

Bernoulli Resolve

6V | Volume 2 | Física

SUMÁRIO

Frente	A	Módulo 04: Lançamento Horizontal e Lançamento Oblíquo	3
		Módulo 05: Movimento Circular	6
		Módulo 06: Leis de Newton	9
Frente	B	Módulo 04: Calorimetria	12
		Módulo 05: Gases	16
		Módulo 06: 1a Lei da Termodinâmica	19
Frente	C	Módulo 04: Trabalho e Potencial Elétrico	23
		Módulo 05: Condutores	26
		Módulo 06: Corrente Elétrica	30

COMENTÁRIO E RESOLUÇÃO DE QUESTÕES

MÓDULO – A 04

Lançamento Horizontal e Lançamento Oblíquo

Exercícios de Aprendizagem

Questão 01 – Letra C

Comentário: A questão faz cinco afirmações. Vamos analisá-las separadamente:

- I. Incorreta. A gravidade atua na direção vertical, dessa forma, a velocidade nessa direção varia com o tempo e apresenta seu valor mínimo ($v_y = 0$) no ponto de altura máxima.
- II. Incorreta. A velocidade do projétil pode ser decomposta ao longo dos eixos x (horizontal) e y (vertical). Como mencionado na afirmativa anterior, a gravidade somente atua no eixo y , sendo assim, na direção horizontal, componente v_x terá módulo constante.
- III. Correta. Por estar sujeito à aceleração da gravidade, o movimento do projétil na vertical será um movimento retilíneo uniformemente variado, sendo que na primeira metade do tempo ele será um movimento retardado e na segunda metade será acelerado.
- IV. Correta. Como não existe componente horizontal da gravidade ou nenhuma outra aceleração nessa direção, o movimento do projétil será retilíneo uniforme.

Com base na discussão anterior, percebemos que a alternativa correta é a C.

Questão 02 – Letra D

Comentário: A questão discute alguns aspectos relativos ao lançamento oblíquo de um projétil. Porém, somente a afirmativa feita na alternativa D está correta, pois a aceleração resultante que atua sobre o projétil é constante e igual à aceleração da gravidade.

Questão 03 – Letra B

Comentário: A situação apresentada nessa questão é explorada em muitos outros exercícios que discutem a relatividade do movimento. Na questão, a bola e o esquetista apresentam a mesma velocidade horizontal no momento do lançamento e, como não há resistência do ar, a velocidade horizontal de ambos permanece constante e igual. Logo, ambos têm o mesmo movimento horizontal e, conseqüentemente, a bola retornará à mão do esquetista no mesmo ponto em que foi lançada, isto é, no ponto L.

Questão 04 – Letra A

Comentário: Desprezando a força de resistência do ar, tem-se que, depois que a bola sai do pé do atacante, a única força que atua sobre ela é a força gravitacional. Logo, a aceleração da bola corresponde à aceleração da gravidade, que possui direção vertical e sentido apontando para o centro da Terra. Portanto, o vetor que representa a aceleração da bola no ponto P está ilustrado na alternativa A.

Questão 05 – Letra A

Comentário: Deve ser observado na resolução dessa questão que o rapaz lança a bola verticalmente para cima em relação a ele. Entretanto, em relação ao solo, o rapaz lança a bola obliquamente. Como a resistência do ar, nessa situação, pode ser desprezada, a altura máxima atingida pela bola pode ser calculada por meio da equação $v^2 = v_0^2 + 2gh$. Logo:

$$v^2 = v_0^2 + 2gh \Rightarrow 0 = 18^2 + 2(-10)h \Rightarrow$$

$$h = \frac{324}{20} = 16,2 \text{ m}$$

Para calcularmos o deslocamento horizontal da bola, precisamos determinar o tempo total de permanência da bola no ar. O tempo de subida da bola é dado por:

$$v = v_0 + gt \Rightarrow 0 = 18 + (-10)t_s \Rightarrow$$

$$t_s = \frac{18}{10} = 1,8 \text{ s}$$

Considerando que a bola tenha sido lançada e recolhida à mesma altura, os tempos de subida e de descida do movimento são iguais. Logo, o tempo total de permanência da bola no ar é $t = 3,6 \text{ s}$. Assim, temos que o deslocamento horizontal da bola é dado por:

$$x = vt \Rightarrow x = 5 \cdot 3,6 \Rightarrow$$

$$x = 18 \text{ m}$$

Logo, a alternativa correta é a A.

Questão 06 – Letra A

Comentário: O lançamento do objeto 2 é horizontal, portanto, segundo o princípio da independência dos movimentos de Galileu, a componente vertical da sua velocidade é nula, assim como a velocidade inicial do objeto 1, logo, os dois objetos alcançarão o chão ao mesmo tempo. Do movimento de queda livre, tem-se que a sua função horária é uma função de segundo grau em t . Portanto, um gráfico da posição em função do tempo será uma parábola. As duas condições descritas são simultaneamente satisfeitas apenas na alternativa A.

Questão 07 – Letra C

Comentário: Encontra-se a relação entre o alcance horizontal x a velocidade inicial de lançamento v_0 e o ângulo de lançamento θ , sendo t o tempo de movimento e g o módulo da gravidade.

Eixo y

$$-v_0 \cdot \text{sen}\theta = v_0 \cdot \text{sen}\theta - gt \Rightarrow t = \frac{2v_0 \text{sen}\theta}{g}$$

Eixo x

$$v_0 \cos\theta \cdot t = x \Rightarrow x = v_0 \cos\theta \cdot \frac{2v_0 \text{sen}\theta}{g} = \frac{v_0^2 \cdot 2\text{sen}\theta \cdot \cos\theta}{g}$$

Analisando um triângulo retângulo, pode-se deduzir que o seno de um ângulo é igual ao cosseno de seu complementar e vice-versa. Logo, para dois ângulos de lançamentos complementares, como é o caso dos ângulos 30° e 60° definidos no enunciado, o alcance será o mesmo, já que o produto $\text{sen}\theta \cdot \cos\theta$ é igual ao produto $\text{sen}\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)$. Portanto $R_1 = R_2$.

Questão 08 – Letra B

Comentário: A altura que o projétil atinge depende apenas da componente vertical v_{0y} da velocidade. Pela decomposição vetorial, temos que v_{0y} vale:

$$v_{0y} = v \cdot \text{sen}\theta = 20 \cdot \text{sen}30^\circ = 10 \text{ m/s}$$

Aplicando a equação de Torricelli, encontramos a altura h em relação ao ponto de lançamento:

$$v_y^2 = v_{0y}^2 - 2gh$$

No ponto mais alto, a componente vertical da velocidade v_y é nula. Assim:

$$h = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{10^2}{2 \cdot 10} = 5,0 \text{ m}$$

Somando-se à altura inicial de 5,0 m em relação ao solo, o projétil atingirá 10 m em seu ponto mais alto.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra C

Comentário: A velocidade inicial vertical de Duda é dada por $v_0 \cdot \text{sen}\theta = 9,0 \cdot \text{sen} 39,6^\circ = 5,76 \text{ m/s}$. Utilizando a equação de Torricelli, sendo H a altura procurada, tem-se:

$$0^2 = 5,76^2 + 2 \cdot (-10) \cdot H$$

$$H = \frac{33,2}{20} \approx 1,7 \text{ m}$$

Questão 02 – Letra C

Comentário: O tempo t de queda é dado pelo movimento vertical da bola. Assim, pela equação horário do MRUV do eixo vertical, tem-se:

$$d = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow$$

$$500 = \frac{10t^2}{2} \Rightarrow t = 10 \text{ s}$$

Essa é a duração do movimento uniforme horizontal de velocidade 80 m/s. Portanto, a distância x horizontal percorrida é de $80 \cdot 10 = 800 \text{ m}$.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Para que a bola atinja o buraco, a distância horizontal que ela deve percorrer é 7 m, e sabe-se que o movimento da bola na horizontal possui velocidade constante. Logo, a velocidade inicial da bola pode ser encontrada por meio da seguinte equação:

$$d_H = v_0 \cdot t \Rightarrow$$

$$v_0 = d_H / t = 7 / t$$

Para encontrar o tempo, é preciso considerar o movimento variado na vertical.

$$v_v^2 = v_{0v}^2 + 2 \cdot g \cdot d_v = 0 + 2 \cdot 10 \cdot 19,6 = 392 \Rightarrow$$

$$v_v = \sqrt{392} \approx 19,8$$

$$v_v = v_{0v} + g \cdot t = 0 + 10 \cdot t = 10 \cdot t$$

$$t = v_v / 10 = 19,8 / 10 = 1,98 \text{ s}$$

Logo, a velocidade de lançamento da bola é:

$$v_0 = 7 / 1,98 \approx 3,5 \text{ m/s} = 12,60 \text{ km/h}$$

Questão 04 – Letra A

Comentário: O tempo t de queda é dado pelo movimento vertical do puma. Assim, pela equação horário do MRUV do eixo vertical, tem-se:

$$1,8 = \frac{10t^2}{2} \Rightarrow t = 0,6 \text{ s}$$

Dessa forma, o puma andar\á $5 \cdot 0,6 = 3 \text{ m}$ na horizontal antes de tocar o solo, ou seja, vai cair 20 cm à esquerda da posição de sua presa.

Questão 05 – Letra D

Comentário: No ponto mais alto da trajetória, há apenas componente horizontal da velocidade, logo, a velocidade horizontal durante o movimento foi de 9 m/s. Sendo v_{0y} a velocidade inicial vertical, pela equação de Torricelli, tem-se:

$$0 = v_{0y}^2 + 2 \cdot (-10) \cdot 8,45$$

$$v_{0y} = 13 \text{ m/s}$$

Assim, o tempo t total de movimento é tal que $-13 = 13 - 10t$ e $t = 2,6 \text{ s}$. Logo, o alcance horizontal será de $9 \cdot 2,6 = 23,4 \text{ m}$.

Questão 06 – Letra D

Comentário: Os botes ficaram no ar durante um tempo de queda t podendo ser calculado como:

$$d = \frac{gt^2}{2}$$

$$45 = \frac{10t^2}{2} \Rightarrow t = 3 \text{ s}$$

Como $108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$, o deslocamento horizontal dos botes, dado pelo produto da sua velocidade horizontal pelo tempo de queda, foi de $30 \cdot 3 = 90 \text{ m}$.

Questão 07 – Letra C

Comentário: O tempo que a bola ficou em movimento pode ser encontrado por meio da seguinte equação:

$$t = d_H / v_x = 4 / 8 = 0,5 \text{ s}$$

Considerando que, durante o movimento, a bola ficou sujeita apenas a força gravitacional, tem-se que a altura em que ela foi atingida é:

$$h = v_y t + (1/2) \cdot g \cdot t^2 = 3 \cdot 0,5 + (1/2) \cdot 10 \cdot (0,5)^2 = 1,5 + 5 \cdot 0,25 = 1,5 + 1,25 = 2,75 \text{ m}$$

Questão 08 – Letra B

Comentário: Como o alcance máximo é dado por $\frac{v_0^2}{g}$, em que v_0 é a velocidade de lançamento e g o módulo da aceleração da gravidade local, tem-se que $20 = \frac{4^2}{g}$ e $g = 8 \cdot 10^{-1} \text{ m/s}^2$.

Questão 09 – Letra A

Comentário: O caminhão vai se deslocar em um intervalo de tempo igual ao tempo t de queda da esfera, que depende do movimento vertical desta. Pela equação horária do MRUV, tem-se:

$$h = \frac{gt^2}{2} \Rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Assim, temos que o caminhão deverá se deslocar num MRU, pela distância L no tempo encontrado, portanto:

$$d = v \cdot t \Rightarrow L = v_c \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} \Rightarrow v_c = L \cdot \sqrt{\frac{g}{2h}}$$

Questão 10 – Letra A

Comentário: Para determinar a distância AB , primeiramente, é preciso calcular qual a distância total na horizontal percorrida pela partícula. Se decomposmos o movimento da partícula em horizontal e vertical, temos que ela só possui aceleração na vertical e, portanto, o movimento na horizontal é com velocidade constante.

$$d_T = v \cdot t = v_0 \cos 60^\circ \cdot t = 10 \cdot 0,5 \cdot 1 = 5 \text{ m}$$

O enunciado da questão evidencia que a distância do ponto de lançamento até o penhasco é de 4,5 m, logo, a distância AB é:

$$AB = d_T - 4,5 = 5 - 4,5 = 0,5 \text{ m}$$

Questão 11

Comentário:

A) Primeiramente, é preciso encontrar o tempo que o míssil gastou para chegar à altura máxima.

$$v_v = v_0 \cdot \sin 30^\circ - g \cdot t = 120 \cdot 0,5 - 10 \cdot t = 60 - 10 \cdot t = 0 \\ t = 60 / 10 = 6 \text{ s}$$

Desprezando a resistência do ar, tem-se que a componente horizontal da velocidade é constante e, portanto, a distância horizontal pode ser encontrada por meio da seguinte equação:

$$d = v_0 \cdot \cos 30^\circ \cdot t = 120 \cdot \left(\frac{\sqrt{3}}{2}\right) \cdot 6 = 60 \cdot 1,7 \cdot 6 = 102 \cdot 6 = 612 \text{ m}$$

B) A altura na vertical na qual os mísseis se encontram é:

$$d_v = v_0 \cdot \sin 30^\circ \cdot t - 0,5 \cdot g \cdot t^2 = 120 \cdot 0,5 \cdot 6 - 0,5 \cdot 10 \cdot 6^2 = 360 - 5 \cdot 36 = 360 - 180 = 180 \text{ m}$$

A velocidade inicial do antimíssil e o tempo que o antimíssil leva para alcançar o míssil podem ser encontrados por meio das seguintes equações:

$$v_A^2 = v_{0A}^2 - 2 \cdot g \cdot h = v_{0A}^2 - 2 \cdot 10 \cdot 180 = v_{0A}^2 - 3600 = (80)^2 = 6400 \\ v_{0A}^2 = 6400 + 3600 = 10000 \\ v_{0A} = 100 \text{ m/s} \\ v_A = v_{0A} - g \cdot t = 100 - 10 \cdot t = 80 \\ t = (100 - 80) / 10 = 20 / 10 = 2 \text{ s}$$

Logo, se o míssil leva 6 s para alcançar o ponto mais alto e o antimíssil leva 2 s para alcançar o mesmo ponto, o antimíssil deve ser lançado 4 s após o míssil ser lançado.

Questão 12

Comentário:

A) De acordo com o texto da questão, a bola permaneceu 2 s acima do nível de 2,2 m, logo, o tempo que ela levou para ir do nível 2,2 m até o ponto mais alto da trajetória foi 1 s. Portanto, a velocidade da bola no nível de 2,2 m é:

$$v_v = v_{0vN} - g \cdot t = v_{0vN} - 10 \cdot 1 = 0 \\ v_{0vN} = 10 \text{ m/s}$$

Em que v_v é a componente vertical da velocidade no ponto mais alto da trajetória, v_{0vN} é a componente vertical da velocidade no nível de 2,2 m, g é a aceleração da gravidade e t o tempo de deslocamento entre o nível de 2,2 m e a altura máxima.

Diante disso, podemos calcular a componente vertical da velocidade inicial do lançamento e a velocidade inicial total.

$$v_{0vN}^2 = v_{0v}^2 - 2 \cdot g \cdot d_{vN} = v_{0v}^2 - 2 \cdot 10 \cdot 2,2 = v_{0v}^2 - 44 = (10)^2 \\ v_{0v}^2 = 100 + 44 = 144$$

$$v_{0v} = 12 \text{ m/s}$$

$$v_{0v} = v_0 \cdot \sin 30^\circ = v_0 \cdot 0,5 = 12$$

$$v_0 = 12 / 0,5 = 24 \text{ m/s}$$

Em que v_{0v} é a componente vertical inicial da bola, d_{vN} é a altura do nível 2,2 m e v_0 é a velocidade de lançamento da bola.

B) A componente da velocidade da bola na vertical segue um movimento variado e, portanto, o tempo de deslocamento desde o lançamento até o ponto mais alto é:

$$v_v = v_{0v} - g \cdot t = 12 - 10 \cdot t = 0 \\ t = 12 / 10 = 1,2 \text{ s}$$

Consequentemente, o tempo total de deslocamento da bola é $2 \cdot 1,2 = 2,4 \text{ s}$

Agora, podemos calcular a distância horizontal total percorrida pela bola.

$$d = v_0 \cdot \cos 30^\circ \cdot t = 24 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot 2,4 = 57,6 \cdot (1,7/2) = 49 \text{ m}$$

Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Nessa questão, aplica-se um método semelhante ao utilizado por Galileu para estudar a queda dos corpos sem a resistência do ar. Primeiramente, desenha-se a trajetória do corpo lançado como se não houvesse gravidade e, posteriormente, determina-se a posição de queda livre.

As alturas h_1 , h_2 e h_3 correspondem às alturas de queda de um corpo abandonado em queda livre. Para calcular os valores dessas alturas, basta aplicar a equação $d = gt^2/2$, o que resultará em 5 m, 20 m e 45 m, respectivamente, para os intervalos de tempo de 1 s, 2 s e 3 s.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: A figura 2 dessa questão mostra o registro das posições verticais de queda da esfera.

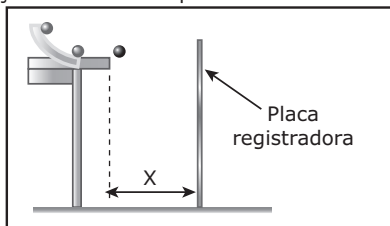
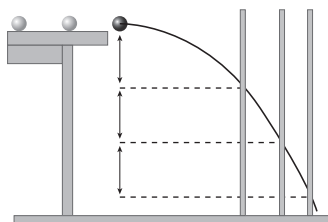


Figura 1



Figura 2

Observando essa figura, verificamos que a distância entre duas posições sucessivas ocupadas pela esfera se mantém, aparentemente, constante. Como o movimento vertical de queda da esfera é acelerado, para que a distância entre duas posições sucessivas ocupadas pela esfera se mantenha constante, os deslocamentos horizontais feitos pela placa têm de ser cada vez menores. Sendo assim, a alternativa correta é a D.



MÓDULO – A 05

Movimento Circular

Exercícios de Aprendizagem

Questão 01 – Letra A

Comentário: A correta representação dos vetores velocidade e aceleração para o movimento circular uniformemente acelerado é a representação do ponto (2), pois, nela, o vetor velocidade é tangente à trajetória e o vetor aceleração está corretamente representado. Como o movimento é circular uniformemente acelerado, temos a presença de dois tipos de aceleração, a tangencial e a centrípeta, sendo o sentido da aceleração tangencial igual ao sentido da velocidade e o sentido da aceleração centrípeta para dentro da curva. Logo, a aceleração resultante está em uma direção oblíqua à da velocidade, conforme mostrado na representação do ponto (2).

Questão 02 – Letra A

Comentário: A velocidade linear v da roda, em m/s, é dada por $v = 60 \cdot 0,35 = 21$ m/s. Em km/h, será de $3,6 \cdot 21 = 75,6$ km/h.

Questão 03 – Letra B

Comentário: Todos os pontos do tornado devem ter o mesmo período de rotação a fim de que este não se desfaça. Logo, todos os pontos do tornado terão a mesma velocidade angular. A velocidade linear será maior em pontos de maior raio, ou seja, nos pontos mais altos do tornado. Como a aceleração centrípeta pode ser dada por $\omega^2 R$, pontos de menor raio, mais baixos, terão menor aceleração centrípeta. Como o movimento é circular, aceleração e velocidade são sempre perpendiculares.

Questão 04 – Letra C

Comentário: Em um MCU, a aceleração sempre aponta para o centro da trajetória, logo, o vetor \vec{a} aponta para baixo. A velocidade é perpendicular à aceleração e terá sentido igual ao sentido instantâneo de deslocamento, no caso para a direita, já que o móvel se movimenta no sentido horário. Logo, o vetor \vec{v} aponta para a direita.

Questão 05 – Letra B

Comentário: Como $v = 2\pi Rf$, sendo $v = 18$ km/h = 5 m/s, temos:

$$5 = 2 \cdot 3 \cdot 0,25 \cdot f$$

$$f = \frac{10}{3} \text{ Hz} = \frac{10}{3} \cdot 60 \text{ rpm} = 200 \text{ rpm}$$

Questão 06 – Letra E

Comentário: Nesse exercício, há duas polias, A e B, interligadas por meio de uma correia e não há escorregamento entre as polias e a correia. Dessa forma, a velocidade tangencial das polias possui o mesmo módulo da velocidade tangencial da correia, portanto, as duas polias possuem a mesma velocidade tangencial. Como as polias possuem raios diferentes (o raio da polia A, R , é menor que o raio da polia B, R'), conclui-se que as polias possuem velocidades angulares diferentes. Sendo $R < R'$, e como as polias possuem a mesma velocidade tangencial, conclui-se que a velocidade angular da polia A é maior que a da polia B.

Esse fato pode ser verificado por meio das equações:

$$v_A = v_B \Rightarrow \omega_A R = \omega_B R'$$

$$\omega_A = \omega_B \frac{R'}{R}$$

O termo R'/R é maior que 1, logo, $\omega_A > \omega_B$.

