COMVEST
Comissão Permanente para os Vestibulares

2009
vestibular nacional
UNICAMP

2ª Fase

Física

FÍSICA

INTRODUÇÃO

A prova de Física do Vestibular Unicamp 2009 trouxe uma novidade em relação aos anos anteriores, que foi a apresentação de um tema central para a prova. Todas as questões da prova abordaram fenômenos físicos relacionados com grandes avanços científicos e tecnológicos da Humanidade. Além do mais, algumas questões continham informações temáticas inter-relacionadas, como as questões 1 e 2 (desenvolvimento das aeronaves) e as questões 7 e 8 (consumo e obtenção de energia).

No entanto, a prova manteve a mesma proposta dos anos anteriores de avaliar os conhecimentos básicos do ensino médio, contextualizados sempre em situações reais e da atualidade. O objetivo foi o de trazer a Física para o mundo próximo do candidato, de modo a destacar a importância da ciência dentro da sociedade. Do ponto de vista de avaliação, a prova exigiu dos candidatos capacidade de analisar as questões propostas à luz dos conceitos básicos do ensino médio, de interpretar textos e aplicar fórmulas fornecidas e de ler corretamente gráficos e diagramas.

Dentro do tema central da prova, as questões exploraram os mais variados contextos: a evolução dos meios de transporte e o estudo aerodinâmico no desenvolvimento das aeronaves; a produção do fogo e a evolução dos métodos de geração de energia; o uso tecnológico do efeito piezelétrico, a melhoria da tecnologia de produção de luz e da amplificação de correntes em circuitos; grandes descobertas na física de partículas e a busca por novas partículas nos aceleradores atuais; e finalmente a evolução dos métodos de estudos astronômicos.

Em termos de conteúdo, as 12 questões de Física buscaram uma ampla abrangência do programa do Ensino Médio. As três primeiras questões da prova, a questão 5, e o item **a** das questões 7, 8 e 12 englobaram conceitos de Mecânica como cinemática, conservação do momento linear e de energia; soma vetorial das componentes de uma força e torque em torno de um eixo de rotação; energia elástica e cinética; relação entre potência e energia; movimento circular; relação entre força e pressão e trabalho da força de atrito. O item **b** da questão 4 e a questão 6 cobraram conhecimento de dilatação térmica e termodinâmica, respectivamente. Duas questões exigiam a leitura correta de gráficos, sendo que no item **b** da questão 8 o candidato deveria fazer uma leitura combinada de dois gráficos para chegar à resposta. Circuitos elétricos e forças elétricas foram abordados nas questões 9 e 11, enquanto conhecimentos de ótica foram exigidos na solução do item **b** da questão 12. E finalmente o item **b** das questões 7 e 10 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 (questões 4, 7, 10 e 11). Na questão 2, pedia-se para o candidato fazer uma estimativa para o comprimento das asas e para a velocidade típica de um avião. O candidato atento poderia perceber que um valor típico para a velocidade de um avião foi fornecido na primeira questão.

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 enunciado, à descrição da situação ou 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 analisa as questões quanto à adequação ao conteúdo, clareza de enunciado, tempo para resolvê-las, semelhança com questões de anos anteriores e grau de dificuldade.

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

FÍSICA

Essa prova aborda fenômenos físicos relacionados com grandes avanços científicos e tecnológicos da Humanidade. Algumas questões, em particular as que tratam de Física Moderna, apresentam as fórmulas necessárias para a resolução da questão no próprio enunciado. Leia com atenção.

1. Os avanços tecnológicos nos meios de transporte reduziram de forma significativa o tempo de viagem ao redor do mundo. Em 2008 foram comemorados os 100 anos da chegada em Santos do navio *Kasato Maru,* que, partindo de Tóquio, trouxe ao Brasil os primeiros imigrantes japoneses. A viagem durou cerca de 50 dias. Atualmente, uma viagem de avião entre São Paulo e Tóquio dura em média 24 horas. A velocidade escalar média de um avião comercial no trecho São Paulo-Tóquio é de 800 km/h.

a) O comprimento da trajetória realizada pelo *Kasato Maru* é igual a aproximadamente duas vezes o comprimento da trajetória do avião no trecho São Paulo-Tóquio. Calcule a velocidade escalar média do navio em sua viagem ao Brasil.

b) A conquista espacial possibilitou uma viagem do homem à Lua realizada em poucos dias e proporcionou a máxima velocidade de deslocamento que um ser humano já experimentou. Considere um foguete subindo com uma aceleração resultante constante de módulo a_R = 10 m/s^2 e calcule o tempo que o foguete leva para percorrer uma distância de 800 km, a partir do repouso.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$d_{navio} = 2d_{avião} \Rightarrow v_{navio}t_{navio} = 2v_{avião}t_{avião}$$

$$v_{navio} = \frac{2v_{avião}t_{avião}}{t_{navio}} = \frac{2\times 800\text{km/h}\times 24\text{h}}{50\times 24\text{h}} = 32 \text{ km/h}$$

b) **(2 pontos)**

Para v_0 = 0 e a_R = 10 m/s^2, o deslocamento do foguete é dado por:

$$\Delta s = \frac{a_R t^2}{2} \Rightarrow \Delta s = \frac{10t^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2\Delta s}{10}} = \sqrt{\frac{2.800000}{10}} = 400 \text{ s}$$

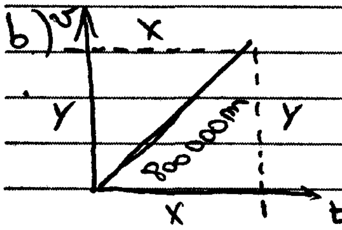
FÍSICA

Exemplo Acima da Média

a) Distância percorrida pelo avião: $800 \times 24 = 19\,200$ Km
Distância percorrida pelo navio: $19\,200 \times 2 = 38\,400$ Km
Total de horas em 50 dias: $24 \times 50 = 1200$ horas
Velocidade do navio: $38\,400 \div 1200 = 32$ Km/h

Portanto a velocidade escalar média do navio é de 32 Km/h

b)



equação da reta: $Y = ax + b$

$$\begin{cases} Y = 10X \\ (Y.X)/2 = 800\,000 \end{cases} \rightarrow$$ substituindo:

$10X.X = 1\,600\,000$
$10X^2 = 1\,600\,000$
$X^2 = 160\,000$
$X = \pm\sqrt{16.10^4}$
$X = 4.10^2$ (positivo pois é tempo)

O tempo que leva para o foguete percorrer a distância de 800 km é de 400 s após seu lançamento.

Na questão acima da média, o aluno responde ao primeiro item de maneira organizada, enumerando cada resposta para posterior utilização.
No segundo item, aplica os conceitos da física para obter a resposta pelo método gráfico, algo não comum na grande maioria das resoluções.

Exemplo Abaixo da Média

a) $V = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow 800 = \frac{\Delta s}{24}$ $\qquad V_{m} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \rightarrow V_{m} = \frac{19200}{50.24} = \frac{19200}{1200} = 16$ km/h

$V_{av} = 800$ Km/h $\quad \therefore \Delta s = 19200$ Km
$t = 24$h
1 dia = 24h

b) $S = S_0 + Vt + \frac{1}{2}at^2 \qquad V = V_0 + at$

$\Delta s = 800$ km
$a = 10$ m/s² $\qquad S - S_0 = (V_0 + at)t + \frac{1}{2}at^2$
$\Delta t = ?$
$V_0 = 0$

$\cancel{800 = 10t^2 + 5t^2}$ $\qquad 800\,000 = 10t^2 + 5t^2$
$\cancel{800 = 5(2t^2 + t^2)}$ $\qquad 800\,000 = 5(3t^2)$
$\cancel{160 = 3t^2}$ $\qquad 160\,000 = 3t^2$
$\cancel{53,33 = t^2}$ $\qquad 53333,33 = t^2$
$t = \sqrt{53333,33}$ s

Na questão abaixo da média, o candidato não atenta para o fato de que a distância percorrida pelo navio é o dobro da distância percorrida pelo avião.
No segundo item, ele confunde velocidade com distância e aplica erroneamente as equações de movimento.

Comentários

A primeira questão da prova aborda a evolução dos meios de transporte permitindo a comparação entre o tempo de viagem em diferentes situações. Usando os conceitos de cinemática em uma dimensão, o candidato deveria calcular a velocidade do navio *Kasato Maru* no item **a** e o tempo de um percurso realizado por um foguete no item **b**. Com os dados fornecidos e com os resultados encontrados é possível, então, apreciar essa evolução, notando que o navio levou 50 dias numa viagem do Japão ao Brasil, viagem que um avião comercial moderno realiza em um dia. Já o foguete Saturno V foi à Lua em poucos dias e um foguete pode percorrer em poucos minutos a distância típica que um avião percorre em uma hora.

2. O aperfeiçoamento de aeronaves que se deslocam em altas velocidades exigiu o entendimento das forças que atuam sobre um corpo em movimento num fluido. Para isso, projetistas realizam testes aerodinâmicos com protótipos em túneis de vento. Para que o resultado dos testes corresponda à situação real das aeronaves em vôo, é preciso que ambos sejam caracterizados por valores similares de uma quantidade conhecida como número de Reynolds R. Esse número é definido como $R = \frac{VL}{b}$, onde V é uma velocidade típica do movimento, L é um comprimento característico do corpo que se move e b é uma constante que depende do fluido.

a) Faça uma estimativa do comprimento total das asas e da velocidade de um avião e calcule o seu número de Reynolds. Para o ar, $b_{ar} \cong 1{,}5 \times 10^{-5}\ \text{m}^2/\text{s}$.

b) Uma situação de importância biotecnológica é o movimento de um micro-organismo num meio aquoso, que determina seu gasto energético e sua capacidade de encontrar alimento. O valor típico do número de Reynolds nesse caso é de cerca de $1{,}0 \times 10^{-5}$, bastante diferente daquele referente ao movimento de um avião no ar. Sabendo que uma bactéria de $2{,}0\ \mu\text{m}$ de comprimento tem massa de $6{,}0 \times 10^{-16}\ \text{kg}$, encontre a sua energia cinética média. Para a água, $b_{água} \cong 1{,}0 \times 10^{-6}\ \text{m}^2/\text{s}$.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$V \approx 250\ \text{m/s}$ e $L \approx 50\ \text{m}$

Logo, $R = \frac{VL}{b_{ar}} \cong 8{,}3 \times 10^{8}$

b) **(2 pontos)**

$$V_{bac} = \frac{R b_{água}}{L_{bac}} = \frac{1{,}0 \times 10^{-5} \times 1{,}0 \times 10^{-6}}{2{,}0 \times 10^{-6}} = 5{,}0 \times 10^{-6}\ \text{m/s}$$

$$E_{bac} = \frac{m_{bac} V_{bac}^2}{2} = \frac{6{,}0 \times 10^{-16} \times 2{,}5 \times 10^{-11}}{2} = 7{,}5 \times 10^{-27}\ \text{J}$$

Exemplo Acima da Média

a) Comprimento total das asas: 30m
Velocidade do avião: 200m/s

$R = \frac{VL}{b_{Ar}}$ $R = \frac{200 \cdot \cancel{30}^{2}}{\cancel{15} \cdot 10^{-6}} = 400 \cdot 10^{6}$ $R = 4 \cdot 10^{8}$

O número de Reynolds é de aproximadamente $4 \cdot 10^{8}$.

b)
$R = \frac{V \cdot L}{b_{ÁGUA}}$ $1 \cdot 10^{-5} = \frac{V \cdot 2 \cdot \cancel{10^{-6}}}{1 \cdot \cancel{10^{-6}}}$ $V = 0{,}5 \cdot 10^{-5}$ m/s

$E_c = \frac{mV^2}{2}$ $E_c = \frac{\cancel{6}^{3} \cdot 10^{-16} \cdot (5 \cdot 10^{-6})^2}{\cancel{2}}$ J $E_c = 3 \cdot 25 \cdot 10^{-28}$ J

$E_c = 7{,}5 \cdot 10^{-27}$ J

A energia cinética média é de $7{,}5 \cdot 10^{-27}$ J.

