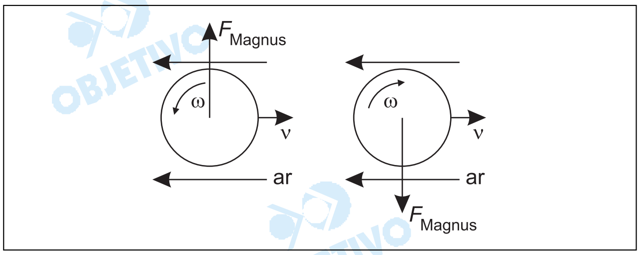
14

É comum vermos, durante uma partida de voleibol, a bola tomar repentinamente trajetórias inesperadas logo depois que o jogador efetua um saque. A bola pode cair antes do esperado, assim como pode ter sua trajetória prolongada, um efeito inesperado para a baixa velocidade com que a bola se locomove. Quando uma bola se desloca no ar com uma velocidade v e girando com velocidade angular ω em torno de um eixo que passa pelo seu centro, ela fica sujeita a uma força $F_{Magnus} = k.v.\ \omega$. Essa força é perpendicular à trajetória e ao eixo de rotação da bola, e o seu sentido depende do sentido da rotação da bola, como ilustrado na figura. O parâmetro k é uma constante que depende das características da bola e da densidade do ar.

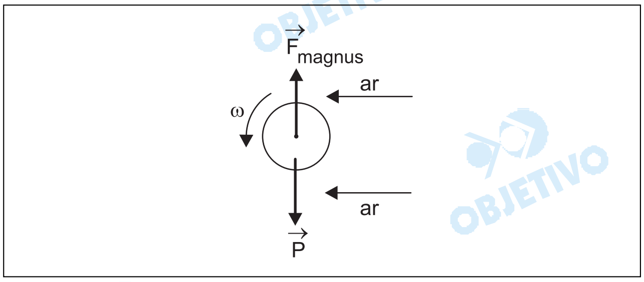


Esse fenômeno é conhecido como efeito Magnus. Represente a aceleração da gravidade por g e despreze a força de resistência do ar ao movimento de translação da bola.

a) Considere o caso em que o saque é efetuado na direção horizontal e de uma altura maior que a altura do jogador. A bola de massa M segue por uma trajetória retilínea e horizontal com uma velocidade constante v, atravessando toda a extensão da quadra. Qual deve ser o sentido e a velocidade angular de rotação ω a ser imprimida à bola no momento do saque?

b) Considere o caso em que o saque é efetuado na direção horizontal, de uma altura h, com a mesma velocidade inicial v, mas sem imprimir rotação na bola. Calcule o alcance horizontal D da bola.

Resolução



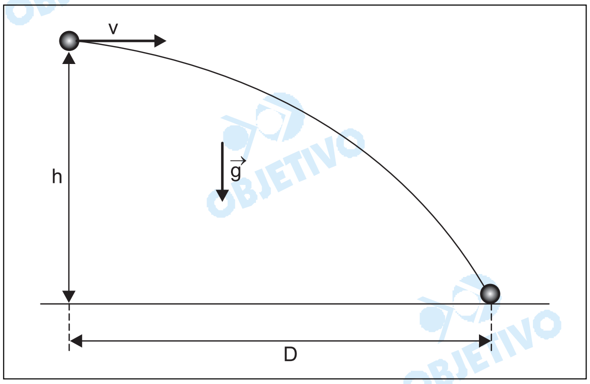
a) *Para ter velocidade horizontal constante, a resultante das forças na bola deve ser nula e para tanto a chamada "força magnus" deve equilibrar o peso e, portanto, deve ser orientada para cima.*
Com o vento soprando para a esquerda, o ***sentido***

de rotação da bola deve ser anti-horário.

