

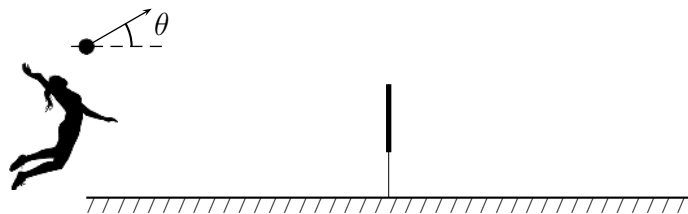
**Quando precisar use os seguintes valores para as constantes:** Constante da gravitação universal  $G = 7 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg.s}^2$ . Aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Velocidade do som no ar  $= 340 \text{ m/s}$ . Raio da Terra  $R = 6400 \text{ km}$ . Constante dos gases  $R = 8,3 \text{ J/mol.K}$ . Índice adiabático do ar  $\gamma = C_P/C_V = 1,4$ . Massa molecular do ar  $M_{ar} = 0,029 \text{ kg/mol}$ . Permeabilidade magnética do vácuo  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ . Pressão atmosférica  $1,0 \text{ atm} = 100 \text{ kPa}$ . Massa específica da água  $= 1,0 \text{ g/cm}^3$

**Questão 1.** Considere uma estrela de neutrons com densidade média de  $5 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$ , sendo que sua frequência de vibração radial  $\nu$  é função do seu raio  $R$ , de sua massa  $m$  e da constante da gravitação universal  $G$ . Sabe-se que  $\nu$  é dada por uma expressão monomial, em que a constante adimensional de proporcionalidade vale aproximadamente 1. Então o valor de  $\nu$  é da ordem de

- A ( )  $10^{-2} \text{ Hz}$ . C ( )  $10^0 \text{ Hz}$ . E ( )  $10^4 \text{ Hz}$ .  
B ( )  $10^{-1} \text{ Hz}$ . D ( )  $10^2 \text{ Hz}$ .

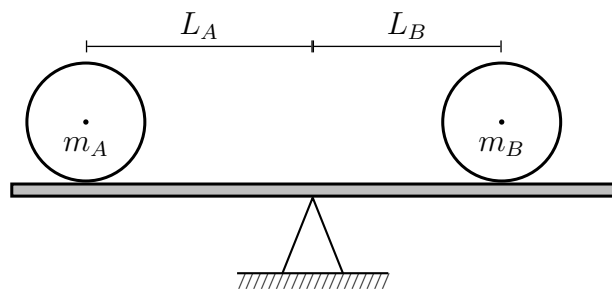
**Questão 2.** Numa quadra de volei de 18m de comprimento, com rede de 2,24 m de altura, uma atleta solitária faz um saque com a bola bem em cima da linha de fundo, a 3,0 m de altura, num ângulo  $\theta$  de  $15^\circ$  com a horizontal, conforme a figura, com trajetória num plano perpendicular à rede. Desprezando o atrito, pode-se dizer que, com 12 m/s de velocidade inicial, a bola

- A ( ) bate na rede.  
B ( ) passa tangenciando a rede.  
C ( ) passa a rede e cai antes da linha de fundo.  
D ( ) passa a rede e cai na linha de fundo.  
E ( ) passa a rede e cai fora da quadra.



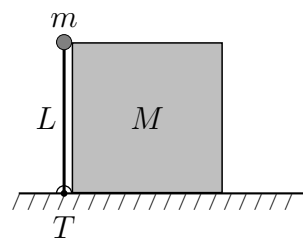
**Questão 3.** Sobre uma prancha horizontal de massa desprezível e apoiada no centro, dois discos, de massas  $m_A$  e  $m_B$ , respectivamente, rolam com as respectivas velocidades  $v_A$  e  $v_B$ , constantes, em direção ao centro, do qual distam  $L_A$  e  $L_B$ , conforme a figura. Com o sistema em equilíbrio antes que os discos colidam, a razão  $v_A/v_B$  é dada por

- A ( ) 1.  
B ( )  $m_A/m_B$ .  
C ( )  $m_B/m_A$ .  
D ( )  $L_A m_A / L_B m_B$ .  
E ( )  $L_B m_B / L_A m_A$ .



