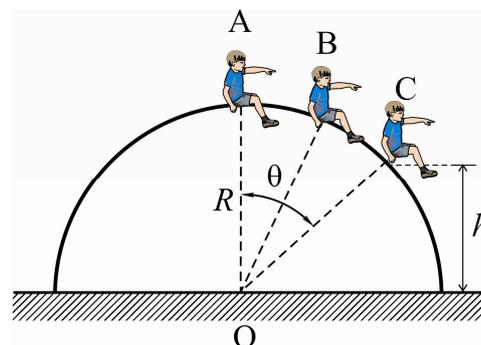


Na solução da prova, use quando necessário:

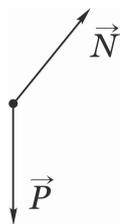
- Aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ; Densidade da água  $\rho_a = 1,0 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Velocidade da luz no vácuo  $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$
- Constante de Planck  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \times \text{s} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \times \text{s}$ ;
- Constante  $\pi = 3,14$

**Questão 1** – A Figura ao lado mostra um escorregador na forma de um semicírculo de raio  $R = 5,0 \text{ m}$ . Um garoto escorrega do topo (ponto A) até uma altura  $h$  (ponto C) abaixo do topo, onde perde o contato com o escorregador. Nessa posição, a reta que passa pelo ponto C e pelo centro O do círculo faz um ângulo  $\theta$  com a reta normal à base do semicírculo. A Figura mostra também um ponto B que está entre o ponto A e o ponto C. Desprezando os atritos ou quaisquer perdas de energia:



- a) faça o diagrama das forças que atuam sobre o garoto no ponto B e identifique cada uma das forças.

Diagrama de Forças



Identificação das Forças

$\vec{P} \rightarrow$  Peso do garoto

$\vec{N} \rightarrow$  Força Normal

- b) calcule a altura  $h$  no momento em que o garoto perde o contato com o escorregador.

O garoto perde o contato com o escorregador no ponto C onde

$$mg \cos \theta = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v^2 = Rg \cos \theta$$

Por outro lado, como a energia se conserva:

$$mg(R-h) = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow g(R-h) = \frac{1}{2}Rg \cos \theta \Rightarrow (R-h) = \frac{1}{2}R \cos \theta$$

ou, como  $\cos \theta = h/R$ ,

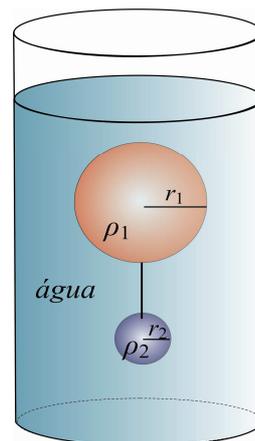
$$(R-h) = \frac{1}{2}h \Rightarrow h = \frac{2}{3}R = \frac{2}{3}(5 \text{ m}) \approx 3,33 \text{ m}$$

- c) calcule o valor da velocidade tangencial na situação do item (b).

Da expressão da conservação da energia:

$$mg(R-h) = \frac{1}{2}mv^2 \Rightarrow g\left(R - \frac{2}{3}R\right) = \frac{1}{2}v^2 \Rightarrow \frac{1}{3}Rg = \frac{1}{2}v^2 \Rightarrow v = \sqrt{\frac{2}{3}(5 \text{ m}) \times 10 \text{ m/s}^2} \approx 5,8 \text{ m/s}$$

**Questão 2** – Um estudante de Física faz um experimento no qual ele prende duas esferas de densidades  $\rho_1$  e  $\rho_2$  e raios  $r_1$  e  $r_2$  relacionados por  $\rho_1 = \rho_2/2$  e  $r_1 = 2r_2 = 10,0 \text{ cm}$ . O estudante amarra as esferas com um barbante de massa desprezível e coloca o conjunto dentro de um grande tanque contendo água. Como mostra a Figura ao lado, o conjunto de esferas flutua totalmente submerso na água, mantendo uma tração  $\vec{T}$  no barbante.



a) Faça diagramas de forças que atuam nas esferas e identifique cada uma das forças.

ESFERA 1	ESFERA 2
$\vec{P}_1 \rightarrow$ <i>Peso da esfera 1</i> $\vec{T} \rightarrow$ <i>Tração do barbante sobre a esfera 1</i> $\vec{E}_1 \rightarrow$ <i>Empuxo sobre a esfera 1</i>	$\vec{P}_2 \rightarrow$ <i>Peso da esfera 2</i> $\vec{T} \rightarrow$ <i>Tração do barbante sobre a esfera 2</i> $\vec{E}_2 \rightarrow$ <i>Empuxo sobre a esfera 2</i>

b) Calcule os módulos das forças de empuxo que atuam em cada esfera.

$$E_1 = \rho_a V_1 g = \rho_a \frac{4}{3} \pi r_1^3 g = 10^3 \text{ kg/m}^3 \frac{4}{3} \pi (10^{-1} \text{ m})^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \approx 41,9 \text{ N}$$

$$E_2 = \rho_a V_2 g = \rho_a \frac{4}{3} \pi r_2^3 g = 10^3 \text{ kg/m}^3 \frac{4}{3} \pi (5 \times 10^{-2} \text{ m})^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \approx 5,2 \text{ N}$$

c) Calcule as densidades das esferas.