Questão 07 – Letra B

Comentário: Numa bicicleta, as rodas são geralmente conectadas por uma correia, que transmite o movimento com a mesma velocidade linear para as periferias das rodas. Se as rodas não estiverem com a mesma velocidade linear no ponto de contato com o solo, a bicicleta pode perder estabilidade. As frequências de rotação das rodas são inversamente proporcionais aos raios, portanto, o pneu menor tem o dobro da frequência e a metade do período de rotação do pneu maior.

Questão 08 – Letra A

Comentário: Ambas as bicicletas apresentam a mesma velocidade escalar. Desse modo, podemos afirmar que:

$$v_{\text{pai}} = v_{\text{filho}} \Rightarrow \omega_{\text{pai}} R_{\text{pai}} = \omega_{\text{filho}} R_{\text{filho}}$$

Como $R_{\text{pai}} = 2R_{\text{filho}}$, podemos concluir que:

$$\omega_{\text{filho}} = 2\omega_{\text{pai}} \Rightarrow f_{\text{filho}} = 2f_{\text{pai}}$$

Logo, a alternativa correta é a A.

Exercícios Propostos**Questão 01 – Letra C**

Comentário: A velocidade escalar v de um ponto da periferia da broca será dado por $v = 2\pi Rf$, em que f é a frequência no movimento, igual a 3 000 rpm = 50 Hz. Assim:

$$v = 2 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 0,25 \cdot 10^{-3} = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ m/s.}$$

Questão 02 – Letra B

Comentário: A aceleração centrípeta $\omega^2 R$ deverá ser igual à aceleração da gravidade g . Assim:

$$\omega^2 \cdot 100 = 10$$

$$\omega = \frac{\sqrt{10}}{10} \cong 0,3 \text{ rad/s}$$

Questão 03 – Letra D

Comentário: Quando o rolete maior gira no sentido horário, a corrente girará no sentido anti-horário – já que o ponto de contato entre ambos tem velocidade apontando para cima – e o rolete menor girará, portanto, no sentido horário, já que o ponto de contato entre este e a correia tem velocidade apontando para baixo. A velocidade linear do maior rolete é igual à velocidade linear da correia, que, por sua vez, é igual à velocidade linear do menor rolete. Logo, terá maior velocidade angular o rolete de menor raio.

Questão 04 – Letra A

Comentário: Deve ter-se em mente que os raios dos eixos serão diretamente proporcionais à quantidade de dentes destes. Assim, como os eixos A e B têm a mesma velocidade linear de periferia, $v = 2\pi Rf$, $f_A = 3 \cdot f_B$ e $f_B = 4,5 \text{ Hz}$. Essa é a frequência de movimento de C, já que a transmissão de movimento de B para C se dá por um eixo coincidente de rotação. A velocidade linear de um ponto da periferia de C é igual à velocidade linear de um ponto da periferia de D, e, como o raio de D é o triplo do raio de C, a frequência de C, de 4,5 Hz, será o triplo da frequência de rotação de D. Assim, $f_D = 1,5 \text{ Hz}$.

Questão 05 – Letra A

Comentário: Quando a Terra dá uma volta completa, a distância angular percorrida por todos os seus pontos é igual. Dessa forma, aqueles pontos de maior distância até o centro da trajetória terão maior velocidade linear e logo percorrerão maior distância linear. Agora, pode ser percebido que, em pontos de latitude zero, tal distância até o centro da trajetória, e, portanto, a distância percorrida, será máxima. Logo, a distância linear percorrida pelo brasileiro é maior que a distância linear percorrida pelo argentino.

Questão 06 – Letra D

Comentário: De acordo com o enunciado da questão, o disco rígido gira com uma frequência de 120 Hz, ou seja, ele gira 120 vezes em um segundo. Como a cabeça de leitura está posicionada a uma distância de $R = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m}$, ela irá percorrer em uma volta uma circunferência C de comprimento $2\pi R$.

$$C = 2\pi R = 2 \cdot 3 \cdot 0,03 = 0,18 \text{ m}$$

Em 120 voltas, a cabeça de leitura irá percorrer um comprimento de $120 \cdot C = 120 \cdot 0,18 = 21,6 \text{ m}$.

Cada unidade de informação ocupa um comprimento físico de $0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m}$, logo, em 21,6 m, há X unidades de informação.

$$0,2 \cdot 10^{-6} \text{ m} \text{ — } 1 \text{ unidade de informação}$$

$$21,6 \text{ m} \text{ — } X$$

$$X = 21,6 / (0,2 \cdot 10^{-6}) = 1,08 \cdot 10^8$$

Ou seja, $1,08 \cdot 10^8$ informações magnéticas passam pela cabeça de leitura por segundo.

Questão 07 – Letra A

Comentário: Nesse exercício, há dois pontos de um mesmo disco, X e Y, girando com velocidades lineares de 50 cm/s e 10 cm/s, respectivamente. Como os dois pontos fazem parte do mesmo disco, eles possuem a mesma velocidade angular. Sendo assim, temos:

$$\omega_x = \omega_y \Rightarrow \frac{v_x}{r_x} = \frac{v_y}{r_y} \Rightarrow \frac{50}{r_x} = \frac{10}{r_x - 20}$$

$$50r_x - 10r_x = 1000 \Rightarrow r_x = \frac{1000}{40} \Rightarrow r_x = 25 \text{ cm}$$

Utilizando o valor de r_x obtido anteriormente, podemos calcular o módulo da velocidade angular.

$$\omega = \omega_y = \omega_x = \frac{v_x}{r_x} \Rightarrow \omega = \frac{50}{25} = 2,0 \text{ rad/s}$$

Questão 08 – Letra A

Comentário: Na resolução desse exercício, iremos considerar que o ponteiro maior do relógio seja o ponteiro dos minutos. Tendo em vista que esse relógio atrasa 10 minutos a cada hora, conclui-se que, em um intervalo de tempo de uma hora real, o ponteiro maior percorre um ângulo de $2\pi(10/12) \text{ rad}$. Portanto, a velocidade angular do ponteiro maior do relógio é dada por:

$$\omega = \frac{2\pi(10/12)}{3600} \Rightarrow \omega = \frac{\pi}{2160} \text{ rad/s}$$

Questão 09 – Letra E

Comentário: Tendo em vista que o móvel parte do repouso e efetua um movimento circular uniforme de período igual a 8 s, conclui-se que, em um intervalo de tempo de 18 s, o móvel efetua duas voltas completas mais um quarto de volta. Sendo assim, o deslocamento angular do móvel foi de $\pi/2 \text{ rad}$ ou 90° . Logo, o módulo do vetor deslocamento do móvel é dado por:

$$|\vec{d}|^2 = R^2 + R^2 \Rightarrow |\vec{d}| = \sqrt{R^2 + R^2} \Rightarrow |\vec{d}| = R\sqrt{2}$$

Questão 10 – Letra D

Comentário: Como a transmissão do MCU se dá pela corda, as velocidades lineares de pontos da periferia de ambas as polias serão iguais. Considerando que a relação entre velocidade linear e angular para determinado raio de curvatura é dada por $v = \omega \cdot R$, sendo ω_1 e ω_2 as velocidades angulares da polia grande e da pequena respectivamente, tem-se que:

$$\omega_1 \cdot 0,54 = \omega_2 \cdot 0,27 \Rightarrow \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{1}{2}$$

Questão 11 – Letra C

Comentário: Para que a bicicleta tenha alta velocidade, a roda traseira precisa de alta velocidade linear, proporcional à sua velocidade angular, que é a mesma da catraca. Para que a catraca gire com uma alta velocidade angular, a velocidade linear a ela transmitida por meio da corrente deve ser também alta. Para que se transmita de forma eficiente a velocidade linear, deve-se utilizar uma grande coroa e uma pequena catraca. Portanto a coroa R2 e a catraca R3.

Questão 12

Comentário: A velocidade linear da bicicleta pode ser encontrada por meio da seguinte equação:

$$v = \omega \cdot R$$

Em que ω representa a velocidade angular e R representa o raio. Agora, considere as quantidades com índice 1 o arranjo da bicicleta com a catraca maior e as quantidades com o índice 2 o arranjo da bicicleta com a catraca menor. De acordo com o enunciado da questão, a velocidade angular ω_p dos pedais e, conseqüentemente, da coroa se mantém constante. Como o raio da coroa é constante, a velocidade linear na correia que passa por ela também será constante. Ou seja, v_p é constante. Sabe-se que a velocidade linear na coroa v_p é igual à velocidade linear na catraca. Logo, $v_{1c} = v_{2c}$.

$$v_{1c} = \omega_1 \cdot R_1 \Rightarrow v_{2c} = \omega_2 \cdot R_2$$

$$\omega_1 \cdot R_1 = \omega_2 \cdot R_2 \Rightarrow \omega_2 = \omega_1 \cdot R_1 / R_2 = \omega_1 \cdot 6 / 4,5$$

A velocidade angular na catraca é igual à velocidade angular na roda. Sendo assim, as velocidades lineares da bicicleta e, conseqüentemente, das rodas, nos dois momentos, são:

$$v_1 = \omega_1 \cdot R \Rightarrow \omega_1 = v_1 / R = 12 / R$$

Substituindo esse valor encontrado de ω_1 na equação para ω_2 , tem-se:

$$\omega_2 = 12 \cdot 6 / 4,5 \cdot R = 72 / 4,5 \cdot R$$

$$v_2 = \omega_2 \cdot R = 72 \cdot R / 4,5 \cdot R = 72 / 4,5 = 16 \text{ km/h}$$

Em que R é o raio das rodas.

Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 1

Habilidade: 2

Comentário: As engrenagens A e B giram solidárias em torno de eixos diferentes, de forma que seus dentes possuam mesma velocidade linear:

$$v_A = v_B$$

$$2\pi R_A f_A = 2\pi R_B f_B$$

$$R_A \cdot f_A = R_B \cdot f_B$$

O número de dentes é proporcional ao perímetro da engrenagem, e este é proporcional ao raio. Então a relação anterior pode ser:

$$N_A \cdot f_A = N_B \cdot f_B$$

$$24 \cdot 18 = 72 \cdot f_B$$

$$f_B = 6 \text{ RPM}$$

As engrenagens C e B giram juntas em torno de um mesmo eixo e, portanto, possuem mesmo período e mesma frequência.

$$f_C = f_B = 6 \text{ RPM}$$

Para as engrenagens C e D, temos a mesma relação entre as engrenagens A e B.

Assim:

$$N_C \cdot f_C = N_D \cdot f_D$$

$$36 \cdot 6 = 108 \cdot f_D$$

$$f_D = 2 \text{ RPM}$$

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 1

Habilidade: 2

Comentário: Duas polias quaisquer ligadas por um eixo comum terão a mesma velocidade angular, portanto:

$$\omega_A = \omega_B \Rightarrow \frac{v_A}{R_A} = \frac{v_B}{R_B} \Rightarrow v_A = v_B \frac{R_A}{R_B}$$

Sendo ω_A e ω_B as respectivas velocidades angulares, a relação anterior mostra que a velocidade linear e o raio são diretamente proporcionais.

Desejamos que a velocidade linear do fio (v_A) seja a menor possível. Para isso, a relação R_A / R_B para o par de polias no qual o fio está ligado deve ser a menor possível. Isso ocorre para a montagem Q.

Como as polias 1 e 3 estão ligadas por uma correia, suas velocidades lineares em pontos periféricos serão as mesmas:

$$v_1 = v_3$$

$$2\pi R_1 f_1 = 2\pi R_3 f_3$$

$$R_1 \cdot f_1 = R_3 \cdot f_3$$

Para as polias 1 e 3, aquela que tiver o maior raio terá a menor frequência e vice-versa.

Questão 03 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: Para resolver esse exercício, basta observar que a prancha se move de A para B. Logo, as polias da parte superior, 1 e 2, movem-se no sentido anti-horário, e as polias da parte inferior, 3 e 4, movem-se no sentido horário.

Questão 04 – Letra A**Eixo cognitivo:** II**Competência de área:** 6**Habilidade:** 20

Comentário: O movimento de uma bicicleta se dá por meio do acoplamento entre uma roda dentada dianteira com uma roda dentada traseira, e esse acoplamento é feito por meio de uma corrente, não havendo deslizamento entre as rodas dentadas e a corrente. Sendo assim, conclui-se que as rodas dentadas da bicicleta possuem velocidades lineares de mesmo módulo, sendo este igual ao módulo da velocidade linear da corrente.

Considerando uma pedalada uma volta completa da roda dentada dianteira e observando que as rodas dentadas possuem velocidades lineares de mesmo módulo, podemos escrever a seguinte igualdade:

$$\begin{aligned}v_d &= v_t \\ \omega_d r_d &= \omega_t r_t \\ \frac{\omega_t}{\omega_d} &= \frac{r_d}{r_t}\end{aligned}$$

De acordo com a equação anterior, quanto maior for a razão r_d/r_t , maior será a razão do número de voltas da roda traseira por pedalada, ω_t/ω_d . Portanto, a alternativa que representa a situação em que haverá o maior número de voltas por pedalada é a A.

Questão 05 – Letra C**Eixo cognitivo:** II**Competência de área:** 6**Habilidade:** 20

Comentário: Conforme analisado no exercício anterior, as rodas dentadas traseira e dianteira possuem velocidades lineares de mesmo módulo. Utilizando esse resultado e os dados fornecidos na figura do exercício, temos:

$$\begin{aligned}v_d &= v_t \Rightarrow \omega_d r_d = \omega_t r_t \\ \frac{\omega_t}{\omega_d} &= \frac{r_d}{r_t} \Rightarrow \frac{\omega_t}{\omega_d} = \frac{15}{5,0} \Rightarrow \frac{\omega_t}{\omega_d} = 3,0\end{aligned}$$

De acordo com o resultado anterior, a velocidade angular da roda dentada traseira é três vezes maior que a da roda dentada dianteira, ou seja, enquanto a roda dentada dianteira efetua uma volta completa, a roda dentada traseira realiza três voltas completas. Como a roda dentada traseira está acoplada à roda traseira pelo mesmo eixo (ou seja, elas giram de forma conjunta), a distância percorrida pela bicicleta em uma pedalada é, aproximadamente:

$$d = 3(2\pi R) \Rightarrow d = 3(2 \cdot 3,0 \cdot 40) \Rightarrow d = 7,2 \text{ m}$$

MÓDULO – A 06**Leis de Newton****Exercícios de Aprendizagem****Questão 01 – Letra A**

Comentário: Esse exercício aborda uma questão clássica das Leis de Newton para o movimento: como pode um cavalo puxar uma charrete se a força que ele exerce sobre a charrete possui a mesma intensidade da força que a charrete exerce sobre ele?

Realmente essas forças possuem módulos iguais, porém o cavalo também empurra o chão para trás e este empurra o cavalo para frente. Se a força para frente que o chão faz sobre o cavalo for maior que a força para trás que a charrete exerce sobre ele, então, o conjunto se moverá para frente. Tendo em vista essa explicação, a alternativa correta é a A.

Questão 02 – Letra A

Comentário: Sobre o caixote, atuam as forças peso P , normal N e força de atrito f_a . A força peso possui direção vertical e sentido para o centro da Terra; logo, nos diagramas desse exercício, a força peso deve estar voltada para baixo. A força normal que atua sobre o caixote é perpendicular à carroceria do caminhão e possui sentido para cima. Já a força de atrito, exercida pela carroceria sobre o caixote possui direção tangente à carroceria e sentido oposto à tendência de movimento do caixote. À medida que o caminhão se move para frente, a tendência de movimento do caixote é a de se mover para trás, pois a componente tangencial da força peso que atua sobre ele o puxa nesse sentido. Como a força de atrito atua em sentido oposto ao da tendência de movimento, temos que essa força atua paralelamente à carroceria, no sentido de subida da rampa. Dessa forma, a alternativa que mostra um diagrama coerente com essas observações é a A.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Se existe uma força resultante agindo sobre o corpo, como afirma o enunciado, então, obrigatoriamente, o movimento apresentado pelo objeto deve ser acelerado, de acordo com a Segunda Lei de Newton. A única alternativa que não apresenta essa possibilidade é aquela que menciona um corpo se movendo com velocidade constante e em linha reta. Logo, a alternativa em que não há uma força resultante agindo sobre o corpo é a C.

Questão 04 – Letra C

Comentário: A força peso P do computador corresponde à força gravitacional que a Terra exerce sobre o computador. Como o computador está sobre a mesa, ele também exerce uma força, e vamos denominá-la de F , sobre a mesa, que, nesse caso, é igual em módulo, direção e sentido à força peso dele. Consequentemente, a mesa exerce uma força sobre o computador, denominada de N , que é a força normal, igual em intensidade e direção, mas em sentido contrário à força F . Perceba que a normal N é a reação da força F e não do peso P . Apesar de N e P possuírem valores iguais em intensidade, eles não formam um par de ação e reação.

Questão 05 – Letra E

Comentário: O pássaro exerce sobre a mão do garoto uma força de compressão por estar sendo impedido de cair livremente devido ao seu peso. Portanto, essa força tem valor igual ao peso, mas não é o peso em si. A reação da sua compressão sobre a mão do menino é a força que o menino faz sobre o pássaro. Essa é a força que equilibra o pássaro, impedindo-o de cair.

Questão 06 – Letra B

Comentário: Analisando sequencialmente a tirinha, pode-se ver que, no primeiro quadro, a zebra se encontra em movimento, no segundo, ela freia bruscamente e, no terceiro, as "listras" do corpo da zebra vão parar em seu pescoço e em sua cara. A análise dessa tirinha leva imediatamente a uma propriedade geral da matéria, denominada inércia. De acordo com o princípio da inércia, quando a resultante das forças externas que atuam sobre um corpo for nula, caso o corpo esteja em movimento, ele tende a continuar em movimento retilíneo e uniforme e, caso o corpo esteja parado, ele tende a continuar em repouso. Perceba que, na tirinha final, as "listras" da zebra não pararam tão bruscamente quanto a zebra, que, ao firmar seus cascos no chão, freou. Como as "listras" estavam em movimento, de acordo com o princípio da inércia, elas deveriam manter seu movimento. Ao chegar ao pescoço da zebra, uma força se opôs ao movimento delas e, então, elas pararam.

Questão 07 – Letra C

Comentário: A partir do texto-base da questão, vê-se que uma pessoa dá um empurrão em um saco de arroz e, assim, este desliza com velocidade constante por uma mesa sem atrito até que uma outra pessoa pega o saco de arroz do outro lado da mesa. Por meio dessa situação retratada no texto, pode-se destacar o princípio da inércia. O princípio da inércia afirma que, quando a resultante das forças externas que atuam sobre o sistema for nula, todo corpo em movimento tende a continuar em movimento retilíneo com velocidade constante. Este é justamente o caso retratado na questão. Perceba que, após a pessoa empurrar o saco de arroz, ele continua seu movimento retilíneo e com velocidade constante até que a outra pessoa faz uma força sobre ele.

Questão 08 – Letra B

Comentário: Analisando as imagens presentes na questão, percebe-se que os passageiros que não estavam usando o cinto de segurança foram "lançados" para frente quando o carro colidiu com o muro. Essa situação evidencia o princípio da inércia, que afirma que, quando a resultante das forças externas que atuam sobre um corpo for nula, caso este corpo esteja em movimento, ele tende a continuar em movimento retilíneo e uniforme.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra B

Comentário: A força resultante que atua sobre o octocóptero enquanto ele está subindo pode ser encontrada por meio da seguinte relação:

$$F = m \cdot a = 20 \cdot 3 = 60 \text{ N}$$

Como o octocóptero está subindo acelerado, a força resultante possui direção vertical e sentido para cima.

Questão 02 – Letra B

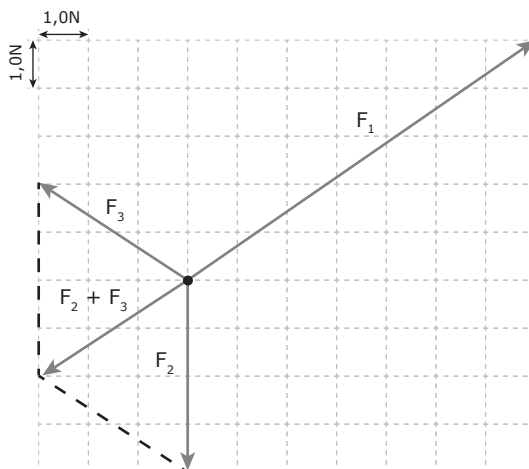
Comentário: O que impulsiona o nadador é a força que a água exerce sobre sua mão. Essa força é usada para puxar o corpo para frente e é a reação resultante da ação que o nadador exerce sobre a água. Portanto, a alternativa correta é a B.