No exemplo acima da média, o candidato aplica corretamente a fórmula fornecida no item **a**, usa estimativas distintas da resposta esperada, mas ainda razoáveis para a velocidade e comprimento das asas de um avião, obtendo um valor aceitável para o número de Reynolds. No item **b**, o candidato calcula a velocidade da bactéria em meio aquoso, utilizando os valores do número de Reynolds, da constante *b* e do comprimento da bactéria fornecidos. Finalmente o candidato calcula a energia cinética corretamente, utilizando a velocidade da bactéria obtida e de sua massa fornecida.

Exemplo Abaixo da Média

a) $R = \dfrac{100\ m/s \ .\ 10\ m}{1,5.10^{-5}\ m^2/s}$

V_A 360 Km/h

L_A 10 m

$b_{ar} \cong 1,5 \times 10^{-5}\ m^2/s$

$R = \dfrac{1000\ m/s}{1,5.10^{-5}\ m/s}$

$\dfrac{360\ Km/h}{3,6} = 100\ m/s$

$R = \dfrac{1.10^3\ m/s}{1,5.10^{-5}\ m/s}$

0 Km/h

~~10000 / 3600~~

$R = \dfrac{1}{1,5} . 10^{-2}$

$V = \dfrac{10^{-5} \times 10^{-3}}{2}$

$R = 0,75.10^{-2}$ //

$1,0 \times 10^{-5} = \dfrac{V\ .\ 2 \times 10^{-8}}{1,0 \times 10^{-6}}$

$V = \dfrac{10^{-8}}{2}$

b) $EC = m.V$

$EC = \dfrac{(6 \times 10^{-16})}{1} \times \dfrac{(10^{-8})}{2}$

$1,0 \times 10^{-5} = \dfrac{V.\ 2 \times}{1,0 \times 10^{-3}}$

$EC = 12 \times 10^{-24}$ //

Quanto ao exemplo abaixo da média, no item **a**, apesar de ter estimado um valor razoável para o comprimento das asas do avião, o candidato subestima sua velocidade, mesmo tendo a velocidade típica de um avião como dado fornecido na questão 1. O candidato erra também ao passar o expoente no denominador para o numerador da fração da fórmula para o número de Reynolds fornecida, obtendo assim um valor muito baixo. Já no item **b**, o candidato erra na conversão de micrometros para metros. Além disso, ele erra a fórmula da energia cinética.

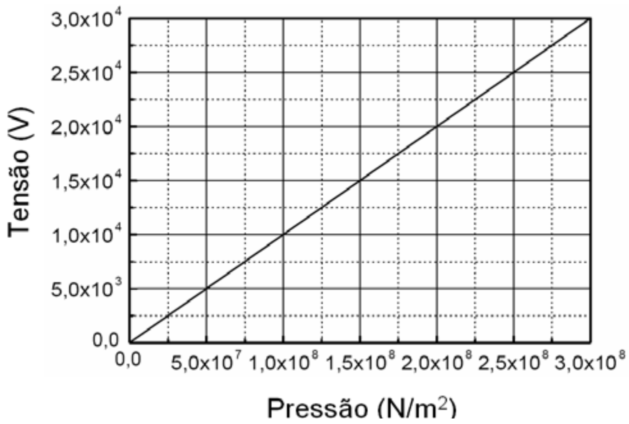
Comentários

Essa questão ressalta a importância dos estudos de aerodinâmica no desenvolvimento das aeronaves e introduz a definição do número de Reynolds. Para a solução do item **a**, o candidato deveria fazer uma estimativa do comprimento das asas e da velocidade de um avião e calcular o seu número de Reynolds com a expressão fornecida. O candidato atento poderia perceber que um valor típico para a velocidade de um avião foi fornecido na primeira questão. O item **b** cobra o conceito de energia cinética, explorando a importância do número de Reynolds no caso do movimento de uma bactéria.

3. A produção de fogo tem sido uma necessidade humana há milhares de anos. O homem primitivo provavelmente obtinha fogo através da produção de calor por atrito. Mais recentemente, faíscas elétricas geradoras de combustão são produzidas através do chamado efeito piezelétrico.

a) A obtenção de fogo por atrito depende do calor liberado pela ação da força de atrito entre duas superfícies, calor que aumenta a temperatura de um material até o ponto em que ocorre a combustão. Considere que uma superfície se desloca $2,0\ cm$ em relação à outra, exercendo uma força normal de $3,0\ N$. Se o coeficiente de atrito cinético entre as superfícies vale $\mu_C = 0,60$, qual é o trabalho da força de atrito?

b) Num acendedor moderno, um cristal de quartzo é pressionado por uma ponta acionada por molas. Entre as duas faces do cristal surge então uma tensão elétrica, cuja dependência em função da pressão é dada pelo gráfico abaixo. Se a tensão necessária para a ignição é de $20\ \text{kV}$ e a ponta atua numa área de $0{,}25\ \text{mm}^2$, qual a força exercida pela ponta sobre o cristal?



Resposta Esperada

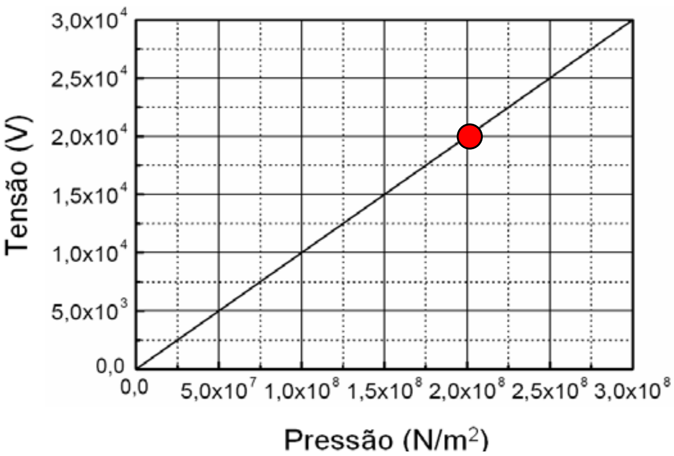
a) **(2 pontos)**

$W = -F_{at}\Delta x$ e $F_{at} = \mu_c N \Rightarrow W = -\mu_c N \Delta x$

$W = -0{,}6 \times 3{,}0 \times 2{,}0 \times 10^{-2} = -3{,}6 \times 10^{-2}\ \text{J}$

b) **(2 pontos)**

De acordo com o gráfico, a pressão necessária para a ignição é $P = 2{,}0 \times 10^8\ \text{N/m}^2$.



Logo,

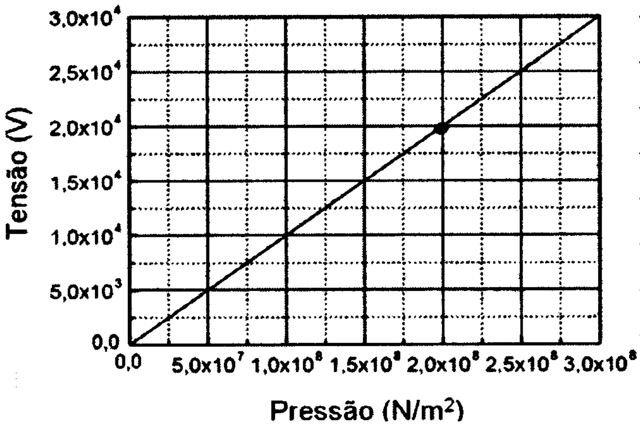
$F = PA = 2{,}0 \times 10^8 \times 0{,}25 \times 10^{-6} = 50\ \text{N}$

Exemplo Acima da Média

a) $\tau_{fat} = F \cdot d = -f_{at} \cdot d = -\mu_c \cdot N \cdot d = -0{,}6 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$

$\therefore \tau_{fat} = -3{,}6 \cdot 10^{-6}\ J$

b) Para tensão de 20 kV, temos pressão de $2 \cdot 10^{8}\ N/m^2$



$P = \frac{F}{A}$

$F = P \cdot A$

$F = 2 \cdot 10^{8} \cdot 0{,}25 \cdot 10^{-6} = 50\ N$

No item **a** do exemplo acima da média, o candidato calcula corretamente o trabalho como o produto entre a força de atrito e o deslocamento. No entanto, comete um erro de cálculo, obtendo um valor final errado para o trabalho. No item **b**, o candidato extrai corretamente do gráfico a pressão correspondente ao valor de tensão fornecido e calcula corretamente a força exercida pela ponta do acendedor sobre o cristal como o produto da pressão pela área de atuação da força.

Exemplo Abaixo da Média

a) $\tau = F \cdot d \cdot \mu$

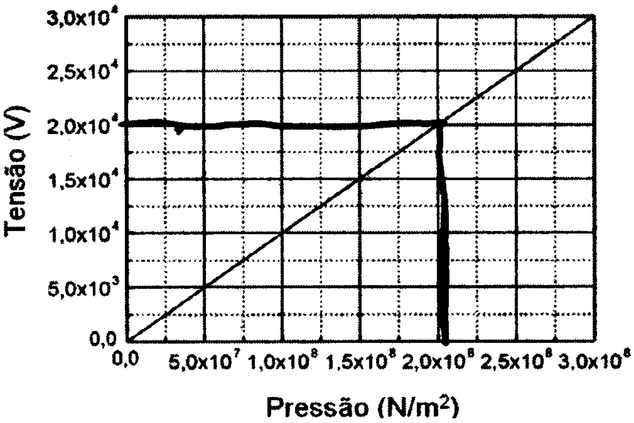
$\tau = 3 \cdot 0,2 \cdot 0,6$

$\tau = 0,6 \cdot 0,6$

$\boxed{\tau = 0,36\ N/m^2}$

b-) $F = \frac{P}{A}$ $\frac{2,5 \cdot 10^8\ N/m^2}{250\ m^2}$

$\boxed{F = 1 \cdot 10^6 N}$



No item **a** do exemplo abaixo da média, o candidato comete um erro de cálculo, em que foram desprezadas as unidades das grandezas fornecidas. Além disso, ele expressa o resultado final em uma unidade não compatível com trabalho. No item **b**, o candidato erra completamente ao substituir um valor para a pressão não correspondente à tensão fornecida, bem como por expressar a força como a razão entre a pressão e a área.

