COMVEST
Comissão Permanente para os Vestibulares

2008 vestibular nacional UNICAMP

2ª FASE FÍSICA

FÍSICA

INTRODUÇÃO

A proposta da prova de Física da Unicamp tem sido a de avaliar os conhecimentos básicos do Ensino Médio dos candidatos, contextualizados sempre em situações reais e da atualidade. Desse modo, objetiva-se trazer a Física para o mundo próximo do candidato, destacando assim a importância da ciência dentro da sociedade. Do ponto de vista da avaliação, espera-se que os candidatos sejam capazes de analisar as questões propostas à luz dos conceitos básicos do Ensino Médio, que saibam aplicar fórmulas fornecidas e interpretar gráficos.

O vestibular Unicamp 2008 manteve a mesma filosofia. As questões de Física da segunda fase se inseriram nos mais variados contextos: o uso de trens de alta velocidade como solução para a crise do tráfego aéreo do país, experimentos com bolas de basquete e pingue-pongue, a diferença de densidade entre refrigerantes normais e dietéticos, irrigadores rotativos, a existência de matéria escura, leitores de CD, ruídos sonoros em rodovias, chuveiro elétricos, alicate amperímetro, níveis de energia em átomos de um elétron e o uso de espelhos convexos em garagens e supermercados.

Em termos de conteúdo, as 12 questões de Física foram elaboradas buscando uma ampla cobertura do programa do Ensino Médio. As seis primeiras questões da prova e o item **b** da questão 7 englobaram conceitos de Mecânica como cinemática, conservação do momento linear e de energia, torque em torno de um eixo de rotação, energia e força elástica, movimento circular e gravitação. O item **a** da questão 7 e a questão 12 foram sobre óptica. Conceitos sobre ondas sonoras e termologia apareceram na questões 8 e no item **a** da 9, respectivamente. Duas questões exigiam a leitura correta de gráficos. Eletricidade e Magnetismo foram abordados nas questões 9 e 10. E finalmente, a questão 11 tratava de Física Moderna. Apesar de Física Moderna não fazer parte do programa do Ensino Médio, todos os conceitos necessários para a solução da questão foram fornecidos no enunciado.

Em várias questões, relações e/ou definições importantes foram fornecidas no enunciado em forma matemática explícita (questões 6, 7, 8, 9, 10 e 11) ou textualmente (questões 8 e 11). Na questão 2, pedia-se para o candidato fazer uma estimativa para a massa de um bola de pingue-pongue a partir de sua experiência cotidiana.

No processo de elaboração da prova, um grande número de questões são propostas pela banca elaboradora, buscando-se uma cobertura ampla do programa do Ensino Médio. Posteriormente, 12 questões são escolhidas tendo em vista um equilíbrio entre questões fáceis e difíceis. Após a seleção, as 12 questões passam por um trabalho de aprimoramento quanto à clareza do enunciando, à descrição da situação ou do fenômeno físico apresentado e quanto à facilidade das contas e/ou escolha dos números.

Em seguida, as questões formuladas e aprimoradas são submetidas à avaliação de um professor revisor. O revisor, então, analisa as questões quanto à adequação ao conteúdo, clareza de enunciado, tempo necessário para resolvê-las, semelhança com questões de anos anteriores e grau de dificuldade.

Vale informar que a banca elaboradora não mantém banco de questões, e tampouco utiliza questões de livros ou qualquer compilação de problemas.

1.

Uma possível solução para a crise do tráfego aéreo no Brasil envolve o emprego de um sistema de trens de alta velocidade conectando grandes cidades. Há um projeto de uma ferrovia de 400 km de extensão que interligará as cidades de São Paulo e Rio de Janeiro por trens que podem atingir até 300 km/h.

a)

Para ser competitiva com o transporte aéreo, estima-se que a viagem de trem entre essas duas cidades deve durar, no máximo, 1 hora e 40 minutos. Qual é a velocidade média de um trem que faz o percurso de 400 km nesse tempo?

b)

Considere um trem viajando em linha reta com velocidade constante. A uma distância de 30 km do final do percurso, o trem inicia uma desaceleração uniforme de 0,06 m/s², para chegar com velocidade nula a seu destino. Calcule a velocidade do trem no início da desaceleração.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$v_m = \frac{400}{\frac{5}{3}\,h} = 240\,km/h$$

b) **(2 pontos)**

$$V^2 = V_0^2 + 2a\Delta x$$

Mas V = 0 e a = - 0,06 m/s^2.

$$v_0 = \sqrt{2 \times 0,06 \times 30.000} = 60\,m/s$$

Exemplo Acima da Média

a) $\Delta t = 1h$ e $40min$

$\Delta s = 400Km$

$V_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{400}{100} = 4Km/min$ ou $240Km/h$

$1h$ — $60min$

Xh — $40min$

$x = \frac{40}{60} = \frac{2}{3}h$

$\Delta t = 1h + \frac{2}{3}h = \frac{3+2}{3} = \frac{5}{3}h$

b) $a = -0,06m/s^2$

$\Delta s = 30Km = 30000m$

$V^2 = Vo^2 + 2a\Delta s$

$0^2 = Vo^2 + 2(-0,06).30000$

$Vo^2 = 3600 \rightarrow Vo = \sqrt{36.100} \rightarrow Vo = 6.10 = 60Km/h$

No exemplo acima da média, o candidato aplica corretamente os conceitos de movimento uniforme e movimento uniformemente variado na solução dos itens **a** e **b** da questão, respectivamente. No entanto, há um erro de unidade no item **b**, que traz como resposta final v = 60 km/h.

Exemplo Abaixo da Média

a-) $Vm = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

$1h$ e $40min \cong 1,6h$

1 — $60min$

x — $40min$

$60x = 40$

$x = 1,6$

$40 \,|\, 16$

$04 \quad 0,6$

$Vm = \frac{400}{1,6}$

$4000 \,|\, 16$

$080 \quad 2,5$

00

$16 \times 2 = 32$

$16 \times 5 = 80$

R: $Vm = 2,5 \, km/h$.

b-) $V^2 = Vo^2 + 2a\Delta s$

$0 = Vo^2 + 2 . 0,06 . 30000$

$0 = Vo^2 + 2 . 1800$

$0 = Vo^2 + 3600$

$Vo^2 = -3600$

$Vo = 60 \, m/s$.

$1km$ — 1000

$30km$ — x

$x = 30000$

$30000 \times 0,06 = 180000$

$1800 \times 2 = 3600$

$60 \times 60 = 3600$

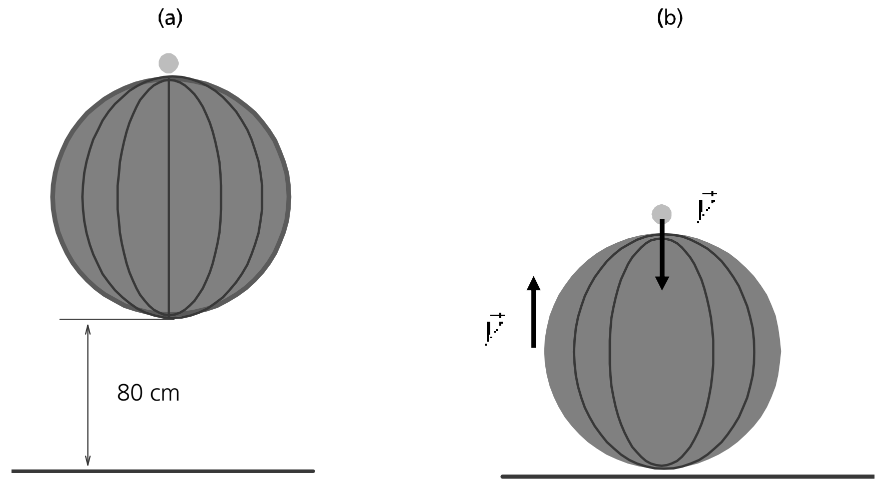
No exemplo abaixo da média, o candidato utiliza erroneamente a aceleração do trem com o sinal positivo na equação de Torricheli, o que leva à raiz quadrada de um número negativo no desenvolvimento final. O candidato ignora esse fato e dá como resposta o número correto. Além disso, ele comete um erro de unidade no cálculo final do item **a**.

Comentários

A primeira questão da prova aborda cinemática em uma dimensão, envolvendo diretamente os conceitos de velocidade média e de movimento uniformemente variado. Esses conceitos foram cobrados dentro do contexto da utilização de trens de alta velocidade como possível solução para a crise do tráfego aéreo que atingiu o país.

2.