Questão 03 – Letra B

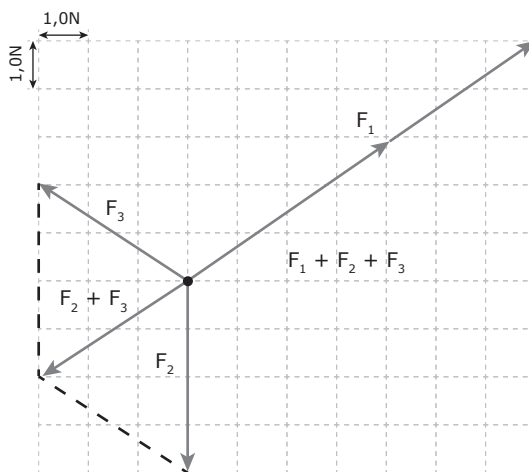
Comentário: Quando uma única pessoa puxa uma das extremidades de um dinamômetro com uma força de 100 N, o valor da força medida pelo instrumento é de 100 N, considerando que esse esteja em equilíbrio. Logo, na situação representada na figura desse exercício, em que há dois meninos exercendo forças de 100 N sobre as extremidades de um dinamômetro, temos que a leitura do instrumento será de 100 N, pois ele está em equilíbrio.

Questão 04 – Letra E

Comentário: Somando F_2 e F_3 , obtém-se:



O vetor resultante da soma de F_2 e F_3 está na mesma direção e em sentido oposto a F_1 , logo, a soma de F_1 , F_2 e F_3 será o vetor:



Pela representação, o módulo do vetor resultante será dado por:
 $\sqrt{3^2 + 4^2} = \sqrt{25} = 5 \text{ N}$

Questão 05 – Letra B

Comentário: A força elástica em uma mola pode ser definida por meio da equação $F = K \cdot x$, em que K representa a constante elástica da mola e x , a deformação na mola. Aplicando os dados apresentados na tabela da questão na equação anterior, pode-se encontrar os valores das constantes elásticas das três molas.

$$K_1 = F_1/x_1 = 400 / 0,50 = 800 \text{ N/m}$$

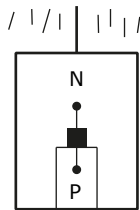
$$K_2 = F_2/x_2 = 300 / 0,30 = 1\,000 \text{ N/m}$$

$$K_3 = F_3/x_3 = 600 / 0,80 = 750 \text{ N/m}$$

Portanto, comparando as constantes elásticas das três molas, tem-se que $K_2 > K_1 > K_3$.

Questão 06 – Letra A

Comentário: Para resolver essa questão, primeiramente, vamos desenhar as forças que agem sobre o objeto no interior do elevador.



Examinando a imagem anterior, pode-se encontrar a força N que sustenta o objeto por meio da análise da resultante das forças que agem sobre o ele.

$$F_R = N - P \Rightarrow N = F_R + P$$

$$N = m \cdot a + m \cdot g = m(a + g) = 10 \cdot (0,1 + 10) = 10 \cdot 10,1 = 101 \text{ N}$$

Questão 07 – Letra E

Comentário: A Terceira Lei de Newton afirma que, para toda ação, há uma reação de mesmo módulo, direção e sentido contrário. Portanto, a força de reação do Sol sobre a Terra é a força gravitacional da Terra sobre o Sol.

Questão 08 – Letra B

Comentário: Como o enunciado diz que a velocidade inicial do automóvel era constante e de 72 km/h, a resultante das forças sobre ele antes de os freios começarem a atuar no automóvel era nula. Isso se deve ao fato de que a força exercida pelo motor e o atrito resultante terem intensidades iguais e atuarem em sentidos opostos. Se não houvesse força atuando sobre o automóvel, sua alta velocidade seria diminuída pelo atrito com o ar.

Questão 09 – Letra D

Comentário: Analisando o movimento de subida do helicóptero, tem-se que a força resultante que atua na corda é:

$$F_R = T - P \Rightarrow T = F_R + P \Rightarrow T = m \cdot a + m \cdot g = m(a + g)$$

Substituindo na equação anterior os dados fornecidos na questão, tem-se:

$$T = 100 \cdot (0,5 + 10) = 100 \cdot 10,5 = 1\,050 \text{ N}$$

Questão 10 – Letra C

Comentário: Quando o pescador puxa a linha de acordo com a Terceira Lei de Newton, a linha puxa o pescador com as mesmas intensidade e direção, mas em sentido contrário. Todavia, o que faz com que a distância entre o peixe e o pescador não diminua é que o peixe também faz uma força sobre a linha e essa força é igual em intensidade, mas com sentido oposto à força que o pescador faz.

Questão 11 – Letra A

Comentário: Quando o cantor está andando para trás, três forças agem sobre ele. A força peso exercida pela Terra sobre o cantor, que tem direção vertical e sentido para baixo. A força normal, que é a força de reação que o chão exerce sobre o cantor devido à compressão que ele exerce sobre o chão. Nesse caso, essa força tem o mesmo módulo da força peso, mesma direção, mas sentido contrário. E a força de atrito, que é a força de reação que o chão exerce sobre o cantor ao andar. Perceba que, para andar para trás, o cantor “empurra” o chão para frente. Como a força de atrito é uma força de reação ao ato do cantor de “empurrar” o chão, ela se encontra na mesma direção do movimento, que nesse caso é horizontal, mas tem sentido contrário ao “empurrão”. Como o cantor “empurra” o chão para frente, a força de atrito tem sentido para trás. Portanto, as três forças que atuam sobre o cantor têm sentido para cima, para baixo e para trás.

Questão 12 – Letra E

Comentário: Como João Phillippe é um referencial não inercial, a explicação – para seu referencial – do porquê de a mala começar a movimentar-se espontaneamente é o aparecimento de uma força fictícia, também chamada de virtual ou inercial.

Questão 13 – Letra D

Comentário: Segundo as leis da Física, não é possível que o He-Man puxe o helicóptero para baixo, uma vez que os pés dele não estão fixos no chão. Isso porque, para ele puxar o helicóptero, ele deve fazer uma força no chão, se ele fizer uma força muito grande para baixo sem estar preso ao solo, só vai conseguir se puxar para cima, já que a única força para baixo externa ao sistema helicóptero e He-Man é o peso dos corpos.

Seção Enem**Questão 01 – Letra C**

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: O objetivo da questão é que identifiquemos a situação que está diretamente relacionada à Terceira Lei de Newton, Lei da Ação e Reação. Portanto, devemos identificar a alternativa em que ocorra uma situação na qual o atleta tire vantagem da correta aplicação da Terceira Lei de Newton. A alternativa C atende a esse requisito, uma vez que quanto mais água um nadador puxar para trás maior será a força que esse exerce sobre a água e, conseqüentemente, maior será a força que a água exercerá sobre ele, fazendo com que o nadador receba maior propulsão.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 20

Comentário: Vamos analisar as forças que atuam no bloco A nas duas situações. Essas forças são: o peso P, a normal N e a tensão T. O peso P e a normal N anulam-se mutuamente e, portanto, a força resultante que atua no bloco A é a tensão. Na situação da figura 1, o valor dessa tensão é dado por:

$$\begin{cases} T_1 = ma_1 \\ P_B - T_1 = ma_1 \end{cases} \Rightarrow P = 2ma_1$$
$$mg = 2ma_1 \Rightarrow a_1 = \frac{g}{2} = 5 \text{ m/s}^2$$

$$T_1 = \frac{mg}{2} = 5 \text{ N}$$

Na situação da figura 2, os valores da tensão e da aceleração são:

$$T_2 = F = 10 \text{ N}$$

$$10 \text{ N} = ma_2$$

$$a_2 = 10 \text{ m/s}^2$$

Da análise anterior, conclui-se que a alternativa correta é a C.

MÓDULO – B 04

Calorimetria

Exercícios de Aprendizagem

Questão 01 – Letra E

Comentário: Desprezando as perdas de calor para o ambiente, a soma do calor cedido pelo bloco de ferro (Q_C : calor negativo) com o calor absorvido pela água (Q_R : calor positivo) é zero. Assim:

$$Q_C + Q_R = 0 \Rightarrow m_{Fe}c_{Fe}(T_E - T_{0,Fe}) + m_Ac_A(T_E - T_{0,A}) = 0 \Rightarrow$$
$$500.0,1.(T_E - 42) + 500.1.(T_E - 20) = 0$$

A solução dessa equação fornece a temperatura de equilíbrio $T_E = 22 \text{ }^\circ\text{C}$.

Note que a temperatura do bloco de ferro diminuiu de $20 \text{ }^\circ\text{C}$, enquanto a temperatura da água aumentou de apenas $2 \text{ }^\circ\text{C}$. A variação de temperatura da água foi 10 vezes menor que a do ferro, pois a capacidade térmica da massa de água ($C_A = m_Ac_A = 500 \text{ cal/}^\circ\text{C}$) é 10 vezes maior que a capacidade da massa de ferro ($C_{Fe} = m_{Fe}c_{Fe} = 50 \text{ cal/}^\circ\text{C}$).

Questão 02 – Letra D

Comentário:

I. De fato, como o gelo desaparece com o aumento da temperatura da atmosfera do planeta sem que a água na fase líquida seja observada, conclui-se que o gelo passa diretamente para o estado de vapor, e o contrário quando o gelo reaparece nas estações frias. Essas mudanças de fase são denominadas de sublimação.

II. A sublimação ocorre quando uma substância é aquecida ou resfriada abaixo da pressão do ponto triplo, fato que pode ser notado facilmente por meio do diagrama de fases. Essa pressão, para a água, é muito baixa e vale apenas $4,579 \text{ mmHg}$ (cerca de $0,6\%$ da pressão atmosférica da Terra, $760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm}$). Logo, a pressão atmosférica em Marte é muito baixa.

III. Conforme discutido no item II, o gelo não sofre fusão. Isso ocorre devido ao fato de a pressão em Marte ser muito pequena, não porque a temperatura em Marte seja sempre inferior à temperatura de fusão do gelo.

Questão 03 – Letra B

Comentário: O 1° patamar horizontal mostrado no gráfico representa a fusão (liquefação) de $1,0 \text{ g}$ de gelo à temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Do gráfico, tiramos que a quantidade de calor absorvida pelo gelo a $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ até a fusão completa a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ é de 105 calorias, das quais 25 calorias são usadas no aquecimento do gelo de $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ até $0 \text{ }^\circ\text{C}$ e 80 calorias são usadas na fusão do gelo. O valor 105 calorias faz sentido, pois o calor latente de fusão do gelo a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ é 80 cal/g e, como o calor específico do gelo é $0,50 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, o calor para aquecer uma massa de $1,0 \text{ g}$ de gelo de $-50 \text{ }^\circ\text{C}$ a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ é:

$$Q = (1,0 \text{ g}) \cdot (0,50 \text{ cal/g}^\circ\text{C}) \cdot (50 \text{ }^\circ\text{C}) = 25 \text{ cal}$$

A 2° reta inclinada mostrada no gráfico representa a elevação da temperatura da água líquida de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. Do gráfico, tiramos que a quantidade de calor absorvida para ela ser aquecida de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ até $100 \text{ }^\circ\text{C}$ é 100 calorias. Esse valor faz sentido, pois, como o calor específico da água líquida é $1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$, o calor para aquecer $1,0 \text{ g}$ de água líquida de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ é:

$$Q = mc\Delta t = 1,0 \text{ g} \cdot 1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C} \cdot 100 \text{ }^\circ\text{C} = 100 \text{ cal}$$

Questão 04 – Letra E

Comentário: O calor útil fornecido pelo dispositivo, que efetivamente é usado no aquecimento da água é dado por $Q_{\text{útil}} = 0,5 \cdot 1 \cdot 100 = 50 \text{ cal}$. Esse calor, medido em Joules, vale $50 \cdot 4,2 = 210 \text{ J}$. O rendimento η do dispositivo, definido como a razão entre calor útil e calor fornecido, é dado por:

$$\eta = \frac{Q_{\text{útil}}}{Q_{\text{fornecido}}} = \frac{210 \text{ J}}{250 \text{ J}} = 0,84$$

Questão 05 – Letra E

Comentário: Como o gelo parou de derreter, o saldo da troca de calor entre este e a água é nulo. Portanto, ambos estão em equilíbrio térmico. Como o gelo está necessariamente a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, uma vez que o processo de mudança de estado não foi completado, a água também estará aproximadamente a esta temperatura.

Questão 06 – Letra A

Comentário: A capacidade térmica de um objeto é definida operacionalmente pelo quociente $C = Q/\Delta T$ (calor absorvido / cedido dividido pela variação de temperatura). Como os dois objetos receberam a mesma quantidade de calor e sofreram a mesma variação de temperatura, concluímos que suas capacidades térmicas são iguais. A capacidade térmica também pode ser determinada pelo produto $C = m \cdot c$ (massa do objeto multiplicada pelo calor específico do material).

Como o calor específico do cobre é menor que o do alumínio, concluímos que, para as capacidades térmicas serem iguais, a massa do objeto de cobre é maior que a do objeto de alumínio (a rigor, 2,44 vezes maior, que é a razão entre os valores específicos do alumínio e do cobre).

Questão 07 – Letra D

Comentário: O material desconhecido (massa 1 250 g), ao se resfriar de 540 °C para 30 °C, cede calor para a água do recipiente (3 000 g) e para as paredes de madeira do recipiente (5 000 g). Assim, a soma do calor cedido pelo material desconhecido (calor negativo) com os calores absorvidos pela água e pelas paredes (calores positivos) vale zero:

$$1\,250 \cdot c \cdot (30 - 540) + 3\,000 \cdot 1,0 \cdot (30 - 10) + 5\,000 \cdot 0,42 \cdot (30 - 10) = 0$$

Resolvendo essa equação, obtemos $c = 0,16 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. De acordo com a tabela dada, o material ensaiado é feito de vidro.

Questão 08 – Letra C

Comentário: A temperatura de equilíbrio pode ser obtida por meio do seguinte balanço de energia:

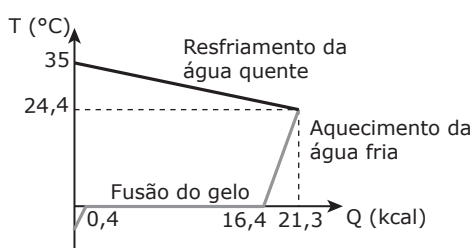
$$2\,000 \cdot 1 \cdot (T_E - 35) + 200 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-4)] + 200 \cdot 80 + 200 \cdot 1 \cdot (T_E - 0) = 0$$

Nessa equação, a primeira parcela é o calor cedido pela água quente para que ela se resfrie até a temperatura de equilíbrio T_E . As outras três parcelas são referentes ao calor recebido pelo gelo para ser aquecido de $-4 \text{ }^\circ\text{C}$ até $0 \text{ }^\circ\text{C}$ (ponto de fusão), ao calor absorvido pelo gelo para fundir-se e ao calor absorvido pela água, proveniente da fusão do gelo, para que esta se aqueça de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ até a temperatura T_E . Resolvendo essa equação, obtemos $T_E = 24,4 \text{ }^\circ\text{C}$. Podemos confirmar que esse resultado é coerente, calculando o calor cedido pela água quente e as três parcelas de calor recebido, verificando a igualdade entre o calor cedido (Q_C) e o calor recebido (Q_R). Fazendo isso, obtemos:

$$Q_C = 2\,000 \cdot 1 \cdot (24,4 - 35) = -21\,200 \text{ cal (o sinal negativo indica que a água cedeu calor)}$$

$$Q_R = 200 \cdot 0,5 \cdot [0 - (-4)] + 200 \cdot 80 + 200 \cdot 1 \cdot (24,4 - 0) \Rightarrow Q_R = 21\,280 \text{ cal}$$

A pequena diferença entre os dois valores (0,4% apenas) se deve ao fato de a temperatura de $24,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ter sido aproximada com apenas uma casa decimal de precisão. O gráfico a seguir (fora de escala) é um bom resumo desse exercício.



Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra A

Comentário: Após retirar os churros do forno, este perde calor para o ambiente, como explicitado pelo enunciado. A massa está mais fria porque cedeu maior calor para o ambiente; como as massas de recheio e de massa são iguais, isso se deve a um maior calor específico do doce de leite.

Questão 02 – Letra A

Comentário: Sendo T a temperatura de equilíbrio, que será a temperatura final do café com leite, já que este é rapidamente atingido, pela equação da conservação da energia térmica:

$$\Sigma Q = 0$$

$$150 \cdot 1 \cdot (T - 80) + 50 \cdot 1 \cdot (T - 20) = 0$$

$$150T - 12\,000 + 50T - 1\,000 = 0$$

$$200T = 13\,000$$

$$T = 65 \text{ }^\circ\text{C}$$

Assim, a temperatura final do café com leite é de $65 \text{ }^\circ\text{C}$.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Primeiramente, perceba que uma variação de $108 \text{ }^\circ\text{F}$ equivale a uma variação de $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Sendo m a massa em kg do gás de cozinha utilizado, a quantidade de energia absorvida pela água foi $m \cdot 6 \cdot 10^3 \text{ cal}$. Assim:

$$m \cdot 6 \cdot 10^3 = 10^3 \cdot 1 \cdot 60$$

$$m = 10 \text{ kg}$$

Questão 04 – Letra A

Comentário: Em 20 s, o corpo recebeu energia de $80 \cdot 20 = 1\,600 \text{ cal}$. Sua temperatura variou de $50 - 10 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$. Pela definição da capacidade térmica C :

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{1\,600}{40} = 40 \text{ cal/}^\circ\text{C}$$

Questão 05 – Letra C

Comentário: Desprezando as perdas de calor para o ambiente, a soma do calor cedido pela massa de 150 g de água quente a $100 \text{ }^\circ\text{C}$ (Q_C : calor negativo) com o calor absorvido pela massa de 125 g da xícara a $9 \text{ }^\circ\text{C}$ (Q_R : calor positivo) é zero. Assim, resolvendo essa equação, obtemos a temperatura de equilíbrio da mistura:

$$Q_C + Q_R = 0 \Rightarrow 150 \cdot c \cdot (T_E - 100) + 125 \cdot \frac{c}{5} \cdot (T_E - 9) = 0 \Rightarrow 175T_E = 15\,225 \Rightarrow T_E = 87 \text{ }^\circ\text{C}$$

Questão 06 – Letra C

Comentário: Sendo c_1 o calor específico do material que compõe a amostra mais leve e m_1 a sua massa, e denotando por c_2 e m_2 esses valores para a amostra mais pesada, temos, considerando que a capacidade térmica é o produto entre a massa de certo amostra de material e o calor específico deste:

$$\begin{cases} m_2 - m_1 = 100 \text{ (I)} \\ \frac{c_1}{c_2} = \frac{6}{5} \text{ (II)} \\ m_1 c_1 = m_2 c_2 \text{ (III)} \end{cases}$$

(II) em (III):

$$m_1 \cdot \frac{6c_2}{5} = m_2 c_2 \Rightarrow m_2 = \frac{6m_1}{5} \text{ (IV)}$$

(IV) em (I):

$$\frac{6m_1}{5} - m_1 = 100$$

$$\frac{m_1}{5} = 100 \Rightarrow m_1 = 500 \text{ g}$$

Assim, a massa da amostra mais leve é de 500 g.

Questão 07 – Letra B

Comentário: Como todas as alternativas apresentam temperaturas positivas, pode-se inferir que o gelo derreterá completamente sem a necessidade de testar se a energia cedida ao gelo é suficiente para derretê-lo. Para verificar a conservação de energia, devem ser incluídos o calor latente do gelo, o calor sensível do gelo, o calor sensível do gelo que se tornou água líquida, o calor sensível do alumínio e o calor sensível da água líquida. Sendo T a temperatura de equilíbrio, temos:

$$\Sigma Q = 0$$

$$10 \cdot 0,2 \cdot (T - (-10)) + 100 \cdot 1 \cdot (T - 80) + 80 \cdot 0,5 \cdot (0 - (-10)) + 80 \cdot 80 + 80 \cdot 1 \cdot (T - 0) = 0$$

$$2(T + 10) + 100(T - 80) + 400 + 6400 + 80T = 0$$

$$128T = 1180$$

$$T = 6,48 \text{ }^\circ\text{C}$$

Questão 08 – Letra D

Comentário: O calor Q_1 é o calor necessário para se aquecer 0,10 kg de material no estado sólido de $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ a $5 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_1 = 0,1 \cdot 1 \cdot (5 - (-15)) = 2 \text{ J}$$

O calor ($Q_2 - 6$) é o calor necessário para se aquecer a amostra no estado líquido de $5 \text{ }^\circ\text{C}$ a $45 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$Q_2 - 6 = 0,1 \cdot 2,5 \cdot (45 - 5)$$

$$Q_2 - 6 = 10$$

$$Q_2 = 16 \text{ J}$$

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{2}{16} = \frac{1}{8}$$

Questão 09 – Letra A

Comentário: Sendo x a massa em kg, da água inicialmente a $0 \text{ }^\circ\text{C}$, a massa da outra porção de água será $(8 - x)$. Ambas as porções de água terão temperatura final $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Pela condição de conservação de energia, tem-se, sendo c o calor específico da água na unidade pertinente:

$$\Sigma Q = 0$$

$$x \cdot (80 - 0) \cdot c + (8 - x) \cdot (80 - 100) \cdot c = 0$$

$$80x = 20(8 - x)$$

$$4x = 8 - x$$

$$x = 1,6 \text{ kg}$$

Questão 10 – Letra A

Comentário: Sendo c o calor específico pedido, pela condição de conservação de energia:

$$\Sigma Q = 0$$

$$150 \cdot 1 \cdot (25 - 20) + 30 \cdot 0,2(25 - 20) + 200 \cdot c \cdot (25 - 60) = 0$$

$$780 = 7000c$$

$$c = 0,11 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

A quantidade Q de calor trocado é igual à soma dos calores trocados pela água e pelo calorímetro, no caso 780 cal. Eles foram cedidos pelas bolinhas de aço, pois estas tiveram sua temperatura diminuída.

