

Se precisar, use os seguintes valores para as constantes: carga do próton = $1,6 \times 10^{-19}$ C; massa do próton = $1,7 \times 10^{-27}$ kg; aceleração da gravidade $g = 10$ m/s²; 1 atm = 76 cm Hg; velocidade da luz no vácuo $c = 3 \times 10^8$ m/s.

Questão 1. Ao passar pelo ponto O , um helicóptero segue na direção norte com velocidade v constante. Nesse momento, um avião passa pelo ponto P , a uma distância δ de O , e voa para o oeste, em direção a O , com velocidade u também constante, conforme mostra a figura. Considerando t o instante em que a distância d entre o helicóptero e o avião for mínima, assinale a alternativa correta.

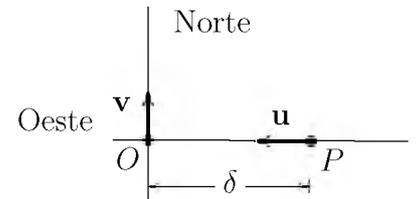
A () A distância percorrida pelo helicóptero no instante em que o avião alcança o ponto O é $\delta u/v$.

B () A distância do helicóptero ao ponto O no instante t é igual a $\delta v/\sqrt{v^2 + u^2}$.

C () A distância do avião ao ponto O no instante t é igual a $\delta v^2/(v^2 + u^2)$.

D () O instante t é igual a $\delta v/(v^2 + u^2)$.

E () A distância d é igual a $\delta u/\sqrt{v^2 + u^2}$.



Questão 2. No interior de uma caixa de massa M , apoiada num piso horizontal, encontra-se fixada uma mola de constante elástica k presa a um corpo de massa m , em equilíbrio na vertical. Conforme a figura, este corpo também se encontra preso a um fio tracionado, de massa desprezível, fixado à caixa, de modo que resulte uma deformação b da mola. Considere que a mola e o fio se encontram no eixo vertical de simetria da caixa. Após o rompimento do fio, a caixa vai perder contato com o piso se

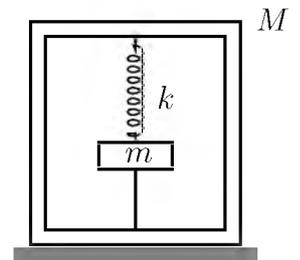
A () $b > (M + m)g/k$.

B () $b > (M + 2m)g/k$.

C () $b > (M - m)g/k$.

D () $b > (2M - m)g/k$.

E () $b > (M - 2m)g/k$.



Questão 3. Num experimento clássico de Young, d representa a distância entre as fendas e D a distância entre o plano destas fendas e a tela de projeção das franjas de interferência, como ilustrado na figura. Num primeiro experimento, no ar, utiliza-se luz de comprimento de onda λ_1 e, num segundo experimento, na água, utiliza-se luz cujo comprimento de onda no ar é λ_2 . As franjas de interferência dos experimentos são registradas numa mesma tela. Sendo o índice de refração da água igual a n , assinale a expressão para a distância entre as franjas de interferência construtiva de ordem m para o primeiro experimento e as de ordem M para o segundo experimento.

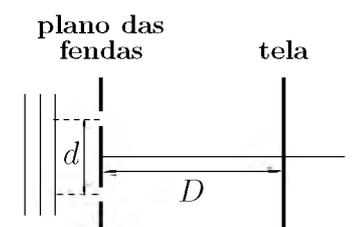
A () $|D(M\lambda_2 - mn\lambda_1)/(nd)|$

B () $|D(M\lambda_2 - m\lambda_1)/(nd)|$

C () $|D(M\lambda_2 - mn\lambda_1)/d|$

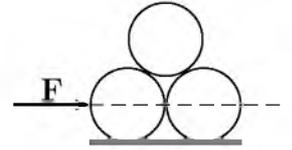
D () $|Dn(M\lambda_2 - m\lambda_1)/d|$

E () $|D(Mn\lambda_2 - m\lambda_1)/d|$



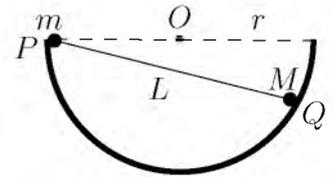
Questão 4. Num certo experimento, três cilindros idênticos encontram-se em contato pleno entre si, apoiados sobre uma mesa e sob a ação de uma força horizontal \mathbf{F} , constante, aplicada na altura do centro de massa do cilindro da esquerda, perpendicularmente ao seu eixo, conforme a figura. Desconsiderando qualquer tipo de atrito, para que os três cilindros permaneçam em contato entre si, a aceleração a provocada pela força deve ser tal que