**Questão 4.** Uma haste vertical de comprimento  $L$ , sem peso, é presa a uma articulação  $T$  e dispõe em sua extremidade de uma pequena massa  $m$  que, conforme a figura, toca levemente a quina de um bloco de massa  $M$ . Após uma pequena perturbação, o sistema movimenta-se para a direita. A massa  $m$  perde o contato com  $M$  no momento em que a haste perfaz um ângulo de  $\pi/6$  rad com a horizontal. Desconsiderando atritos, assinale a velocidade final do bloco.

- A ( )  $\sqrt{\frac{mgL}{M}}$  C ( )  $\sqrt{\frac{mgL}{M+4m/3}}$  E ( )  $\sqrt{gL}$   
B ( )  $\sqrt{\frac{mgL}{M+4m}}$  D ( )  $\sqrt{\frac{2mgL}{M}}$

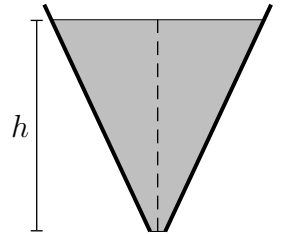


**Questão 5.** Em queixa à polícia, um músico depõe ter sido quase atropelado por um carro, tendo distinguido o som em Mi da buzina na aproximação do carro e em Ré, no seu afastamento. Então, com base no fato de ser de 10/9 a relação das frequências  $\nu_{\text{Mi}}/\nu_{\text{Ré}}$ , a perícia técnica conclui que a velocidade do carro, em km/h, deve ter sido aproximadamente de

- A ( ) 64.                      B ( ) 71.                      C ( ) 83.                      D ( ) 102.                      E ( ) 130.

**Questão 6.** Na figura, o tanque em forma de tronco de cone, com 10,0 cm de raio da base, contém água até o nível de altura  $h = 500$  cm, com 100 cm de raio da superfície livre. Removendo-se a tampa da base, a água começa a escoar e, nesse instante, a pressão no nível a 15,0 cm de altura é de

- A ( ) 100 kPa.  
B ( ) 102 kPa.  
C ( ) 129 kPa.  
D ( ) 149 kPa.  
E ( ) 150 kPa.

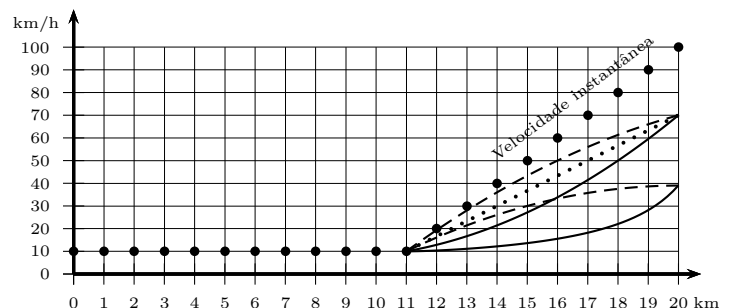


**Questão 7.** A partir de um mesmo ponto a uma certa altura do solo, uma partícula é lançada sequencialmente em três condições diferentes, mas sempre com a mesma velocidade inicial horizontal  $v_0$ . O primeiro lançamento é feito no vácuo e o segundo, na atmosfera com ar em repouso. O terceiro é feito na atmosfera com ar em movimento cuja velocidade em relação ao solo é igual em módulo, direção e sentido à velocidade  $v_0$ . Para os três lançamentos, designando-se respectivamente de  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  os tempos de queda da partícula e de  $v_1$ ,  $v_2$  e  $v_3$  os módulos de suas respectivas velocidades ao atingir o solo, assinale a alternativa correta.