Questão 11 – Letra D

Comentário: 60% da energia mecânica provenientes de $N = 50$ marteladas são convertidos em energia térmica Q para aquecer de $\Delta T = 10 \text{ }^\circ\text{C}$ um prego de ferro de massa $m = 50 \text{ g}$ e calor específico $c = 0,1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$. Assim, para calcular a energia mecânica E de uma só martelada, podemos expressar a conversão de energia mecânica do martelo em energia térmica do prego pela seguinte equação:

$$60\% \text{ da energia mecânica total} = mc\Delta t \Rightarrow \\ 0,60 \cdot (50 \cdot E) = 50 \text{ g} \cdot (0,1 \cdot 4,2 \text{ J/g}^\circ\text{C}) \cdot 10 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow E = 7 \text{ J}$$

Questão 12 – Letra E

Comentário: Observando atentamente as informações contidas nos dois gráficos, pode-se extrair a informação de que, a 3 000 m de altitude, a pressão atmosférica vale 0,7 atm e que, submetida a essa pressão, a água entrará em ebulição a $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Substituindo essa informação na equação fundamental da calorimetria, encontra-se:

$$Q = 200 \cdot 1 \cdot (90 - 20) \Rightarrow Q = 200 \cdot 70$$

$$Q = 14\,000 \text{ cal} \Rightarrow Q = 1,4 \cdot 10^4 \text{ cal}$$

Questão 13

Comentário: A quantidade de calorias ingeridas ao comer o chocolate foi de 200 kcal, que, convertida para joules, é igual a:

$$E = 200 \text{ kcal} \cdot 4\,200 \frac{\text{J}}{\text{kcal}} = 8,4 \cdot 10^5 \text{ J}$$

Durante a corrida, dissipando energia na taxa $P = 500 \text{ J/s}$, a pessoa gastará o seguinte tempo para dissipar uma energia equivalente à do chocolate:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \Rightarrow 500 = \frac{8,4 \cdot 10^5}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = 1\,680 \text{ s}$$

Na velocidade $v = 1,5 \text{ m/s}$, a pessoa percorrerá, nesse intervalo de tempo, a seguinte distância:

$$d = v \cdot \Delta t = 1,5 \cdot 1\,680 = 2\,520 \text{ m} = 2,52 \text{ km}$$

Seção Enem**Questão 01 – Letra D**

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 2

Habilidade: 6

Comentário: A potência dissipada corresponde à taxa de calor cedida à água, que é de:

$$P \cdot t = Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

De acordo com o gráfico, a variação de temperatura, na vazão de 3 L/min, na temperatura superquente, é de $32 \text{ }^\circ\text{C}$; e na temperatura morna, é de $12 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dessa forma, a razão das potências será:

$$\frac{P_M \cdot t}{P_{SQ} \cdot t} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T_M \cdot t}{m \cdot c \cdot \Delta T_{SQ} \cdot t} = \frac{12}{32} = \frac{3}{8}$$

Questão 02 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Uma vez que a finalidade do fluido arrefecedor é evitar o superaquecimento do motor, transferindo energia térmica deste para a atmosfera, dentre as propriedades apresentadas como alternativas, o alto calor específico seria a mais desejada. Considerando que os gradientes de temperatura atuam no motor e o fluido arrefecedor e a atmosfera possuem valores ideais para um bom funcionamento, será transferida a maior quantidade de energia Q para um maior calor específico c :
 $Q = m \cdot c \cdot \Delta t \rightarrow Q \propto c$

Questão 03 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 2

Comentário: Determinação da temperatura de equilíbrio (T_E) ideal:

$$\Delta Q_{\text{Recebido}} = -\Delta Q_{\text{Fornecido}}$$

$$m_{AF} \cdot c_A \cdot (T_E - 10) = -m_{AQ} \cdot c_A \cdot (T_E - 40)$$

Sabendo que da massa total da mistura (m_T),

$$m_{AF} = \frac{m_T}{3} \text{ e } m_{AQ} = \frac{2m_T}{3}$$

$$\frac{m_T}{3} \cdot c_A \cdot (T_E - 10) = \frac{-2m_T}{3} \cdot c_A \cdot (T_E - 40)$$

$$T_E - 10 = -2T_E + 80$$

$$3T_E = 90$$

$$T_E = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se a temperatura obtida foi de $16 \text{ }^\circ\text{C}$, temos:

variação de temperatura $\Delta T = 30 - 16 = 14 \text{ }^\circ\text{C}$

Logo, $= \frac{14}{30} \cong 46\%$. O selo adequado para esta garrafa é o D.

Questão 04 – Letra A

Eixo cognitivo: I

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Essa questão é um ótimo exemplo de item do Enem: uma situação-problema (o conceito popular e incorreto de "calor" e "temperaturas"), o enunciado do item (que limitações essa falsa conceituação pode acarretar?) e as opções (todas fisicamente corretas, mas uma delas conflitante com o conceito popular de calor e temperatura).

Se a temperatura fosse uma medida de quantidade de calor de um corpo, a temperatura de um corpo sempre deveria aumentar quando um corpo recebesse calor. Assim, durante a ebulição da água à pressão constante, a temperatura não poderia ficar constante. Por isso, os conceitos populares de calor e temperatura entram em conflito com a constância da temperatura durante a mudança de fase de substâncias puras à pressão constante.

Questão 05 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: A água é uma substância pura. O ponto de ebulição de uma substância pura depende da pressão a que esta é submetida. Quanto maior for a pressão sobre a superfície livre de um líquido, maior será a temperatura na qual o líquido irá ferver, ou seja, maior será a temperatura na qual ele entrará em processo de ebulição. Por exemplo, sob a pressão atmosférica de 1 atm, típica das cidades ao nível do mar, a água inicia o processo de fervura quando sua temperatura atinge 100 °C. Em uma localidade de maior altitude, a pressão atmosférica é menor do que 1 atm, e, conseqüentemente, o ponto de ebulição da água é menor do que 100 °C. Por exemplo, na cidade de Belo Horizonte, que se acha a 850 m acima do nível do mar, a pressão atmosférica média vale 0,89 atm e a temperatura de ebulição da água é de 97 °C.

No experimento descrito nessa questão, a água da seringa voltou a ferver porque o levantamento do êmbolo provocou uma diminuição na pressão interna da seringa. Conseqüentemente, o ponto de ebulição da água também diminuiu. Por exemplo, digamos que a água dentro da seringa estava a 90 °C (a água se esfriou um pouco, depois de ser retirada da panela e ser introduzida na seringa). Nessa temperatura, a pressão de ebulição da água é de 0,73 atm. Essa pressão pode ser obtida facilmente, bastando levantar um pouco o êmbolo da seringa. Quando a pressão atingir esse valor, considerando que a temperatura da água se mantenha a 90 °C, a água volta a ferver.

Essa experiência pode ser realizada de forma mais simples, sem a necessidade de aquecimento do líquido. Para isso, a água deve ser substituída por éter etílico (produto cuja venda é controlada). O ponto de ebulição do éter etílico é baixo; a 1 atm, ele ferve a 35 °C. Por isso, o éter, à temperatura ambiente, pode ser introduzido na seringa, de forma que um pequeno deslocamento do êmbolo já é capaz de provocar a ebulição do líquido.

Questão 06 – Letra B

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: A suposta massa de gelo dos polos, derretida por ano devido ao aquecimento global, pode ser estimada por meio da equação $Q = m \cdot L$, em que m é a massa procurada, $Q = 1,6 \cdot 10^{22}$ J é a quantidade de calor fornecido ao gelo anualmente e $L = 3,2 \cdot 10^5$ J/kg é calor latente de fusão do gelo. Substituindo esses valores na equação, obtemos:

$$1,6 \cdot 10^{22} \text{ J} = m \cdot 3,2 \cdot 10^5 \text{ J/kg} \Rightarrow$$

$$m = 50 \cdot 10^{15} \text{ kg}$$

Portanto, a alternativa correta é a B.

Questão 07 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: À pressão constante, depois que a água atinge o ponto de ebulição, a temperatura da água não se altera mais. No caso de uma panela de pressão, essa temperatura é cerca de 120 °C. Por isso, podemos abaixar o fogo sob a panela de

forma apenas a manter a fervura da água, que a temperatura da água permanecerá constante. Há pelo menos duas vantagens em fazer isso. A primeira é que haverá significativa economia de energia, pois, como a temperatura da água continuará sendo de 120 °C, o alimento será cozido no mesmo tempo, independentemente de o fogo estar alto ou mais baixo. A outra vantagem é que, a fogo baixo, a água levará mais tempo para secar, reduzindo o risco de o alimento queimar por falta de água. Assim, a alternativa correta é a A.

MÓDULO – B 05

Gases

Exercícios de Aprendizagem

Questão 01 – Letra D

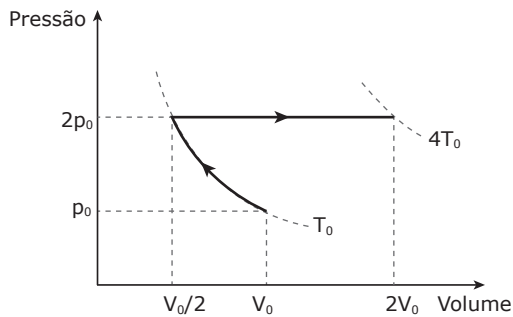
Comentário: Um gás real comporta-se como gás ideal (ou seja, a equação $pV = nRT$ é válida para esse gás) quando suas moléculas acham-se suficientemente distantes umas das outras para que não ocorra interação entre elas. Para se ter essa condição, o gás deve ter uma densidade baixa, e isso ocorre cada vez mais à medida que a pressão do gás é reduzida e a temperatura é aumentada. O critério que garante um comportamento de gás ideal é o seguinte: $p \ll p_{\text{crítica}}$ e $T \gg T_{\text{crítica}}$. Em muitos casos, apenas a primeira condição já é suficiente para o gás se comportar idealmente.

Questão 02 – Letra B

Comentário: Como a temperatura do gás aumentou, o mesmo aconteceu com a sua energia térmica, que depende apenas da temperatura. Perceba que essa foi uma transformação isocórica, logo, pressão e temperatura são diretamente proporcionais; por conseguinte, como a temperatura aumenta, a pressão também aumenta.

Questão 03 – Letra E

Comentário: Na 1ª transformação, que foi uma compressão isotérmica, na qual o volume inicial V_0 foi reduzido para $V_0/2$, não houve variação de temperatura, que se manteve igual a T_0 (temperatura absoluta). Porém, de acordo com a equação de gás ideal, mantidas inalteradas a quantidade de gás e a temperatura, a pressão varia inversamente com o volume. Portanto, nessa 1ª transformação, a pressão aumentou de p_0 para $2p_0$. Na transformação seguinte, que foi isobárica, o volume tornou-se $2V_0$. Portanto, nessa 2ª transformação, o volume foi multiplicado por 4. De acordo com a equação de gás ideal, mantidas inalteradas a quantidade de gás e a pressão, a temperatura absoluta é proporcional ao volume. Assim, na 2ª transformação, a temperatura absoluta aumentou de T_0 para $4T_0$. O gráfico a seguir da pressão *versus* volume apresenta as duas transformações dessa questão. A seguir a representação gráfica das transformações sofridas pelo gás.



Questão 04 – Letra C

Comentário: Como o êmbolo está livre para se mover, a pressão se mantém constante durante todo o processo. Assim, $\frac{nR}{P}$ é uma constante, que denotaremos por k . logo, a equação de Clapeyron pode ser reescrita como $V = kT$, ou $\frac{V}{T} = k$.

Questão 05 – Letra D

Comentário: A unidade da constante universal dos gases é obtida, a partir da equação de Clapeyron, pelo produto entre unidades de pressão e volume dividido pelo produto de unidades de temperatura e quantidade de matéria. Como as unidades de volume e pressão utilizam apenas comprimento, massa e tempo, os expoentes das unidades de temperatura e quantidade de matéria, para a representação da unidade de R , devem valer -1 , o que não ocorre na alternativa D.

Questão 06 – Letra B

Comentário: Primeiramente, vamos calcular o volume da bola cheia:

$$V = 4\pi R^3/3 = 4 \cdot 3 \cdot (20 \text{ cm})^3/3 = 4 \ 000 \text{ cm}^3 = 4 \text{ L}$$

Agora, usando a lei de gás ideal, vamos calcular a quantidade de ar na bola:

$$pV = nRT \Rightarrow$$

$$1,0 \text{ atm} \cdot 4 \text{ L} = n \cdot (0,080 \text{ atm} \cdot \text{L/mol} \cdot \text{K}) \cdot 300 \text{ K} \Rightarrow$$

$$n = 5/30 \text{ mol}$$

Por fim, vamos calcular a massa de ar na bola:

$$n = m/M \Rightarrow m = (5/30 \text{ mol}) \cdot (30 \text{ g/mol}) = 5,0 \text{ g}$$

Questão 07 – Letra B

Comentário: No processo $a \rightarrow b$, a pressão p varia proporcionalmente com a temperatura absoluta T . Como $p = (nR/V)T$, concluímos que a fração nR/V é constante, implicando que o volume V do gás é constante. Por leitura direta, vemos que o processo $b \rightarrow c$ é isobárico e o processo $c \rightarrow a$ é isotérmico. Assim, no diagrama $p \times V$, o processo $a \rightarrow b$ deve ser uma reta vertical, com a pressão aumentando. O processo $b \rightarrow c$ deve ser uma reta horizontal, com o volume diminuindo. Podemos explicar que $T_c < T_b$, notando que o produto pV para o ponto c é menor do que esse produto para o ponto b . Por fim, o processo $c \rightarrow a$ é uma hipérbole, com a pressão diminuindo. Essa curva representa uma função inversa que, nesse caso, é a função $p = C/V$, em que $C = nRT$ é constante porque T é constante.

Da discussão anterior, conclui-se que o diagrama correto está representado na alternativa B.

Questão 08 – Letra E

Comentário: Como no processo ilustrado pelo diagrama c , o volume do gás no estado final V_f é maior que o volume do gás no estado inicial. Esse diagrama representa um processo de expansão. Os processos do diagrama a são classificados como processo isocórico, seguido de um isobárico, e os processos do diagrama b são classificados como isobárico seguido de isocórico.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra C

Comentário: Como o gás sofreu uma transformação de estado, tem-se que:

$$\frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_B V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{T_B}{T_A} = \frac{P_B V_B}{P_A V_A}$$

Substituindo os valores, encontra-se:

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{100,0 \cdot 8,0}{50,0 \cdot 2,0} \Rightarrow \frac{T_B}{T_A} = 8$$

Questão 02 – Letra D

Comentário: Percebe-se que na linha cujas extremidades são os estados b e c , o volume fica constante e a pressão aumenta.

Questão 03 – Letra C

Comentário: A energia cinética média de translação (u) de um gás ideal é proporcional à temperatura absoluta do gás (T), mas não à temperatura em graus Celsius. Esse comportamento independe do tipo de gás e também independe da massa do gás. A energia cinética total é que depende da massa do gás. Portanto, a alternativa correta é a C.

Questão 04 – Letra C

Comentário: Lembrando que a temperatura na equação dos gases ideais é expressa na escala absoluta, podemos usar a seguinte relação para obter a temperatura no fundo do lago:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{3 \sqrt{3}}{T_1} = \frac{0,8 \cdot 4 \sqrt{3}}{300} \Rightarrow T_1 = 281 \text{ K} = 8^\circ \text{C}$$

Questão 05 – Letra D

Comentário: Como o lado esquerdo das duas equações é dado pelo produto entre pressão e volume, podemos igualá-las, tendo assim:

$$N \cdot K \cdot T = n \cdot R \cdot T$$

Dividindo as duas equações pela temperatura, obtemos o seguinte resultado:

$$N \cdot K = R \cdot T \quad (1)$$

Voltando a atenção para a definição de mols temos que n é um conjunto de aproximadamente $6 \cdot 10^{23}$ (a constante de Avogadro) espécies quaisquer, ou seja:

$$N = A \cdot n$$

Onde A é a constante de Avogadro. Temos então:

$$A \cdot n \cdot K = n \cdot R$$

Assim como foi o caso da temperatura, podemos dividir os dois lados da equação pelo número de mols, obtendo

$$A \cdot K = R \Rightarrow \frac{R}{K} = A$$

Substituindo o valor da constante de Avogadro,

$$\frac{R}{K} = 6 \cdot 10^{23}$$

Questão 06 – Letra D

Comentário: De acordo com a equação de Clapeyron (equação geral dos gases ideais), o número de mols de nitrogênio no volume de 3,0 L, temperatura T e pressão de 5,0 atm e o número de mols de oxigênio no volume de 2,0 L, temperatura T e pressão de 4,0 atm são iguais a:

$$n_{N_2} = \frac{5,0 \cdot 3,0}{RT} = \frac{15}{RT} \quad \text{e} \quad n_{O_2} = \frac{4,0 \cdot 2,0}{RT} = \frac{8,0}{RT}$$

Se esses gases forem misturados em um recipiente de 10 L, o número de mols total será:

$$n = n_{N_2} + n_{O_2} = \frac{23}{RT}$$

de forma que a fração molar de nitrogênio será $15/23 = 0,652$ (65,2%) e a de oxigênio será 34,8%. Assim, como a massa molar do nitrogênio vale 28 g/mol e a do oxigênio vale 32 g/mol, a massa molar dessa mistura será:

$$M_{\text{mist}} = \frac{65,2 \cdot 28 + 34,8 \cdot 32}{100} = 29,4 \text{ g/mol}$$

Por fim, a pressão da mistura gasosa será:

$$pV = nRT \Rightarrow p \cdot 10 = \frac{23}{RT} \cdot RT \Rightarrow p = 2,3 \text{ atm}$$

Questão 07 – Letra A

Comentário: Primeiramente deve-se encontrar o número de mols do gás dentro do quarto pela equação de Clapeyron:

$$10^5 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 3 = n \cdot 8,31 \cdot 289$$

$$n \cong 1\,500 \text{ mol}$$

A massa total m de gás será o produto entre a massa molar e o número de mols:

$$m = 1\,500 \cdot 28,9 = 43\,350 \text{ g} \cong 43 \text{ kg}$$

Questão 08 – Letra B

Comentário: De acordo com a equação de Clapeyron, podemos determinar a razão entre os números de mols no estado inicial e final do gás dentro do cilindro de 25L:

$$\frac{P_0}{n_0 T_0} = \frac{P_f}{n_f T_f} \Rightarrow \frac{4}{n_0 \cdot 500} = \frac{1}{n_f \cdot 300} \Rightarrow \frac{n_f}{n_0} = \frac{5}{12}$$

O número de mols do gás que escaparam do cilindro seria então:

$$n_e + n_f = n_0 \Rightarrow n_e = n_0 - n_f \Rightarrow n_e = n_0 - \frac{5n_0}{12} \Rightarrow n_e = \frac{7n_0}{12}$$

Como o gás dentro e fora do cilindro possuem mesma pressão e temperatura, podemos deduzir que:

$$\frac{V_{\text{cilindro}}}{n_f} = \frac{V_e}{n_e} \Rightarrow \frac{25}{\frac{5}{12}n_0} = \frac{V_e}{\frac{7}{12}n_0} \Rightarrow V_e = 35L$$

Questão 09 – Letra E

Comentário: Sendo n_1 e n_2 as quantidades de matéria dos gases na mistura, esta ocupará volume 5 m³ e terá $n_1 + n_2$ mols de matéria. Utilizando a equação de Clapeyron, sendo R a constante universal dos gases ideais e T a temperatura relevante:

$$1 \cdot 2 = n_1 \cdot R \cdot T \quad \text{(I)}$$

$$2 \cdot 3 = n_2 \cdot R \cdot T \quad \text{(II)}$$

$$P \cdot 5 (n_1 + n_2) \cdot R \cdot T \quad \text{(III)}$$

$$\text{(I) + (II):}$$

$$2 + 6 = n_1 \cdot R \cdot T + n_2 \cdot R \cdot T$$

$$8 = (n_1 + n_2) \cdot R \cdot T \quad \text{(IV)}$$

$$\text{(IV) em (III):}$$

$$8 = 5P$$

$$P = 1,6 \text{ atm}$$

Assim, a pressão final da mistura é de 1,6 atm.