Comentários

Os conceitos físicos de trabalho, força de atrito e a relação entre força e pressão são exigidos nessa questão que aborda métodos de produção de fogo. A solução do item **b** cobrava também a leitura correta do gráfico fornecido.

4. A piezeletricidade também é importante nos relógios modernos que usam as vibrações de um cristal de quartzo como padrão de tempo e apresentam grande estabilidade com respeito a variações de temperatura.

a) Pode-se utilizar uma analogia entre as vibrações de um cristal de massa m e aquelas de um corpo de mesma massa preso a uma mola. Por exemplo: a freqüência de vibração do cristal e a sua energia potencial elástica também são dadas por $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ e $E_p = \frac{1}{2}k\Delta x^2$, respectivamente, onde k é a propriedade do cristal análoga à constante elástica da mola e Δx é o análogo da sua deformação. Um cristal de massa $m = 5,0$ g oscila com uma frequência de 30 kHz. Usando essa analogia, calcule a energia potencial elástica do cristal para $\Delta x = 0,020\ \mu m$. Utilize $\pi = 3$.

b) Em 1582, Galileu mostrou a utilidade do movimento pendular na construção de relógios. O período de um pêndulo simples depende do seu comprimento L. Este varia com a temperatura, o que produz pequenas alterações no período. No verão, um pêndulo com $L = 90$ cm executa um certo número de oscilações durante um tempo $t = 1800$ s. Calcule em quanto tempo esse pêndulo executará o mesmo número de oscilações no inverno, se com a diminuição da temperatura seu comprimento variar $0,20$ cm, em módulo. Para uma pequena variação de comprimento ΔL, a variação correspondente no tempo das oscilações Δt é dada por $\frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{2}\frac{\Delta L}{L}$. Assim, Δt pode ser positivo ou negativo, dependendo do sinal de ΔL.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$k = 4\pi^2 f^2 m = 4 \times 9 \times \left(30 \times 10^3\right)^2 \times 5{,}0 \times 10^{-3} = 1{,}6 \times 10^8 \text{ N/m}$$

$$E_{pot} = \frac{1}{2}k\left(\Delta x\right)^2 = 0{,}5 \times 1{,}6 \times 10^8 \times 4{,}0 \times 10^{-16} = 3{,}2 \times 10^{-8} \text{ J}$$

b) **(2 pontos)**

Em consequência da diminuição da temperatura, o comprimento do pêndulo é menor no inverno. Assim,

$$\Delta t = \frac{1800}{2} \times \frac{-0{,}20}{90} = -2{,}0 \text{ s} \Rightarrow t_f = 1800 - 2{,}0 = 1798 \text{ s}$$

Exemplo Acima da Média

a) $m = 5{,}0g = 5.10^{-3} Kg$ Se $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{K}{m}}$, temos: $3.10^4 = \frac{1}{6}.\sqrt{\frac{K}{5.10^{-3}}}$

$f = 3.10^4 \ Hz$

$\Delta x = 2.10^{-8} m$ Daí, $(18.10^4)^2 = \left(\sqrt{\frac{K}{5.10^{-3}}}\right)^2$

$324.10^8 = \frac{K}{5.10^{-3}} \rightarrow K = 1620.10^5$.

Se $Ep = \frac{1}{2} K \Delta x^2$, vem: $Ep = \frac{1}{2}.1620.10^5.4.10^{-16} = 3240.10^{-11} J$

Resp: A energia potencial elástica do cristal vale $3{,}240.10^{-8}$ J

b) $\frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{2}.\frac{\Delta L}{L} \rightarrow \frac{\Delta t}{1800} = \frac{1}{2}.\frac{0{,}2}{90} \rightarrow \Delta t = \frac{1800.2\times10^{-1}}{2.90} \rightarrow |\Delta t| = 2s$

Se no inverno a temperatura diminui, o comprimento do pendulo também diminuirá, logo, ΔL e Δt serão negativos. ($\Delta t = -2s$)

Portanto, como $\Delta t = t_{inverno} - t_{verão}$: $-2 = t_{inverno} - 1800 s$

Resp: No inverno, o pendulo levará 1798 segundos na oscilação

Esse exemplo apresenta uma solução detalhada e organizada do candidato. No item **a**, o candidato utiliza corretamente a expressão da frequência de vibração do cristal fornecida para obter a constante elástica, que, então substituída na expressão para a energia potencial elástica também fornecida, leva ao resultado correto. No item **b**, o candidato descreve com exatidão o efeito de contração térmica, observando corretamente que com a diminuição da temperatura o comprimento do pêndulo também diminuirá e obtém consequentemente o período de oscilação correto.

Exemplo Abaixo da Média

a) $f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{K}{m}} \rightarrow 30 \cdot 10^3 = \frac{1}{2 \cdot 3} \cdot \sqrt{\frac{K}{5 \cdot 10^{-3}}} \rightarrow \sqrt{\frac{K}{5 \cdot 10^{-3}}} = 180 \cdot 10^3 \rightarrow \frac{K}{5 \cdot 10^{-3}} = (180 \cdot 10^3)^2$

$K = 32400 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \rightarrow K = 162 \cdot 10^6$

$Ep = \frac{1}{2} K \Delta x^2 \rightarrow Ep = \frac{1}{\cancel{2}} 162 \cdot 10^6 \cdot \cancel{2} \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-6} \rightarrow Ep = 162 \cdot 10^{-2} \rightarrow \cancel{Ep = 1{,}62\,10}$

$\boxed{Ep = 1{,}62 J}$

R: a energia potencial elástica do cristal é 1,62J

b) $\frac{\Delta t}{t} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta L}{L} \rightarrow \frac{\Delta t}{1800} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0{,}2}{90} \rightarrow \Delta t = \frac{1800 \cdot 0{,}1}{90} \rightarrow \Delta t = 2s$

R: No inverno o pêndulo executará o mesmo número de oscilações em 1802 s

No item **a** do exemplo abaixo da média, o candidato, apesar de substituir corretamente o valor obtido da constante elástica na expressão da energia potencial elástica, comete um erro de cálculo, obtendo o valor final errado. No item **b**, o candidato obtém a variação no período corretamente, mas acredita que o período deve aumentar, o que significa que o pêndulo aumentaria com a diminuição da temperatura, um resultado obviamente incorreto.

Comentários

O efeito piezoelétrico é novamente explorado, nessa questão, para a discussão do funcionamento de relógios. Uma analogia entre a vibração de cristais e uma massa presa a uma mola é utilizada no item **a**, para que o candidato obtenha a energia potencial elástica do cristal. No item **b**, o conceito de dilatação térmica linear deve ser corretamente aplicado para o cálculo do período de um pêndulo com a variação da temperatura. A fórmula que relaciona a variação do período em função da variação do comprimento do pêndulo, para pequenas variações de comprimento, foi fornecida no enunciado.

5. Grandes construções representam desafios à engenharia e demonstram a capacidade de realização humana. Pontes com estruturas de sustentação sofisticadas são exemplos dessas obras que coroam a mecânica de Newton.

a) A ponte pênsil de São Vicente (SP) foi construída em 1914. O sistema de suspensão de uma ponte pênsil é composto por dois cabos principais. Desses cabos principais partem cabos verticais responsáveis pela sustentação da ponte. O desenho esquemático da figura 1 abaixo mostra um dos cabos principais (AOB), que está sujeito a uma força de tração $\vec{T}$ exercida pela torre no ponto B. A componente vertical da tração $\vec{T}_V$ tem módulo igual a um quarto do peso da ponte, enquanto a horizontal $\vec{T}_H$ tem módulo igual a $4{,}0 \times 10^6$ N. Sabendo que o peso da ponte é $P = 1{,}2 \times 10^7$ N, calcule o módulo da força de tração $\vec{T}$.

b) Em 2008 foi inaugurada em São Paulo a ponte Octavio Frias de Oliveira, a maior ponte estaiada em curva do mundo. A figura 2 mostra a vista lateral de uma ponte estaiada simplificada. O cabo AB tem comprimento $L = 50$ m e exerce, sobre a ponte, uma força $\vec{T}_{AB}$ de módulo igual a $1{,}8 \times 10^7$ N. Calcule o módulo do torque desta força em relação ao ponto O. Dados: $\text{sen } 45^0 = \cos 45^0 = \frac{\sqrt{2}}{2}$

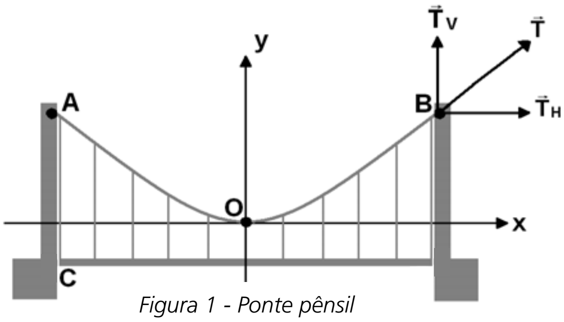


Figura 1 - Ponte pênsil

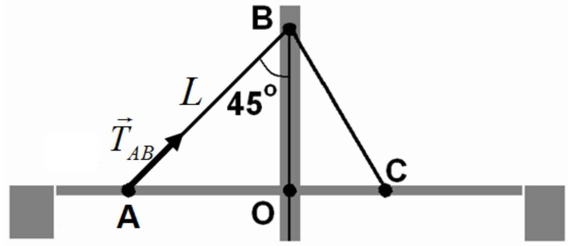


Figura 2 - Ponte estaiada

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

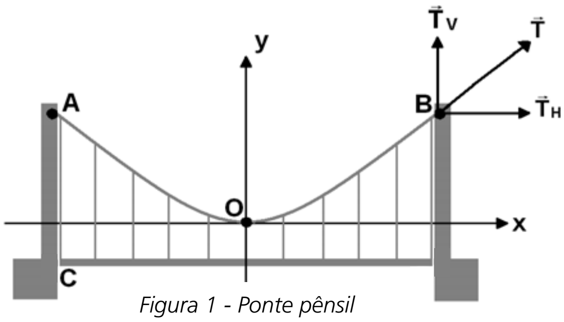


Figura 1 - Ponte pênsil

O módulo da tração será:

$$T = \sqrt{(\frac{P}{4})^2 + T_H^2} = \sqrt{(3{,}0\times10^6)^2 + (4{,}0\times10^6)^2} = 5{,}0\times10^6 \text{ N}$$

b) **(2 pontos)**

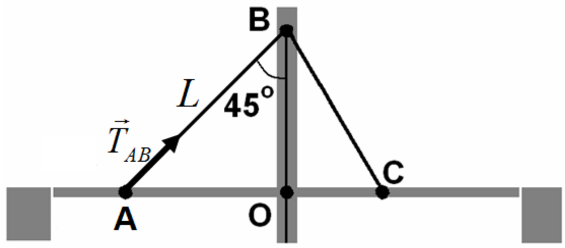


Figura 2 - Ponte estaiada

O módulo do torque pode ser calculado por:

$$\tau = (T\cos\alpha)\times(L\ sen\ \alpha) = (1{,}8\times10^7)\frac{\sqrt{2}}{2}\times 50\frac{\sqrt{2}}{2} = 4{,}5\times10^8 \text{ N.m}$$