Um experimento interessante pode ser realizado abandonando-se de certa altura uma bola de basquete com uma bola de pingue-pongue (tênis de mesa) em repouso sobre ela, conforme mostra a figura (a). Após o choque da bola de basquete com o solo, e em seguida com a bola de pingue-pongue, esta última atinge uma altura muito maior do que sua altura inicial.



a)
Para h = 80 cm, calcule a velocidade com que a bola de basquete atinge o solo. Despreze a resistência do ar.

b)
Abandonadas de uma altura diferente, a bola de basquete, de massa M, reflete no solo e sobe com uma velocidade de módulo V = 5,0 m/s. Ao subir, ela colide com a bola de pingue-pongue que está caindo também com V = 5,0 m/s, conforme a situação representada na figura (b). Considere que, na colisão entre as bolas, a energia cinética do sistema não se conserva e que, imediatamente após o choque, as bolas de basquete e pingue-pongue sobem com velocidades de V'_b = 4,95 m/s e V'_p = 7,0 m/s, respectivamente. A partir da sua própria experiência cotidiana, faça uma estimativa para a massa da bola de pingue-pongue, e, usando esse valor e os dados acima, calcule a massa da bola de basquete.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$\frac{MV^2}{2} = Mgh$$

$V = \sqrt{1{,}6 \times 10} = 4{,}0$ m/s

b) **(2 pontos)**

$$MV - mV = MV_B' + mV_p'$$

$$5{,}0(M - m) = 4{,}95M + 7{,}0m \Rightarrow M = 240m$$

Para m = 3,0 g, temos M = 720 g.

Exemplo Acima da Média

a) $E_{m_i} = E_{m_f}$

$\cancel{m}g.h = \dfrac{\cancel{m}.v^2}{2}$

$10.0,8 = \dfrac{v^2}{2}$

$v^2 = 16$

$v = 4 m/s$

A velocidade com que a bola atinge o chão é de 4 m/s

b) Orientando para cima positivo e estimando a massa da bola de pingue-pongue sendo de 50g tem-se:

$Q_A = Q_D$

$m_B.5 + m_P(-5) = m_B.4,95 + m_P.7$

$m_B.5 + 5.10^{-2}.(-5) = 4,95m_B + 5.10^{-2}.7$

$0,05m_B - 25.10^{-2} = 35.10^{-2}$

$5.10^{-2}.m_B = 60.10^{-2}$

$m_B = 12Kg$

Percebe-se que a estimativa não foi coerente. Faz-se então nova estimativa para 5g por cada bolinha. Tem-se então:

$Q_A = Q_D$

$m_B.V_B + m_P.V_P = m_B.V'_B + m_P.V'_P$

$5m_B - 5.5.10^{-3} = 4,95m_B + 5.10^{-3}.7$

$5.10^{-2}m_B = 60.10^{-3}$

$m_B = 1,2 Kg$

A massa estimada da bola de basquete é de 1,2Kg.

No exemplo acima da média, o candidato aplica corretamente os conceitos de conservação de energia no item **a** e de conservação do momento linear no item **b**. Inicialmente, o candidato faz uma estimativa pouco razoável para a massa da bola de pingue-pongue, o que o leva à obtenção de massa muito grande para a bola de basquete. O candidato analisa criticamente a resposta encontrada para a massa da bola de basquete e percebe que sua estimativa inicial foi equivocada. Faz, então, uma nova estimativa mais razoável para a bola de pingue-pongue e chega a uma reposta correta.

Exemplo Abaixo da Média

a) 1m — 100 cm $x = 0,8 m \times 10 m/s^2 = 80 m/s$

x — 80 cm

Resposta: A velocidade com que a bola atinge o solo é 80 m/s.

b) $E_p = \frac{1}{2} m v^2$ $E_p = \frac{1}{2} . 5 . (7-5)^2$ $E_p = 10 J$

Considerando a massa m da bola de ping pong = 5g.

$E_p = E_b$ $10 = \frac{1}{2} . M . (5-4,95)^2$ $10 = M . 0,125$ $M = 80g$

Resposta: A massa da bola de basquete, M = 80g.

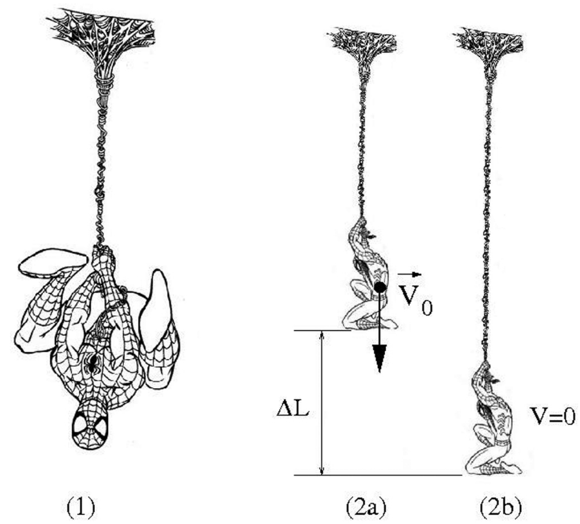
No exemplo abaixo da média, o candidato erra completamente o item **a** e comete um equívoco conceitual grave ao tentar resolver o item **b** usando a conservação de energia cinética em um choque inelástico. Além do mais, nesse item, ele calcula erroneamente a variação da energia cinética de cada bola.

Comentários

A questão 2 trata de conceitos de energia cinética e potencial, da conservação da energia mecânica e conservação do momento linear. Note que na colisão entre as duas bolas (item **b**), o momento se conserva, mas a energia cinética não. A questão envolvia ainda a estimativa da massa da bola de pingue-pongue.

3.

Nas cenas dos filmes e nas ilustrações gráficas do Homem-aranha, a espessura do cabo de teia de aranha que seria necessário para sustentá-lo é normalmente exagerada. De fato, os fios de seda da teia de aranha são materiais extremamente resistentes e elásticos. Para deformações ΔL relativamente pequenas, um cabo feito de teia de aranha pode ser aproximado por uma mola de constante elástica *k* dada pela fórmula $k = \left(10^{10}\,\frac{A}{L}\right)$ N/m, onde *L* é o comprimento inicial e *A* a área da seção transversal do cabo. Para os cálculos abaixo, considere a massa do Homem-aranha *M* = 70 kg.



a)
Calcule a área *A* da seção transversal do cabo de teia de aranha que suportaria o peso do Homem-aranha com uma deformação de 1,0 % do comprimento inicial do cabo.

b)
Suponha que o Homem-aranha, em queda livre, lance verticalmente um cabo de fios de teia de aranha para interromper a sua queda. Como ilustra a figura (2a), no momento em que o cabo se prende, a velocidade de queda do Homem-aranha tem módulo V_0. No ponto de altura mínima mostrado em (2b), o cabo de teia atinge uma deformação máxima de ΔL = 2,0 m e o Homem-aranha tem, nesse instante, velocidade V = 0. Sendo a constante elástica do cabo de teia de aranha, neste caso, *k* = 7700 N/m, calcule V_0.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$F_{el} = P$

$kx = mg$

$A\ 10^{10}\Delta L / L = 700$

$A\ 10^{10}\, 0,01 = 700$

$A = 7,0 \times 10^{-6}\ \text{m}^2$

b) **(2 pontos)**

$$\frac{1}{2}k\Delta L^2 = mg\Delta L + \frac{1}{2}mV_0^2$$

$$V_0^2 = \frac{k}{m}\Delta L^2 - 2g\Delta L = 400 \Rightarrow V_0 = 20 \text{ m/s}$$

Exemplo Acima da Média

a) $F_R = m \cdot a$ (onde F_R = Felástica)

$K \cdot x = m \cdot a$

$10^{10} \cdot \frac{A}{L} \cdot 1{,}01 \cdot L = 70 \cdot 10 \Rightarrow A = \frac{700}{1{,}01 \cdot 10^{10}} \Rightarrow \boxed{A \approx 7 \cdot 10^{-8} m^2}$

b) Pela teoria da conservação da Energia Mecânica, temos:

$E_m^f = E_m^i$

$E_{pel} = E_{pg} + E_c$

$\frac{K \cdot x^2}{2} = m \cdot g \cdot h + \frac{m(v_0)^2}{2}$

$\frac{7700 \cdot (2)^2}{2} = 70 \cdot 10 \cdot 2 + \frac{70(v_0)^2}{2}$

$15400 = 1400 + 35(v_0)^2$

$35 \cdot (v_0)^2 = 14000$

$v_0^2 = \frac{14000}{35}$

$v_0^2 = \frac{2000}{5} = 400$

$v_0 = \sqrt{400}$

$\boxed{v_0 = 20 m/s}$

No exemplo acima da média, o candidato ele usa 1,01L ao invés de 0,01L como a deformação do cabo de teia de aranha na solução do item **a**.
No item **b,** o mesmo usa corretamente o princípio da conservação de energia e as definições de energia cinética, potencial gravitacional e potencial elástica.