- A () $g/(3\sqrt{3}) \leq a \leq g/\sqrt{3}$.
 B () $2g/(3\sqrt{2}) \leq a \leq 4g/\sqrt{2}$.
 C () $g/(2\sqrt{3}) \leq a \leq 4g/(3\sqrt{3})$.
 D () $2g/(3\sqrt{2}) \leq a \leq 3g/(4\sqrt{2})$.
 E () $g/(2\sqrt{3}) \leq a \leq 3g/(4\sqrt{3})$.



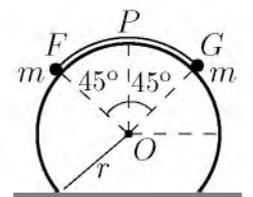
Questão 5. Duas partículas, de massas m e M , estão respectivamente fixadas nas extremidades de uma barra de comprimento L e massa desprezível. Tal sistema é então apoiado no interior de uma casca hemisférica de raio r , de modo a se ter equilíbrio estático com m posicionado na borda P da casca e M , num ponto Q , conforme mostra a figura. Desconsiderando forças de atrito, a razão m/M entre as massas é igual a

- A () $(L^2 - 2r^2)/(2r^2)$. D () $(2L^2 - 3r^2)/(r^2 - L^2)$.
 B () $(2L^2 - 3r^2)/(2r^2)$. E () $(3L^2 - 2r^2)/(L^2 - 2r^2)$.
 C () $(L^2 - 2r^2)(r^2 - L^2)$.



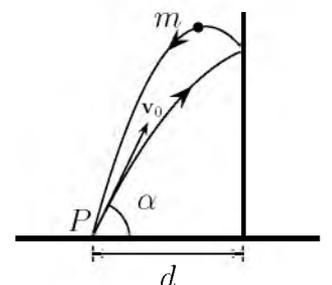
Questão 6. Uma corda, de massa desprezível, tem fixada em cada uma de suas extremidades, F e G , uma partícula de massa m . Esse sistema encontra-se em equilíbrio apoiado numa superfície cilíndrica sem atrito, de raio r , abrangendo um ângulo de 90° e simetricamente disposto em relação ao ápice P do cilindro, conforme mostra a figura. Se a corda for levemente deslocada e começa a escorregar no sentido anti-horário, o ângulo $\theta \equiv FOP$ em que a partícula na extremidade F perde contato com a superfície é tal que

- A () $2 \cos \theta = 1$.
 B () $2 \cos \theta - \sin \theta = \sqrt{2}$.
 C () $2 \sin \theta + \cos \theta = \sqrt{2}$.
 D () $2 \cos \theta + \sin \theta = \sqrt{2}$.
 E () $2 \cos \theta + \sin \theta = \sqrt{2}/2$.



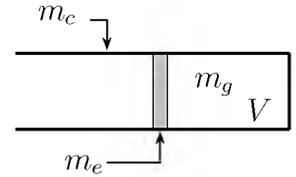
Questão 7. Uma pequena bola de massa m é lançada de um ponto P contra uma parede vertical lisa com uma certa velocidade v_0 , numa direção de ângulo α em relação à horizontal. Considere que após a colisão a bola retorna ao seu ponto de lançamento, a uma distância d da parede, como mostra a figura. Nestas condições, o coeficiente de restituição deve ser

- A () $e = gd/(v_0^2 \sin 2\alpha - gd)$.
 B () $e = 2gd/(v_0^2 \cos 2\alpha - 2gd)$.
 C () $e = 3gd/(2v_0^2 \sin 2\alpha - 2gd)$.
 D () $e = 4gd/(v_0^2 \cos 2\alpha - gd)$.
 E () $e = 2gd/(v_0^2 \tan 2\alpha - gd)$.