Exemplo Acima da Média

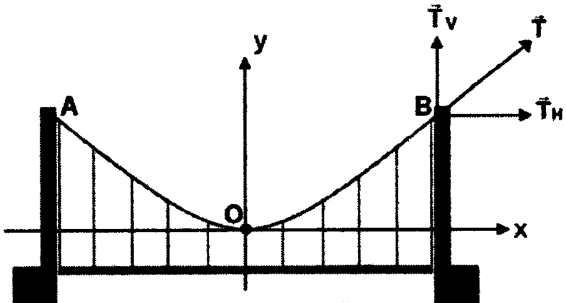


Figura 1 - Ponte pênsil

a) 1) $T_V = \frac{P}{4} \Rightarrow T_V = \frac{1,2 \cdot 10^7}{4}$

$T_V = 3 \cdot 10^6 N$

2) $T^2 = T_V^2 + T_H^2 \Rightarrow$

$\Rightarrow T^2 = (3 \cdot 10^6)^2 + (4 \cdot 10^6)^2$

$T = 5 \cdot 10^6 N$

Resp: $T = 5 \cdot 10^6 N$.

b) 1) $\text{sen } 45 = \frac{AO}{AB} \Rightarrow AO = 25\sqrt{2} m$

2) T_x não realiza movimento.

$\Rightarrow M = T_y \cdot d_{AO}$

$M = T \cdot \cos 45 \cdot 25\sqrt{2}$

$M = 1,8 \cdot 10^7 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot 25\sqrt{2}$

$M = 4,5 \cdot 10^8 N/m$

Resp: $M = 4,5 \cdot 10^8 N/m$.

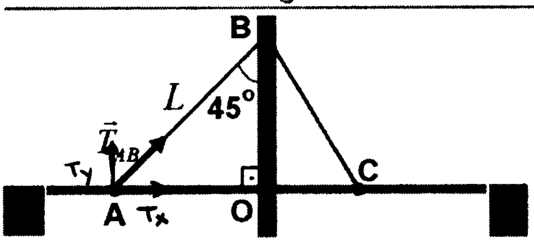


Figura 2 - Ponte estaiada

No exemplo acima da média, o candidato realiza corretamente o cálculo do módulo da tração resultante no item **a** e aplica corretamente a definição de torque na solução do item **b**. No entanto, comete um erro de unidade ao expressar, em sua resposta final, o torque em N/m em vez de N.m.

Exemplo Abaixo da Média

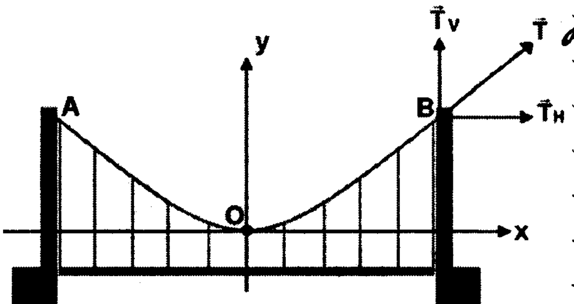


Figura 1 - Ponte pênsil

a) $T_V = \frac{1}{4}P$ $\quad T_H = 4.10^6 N$

$P = 1,2\times10^7 N$

$\vec{T_V} = \frac{12.10^6}{4} = 3.10^6 N$

$\vec{T} = \vec{T_V} + \vec{T_H}$

$\vec{T} = 3.10^6 + 4.10^6$

$\boxed{T = 7.10^6 N}$

b)

$T_{AB} = 1,8.10^7 N$

~~$\frac{\sqrt{2}}{2}$. 50~~

$\frac{\sqrt{2}}{2} . 50 . 1,8.10^7 = Torq.$

$1 . 1,8.10^7 = Torq$

$Torq = 1,8.10^7$

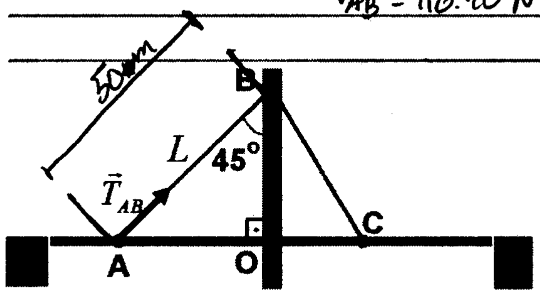


Figura 2 - Ponte estaiada

No exemplo abaixo da média, o candidato comete um erro grave ao somar algebricamente os módulos das componentes vertical e horizontal da tração no cabo, ao calcular o módulo da tração resultante no item **a**. No item **b**, há um equívoco no cálculo do torque, quando o candidato se esquece de multiplicar novamente por $\frac{\sqrt{2}}{2}$.

Comentários

Esta questão utiliza conceitos de forças em equilíbrio para a sustentação de pontes. No item **a** é necessária a soma vetorial das componentes da força de tração aplicada ao cabo de sustentação de uma ponte pênsil para o qual a componente vertical deve ser igualada a um quarto do peso da ponte. Já a solução do item **b** exige a aplicação do conceito de torque. Neste caso é importante a correta decomposição da força de tração e do comprimento do cabo de sustentação.

6. O aperfeiçoamento da máquina a vapor ao longo do século XVIII, que atingiu o ápice com o trabalho de James Watt, permitiu a mecanização do modo de produção, desempenhando papel decisivo na revolução industrial. A figura abaixo mostra o diagrama de pressão *P versus* volume *V* do cilindro de uma máquina a vapor contendo 1,0 mol de água. Os diferentes trechos do gráfico referem-se a:

1 → 2: água líquida é bombeada até a pressão P_2;

2 → 3: a temperatura da água é aumentada pela caldeira a pressão constante;

3 → 4: a água é vaporizada a pressão e temperatura constantes ($T_3 = 400 K$);

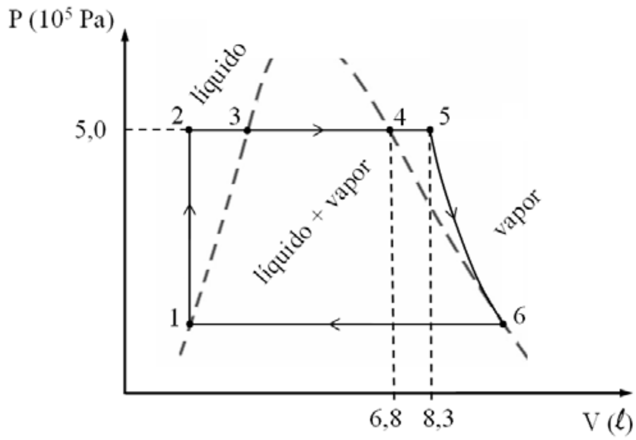
4 → 5: o vapor é aquecido a pressão constante, expandindo de V_4 a V_5;

5 → 6: o vapor sofre expansão sem troca de calor, fazendo com que a temperatura e a pressão sejam reduzidas;

6 → 1: o vapor é condensado com a retirada de calor do cilindro a pressão constante.

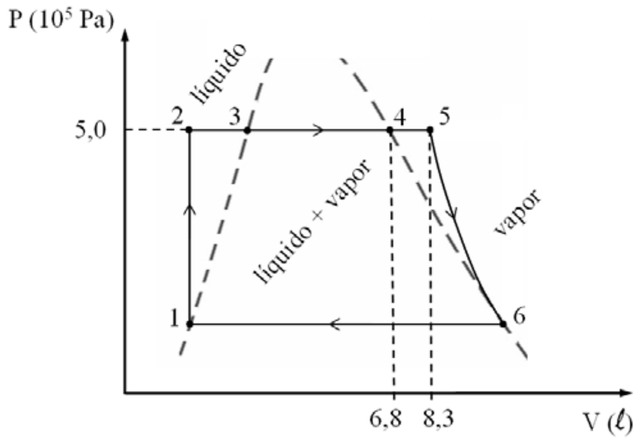
a) No ponto 5 o vapor d'água se comporta como um gás ideal. Encontre a temperatura do vapor neste ponto. A constante universal dos gases é $R = 8,3 J / mol K$.

b) Calcule o trabalho realizado pelo vapor d'água no trecho de 4 → 5.



Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

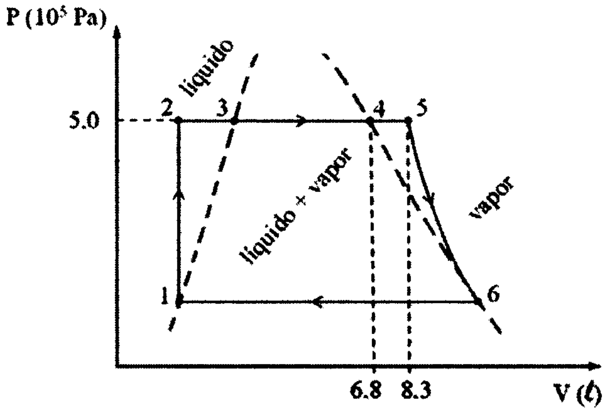


$$PV = nRT \Rightarrow T = \frac{PV}{nR} = \frac{5,0 \times 10^5 \, Pa \times 8,3 \times 10^{-3} \, m^3}{1 mol \times 8,3 \, J / mol \, K} = 500 \, K$$

b) **(2 pontos)**

$$W = P\Delta V = 5,0 \times 10^5 \, Pa \times (8,3 - 6,8) \times 10^{-3} \, m^3 = 750 \, J$$

Exemplo Acima da Média



$\tau = F.d$

porém:

$P = \frac{F}{\text{Área}}$

$\boxed{F = P.\text{Área}}$

então

$\tau = P.\text{Área}.d$

porém $\text{Área}.d = V$,

então:

$\tau = P.V$

onde $V = V_5 - V_4$, portanto

$\tau = 5.10^5.(8{,}3 - 6{,}8).10^{-3}$

$\tau = 5.10^5.1{,}5.10^{-3}$

$\boxed{\tau = 7{,}5.10^2\ J}$

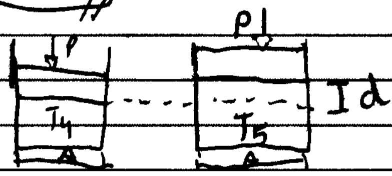
a) $P.V = nRT$

$5.10^5.\cancel{8{,}3}.10^{-3} = 1.\cancel{8{,}3}.T$

$T = 5.10^2$

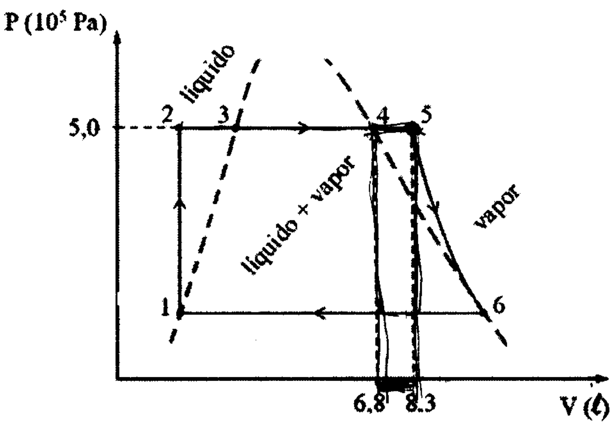
$\boxed{T = 500K}$

b)



O candidato obtém nota integral nessa questão ao aplicar corretamente a Lei do Gás ideal na solução do item **a** e calcular o trabalho pedido no item **b**. Nesse caso, ele parte da definição do trabalho de uma força e da relação entre força e pressão para encontrar a expressão do trabalho do vapor apropriada para a solução da questão.

Exemplo Abaixo da Média



a) $PV = nRT$

$5.10^5.\cancel{8{,}3} = \cancel{8{,}3}.1.T$

$\boxed{T = 5.10^5 K}$

b) Sendo a pressão constante o trabalho será dado pela variação de volume

$\tau = \Delta V$

$\tau = (8{,}3 - 6{,}8)$

$\boxed{\tau = 1{,}5\ J}$

O trabalho é de 1,5J. O trabalho é positivo pois o gás está expandindo

Nesse exemplo abaixo da média, o candidato comete um erro conceitual grave na solução do item **b**, ao igualar o trabalho realizado pelo vapor d´água à variação de volume no trecho 4-5. Além disso, ele se esquece de converter o volume dado em litros para m^3 no cálculo da temperatura no item **a**.

Comentários

A questão 6 utiliza conceitos de termodinâmica para a discussão de uma máquina a vapor. São cobradas nessa questão: a leitura correta do gráfico fornecido, e a utilização da lei de Clapeyron e a definição de trabalho de um gás, para a obtenção da temperatura de vapor em um ponto e do trabalho realizado em um trecho particular do diagrama de pressão versus volume.

7. A evolução da sociedade tem aumentado a demanda por energia limpa e renovável. Tipicamente, uma roda d´água de moinho produz cerca de 40 kWh (ou $1,4 \times 10^8$ J) diários. Por outro lado, usinas nucleares fornecem em torno de 20% da eletricidade do mundo e funcionam através de processos controlados de fissão nuclear em cadeia.

a) Um sitiante pretende instalar em sua propriedade uma roda d´água e a ela acoplar um gerador elétrico. A partir do fluxo de água disponível e do tipo de roda d´água, ele avalia que a velocidade linear de um ponto da borda externa da roda deve ser $v = 2,4$ m/s. Além disso, para que o gerador funcione adequadamente, a freqüência de rotação da roda d´água deve ser igual a 0,20 Hz. Qual é o raio da roda d´água a ser instalada? Use $\pi = 3$.

b) Numa usina nuclear, a diferença de massa Δm entre os reagentes e os produtos da reação de fissão é convertida em energia, segundo a equação de Einstein $E = \Delta mc^2$, onde $c = 3 \times 10^8$ m/s. Uma das reações de fissão que podem ocorrer em uma usina nuclear é expressa de forma aproximada por (1000 g de U_{235}) + (4 g de nêutrons) $\rightarrow$ (612 g de Ba_{144}) + (378 g de Kr_{89}) + (13 g de nêutrons) + energia. Calcule a quantidade de energia liberada na reação de fissão descrita acima.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$v = \omega r \Rightarrow r = \frac{v}{\omega} = \frac{v}{2\pi f} = \frac{2,4}{2 \times 3 \times 0,2} = 2,0 \text{ m}$$

b) **(2 pontos)**

$$\Delta m = (1000 + 4) - (612 + 378 + 13) = 1 \text{ g}$$

Logo,

$$E = \Delta mc^2 = (1 \times 10^{-3} \text{ kg})(3 \times 10^8)^2 = 9 \times 10^{13} \text{ J}$$

Exemplo Acima da Média

a) $V = 2\pi f \cdot R$ | V = velocidade da roda d'água - linear (m/s)

$2{,}4 = 2 \cdot 3 \cdot 0{,}2 \cdot R$ | f: frequência da roda (Hz)

$R = 2\,m$ // | R: raio da roda (m)

b) Cálculo de Δm em Kg:

$\Delta m = (612+378+13) - (1000+4) = 1003 - 1004 = -1g = -1 \cdot 10^{-3}\,Kg$ //

Cálculo da energia (E) liberada:

$E = \Delta m c^2 = (-1 \cdot 10^{-3}) \cdot 3 \cdot 10^{8} = -3 \cdot 10^{5}\,J$ //

Respostas: a) raio 2m

b) $-3 \cdot 10^{5}\,J$

Nesse exemplo acima da média, o candidato resolve corretamente o item **a**, mas se esquece de elevar a velocidade da luz ao quadrado no cálculo da energia no item **b**. Note que a expressão correta para o cálculo da energia foi fornecida no enunciado.

Exemplo Abaixo da Média

a) $T = \frac{1}{f} \Rightarrow T = \frac{1}{0{,}2} = 5s$

$2{,}4 = \frac{\pi r^2}{5} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{12}{3}}$

$r = 2\,m$

b) $1000 + 4 = 1004\,g$

612
378
13
1003

$\Delta m = 1g$

$E = \Delta m \cdot c^2$

$E = 1 \cdot 3 \cdot 10^{8}$

$E = 3 \cdot 10^{8}\,J$

No exemplo abaixo da média, o candidato, apesar de obter o valor numérico correto para raio da roda d'água no item **a**, confunde a expressão para circunferência da roda com a da sua área, no uso das expressões do movimento circular. Além disso, o candidato comete um erro de unidade do item **b**.

Comentários

A questão aborda um assunto importante nos dias atuais: a produção de energia limpa. Relaciona um método antigo, pouco eficiente, com um método moderno para a geração de energia em alta escala. O candidato atento poderia ter relacionado comparativamente a resposta obtida no item **b** com a energia diária produzida pela roda d'água, citada na introdução da questão.
O item **a** aborda os conceitos de Mecânica relativos ao Movimento Circular Uniforme (MCU).
Já o item **b** explora os conceitos de Física Moderna envolvidos em reação nuclear, tendo sida fornecida no enunciado a fórmula necessária para a resolução do problema. A resolução é simples, dependendo apenas da correta leitura dos dados fornecidos no texto.

8. Thomas Edison inventou a lâmpada utilizando filamentos que, quando percorridos por corrente elétrica, tornam-se incandescentes, emitindo luz. Hoje em dia, os LEDs (diodos emissores de luz) podem emitir luz de várias cores e operam com eficiência muito superior à das lâmpadas incandescentes.

a) Em uma residência, uma lâmpada incandescente acesa durante um dia consome uma quantidade de energia elétrica igual a 1,2 kWh. Uma lâmpada de LEDs com a mesma capacidade de iluminação consome a mesma energia elétrica em 10 dias. Calcule a potência da lâmpada de LEDs em watts.

b) O gráfico da figura 1 mostra como a potência elétrica varia em função da temperatura para duas lâmpadas de filamento de Tungstênio, uma de 100 W e outra de 60 W. A potência elétrica diminui com a temperatura devido ao aumento da resistência do filamento. No mesmo gráfico é apresentado o comportamento da potência emitida por radiação para cada lâmpada, mostrando que quanto maior a temperatura, maior a potência radiada. Na prática, quando uma lâmpada é ligada, sua temperatura aumenta até que toda a potência elétrica seja convertida em radiação (luz visível e infravermelha). Obtenha, a partir do gráfico da figura 1, a temperatura de operação da lâmpada de 100 W. Em seguida, use a figura 2 para encontrar o comprimento de onda de máxima intensidade radiada por essa lâmpada.

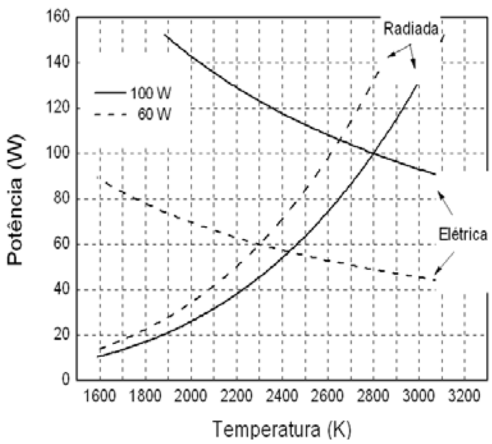


Figura 1 - Potência elétrica e radiada em função da temperatura para duas lâmpadas.