Exemplo Abaixo da Média

a) segundo o enunciado: $k = 10^{10} A/L$ N/m
sendo L = comprimento inicial e A área da secção transversal

①
$10^{10} m^2$ —— 1 L
x —— 1% L
$x = 10^8 m^2$

②
$10^8 M^2$ —— 1N
y —— 70×10
$y = 7 \times 10^{10} m^2$

b) Fresultante = P + Felástica

$m \cdot a = m \cdot g + kx$

$70 \cdot a = 700 + 7700 \times 2$

$70a = 16100$

$a = 230 m/s^2$

No exemplo abaixo da média, o candidato tenta aplicar, sem sucesso, a segunda lei de Newton, na tentativa de resolver o item **b**, que, no caso, deveria ser resolvido através do princípio da conservação de energia. Além disso, nesse exemplo há uma seqüência de regras de três utilizadas fora de contexto no item **a**.

Comentários

A questão 3 trata das forças elástica e peso em uma situação de equilíbrio, bem como explora os conceitos de energia cinética, potencial gravitacional e potencial elástica. Esses conceitos são contextualizados nas propriedades elásticas reais dos fios de teias de aranha e aplicados na situação fictícia da utilização dos cabos de teias de aranha pelo herói infantil Homem-aranha.

4.

Uma lata de refrigerante contém certa quantidade de açúcar, no caso de um refrigerante comum, ou de adoçante, no caso de um refrigerante dietético.

a)

Considere uma lata de refrigerante comum contendo 302 ml de água e 40 g de açúcar, e outra de refrigerante dietético, contendo 328 ml de água e uma massa desprezível de adoçante. Mostre qual das duas latas deveria boiar em um recipiente com água, cuja densidade é $d_a = 1{,}0$ g/cm^3. A massa da lata de refrigerante vazia é igual a 15,0 g e seu volume total é de 350 ml. Neste item, despreze o volume ocupado pelo material da lata e a massa de gás carbônico no seu interior.

b)

Suponha, agora, uma outra situação na qual o gás carbônico ocupa certo volume na parte superior da lata, a uma pressão $P = 3{,}0\text{x}10^5$ N/m^2 para uma temperatura $T = 300$ K. A massa molar do gás carbônico vale 44 g/mol e, assumindo que o mesmo se comporte como um gás ideal, calcule a densidade de gás carbônico na parte superior da lata. A lei dos gases ideais é dada por $PV = nRT$, onde $R = 8{,}3$ J/mol-K e n é o número de moles do gás.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$d_c = \frac{m}{V} = \frac{302.1{,}0 + 40 + 15}{350} = \frac{357}{350} > 1{,}0 \text{ g/cm}^3$$

$$d_d = \frac{m}{V} = \frac{328.1{,}0 + 15}{350} = \frac{343}{350} < 1{,}0 \text{ g/cm}^3$$

A lata de refrigerante dietético deve boiar, pois $d_d < d_a$.

b) **(2 pontos)**

$$PV = nRT \qquad \text{e} \qquad n = \frac{m}{44 \text{ g/mol}}$$

$$n = \frac{PV}{RT} \Rightarrow \frac{m}{V} = \frac{44P}{RT} \Rightarrow d = 5{,}3 \text{ kg/m}^3$$

Exemplo Acima da Média

a) A lata 2 deverá boiar.
Uma lata boia quando o peso desta é menor que o empuxo máxima

$E_{máx} = d.V.g$
$E_{máx} = 10^3 . 35.10^{5} . 10$
$E_{máx} = 3,5\ N$

• lata 1: $15g + 40g + 302g = 0,357\ Kg$
$P = m.g$
$P = 0,357.10 = 3,57\ N$
$P_1 > E_{máx}$
lata afunda

• lata 2: $328g + 15g = 0,343\ Kg$
$P = m.g = 0,343.10 = 3,43N$
$P_2 < E_{máx}$
lata 2 boia.

b) A densidade do gás carbônico é de $5,31\ Kg/m^3$.

$$d = \frac{PM}{RT} = \frac{3.10^5 . 44.10^{-3}}{8,3 . 300} = 5,31\ Kg/m^3$$

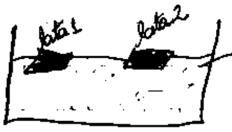
O exemplo acima da média traz uma maneira alternativa de se resolver o item **a**: em vez de calcular as densidades das duas latas e comparar com a densidade da água, o candidato compara diretamente o peso das latas com o empuxo do líquido deslocado por elas.

Exemplo Abaixo da Média

a) Pelo calculo da densidade temos:

$$d_{LATA} = \frac{m_{LATA}}{V_{LATA}}$$

$$d_L = \frac{15}{350} = 0,04 g/cm^3$$



Na 1ª situação temos
$302 ml_{H_2O} + 40g_{açúcar} = 342 g$
Na 2ª situação temos:
$328 ml_{H_2O} + 0g_{adoçante} = 328 g$

$$d_{L1} = \frac{342}{350} \simeq 0,98 g/cm^3$$

$$d_{L2} = \frac{328}{350} \simeq 0,9 g/cm^3$$

b)

→ CO_2 com $P = 3 \times 10^5 N/m$
$T = 300K$
$m = 44g/mol$
$R = 8,3 J/mol\text{-}K$

→ Supondo que no espaço contenha 1 mol de CO_2, pela equação dos gases ideais temos:
$P.V = n.R.T$
$(3 \times 10^5) . V = 1 . (8,3) . (300)$
$V = 8,3 \times 10^7 ml$

→ Pelo calculo da densidade temos: $d_{gás\ CO_2} = \frac{m}{V}$

$$\therefore d = \frac{44g/mol}{8,3 \times 10^7 ml} \simeq 5,3 g/cm^3$$

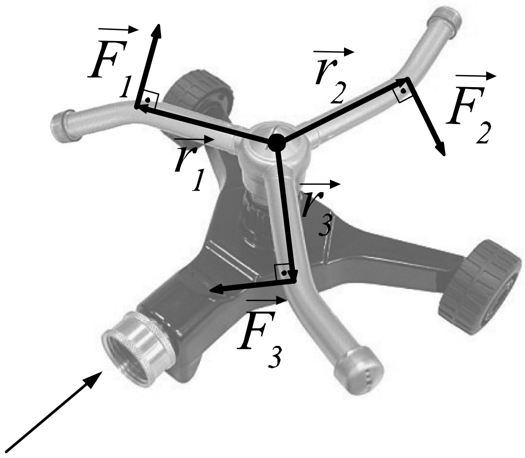
No exemplo abaixo da média, o candidato se esquece do peso da lata nos cálculos da densidade, no item **a**. No item **b**, ele não percebe que não é necessário o cálculo do volume ocupado por gás e, ao tentar obter esse volume para um mol nas condições dadas, comete um erro de manipulação de potências de dez.

Comentários

A diferença de densidade entre um refrigerante dietético e um refrigerante normal serve de contexto para essa questão, que avalia conceitos de hidrostática no item **a** e termodinâmica no item **b**. As lei dos gases ideais necessária para a solução do item **b** foi fornecida no enunciado.

5.

O irrigador rotativo, representado na figura, é um dispositivo bastante utilizado para a irrigação de jardins e gramados. Para seu funcionamento, o fluxo de água de entrada é dividido em três terminais no irrigador. Cada um destes terminais é inclinado em relação ao eixo radial para que a força de reação, resultante da mudança de direção dos jatos de água no interior dos terminais, proporcione o torque necessário para girar o irrigador. Na figura, os vetores coplanares $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ representam as componentes das forças de reação perpendiculares aos vetores $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$ e $\vec{r}_3$ respectivamente.



a)

Se os módulos das forças $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ e $\vec{F}_3$ valem 0,2 *N* e os módulos de $\vec{r}_1$, $\vec{r}_2$ e $\vec{r}_3$ são iguais a 6,0 cm, qual é o torque total (momento resultante das forças) sobre o irrigador, em relação ao seu centro, produzido pelos três jatos de água em conjunto?

b)

Considere que os jatos de água sejam lançados horizontalmente da extremidade do irrigador a uma altura de 80 cm do solo e com velocidade resultante de 8,0 m/s. A que distância horizontal do ponto de lançamento, a água atinge o solo?