No equilíbrio:  $E_1 = P_1 + T$  e  $E_2 = P_2 - T$ . Somando obtém-se

$$E_1 + E_2 = P_1 + P_2 \Rightarrow \rho_a V_1 g + \rho_a V_2 g = m_1 g + m_2 g \Rightarrow \rho_a (r_1^3 + r_2^3) = \rho_1 r_1^3 + \rho_2 r_2^3$$

$$\Rightarrow \rho_a \left[ 1 + \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^3 \right] = \rho_1 + \rho_2 \left( \frac{r_2}{r_1} \right)^3. \text{ Como } \rho_2 = 2\rho_1 \text{ e } r_2/r_1 = 1/2, \text{ então}$$

$$\rho_a \left[ 1 + (1/2)^3 \right] = \rho_1 + 2\rho_1 (1/2)^3 \Rightarrow (9/8)\rho_a = (5/4)\rho_1 \Rightarrow \rho_1 = (9/10)\rho_a = 0,9 \text{ g/cm}^3$$

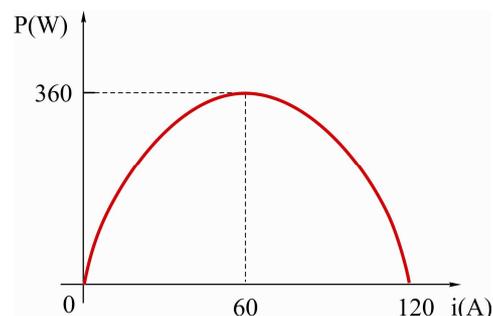
$$\rho_2 = 2\rho_1 = 1,8 \text{ g/cm}^3$$

d) Calcule o módulo da tração  $\vec{T}$  que atua no barbante.

$$T = E_1 - P_1 = \rho_a V_1 g - \rho_1 V_1 g = (\rho_a - \rho_1) \frac{4}{3} \pi r_1^3 g = (1000 \text{ kg/m}^3 - 900 \text{ kg/m}^3) \frac{4}{3} \pi (10^{-1} \text{ m})^3 \times 10 \text{ m/s}^2$$

$$\Rightarrow T = 10^2 \text{ kg/m}^3 \times \frac{4}{3} \pi \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 = 4,19 \text{ N}$$

**Questão 3** – Uma bateria de automóvel tem uma força eletromotriz  $\varepsilon = 12\text{ V}$  e resistência interna  $r$  desconhecida. Essa bateria é necessária para garantir o funcionamento de vários componentes elétricos embarcados no automóvel. Na Figura ao lado, é mostrado o gráfico da potência útil  $P$  em função da corrente  $i$  para essa bateria, quando ligada a um circuito elétrico externo.



- a) Determine a corrente de curto-circuito da bateria e a corrente na condição de potência útil máxima. Justifique sua resposta.

Em regime de corrente de curto-circuito  $i_{cc}$  a potência elétrica do gerador é toda dissipada na sua resistência interna e, nesse caso, nenhuma potência elétrica é fornecida ao circuito. De acordo com o gráfico,  $i_{cc} = 120\text{ A}$  e a corrente para  $P = P_{máx}$  é  $i = 60\text{ A}$ .

- b) Calcule a resistência interna  $r$  da bateria.

A resistência interna  $r$  é calculada assumindo  $V = 0$  e  $i = i_{cc}$  na equação da bateria  $V = \varepsilon - ri$  :

$$\varepsilon - ri_{cc} = 0 \Rightarrow r = \frac{\varepsilon}{i_{cc}} = \frac{12\text{ V}}{120\text{ V}} \Rightarrow r = 0,1\ \Omega$$

- c) Calcule a resistência  $R$  do circuito externo nas condições de potência máxima.

