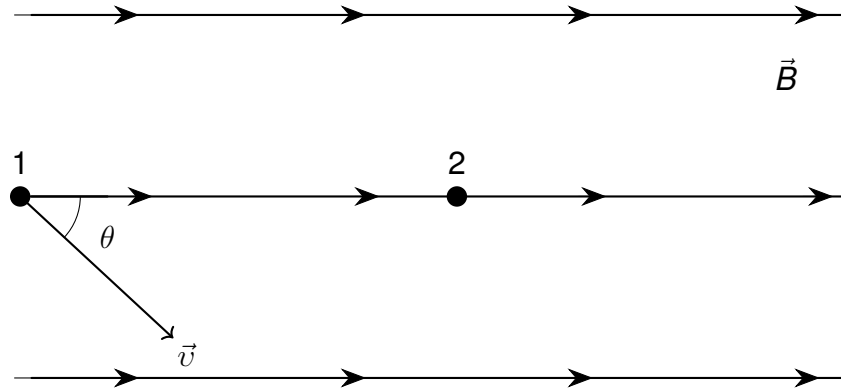
- a carga livre que fluiu do capacitor para as placas condutoras;
- a deformação da mola;
- a constante elástica da mola.

Questão 7. Um estudante de engenharia deseja montar um sistema para monitorar, com a máxima precisão, a deformação mecânica de uma viga metálica, minimizando o efeito térmico, por meio de dispositivos resistivos R_i (com $i = 1, \dots, 4$) fixados na viga e ligados em uma ponte de Wheatstone não equilibrada e alimentada por uma fonte ideal de tensão constante V_s . Cada dispositivo utilizado pode ser um resistor de resistência R_0 constante ou um extensômetro de resistência nominal R_0 , fator G de calibração e coeficiente térmico linear α . Para pequenas variações, a resistência de um extensômetro varia segundo $\frac{\Delta R}{R_0} = G\varepsilon + \alpha\Delta T$, em que ε é a deformação mecânica, com $\varepsilon > 0$ para tração e $\varepsilon < 0$ para compressão, e ΔT é a variação de temperatura. A saída da ponte é definida por $V_o = V_D - V_B$, medida por um voltímetro ideal, conforme ilustra a figura. Considere sempre o regime linear de pequenas variações, de modo que termos quadráticos e produtos entre pequenas correções possam ser desprezados, tais como $(\alpha\Delta T)^2$, ε^2 e $\varepsilon\alpha\Delta T$ e que, se $|x| \ll 1$, podemos aproximar $(1+x)^{-1} \approx 1-x$. Responda aos itens abaixo.



- a)** Considerando que o estudante utilizou apenas um extensômetro, enquanto os outros três braços da ponte são resistores de resistência R_0 constante, obtenha o módulo da tensão de saída V_o da ponte, em função de ε e ΔT .
- b)** Suponha agora que o estudante deseja medir ε com máxima precisão. Considerando que todo o sistema está na mesma temperatura e que, na viga metálica, há pontos de compressão e tração de mesma intensidade, indique em que tipo de ponto (tração ou compressão) cada dispositivo deve ser afixado, apontando se ele deve ser extensômetro ou resistor de resistência constante R_0 .

Questão 8. Em um determinado experimento inspirado no funcionamento de um espectrômetro de massa, partículas carregadas são inicialmente aceleradas, a partir do repouso, por uma diferença de potencial $V > 0$. Em seguida, elas penetram, no vácuo, em uma região onde somente um campo magnético uniforme $\vec{B}$ atua. Uma partícula de massa m e carga $q > 0$ entra nessa região pelo ponto 1, com velocidade $\vec{v}$, formando um ângulo θ com a direção do campo magnético, conforme ilustra a figura abaixo.



Observa-se que, durante a trajetória, a partícula volta a passar pela mesma linha de campo na qual o movimento teve início. Em um desses retornos, ela passa pelo ponto 2, situado a uma distância L do ponto 1. Desprezando efeitos relativísticos, determine

- o módulo da velocidade da partícula ao penetrar na região de campo magnético;
- o tipo de movimento realizado pela partícula no interior da região de campo magnético, justificando sua resposta;
- a condição que $\cos \theta$ deve satisfazer para que a partícula passe pelo ponto 2. Expresse sua resposta em função dos dados do problema.

Questão 9. Considere duas ondas eletromagnéticas coerentes entre si que se propagam no vácuo ao longo do eixo x . A superposição dos campos elétricos dessas ondas, ambos paralelos ao eixo z , é dada pelo seguinte campo elétrico resultante:

$$\vec{E} = E_0 \{ \cos [k(x + d) - \omega t] + \cos(kx - \omega t) \} \hat{z},$$

em que k é o número de onda, e ω é a frequência angular. E_0 e d são constantes positivas. Assuma distâncias d que satisfazem a relação $kd = n\pi$ para $n = 0, 1, 2, \dots$. Responda aos itens a seguir.

- a)** Mostre que $\vec{E}$ pode ser reescrito como uma onda que se propaga no sentido $x > 0$, com amplitude expressa apenas em função de E_0 e n .
- b)** Indique a relação entre n e o tipo de interferência gerada por essa superposição.
- c)** Determine o campo magnético $\vec{B}$ resultante dessa superposição, indicando sua orientação, considerando que possui amplitude de módulo B_0 .

Questão 10. Em um determinado referencial inercial, um elétron em repouso interage com um fóton de frequência ν . Sabendo que essa colisão é elástica e que o fóton é desviado de um ângulo θ em relação à sua trajetória original, faça o que se pede.

a) Deduza a expressão para a frequência ν' do fóton espalhado em função de ν , de θ , da massa do elétron (m_e), da constante de Planck (h) e da velocidade da luz (c).

b) Considere agora um observador O que se move com velocidade constante na mesma direção do fóton espalhado. Obtenha a velocidade V que o observador O deva ter para que a frequência do fóton espalhado nesse referencial seja a mesma frequência original ν .