Questão 10 – Letra A

Comentário: De acordo com o enunciado, o gás diminuiu sua pressão e seu volume pela metade. Portanto, segundo a Lei de Boyle:

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P \cdot V}{T} \Rightarrow$$

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P_0 \cdot \frac{V_0}{2}}{T} \Rightarrow T = \frac{T_0}{4}$$

Dadas as alternativas, a única que indica que a temperatura do gás diminuiu em quatro vezes é a alternativa A. De fato, aplicando a Lei de Clapeyron, obtemos os seguintes resultados para temperatura inicial T_0 :

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{n \cdot R} = T_0$$

$$\frac{6 \cdot 10}{2 \cdot 0,082} = 365,85 \text{ K}$$

E para a temperatura final T:

$$\frac{P \cdot V}{n \cdot R} = T$$

$$\frac{3 \cdot 5}{2 \cdot 0,082} = 91,46 \text{ K}$$

Questão 11 – Letra D

Comentário: O ar começará a entrar no pneu assim que a pressão na bomba for ligeiramente maior que a pressão do ar pré-existente no pneu: $3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Como o processo de compressão do ar na bomba é isotérmico, a seguinte relação entre o estado inicial (1) e final (2) do ar pode ser empregada para resolver essa questão (p é a pressão e V é o volume de ar dentro da bomba; A e L são a área da seção transversal da bomba e o comprimento do espaço cilíndrico ocupado pelo ar dentro da bomba, respectivamente):

$$p_2 V_2 = p_1 V_1 \Rightarrow p_2 (A \cdot L_2) = p_1 (A \cdot L_1) \Rightarrow p_2 L_2 = p_1 L_1$$

Substituindo os valores dados, obtemos:

$$3 \cdot 10^5 L_2 = 10^5 L_1 \Rightarrow$$

$$L_1/L_2 = 3$$

Substituindo $L_1 = 42$ cm (1ª figura do exercício) nessa relação, obtemos $L_2 = 14$ cm. Da 2ª figura do exercício, vemos que o deslocamento da bomba é $d = L_1 - L_2 = 42 - 14 = 28$ cm.

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Ao abrir a geladeira, parte do ar frio sai e entra ar à temperatura ambiente (quente). O ar quente que entrou sofre um resfriamento isovolumétrico. Nesse tipo de resfriamento, a pressão do gás diminui junto com sua temperatura.

Com a pressão interna menor do que a externa, o ar no interior da geladeira exercerá uma força menor na porta da geladeira (de dentro para fora) do que o ar externo exerce (de fora para dentro).

Assim, a força para abrir a geladeira aumenta, para compensar essa diferença entre as forças interna e externa.

Questão 02 – Letra C

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 3

Habilidade: 8

Comentário: O texto do item afirma que o nitrogênio foi resfriado, ocupando um volume 700 vezes menor. Dessa forma, nessa intensa compressão, o trabalho é realizado sobre o gás e, assim, o nitrogênio recebe energia da vizinhança.

Essa energia fica armazenada na energia interna do gás, que é aproveitada posteriormente através de sua expansão.

MÓDULO – B 06

1ª Lei da Termodinâmica

Exercícios de Aprendizagem

Questão 01 – Letra E

Comentário:

- I. Verdadeiro. O gás realiza trabalho positivo W_{BC} na expansão BC, sofre um trabalho negativo W_{AB} na compressão AB e não realiza nem sofre trabalho no processo isovolumétrico CA. Como a área sob a expansão BC é maior que a área sob a compressão AB, o trabalho W_{BC} é maior que o trabalho W_{AB} . Por isso, o trabalho total durante o ciclo ($W_T = W_{BC} + W_{AB}$) é positivo. De fato, quando um processo no diagrama pV ocorre no sentido horário, o trabalho total é positivo e, no sentido anti-horário, o trabalho total é negativo.

- II. Falso. A transformação AB é uma compressão isobárica, e não isotérmica. Além disso, o gás libera calor para a vizinhança. Como o volume diminui, a temperatura absoluta diminui proporcionalmente a diminuição do volume. Como a energia interna é proporcional à temperatura absoluta, concluímos que há redução na energia interna durante a compressão AB. Isso ocorre porque, mesmo recebendo energia na forma do trabalho W_{AB} , o gás libera uma quantidade de calor Q_{AB} maior que o trabalho.

- III. Verdadeiro. A transformação CA é um resfriamento, pois, como o volume permanece constante, a temperatura absoluta diminui proporcionalmente à redução da pressão. Como a energia interna é proporcional à temperatura absoluta, concluímos que há redução na energia interna durante a transformação CA. Lembrando que não há trabalho nesse processo, a única forma de o gás se resfriar é cedendo uma quantidade de calor Q_{CA} para a vizinhança.

Questão 02 – Letra D

Comentário: O ar se expande rapidamente, de modo que o processo pode ser considerado adiabático. De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q - W$), sendo $Q = 0$ e sendo W positivo (trabalho de expansão), ΔU é negativo. Portanto, a energia interna do gás diminui e a temperatura também. De acordo com a equação de estado de um gás ideal, $p = nRT/V$, como T diminui e V aumenta, a pressão p deve diminuir. Portanto, a alternativa correta é a D.

Questão 03 – Letra C

Comentário: Na maioria dos livros de física, a variação da energia interna de um sistema é definida como sendo a diferença entre o calor Q e o trabalho W trocados entre o sistema e a vizinhança (Primeira Lei da Termodinâmica: $\Delta U = Q - W$). Nesse caso, $Q > 0$ e $W < 0$ quando essas energias são fornecidas para o sistema e $Q < 0$ e $W > 0$ quando essas energias são cedidas pelo sistema. A Primeira Lei da Termodinâmica também pode ser escrita na forma $\Delta U = -Q - W$, desde que os sinais para o calor Q e o trabalho W sejam coerentes. Por exemplo, se um sistema ganhar energia na forma de calor e de trabalho, a energia interna deverá aumentar, de modo que a variação de energia interna ΔU seja positiva. Para isso ocorrer, os sinais de Q e W deverão ser negativos. Assim, quando esses sinais forem multiplicados pelos sinais negativos pré-existentes na equação da Primeira Lei, o resultado será a soma de duas parcelas positivas, implicando o duplo efeito de aumento na energia interna do sistema. Obviamente, quando o sistema perder energia na forma de calor e trabalho, os sinais dessas energias deverão ser positivos. Portanto, se, em uma transformação, o sistema absorve 6 J de calor e realiza um trabalho de 8 J (trabalho cedido pelo sistema), deveremos ter $Q = -6$ J e $W = +8$ J. De acordo com a equação da Primeira Lei, a energia interna será:

$$\Delta U = -(-6) - (+8) = -2 \text{ J}$$

Esse resultado é coerente, pois, se um sistema ganha 6 J de calor, mas perde 8 J na forma de trabalho, a variação no saldo de energia interna do sistema deve realmente ser negativa.

Questão 04 – Letra B

Comentário: A Primeira Lei da Termodinâmica diz que a variação da energia interna é dada pela diferença entre a variação da quantidade de calor e a variação do trabalho.

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W = 60\,000 - 80\,000 = -20\,000 \text{ cal}$$

Logo, a energia interna do sistema diminuiu 20 mil calorias.

Questão 05 – Letra B

Comentário: A Primeira Lei da Termodinâmica fala sobre conservação da energia. Desse modo, se um corpo recebe ou cede calor para o ambiente e se ele realiza trabalho ou se um trabalho é realizado sobre ele, esse corpo poderá ter sua energia interna aumentada ou diminuída.

Questão 06 – Letra C

Comentário: A figura ilustra uma expansão volumétrica muito rápida quando o gás é liberado para o ambiente. Essa transformação caracteriza uma expansão adiabática, pois, por ser muito rápida, a quantidade de calor trocado com a vizinhança pode ser desprezada e, assim, ao realizar trabalho sobre o ambiente, a energia interna do gás diminui. Portanto, a primeira assertiva está correta e a segunda está incorreta.

Questão 07 – Letra E

Comentário: Em uma transformação adiabática, não há trocas de calor entre o gás e o ambiente, logo a variação da energia interna dependerá apenas do trabalho realizado, conforme a 1ª Lei da Termodinâmica

$$\Delta U = -W$$

A energia interna do gás ideal depende apenas da sua temperatura absoluta. Isso pode ser visto através da equação

$$U = \frac{3}{2}nRT$$

Como a temperatura reduziu-se em 1/3 do valor anterior, a variação da energia interna foi de

$$\Delta U = U_f - U_i \Rightarrow$$

$$\Delta U = \frac{3}{2}nR \frac{T}{3} - \frac{3}{2}nRT = \left(\frac{1}{2} - \frac{3}{2}\right)nRT \Rightarrow$$

$$\Delta U = -nRT$$

Como o gás sofreu uma expansão, este realizou trabalho e a sua energia interna reduziu de nRT , já que a variação de energia é negativa.

Questão 08 – Letra B

Comentário: O sistema recebe uma quantidade de calor $Q = +200 \text{ J}$ e, ao mesmo tempo, cede uma quantidade de energia na forma de trabalho $W = +10 \text{ cal}$. Os sinais positivos para o calor cedido e para o trabalho realizado pelo sistema são coerentes com a equação da Primeira lei da Termodinâmica, que vamos usar para calcular a variação da energia interna do sistema: $\Delta U = Q - W$. Convertendo o trabalho para a unidade joule ($W = +41,86 \text{ J}$) e substituindo Q e W na equação da Primeira Lei, obtemos:

$$\Delta U = +200 - (+41,86) = +158,14 \text{ J}$$

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra C

Comentário: O trabalho realizado pelo gás em cada um dos três processos é numericamente igual à área sob a curva dos respectivos processos no gráfico $p \times V$. Dessa forma, $W_1 > W_2 > W_3$. Todos esses trabalhos são positivos, pois os três processos são expansões. Como os estados iniciais e finais são coincidentes nos três processos, as energias internas inicial e final dos três processos são iguais. Logo, ΔU_1 , ΔU_2 e ΔU_3 são iguais. De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, o calor é dado por $Q = \Delta U + W$. Sendo ΔU constante, o calor é maior no processo em que o trabalho é maior. Portanto, $Q_1 > Q_2 > Q_3$.

Embora a questão não explore o sentido do fluxo de calor, este é da vizinhança para o gás (sistema), pois $Q > 0$, uma vez que $W > 0$ e $\Delta U > 0$. A variação da energia interna é positiva porque o produto pV aumenta nos três processos, indicando que a temperatura aumenta.

Questão 02 – Letra C

Comentário:

- I. Falso. A transformação AB é um processo isovolumétrico e, por isso, não há trabalho.
- II. Falso. Embora a transformação BC seja isotérmica, o gás recebe calor nesse processo. Na verdade, como a temperatura do gás é constante, a energia interna do gás não varia. Como há liberação de energia na forma do trabalho W_{AB} realizado na expansão BC, o gás deve receber a mesma quantidade de energia na forma do calor Q_{AB} . Assim, a perda de energia na forma de trabalho é compensada pelo ganho de calor, de modo que a energia interna do gás não varia.
- III. Verdadeiro. Na transformação CA, há um trabalho W_{CA} de compressão. O gás recebe essa energia da vizinhança. A temperatura do gás em C é menor que a temperatura em A, implicando redução na energia interna do gás. Embora receba o trabalho W_{CA} da vizinhança, o gás libera uma quantidade de calor Q_{CA} para a vizinhança maior que o trabalho. Por isso, o gás se resfria.

Questão 03 – Letra D

Comentário: De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se que:

$$\Delta W = \Delta Q - \Delta U = 2\,000 - 1\,200 = 800 \text{ J}$$

O trabalho realizado sobre o gás é dado pelo produto da pressão com a variação de volume.

$$\Delta W = p \cdot \Delta V \Rightarrow \Delta V = \frac{\Delta W}{p} = \frac{800}{50} = 16 \text{ m}^3$$

Questão 04 – Letra D

Comentário: O trabalho realizado pelo gás de A para B pode ser encontrado por meio da seguinte equação:

$$\Delta W_{AB} = p \cdot \Delta V = p_A \cdot (V_B - V_A)$$

Usando a Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se que:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W = U + p_A \cdot (V_B - V_A) + W$$

Questão 05 – Letra C**Comentário:**

- I. Falso. As variações de energia interna do gás no processo isobárico 2 e no processo isocórico 4 são iguais, pois as variações de temperaturas são iguais nos dois processos.
- II. Falso. O trabalho na expansão 2 é maior que o trabalho no processo isocórico 3, pois o trabalho no processo 2 é positivo, enquanto o trabalho é nulo no processo 3.
- III. Verdadeiro. A variação da energia interna no processo 2 é maior que no processo 3, pois, nos dois processos, a temperatura inicial T_1 é a mesma, mas a temperatura final T_3 no processo 2 é maior que a temperatura final T_2 no processo 3.
- IV. Verdadeiro. No processo isocórico 4, o trabalho (W) é zero. Por isso, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q - W$), a variação da energia interna é igual ao calor trocado entre o gás e o meio.

Questão 06 – Letra C

Comentário: De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

De acordo com o enunciado da questão, não houve troca de calor entre o gás e a vizinhança. Logo:

$$\Delta U = -\Delta W = -1\,664\text{ J}$$

$$20,8\Delta T = -1\,664 \Rightarrow \Delta T = \frac{-1\,664}{20,8} = -80$$

Questão 07 – Letra D

Comentário: Primeiramente, vamos calcular o trabalho realizado sobre o gás.

$$\Delta W = p\Delta V = (4 \cdot 10^3) \cdot (-0,2) = -0,8 \cdot 10^3\text{ J}$$

Usando a Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W = -1,8 \cdot 10^3 + 0,8 \cdot 10^3 = -1,0 \cdot 10^3\text{ J}$$

Perceba que, como o gás perdeu calor e que um trabalho foi realizado sobre ele, tanto ΔQ como ΔW são negativos.

Questão 08 – Letra C

Comentário: Vamos analisar cada afirmativa separadamente.

- I. Correta. O processo AB ocorre a volume constante. Como o trabalho é dado pela pressão x variação do volume, se o volume não varia, o trabalho é nulo.
- II. Incorreta. Da Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W = \Delta Q$$
 Logo, se 250 J de calor são fornecidos ao sistema, a variação da energia interna também é 250 J.
- III. Correta. Primeiramente, vamos calcular o trabalho que o gás realiza no processo BD.

$$\Delta W = p\Delta V = 8,0 \cdot 10^4 \cdot (5,0 - 2,0) \cdot 10^{-3} = 240\text{ J}$$
 Usando a Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W = (250 + 600) - 240 = 850 - 240 = 610\text{ J}$$
- IV. Incorreta. A variação da energia interna só depende dos estados inicial e final do sistema. Como tanto no processo ABD quanto no processo ACD os estados final e inicial são os mesmos, a variação da energia interna deve ser a mesma: 610 J.

Questão 09 – Letra C

Comentário: Em um processo adiabático, $Q = 0$, de modo que a variação da energia interna é igual ao recíproco do calor: $\Delta U = -W$. Em uma expansão adiabática, $W > 0$, de modo que a variação da energia interna é negativa, implicando redução de temperatura. Obviamente, a pressão do gás diminui na expansão adiabática, pois a temperatura e o volume do gás diminuem.

Questão 10 – Letra C

Comentário: Vamos analisar cada alternativa separadamente.

- I. Incorreta. Durante a mudança de fase, sob pressão constante, a temperatura não varia.
- II. Correta. Como o gás é perfeito, tem-se como válida a seguinte relação.

$$\frac{pV}{T} = \text{Constante}$$

Em que p representa a pressão, V o volume e T a temperatura. Logo, para uma pressão constante, um aumento na temperatura implica um aumento no volume.

- III. Correta. De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

Logo, para não haver variação na energia interna, o gás deve realizar um trabalho correspondente à quantidade de calor que ele recebeu.

- IV. Incorreta. Em um processo isocórico, o volume permanece constante ao passo que a temperatura e a pressão variam.

Questão 11 – Letra B

Comentário: As variações de energia interna do gás no processo isocórico AC e no processo adiabático AB são iguais, pois as variações de temperatura são iguais nesses dois processos. Assim, como a variação da energia interna no processo AC é $\Delta U_{AC} = -40\text{ J}$, então, no processo AB, temos $\Delta U_{AB} = -40,0\text{ J}$. Como não há troca de calor no processo AB, concluímos que, de acordo com a equação da Primeira Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q - W$), que a variação de energia interna é igual ao recíproco do trabalho. Assim, $W_{AB} = +40,0\text{ J}$. Pode-se afirmar que $\Delta U = Q$ no processo AC, pois não há trabalho no processo AC. Assim, de acordo com a equação da Primeira Lei, temos $Q_{AC} = -40,0\text{ J}$.

Questão 12 – Letra C

Comentário: No processo acb, os valores do calor $Q = +100\text{ cal}$ e do trabalho $W = +40\text{ cal}$, substituídos na equação da Primeira Lei da Termodinâmica, levam à determinação da variação de energia interna:

$$\Delta U = Q - W = +100\text{ cal} - (+40\text{ cal}) = +60\text{ cal}$$

No processo adb, a variação da energia interna é a mesma do processo acb, pois o estado inicial "a" e o estado final "b" são comuns aos dois processos. Logo, para o processo acb, podemos escrever:

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow +60 = +72\text{ cal} - W \Rightarrow W = +12\text{ cal}$$

Questão 13

Comentário:

- A) No processo $1 \rightarrow 2$, não há variação no volume. Logo, não há variação de trabalho. Portanto, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, a variação da energia interna corresponde à variação na quantidade de calor, que, de acordo com o enunciado da questão, vale 200 J.
- B) Como o gás é perfeito, tem-se a validade da seguinte relação.
- $$\frac{2p_0V_0}{60} = \frac{p_02V_0}{T_5} \Rightarrow T_5 = 60 \text{ }^\circ\text{C}$$
- C) Como o gás é perfeito, a energia interna depende somente da temperatura e, como $T_5 = T_2$, então, a variação da energia interna no processo $1 \rightarrow 2$, que vale 200 J, é igual à variação da energia interna no processo $1 \rightarrow 5$.

Questão 14

Comentário:

- A) Como o gás é ideal, pode-se usar a seguinte relação:

$$\frac{pV}{T} = \text{Constante}$$

Substituindo os valores fornecidos no enunciado da questão, tem-se,

$$\frac{(1,0 \cdot 10^5) \cdot (2,0 \cdot 10^{-3})}{300} = \frac{(1,0 \cdot 10^5) \cdot (3,5 \cdot 10^{-3})}{T}$$

$$T = \frac{300 \cdot 3,5}{2,0} = 525 \text{ K}$$

- B) Primeiramente, vamos calcular o trabalho realizado pelo gás.

$$\Delta W = p \cdot \Delta V = (1,0 \cdot 10^5) \cdot (3,5 - 2,0) \cdot 10^{-3} = 150 \text{ J}$$

Usando a Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se:

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W = 375 - 150 = 225 \text{ J}$$

Questão 15

Comentário:

- A) Primeiramente, vamos calcular o trabalho realizado pelo gás.

$$\Delta W = p \cdot \Delta V = 10^5 \cdot (70 - 20) \cdot 10^{-4} = 500 \text{ J}$$

Agora, usando a Primeira Lei da Termodinâmica, tem-se:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W = 1000 + 500 = 1500 \text{ J}$$

- B) De acordo com o gráfico apresentado na questão, entre os estados B e C, não há variação do volume. Logo, a variação do trabalho é nula.

- C) Como o gás é perfeito, tem-se válida a seguinte equação:

$$\frac{pV}{T} = \text{Constante}$$

Substituindo os valores mostrados no gráfico, tem-se:

$$\frac{(10^5) \cdot (70 \cdot 10^{-4})}{350} = \frac{p \cdot (70 \cdot 10^{-4})}{700}$$

$$p = \frac{700 \cdot 10^5}{350} = 2,0 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Seção Enem

Questão 01 – Letra A

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 3

Habilidade: 10

Comentário: Devido à maior altitude das montanhas, à medida que o ar sobe pela encosta, a pressão atmosférica torna-se menor, causando uma expansão do ar. Como o movimento do ar é muito rápido, o processo pode ser considerado adiabático. Por isso, a expansão gera um resfriamento do ar. Essa frente fria provoca chuvas, de forma que um ar mais seco desce pela outra encosta. Sendo seco (higroscópico), esse ar absorve umidade do solo e da vegetação, causando a desertificação da região do outro lado da montanha.

Questão 02 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

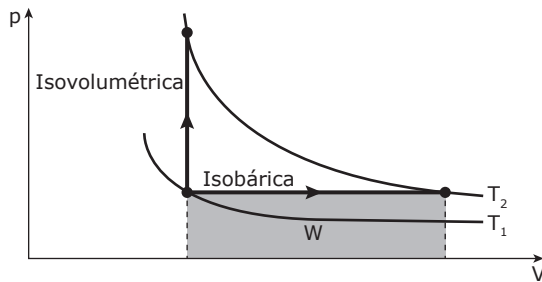
Habilidade: 21

Comentário: Nessa questão, a primeira transformação sofrida pelo ar foi isobárica, enquanto a segunda foi isovolumétrica. Como a variação de temperatura foi igual nas duas transformações, concluímos que a energia interna do ar aumentou a mesma quantidade nos dois casos. Porém, na primeira transformação sofrida pelo ar, o gás realizou um trabalho de expansão. Na segunda transformação, não houve realização de trabalho, pois não houve deslocamento do êmbolo. Dessa forma, o ar recebeu mais calor na transformação isobárica, já que o calor recebido pelo gás, nessa transformação, foi utilizado tanto para aumentar a energia interna do gás quanto para realizar o trabalho de elevação do êmbolo.