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$\tau = rF$

$\tau_T = 3Fr = 3,6 \times 10^{-2} \, \mathrm{N} \cdot \mathrm{m}$

b) **(2 pontos)**

O tempo de queda da água é:

$$t_q = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0,4s$$

Logo, a distância pedida é $x = v_x . t_q = 3,2$ m.

Exemplo Acima da Média

a) $\vec{F_1} = \vec{F_2} = \vec{F_3} = 0,2N$ | $M = F_1 . r_1 + F_2 . r_2 + F_3 . r_3$

$r_1 = r_2 = r_3 = 6.10^{-2} m$ | $M = 0,2.6.10^{-2} + 0,2.6.10^{-2} + 0,2.6.10^{-2}$

$M = ?$ | $M = 1,2.10^{-2} + 1,2.10^{-2} + 1,2.10^{-2}$

$\boxed{M = 3,6.10^{-2} N.m}$

∴ O torque total sobre o irrigador é de $3,6.10^{-2} N.m$.

b) $h = 0,8m$ | $h = \frac{gt^2}{2}$ ← essa equação irá ser usada para achar o tempo de queda do jato dágua.

$V_0 = 8 m/s$

$t = ?$

$S = ?$

$g = 10 m/s^2$ | $h = \frac{gt^2}{2} \rightarrow 0,8.2 = 10t^2 \rightarrow \boxed{t = 0,4s}$

$S = S_0 + V_0t + \frac{at^2}{2} \rightarrow S = 0 + 8.0,4 + \frac{10(0,4)^2}{2} \rightarrow S = 3,2 + 0,8 \rightarrow \boxed{S = 4m}$

∴ A água atinge o solo à uma distância de 4m do ponto de lançamento.

No exemplo acima da média, o vestibulando comete um erro no item **b**, ao usar de maneira equivocada a equação do movimento uniformemente variado para calcular o deslocamento horizontal do jato dágua, para o qual a velocidade horizontal é constante.

Exemplo Abaixo da Média

a) $|M_{FR,O}| = F_1 \cdot R_1 + F_2 \cdot R_2 + F_3 \cdot R_3$

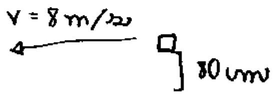
$|M_{FR,O}| = 0,2 \cdot 0,06 + 0,2 \cdot 0,06 + 0,2 \cdot 0,06$

$|M_{FR,O}| = 0,012 + 0,012 + 0,012$

$|M_{FR,O}| = 0,036 \ N/m$

Resp: 0,036 N/m

b)



$V^2 = \cancel{V_0^2}^{\,0} + 2 \cdot g \cdot \Delta S$

$8^2 = 2 \cdot 10 \cdot \Delta S$

$64 = 20 \cdot \Delta S$

$\Delta S = 3,2 \ m$

Resp: a água atinge o solo a uma distância de 3,2 metros.

No exemplo abaixo da média, o candidato erra a unidade na resposta final do item **a**, e usa erroneamente a equação do movimento uniformemente variado para calcular o deslocamento horizontal do jato d´água: utiliza a velocidade horizontal inicial como velocidade vertical final, substitui a aceleração da gravidade e chega, coincidentemente, a uma resposta numericamente igual à correta.

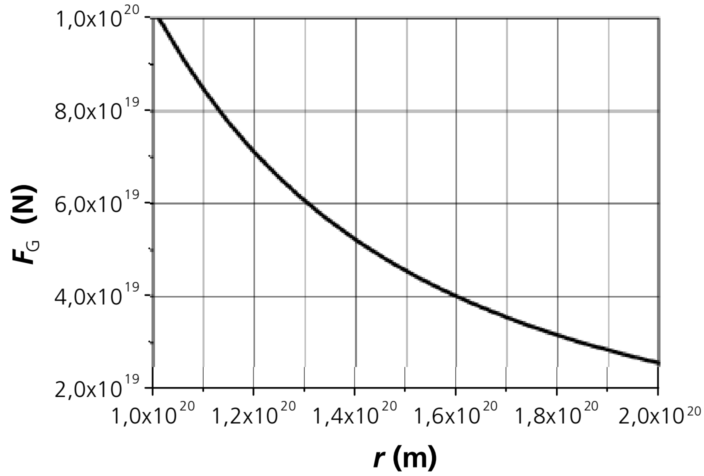
Comentários

A questão 5 aborda o funcionamento de um irrigador rotativo, comum no nosso cotidiano, o que envolve conceitos do Ensino Médio. No item **a**, o torque total sobre o irrigador deve ser encontrado, enquanto o item **b** explora o movimento do jato de água após ser lançado do terminal do irrigador.

6.

Observações astronômicas indicam que as velocidades de rotação das estrelas em torno de galáxias são incompatíveis com a distribuição de massa visível das galáxias, sugerindo que grande parte da matéria do Universo é escura, isto é, matéria que não interage com a luz. O movimento de rotação das estrelas resulta da força de atração gravitacional que as galáxias exercem sobre elas.

A curva no gráfico abaixo mostra como a força gravitacional $F_G = \dfrac{GMm}{r^2}$, que uma galáxia de massa M exerce sobre uma estrela externa à galáxia, deve variar em função da distância r da estrela em relação ao centro da galáxia, considerando-se $m = 1{,}0 \times 10^{30}$ *kg* para a massa da estrela. A constante de gravitação G vale $6{,}7 \times 10^{-11}$ $m^3 kg^{-1} s^{-2}$.



a)

Determine a massa M da galáxia.

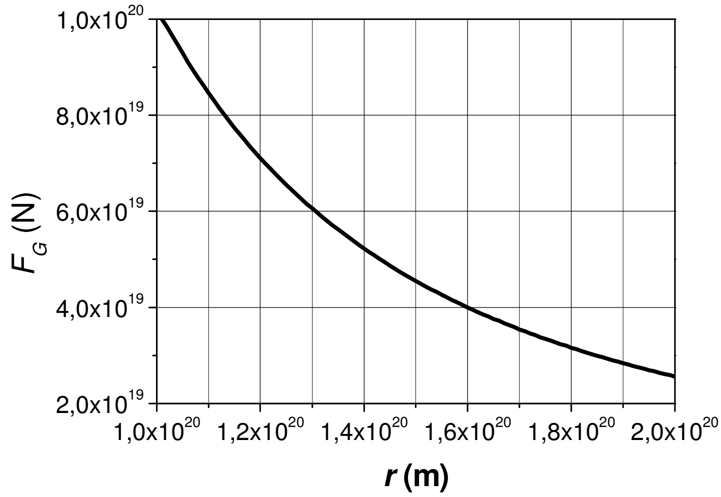
b)

Calcule a velocidade de uma estrela em órbita circular a uma distância $r = 1{,}6 \times 10^{20}$ m do centro da galáxia.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

Pode-se escolher qualquer ponto do gráfico.



Usando o ponto de r = 1,6x10^20 m,

$$M = \frac{F_G r^2}{Gm} = \frac{4,0\times10^{19}\cdot(1,6\times10^{20})^2}{6,7\times10^{-11}\cdot1,0\times10^{30}} \approx 1,5\times10^{40}\ \text{kg}$$

b) **(2 pontos)**
$F_G = F_C$

$$v = \sqrt{\frac{F_G r}{m}} = \sqrt{\frac{4,0\times10^{19}\cdot1,6\times10^{20}}{1\times10^{30}}} = \sqrt{6,4\times10^{9}}\,m/s = 8,0\times10^{4}\ m/s$$

Exemplo Acima da Média

a) Do ponto $r = 1,6.10^{20}$ e $F_G = 4,0.10^{19}$, temos

$$\cdot\ F_G = \frac{GMm}{r^2} \Rightarrow 4.\cancel{10^{19}} = \frac{6,7.\cancel{10^{-11}}.M.1.\cancel{10^{30}}}{(1,6.10^{20})^2} \Rightarrow M = \frac{4(1,6.10^{20})^2}{6,7}$$

$$= \frac{10,24.10^{40}}{6,7} \cong \boxed{15,2.10^{39}\ kg}$$

∴, a massa M da galáxia vale, aproximadamente, 15,2.10^39 kg

b) Nesse caso, a força centrípeta é igual à força gravitacional. Então:

$$\cdot\ F_{cp} = F_G \Rightarrow \frac{\cancel{m}v^2}{\cancel{R}} = \frac{GmM}{R^2} \Rightarrow v^2 = \frac{GM}{R} = \frac{6,7.10^{-11}.15,2.10^{39}}{1,6.10^{20}} \Rightarrow$$

$$v^2 = 63,65.10^{8} \Rightarrow \boxed{v \cong 8.10^{4}\ m/s}$$

∴, a velocidade da estrela vale, aproximadamente, 8.10^4 m/s

No exemplo acima da média, o candidato resolve o item **b** de uma maneira alternativa. Ele deduz a expressão da velocidade orbital da estrela em função da massa da galáxia e do raio da órbita, e chega ao resultado correto fazendo uso da reposta do item **a**.