- A ( )  $t_1 < t_3 < t_2$ ;  $v_1 > v_3 > v_2$                       D ( )  $t_1 < t_2 < t_3$ ;  $v_1 = v_3 > v_2$   
B ( )  $t_1 < t_2 = t_3$ ;  $v_1 > v_3 > v_2$                       E ( )  $t_1 < t_2 = t_3$ ;  $v_1 > v_2 = v_3$   
C ( )  $t_1 = t_3 < t_2$ ;  $v_1 = v_3 > v_2$

**Questão 8.** Os pontos no gráfico indicam a velocidade instantânea, quilômetro a quilômetro, de um carro em movimento retilíneo. Por sua vez, o computador de bordo do carro calcula a velocidade média dos últimos 9 km por ele percorridos. Então, a curva que melhor representa a velocidade média indicada no computador de bordo entre os quilômetros 11 e 20 é

- A ( ) a tracejada que termina acima de 50 km/h.  
B ( ) a cheia que termina acima de 50 km/h.  
C ( ) a tracejada que termina abaixo de 50 km/h.  
D ( ) a pontilhada.  
E ( ) a cheia que termina abaixo de 50 km/h.



**Questão 9.** Uma massa  $m$  de carga  $q$  gira em órbita circular de raio  $R$  e período  $T$  no plano equatorial de um ímã. Nesse plano, a uma distância  $r$  do ímã, a intensidade do campo magnético é  $B(r) = \mu/r^3$ , em que  $\mu$  é uma constante. Se fosse de  $4R$  o raio dessa órbita, o período seria de

- A ( )  $T/2$ .                      B ( )  $2T$ .                      C ( )  $8T$ .                      D ( )  $32T$ .                      E ( )  $64T$ .

**Questão 10.** Um tubo fino de massa 1225 g e raio  $r = 10,0$  cm encontra-se inicialmente em repouso sobre um plano horizontal sem atrito. A partir do ponto mais alto, um corpo de massa 71,0 g com velocidade inicial zero desliza sem atrito pelo interior do tubo no sentido anti-horário, conforme a figura. Então, quando na posição mais baixa, o corpo terá uma velocidade relativa ao tubo, em cm/s, igual a

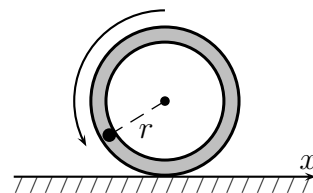
A ( ) -11,3.

B ( ) -206.

C ( ) 11,3.

D ( ) 206.

E ( ) 194.



**Questão 11.** Num plano horizontal liso, presas cada qual a uma corda de massa desprezível, as massas  $m_1$  e  $m_2$  giram em órbitas circulares de mesma frequência angular uniforme, respectivamente com raios  $r_1$  e  $r_2 = r_1/2$ . Em certo instante essas massas colidem-se frontal e elasticamente e cada qual volta a perfazer um movimento circular uniforme. Sendo iguais os módulos das velocidades de  $m_1$  e  $m_2$  após o choque, assinale a relação  $m_2/m_1$ .

A ( ) 1

B ( ) 3/2

C ( ) 4/3

D ( ) 5/4

E ( ) 7/5

**Questão 12.** Considere quatro cargas fixadas sobre o eixo  $x$  orientado para a direita. Duas delas,  $-q_1$  e  $+q_1$ , separadas por uma distância  $a_1$ , formam o sistema 1 e as outras duas,  $-q_2$  e  $+q_2$ , separadas por uma distância  $a_2$ , formam o sistema 2. Considerando que ambos os sistemas estão separados por uma distância  $r$  muito maior que  $a_1$  e  $a_2$ , conforme a figura, e que  $(1+z)^{-2} \simeq 1 - 2z + 3z^2$  para  $z \ll 1$ , a força exercida pelo sistema 1 sobre o sistema 2 é

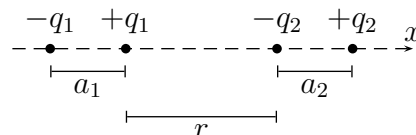
A ( )  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ .

D ( )  $-\frac{6}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2 a_1 a_2}{r^4}$ .

B ( )  $-\frac{2}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ .

E ( )  $\frac{8}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2 a_1 a_2}{r^4}$ .

C ( )  $-\frac{2}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2 a_1 a_2}{r^4}$ .



**Questão 13.** Quatro corpos pontuais, cada qual de massa  $m$ , atraem-se mutuamente devido à interação gravitacional. Tais corpos encontram-se nos vértices de um quadrado de lado  $L$  girando em torno do seu centro com velocidade angular constante. Sendo  $G$  a constante de gravitação universal, o período dessa rotação é dado por

A ( )  $2\pi\sqrt{\frac{L^3}{Gm} \left( \frac{4 - \sqrt{2}}{2} \right)}$ .

C ( )  $\sqrt{\frac{L^3}{Gm} \left( \frac{4 + \sqrt{2}}{7} \right)}$ .

E ( )  $\sqrt{\frac{L^3}{Gm} \left( \frac{4 + \sqrt{2}}{2} \right)}$ .

B ( )  $\frac{4\pi}{3}\sqrt{\frac{\sqrt{2}L^3}{3Gm}}$ .

D ( )  $2\pi\sqrt{\frac{L^3}{Gm} \left( \frac{4 - \sqrt{2}}{7} \right)}$ .

**Questão 14.** Dois espelhos esféricos interdistantes de 50 cm, um côncavo,  $E_1$ , e outro convexo,  $E_2$ , são dispostos coaxialmente tendo a mesma distância focal de 16 cm. Uma vela é colocada diante dos espelhos perpendicularmente ao eixo principal, de modo que suas primeiras imagens conjugadas por  $E_1$  e  $E_2$  tenham o mesmo tamanho. Assinale a opção com as respectivas distâncias, em cm, da vela aos espelhos  $E_1$  e  $E_2$ .

A ( ) 25 e 25

B ( ) 41 e 9

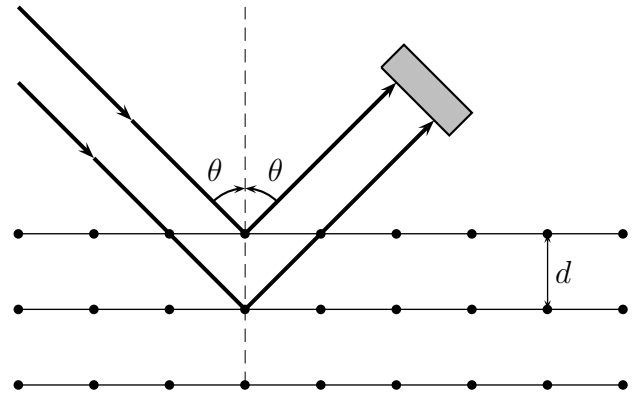
C ( ) 34 e 16

D ( ) 35 e 15

E ( ) 40 e 10

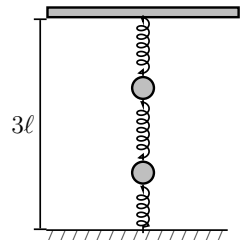
**Questão 15.** Com um certo material, cujas camadas atômicas interdistam de uma distância  $d$ , interage um feixe de radiação que é detectado em um ângulo  $\theta$  conforme a figura. Tal experimento é realizado em duas situações: **(I)** o feixe é de raios X monocromáticos, com sua intensidade de radiação medida por um detector, resultando numa distribuição de intensidade em função de  $\theta$ , com valor máximo para  $\theta = \alpha$ , e **(II)** o feixe é composto por elétrons monoenergéticos, com a contagem do número de elétrons por segundo para cada ângulo medido, resultando no seu valor máximo para  $\theta = \beta$ . Assinale a opção com possíveis mudanças que implicam a alteração simultânea dos ângulos  $\alpha$  e  $\beta$  medidos.