$F_{magnus} = P$

$k\,v\,\omega = Mg \Rightarrow \boxed{\omega = \dfrac{Mg}{kv}}$

b)



1) *Cálculo do tempo de queda*

Analisando-se o movimento vertical (MUV), vem:

$$\Delta s_y = v_{0_y}\, t + \frac{\gamma_y}{2}\, t^2$$

$$h = 0 + \frac{g}{2}\, t_Q^2 \Rightarrow t_Q = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

2) *Cálculo do alcance horizontal*

Analisando-se o movimento horizontal (MU), vem:

$\Delta s_x = v_x\, t$

$$\boxed{D = v\sqrt{\frac{2h}{g}}}$$

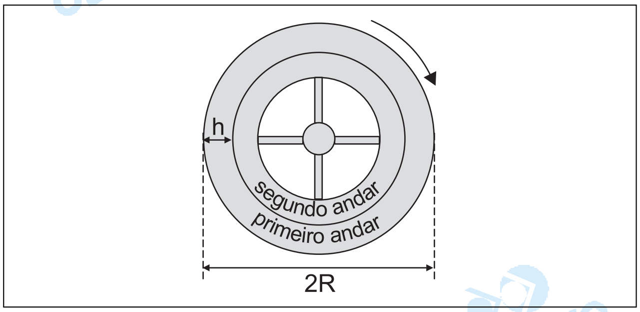
Respostas: *a) sentido anti-horário*

$$\omega = \frac{Mg}{kv}$$

$$b)\ D = v\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

15

Uma estação espacial, construída em forma cilíndrica, foi projetada para contornar a ausência de gravidade no espaço. A figura mostra, de maneira simplificada, a secção reta dessa estação, que possui dois andares.



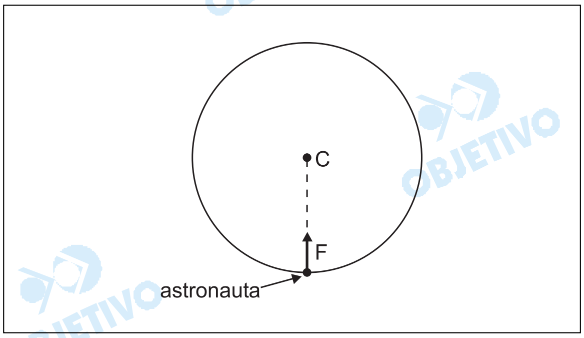
Para simular a gravidade, a estação deve girar em torno do seu eixo com uma certa velocidade angular. Se o raio externo da estação é R,

a) deduza a velocidade angular ω com que a estação deve girar para que um astronauta, em repouso no primeiro andar e a uma distância R do eixo da estação, fique sujeito a uma aceleração igual a g.

b) Suponha que o astronauta vá para o segundo andar, a uma distância h do piso do andar anterior. Calcule o peso do astronauta nessa posição e compare com o seu peso quando estava no primeiro andar. O peso aumenta, diminui ou permanece inalterado ?

Resolução

a)



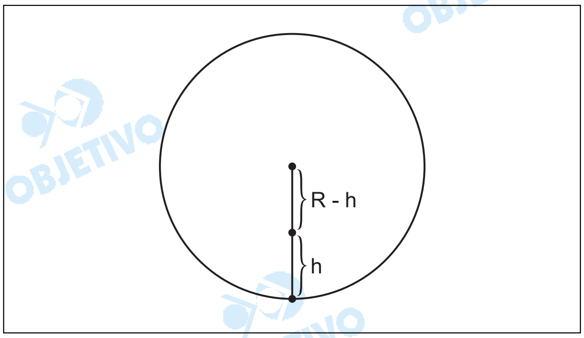
O peso "aparente" do astronauta corresponde à força normal que ele recebe da estação e que faz o papel de resultante centrípeta.

$P_{ap} = F = m\,\omega^2 R$

Como se pretende simular uma gravidade aparente igual a ***g****, vem:*

$\omega^2 R = g \Rightarrow \boxed{\omega = \sqrt{\dfrac{g}{R}}}$

b)



O novo peso aparente será dado por:

$P_{ap} = m\,\omega^2\,(R - h)$

Sendo $\omega^2 = \dfrac{g}{R}$, *vem*

$$P_{ap} = m\,\frac{g}{R}\,(R - h)$$

$$\boxed{P_{ap} = mg\left(\frac{R - h}{R}\right)}$$

Como R – h < R, o peso aparente vai diminuir.