Podemos imaginar valores para facilitar a compreensão desse problema. Por exemplo, imagine que a elevação da energia interna do ar nos dois casos tenha sido $\Delta U = 1000 \text{ J}$ e que o trabalho de expansão do ar tenha sido $W = 200 \text{ J}$. Isso quer dizer que o ar, na transformação isobárica, recebeu um calor $Q = 1200 \text{ J}$, dos quais 1000 J foram usados para elevar a energia interna e 200 J foram despendidos para erguer o êmbolo. Na transformação isovolumétrica, o calor foi apenas $Q = 1000 \text{ J}$, sendo esse valor totalmente utilizado para o ar ter a sua energia interna aumentada.

O gráfico da pressão *versus* o volume mostrado a seguir também deve ser apresentado na resolução dessa questão, pois ele enriquece muito a discussão do problema. Observe que, tanto no processo isobárico quanto no processo isovolumétrico, as variações de temperatura do ar foram iguais e, portanto, as variações de energia interna do ar também foram iguais. Contudo, como já explicamos, o calor recebido pelo ar no processo isobárico foi maior porque o ar, nesse caso, realizou um trabalho de expansão. O valor desse trabalho é representado pela área abaixo da curva do processo isobárico, indicado pela linha horizontal que liga as duas isotermas de temperaturas inicial, T_1 , e final T_2 .

No caso do processo isovolumétrico, note que não existe área sob a curva do processo, que está indicado pela linha vertical que une as duas isotermas.



MÓDULO – C 04

Trabalho e Potencial Elétrico

Exercícios de Aprendizagem

Questão 01 – Letra B

Comentário: A energia potencial elétrica armazenada em um sistema composto por duas cargas elétricas é proporcional ao produto das cargas e à constante eletrostática, contudo, ela é inversamente proporcional à distância entre as cargas. Como no problema em questão as cargas estão se aproximando, logo, a distância entre elas está diminuindo. Portanto, a energia potencial elétrica do sistema aumenta.

Questão 02 – Letra A

Comentário: O potencial elétrico é uma grandeza escalar. Logo, o potencial elétrico resultante em um ponto P, devido a um conjunto de cargas, é calculado somando-se algebricamente os potenciais elétricos de cada uma das cargas que compõem o conjunto.

Questão 03 – Letra C

Comentário: No trecho AB, a força elétrica não realiza trabalho, pois o potencial elétrico nesse caminho é constante. Por isso, como a velocidade da carga é constante, o trabalho da força externa também deve ser nulo. No trecho BC, há variação no potencial elétrico, de modo que o trabalho da força elétrica é igual a:

$$W_{BC} = V_{BC} \cdot q = (3,0 - 1,0) \cdot 1,0 \cdot 10^{-6} = 2,0 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

Atenção, esse é o trabalho da força elétrica. O enunciado se refere ao trabalho da força externa. Como a velocidade deve ser constante, o trabalho total deve ser nulo. Assim, no trecho BC, o trabalho da força externa deve ser igual, mas de sinal oposto ao trabalho da força elétrica.

Questão 04 – Letra D

Comentário: Substituindo $V = +30 \text{ V}$ e $r = 3 \text{ cm}$ ($3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$) na equação $V = KQ/R$, obtemos o seguinte valor para a carga Q: $+30 = 9,0 \cdot 10^9 \cdot Q / (3,0 \cdot 10^{-2}) \Rightarrow Q = +1,0 \cdot 10^{-10} \text{ C} = +0,1 \cdot 10^{-9} \text{ C}$

Questão 05 – Letra C

Comentário: A velocidade do próton no ponto 2 (v_2) pode ser calculada pelo teorema trabalho-energia cinética:

$$W = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2)$$

O trabalho W, realizado pela força elétrica, pode ser obtido pela definição da diferença de potencial elétrico:

$$V_1 - V_2 = \Delta V = \frac{W}{q}$$

Substituindo a carga do próton $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ e a diferença de potencial $\Delta V = 32 \text{ V}$ nessa expressão, obtemos:

$$W = 32 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 5,12 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Substituindo esse trabalho, a massa ($m = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$) e a velocidade inicial do próton ($v_1 = 0$, pois o próton parte do repouso) na 1ª equação, obtemos a velocidade desejada:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2W}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,12 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-27}}} = 8,0 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

Esse problema pode ainda ser resolvido combinando a equação de Torricelli ($v_2^2 = 2 \cdot a \cdot d$) com as equações da Segunda Lei de Newton ($F = m \cdot a$) e do trabalho ($W = F \cdot d$):

$$v_2^2 = 2 \cdot \frac{F}{m} \cdot \frac{W}{F} = \frac{2W}{m} \Rightarrow v_2 = \sqrt{\frac{2W}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 5,12 \cdot 10^{-18}}{1,6 \cdot 10^{-27}}} = 8,0 \cdot 10^4 \text{ m/s}$$

Questão 06 – Letra C

Comentário: A energia potencial elétrica de um sistema com várias cargas é a soma das energias potenciais elétricas das cargas tomadas duas a duas em arranjo. Assim, para o sistema triplo dessa questão, temos:

$$E_{pe} = K \frac{Q \cdot Q}{L} + K \frac{Q \cdot Q}{L} + K \frac{Q \cdot Q}{2L} = \frac{5KQ^2}{2L} = 2,5 \frac{KQ^2}{L}$$

Questão 07 – Letra E

Comentário: Em uma região em que o campo elétrico é uniforme, a diferença de potencial elétrico é dada pelo produto do campo elétrico com a distância percorrida. Logo:

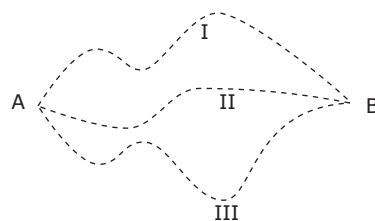
$$V_{MN} = E \cdot d = 120 \cdot 1,2 = 144 \text{ V}$$

Questão 08 – Soma = 29

Comentário:

01. Verdadeiro. Uma carga elétrica positiva, abandonada em um campo elétrico, comporta-se de forma semelhante a uma massa abandonada em um campo gravitacional. Da mesma forma que a massa cai, buscando potenciais gravitacionais mais baixos, a carga elétrica positiva desloca-se para pontos onde o potencial elétrico é mais baixo. Uma carga negativa, ao contrário, ao ser abandonada em um campo elétrico, desloca-se para potenciais mais elevados. Se existisse massa negativa, quando esta fosse solta a certa altura do solo, ela seria repelida pela Terra, e subiria, buscando potenciais gravitacionais mais altos.

02. Falso. Uma carga elétrica imersa em uma região onde existe um campo elétrico sofre uma força elétrica proveniente desse campo elétrico. Se a carga for positiva, essa força elétrica terá a mesma direção e o mesmo sentido do vetor campo elétrico no ponto onde a carga se acha, ou no ponto por onde a carga está passando, caso essa esteja em movimento. Se a carga for negativa, a força elétrica terá sentido oposto ao do vetor campo elétrico. No caso específico de uma carga ser abandonada do repouso em um campo elétrico uniforme (linhas de campo retilíneas e paralelas entre si), a carga irá entrar em movimento retilíneo uniformemente variado, cuja direção será a mesma das linhas do campo elétrico se a carga for positiva, e no sentido oposto, se a carga for negativa.
04. Verdadeiro. Como o nome sugere, uma superfície equipotencial é uma superfície onde o potencial elétrico é constante, isto é, todos os pontos dessa superfície acham-se no mesmo potencial elétrico. Portanto, quando uma carga se desloca ao longo de uma superfície equipotencial, o trabalho do campo elétrico é nulo, uma vez que a diferença de potencial entre pontos dessa superfície, definida pelo quociente trabalho/carga, é nulo. Para isso ocorrer, a força elétrica sobre a carga deve ser perpendicular ao deslocamento da carga. Assim, o campo elétrico, cuja direção é a mesma da força elétrica, é também perpendicular à superfície equipotencial.
08. Verdadeiro. Todo campo de força conservativa é associado ao conceito de potencial e também ao conceito de energia potencial. O exemplo mais famoso é o campo gravitacional da Terra, que é associado à energia potencial gravitacional. A denominação de campo de força conservativa deve-se ao fato de que a energia potencial, associada ao campo, é convertida em energia cinética ou vice-versa, sempre que um corpo de prova se desloca nesse campo. Esse corpo de prova pode ser uma massa (no caso do campo gravitacional), uma carga elétrica (no caso de um campo elétrico), um bloco ligado em uma mola elástica (no caso de um campo de forças elásticas), etc.
16. Verdadeiro. Uma característica marcante de um campo conservativo é o fato de o trabalho do campo depender apenas do potencial inicial e do potencial final referentes ao deslocamento de um corpo, e não da trajetória desse deslocamento. Na mecânica, um exemplo famoso é a queda de um corpo de peso P abandonado de uma altura h e a descida desse corpo por um plano inclinado de mesma altura, de comprimento L e com um ângulo de inclinação θ em relação à horizontal. O trabalho realizado pelo peso na queda é $W = P \cdot h$, enquanto o trabalho do peso na descida pelo plano vale $W' = P \cdot \text{sen } \theta \cdot L$. Como $h = L \cdot \text{sen } \theta$, o trabalho é o mesmo nos dois casos. O trabalho não depende da trajetória, mas sim do nível inicial de energia potencial do objeto ($E_{pg} = mgh$) e do nível final ($E_{pg} = 0$). A mesma coisa acontece quando uma carga se desloca em um campo elétrico. Por exemplo, na figura a seguir, quando uma carga q sai do ponto A, onde potencial elétrico é V_A , e chega no ponto B, onde o potencial elétrico é V_B , os trabalhos realizados pelo campo nos três caminhos são iguais, e dados por $W_{AB} = (V_A - V_B) \cdot q$.



Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra C

Comentário: O potencial elétrico V a uma distância r de uma carga pontual Q pode ser encontrado por meio da seguinte equação:

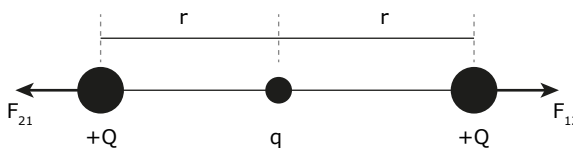
$$V = \frac{KQ}{r}$$

Substituindo na equação anterior os dados fornecidos no enunciado da questão, tem-se:

$$V = \frac{(9 \cdot 10^9) \cdot (6 \cdot 10^{-6})}{4 \cdot 10^8} = \frac{5,4 \cdot 10^4}{4 \cdot 10^8} = 1,35 \cdot 10^{-4} \text{ V}$$

Questão 02 – Letra C

Comentário: A imagem a seguir ilustra parcialmente o problema apresentado na questão.



Em que F_{12} é a força que a carga 1 faz na carga 2 e a força F_{21} é a força que a carga 2 faz na carga 1. De acordo com o enunciado da questão, o sistema se encontra em equilíbrio. Analisando a imagem, percebe-se que, para que as cargas 1 e 2 estejam em equilíbrio, é necessário que a resultante das forças que atuam sobre elas seja nula. A única forma de isso acontecer é a carga 3 sendo negativa, fazendo uma força de atração sobre as outras duas, e essa força deve ter módulo igual ao das forças F_{12} e F_{21} .

Sabe-se que a força elétrica é proporcional ao produto das cargas e à constante eletrostática, contudo, ela é inversamente proporcional ao quadrado da distância. Portanto, como a carga 3 se encontra na metade da distância entre as cargas 1 e 2, tem-se que o módulo da sua carga deve ser um quarto do valor das cargas 1 e 2.

Questão 03 – Letra C

Comentário: A energia potencial eletrostática entre duas cargas pode ser encontrada por meio da seguinte equação:

$$E_{PE} = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r}$$

Substituindo os valores apresentados na questão, tem-se:

$$E_{PE} = \frac{(9 \cdot 10^9) \cdot (5,0 \cdot 10^{-6}) \cdot (2,0 \cdot 10^{-6})}{0,3} = \frac{0,09}{0,3} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ J}$$

Questão 04 – Letra E

Comentário: A energia potencial eletrostática de um sistema constituído de três cargas pode ser encontrado por meio da seguinte equação:

$$E_{PE} = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r_{12}} + \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_3}{r_{13}} + \frac{K \cdot Q_2 \cdot Q_3}{r_{23}}$$

Como as cargas e as distâncias entre elas são iguais, a expressão anterior fica reduzida à seguinte equação:

$$E_{PE} = \frac{K \cdot Q^2}{d} + \frac{K \cdot Q^2}{d} + \frac{K \cdot Q^2}{d} = 3 \frac{K \cdot Q^2}{d}$$

Perceba que a energia potencial elétrica desse sistema é igual a três vezes a energia potencial elétrica entre duas dessas cargas. Portanto, a energia potencial elétrica total é $3 \cdot 0,8 = 2,4$ J.

Questão 05 – Letra A

Comentário: A distância da carga na qual o campo elétrico e o potencial elétrico são medidos na questão é dada pela seguinte equação:

$$d = \frac{V}{E} = \frac{18\,000}{9\,000} = 2 \text{ m}$$

O valor dessa carga elétrica é:

$$Q = \frac{d \cdot V}{k} = \frac{2 \cdot 18\,000}{9 \cdot 10^9} = \frac{36\,000}{9 \cdot 10^9} = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

Questão 06 – Letra D

Comentário: A partir da simplificação feita no enunciado, podemos admitir que o campo elétrico no tubo de raios catódicos é constante. Portanto, podemos utilizar a fórmula do potencial em função de um campo uniforme.

$$V = E \cdot d$$

$$25 \cdot 10^3 = E \cdot 5 \cdot 10^{-1}$$

$$E = 5 \cdot 10^4 \text{ Vm}^{-1}$$

Questão 07 – Letra A

Comentário: A carga positiva $q = +40 \cdot 10^{-6}$ C, de massa $m = 10^{-3}$ kg, ao ser acelerada desde o repouso a partir do ponto A (potencial $V_A = 300$ V) até o ponto B (potencial $V_B = 100$ V), colide no anteparo com a energia cinética:

$$E_{CB} = W_{AB} = (V_A - V_B) \cdot q = (300 - 100) \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 8,0 \cdot 10^{-3} \text{ J}$$

Essa energia cinética corresponde à seguinte velocidade:

$$E_{CB} = \frac{1}{2} m v_B^2 \Rightarrow 8,0 \cdot 10^{-3} = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} v_B^2 \Rightarrow v_B = 4 \text{ m/s}$$

Questão 08 – Letra E

Comentário: Aplicando as equações do campo e do potencial elétrico gerados por uma carga pontual, e substituindo os dados dessa questão, obtemos um sistema de duas equações e duas incógnitas, a carga Q e a distância D , conforme apresentado a seguir:

$$\text{Campo elétrico: } E = \frac{KQ}{D^2} \Rightarrow 360 = \frac{KQ}{D^2} \Rightarrow KQ = 360 \cdot D^2$$

$$\text{Potencial elétrico: } V = \frac{KQ}{D} \Rightarrow 180 = \frac{KQ}{D}$$

Substituindo a 1ª equação na 2ª equação, obtemos:

$$180 = \frac{360 \cdot D^2}{D} \Rightarrow D = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Portanto, } KQ = 180 \cdot 0,50 = 90 \Rightarrow 9,0 \cdot 10^9 \cdot Q = 90 \\ Q = 10 \cdot 10^{-9} \text{ C}$$

Como 1 n (1 nano) = 10^{-9} , então $Q = 10$ nC.

Questão 09 – Letra C

Comentário: Vamos analisar cada alternativa.

A) Incorreta. A diferença de potencial a ser medida com os dois microeletrodos posicionados no fluido extracelular será nula.

B) Incorreta. Considerando o campo elétrico uniforme na membrana, temos que:

$$V = E \cdot d \Rightarrow 70 \cdot 10^{-2} = 7,5 \cdot 10^{-6} \cdot d$$

$$d = 93 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 93 \text{ \AA}$$

C) Correta. Como o Ca^{++} possui uma carga total que é o dobro da carga elementar a partir da relação entre força, campo elétrico e carga, pode-se descobrir a força:

$$F = q \cdot E = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 7,5 \cdot 10^6$$

$$F = 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ N}$$

D) Incorreta. A energia potencial elétrica adquirida por um íon K^+ é dada por:

$$E = V \cdot q = 70 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 1,12 \cdot 10^{-20}$$

E) Incorreta. O íon K^+ sob a ação exclusiva da força elétrica descreveria obrigatoriamente um movimento acelerado, e não retilíneo uniforme.

Questão 10

Comentário:

A) Usando a equação $V = E \cdot d$, temos:

$$V_{AB} = E \cdot d_{AB} = 100 \cdot 0,10 = 10 \text{ V}$$

$V_{BC} = 0$, pois os pontos B e C acham-se sobre uma mesma superfície equipotencial (planos perpendiculares às linhas de força do campo elétrico).

$V_{AC} = V_{AB} = 10$ V, pois os pontos B e C estão sobre a mesma superfície equipotencial.

B) Usando a equação $E = F/q$, temos:

$$100 = F/1,0 \cdot 10^{-6} \Rightarrow F = 1,0 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

O trabalho pode ser calculado por:

$$W_{AC} = W_{AB} + W_{BC} = F \cdot d_{AB} + 0 = 1,0 \cdot 10^{-4} \cdot 0,10 = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ J}$$

Ou, ainda, por:

$$V_{AC} = W_{AC} / q \Rightarrow 10 = W_{AC} / 1,0 \cdot 10^{-6} \Rightarrow W_{AC} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ J}$$

Questão 11

Comentário:

A) O trabalho W da força elétrica é dado por:

$$W = q(V_A - V_B)$$
$$-40 = 20 \cdot 10^{-3}(100 - V_B)$$
$$-2\,000 = 100 - V_B$$
$$V_B = 2\,100 \text{ V}$$

B) A energia E pedida é dada por:

$$E = q \cdot V_B$$
$$E = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 2,1 \cdot 10^3 \cdot 42 \text{ J}$$

C) No campo elétrico uniforme:

$$V_{AB} = V_B - V_A = 2\,100 - 100$$
$$V_{AB} = E \cdot d_{AB}$$
$$2\,000 = 1 \cdot 10^3 d_{AB}$$
$$d_{AB} = 2,0 \text{ m}$$

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: O campo elétrico E , entre duas nuvens ou entre o solo e uma nuvem, pode ser considerado uniforme, e a diferença de potencial V entre esses elementos é dada por $V = E \cdot d$, sendo d a distância entre os elementos. No início do relâmpago, independentemente de este ser entre duas nuvens, de uma nuvem para o solo, ou do solo para uma nuvem, o valor do campo é constante e igual à rigidez dielétrica do ar, $3,0 \cdot 10^6 \text{ N/C}$. Portanto, V é diretamente proporcional a d . Assim, no início do relâmpago, a voltagem entre duas nuvens próximas é menor do que a voltagem entre uma nuvem e o solo (ou entre o solo e uma nuvem), pois a distância entre as nuvens é menor do que a distância entre a nuvem e o solo.

Usando a equação anterior, podemos estimar a voltagem entre uma nuvem e o solo, considerando que a nuvem esteja a uma altitude de 1 km, e vice-versa, no momento inicial de um relâmpago:

$$V = 3,0 \cdot 10^6 \cdot 1\,000 = 3,0 \cdot 10^9 \text{ volts (ordem de bilhões de volts)}$$

Essa voltagem decresce à medida que o relâmpago tem continuidade, pois as cargas dos dois elementos participantes do fenômeno diminuem, com uma tendendo a anular a outra.

Antes de o relâmpago ocorrer, há cargas, campo elétrico e d.d.p. entre os elementos. O relâmpago ainda não ocorreu porque o campo elétrico ainda não atingiu o valor da rigidez dielétrica do ar.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 5

Habilidade: 17

Comentário: Podemos calcular a potência elétrica gerada pelo sistema Terra / Ionosfera por meio da expressão $P = W/\Delta t$, em que W é o trabalho realizado pelo campo elétrico da Terra, e Δt é o intervalo de tempo gasto na realização desse trabalho. Esse intervalo é o tempo gasto no bombeamento da carga Q da atmosfera para a superfície da Terra.