Questão 8. A figura mostra um sistema, livre de qualquer força externa, com um êmbolo que pode ser deslocado sem atrito em seu interior. Fixando o êmbolo e preenchendo o recipiente de volume V com um gás ideal a pressão P , e em seguida liberando o êmbolo, o gás expande-se adiabaticamente. Considerando as respectivas massas m_c , do cilindro, e m_e , do êmbolo, muito maiores que a massa m_g do gás, e sendo γ o expoente de Poisson, a variação da energia interna ΔU do gás quando a velocidade do cilindro for v_c é dada aproximadamente por

- A () $3PV^\gamma/2$.
 B () $3PV/(2(\gamma - 1))$.
 C () $-m_c(m_e + m_c)v_c^2/(2m_e)$.
 D () $-(m_c + m_e)v_c^2/2$.
 E () $-m_e(m_e + m_c)v_c^2/(2m_c)$.

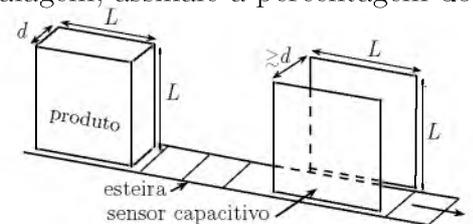


Questão 9. Uma rampa maciça de 120 kg inicialmente em repouso, apoiada sobre um piso horizontal, tem sua declividade dada por $\tan \theta = 3/4$. Um corpo de 80 kg desliza nessa rampa a partir do repouso, nela percorrendo 15 m até alcançar o piso. No final desse percurso, e desconsiderando qualquer tipo de atrito, a velocidade da rampa em relação ao piso é de aproximadamente

- A () 1 m/s. B () 3 m/s. C () 5 m/s.
 D () 2 m/s. E () 4 m/s.

Questão 10. Certo produto industrial constitui-se de uma embalagem rígida cheia de óleo, de dimensões $L \times L \times d$, sendo transportado numa esteira que passa por um sensor capacitivo de duas placas paralelas e quadradas de lado L , afastadas entre si de uma distância ligeiramente maior que d , conforme a figura. Quando o produto estiver inteiramente inserido entre as placas, o sensor deve acusar um valor de capacitância C_0 . Considere, contudo, tenha havido antes um indesejado vazamento de óleo, tal que a efetiva medida da capacitância seja $C = 3/4C_0$. Sendo dadas as respectivas constantes dielétricas do óleo, $\kappa = 2$; e do ar, $\kappa_{ar} = 1$, e desprezando o efeito da constante dielétrica da embalagem, assinale a porcentagem do volume de óleo vazado em relação ao seu volume original.

- A () 5% B () 50% C () 100%
 D () 10% E () 75%

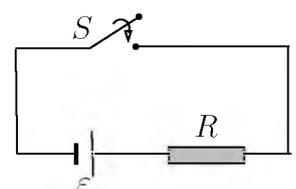


Questão 11. O circuito mostrado na figura é constituído por um gerador com f.e.m. ε e um resistor de resistência R . Considere as seguintes afirmações, sendo a chave S fechada:

- I - Logo após a chave S ser fechada haverá uma f.e.m. autoinduzida no circuito.
 II - Após um tempo suficientemente grande cessará o fenômeno de autoindução no circuito.
 III - A autoindução no circuito ocorrerá sempre que houver variação da corrente elétrica no tempo.

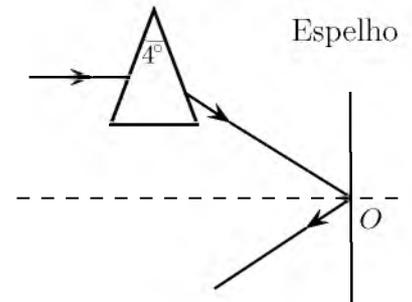
Assinale a alternativa verdadeira.

- A () Apenas a I é correta.
 B () Apenas a II é correta.
 C () Apenas a III é correta.
 D () Apenas a II e a III são corretas.
 E () Todas são corretas.