Respostas: a) $\omega = \sqrt{\dfrac{g}{R}}$

b) $P_{ap} = mg\left(\dfrac{R - h}{R}\right)$

O peso aparente diminuiu.

16

Atualmente, o laser de CO_2 tem sido muito aplicado em microcirurgias, onde o feixe luminoso é utilizado no lugar do bisturi de lâmina. O corte com o laser é efetuado porque o feixe provoca um rápido aquecimento e evaporação do tecido, que é constituído principalmente de água. Considere um corte de 2,0 cm de comprimento, 3,0 mm de profundidade e 0,5 mm de largura, que é aproximadamente o diâmetro do feixe. Sabendo que a massa específica da água é 10^3 kg/m^3, o calor específico é $4{,}2.10^3$ J/kg.K e o calor latente de evaporação é $2{,}3.10^6$ J/kg,

a) estime a quantidade de energia total consumida para fazer essa incisão, considerando que, no processo, a temperatura do tecido se eleva 63°C e que este é constituído exclusivamente de água.

b) Se o corte é efetuado a uma velocidade de 3,0 cm/s, determine a potência do feixe, considerando que toda a energia fornecida foi gasta na incisão.

Resolução

a) ***Volume do tecido vaporizado:***

$V = 20 \ . \ 3{,}0 \ . \ 0{,}5 \ (mm)^3$

$V = 30(mm)^3 = 3{,}0 \ . \ 10^{-8} m^3$

Massa do tecido vaporizado:

$$d = \frac{m}{V} \Rightarrow m = dV$$

$m = 10^3 \ . \ 3{,}0 \ . \ 10^{-8} kg$

$m = 3{,}0 \ . \ 10^{-5} kg$

Cálculo da energia consumida para o aquecimento e vaporização do tecido:

$Q = m \, c \, \Delta\theta + mL_V$

$Q = 3{,}0 \ . \ 10^{-5} \ . \ 4{,}2 \ . \ 10^3 \ . \ 63 + 3{,}0 \ . \ 10^{-5} \ . \ 2{,}3 \ . \ 10^6 \ (J)$

$Q = 793{,}8 \ . \ 10^{-2} + 6{,}9 \ . \ 10 \ (J)$

$Q \cong 7{,}9 + 69{,}0 \ (J)$

$\boxed{Q \cong 76{,}9 \ J}$

b) *A incisão tem 2,0cm e o módulo da velocidade com que é feito o corte é 3,0cm/s. Assim:*

$$V = \frac{\Delta s}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta s}{V}$$

$$\Delta t_{corte} = \frac{2{,}0}{3{,}0} \ s$$

Assim:

$$Pot = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{76{,}9 \ J}{\frac{2{,}0}{3{,}0} \ s}$$

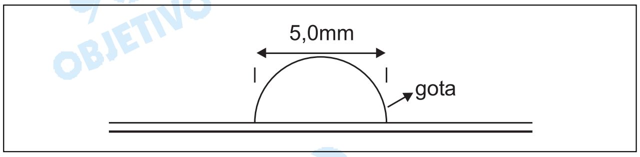
$\boxed{Pot \cong 115{,}4 \ W}$

Respostas: *a) 76,9J ou ≅77J*

b) 115,4W ou ≅115W

17

Um estudante observa uma gota de água em repouso sobre sua régua de acrílico, como ilustrado na figura.



Curioso, percebe que, ao olhar para o caderno de anotações através dessa gota, as letras aumentam ou diminuem de tamanho conforme afasta ou aproxima a régua do caderno. Fazendo alguns testes e algumas considerações, ele percebe que a gota de água poder ser utilizada como uma lente e que os efeitos ópticos do acrílico podem ser desprezados. Se a gota tem raio de curvatura de 2,5 mm e índice de refração 1,35 em relação ao ar,

a) calcule a convergência C dessa lente.

b) Suponha que o estudante queira obter um aumento de 50 vezes para uma imagem direita, utilizando essa gota. A que distância d da lente deve-se colocar o objeto?