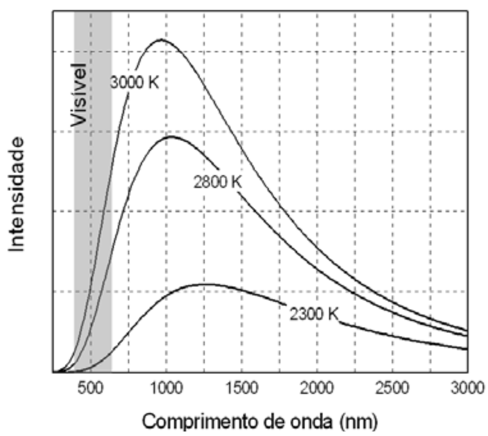


Figura 2 - Intensidade radiada por um filamento em função do comprimento de onda para três temperaturas.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{1{,}2\times 10^3\ \mathrm{W}\times 1\mathrm{h}}{10\times 24\mathrm{h}} = \frac{1200}{240}\mathrm{W} = 5{,}0\mathrm{W}$$

b) **(2 pontos)**

$$P_{rad} = P_{el} \Rightarrow T_{op} = 2800K$$

$$\lambda_{\max} \simeq 1050\,nm$$

Figura 1- Potência elétrica radiada em função da temperatura para duas lâmpadas

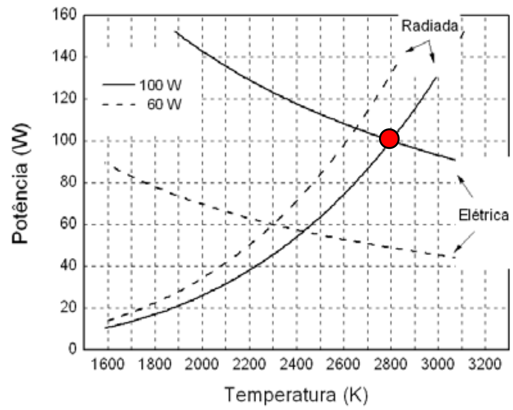
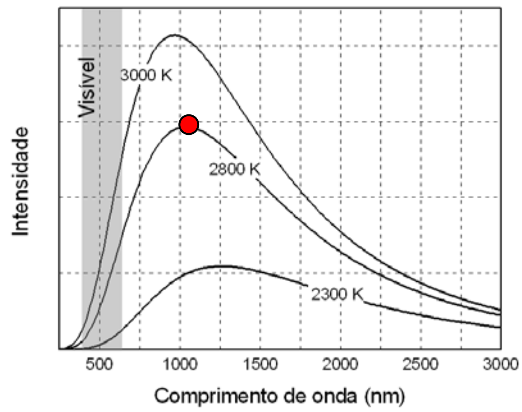


Figura 2 - Intensidade radiada por um filamento em função do comprimento de onda para três temperaturas



Exemplo Acima da Média

a) $E = 1{,}2\ kWh = 1{,}2 \cdot 10^3\ Wh$ $\boxed{P = E/\Delta t}$

$\Delta t = 10\ dias = 10 \cdot 24h = 240h$

$$\boxed{P = \frac{E}{\Delta t} = \frac{1{,}2 \cdot 10^3\ Wh}{240\ h} = \frac{1200}{240} = 5\ W}$$

A potência do LED$_1$ é de 5 W

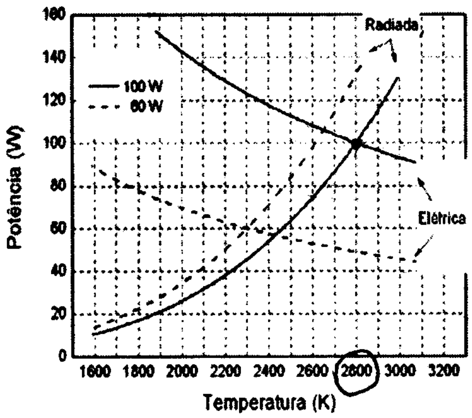


Figura 1 - Potência elétrica e radiada em função da temperatura para duas lâmpadas.

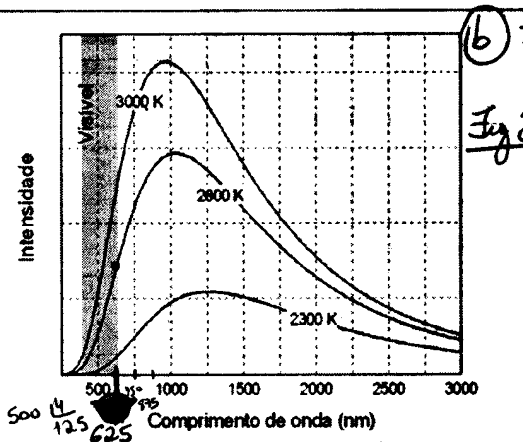


Figura 2 - Intensidade radiada por um filamento em função do comprimento de onda para três temperaturas.

b) Fig 1: $T = 2800K$

Fig 2: $\lambda = 625nm$

No exemplo acima da média, o candidato resolve corretamente o item **a**, encontra a temperatura correta no item **b**, mas interpreta erroneamente o que se pede ao final da questão. Em vez de fornecer o comprimento de onda dentro do qual a lâmpada emite com maior intensidade, ele fornece, de forma aproximada, o maior comprimento de onda da faixa visível indicada na figura.

Exemplo Abaixo da Média

a) 1,2 kW – 1h   x = 28,8kwdia :10 dia = 2,88 kW = 2880 W

x – 24h

2880W : 24h = 120Wh | R: 120Wh

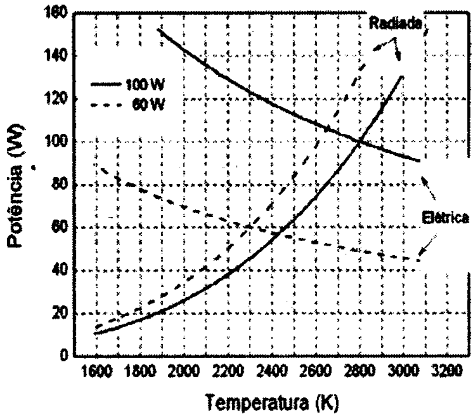


Figura 1 - Potência elétrica e radiada em função da temperatura para duas lâmpadas.

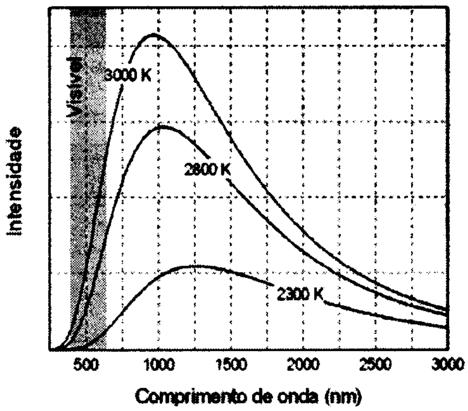


Figura 2 - Intensidade radiada por um filamento em função do comprimento de onda para três temperaturas.

R: 1000nm

No exemplo abaixo da média, o candidato confunde a unidade de energia kWh com a de potência kW, e monta uma regra de três improcedente no item **a**. No item **b**, apresenta a resposta final correta sem explicitar a forma pela qual chegou a ela, uma vez que nem a temperatura de operação da lâmpada ele encontrou.

Comentários

A questão 8 continua a abordar o assunto energia, tendo agora como foco o consumo de energia versus iluminação.

O item **a** relaciona a tradicional lâmpada incandescente com os mais recentes avanços tecnológicos em LED ("light-emitting diode"). Para resolver este item o candidato precisa apenas compreender o texto do enunciado e saber o conceito de kWh.

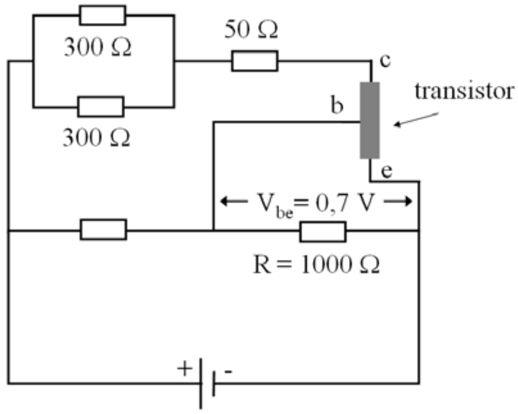
No item **b**, é necessária a correta leitura e interpretação de dois gráficos. O candidato precisa entender que, conforme descrito no texto, a temperatura de funcionamento da lâmpada incandescente é o ponto do primeiro gráfico onde a potência elétrica se iguala à potência radiada.

Encontrada a temperatura, basta o candidato utilizar o segundo gráfico para encontrar o comprimento de onda para a máxima intensidade.

9. O transistor, descoberto em 1947, é considerado por muitos como a maior invenção do século XX. Componente chave nos equipamentos eletrônicos modernos, ele tem a capacidade de amplificar a corrente em circuitos elétricos. A figura a seguir representa um circuito que contém um transistor com seus três terminais conectados: o coletor (c), a base (b) e o emissor (e). A passagem de corrente entre a base e o emissor produz uma queda de tensão constante V_{be} = 0,7 V entre esses terminais.

a) Qual é a corrente que atravessa o resistor $R = 1000\ \Omega$?

b) O ganho do transistor é dado por $G = \frac{i_c}{i_b}$, onde i_c é a corrente no coletor (c) e i_b é a corrente na base (b). Sabendo-se que $i_b = 0{,}3$ mA e que a diferença de potencial entre o pólo positivo da bateria e o coletor é igual a 3,0 V, encontre o ganho do transistor.



Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$i = \frac{V_{be}}{R} = \frac{0{,}7\,\mathrm{V}}{1000\,\Omega} = 0{,}7\,\mathrm{mA}$$

b) **(2 pontos)**

$$R_{eq} = \frac{300.300}{300+300} + 50 = 200\ \Omega$$

$$i_c = \frac{3{,}0\,\mathrm{V}}{R_{eq}} = \frac{3{,}0\,\mathrm{V}}{200\,\Omega} = 15\,\mathrm{mA}$$

$$G = \frac{i_c}{i_b} = \frac{15\,\mathrm{mA}}{0{,}3\,\mathrm{mA}} = 50$$

Exemplo Acima da Média

a) $0{,}7 = 1000 \cdot i$

$\boxed{i = 0{,}7\,\mathrm{mA}}$

b) $3 = 200 \cdot i_c$ $\quad \frac{1}{R_{eq}} = \frac{2}{300}$ $\quad R_{total} = 150\,\Omega + 50\,\Omega = 200\,\Omega$

$i_c = 0{,}015\,\mathrm{A}$

$= 15\,\mathrm{mA}$

$\boxed{G = \frac{15\,\mathrm{mA}}{0{,}3\,\mathrm{mA}} = 50\,\mathrm{mA.}}$

No exemplo acima da média, o candidato resolve corretamente o item **a**, encontra a resistência equivalente e a corrente no coletor de forma correta no item **b**, mas no final apresenta o ganho como sendo 50 mA, quando este na verdade é a razão entre duas correntes, portanto adimensional.

Exemplo Abaixo da Média

a) $R = U.i$

$i = \frac{R}{U} \quad \therefore i = \frac{1000}{0,7} \quad \therefore i = \boxed{1428,5\ A}$

b) $G = \frac{ic}{ib} \qquad \frac{300.300}{300+300}$

$\frac{90000}{600} = 150\ \Omega + 50\ \Omega = 200\ \Omega$

$G = \frac{ic}{300A}$

$R = U.i$

$200 = 3.i$

$i = 600A$

$G = \frac{600}{300} \quad \therefore \boxed{G = 2\ A}$

No exemplo abaixo da média, embora o candidato tenha encontrado a resistência equivalente de forma correta no item **b**, erra a Lei de Ohm e compromete tanto o cálculo da corrente que passa pelo resistor de 1000 Ω quanto da corrente de coletor.

