

Essa aula aborda dois conceitos importantes no estudo da Física Térmica: temperatura e equilíbrio térmico.

Partir da concepção prévia dos alunos com relação à noção de temperatura – sensação tátil de quente e frio –, deixando claras a subjetividade e a limitação dessas sensações, bem como a necessidade de medidas objetivas, que só podem ser apuradas por meio de termômetros. É a observação da existência de propriedades termométricas dos materiais que permite a construção dos primeiros termômetros de coluna líquida com mercúrio e álcool. A escolha adequada dos pontos fixos permite a criação das escalas termométricas graduadas que facilitam a leitura direta de altura da coluna líquida e a identificação da temperatura correspondente.

Apresentar a evolução do conceito de temperatura, associando-a à agitação das partículas microscópicas que compõem a matéria e que levou à ideia de escala absoluta de temperatura – escala Kelvin. Conceituar calor como energia que se transfere espontaneamente do corpo mais quente (maior temperatura) para o corpo mais frio (menor temperatura).

Apresentar o conceito de equilíbrio térmico – quando dois ou mais corpos apresentam a mesma temperatura. Se possível, indicar a leitura da breve biografia do Conde Rumford, presente no box “Quer saber mais”, físico que relacionou pela primeira vez calor e movimento, iniciando o debate sobre o calor como uma forma de energia.

Embora as escalas possam apresentar graduações diferentes entre si, termômetros construídos de forma semelhante são equivalentes, e suas temperaturas podem ser convertidas mutuamente. Desenvolver com os alunos a conversão entre as três escalas atualmente utilizadas: Fahrenheit, Celsius e Kelvin. Isso vai prepará-los para resolver exercícios semelhantes com qualquer escala arbitrária. Destacar também a diferença entre conversão pontual entre temperaturas e comparação entre variações de temperatura. Os exercícios propostos em aula passam por toda a construção conceitual dessas duas aulas iniciais.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. A

Convertendo de Celsius para Kelvin:

$$\frac{T_c}{5} = \frac{T_k - 273}{5}$$

$$T_k = T_c + 273 = -65 + 273$$

$$T_k = 208$$

Convertendo de Fahrenheit para Kelvin:

$$\frac{T_f - 32}{9} = \frac{T_k - 273}{5}$$

$$T_k = 5 \cdot \frac{T_f - 32}{9} + 273 = 5 \cdot \frac{122 - 32}{9} + 273$$

$$T_k = 323$$

O módulo da diferença entre as duas temperaturas será:

$$|208 - 323| = |-115| = 115$$

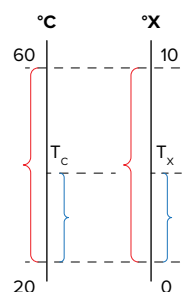
2. Substituindo os valores do enunciado na expressão da relação entre a variação de temperatura nas escalas Celsius e Fahrenheit, temos:

$$\frac{\Delta T_c}{5} = \frac{\Delta T_f}{9} \Rightarrow \frac{\Delta T_c}{5} = \frac{3}{9} \Rightarrow \Delta T_c + \frac{5}{3} \text{ } ^\circ\text{C}$$

Agora que sabemos a variação em $^\circ\text{C}$, podemos obter a variação da resistência:

$$\left. \begin{array}{l} 5 \text{ } ^\circ\text{C} - 1,8 \ \Omega \\ \frac{5}{3} \text{ } ^\circ\text{C} - \Delta R \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta R = \frac{1,8 \cdot \frac{5}{3}}{5} \Rightarrow \Delta R = 0,6 \ \Omega$$

3. Tomando como referência os pontos (0; 20) e (10; 60), obtemos o seguinte diagrama:



Assim, a equação de conversão é obtida da seguinte maneira:

$$\frac{T_c - 20}{60 - 20} = \frac{T_x - 0}{10 - 0} \Rightarrow \frac{T_c - 20}{40} = \frac{T_x}{10}$$

$$T_c = 4T_x + 20$$

Organizar as aulas da seguinte maneira: aula 2 para a dilatação de sólidos, e aula 3 para a dilatação de líquidos.

A primeira aula (aula 2) aborda o conceito de variação das dimensões de corpos em função da variação de sua temperatura. Apresentar o comportamento mais comum observado nos materiais:

- aumento de dimensões com o aumento de temperatura → dilatação térmica;
- redução de dimensões com a redução da temperatura → contração térmica.

Conceituar a dilatação térmica como efeito macroscópico; portanto, observável com base no aumento da agitação térmica das partículas do corpo em nível microscópico. Tal agitação aumenta o espaço médio ocupado pelas partículas, que, no conjunto, refletem um aumento das dimensões do corpo. A contração é seu efeito oposto.

Registrar a existência de materiais que encolhem ao serem aquecidos, como diversos tipos de plásticos e polímeros.

No mundo natural, a variação das dimensões sempre envolve as três dimensões (comprimento, largura e altura), de forma que toda dilatação térmica envolve alteração do volume do corpo. Porém, em determinadas circunstâncias, uma ou duas das dimensões podem apresentar variação desprezível, quando comparada à variação das demais dimensões. Nesses casos, podemos trabalhar com aproximações, desprezando uma ou duas dimensões. Assim, classificamos as dilatações em três categorias:

- dilatação linear: quando a dilatação de duas dimensões puder ser ignorada, diante da terceira, cuja dilatação é apreciável;
- dilatação superficial: quando a dilatação de uma dimensão puder ser ignorada, diante da dilatação das outras duas;
- dilatação volumétrica: quando a dilatação de todas as dimensões do corpo é considerada.

Conceituar a dilatação térmica linear, por meio de desenhos ou representações simples. Mostrar que a dilatação pode ser associada à variação no comprimento do corpo e que essa dilatação ocorre para ambos os lados.