Questão 12. Um raio horizontal de luz monocromática atinge um espelho plano vertical após incidir num prisma com abertura de 4° e índice de refração $n = 1,5$. Considere o sistema imerso no ar e que tanto o raio emergente do prisma como o refletido pelo espelho estejam no plano do papel, perpendicular ao plano do espelho, como mostrado na figura. Assinale a alternativa que indica respectivamente o ângulo e o sentido em que deve ser girado o espelho em torno do eixo perpendicular ao plano do papel que passa pelo ponto O, de modo que o raio refletido retorne paralelamente ao raio incidente no prisma.

- A () 4° , sentido horário.
- B () 2° , sentido horário.
- C () 2° , sentido antihorário.
- D () 1° , sentido horário.
- E () 1° , sentido antihorário.

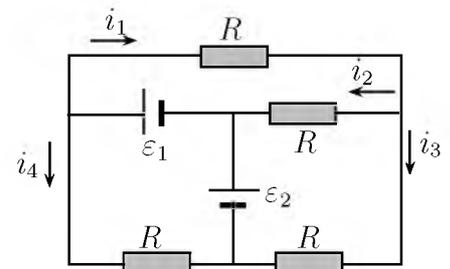


Questão 13. Um prato plástico com índice de refração 1,5 é colocado no interior de um forno de micro-ondas que opera a uma frequência de $2,5 \times 10^9$ Hz. Supondo que as micro-ondas incidam perpendicularmente ao prato, pode-se afirmar que a mínima espessura deste em que ocorre o máximo de reflexão das micro-ondas é de

- A () 1,0 cm.
- B () 2,0 cm.
- C () 3,0 cm.
- D () 4,0 cm.
- E () 5,0 cm.

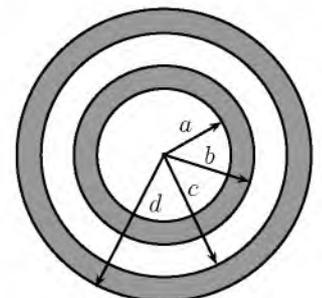
Questão 14. Considere o circuito elétrico mostrado na figura formado por quatro resistores de mesma resistência, $R = 10 \Omega$, e dois geradores ideais cujas respectivas forças eletromotrizes são $\varepsilon_1 = 30 V$ e $\varepsilon_2 = 10 V$. Pode-se afirmar que as correntes i_1 , i_2 , i_3 e i_4 nos trechos indicados na figura, em ampères, são respectivamente de

- A () 2, $2/3$, $5/3$ e 4.
- B () $7/3$, $2/3$, $5/3$ e 4.
- C () 4, $4/3$, $2/3$ e 2.
- D () 2, $4/3$, $7/3$ e $5/3$.
- E () 2, $2/3$, $4/3$ e 4.



Questão 15. A figura mostra duas cascas esféricas condutoras concêntricas no vácuo, descarregadas, em que a e c são, respectivamente, seus raios internos, e b e d seus respectivos raios externos. A seguir, uma carga pontual negativa é fixada no centro das cascas. Estabelecido o equilíbrio eletrostático, a respeito do potencial nas superfícies externas das cascas e do sinal da carga na superfície de raio d , podemos afirmar, respectivamente, que

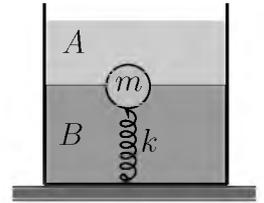
- A () $V(b) > V(d)$ e a carga é positiva.
- B () $V(b) < V(d)$ e a carga é positiva.
- C () $V(b) = V(d)$ e a carga é negativa.
- D () $V(b) > V(d)$ e a carga é negativa.
- E () $V(b) < V(d)$ e a carga é negativa.



Questão 16. Um recipiente contém dois líquidos homogêneos e imiscíveis, A e B, com densidades respectivas ρ_A e ρ_B . Uma esfera sólida, maciça e homogênea, de massa $m = 5$ kg, permanece em equilíbrio sob

ação de uma mola de constante elástica $k = 800 \text{ N/m}$, com metade de seu volume imerso em cada um dos líquidos, respectivamente, conforme a figura. Sendo $\rho_A = 4\rho$ e $\rho_B = 6\rho$, em que ρ é a densidade da esfera, pode-se afirmar que a deformação da mola é de

- A () 0 m.
- B () $9/16$ m.
- C () $3/8$ m.
- D () $1/4$ m.
- E () $1/8$ m.