Exemplo Abaixo da Média

a) Adotando $r = 1,6\times10^{20}$ m e portanto $F_G = 4\times10^{19}$ N :

$$F_G = \frac{GMm}{r^2}$$

$$4\times10^{16} = \frac{6,7\times10^{-11}.M\ 1\times10^{30}}{(1,6\times10^{20})^2}$$

$M \cong 15,2\times10^{37}$ kg ou 152×10^{36} kg

A massa M da galáxia é de aproximadamente 152×10^{36} kg.

b) Adotando $F_G = F_{centrípeta}$

$$F_C = \frac{v^2}{R}\ \text{ou}\ \frac{v^2}{r}$$

$$4\times10^{16} = \frac{v^2}{1,6\times10^{20}}$$

$$v = 8\times10^{\frac{35}{2}}\ \frac{m}{s}$$

A velocidade de uma estrela em órbita circular nessa distância é de ~~8~~ aproximadamente $8\times10^{17}\ \frac{m}{s}$

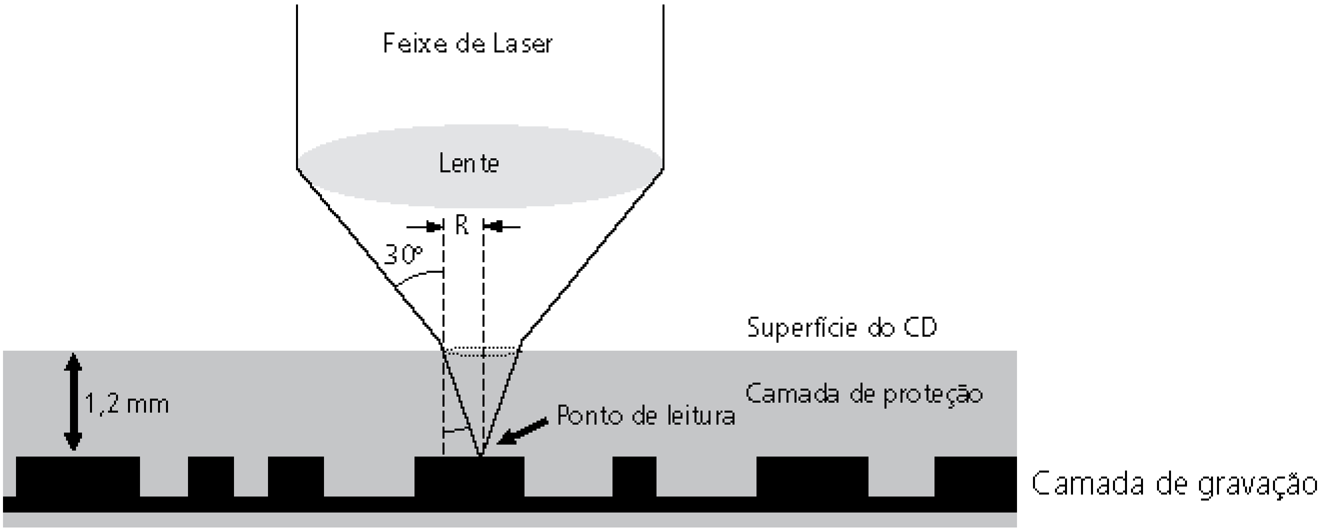
Esse exemplo abaixo da média mostra uma série de equívocos do candidato. No item **a**, apesar de ler corretamente um ponto do gráfico, o candidato erra no desenvolvimento do cálculo da massa. No item **b**, ele comete um erro conceitual grave ao confundir as definições de força e aceleração centrípeta.

Comentários

A leitura correta do gráfico fornecido e a utilização de conceitos de gravitação e de movimento circular são cobradas nessa questão, que tem como temática a existência de matéria escura e sua influência sobre o movimento orbital das estrelas.

7.

A informação digital de um CD é armazenada em uma camada de gravação que reside abaixo de uma camada protetora, composta por um plástico de 1,2 mm de espessura. A leitura da informação é feita através de um feixe de laser que passa através de uma lente convergente e da camada protetora para ser focalizado na camada de gravação, conforme representa a figura abaixo. Nessa configuração, a área coberta pelo feixe na superfície do CD é relativamente grande, reduzindo os distúrbios causados por riscos na superfície.



a)
Considere que o material da camada de proteção tem índice de refração n = 1,5, e que o ângulo de incidência do feixe é de 30° em relação ao eixo normal à superfície do CD. Usando a Lei de Snell, $n_1 \operatorname{sen}\theta_1 = n_2 \operatorname{sen}\theta_2$, calcule o raio R do feixe na superfície do CD. Considere R = 0 no ponto de leitura.

b)
Durante a leitura, a velocidade angular de rotação do CD varia conforme a distância do sistema ótico de leitura em relação ao eixo de rotação. Isso é necessário para que a velocidade linear do ponto de leitura seja constante. Qual deve ser a razão entre a velocidade angular de rotação do CD quando o sistema ótico está na parte central, de raio r_1 = 2,0 cm, e velocidade angular de rotação do CD quando o mesmo está na parte externa, de raio r_2 = 10 cm?

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$\frac{\operatorname{sen}(30)}{1,5} = \frac{1}{3} = \operatorname{sen}\theta_2$$

$$\tan\theta_2 = \frac{sen\theta_2}{\sqrt{1 - sen^2\theta_2}} = \frac{\sqrt{2}}{4}$$

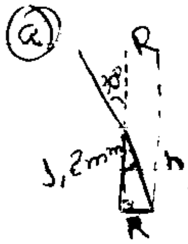
$$R = \frac{1,2 \times \sqrt{2}}{4} = 0,42 \text{ mm}$$

b) **(2 pontos)**

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\frac{v}{r_1}}{\frac{v}{r_2}} = \frac{r_2}{r_1} = 5$$

Exemplo Acima da Média

ⓐ



$h^2 = R^2 + 1{,}44$

Lei de Snell. $n_1 \, sen\theta = n_2 \, sen\theta_2$ $\quad sen 30° = \frac{1}{2}$

$n_1 \cdot \frac{1}{2} = 1{,}5 \cdot sen\theta_2$ $\quad sen\theta_2 = \frac{R}{1{,}2\,mm}$

$$\left(\frac{1}{2}\right)^2 = \left(1{,}5 \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + 1{,}44}}\right)^2$$

$$\frac{1}{4} = \frac{2{,}25 \cdot R^2}{R^2 + 1{,}44}$$

$$R^2 + 1{,}44 = 9 R^2$$

$$8R^2 = 1{,}44$$

$$R^2 = 0{,}18$$

$$R = \sqrt{0{,}18} \cong 0{,}42\,mm$$

ⓑ $V = \omega R$.

$V_1 = \omega \cdot 2 \qquad V_2 = \omega \cdot 10$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{2\cancel{\omega}}{10\cancel{\omega}} = 0{,}2$$

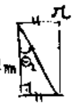
A razão entre as duas posições é 0,2

No exemplo acima da média, no item **a**, o candidato aplica corretamente a Lei de Snell e reescreve o Seno do ângulo refratado em termos do raio do feixe, utilizando o teorema de Pitágoras. No item **b**, ele escreve corretamente as velocidades lineares, mas calcula a razão entre elas ao invés da razão entre as velocidades angulares, como foi pedido na questão.