- A ( ) Aumenta-se a intensidade do feixe de raio X e diminui-se a velocidade dos elétrons.
- B ( ) Aumenta-se a frequência dos raios X e triplica-se o número de elétrons no feixe.
- C ( ) Aumentam-se o comprimento de onda dos raios X e a energia cinética dos elétrons.
- D ( ) Dobram-se a distância entre camadas  $d$  (pela escolha de outro material) e o comprimento de onda dos raios X. Além disso, diminui-se a velocidade dos elétrons pela metade.
- E ( ) Diminui-se a intensidade dos raios X e aumenta-se a energia dos elétrons.



**Questão 16.** Três molas idênticas, de massas desprezíveis e comprimentos naturais  $\ell$ , são dispostas verticalmente entre o solo e o teto a  $3\ell$  de altura. Conforme a figura, entre tais molas são fixadas duas massas pontuais iguais. Na situação inicial de equilíbrio, retira-se a mola inferior (ligada ao solo) resultando no deslocamento da massa superior de uma distância  $d_1$  para baixo, e da inferior, de uma distância  $d_2$  também para baixo, alcançando-se nova posição de equilíbrio. Assinale a razão  $d_2/d_1$ .

- A ( ) 2
- B ( ) 3/2
- C ( ) 5/3
- D ( ) 4/3
- E ( ) 5/4



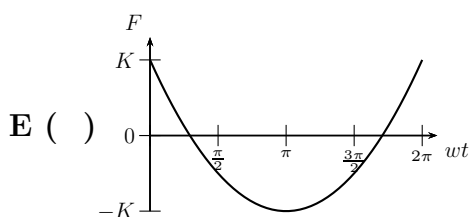
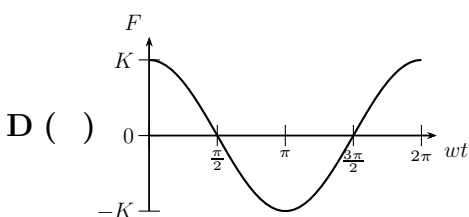
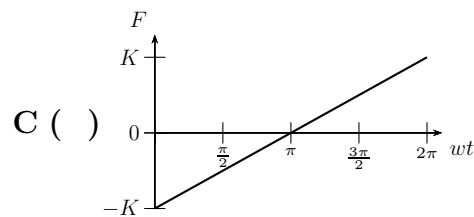
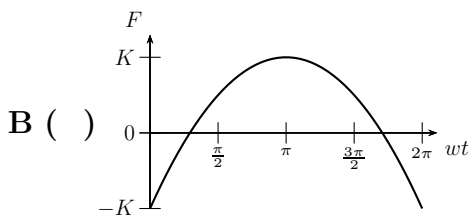
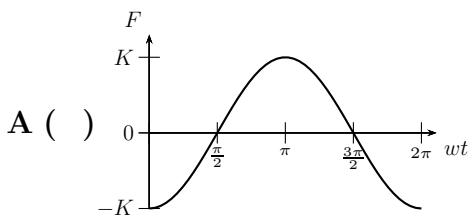
**Questão 17.** No livro *Teoria do Calor* (1871), Maxwell, escreveu referindo-se a um recipiente cheio de ar:

*“... iniciando com uma temperatura uniforme, vamos supor que um recipiente é dividido em duas partes por uma divisória na qual existe um pequeno orifício, e que um ser que pode ver as moléculas individualmente abre e fecha esse orifício de tal modo que permite somente a passagem de moléculas rápidas de A para B e somente as lentas de B para A. Assim, sem realização de trabalho, ele aumentará a temperatura de B e diminuirá a temperatura de A em contradição com ... ”.*