Resolução

a) *Usando-se a Equação de Halley, temos:*

$$C = \left(\frac{n_{lente}}{n_{meio}} - 1\right)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

Sendo

$R_1 = +2,5mm = 2,5 \cdot 10^{-3}m$

$$R_2 \to \infty \text{ (face plana)} \Rightarrow \frac{1}{R_2} \to 0$$

temos:

$$C = (1,35 - 1)\left(\frac{1}{2,5 \cdot 10^{-3}} - 0\right) \text{ (di)}$$

$$C = 0,35 \cdot 400 \text{ (di)}$$

$$\boxed{C = 1,4 \cdot 10^2 \text{ di}}$$

b) *O aumento proporcionado na imagem pode ser determinado por:*

$$A = \frac{f}{f - p}$$

Sendo:

$$C = \frac{1}{f} = 140\text{di}$$

$$f = +\frac{1}{140} \text{ m}$$

temos:

$$50 = \frac{\frac{1}{140}}{\frac{1}{140} - d} \Rightarrow \frac{50}{140} - 50d = \frac{1}{140}$$

$50 - 7000\ d = 1$

$7000d = 49 \Rightarrow \boxed{d = 7{,}0\ .\ 10^{-3} m}$

Respostas: a) $1{,}4\ .\ 10^{2}$di
b) $7{,}0\ .\ 10^{-3}$m

18

A linha de transmissão que leva energia elétrica da caixa de relógio até uma residência consiste de dois fios de cobre com 10,0 m de comprimento e secção reta com área 4,0 mm^2 cada um. Considerando que a resistividade elétrica do cobre é ρ = 1,6.10^{-8} Ω.m,

a) calcule a resistência elétrica r de cada fio desse trecho do circuito.

b) Se a potência fornecida à residência for de 3.300 W a uma tensão de 110 V, calcule a potência dissipada P nesse trecho do circuito.

Resolução

a) *A resistência r é dada pela 2ª Lei de Ohm:*

$$r = \rho \cdot \frac{\ell}{A}.$$

Sendo $r = 1{,}6 \cdot 10^{-8}\Omega \cdot m$, $\ell = 10{,}0m$ *e*

$A = 4{,}0mm^2 = 4{,}0 \cdot 10^{-6}m^2$, *vem:*

$$r = 1{,}6 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{10{,}0}{4{,}0 \cdot 10^{-6}} \cdot (\Omega)$$

$$\boxed{r = 4{,}0 \cdot 10^{-2}\Omega}$$

b) *De* $P_f = U \cdot i$, *temos:*

$3300 = 110 \cdot i \Rightarrow i = 30A$

A potência elétrica total P dissipada nos dois fios da linha de transmissão é igual a:

$P = (2r) \cdot i^2$

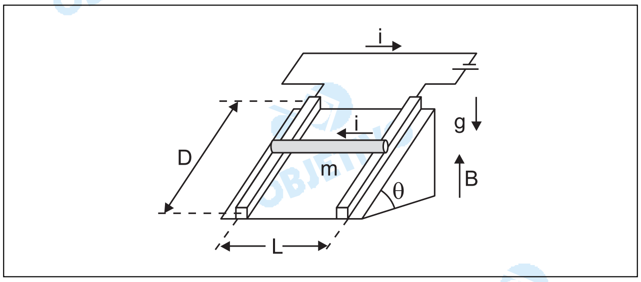
$P = (2 \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-2}) \cdot (30)^2\ (W)$

$$\boxed{P = 72W}$$

Respostas: *a)* $4{,}0 \cdot 10^{-2}\Omega$
b) 72W

19

Um pedaço de fio de comprimento L e massa m pode deslizar sobre duas hastes rígidas e lisas, de comprimento D cada uma e fixas em um plano inclinado de um ângulo θ, como é ilustrado na figura.