Exemplo Abaixo da Média

a) $n_1 \, sen\,\theta_1 = n_2 \, sen\,\theta_2 \quad \therefore \quad \frac{sen\,\theta_1}{sen\,\theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$

$\frac{sen\,30°}{sen\,\theta_2} = \frac{1{,}5}{1} \quad \therefore \quad sen\,\theta_2 = \frac{1{,}5}{1/2} = \boxed{3}$

Pelo desenho:  h = 1,2m $\quad \therefore \quad \frac{r}{h} = tg\,\theta_2 \quad . \; r = 1{,}2 \times 10^{-3} \cdot tg\,\theta_2 \; m$

b) $w = v \cdot r$

$w_1 = 2r \qquad \therefore \quad \frac{w_1}{w_2} = \frac{2\cancel{r}}{10\cancel{r}} \quad \therefore \quad \frac{w_1}{w_2} = 0{,}2$

$w_2 = 10r$

Resposta: 0,2

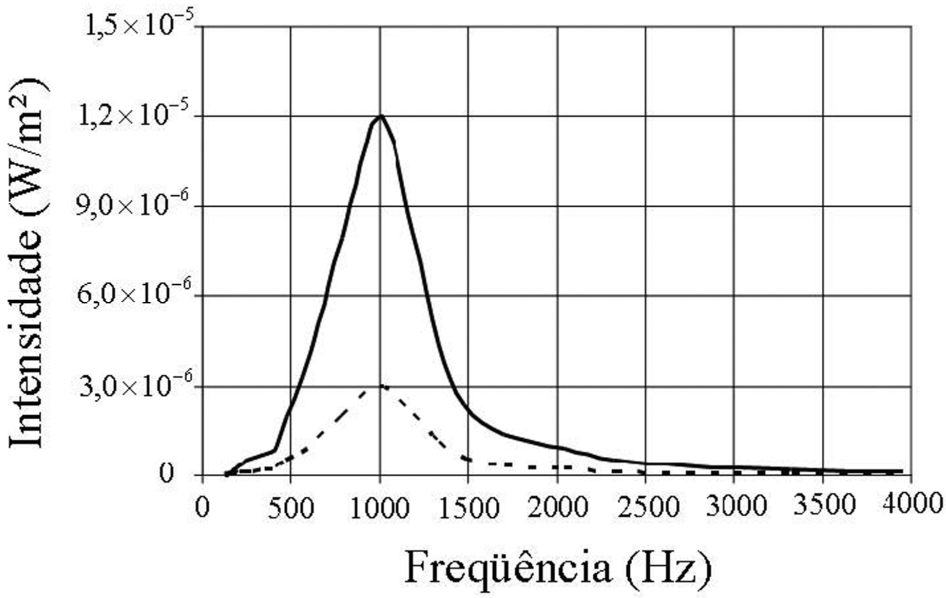
No exemplo abaixo da média, no item **a**, o candidato erra ao aplicar a Lei de Snell e obtém o valor errado para o Seno do ângulo do feixe refratado. No item **b**, o candidato erra a fórmula da velocidade angular.

Comentários

O funcionamento de um leitor de CD é explorado nessa questão, que mistura conceitos de ótica, no funcionamento do cabeçote de leitura, e de cinemática, no movimento do cabeçote de leitura sobre o disco. No item **a** o aluno teve que utilizar a lei de refração fornecida no enunciado, para obter a espessura da camada de proteção do CD. No item **b** o candidato teve que calcular a variação da velocidade de rotação do CD para que a taxa de leitura se mantivesse constante.

8.

O ruído sonoro nas proximidades de rodovias resulta predominantemente da compressão do ar pelos pneus de veículos que trafegam a altas velocidades. O uso de asfalto emborrachado pode reduzir significativamente esse ruído. O gráfico ao lado mostra duas curvas de intensidade do ruído sonoro em função da freqüência, uma para asfalto comum e outra para asfalto emborrachado.



a)
As intensidades da figura foram obtidas a uma distância r = 10 m da rodovia. Considere que a intensidade do ruído sonoro é dada por $I = P / 4\pi r^2$, onde P é a potência de emissão do ruído. Calcule P na freqüência de 1000 Hz para o caso do asfalto emborrachado.

b)
Uma possível explicação para a origem do pico em torno de 1000 Hz é que as ranhuras longitudinais dos pneus em contato com o solo funcionam como tubos sonoros abertos nas extremidades. O modo fundamental de vibração em um tubo aberto ocorre quando o comprimento de onda é igual ao dobro do comprimento do tubo. Considerando que a freqüência fundamental de vibração seja 1000 Hz, qual deve ser o comprimento do tubo? A velocidade de propagação do som no ar é v = 340 m/s.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$P_{med} = 4.3.100.(3,0\times10^{-6}) = 3,6\times10^{-3}\ W$$

b) **(2 pontos)**

$\lambda = 2L$,

$$L = \frac{v}{2f} = \frac{340}{2000} = 17\ cm$$

Exemplo Acima da Média

a/ $I = 3\times10^{-6}$ $\quad 3\times10^{-6} = \dfrac{P}{4\times3\times10^{2}}$ $\quad P = 3\times10^{-6}\times12\times10^{2}$

$P = ?$ $\quad \boxed{P = 3{,}6\times10^{3}\,W}$

R: P É IGUAL A $3{,}6\times10^{3}$ W

b) $V = \lambda F$ $\quad \boxed{\lambda = 2\times L}$ → MODO FUNDAMENTAL DE VIBRAÇÃO

$340 = \lambda\times1000$ $\quad$ L: COMPRIMENTO DO TUBO

$\lambda = 0{,}34m$ $\quad L = \dfrac{0{,}34}{2}$ $\quad L = 0{,}17$ M $\quad$ R: O COMPRIMENTO DO TUBO É DE 17cm.

No exemplo acima da média, o candidato aplica corretamente a expressão fornecida para a solução do item **a**, mas erra na multiplicação das potências no cálculo da resposta final.

Exemplo Abaixo da Média

a) $I = \dfrac{P}{4\pi r^{2}}$ $\quad 3\times10^{-6} = \dfrac{P}{4\pi 10^{2}}$ $\quad P = 3\times10^{6} \,.\, 12 \,.\, 10^{2}$

$P = 3\times10^{6} \,.\, 1200$

$\boxed{P = 36\times10^{8}}$

b) $V = C \,.\, F$

$340 = C \,.\, 1000$

$C = \dfrac{340}{1000} = 0{,}34m$

O COMPRIMENTO DO TUBO DEVERÁ SER 0,34m.

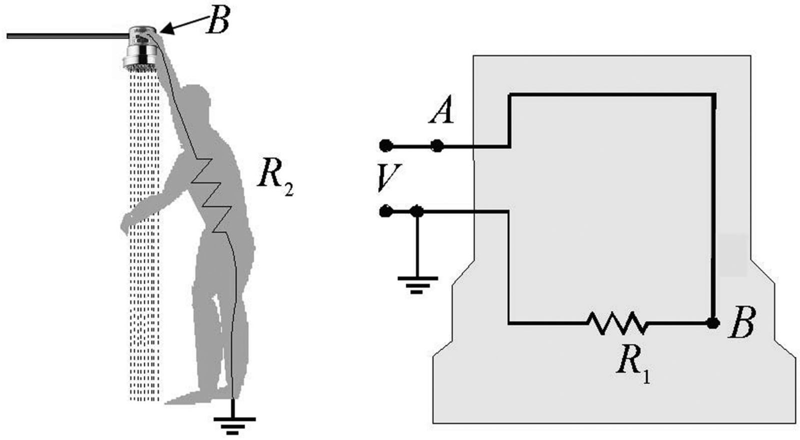
Nesse exemplo abaixo da média, o candidato comete um erro de cálculo de potência e se esquece de escrever a unidade da grandeza na resposta final do item **a**. No item **b**, o aluno escreve a expressão incorreta para o comprimento de onda e obtém o dobro do resultado correto para o comprimento do tubo. Note que a relação correta entre o comprimento de onda e o comprimento do tudo foi fornecida textualmente no enunciado.

Comentários

Nessa questão é abordada uma possível explicação para o ruído emitido pelos pneus dos carros que trafegam em uma rodovia, utilizando-se um modelo de ressonância de um tubo sonoro aberto nas duas extremidades. No primeiro item, o candidato teria que fazer uma leitura de gráfico fornecido. No segundo, ele deveria usar a fórmula do primeiro harmônico para o tubo aberto nas extremidades, fornecida textualmente, para o cálculo do comprimento do tubo.

9.

