

**Olimpíada Brasileira de Física**  
**Comissão de Provas - Agosto/2016**  
**Gabarito Oficial da Prova de 2a Fase de Nível III**

- Ao encontrar erros, enganos ou omissões, por favor, entre em contato com a comissão de provas encaminhando mensagens através da secretaria da OBF.
- Nos resultados numéricos são usadas as seguintes aproximações: Velocidade da luz no vácuo =  $3,0 \times 10^8$  m/s;  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>; 1hp = 750 W;  $\sqrt{2} = 1,4$ ;  $\sqrt{3} = 1,7$ ;  $\sqrt{5} = 2,2$ ;  $\pi = 3$ ;  $\text{sen}30^\circ = 0,5$ ;  $\text{cos}30^\circ = 0,85$ ; 1atm =  $10^5$  Pa; 1L = 1.000 cm<sup>3</sup>; Densidade da água líquida  $\rho = 1,00$  g/cm<sup>3</sup>
- A solução gabarito deve ser vista como uma possível solução para o problema proposto. No entanto, independentemente da solução, o(a) estudante deve chegar ao resultado esperado que está destacado em amarelo.
- Cada questão tem valor total de **10 pontos**.

---

**Parte I – Questões de Resposta Direta**

**Questão 1** - Com a intenção de estudar a flutuação dos corpos, um estudante utilizou dois blocos cilíndricos, de volumes  $V$  e  $6V$ , respectivamente, para construir uma peça única conforme ilustrado na figura (I). Em seguida, a peça foi posta a flutuar em água, de dois modos diferentes, A e B, conforme as figuras (II) e (III). Após observação cuidadosa, o estudante verificou que no modo A,  $2/3$  do volume do bloco maior ficou submerso, enquanto que no modo B uma fração  $f$ , do volume do bloco maior ficou submerso. Determine o valor de  $f$ .

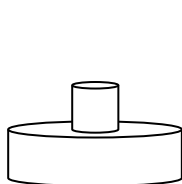


Figura I

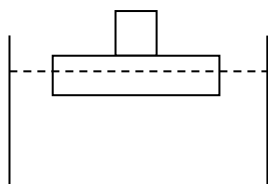


Figura II (modo A)

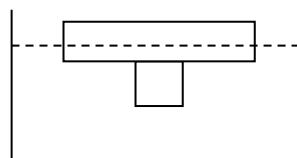


Figura III (modo B)

**SOLUÇÃO:**

Para que haja flutuação, o peso do volume de água deslocado deve ser igual ao peso do conjunto de blocos. Como em ambas as situações o peso do conjunto de blocos é o mesmo, conclui-se que em ambas as situações o volume de água deslocado é o mesmo.

Da figura (II) vem,

$$V_{\text{liq deslocado}} = (2/3) 6V = 4V$$

Assim, para a figura (III) temos,

$$V_{\text{liq deslocado}} = V + f 6V = 4V$$

$$f 6V = 3V$$

$$f = \frac{1}{2}$$

**Questão 2** - A usina hidrelétrica ocupa posição de destaque no sistema energético brasileiro. Ela é construída no rio e formada por lago, barragem, casa de força, subestação elevadora e linhas de transmissão. Para produzir a energia, a água sai do reservatório e é conduzida por enormes tubos até a casa de força, onde ficam as turbinas e os geradores de eletricidade. Nem toda a energia disponível na queda da água consegue ser convertida em energia elétrica. O rendimento de uma turbina é uma medida da eficiência dessa conversão e é definido como a razão entre a potência fornecida pela potência disponível. Considere um exemplo no qual a vazão necessária para acionar cada turbina de uma central elétrica seja de  $700 \text{ m}^3/\text{s}$ , guiados por meio de uma tubulação de queda nominal igual a  $100 \text{ m}$ . Considerando a densidade da água  $\rho_{\text{água}} = 1000 \text{ kg/m}^3$  e a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , e sabendo que a potência elétrica gerada em cada turbina é de  $630 \text{ MW}$ , determine em porcentagem, o rendimento de cada turbina dessa central hidrelétrica.