O trabalho W pode ser avaliado pela equação $W = Q \cdot V = Q \cdot (E \cdot d)$, em que V e E são a voltagem e o campo elétrico entre a superfície da Terra e a ionosfera. O fator d é a distância entre a superfície da Terra e a ionosfera. Na verdade, a equação $V = E \cdot d$ é válida para E constante. Porém, de acordo com o enunciado da questão, o campo elétrico da Terra pode ser considerado constante, em uma primeira aproximação. Então, substituindo E por 100 V/m , Q por $3,0 \cdot 10^5 \text{ C}$, d por 50 km e Δt por 5 minutos (todos esses valores foram dados na questão), e fazendo as devidas adequações nas unidades (a unidade de minutos deve ser convertida para segundos, e a de quilômetros, para metros), obtemos:

$$P = (3,0 \cdot 10^5 \text{ C}) \cdot (100 \text{ V/m}) \cdot (50 \cdot 10^3 \text{ m}) / (5,60 \text{ s}) = 5 \cdot 10^9 \text{ watts} = 5 \cdot 10^3 \text{ MW}$$

(lembrando que $1 \text{ M} = 1 \text{ mega} = 10^6$)

Essa potência é bem alta, cerca de 2,5 vezes maior que a potência elétrica total das usinas nucleares de Angra dos Reis, que totalizam cerca de $2\,000 \text{ MW}$.

MÓDULO – C 05

Condutores

Exercícios de Aprendizagem

Questão 01 – Letra A

Comentário: No interior de um condutor, o campo elétrico é nulo devido ao fenômeno da blindagem eletrostática, também conhecido como gaiola de Faraday.

Questão 02 – Letra D

Comentário: Vamos analisar as afirmativas da questão.

Afirmativas 1 e 2:

Em um condutor eletrizado, mas em equilíbrio eletrostático, não há movimento direcionado de cargas livres. Isso ocorre porque o campo elétrico é nulo no interior do condutor. Na superfície do condutor, o campo possui valor não nulo, mas é perpendicular à superfície. Assim, a força elétrica, que age sobre uma carga livre na superfície, também é perpendicular à superfície e não produz deslocamento ordenado na carga. Dessa forma, a força elétrica não realiza trabalho sobre as cargas livres do condutor, seja porque a força é zero (interior do condutor), seja porque ela é perpendicular à superfície do condutor. Por isso, não há diferença de potencial elétrico no condutor.

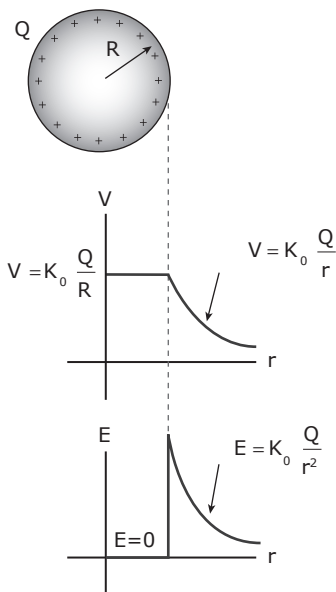
Afirmativa 3:

Em um condutor eletrizado, a carga tende a se acumular nas regiões pontiagudas. Portanto, a densidade superficial de carga é maior em pontos de raio de curvatura menor. Em virtude disso, o campo elétrico próximo às pontas do condutor é muito mais intenso que nas proximidades das regiões mais planas.

Diante da discussão anterior, conclui-se que as três afirmativas são corretas.

Questão 03 – Letra C

Comentário: A carga elétrica (positiva ou negativa) de uma esfera metálica em equilíbrio eletrostático (maciça ou oca) acha-se distribuída na superfície da esfera. Nessas circunstâncias, não há movimento de elétrons livres na casca esférica em nenhuma direção preferencial, de modo que o campo elétrico dentro da casca esférica é nulo (e também na parte oca). Como não há campo elétrico, não há força elétrica sobre cargas no interior da esfera, de modo que não há trabalho elétrico sobre essas cargas. Portanto, não há diferença de potencial elétrico no interior da esfera, ou seja, todos os pontos da esfera acham-se no mesmo potencial elétrico. Os pontos na superfície da esfera também apresentam esse mesmo valor de potencial elétrico. Para justificar isso, pense em uma carga movendo-se sobre a superfície da esfera. Como a força elétrica é perpendicular à superfície, pois o campo elétrico é perpendicular à superfície, a força é perpendicular ao deslocamento, de modo que não há realização de trabalho elétrico. Logo, não há diferença de potencial elétrico na superfície da esfera. A figura a seguir, que resume o mapeamento do campo e do potencial elétrico em uma esfera condutora em equilíbrio eletrostático. A figura mostra que o campo é nulo e que o potencial é constante dentro da esfera, mas que o campo decai a partir da superfície externa com o inverso do quadrado da distância ao centro da esfera, enquanto o potencial decai com o inverso dessa distância.



Questão 04 – Letra C

Comentário: Todo invólucro metálico protege os objetos em seu interior contra efeitos elétricos gerados exteriormente. Quando o pente eletrizado é aproximado da peneira metálica, há uma redistribuição das cargas livres na superfície desta, de forma que o campo elétrico resultante em seu interior – criado pelo pente e pela distribuição de cargas na superfície da peneira – seja nulo. Ou seja, a peneira de metal cria uma blindagem eletrostática para os objetos em seu interior.

Questão 05 – Letra E

Comentário: O campo elétrico é nulo no interior de qualquer condutor eletrizado e em equilíbrio eletrostático. Depois que esse equilíbrio é atingido, não há mais movimentação de cargas livres em nenhuma direção preferencial dentro do condutor. Isso demonstra que a carga do condutor, que se acha distribuída na superfície externa, não exerce força elétrica nas cargas internas. Por isso, o campo elétrico dentro do condutor é nulo.

Questão 06 – Letra B

Comentário: O campo elétrico em qualquer ponto interno à esfera vale zero. O potencial elétrico é constante dentro da esfera e é dado por:

$$V = KQ/R = 9,0 \cdot 10^9 \cdot 2,0 \cdot 10^{-8}/0,10 = 1,8 \cdot 10^3 \text{ V}$$

Questão 07 – Letra B

Comentário: Vamos analisar separadamente as alternativas.

- A) Como o potencial elétrico no interior da esfera é constante, não há diferença de potencial elétrico nem há realização de trabalho elétrico quando uma carga se move entre dois pontos situados dentro da esfera, como acontece no deslocamento de uma carga indo do centro da esfera ($r = 0$) até um ponto situado na metade da distância do centro à superfície externa da esfera ($r = R/2$).
- B) O trabalho W_{AB} realizado pela esfera condutora de raio R e carga Q sobre uma carga $-q_0$, que se desloca de um ponto A muito distante da esfera ($r_A \gg R$), onde o potencial elétrico é $V_A \approx 0$, até um ponto B sobre a superfície da esfera ($r_B = R$), onde o potencial é $V_B = K_0Q/R$, pode ser assim calculado:

$$V_A - V_B = \frac{W_{AB}}{-q_0} \Rightarrow 0 - K_0 \frac{Q}{R} = \frac{W_{AB}}{-q_0} \Rightarrow W_{AB} = -K_0 \frac{Qq_0}{R}$$

Portanto, o trabalho depende do raio da esfera.

- C) Durante o carregamento da esfera, esta não estará em equilíbrio eletrostático. Por isso, o potencial elétrico na esfera não apresentará o comportamento mostrado no gráfico.
- D) A densidade superficial de carga na esfera pode ser facilmente calculada a partir das informações dadas nessa questão. Para isso, basta dividir a carga da esfera (Q), que se acha uniformemente distribuída na sua superfície externa, pela área dessa superfície ($4\pi R^2$):
- $$\sigma = Q/4\pi R^2$$
- E) Como o potencial elétrico é constante dentro da esfera, não há diferença de potencial nessa região. Logo, não há trabalho elétrico sobre uma carga livre que se desloca dentro da esfera. Isso mostra que a força elétrica nessa carga é zero. Portanto, o campo elétrico dentro da esfera é zero, não havendo sentido em definir uma direção para esse campo no interior da esfera.

Questão 08 – Letra D

Comentário: Vamos analisar cada afirmativa separadamente.

- I. Correta. Em um condutor eletrizado, as cargas tendem a ficar afastadas uma das outras. Em uma esfera, a distribuição das cargas em excesso acontece na superfície externa, pois é nessa configuração que elas ficam mais distantes uma das outras.

- II. Correta. Em equilíbrio eletrostático, a resultante das forças elétricas é nula e, portanto, o campo elétrico também é nulo no interior do condutor.
- III. Correta. O campo elétrico na parte exterior à esfera possui direção radial, ou seja, perpendicular à superfície da esfera.
- IV. Correta. O potencial elétrico na superfície da esfera é igual ao potencial esférico no interior da esfera, contudo, ele é diferente do potencial elétrico no exterior da esfera. Ou seja, todos os pontos da superfície apresentam o mesmo potencial elétrico.
- V. Incorreta. Para se eletrizar um corpo, é necessário que ele perca ou ganhe cargas negativas. Se ele perde carga negativa, ele fica carregado positivamente, se ele ganha carga negativa, ele fica carregado negativamente. Não é possível perder ou ganhar cargas positivas, pois elas estão fortemente ligadas ao núcleo dos átomos.

Exercícios Propostos

Questão 01 – Letra E

Comentário: Vamos analisar cada afirmativa separadamente.

- I. Correta. O potencial elétrico é constante em todos os pontos na superfície externa de um condutor esférico, logo, a superfície externa define uma superfície equipotencial.
- II. Correta. O campo elétrico na superfície externa de um condutor esférico possui direção radial, pois as cargas estão distribuídas uniformemente na superfície externa do condutor. Portanto, o campo elétrico é perpendicular à superfície.
- III. Correta. Em equilíbrio eletrostático, a resultante das forças elétricas é nula e, portanto, o campo elétrico no interior do condutor também é nulo.

Questão 02 – Letra C

Comentário: Na parte externa da esfera condutora eletrizada, há campo e potencial elétrico. Ambos diminuem em função do aumento da distância r ao centro da esfera:

$$E = K_0 \frac{Q}{r^2} \quad \text{e} \quad V = K_0 \frac{Q}{r}$$

Para $Q = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ (carga da esfera), $K_0 = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$ (constante eletrostática do vácuo, que é aproximadamente igual à do ar) e $r = 3 \text{ cm} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}$ (distância do ponto P ao centro da esfera), temos:

$$E_p = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-2})^2} = 2 \cdot 10^7 \text{ N/C e}$$

$$V_p = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-6}}{3 \cdot 10^{-2}} = 6 \cdot 10^5 \text{ V}$$

A força elétrica sobre uma carga $q = 5 \text{ nC} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ colocada em P é:

$$F_p = E_p q = 2 \cdot 10^7 \cdot 5 \cdot 10^{-9} = 1 \cdot 10^{-1} \text{ N}$$

Como a carga q é muito menor que a carga Q ($Q/q = 1000$ vezes menor), a carga q praticamente não altera a distribuição de cargas na superfície da esfera. É por isso que nós podemos usar o campo elétrico dado pela equação $E = K_0 Q/r^2$ para calcular a força elétrica sobre a carga q .

Questão 03 – Letra D

Comentário: O potencial elétrico no ponto P é dado pela seguinte equação:

$$V = \frac{kQ}{r} \Rightarrow kQ = Vr = 10 \cdot 1,6 = 16 \text{ V.m}$$

Após a casca esférica ter sofrido uma diminuição do raio em 4 vezes, o potencial interno da casca esférica é:

$$V = \frac{kQ}{R} = \frac{16}{0,01} = 1600 \text{ V}$$

E o novo potencial externo é:

$$V = \frac{kQ}{r} = \frac{16}{1,57} = 10,19 \text{ V}$$

Portanto, a diferença de potencial é $16000 - 10,19 = 1,59 \text{ kV}$

Questão 04 – Letra B

Comentário: Vamos analisar cada afirmativa separadamente.

- I. Incorreta. Dentro de um condutor eletrizado, o campo elétrico é nulo, contudo, o potencial elétrico é diferente de zero e tem valor igual ao da superfície.
- II. Incorreta. O campo elétrico e o potencial elétrico na superfície externa de uma esfera condutora podem ser encontrados por meio das seguintes equações:

$$E = \frac{kQ}{R^2} \quad \text{e} \quad V = \frac{kQ}{R}$$

Substituindo a segunda equação na primeira, tem-se que o campo elétrico na superfície externa é:

$$E_b = \frac{V_b R}{R^2} = \frac{V_b}{R}$$

Mas na superfície interna o campo elétrico é nulo. Portanto, fazendo uma média, tem-se que o campo elétrico é:

$$E_b = (0 + \frac{V_b}{R}) / 2 = \frac{V_b}{2R}$$

- III. Incorreta. Usando a primeira equação da afirmação II, tem-se que o campo elétrico no ponto C é:

$$V = \frac{kQ}{2R}$$

- IV. Correta. O campo elétrico e o potencial elétrico na parte externa da esfera podem ser encontrados por meio das seguintes equações:

$$E = \frac{kQ}{r^2} \quad \text{e} \quad V = \frac{kQ}{r}$$

No ponto C, tem-se que $r = 2R$. Logo:

$$E_c = \frac{V_c 2R}{4R^2} = \frac{V_c}{2R}$$

Questão 05 – Letra B

Comentário: Como o enunciado apresenta que a esfera é condutora, pode-se inferir que o campo elétrico no seu interior, ou seja, qualquer ponto situado a uma distância menor que R do centro da esfera, é nulo. Já o potencial no interior da esfera, como não há movimento de carga, deve ser constante e igual ao potencial na sua superfície. Portanto, tem-se que:

$$U = \frac{kQ}{R}, \quad \text{em que} \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}, \quad Q = q \quad \text{e} \quad R = R.$$

Logo:

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}$$

Questão 06

Comentário:

- A) Considere como D a rigidez dielétrica em uma determinada região. A carga máxima armazenada em um condutor esférico pode ser encontrada por meio da seguinte equação:

$$Q = \frac{DR^2}{k} = \frac{(3,0 \cdot 10^6)(0,3)^2}{9 \cdot 10^9} = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

- B) O potencial elétrico na superfície do condutor é:

$$V = \frac{kQ}{R} = \frac{(9 \cdot 10^9)(3,0 \cdot 10^{-5})}{0,3} = 9,0 \cdot 10^5 \text{ V}$$

Questão 07

Comentário:

- A) O campo elétrico no centro da esfera devido somente à carga q é dado pela seguinte equação:

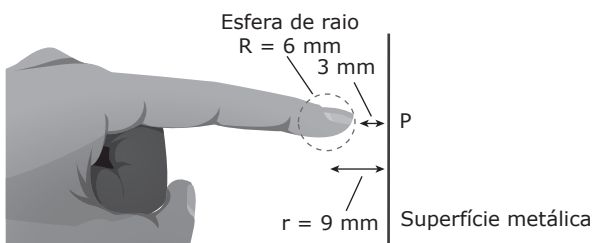
$$E = \frac{kq}{r^2} = \frac{(9 \cdot 10^9)(4,0 \cdot 10^{-6})}{0,20^2} = \frac{36 \cdot 10^3}{0,04} = 9 \cdot 10^5 \text{ V/m}$$

Direção da reta que liga o centro da esfera com a carga q e sentido para a esquerda, pois a carga q é positiva.

- B) No interior de um condutor em equilíbrio eletrostático, o campo elétrico total deve ser nulo, logo, o campo elétrico devido das cargas induzidas deve anular o campo elétrico devido da carga q . Portanto, o campo elétrico devido das cargas induzidas vale $9 \cdot 10^5 \text{ V/m}$, direção da reta que liga a carga q com o centro da esfera e sentido para a direita.

Questão 08 – Letra D

Comentário: De acordo com o texto dessa questão, o campo elétrico gerado pela ponta do dedo eletrizado é equivalente ao campo gerado por uma esfera de raio $R = 6 \text{ mm}$, uniformemente eletrizada com a metade da carga do dedo (figura a seguir).



Para calcular a carga no dedo, devemos impor que o campo elétrico gerado pelo dedo no ponto P situado sobre uma superfície metálica distante 3 mm do dedo seja igual à rigidez dielétrica do ar, $E = 3 \cdot 10^6 \text{ N/C}$. Substituindo os dados na equação do campo elétrico de uma esfera, obtemos a seguinte carga na esfera:

$$E = K_0 \frac{Q}{r^2} \Rightarrow 3 \cdot 10^6 = 9 \cdot 10^9 \frac{Q}{0,009^2} \Rightarrow Q = 2,7 \cdot 10^{-8} \text{ C}$$

A carga no dedo é a metade desse valor: $q = Q/2 = 1,35 \cdot 10^{-8} \text{ C}$.

É difícil, se não impossível, obter a fórmula para calcular o campo elétrico de um dedo eletrizado. No entanto, o campo elétrico do dedo, modelado como se fosse equivalente ao de uma esfera com o dobro de carga, pode produzir resultados com boa precisão.

Questão 09

Comentário: De acordo com o princípio da conservação da carga elétrica, a soma das cargas finais nas duas esferas deve ser igual à soma das cargas iniciais:

$$Q_1 + Q_2 = 3,0 \mu\text{C}$$

Além disso, depois de atingido o equilíbrio eletrostático, as esferas apresentam os mesmos potenciais elétricos:

$$K_0 \frac{Q_1}{R_1} = K_0 \frac{Q_2}{R_2} \Rightarrow \frac{Q_1}{5,0} = \frac{Q_2}{10,0} \Rightarrow Q_2 = 2 \cdot Q_1$$

Combinando as duas equações, obtemos $Q_1 = 1,0 \mu\text{C}$ e $Q_2 = 2,0 \mu\text{C}$. A resolução desse sistema pode ser feita sem a necessidade de converter as cargas de microcoulomb para coulomb, nem as distâncias de centímetro para metro.

Seção Enem

Questão 01 – Letra B

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: A melhor resposta para essa questão é a alternativa B, que associa o não funcionamento do celular ao fenômeno da blindagem eletrostática. Porém, a rigor, a blindagem eletrostática aplica-se apenas a situações em que existe um equilíbrio eletrostático de cargas, de forma que a configuração de campo elétrico do problema não varie no tempo. Esse é o caso, por exemplo, da clássica experiência em que um pente eletrizado não consegue exercer força de atração elétrica sobre pedacinhos de papel picados dentro de um invólucro metálico, como uma peneira de alumínio. No caso dessa questão, devemos nos lembrar de que uma antena transmite sinais de rádios em direção ao celular que se acha dentro da caixa metálica. Esses sinais são ondas eletromagnéticas do tipo UHF (frequência ultra-alta), de frequência entre 300 MHz e 3 000 MHz . Esses sinais, como qualquer outra onda eletromagnética, são formados por campos elétricos e magnéticos de intensidades variáveis no espaço e no tempo. Por isso, não existe equilíbrio eletrostático na caixa metálica que abriga o aparelho celular quando o sinal eletromagnético da antena tenta penetrar no interior da caixa. Mesmo assim, o sinal penetra muito pouco nas paredes da caixa, pois há uma espécie de aumento da resistência elétrica das paredes metálicas. Esse fenômeno é conhecido como efeito *skin* ou efeito pelicular. A resistência à penetração do sinal eletromagnético depende do material metálico da caixa, como também da frequência do sinal. Quando a frequência é muito alta, como a dos sinais de celulares, a penetração nas paredes de um invólucro metálico é muito pequena. Maiores detalhes e outros exemplos referentes ao efeito *skin* podem ser obtidos na leitura complementar apresentada no Caderno Extra do módulo C05.

Questão 02 – Letra D

Eixo cognitivo: III

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Durante uma tempestade, estando em casa, devemos nos afastar de janelas e de portas metálicas, pois esses corpos podem atrair descargas elétricas. O mesmo é válido para telefones com fios, que podem conduzir e transmitir descargas elétricas fatais ao usuário. Fora de casa, é importante evitar lugares descampados e topos de morros, pois uma pessoa de pé atuaria como um para-raios, atraindo descargas elétricas. É por isso que os jogadores de futebol em estádios desprovidos de para-raios costumam se jogar no chão quando ocorrem raios nas proximidades do campo. Durante uma tempestade com raios, não é uma boa ideia ficar debaixo de árvores, pois uma árvore alta age como um para-raios. Uma descarga elétrica que por ventura venha a atingir uma árvore tem grande chance de ser conduzida até a pessoa que se abriga sobre ela. Ao contrário, abrigar-se dentro de carros é uma boa ideia, pois o carro, sendo metálico, age como um escudo contra as descargas elétricas das tempestades. A explicação disso não é exatamente a blindagem eletrostática, embora muitos textos de Física tratem o problema sob essa perspectiva. A diferença de potencial entre uma nuvem e o solo, logo que um raio principia, é muito grande. Ao final de uma fração de segundo, o raio desaparece e a diferença de potencial entre a nuvem e o solo tende a zero. Por isso, o raio pode ser tratado como um sinal eletromagnético de frequência alta. A não penetração desse sinal dentro do carro, como explicado na resolução da questão 01, é devido ao efeito *skin*. Uma explicação mais detalhada da proteção que um carro metálico exerce contra descargas elétricas acha-se na leitura complementar do Caderno Extra, do módulo C05.