O chuveiro elétrico é amplamente utilizado em todo o país e é o responsável por grande parte do consumo elétrico residencial. A figura abaixo representa um chuveiro metálico em funcionamento e seu circuito elétrico equivalente. A tensão fornecida ao chuveiro vale V = 200 V e sua resistência é R_1 = 10 Ω.



a)
Suponha um chuveiro em funcionamento, pelo qual fluem 3,0 litros de água por minuto, e considere que toda a energia dissipada na resistência do chuveiro seja transferida para a água.
O calor absorvido pela água, nesse caso, é dado por $Q = mc\Delta\theta$ onde $c = 4 \times 10^3$ J/kg °C é o calor específico da água, m é a sua massa e $\Delta\theta$ é a variação de sua temperatura. Sendo a densidade da água igual a 1000 kg/m³, calcule a temperatura de saída da água quando a temperatura de entrada for igual a 20 °C.

b)
Considere agora que o chuveiro esteja defeituoso e que o ponto B do circuito entre em contato com a carcaça metálica. Qual a corrente total no ramo AB do circuito se uma pessoa tocar o chuveiro como mostra a figura? A resistência do corpo humano nessa situação vale R_2 = 1000 Ω.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**
3 l/min = 50 ml/s = 50 g de água por segundo.

$$Q = mc\Delta T$$

$$Q_c = Pt = I^2 Rt$$

$$Q = Q_c \rightarrow \Delta T = \frac{I^2 R}{mc/t} = \frac{(20)^2 10}{4 \cdot 50} = 20\ \ ^\circ C$$

$$T = T_0 + \Delta T = 40^0 \mathrm{C}$$

b) **(2 pontos)**

$$I = \frac{V}{R_h} + \frac{V}{R_C} = \frac{200}{1000} + \frac{200}{10} = 20{,}2 \text{ A}$$

Exemplo Acima da Média

a) 3L = 3kg água
$m = 3\,kg$ $i = \frac{U}{R}$
$V = 200\,V$ $P = U \cdot i$ $P = \frac{U \cdot U}{R}$
$R_1 = 10\,\Omega$
$C = 4 \cdot 10^3\, J/kg°C$
$\theta_0 = 20°C$
$\theta = ?$
$\Delta t = 1\,min = 60\,s$

$E_{dissipada} = Q$
$P \cdot \Delta t = mc\Delta\theta$
$\frac{V^2}{R} \cdot \Delta t = mc\Delta\theta$
$\frac{(200)^2 \cdot 60}{10} = 3 \cdot 4 \cdot 10^3(\theta - 20)$
$\frac{40000 \cdot 6}{3 \cdot 4 \cdot 1000} = \theta - 20$

$\theta - 20 = 20$
$\theta = 20 + 20$
$\boxed{\theta = 40°C}$

Resposta: A água sai do chuveiro com 40°C.

b) $V = R_{eq} \cdot i$ R_1 e R_2 associados em paralelo
$200 = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \cdot i$
$200 = \left(\frac{1}{10} + \frac{1}{1000}\right) \cdot i$
$200 = \left(\frac{100 + 1}{1000}\right) \cdot i$
$i = \frac{200 \cdot 1000}{101}$
$\boxed{i \cong 1980\,A}$

Resposta: A corrente total no ramo AB valeria nessa situação 1980 A

No exemplo acima da média, o candidato aplica corretamente os conceitos de calorimetria e potência elétrica, no item **a**. No item **b**, o vestibulando entende corretamente o circuito elétrico equivalente na situação do problema, mas comete um erro no cálculo da resposta final.

Exemplo Abaixo da Média

a) $Pot = \frac{U^2}{R} = \frac{4 \cdot 10^4}{10} = 4000\,W$
$Q = i\,\Delta t \rightarrow i = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow \Delta t = 1\,min = 60\,s$
$Pot = U \cdot i$
$\cancel{4000}\ 20 = \cancel{200} \cdot \frac{Q}{60}$
$Q = 1200\,J$
$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$
$1200 = 3 \cdot 4 \cdot 10^3(\theta f - 20)$
$\theta f = 20{,}1°C$

m — 3 l
1000 kg água — 1000 l
$m = 3\,kg$

b) $R_{eq} = R_1 + R_2 = 1010\,\Omega$
$U = 200\,V$
$U = R \cdot i$
$i = \frac{200}{1010} = 0{,}2\,A$

No exemplo abaixo da média, no item **a**, o candidato confunde conceitos complemente diferentes, igualando a quantidade de calor à carga elétrica. No item **b**, ele erra ao calcular a corrente, assumindo uma associação em série das resistências envolvidas.

Comentários

O funcionamento do chuveiro elétrico é abordado nessa questão, que traz conceitos de eletricidade e termodinâmica. No primeiro item, o aluno teve que utilizar a lei de potência de dissipação de uma resistência e calcular a variação de temperatura da água no chuveiro. O segundo item exigiu do candidato conhecimento de circuitos elétricos com associação de resistores.

10.

O alicate-amperímetro é um medidor de corrente elétrica, cujo princípio de funcionamento baseia-se no campo magnético produzido pela corrente. Para se fazer uma medida, basta envolver o fio com a alça do amperímetro, como ilustra a figura ao lado.

a)
No caso de um fio retilíneo e longo, pelo qual passa uma corrente *i*, o módulo do campo magnético produzido a uma distância *r* do centro do fio é dado por $B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$, onde $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{Tm}{A}$. Se o campo magnético num ponto da alça circular do alicate da figura for igual a 1,0 × 10^{-5} T, qual é a corrente que percorre o fio situado no centro da alça do amperímetro?

b)
A alça do alicate é composta de uma bobina com várias espiras, cada uma com área *A* = 0,6 cm^2. Numa certa medida, o campo magnético, que é perpendicular à área da espira, varia de zero a 5,0 × 10^{-6} T em 2,0 × 10^{-3} s. Qual é a força eletromotriz induzida, ε, em uma espira? A lei de indução de Faraday é dada por: $\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, onde Φ é o fluxo magnético, que, nesse caso, é igual ao produto do campo magnético pela área da espira.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

Da figura: $r = 2{,}5 \times 10^{-2}\, m$

$$i = \frac{2\pi r B}{\mu_0} = \frac{2\pi \times 2{,}5 \times 10^{-2}\, m \times 1{,}0 \times 10^{-5}\, T}{4\pi \times 10^{-7}\, \frac{T\, m}{A}} = 1{,}25\, A$$

b) **(2 pontos)**

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\frac{\Delta(BA)}{\Delta t} = -A\frac{\Delta B}{\Delta t} = -0{,}6 \times 10^{-4}\, \frac{5{,}0 \times 10^{-6}}{2{,}0 \times 10^{-3}} = -1{,}5 \times 10^{-7}\ V$$

Exemplo Acima da Média

a) Pelo figura temos que $r = 2{,}5 \cdot 10^{-2}$ m. A partir da equação fornecida, temos:

$B = \dfrac{\mu_0 \cdot i}{2\pi \cdot r}$ $\quad 1 \cdot 10^{-5} = \dfrac{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot i}{2 \cdot \pi \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-2}}$ $\quad \underline{i = 1{,}25\ A}$

b) $\mathcal{E} = -\dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$ $\quad \mathcal{E} = -\dfrac{(A(B_2 - B_1))}{\Delta t}$ $\quad \mathcal{E} = -\dfrac{(0{,}6(0 - 5 \cdot 10^{-6}))}{2 \cdot 10^{-3}}$

$\underline{\mathcal{E} = 1{,}5 \cdot 10^{-3}\ V}$

Esse exemplo acima da média traz uma solução em que o candidato utiliza, no contexto correto, as equações fornecidas no enunciado, mas erra ao calcular a resposta final do item **b**.

Exemplo Abaixo da Média

a) $B = \dfrac{\mu_0 i}{2\pi r\, 2}$ $\quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\ \dfrac{Tm}{A}$

$1{,}0 \cdot 10^{-5} = \dfrac{4\pi 10^{-7}\, i}{2\pi \cdot 2{,}5}$

$i = \dfrac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 10^{-5}}{10^{-7} \cdot 2} = \dfrac{10^{2} \cdot 2{,}5}{2} = \dfrac{250}{2} = 125\ A$

$\rightarrow$ Resp: 125 A

b) $\Delta\Phi = \dfrac{5{,}0 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-4}} = \dfrac{5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{4}}{6}$

$\mathcal{E} = -\dfrac{5 \cdot 10^{-1}}{6} = \dfrac{0{,}082}{2 \cdot 10^{-3}} = \dfrac{82}{2} = -41$

A variação no fluxo magnético é de -41 N

No exemplo abaixo da média, no item **b**, o candidato se esquece de considerar a área da espira na expressão para o fluxo magnético, apesar de a expressão correta estar fornecida em forma de texto no enunciado. Além disso, o vestibulando comete um erro no cálculo no item **a**.

Comentários

A questão 10 utiliza-se de conceitos fundamentais do eletromagnetismo para a descrição do funcionamento de um aparelho de medição de corrente elétrica bastante utilizado na prática. Para a resolução dos ambos os itens, o candidato deveria utilizar corretamente as fórmulas fornecidas na forma matemática explícita ou na forma de texto. Para o solução do item **a**, o candidato deveria ainda observar o valor do raio da alça do amperímetro fornecido na figura.

11.