**SOLUÇÃO:**

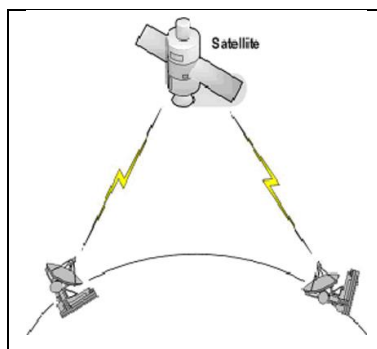
$$P_{\text{total}} = \rho V g h = 10^3 \times 700 \times 10 \times 100 = 7 \times 10^8 \text{ W}$$

$$r = P_{\text{fornecida}} / P_{\text{total}} = 6,3 \times 10^8 / 7 \times 10^8$$

$$r = 0,9 \quad \text{ou} \quad r = 90\%$$

**Questão 3** - A velocidade do som no ar (cerca de  $300 \text{ m/s}$ ) é grande para os padrões cotidianos, mas a velocidade da luz ( $300.000 \text{ km/s}$ ) é ainda muito maior. Essa propriedade permite as transmissões “ao vivo”, na qual o telespectador acredita que está assistindo o evento ao mesmo tempo em que ele acontece. A figura a seguir mostra como essa transmissão funciona a longas distâncias. Nas proximidades do evento a ser transmitido é instalada uma antena parabólica que utiliza ondas de rádio para enviar a imagem a um satélite geoestacionário. O satélite reflete esse sinal em direção a Terra, onde ele é captado por outra antena parabólica, próxima do telespectador.

- Quando um juiz apita o início de uma partida de futebol, quanto tempo demora para que ele seja ouvido por um torcedor no estádio que está a  $240 \text{ m}$  de distância do juiz, considerando a velocidade do som mencionada acima?
- Considerando que o atraso entre a captação da imagem e a recepção pelo telespectador deve-se exclusivamente à viagem entre as antenas e o satélite, calcule o atraso com que o telespectador vê o juiz apitar o início da partida, se a distância entre os satélites e as antenas for de  $39.000 \text{ km}$ .



**Solução:**

- a) O tempo para que o som percorra a distância entre o juiz e o torcedor é

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v_{som}} = 0,8 \text{ s}$$

- b) Por ser uma onda eletromagnética, as ondas de rádio se propagam com a mesma velocidade que a luz. O tempo para que a luz percorra a distância entre a antena de transmissão, o satélite e a antena de recepção é

$$\Delta t = \frac{\Delta S}{v_{luz}} = 0,26 \text{ s}$$

**Questão 4** – Um celular produz ondas eletromagnéticas na faixa de micro-ondas. Para fazer uma chamada, essas ondas são transmitidas a uma central, responsável por identificar o número chamado e encaminhar a ligação. O manual de um determinado celular afirma que sua bateria tem uma capacidade 1400 mAh. O fabricante indica que essa bateria pode alimentar o telefone por 4 h e 30 min em modo de conversação e por 60 h em modo espera. Admitindo que a bateria opere com 3,7 V, determine em watts, a potência exigida da bateria quando o celular opera no modo de conversação.

**SOLUÇÃO:**

$$P = U \cdot i$$

$$P = (U) \times (\Delta Q / \Delta t)$$

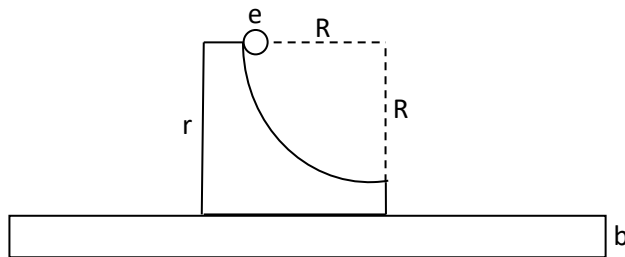
$$P = (3,7V) \times (1,4Ah / 4,5h)$$

$$P = 1,15W$$

**PARTE II – QUESTÕES DE RESPOSTA ABERTA**

**Questão 5** – Com a intenção de estudar os movimentos dos corpos e suas relações com a massa, foi construído para uma feira de ciências um experimento que consiste de uma base "b", uma rampa "r" e uma esfera "e", conforme ilustrado na figura abaixo. A

base foi fixada ao solo, de modo que sua superfície superior plana e absolutamente lisa ficasse perfeitamente nivelada na horizontal. A rampa, com formato circular de raio  $R = 6 \text{ m}$  e massa  $5M$ , foi apoiada em repouso sobre a base, mas podendo deslizar sobre ela praticamente sem atrito. No ponto mais alto da rampa, uma esfera maciça, homogênea, de massa  $M$  e absolutamente lisa, foi então abandonada, deslizando sem rolar pela rampa conforme a figura. Desprezando a resistência do ar e qualquer outro atrito, e considerando o módulo da aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , determine, em  $\text{m/s}$ , o módulo da velocidade da esfera no instante em que ela perde o contato com a rampa.