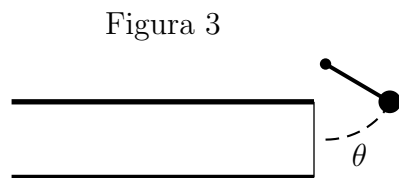
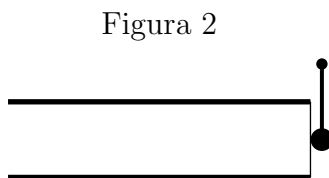
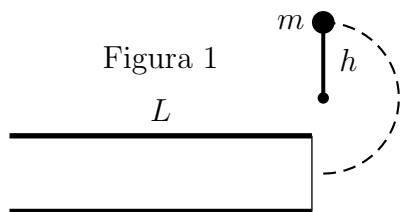
Assinale a opção que melhor completa o texto de Maxwell.

- A ( ) a primeira lei da termodinâmica.
- B ( ) a segunda lei da termodinâmica.
- C ( ) a lei zero da termodinâmica.
- D ( ) o teorema da energia cinética.
- E ( ) o conceito de temperatura.

**Questão 18.** Dois fios longos de comprimento  $L$  conduzem correntes iguais,  $I$ . O primeiro fio é fixo no eixo  $x$  do sistema de referência enquanto o segundo gira lentamente com frequência angular  $w$  num plano paralelo ao plano  $xy$ , com seu ponto médio fixo em  $z = d$ , sendo  $d > 0$ . Supondo que os dois fios sejam paralelos com correntes no mesmo sentido em  $t = 0$ , e definindo  $K = \mu_0 I^2 L / (2\pi d)$ , assinale a opção com a figura que melhor representa a dependência temporal da força  $F$  que o fio fixo exerce sobre o outro.



**Questão 19.** Um pêndulo simples de massa  $m$  e haste rígida de comprimento  $h$  é articulado em torno de um ponto e solto de uma posição vertical, conforme a Figura 1. Devido à gravidade, o pêndulo gira atingindo uma membrana ligada a um tubo aberto em uma das extremidades, de comprimento  $L$  e área da seção transversal  $S$  (Figura 2). Após a colisão de reduzida duração,  $\Delta t$ , o pêndulo recua atingindo um ângulo máximo  $\theta$  (Figura 3). Sejam  $\rho$  a densidade de equilíbrio do ar e  $c$  a velocidade do som. Supondo que energia tenha sido transferida somente para a harmônica fundamental da onda sonora plana no tubo, assinale a opção com a amplitude da oscilação das partículas do ar.



**A ( )**  $\frac{2L}{\pi c} \sqrt{\frac{2mgh(1 + \cos \theta)}{\rho S c \Delta t}}$

**C ( )**  $\frac{2L}{\pi c} \sqrt{\frac{2mgh(1 + \cos \theta)}{\rho S L}}$

**E ( )**  $\frac{L}{\pi c} \sqrt{\frac{2mgh(1 - \cos \theta)}{\rho S c \Delta t}}$

**B ( )**  $\frac{L}{c} \sqrt{\frac{2mgh(1 + \cos \theta)}{\rho S L}}$

**D ( )**  $\frac{2L}{\pi c} \sqrt{\frac{2mgh(1 - \cos \theta)}{\rho S c \Delta t}}$

**Questão 20.** Dois recipientes  $A$  e  $B$  de respectivos volumes  $V_A$  e  $V_B = \beta V_A$ , constantes, contêm um gás ideal e são conectados por um tubo fino com válvula que regula a passagem do gás, conforme a figura. Inicialmente o gás em  $A$  está na temperatura  $T_A$  sob pressão  $P_A$  e em  $B$ , na temperatura  $T_B$  sob pressão  $P_B$ . A válvula é então aberta até que as pressões finais  $P_{Af}$  e  $P_{Bf}$  alcancem a proporção  $P_{Af}/P_{Bf} = \alpha$ , mantendo as temperaturas nos seus valores iniciais. Assinale a opção com a expressão de  $P_{Af}$ .