Comentários

A questão aborda o funcionamento do transistor, que traz conceitos de Eletricidade.
No item **a**, o candidato apenas teve que entender a figura e utilizar a primeira lei de Ohm. No item **b**, com conhecimentos básicos de circuitos elétricos e associação de resistores, o candidato calcula a corrente de coletor e, aplicando na equação dada, encontra o ganho do transistor.

10. A Física de Partículas nasceu com a descoberta do elétron, em 1897. Em seguida foram descobertos o próton, o nêutron e várias outras partículas, dentre elas o píon, em 1947, com a participação do brasileiro César Lattes.

a) Num experimento similar ao que levou à descoberta do nêutron, em 1932, um nêutron de massa *m* desconhecida e velocidade $v_0 = 4 \times 10^7\ m/s$ colide frontalmente com um átomo de nitrogênio de massa *M* = 14 u (unidade de massa atômica) que se encontra em repouso. Após a colisão, o nêutron retorna com velocidade *v´* e o átomo de nitrogênio adquire uma velocidade $V = 5 \times 10^6\ m/s$. Em conseqüência da conservação da energia cinética, a velocidade de afastamento das partículas é igual à velocidade de aproximação. Qual é a massa *m*, em unidades de massa atômica, encontrada para o nêutron no experimento?

b) O Grande Colisor de Hádrons (*Large Hadron Collider*-LHC) é um acelerador de partículas que tem, entre outros propósitos, o de detectar uma partícula, prevista teoricamente, chamada bóson de Higgs. Para esse fim, um próton com energia de $E = 7 \times 10^{12}\ eV$ colide frontalmente com outro próton de mesma energia produzindo muitas partículas. O comprimento de onda (λ) de uma partícula fornece o tamanho típico que pode ser observado quando a partícula interage com outra. No caso dos prótons do LHC, $E = hc/\lambda$, onde $h = 4 \times 10^{-15} eV.s$, e $c = 3 \times 10^8 m/s$. Qual é o comprimento de onda dos prótons do LHC?

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

De acordo com a lei da conservação do momento linear,

$$mv_0 = MV - mv'$$

$$v_0 = V + v' \Rightarrow m = \frac{V}{(2v_0 - V)} M$$

$$m = \frac{5 \times 10^6 \text{ m/s}}{\left(2 \times 4 \times 10^7 - 5 \times 10^6\right) \text{m/s}} 14\text{u} = \frac{14}{15}\text{u} \simeq 0,9\text{u}$$

b) **(2 pontos)**

$$\text{E} = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{E} = \frac{4 \times 10^{-15} \text{eV.s} \times 3 \times 10^8 \text{m/s}}{7 \times 10^{12} \text{ eV}} = \frac{12}{7} \times 10^{-19} \text{m} = 1,7 \times 10^{-19} \text{m}$$

Exemplo Acima da Média

a-) V aproximação = V afastamento → perfeitamente elástico.

$4 \times 10^7 = v' + 5 \times 10^6$

$v' = 40 \times 10^6 - 5 \times 10^6$

$v' = 35 \times 10^6 \rightarrow 3,5 \times 10^7$ m/s

$Q_i = Q_f$

$m.4 \times 10^7 + M.0 = m.3,5 \times 10^7 + 14.5 \times 10^6$

$m.4.10^7 - 3,5 \times 10^7 m = 70 \times 10^6$

$0,5 \times 10^7 m = 7 \times 10^7$

$m = \frac{7 \times 10^7}{5 \times 10^6} \rightarrow 1,4 \times 10 \rightarrow 14u$

R-) A massa do neutron é de 14u.

b-) $E = \frac{hc}{\lambda} \rightarrow 7 \times 10^{12} = \frac{4 \times 10^{-15} . 3 \times 10^8}{\lambda} \rightarrow \lambda = \frac{12 \times 10^{-7}}{7 \times 10^{12}}$

$\lambda = 1,7 \times 10^{-19}$

R-) O comprimento de onda é $1,7 \times 10^{-19}$ m.

No exemplo acima da média, o candidato encontra corretamente o módulo da velocidade do nêutron após a colisão no item **a**, mas erra ao escrever a equação para a conservação da quantidade de movimento, pois após a colisão o nêutron e o nitrogênio têm velocidades em sentidos opostos. Deve-se observar que a resposta encontrada, de 14 u, é muito diferente do valor da massa do nêutron que os alunos do ensino médio devem conhecer, que é de 1 u. O item **b** é corretamente solucionado.

Exemplo Abaixo da Média

a) neutron — m

$V_0 = 4 \cdot 10^7$ m/s

$V_{aprox} = V_{afast}$ v'

$V_{0N} + V_{0Ni} = v' + V_{Ni}$

$4 \cdot 10^7 + 0 = v' + 5 \cdot 10^6$

$|v'| = 40 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$

$|v'| = 35 \cdot 10^6$ m/s.

a massa vale aproximadamente

$9{,}33 \cdot 10^{-11}$ u.

at. nitrogênio $M = 14u$

$V_0 = 0$

$V = 5 \cdot 10^6$ m/s

ΔE_c antes $= \Delta E_c$ depois

$$\frac{m V_{0N}^2}{2} + \cancel{\frac{M V_{0Ni}^2}{2}}^{\,0} = \frac{m v'^2}{2} + \frac{M V_{Ni}^2}{2}$$

$$\frac{m \cdot 16 \cdot 10^{14}}{2} = m\,\frac{1225 \cdot 10^{12}}{2} + \frac{14 \cdot 25 \cdot 10^{12}}{2}$$

$$17500 = \frac{m\,(1600 \cdot 10^{12} - 1225 \cdot 10^{12})}{2}$$

$$35000 = m\, 375 \cdot 10^{12}$$

$$m = \frac{3500 \cdot 10}{375 \cdot 10^{12}}$$

$$m \cong 9{,}33 \cdot 10^{-11}\ u$$

b) $E = 7 \cdot 10^{12}$ eV

$E_T = 2(7 \cdot 10^{12})$ $\quad E = hc/\lambda$

$E_{total} = 14 \cdot 10^{12}$ eV. $\quad 14 \cdot 10^{12} = \dfrac{4 \cdot 10^{-15} \cdot 3 \cdot 10^8}{\lambda}$

O comprimento de onda vale $\lambda = \dfrac{6}{7} \cdot 10^{-19}$ m.

No exemplo abaixo da média, no item **a** o candidato também encontra de forma correta o módulo da velocidade do nêutron após a colisão. Em seguida usa a conservação da energia cinética para encontrar a massa do nêutron e erra na conta, chegando a um valor dez ordens de grandeza menor que o real. Deve-se enfatizar que, se o candidato atentasse para o fato de que a massa do nêutron é igual a 1 u, ele facilmente encontraria o erro de conta e poderia corrigi-lo. No item **b** o candidato erra o valor da energia, pois utiliza para o cálculo do comprimento de onda do próton a energia de dois prótons.

Comentários

A questão trata da descoberta e da busca de novas partículas subatômicas. O item **a** descreve o experimento que levou à descoberta do nêutron por James Chadwick, em 1932. O experimento envolve a colisão entre um nêutron (partícula desconhecida) e um átomo de nitrogênio. Na colisão há conservação da quantidade de movimento e da energia cinética, sendo esta última informação fornecida ao candidato. Usando-se o fato de que a velocidade de afastamento é igual à velocidade de aproximação, é possível resolver o problema apenas com uma das equações de conservação (energia cinética ou quantidade de movimento). Na resposta esperada foi usada a conservação da quantidade de movimento, visto que por este caminho a solução é mais direta. Já o item **b** refere-se a um experimento que deverá ser realizado no LHC (*Large Hadron Collider*), buscando a identificação de uma nova partícula, o bóson de Higgs. O item explora o comportamento ondulatório das partículas subatômicas, descrito pela Mecânica Quântica. São fornecidas a energia dos prótons antes da colisão no LHC e a relação entre o comprimento de onda dos mesmos e a sua energia, e pede-se para o candidato calcular o comprimento de onda. É uma questão de Física Moderna, na qual todas as informações são fornecidas. O resultado fornece as dimensões que serão investigadas com este tipo de experimento, que são de décimo de milésimo do tamanho dos núcleos atômicos.

11. O fato de os núcleos atômicos serem formados por prótons e nêutrons suscita a questão da coesão nuclear, uma vez que os prótons, que têm carga positiva $q = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C, se repelem através da força eletrostática. Em 1935, H. Yukawa propôs uma teoria para a força nuclear forte, que age a curtas distâncias e mantém os núcleos coesos.

a) Considere que o módulo da força nuclear forte entre dois prótons F_N é igual a vinte vezes o módulo da força eletrostática entre eles F_E, ou seja, $F_N = 20F_E$. O módulo da força eletrostática entre dois prótons separados por uma distância d é dado por $F_E = K\frac{q^2}{d^2}$, onde $K = 9{,}0 \times 10^9\, Nm^2/C^2$. Obtenha o módulo da força nuclear forte F_N entre os dois prótons, quando separados por uma distância $d = 1{,}6 \times 10^{-15}\, m$, que é uma distância típica entre prótons no núcleo.

b) As forças nucleares são muito maiores que as forças que aceleram as partículas em grandes aceleradores como o LHC. Num primeiro estágio de acelerador, partículas carregadas deslocam-se sob a ação de um campo elétrico aplicado na direção do movimento. Sabendo que um campo elétrico de módulo $E = 2{,}0 \times 10^6\, N/C$ age sobre um próton num acelerador, calcule a força eletrostática que atua no próton.

Resposta Esperada

a) **(2 pontos)**

$$F_E = 9{,}0 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \frac{(1{,}6 \times 10^{-19}\,C)^2}{(1{,}6 \times 10^{-15}\,m)^2}$$

$$F_N = 20F_E = 20 \times 9{,}0 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2} \frac{(1{,}6 \times 10^{-19}\,C)^2}{(1{,}6 \times 10^{-15}\,m)^2} = 1.800\,N$$

b) **(2 pontos)**

$$F = qE = 1{,}6 \times 10^{-19}\,C \times 2{,}0 \times 10^6 \frac{N}{C} = 3{,}2 \times 10^{-13} N$$

Exemplo Acima da Média

a) $F_e = K\frac{q^2}{d^2} \Rightarrow F_e = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot (16 \cdot 10^{-20})^2}{(16 \cdot 10^{-6})^2} \rightarrow F_e = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot \cancel{256} \cdot 10^{-40}}{\cancel{256} \cdot 10^{-32}}$

$F_e = 90 \frac{N}{C} \Rightarrow$ Se $F_n = 20F_e$ então:

$F_n = 20 \cdot 90 = 1800 \frac{N}{C}$

b) Sendo $F_e = E \cdot q$, então

$F_e = 2 \cdot 10^6 \frac{N}{\cancel{C}} \cdot 1{,}6 \times 10^{-19}\, \cancel{C} \Rightarrow F_e = 3{,}2 \cdot 10^{-13}\, N$

Na questão acima da média, o aluno responde ao primeiro item de maneira organizada e direta, aplicando corretamente as equações e dados fornecidos pela questão. No entanto, erra na unidade da resposta, colocando N/C e não N como unidade de força.
No segundo item, aplica corretamente a equação que relaciona campo elétrico e força de uma carga, obtendo a resposta esperada.