Com um pouco de capacidade de interpretação do enunciado, é possível entender um problema de Física moderna, como o exposto abaixo, com base nos conhecimentos de ensino médio.
O Positrônio é um átomo formado por um elétron e sua anti-partícula, o pósitron, que possui carga oposta e massa igual à do elétron. Ele é semelhante ao átomo de Hidrogênio, que possui um elétron e um próton. A energia do nível fundamental desses átomos é dada por $E_1 = \dfrac{-13,6}{\left(1+\dfrac{m_e}{m_p}\right)} eV$, onde m_e é a massa do elétron e m_p é a massa do pósitron, no caso do Positrônio, ou a massa do próton, no caso do átomo de Hidrogênio. Para o átomo de Hidrogênio, como a massa do próton é muito maior que a massa do elétron, $E_1 = -13,6$ eV.

a)
Calcule a energia do nível fundamental do Positrônio.

b)
Ao contrário do átomo de Hidrogênio, o Positrônio é muito instável, pois o elétron pode se aniquilar rapidamente com a sua anti-partícula, produzindo fótons de alta energia, chamados raios gama. Considerando que as massas do elétron e do pósitron são $m_e = m_p = 9 \times 10^{-31}$ kg , e que, ao se aniquilarem, toda a sua energia, dada pela relação de Einstein $E_p + E_e = m_e c^2 + m_p c^2$, é convertida na energia de dois fótons gama, calcule a energia de cada fóton produzido. A velocidade da luz é $c = 3,0 \times 10^8$ m/s.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$m_p = m_e \qquad E_1 = \frac{-13,6}{(1+1)} = -6,8 \text{ eV}$$

b) **(2 pontos)**

$$E = 2mc^2 \ / \ 2$$

$$E = 9\times10^{-31}\times(3,0\times10^8)^2 = 8,1\times10^{-14}\, J$$

Exemplo Acima da Média

a-) Como a massa do elétron é igual à massa do pósitron,
$\frac{me}{mp} = 1$
Se $E = \frac{-13,6}{\left(1+\frac{me}{mp}\right)}$ => $E = \frac{-13,6}{1+1} = \frac{13,6}{2} = 6,8$ eV.

Resp: A energia do nível fundamental do Positrônio é igual a 6,8eV.

b-) $Ep+Ee = me.c^2 + mp.c^2$ => $Ep+Ee = 9.10^{-31}.(3.10^8)^2 + 9.10^{-31}.(3.10^8)^2$

$Ep+Ee = 2(9.10^{-31}.\ 9.10^{16}) = 2.81.10^{-15} = 162.10^{-15}$ J

Se dois fótons têm 162.10^{-15} J de energia, um fóton terá 81.10^{-15}J de energia.

No exemplo acima da média, o candidato utiliza corretamente as expressões fornecidas no enunciado e erra apenas no sinal do resultado final do item **a**, em que a energia deve ter sinal negativo.

Exemplo Abaixo da Média

(a) $E = \dfrac{-13,6}{1+\left(\dfrac{m_e}{m_p}\right)}$ eV

$E = -13,6$ eV

Como o Pósitron ~~é constituído de~~ possui massa igual à do elétron, que é, aproximadamente 0, temos que $E = -13,6$ eV

(b) como ~~a da~~ as energias produzidas são convertidas em 2 fótons gama e $m_e = m_p = 9.10^{-31}$ kg :

$E_p + E_e = m_e . c^2 + m_p . c^2$

$E_p + E_e = (m_e + m_p)\, c^2$

$E_T = (18.10^{-31}).(3.10^8)^2$

$E_T = 1,62.10^{-13}$ eV

$\dfrac{1,62.10^{-13}}{2} = 0,81.10^{-13} = 8,1.10^{-14}$ eV

∴ Cada fóton tem $8,1.10^{-14}$ eV de energia

No exemplo abaixo da média, o candidato comete um erro grave ao igualar a razão das massas das partículas a zero no cálculo da Energia do positrônio, na solução do item **a**. Além disso, no item **b** o candidato erra na unidade do resultado final.

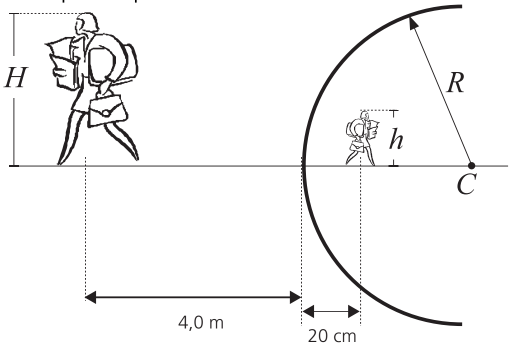
Comentários

Essa questão aborda um assunto de Física Moderna com conceitos adicionais ao conteúdo de Ensino Médio, como tradicionalmente se faz nas provas de Física do Vestibular da Unicamp. No entanto, sua resolução é simples, dependendo apenas da correta interpretação do texto e aplicação das fórmulas fornecidas. Neste ano foram consideradas a energia do estado fundamental do Positrônio e do átomo de Hidrogênio, e a instabilidade do Positrônio que emite fótons no processo de aniquilação.

12.

Para espelhos esféricos nas condições de Gauss, a distância do objeto ao espelho, *p,* a distância da imagem ao espelho, *p´,* e o raio de curvatura do espelho, *R,* estão relacionados através da equação $\dfrac{1}{p}+\dfrac{1}{p'}=\dfrac{2}{R}$. O aumento linear transversal do espelho esférico é dado por $A=\dfrac{-p'}{p}$, onde o sinal de *A* representa a orientação da imagem, direita quando positivo e invertida, quando negativo.

Em particular, espelhos convexos são úteis por permitir o aumento do campo de visão e por essa razão são freqüentemente empregados em saídas de garagens e em corredores de supermercados. A figura ao lado mostra um espelho esférico convexo de raio de curvatura *R*. Quando uma pessoa está a uma distância de 4,0 m da superfície do espelho, sua imagem virtual se forma a 20 cm deste, conforme mostra a figura. Usando as expressões fornecidas acima, calcule o que se pede.



a)
O raio de curvatura do espelho.

b)
O tamanho h da imagem, se a pessoa tiver H = 1,60 m de altura.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$\frac{2}{R} = \frac{1}{p} + \frac{1}{p'};$$

$$R = 2\left(\frac{1}{4,0} - \frac{1}{0,2}\right)^{-1} = 2(0,25 - 5)^{-1} \approx -42 \text{ cm, onde o sinal}$$

negativo indica que o espelho é convexo.

$|R| \approx 42$ cm.

b) **(2 pontos)**

$$-\frac{p'}{p} = \frac{h}{H},$$

$$h = \frac{1,6.0,20}{4} = 8,0 \text{ cm}$$

Exemplo Acima da Média

a) $\frac{1}{4} + \frac{1}{-1/5} = \frac{2}{R}$

$\frac{2}{R} = \frac{1}{4} + (-5) \neq \cancel{\frac{28}{4}} \Rightarrow \frac{2}{R} = -\frac{19}{4} \Rightarrow R = -\frac{2}{19}$

$\cancel{R \approx \frac{4}{23}}$

Resp.: $R \cong -0,105$ m (O sinal negativo deve-se ao fato de este ser um espelho convexo).

b) $A = \frac{-(-0,2)}{4} = \frac{1}{20} \Rightarrow \frac{h}{H} = \frac{1}{20}$

$h = \frac{H}{20} = \frac{1,6}{20} = 0,08$ m

Resp.: A imagem tem altura igual a 0,08 m.

No exemplo acima da média, o candidato utiliza corretamente as expressões fornecidas, substituindo os valores apropriados de p e p´, em ambos os itens, mas comete um erro de cálculo no item **a**.

Exemplo Abaixo da Média

a) $-\frac{1}{4} + \frac{1}{0,2} = \frac{2}{R}$ $\quad /0,2R \quad 0,2/4R \quad R/0,8$

$20cm = 0,2m$

$-0,2R + 4R = 1,6$

$3,8R = 1,6$

$R \cong 0,4m \rightarrow \boxed{R \cong 40cm}$

$\cancel{R \cong 0,309\,m \cong R \cong 0,8\,m}$

b) $A = \frac{-0,2}{-4} = 0,05$

$1,60m \; - \; 1,05m$

$x \; - \; 1$

$x = \frac{1,60}{1,05}$

$x \cong 1,5m$

$\boxed{h \cong 1,5m}$

No exemplo abaixo da média, no item **a**, o candidato substitui corretamente os valores de p e p' mas erra o sinal do raio de curvatura. No item **b** o candidato utiliza corretamente a expressão fornecida para o aumento linear, mas aplica o resultado de forma equivocada para obter a altura da imagem.

Comentários

A questão 12 aborda a reflexão de imagens por espelhos esféricos, um assunto típico de óptica geométrica no Ensino Médio. No caso, a questão trata de espelhos esféricos convexos que são utilizados para ampliação do campo de visão. Para a resolução da questão, é necessária a correta aplicação das relações fornecidas em ambos os itens.