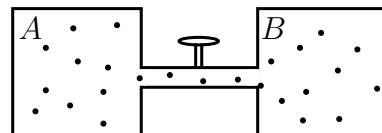
**A ( )**  $\left[ \left( \frac{P_B T_A}{P_A T_B} + \beta \right) / \left( \beta + \frac{1}{\alpha} \frac{T_A}{T_B} \right) \right] P_A$

**B ( )**  $\left[ \left( 1 + \beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} \right) / \left( 1 - \frac{\beta}{\alpha} \frac{T_A}{T_B} \right) \right] P_A$

**C ( )**  $\left[ \left( 1 + \beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} \right) / \left( 1 + \frac{\beta}{\alpha} \frac{T_A}{T_B} \right) \right] P_A$

**D ( )**  $\left[ \left( 1 + \beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} \right) / \left( \alpha + \beta \frac{T_A}{T_B} \right) \right] P_A$

**E ( )**  $\left[ \left( \beta \frac{P_B T_A}{P_A T_B} - 1 \right) / \left( \alpha + \beta \frac{T_A}{T_B} \right) \right] P_A$

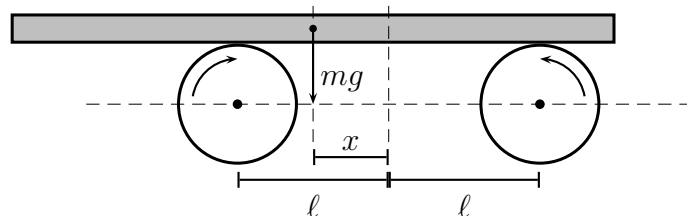


---

As questões dissertativas, numeradas de 21 a 30, devem ser desenvolvidas, justificadas e respondidas no caderno de soluções

---

**Questão 21.** Uma prancha homogênea de massa  $m$  é sustentada por dois roletes, interdistantes de  $2\ell$ , que giram rapidamente em sentidos opostos, conforme a figura. Inicialmente o centro de massa da prancha dista  $x$  da linha intermediária entre os roletes. Sendo  $\mu$  o coeficiente de atrito cinético entre os roletes e a prancha, determine a posição do centro de massa da prancha em função do tempo.



**Questão 22.** Uma esfera sólida e homogênea de volume  $V$  e massa específica  $\rho$  repousa totalmente imersa na interface entre dois líquidos imiscíveis. O líquido de cima tem massa específica  $\rho_c$  e o de baixo,  $\rho_b$ , tal que  $\rho_c < \rho < \rho_b$ . Determine a fração imersa no líquido superior do volume da esfera.

**Questão 23.** Dois capacitores em paralelo de igual capacitância  $C$  estão ligados a uma fonte cuja diferença de potencial é  $U$ . A seguir, com essa fonte desligada, introduz-se um dielétrico de constante dielétrica  $k$  num dos capacitores, ocupando todo o espaço entre suas placas. Calcule:

- a carga livre que flui de um capacitor para outro;
- a nova diferença de potencial entre as placas dos capacitores;
- a variação da energia total dos capacitores entre as duas situações.

**Questão 24.** Seja um cometa numa órbita elíptica com as distâncias do afélio,  $r_a$ , e periélio,  $r_p$ . Com o Sol num dos focos como origem de um sistema de coordenadas polares, a equação que descreve o módulo do vetor posição  $\mathbf{r}$  em função do ângulo  $\theta$  medido a partir do periélio é  $r(\theta) = \alpha/(1 + \epsilon \cos \theta)$ , em que  $\alpha$  e  $\epsilon$  são constantes, sendo  $0 < \epsilon < 1$ . Expresse a excentricidade  $\epsilon$ , a constante  $\alpha$  e o período da órbita em função de  $r_a$  e  $r_p$ .