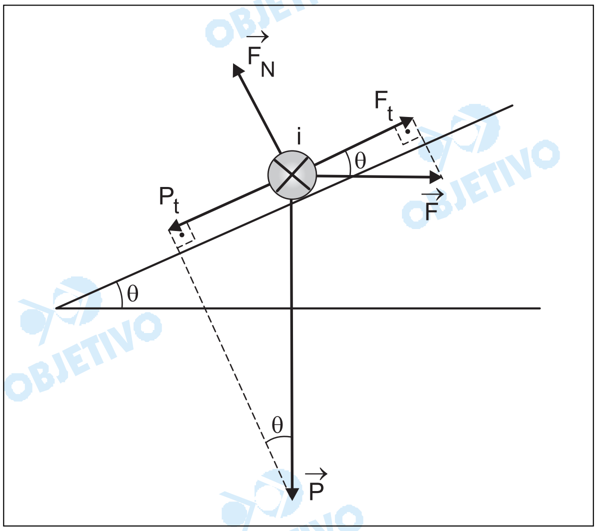
As hastes estão conectadas a uma bateria e o pedaço de fio fecha o circuito. As hastes e o fio estão submetidos a um campo magnético uniforme B vertical, apontado para cima. Representando a aceleração da gravidade por g,

a) determine o valor da corrente i para que o fio fique em equilíbrio sobre o plano inclinado.

b) Considere que o pedaço de fio esteja em equilíbrio no ponto mais baixo do plano inclinado. Se a corrente for duplicada, o fio será acelerado e deixará o plano no seu ponto mais alto. Determine a energia cinética do fio nesse ponto.

Resolução

a)



As forças que agem no fio são:

o peso $\vec{P}$, a força normal $\vec{F}_N$ e a força magnética $\vec{F}$, que tem direção horizontal e cujo sentido foi determinado pela regra da mão esquerda. No equilíbrio, as componentes $\vec{P}_t$ e $\vec{F}_t$ das forças $\vec{P}$ e $\vec{F}$ se anulam:

$F_t = P_t$

$F \cdot \cos\theta = P \text{ sen } \theta$

$BiL \cos\theta = mg \text{ sen } \theta$

$$\boxed{i = \frac{m\,g\ tg\,\theta}{BL}}$$

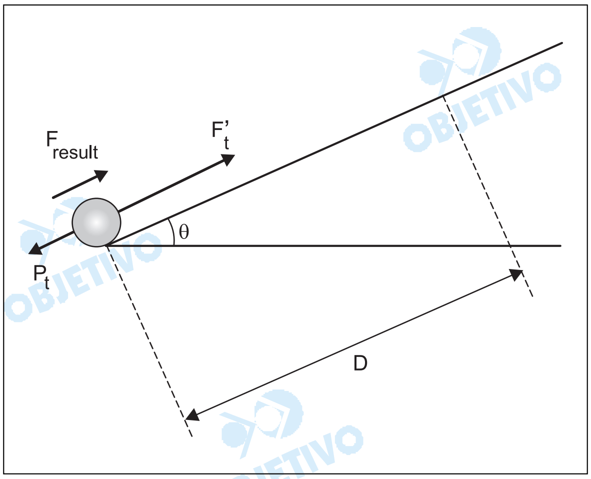
b) Duplicando-se a intensidade da corrente, a componente tangencial da força magnética será duplicada: $F'_t = 2F_t$. Assim, a força resultante sobre o fio será:

$F_{result} = F'_t - P_t$

Mas $F'_t = 2\,F_t = 2\,P_t$

Logo: $F_{result} = 2\,P_t - P_t$

$F_{result} = P_t$



Pelo Teorema da Energia Cinética, temos:

$\tau_{result} = E_C - E_{C_0}$

$P_t \,.\, D = E_C - 0$

Sendo $P_t = mg\ sen\ \theta$,vem:

$$\boxed{E_C = D\ mg\ sen\ \theta}$$

Respostas: a) $i = \dfrac{m\,g\ tg\,\theta}{BL}$

b) $E_C = D\ mg\ sen\ \theta$