Questão 17. Diferentemente da dinâmica newtoniana, que não distingue passado e futuro, a direção temporal tem papel marcante no nosso dia-a-dia. Assim, por exemplo, ao aquecer uma parte de um corpo macroscópico e o isolarmos termicamente, a temperatura deste se torna gradualmente uniforme, jamais se observando o contrário, o que indica a direcionalidade do tempo. Diz-se então que os processos macroscópicos são irreversíveis, evoluem do passado para o futuro e exibem o que o famoso cosmólogo Sir Arthur Eddington denominou de seta do tempo. A lei física que melhor traduz o tema do texto é

- A () a segunda lei de Newton.
- B () a lei de conservação da energia.
- C () a segunda lei da termodinâmica.
- D () a lei zero da termodinâmica.
- E () a lei de conservação da quantidade de movimento.

Questão 18. Num experimento que usa o efeito fotoelétrico ilumina-se a superfície de um metal com luz proveniente de um gás de hidrogênio cujos átomos sofrem transições do estado n para o estado fundamental. Sabe-se que a função trabalho ϕ do metal é igual à metade da energia de ionização do átomo de hidrogênio cuja energia do estado n é dada por $E_n = E_1/n^2$. Considere as seguintes afirmações:

I - A energia cinética máxima do elétron emitido pelo metal é $E_C = E_1/n^2 - E_1/2$.

Assinale a alternativa verdadeira.

II - A função trabalho do metal é $\phi = -E_1/2$.

A () Apenas a I e a III são corretas.

III - A energia cinética máxima dos elétrons emitidos aumenta com o aumento da frequência da luz incidente no metal a partir da frequência mínima de emissão.

B () Apenas a II e a III são corretas.

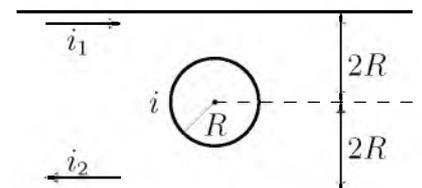
C () Apenas a I e a II são corretas.

D () Apenas a III é correta.

E () Todas são corretas.

Questão 19. Uma espira circular de raio R é percorrida por uma corrente elétrica i criando um campo magnético. Em seguida, no mesmo plano da espira, mas em lados opostos, a uma distância $2R$ do seu centro colocam-se dois fios condutores retilíneos, muito longos e paralelos entre si, percorridos por correntes i_1 e i_2 não nulas, de sentidos opostos, como indicado na figura. O valor de i e o seu sentido para que o módulo do campo de indução resultante no centro da espira não se altere são respectivamente

- A () $i = (1/2\pi)(i_1 + i_2)$ e horário.
- B () $i = (1/2\pi)(i_1 + i_2)$ e antihorário.
- C () $i = (1/4\pi)(i_1 + i_2)$ e horário.
- D () $i = (1/4\pi)(i_1 + i_2)$ e antihorário.
- E () $i = (1/\pi)(i_1 + i_2)$ e horário.



Questão 20. Uma lua de massa m de um planeta distante, de massa $M \gg m$, descreve uma órbita elíptica com semieixo maior a e semieixo menor b , perfazendo um sistema de energia E . A lei das áreas de Kepler relaciona a velocidade v da lua no apogeu com sua velocidade v' no perigeu, isto é, $v'(a - e) = v(a + e)$, em que e é a medida do centro ao foco da elipse. Nessas condições, podemos afirmar que

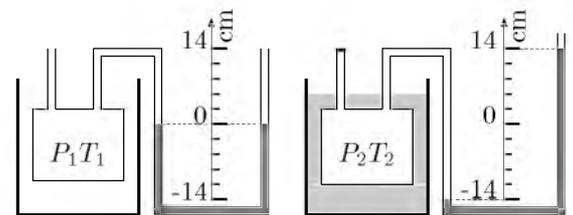
- A () $E = -GMm/(2a)$. B () $E = -GMm/(2b)$. C () $E = -GMm/(2e)$.
D () $E = -GMm/\sqrt{a^2 + b^2}$. E () $v' = \sqrt{2GM/(a - e)}$.