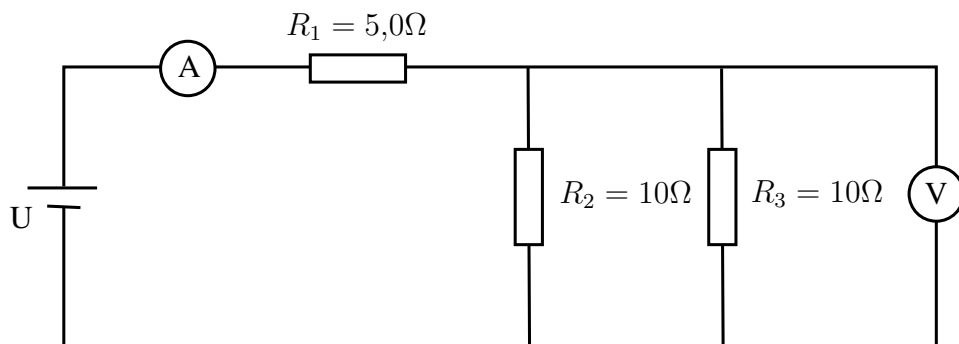
**Questão 25.** Na figura, os dois trens se aproximam, um com velocidade constante  $v_1 = 108$  km/h e o outro com velocidade também constante  $v_2 = 144$  km/h. Considere os trens condutores perfeitos e os trilhos interdistantes de  $d = 2,0$  m, com resistência elétrica por unidade de comprimento igual a  $0,10 \Omega/\text{km}$ . Sabendo que em  $t = 0$  os trens estão a 10 km de distância entre si e que o componente vertical local do campo magnético da Terra é  $B = 5,0 \times 10^{-5}$  T, determine a corrente nos trilhos em função do tempo.



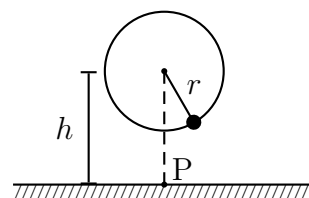
**Questão 26.** Contando com um prisma e um contador de número de fótons por segundo, deseja-se medir a temperatura de uma estrela com base no seu espectro eletromagnético obtido por meio de um telescópio.

- Projete esquematicamente esse experimento representando o prisma como um triângulo e o contador de fótons por segundo como um quadrado.
- Explique os conceitos usados em (a) para obter a temperatura da estrela.

**Questão 27.** No circuito abaixo os medidores de corrente e de tensão elétrica possuem resistência interna. Sabendo-se que a fonte fornece a ddp  $U$ , o voltímetro mede  $4,0\text{ V}$ , o amperímetro mede  $1,0\text{ A}$  e que os valores das resistências  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$  estão indicadas na figura, calcule o valor da resistência interna do voltímetro.



**Questão 28.** Na figura, presa a um fio de comprimento de  $1,0\text{ m}$ , uma massa de  $1,0\text{ kg}$  gira com uma certa velocidade angular num plano vertical sob a ação da gravidade, com eixo de rotação a  $h = 6,0\text{ m}$  do piso. Determine a velocidade angular mínima dessa massa para a ruptura do fio que suporta no máximo a tração de  $46\text{ N}$ , bem como a distância ao ponto P do ponto em que, nesse caso, a massa tocará o solo.



**Questão 29.** Um átomo de Hidrogênio emite um fóton de energia  $2,55\text{ eV}$  na transição entre dois estados estacionários. A razão entre as velocidades dos elétrons nesses dois estados é  $1/2$ . Determine a energia potencial do elétron no estado final desse átomo, sabendo que energia total no estado  $n$  é  $E_n = -13,6/n^2\text{ eV}$  e o raio é  $r = n^2 r_B$ , em que  $r_B$  é o raio de Bohr e  $n = 1, 2, 3, \dots$ .

**Questão 30.** A figura mostra um fio por onde passa uma corrente  $I$  conectado a uma espira circular de raio  $a$ . A semicircunferência superior tem resistência igual a  $2R$  e a inferior, igual a  $R$ . Encontre a expressão para o campo magnético no centro da espira em termos da corrente  $I$ .