### SOLUÇÃO:

A lei de conservação do momento linear garante que ao deixar a rampa,

$$p_{\text{rampa}} = p_{\text{esfera}}$$

$$5M v_{\text{rampa}} = M v_{\text{esfera}}$$

$$v_{\text{esfera}} = 5 v_{\text{rampa}}$$

A lei de conservação da energia garante que a soma das energias cinéticas dos corpos no instante em que a esfera perde o contato com a rampa seja igual à energia potencial da esfera no instante em que ela é abandonada do ponto mais alto da rampa, assim,

$$E_{\text{C rampa}} + E_{\text{C esfera}} = E_{\text{p esfera}}$$

$$5M v_{\text{rampa}}^2/2 + M v_{\text{esfera}}^2/2 = M g R$$

$$5 v_{\text{rampa}}^2 + v_{\text{esfera}}^2 = 120$$

$$5 v_{\text{rampa}}^2 + (5v_{\text{rampa}})^2 = 120$$

$$v_{\text{rampa}}^2 = 4$$

$$v_{\text{rampa}} = 2$$

Assim, lembrando que  $v_{\text{esfera}} = 5 v_{\text{rampa}} = 5 (2)$

temos,  $v_{\text{esfera}} = 10 \text{ m/s}$

**Questão 6** - A visão produzida pelo olho humano em condições de baixa luminosidade é chamada de visão escotópica. Ela está associada diretamente aos bastonetes, que são

sensíveis às alterações de luminosidade. A quantidade de luz que atinge a retina e, conseqüentemente, os bastonetes é regulada pela pupila. Em condições de claridade normal, a pupila apresenta um diâmetro entre 3 e 4 mm, podendo atingir 1,5 mm em condições de grande luminosidade e 8 mm em condições baixa luminosidade. Sabendo que para o comprimento de onda de  $555 \times 10^{-9} \text{ m}$ , a intensidade mínima de luz que ainda é capaz de sensibilizar a retina vale  $1,4 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2$ , determine em unidades de  $10^5$ , o número de fótons que entram no olho de uma pessoa a cada segundo, quando ela estiver um ambiente de baixa luminosidade.

Considere:  $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$ ,  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$  e  $\pi \approx 3$ .

**SOLUÇÃO:**

$$E_{\text{total}} = I \times (\pi \times r^2)$$

$$E_{\text{total}} = (1,4 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2) \times 3 \times (4 \times 10^{-3})^2 = 6,72 \times 10^{-14} \text{ J} \approx 6,7 \times 10^{-14} \text{ J}$$

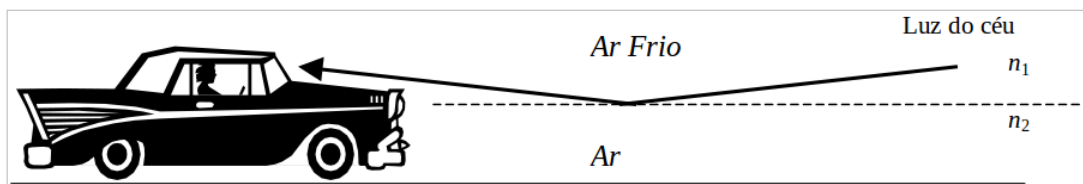
$$E_{\text{fóton}} = h \times c / \lambda$$

$$E_{\text{fóton}} = (6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s}) / (555 \times 10^{-9} \text{ m}) = 3,6 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$n_{\text{fótons}} = E_{\text{total}} / E_{\text{fótons}}$$

$$n_{\text{fótons}} = (6,7 \times 10^{-14} \text{ J}) / (3,6 \times 10^{-19} \text{ J}) = 1,9 \times 10^5 \text{ fótons}$$