Questões Dissertativas

Questão 21. Considere as seguintes relações fundamentais da dinâmica relativística de uma partícula: a massa relativística $m = m_0\gamma$, o momentum relativístico $p = m_0\gamma v$ e a energia relativística $E = m_0\gamma c^2$, em que m_0 é a massa de repouso da partícula e $\gamma = 1/\sqrt{1 - v^2/c^2}$ é o fator de Lorentz. Demonstre que $E^2 - p^2c^2 = (m_0c^2)^2$ e, com base nessa relação, discuta a afirmação: “Toda partícula com massa de repouso nula viaja com a velocidade da luz c ”.

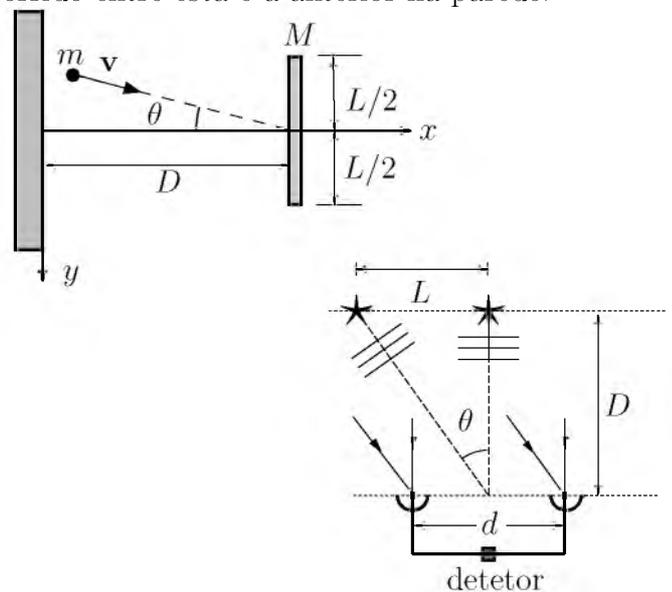
Questão 22. Um recipiente é inicialmente aberto para a atmosfera a temperatura de 0°C . A seguir, o recipiente é fechado e imerso num banho térmico com água em ebulição. Ao atingir o novo equilíbrio, observa-se o desnível do mercúrio indicado na escala das colunas do manômetro. Construa um gráfico $P \times T$ para os dois estados do ar no interior do recipiente e o extrapole para encontrar a temperatura T_0

quando a pressão $P = 0$, interpretando fisicamente este novo estado à luz da teoria cinética dos gases.



Questão 23. Num plano horizontal $x \times y$, um projétil de massa m é lançado com velocidade \mathbf{v} , na direção θ com o eixo x , contra o centro de massa de uma barra rígida, homogênea, de comprimento L e massa M , que se encontra inicialmente em repouso a uma distância D de uma parede, conforme a figura. Após uma primeira colisão elástica com a barra, o projétil retrocede e colide elasticamente com a parede. Desprezando qualquer atrito, deter-

mine o intervalo de valores de θ para que ocorra uma segunda colisão com a barra, e também o tempo decorrido entre esta e a anterior na parede.



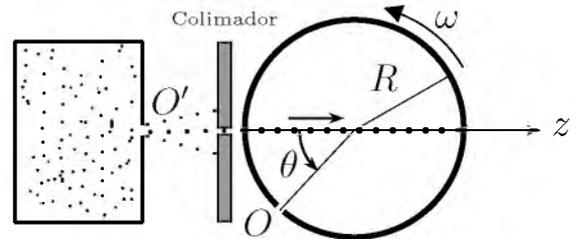
Questão 24. Dois radiotelescópios num mesmo plano com duas estrelas operam como um interferômetro na frequência de 2,1 GHz. As estrelas são interdistantes de $L = 5,0$ anos-luz e situam-se a uma distância $D = 2,5 \times 10^7$ anos-luz da Terra. Ver figura. Calcule a separação mínima, d , entre os dois radiotelescópios necessária para distinguir as estrelas. Sendo $\theta \ll 1$ em radianos, use a aproximação $\theta \simeq \tan \theta \simeq \sin \theta$.