Questão 03 – Letra C

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: O pente, eletrizado por atrito com a lã, atrai os pedacinhos de papel porque estes ficam polarizados devido à ação do pente. Surge, então, uma distribuição de cargas de sinais opostos nas extremidades dos pedacinhos de papel. Como o pente eletrizado cria um campo elétrico variável no espaço (e constante no tempo), a força de atração elétrica que age na extremidade mais próxima de um pedacinho de papel é maior do que a força de repulsão elétrica que age na outra extremidade. Quando os papéis são cobertos com a peneira metálica, ocorre uma redistribuição de cargas elétricas na superfície da peneira, de forma que a resultante entre o campo elétrico gerado por essa distribuição de cargas e o campo elétrico gerado pelo pente seja nula em todos os pontos do interior da peneira. Por isso, os pedacinhos de papel não são mais atraídos pelo pente. Esse fenômeno é conhecido como blindagem eletrostática. Quando uma peneira de plástico é usada, não há blindagem eletrostática sobre os pedacinhos de papel, pois, sendo a peneira constituída de um material isolante, as cargas elétricas em sua superfície não podem se movimentar e estabelecer uma redistribuição de cargas capaz de anular o campo elétrico do pente dentro da peneira. Por isso, os pedacinhos de papel são atraídos normalmente.

MÓDULO – C 06

Corrente Elétrica

Exercícios de Aprendizagem

Questão 01 – Letra E

Comentário: A carga da bateria $Q = 1\,000\text{ mAh}$, em coulombs, é igual a:

$$Q = 1\,000 \cdot 10^{-3} \frac{\text{C}}{\text{s}} 3\,600\text{ s} = 3\,600\text{ C}$$

Essa carga corresponde a uma quantidade de elétrons igual a:

$$Q = N \cdot e \Rightarrow 3\,600\text{ C} = N \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C} \Rightarrow N = 2,25 \cdot 10^{22}\text{ elétrons}$$

Outra maneira de calcular esse número de elétrons seria substituir a corrente de $1,000\text{ A}$ e o tempo de $3\,600\text{ s}$ diretamente na fórmula da corrente elétrica:

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{N \cdot e}{\Delta t} \Rightarrow 1,000 = \frac{N \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}}{3\,600} \Rightarrow N = 2,25 \cdot 10^{22}\text{ elétrons}$$

Questão 02 – Letra A

Comentário: Inicialmente, a corrente elétrica é $I_1 = 6/(400 \cdot 10^3) = 15 \cdot 10^{-6}\text{ A} = 15\ \mu\text{A}$. Posteriormente, a corrente elétrica torna-se $I_2 = 6/(300 \cdot 10^3) = 20 \cdot 10^{-6}\text{ A} = 20\ \mu\text{A}$. Portanto, a variação da corrente é $\Delta I = 5\ \mu\text{A}$.

Questão 03 – Letra A

Comentário: Vamos analisar as alternativas.

- A) Se o chuveiro for alimentado com uma tensão de 127 V , a potência do chuveiro será de $4\,800\text{ W}$, implicando um consumo de $4\,800\text{ J}$ de energia elétrica a cada segundo de funcionamento do aparelho.
- B) e D) A corrente elétrica é $I = P/V = 4\,800/127 \approx 38\text{ A}$.
- C) A tensão nominal (adequada) do chuveiro é 127 V .

Questão 04 – Letra C

Comentário: A resistência média do ar pode ser encontrada por meio da seguinte equação:

$$R = \frac{V}{i} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^5} = 3\,000\ \Omega$$

Questão 05 – Letra A

Comentário: A potência elétrica dissipada por um aparelho ligado a uma tensão eficaz constante é uma grandeza proporcional à corrente elétrica que passa no circuito. A corrente elétrica desse circuito, ligado à mesma fonte de tensão, é, por sua vez, inversamente proporcional à resistência equivalente do circuito. Como o potenciômetro está ligado em série com a lâmpada, o valor da corrente elétrica que passa nos dois elementos é a mesma. Ao aumentar a resistência do potenciômetro, aumenta-se a resistência equivalente do sistema, e reduz-se, portanto, a corrente elétrica que passa pela lâmpada e, conseqüentemente, a potência dissipada por ela, que está associada ao seu brilho.

Questão 06 – Letra B

Comentário: Vamos analisar cada alternativa:

- A) De acordo com a equação $P = V \cdot I$, como a tensão elétrica V é constante (tensão de alimentação da casa), a potência P é diretamente proporcional à corrente I . Como a potência do chuveiro é maior que a potência do ferro, a corrente elétrica no chuveiro é maior que a corrente no ferro.
- B) De acordo com a equação $P = V^2/R$, como a tensão elétrica V é constante, a potência P é inversamente proporcional à resistência R . Como a potência da lâmpada é menor que a potência do chuveiro, a resistência elétrica da lâmpada é maior que a do chuveiro.
- C) A tensão a que estão submetidos os equipamentos é a mesma tensão oferecida pela rede elétrica.
- D) A potência da lâmpada (60 W) é menor que a potência do chuveiro (4 400 W).

Questão 07 – Letra D

Comentário: Sabe-se que a corrente elétrica é dada pela razão entre a carga total que passa por uma seção em um intervalo de tempo. Logo:

$$i = \frac{Q}{t} \Rightarrow Q = i \cdot t = 1,2 \cdot 10^4 \cdot 25 \cdot 10^{-6} = 0,3 \text{ C}$$

Questão 08 – Letra C

Comentário: A quantidade de carga transportada em 0,5 s por uma corrente de 300 000 A vale:

$$Q = I \Delta t = 300\,000 \cdot 0,5 \Rightarrow Q = 150\,000 \text{ C}$$

Essa carga representa a seguinte fração da carga Q_T da Terra:

$$Q/Q_T = 150\,000/600\,000 = 0,25$$

Portanto, um raio de 300 000 A com duração de 0,5 s pode compensar 1/4 da carga elétrica total da Terra.

Exercícios Propostos**Questão 01 – Letra C**

Comentário: Vamos analisar as alternativas separadamente.

- A) A resistência elétrica da barra é a razão entre a tensão elétrica e a corrente na barra:
- $$R = V/I = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ V} / 11,40 \text{ A} = 4,39 \cdot 10^{-5} \Omega$$
- (que é muito menor que 150 Ω)
- B) e D) A condutividade elétrica, assim como a resistividade elétrica, não depende da geometria do corpo, mas sim do material constituinte do corpo.
- C) A condutividade elétrica pode ser obtida por meio da equação:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Substituindo a resistência elétrica da barra e o seu comprimento e seção transversal nessa equação, obtemos a condutividade elétrica ($1/\rho$):

$$\frac{1}{\rho} = \frac{L}{R A} = \frac{1,0}{4,39 \cdot 10^{-5} \cdot (0,02 \cdot 0,02)} = 5,70 \cdot 10^7 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$$

- E) O voltímetro é essencial nessa experiência, pois ele fornece o valor da tensão na barra. O amperímetro também é essencial, pois ele fornece a corrente elétrica. O quociente da tensão pela corrente elétrica é a resistência elétrica, que, juntamente com a geométrica da barra, é usada para a determinação da condutividade elétrica da barra.

Questão 02 – Letra A

Comentário: Primeiramente, vamos calcular a carga de um feixe.

$Q = n$. de pacotes \times n . de prótons por pacote \times carga do próton

$$Q = 3\,000 \cdot 10^{11} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

O tempo que o feixe gasta para percorrer o anel é:

$$t = \frac{d}{v} = \frac{3 \cdot 10^4}{3 \cdot 10^8} = 10^{-4} \text{ s}$$

Sendo assim, o feixe do CERN equivale a uma corrente de:

$$i = \frac{Q}{t} = \frac{4,8 \cdot 10^{-5}}{10^{-4}} = 0,48 \text{ A}, \text{ ou seja, uma ordem de grandeza de } 10^0 \text{ A, correspondendo à alternativa A.}$$

Questão 03 – Letra C

Comentário: A resistência elétrica da lâmpada e a potência dissipada por ela são dadas pelas seguintes equações:

$$R = \frac{V}{i} = \frac{12}{0,5} = 24 \Omega$$

$$P = Vi = 12 \cdot 0,5 = 6 \text{ W}$$

Questão 04 – Letra C

Comentário: A resistência elétrica de um material pode ser encontrada por meio da seguinte equação:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Em que ρ é a resistividade do material, L o comprimento e A a área da seção reta transversal. Para que as resistências do primeiro e do segundo fio sejam iguais, tem-se que $R_1 = R_2$. Logo:

$$\frac{\rho_2 L / 2}{\pi(R/3)^2} = \frac{\rho_1 L}{\pi R^2} \Rightarrow \frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{2}{9}$$

Questão 05 – Letra E

Comentário: A corrente elétrica que passa entre as duas mãos do pescador é dada pela seguinte equação:

$$i = \frac{V}{R} = \frac{1\,500}{1\,000} = 1,5 \text{ A}$$

Esse valor corresponde ao triplo de 500 mA = 0,5 A que é a corrente necessária para provocar fibrilação ventricular.

Questão 06 – Letra C

Comentário: Sabe-se que a corrente elétrica é dada pela carga por intervalo de tempo. Logo, o tempo gasto para descarregar a bateria vale:

$$i = \frac{Q}{t} \Rightarrow t = \frac{Q}{i} = \frac{0,8}{3,2} = 0,25 \text{ h} = 0,25 \cdot 60 \text{ min} = 15 \text{ min}$$

Questão 07 – Letra B

Comentário: Primeiramente, vamos calcular a potência dissipada pelo aquecedor em um segundo.

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{120^2}{14,4} = 1\,000 \text{ W}$$

Ou seja, 1 000 J de energia são dissipados em 1 segundo. Em um mês, o aquecedor é utilizado por $3 \cdot 30 = 90$ h.

Se o valor de R\$ 0,25 é cobrado por 1 kW.h, então, para 1 000 W.90 h = 90 kW.h, serão cobrados:

$$\begin{aligned} \text{R\$ } 0,25 & \quad \text{---} \quad 1 \text{ kWh} \\ \text{R\$ } x & \quad \text{---} \quad 90 \text{ kWh} \\ x = 90 \cdot 0,25 & = \text{R\$ } 22,50 \end{aligned}$$

Questão 08 – Letra E

Comentário: Primeiramente, vamos calcular a carga total que atravessa o peito do ser humano para uma corrente de 0,3 A em um intervalo de tempo de 2,0 min = $2,0 \cdot 60 = 120$ s.

$$Q = i \cdot t = 0,3 \cdot 120 = 36 \text{ C}$$

De acordo com o dado fornecido na questão, um elétron possui a carga de $1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Logo, em 36 C, tem-se:

$$n_e = \frac{Q}{e} = \frac{36}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 2,25 \cdot 10^{20}$$

Questão 09 – Letra B

Comentário: Primeiro, vamos achar a resistência elétrica da torradeira:

$$R = \rho L/A = 1,2 \cdot 10^{-6} \Omega \text{m} \cdot 6,0 \text{ m} / 0,36 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 = 20 \Omega$$

Agora, podemos achar a potência elétrica da torradeira:

$$P = V^2/R = 120^2/20 = 720 \text{ W}$$

Em seguida, vamos calcular a energia consumida pela torradeira durante 1 mês:

$$E = P \Delta t = 0,720 \text{ kW} \cdot \frac{3}{60} \text{ h/dia} \cdot 30 \text{ dias} = 1,08 \text{ kWh}$$

Ao custo de R\$ 0,40 por kWh, o custo mensal da torradeira é:

$$\text{Custo} = 1,08 \text{ kWh} \cdot \text{R\$ } 0,40/\text{kWh} = \text{R\$ } 0,432$$

Questão 10 – Letra A

Comentário: De acordo com o gráfico dessa questão, tiramos que a potência elétrica da TV é de 600 W. A energia mensal economizada para cada 2 h que a TV fica desligada é:

$$E = P \cdot \Delta t = 0,600 \text{ kW} \cdot (2 \text{ h/dia}) \cdot 30 \text{ dias} = 36 \text{ kWh}$$

Ao custo de R\$ 0,50 kWh, a economia mensal é:

$$36 \text{ kWh} \cdot \text{R\$ } 0,50 = \text{R\$ } 18,00.$$

Questão 11 – Letra A

Comentário: De acordo com o gráfico da questão, para uma diferença de potencial de 10 mV, as correntes elétricas nos fios A e B são, respectivamente, 1,0 A e 0,25 A. As resistências elétricas dos dois fios para esses valores de corrente e d.d.p. são:

$$R_A = \frac{V_A}{i_A} = \frac{0,01}{1,0} = 0,01 \Omega$$

$$R_B = \frac{V_B}{i_B} = \frac{0,01}{0,25} = 0,04 \Omega$$

Sabe-se que a resistência de um dado material é proporcional à sua resistividade x o comprimento e é inversamente proporcional à área da seção reta.

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

Ou seja, a resistência é inversamente proporcional ao quadrado do diâmetro e , conseqüentemente, o diâmetro é inversamente proporcional à raiz quadrada da resistência. De acordo com o texto da questão, os cilindros possuem mesmo comprimento e mesma resistividade, logo, como R_B é quatro vezes maior que R_A , então, d_A é raiz de quatro vezes maior que d_B , ou seja, d_A é igual ao dobro de d_B .

Questão 12

Comentário:

A) De acordo com o gráfico da questão, uma diferença de potencial de 0,4 V corresponde a uma capacidade específica de 20 mAh/g. De acordo com o texto da questão, a capacidade específica é dada pela razão da carga por massa.

$$C = \frac{Q}{m} \Rightarrow Q = m \cdot C$$

Para uma massa de 5,0 g, a carga total vale:

$$Q = 5,0 \cdot 20 = 100 \text{ mAh}$$

Sabe-se que a corrente média é dada pela razão da carga por intervalo de tempo. Logo:

$$i = \frac{Q}{t} = \frac{100}{4} = 25 \text{ mA}$$

B) Analisando o gráfico novamente, tem-se que uma capacidade específica de 10 mAh/g corresponde a uma diferença de potencial de 0,2 V. A potência elétrica pode ser encontrada por meio do produto da diferença de potência com a corrente.

$$P = V \cdot i = 0,2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ W}$$

Questão 13

Comentário: Sabe-se que a corrente elétrica é dada pela razão entre a carga que passa em uma seção por intervalo de tempo. Logo:

$$i_+ = \frac{N_+ Q_+}{t} = \frac{5,0 \cdot 10^{15} \cdot 2e}{1} = 1,0 \cdot 10^{16} \frac{e}{s}$$

$$i_- = \frac{N_- Q_-}{t} = \frac{4,0 \cdot 10^{16} \cdot e}{1} = 4,0 \cdot 10^{16} \frac{e}{s}$$

Sabendo que a carga do elétron vale $1,6 \cdot 10^{-19}$ C, tem-se que a carga total que passa por uma seção em um intervalo de tempo é:

$$i = i_+ + i_- = (1,0 \cdot 10^{16} + 4,0 \cdot 10^{16}) \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 8,0 \text{ mA}$$

Seção Enem

Questão 01 – Letra D

Eixo cognitivo: II

Competência de área: 6

Habilidade: 21

Comentário: Pelo enunciado,

$$V_{\text{enguia}} = 600 \text{ V}$$

$$I_{\text{enguia}} = 2 \text{ A}$$

Logo,

$$P_{\text{enguia}} = V_{\text{enguia}} \cdot I_{\text{enguia}} \Rightarrow P_{\text{enguia}} = 600 \cdot 2 \Rightarrow P_{\text{enguia}} = 1 200 \text{ W}$$

O equipamento que possui a potencia elétrica é, portanto, a churrasqueira elétrica.

Questão 02 – Letra D**Eixo cognitivo:** IV**Competência de área:** 2**Habilidade:** 5

Comentário: A questão representa, por meio do gráfico e da função $V = 10i + i^2$, um resistor não ôhmico, ou seja, que não respeita a lei de Ohm, $V \propto i$, válida para resistores de resistência constante.

A resistência do resistor, seja ele ôhmico ou não, é dada por:

$$R = \frac{V}{i}$$

Como $V = 10i + i^2$, temos:

$$R = \frac{10i + i^2}{i}$$

Portanto, $R = 10 + i$.

Assim, a resistência do resistor não ôhmico citado é uma função linear da corrente, e o gráfico que melhor representa a função, de formato $y = B + Ax$, é o da alternativa D.

Questão 03 – Letra E**Eixo cognitivo:** III**Competência de área:** 5**Habilidade:** 17

Comentário: Para que o circuito atenda às exigências, é necessária uma associação paralela, pois, nesse tipo de associação, a tensão elétrica será a mesma em cada componente, e isso elimina as alternativas C e D, nas quais existem componentes em série. Além disso, o interruptor deve ser aplicado somente à lâmpada e, na alternativa A, o interruptor não afeta componente e, na B, além de ligar ou desligar a lâmpada, ele também pode ligar ou desligar a tomada. Por isso, essas duas alternativas também estão incorretas. Logo, o circuito correspondente é o da alternativa E.

Questão 04 – Letra E**Eixo cognitivo:** II**Competência de área:** 2**Habilidade:** 5

Comentário: A potência P do chuveiro modificado deve ser igual à potência P_0 do chuveiro original.

$$P_0 = P \Rightarrow \frac{V_0^2}{R_0} = \frac{V^2}{R} \Rightarrow \frac{R}{R_0} \Rightarrow \left(\frac{V}{V_0}\right)^2 \Rightarrow \frac{R}{R_0} = \left(\frac{220}{110}\right)^2 \Rightarrow R = 4R_0$$

Isso implica que a resistência do chuveiro modificado deve ser quatro vezes maior que a do chuveiro original.

Como a resistência original é $R_0 = \frac{\rho_0 L_0}{A_0}$, podemos quadruplicá-la,

reduzindo a área da seção reta do fio a $\frac{1}{4}$ da original.

$$R = 4R_0 \Rightarrow \frac{\rho_0 L_0}{A} = 4 \frac{\rho_0 L_0}{A_0} \Rightarrow A = \frac{A_0}{4}$$

Questão 05 – Letra D**Eixo cognitivo:** II**Competência de área:** 2**Habilidade:** 5

Comentário: Ao se ligar a chave, um campo elétrico é estabelecido quase instantaneamente em todos os pontos do fio, já que esse campo se propaga com a velocidade da luz no material. Os elétrons livres presentes no material iniciam um movimento ordenado no momento em que ficam submetidos a esse campo.

Questão 06 – Letra E**Eixo cognitivo:** III**Competência de área:** 5**Habilidade:** 17

Comentário: A resistência elétrica de um condutor com comprimento L , cuja área de seção transversal é igual a A , é dada por $R = \rho L/A$. O parâmetro ρ é a resistividade elétrica do condutor, valor que depende do material do qual o condutor é constituído. Uma unidade comum para a resistividade é o $\Omega \cdot \text{m}/\text{mm}^2$, em que Ω (ohm) é a unidade de resistência elétrica. O inverso da resistividade é a condutividade σ , cuja unidade é o $\text{mm}^2/(\text{m} \cdot \Omega)$. Portanto, a equação anterior também pode ser escrita como $R = (1/\sigma) \cdot L/A$. Para dois condutores de geometrias idênticas, isto é, com os mesmos valores de comprimento L e área de seção reta A , concluímos que a resistência R é inversamente proporcional à condutividade σ . Assim, um condutor de prata, material com a maior condutividade entre as substâncias listadas na tabela, será aquele que apresentará a menor resistência elétrica.

Na prova original do Enem, a unidade da condutividade elétrica σ foi escrita como $(\text{S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2)$. O símbolo S é uma unidade denominada de siemens. Naturalmente, como a condutividade elétrica σ é o inverso da resistividade elétrica ρ , a unidade de σ também é o inverso da unidade de ρ , de forma que $\text{S} \cdot \text{m}/\text{mm}^2 = \text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$, ou seja, $S = 1/\Omega = \Omega^{-1}$. De qualquer modo, o uso de S ou de $1/\Omega$ para compor a unidade da condutividade elétrica não interfere em nada na solução dessa questão

Questão 07 – Letra E**Eixo cognitivo:** III**Competência de área:** 5**Habilidade:** 17

Comentário: De acordo com as figuras, a leitura atual do relógio medidor de energia elétrica é de 2 783 kWh e a leitura do mesmo relógio no mês passado foi de 2 563 kWh. Então, o consumo mensal, dado pela diferença entre esses valores, vale 220 kWh. Ao custo de R\$ 0,20 por kWh consumido, concluímos que o preço da conta de luz referente ao mês é de R\$ 44,00 (produto entre 220 kWh e R\$ 0,20/kWh).

Questão 08 – Letra E**Eixo cognitivo:** V**Competência de área:** 6**Habilidade:** 23

Comentário: Inicialmente, vamos calcular o consumo de energia mensal, em kWh. Para isso, basta multiplicar a potência de cada equipamento, em kW, pelo tempo de uso mensal, em h, e somar todas as parcelas referentes aos equipamentos. Assim:

$$E = [1,5 \cdot 8 + 3,3 \cdot (1/3) + 0,2 \cdot 10 + 0,35 \cdot 10 + 0,10 \cdot 6] \cdot 30 \Rightarrow$$

$$E = 576 \text{ kWh}$$

Ao custo de R\$ 0,40/kWh, o gasto mensal de energia elétrica dessa casa é:

$$\text{Custo} = 576 \cdot 0,40 = \text{R\$ } 230,40$$

 **Bernoulli**
Colégio e Pré-vestibular

Rua Diorita, 43 - Prado

Belo Horizonte - MG

Tel.: (31) 3029-4949

www.bernoulli.com.br/sistema