Exemplo Abaixo da Média

a) - $F_E = K.\frac{q^2}{d^2}$ * Achar a F eletrostática

$F_E = K.\frac{q^2}{d^2} = \frac{9.10^9(1,6.10^{-19})^2}{1,6.10^{-15}\,m} = \frac{9.10^9.2,56.10^{-38}}{1,6.10^{-15}}$

$= \frac{9.10^9.1,6.10^{-38}}{1.10^{-15}} = 144$

$= \frac{144.10^{-29}}{10^{-15}} = 144.10^{-14}\,N$,

* $F_N = 144.10^{-14}.2 =$

$F_N = 288.10^{-28}\,N$, no módulo da força nuclear entre os prótons é igual a 288.10^{-28}.

b) - $E = 2.10^6\,N/C$ $\quad E = \frac{F}{d} = 2.10^6\,N/C = \frac{F}{1,6.10^{-15}\,m}$

$F = ?$

$d = 1,6.10^{-15}\,m$, $\quad 2.10^6.1,6.10^{-15} = F$

$3,2.10^{-9} = F$

$F = 3,2.10^{-9}\,N$, Dessa é a força eletrostática

Na questão abaixo da média, o candidato não atenta para a correta substituição dos valores do enunciado na equação da força eletrostática. Além de obter o valor errado, multiplica esse valor por dois, provavelmente movido por um raciocínio errôneo, pelo fato de a questão tratar de dois prótons.
No segundo item, confunde a relação entre força e campo elétrico, utilizando a distância típica entre os prótons e não a carga do próton.

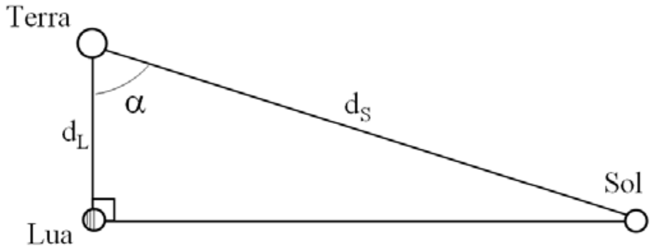
Comentários

A questão aborda a coesão dos núcleos e a força nuclear forte. O item **a** propõe uma comparação entre as magnitudes das forças eletromagnética (lei de Coulomb) e nuclear forte para dois prótons num núcleo atômico. A expressão para a lei de Coulomb é fornecida. No item **b** o conceito de campo elétrico é explorado, e pede-se ao candidato para calcular a força aplicada por um certo campo elétrico num próton, que é muito menor que a força eletromagnética experimentada pelo próton num núcleo atômico.

12. As medidas astronômicas desempenharam papel vital para o avanço do conhecimento sobre o Universo. O astrônomo grego Aristarco de Samos (310 - 230 a.C.) determinou a distância Terra-Sol e o diâmetro do Sol. Ele verificou que o diâmetro do Sol é maior que o da Terra e propôs que a Terra gira em torno do Sol.

a) Para determinar a distância Terra-Sol d_S, Aristarco mediu o ângulo α formado entre o Sol e a Lua na situação mostrada na figura a seguir. Sabendo-se que a luz leva $1{,}3\ s$ para percorrer a distância Terra-Lua d_L, e que medidas atuais fornecem um valor de $\alpha = 89{,}85^0$, calcule d_S.

Dados:
velocidade da luz: $c = 3{,}0 \times 10^8\ m/s$
$\cos(89{,}85^0) = sen(0{,}15^0) = 2{,}6 \times 10^{-3}$



b) O telescópio Hubble, lançado em 1990, representou um enorme avanço para os estudos astronômicos. Por estar orbitando a Terra a 600 km de altura, suas imagens não estão sujeitas aos efeitos da atmosfera. A figura abaixo mostra um desenho esquemático do espelho esférico primário do Hubble, juntamente com dois raios notáveis de luz. Se F é o foco do espelho, desenhe na figura a continuação dos dois raios após a reflexão no espelho.

Resposta Esperada

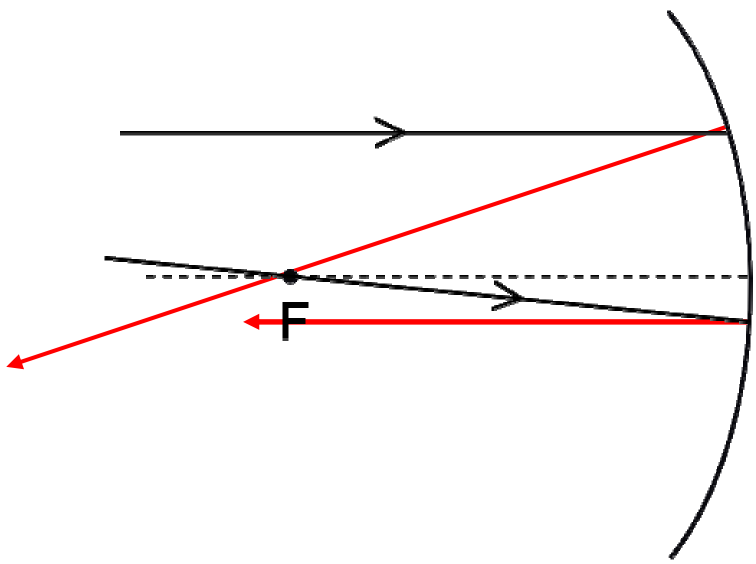
a) **(2 pontos)**
A distância Terra-Lua é dada por:

$$d_L = \left(3{,}0 \times 10^8\right) \times 1{,}3 = 3{,}9 \times 10^8\ m$$

Dessa forma, a distância Terra-Sol pode ser assim calculada:

$$d_S = \frac{3{,}9 \times 10^8}{\cos\alpha} = \frac{3{,}9 \times 10^8}{2{,}6 \times 10^{-3}} = 1{,}5 \times 10^{11}\ \text{m}$$

b) **(2 pontos)**
De acordo com o comportamento dos raios notáveis em espelhos esféricos, teremos:



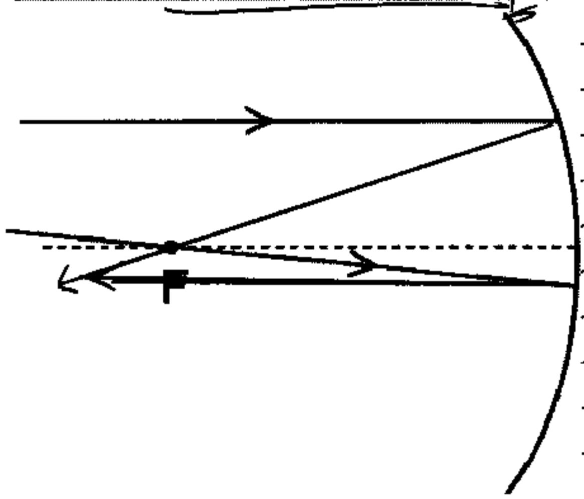
Exemplo Acima da Média

a) $2,6 \cdot 10^{-3} = \frac{3,9 \cdot 10^{8}}{d_s}$

$d_s = \frac{3,9 \cdot 10^{8}}{2,6 \cdot 10^{-3}}$

$d_s = 1,5 \cdot 10^{8} \cdot 10^{3}$

$\boxed{d_s = 1,5 \cdot 10^{11}\ m}$



b) O raio que incide paralelamente ao eixo central, ao ser refletido, passa pelo foco; o raio que passa pelo foco ao incidir reflete-se paralelamente ao eixo central.

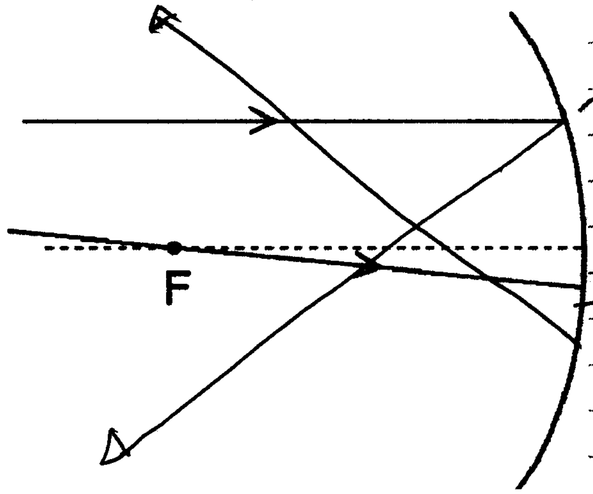
No exemplo acima da média, o candidato aplica corretamente a geometria e os dados fornecidos pela questão, obtendo a resposta esperada.
No item **b**, além de desenhar corretamente as continuações dos raios pedidas pelo problema, o candidato explica o raciocínio utilizado para desenhá-las.

FÍSICA

Exemplo Abaixo da Média

a) Utilizando as informações fornecidas, temos que d_s é dentro das medidas analisadas, equivalente a $4,3 . 10^8$ s.

b) Na figura:



→ Raios opostos, reflexão invertida

→ Não distorção por efeitos da atmosfera

No exemplo abaixo da média, o candidato não explicita os cálculos nem o raciocínio que o levaram à resposta fornecida.
No segundo item, o aluno mostra completo desconhecimento do comportamento dos raios notáveis.

Comentários

A questão lida com medidas astronômicas, contrastando métodos antigos, como a triangulação, com observações feitas com equipamentos fora da atmosfera terrestre, como é o caso do telescópio Hubble, que orbita a Terra. No item **a** o candidato deve usar a relação entre deslocamento, velocidade e tempo, para encontrar a distância entre a Terra e a Lua. Em seguida, basta aplicar uma relação trigonométrica para encontrar a distância da Terra ao Sol. Já no item **b** o candidato deve desenhar a continuação de dois raios notáveis, e, para isto, basta saber que os raios que atingem o espelho na direção paralela ao eixo são refletidos, passando pelo foco, e vice-versa.