A diferença de potencial para  $P = P_{máx}$  pode ser calculada a partir da equação da bateria:

$$V = \varepsilon - ri = 12 - 0,1 \times 60 = 6\text{ V} . \text{ Logo, da lei de Ohm,}$$

$$V = Ri \Rightarrow 6 = 60R \Rightarrow R = 0,1\ \Omega$$

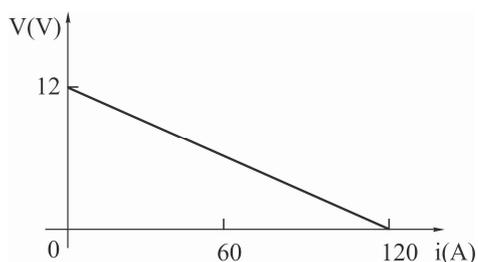
- d) Sabendo que a eficiência  $\eta$  de uma bateria é a razão entre a diferença de potencial  $V$  fornecida pela bateria ao circuito e a sua força eletromotriz  $\varepsilon$ , calcule a eficiência da bateria nas condições de potência máxima.

$$\eta = \frac{V}{\varepsilon} = \frac{6\text{ V}}{12\text{ V}} = \frac{1}{2} = 50\%$$

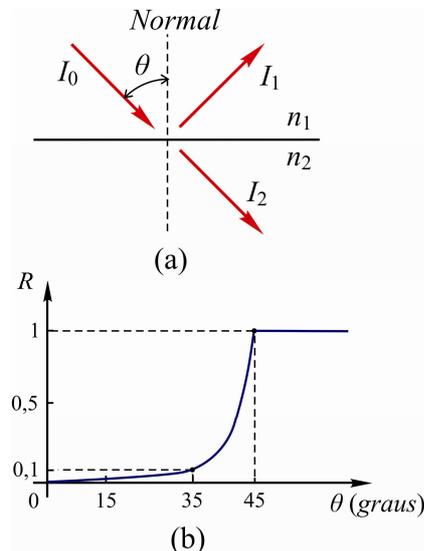
- e) Faça um gráfico que representa a curva característica da bateria. Justifique sua resposta.

A curva característica de uma bateria é um gráfico  $V \times i$  obtido da equação da bateria:

$$V = \varepsilon - ri \Rightarrow V = 12 - 0,1i$$



**Questão 4** – A Figura (a) mostra uma interface de separação entre dois meios ópticos de índices de refração  $n_1$  e  $n_2$ . Quando um raio de luz de intensidade  $I_0$  incide sobre a interface com um ângulo  $\theta$  em relação à normal, observa-se a presença de um raio de luz refletido de intensidade  $I_1$  e um raio de luz refratado de intensidade  $I_2$ . Um estudante de Física mede a razão  $R = I_1/I_0$  para diferentes ângulos de incidência  $\theta$  e obtém o gráfico mostrado na Figura (b).



a) Qual é a razão entre  $n_1$  e  $n_2$ ?

$$\frac{n_2}{n_1} = \text{sen}\theta_c = \text{sen}45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

b) À medida que o ângulo  $\theta$  é aumentado, o raio refratado deve se afastar ou se aproximar da normal? Justifique sua resposta.

O raio refratado deve se afastar da normal porque  $n_2 < n_1$  e de acordo com a lei de Snell, quando  $\theta$  aumenta o ângulo de refração também aumenta.

c) Qual é a razão entre as intensidades da luz refletida  $I_1$  e refratada  $I_2$  quando  $\theta = 35^\circ$ ?

$$I_1 = 0,1I_0 \quad , \quad I_2 = 0,9I_0$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{0,9I_0}{0,1I_0} = \frac{9/10}{1/10} = 9$$

**Questão 5** – Um feixe de luz laser, de comprimento de onda  $\lambda = 400 \text{ nm} = 400 \times 10^{-9} \text{ m}$ , tem intensidade luminosa  $I = 100 \text{ W/m}^2$ . De acordo com o modelo corpuscular da radiação, proposto por Einstein, em 1905, para explicar fenômenos da interação da radiação com a matéria, a luz é formada por quanta de energias denominados fótons. Usando como base esse modelo quântico da luz, calcule:

- a) a energia de cada fóton do feixe de luz laser.

$$\varepsilon = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s} \times 3,0 \times 10^8 \text{ m/s}}{4 \times 10^{-7} \text{ m}} \Rightarrow \varepsilon = 4,97 \times 10^{-19} \text{ J}$$

- b) a energia que incide sobre uma área de  $1 \text{ cm}^2$  perpendicular ao feixe durante um intervalo de tempo de  $1,0 \text{ s}$ .

$$I = \frac{P}{A} = \frac{E}{A\Delta t} \Rightarrow E = IA\Delta t = 100 \text{ W/m}^2 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \times 1,0 \text{ s} = 0,01 \text{ J}$$

- c) o número  $n$  de fótons que atingem essa área durante esse intervalo de tempo.

$$n = \frac{E}{\varepsilon} = \frac{10^{-2} \text{ J}}{4,97 \times 10^{-19} \text{ J}} \Rightarrow n = 2,01 \times 10^{16} \text{ fótons}$$