Questão 25. Em atmosfera de ar calmo e densidade uniforme d_a , um balão aerostático, inicialmente de densidade d , desce verticalmente com aceleração constante de módulo a . A seguir, devido a uma variação de massa e de volume, o balão passa a subir verticalmente com aceleração de mesmo módulo a . Determine a variação relativa do volume em função da variação relativa da massa e das densidades d_a e d .

Questão 26. Um mol de um gás ideal sofre uma expansão adiabática reversível de um estado inicial cuja pressão é P_i e o volume é V_i para um estado final em que a pressão é P_f e o volume é V_f . Sabe-se que $\gamma = C_p/C_v$ é o expoente de Poisson, em que C_p e C_v são os respectivos calores molares a pressão e a volume constantes. Obtenha a expressão do trabalho realizado pelo gás em função de P_i, V_i, P_f, V_f e γ .

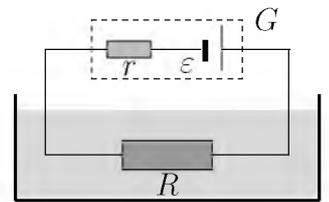
Questão 27. Um dispositivo é usado para determinar a distribuição de velocidades de um gás. Em $t = 0$, com os orifícios O' e O alinhados no eixo z , moléculas ejetadas de O' , após passar por um colimador, penetram no orifício O do tambor de raio interno R , que gira com velocidade angular constante ω . Considere, por simplificação, que neste instante inicial ($t = 0$) as moléculas em movimento encontram-se agrupadas em torno do centro do orifício O . Enquanto o tambor gira, conforme mostra a figura, tais moléculas movem-se horizontalmente no interior deste ao longo da direção do eixo z , cada qual com sua própria velocidade, sendo paulatinamente depositadas na superfície interna do

tambor no final de seus percursos. Nestas condições, obtenha em função do ângulo θ a expressão para $v - v_{\min}$, em que v é a velocidade da molécula depositada correspondente ao giro θ do tambor e v_{\min} é a menor velocidade possível para que as moléculas sejam depositadas durante a primeira volta deste.



Questão 28. O experimento mostrado na figura foi montado para elevar a temperatura de certo líquido no menor tempo possível, dispendendo uma quantidade de calor Q . Na figura, G é um gerador de força eletromotriz ε , com resistência elétrica interna r , e R é a resistência externa submersa no líquido. Desconsiderando trocas de calor entre o líquido e o meio externo, a) Determine o valor de R e da corrente i em função de ε e da potência elétrica P fornecida pelo gerador nas condições impostas. b) Represente

graficamente a equação característica do gerador, ou seja, a diferença de potencial U em função da intensidade da corrente elétrica i . c) Determine o intervalo de tempo transcorrido durante o aquecimento em função de Q, i e ε .



Questão 29. Duas placas condutoras de raio R e separadas por uma distância $d \ll R$ são polarizadas com uma diferença de potencial V por meio de uma bateria. Suponha sejam uniformes a densidade superficial de carga nas placas e o campo elétrico gerado no vácuo entre elas. Um pequeno disco fino, condutor, de massa m e raio r , é colocado no centro da placa inferior. Com o sistema sob a ação da gravidade g , determine, em função dos parâmetros dados, a diferença de potencial mínima fornecida pela bateria para que o disco se desloque ao longo do campo elétrico na direção da placa superior.

Questão 30. Um próton em repouso é abandonado do eletrodo positivo de um capacitor de placas paralelas submetidas a uma diferença de potencial $\varepsilon = 1000$ V e espaçadas entre si de $d = 1$ mm, conforme a figura. A seguir, ele passa através de um pequeno orifício no segundo eletrodo para uma região de campo magnético uniforme de módulo $B = 1,0$ T. Faça um gráfico da energia cinética do próton em função do comprimento de sua trajetória até o instante em que a sua velocidade torna-se paralela às placas do capacitor. Apresente detalhadamente seus cálculos.