**Questão 7** - Em dias quentes é comum que o asfalto seco pareça molhado, em função da reflexão da luz que nosso cérebro instintivamente associa à presença de água. Na verdade, a reflexão é provocada pelo aquecimento da camada de ar próxima ao asfalto que atinge altas temperaturas devido à radiação térmica solar. A luz que se propaga em direção ao asfalto sofre reflexão interna total ao atingir o ar quente, onde a velocidade de propagação é maior. Na figura abaixo vemos uma representação simplificada desse fenômeno. Os olhos do motorista estão 1 m acima da fronteira na qual ocorre à reflexão da luz, e a miragem parece começar a 10 m de distância. Usando  $n_{\text{frio}} = 1,010$  para o índice de refração do ar frio, calcule o índice de refração do ar quente próximo ao asfalto. Pode ser útil usar a aproximação  $\frac{1}{\sqrt{1+x}} \cong 1 - \frac{x}{2}$  válida para  $x \ll 1$ .



**Solução:**

O ângulo entre a direção vertical e o raio refletido que atinge o motorista obedece à relação

$$\text{sen } \theta = 10 / \sqrt{10^2 + 1^2} = 1 / \sqrt{1 + 0,01}$$

Como essa é a distância mais próxima na qual a miragem pode ser vista,  $\theta$  é o ângulo de incidência crítica, que está relacionado à razão entre os índices de refração,

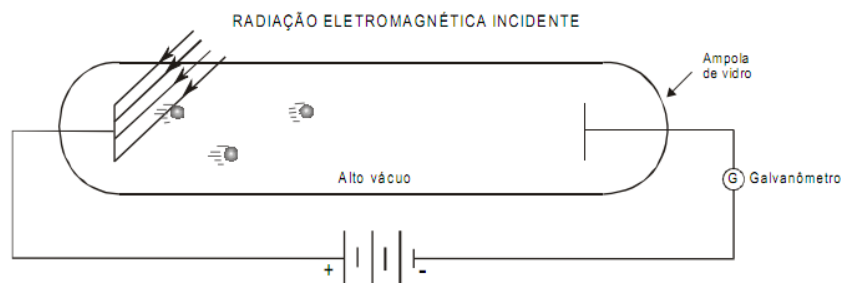
$$\text{sen } \theta = n_{\text{quente}} / n_{\text{frio}}$$

Dessa forma pode-se determinar o índice próximo ao asfalto

$$n_{\text{quente}} = n_{\text{frio}} \times \text{sen } \theta$$

$$n_{\text{quente}} = n_{\text{frio}} \times \sin \theta = 1,01 \times \frac{1}{\sqrt{1+0,01}} \cong 1,01 \times \left(1 - \frac{0,01}{2}\right) \cong 1,005$$

**Questão 8** – A descoberta do efeito fotoelétrico abriu uma enorme possibilidade de aplicações tecnológicas que vai desde portas automáticas até a prevenção de acidentes em indústrias. Descoberto no final do século XIX, esse efeito ocorre quando luz, com frequência suficientemente alta, incide numa superfície metálica fazendo com que elétrons sejam ejetados da superfície. Em um experimento de laboratório, uma fotocélula exposta a uma radiação de comprimento de onda de 500 nm, tem sua corrente fotoelétrica totalmente freada quando submetida a uma tensão invertida de 1 eV entre os eletrodos. Considerando a constante de Planck  $h = 6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}$ , a carga elétrica elementar  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  e a velocidade da luz  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , determine em eV, a função trabalho do metal usado. Use  $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ .



**SOLUÇÃO:**

$$E_{c,\text{máx}} = hf - W$$

$$W = (h \times c/\lambda) - [e \times (\text{ddp de frenagem})]$$

$$W = [(6,6 \times 10^{-34} \text{ Js}) \times (3 \times 10^8 \text{ m/s} / 500 \times 10^{-9} \text{ m})] - [(1,6 \times 10^{-19} \text{ C} \times 1 \text{ eV})] =$$

$$2,36 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$W = (2,36 \times 10^{-19} \text{ J}) / (1,6 \times 10^{-19} \text{ C}) \rightarrow W = 1,475 \text{ eV} \approx 1,5 \text{ eV}.$$