Apresentar a equação de dilatação linear, ressaltando que se trata de uma equação empírica, ou seja, construída com base em observações experimentais. Comentar o papel da dimensão inicial no resultado da dilatação, bem como o tipo de material (identificado pelo coeficiente de dilatação térmica). Explicitar as unidades usuais.

Apresentar aplicações tecnológicas da dilatação térmica linear, como as lâminas bimetálicas e seus usos em diversos dispositivos, como relés, disjuntores e sistemas de prevenção a incêndios (*sprinklers*).

Conceituar a dilatação térmica superficial, por meio de desenhos ou esquemas, ressaltando que a variação na área ocorre nas duas direções do plano do corpo.

Apresentar a equação de dilatação térmica correspondente, ressaltando que se trata também de uma equação empírica. Comentar a influência das dimensões iniciais e do material na dilatação (identificado pelo coeficiente de dilatação). Apresentar as unidades comuns.

Conceituar a dilatação volumétrica por meio de desenhos ou esquemas, mostrando a variação do volume do corpo. Apresentar a equação empírica de dilatação volumétrica, fazendo os comentários pertinentes. Apresentar as unidades de medida correspondentes.

Comentar a relação entre os coeficientes de dilatação linear, superficial e volumétrica. No livro 1, capítulo 2, há uma demonstração cuidadosa dessa relação, que pode ser indicada aos alunos que apresentarem interesse por esse tipo de demonstração.

Pode-se também iniciar a abordagem do tema pedindo aos alunos exemplos de situações práticas nas quais ocorrem dilatações térmicas para, a partir daí, começar a apresentação conceitual.

Explicar dilatação envolvendo espaços vazios, como vãos entre peças ou buracos em placas e corpos. No caso de vão entre peças, a dilatação das peças reduz o vão, como se ele estivesse em contração. Já um furo em uma placa se dilata junto com a placa, como se ambos fossem feitos do mesmo material. Um erro muito comum é acreditar que o furo se fecha com a dilatação da placa. Comentar e explicar como ocorre a dilatação da peça e do furo.

Associar a variação de densidade com a dilatação e contração, mostrando que, com a variação da distribuição de massa, a densidade também se altera com a variação da temperatura.

Foi separada uma aula (aula 3) para a apresentação do conceito de dilatação térmica de líquidos, mas você pode reorganizar a distribuição do assunto de acordo com a profundidade que quiser atingir, dando mais ênfase à dilatação de sólidos, por exemplo.

Explicitar que a dilatação térmica de líquidos envolve necessariamente a dilatação conjunta do recipiente que o contém. Outro aspecto importante é que a dilatação de líquidos é obrigatoriamente volumétrica.

Mostrar, por meio de esquemas, como a dilatação de um líquido pode ser observada de forma inadequada se não levarmos em conta a dilatação do recipiente (no livro 1, capítulo 2, há um esquema que pode ajudar nessa identificação). Com base nisso, conceituar o coeficiente de dilatação aparente e mostrar sua relação com o coeficiente de dilatação real do líquido e do recipiente.

Comentar o caso importante de dilatação da água que muda de comportamento em torno de 4 °C. Mostrar o gráfico da densidade da água em torno dessa temperatura e a explicação microscópica para tal fenômeno, associada às ligações de hidrogênio. Um caso muito curioso e que chama a atenção dos alunos é o congelamento dos lagos no inverno em determinadas regiões do planeta, preservando a vida aquática.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. C

Como as paredes não se movem, os parafusos vão se tocar quando a dilatação total (latão + aço) for igual ao comprimento do vão (5 μm). Assim:

$$\Delta L_{\text{aço}} + \Delta L_{\text{latão}} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

Mas $\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta T$; portanto, substituindo essa expressão na equação acima e aplicando os valores do enunciado, temos:

$$0,01 \cdot 11 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T + 0,03 \cdot 19 \cdot 10^{-6} \cdot \Delta T = 5 \cdot 10^{-6}$$

$$0,11 \cdot \Delta T + 0,57 \cdot \Delta T = 5$$

$$0,68 \cdot \Delta T = 5$$

$$\Delta T \cong 7,4 \text{ °C}$$

Como a temperatura inicial é 27 °C, a temperatura final é:

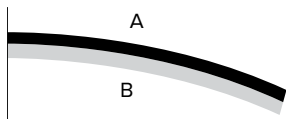
$$\Delta T = T_F - T_0 \Rightarrow T_F = T_0 + \Delta T$$

$$T_F = 27 \text{ °C} + 7,4 \text{ °C}$$

$$T_F = 34,4 \text{ °C}$$

2. D

Como o coeficiente de dilatação linear de A é maior que o de B, o aumento na temperatura do conjunto fará com que A fique maior que B. Para garantir que eles ainda estejam ligados, uma curvatura será formada, sendo que B estará no lado interno (arco menor) e A estará no lado externo (maior arco). Dessa forma, as duas lâminas se curvarão para baixo, como na figura a seguir:



3. D

O enunciado nos oferece o coeficiente de dilatação linear (α), todavia o problema trata de dilatação superficial. Assim, é necessário obter o coeficiente de dilatação superficial (β) pela seguinte relação:

$$\beta = 2 \cdot \alpha \Rightarrow \beta = 2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-5} \Rightarrow \beta = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ °C}^{-1}$$

Substituindo os valores na equação de dilatação superficial, temos:

$$\Delta S = S_0 \cdot \beta \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta S = 5 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot [50 - (-10)]$$

$$\Delta S = 12 \cdot 10^{-5} \cdot 60 \Rightarrow \Delta S = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

4. C

Quando trabalhamos um objeto com furo que tem sua temperatura alterada, devemos imaginar o que aconteceria com o objeto de mesmo material que ocuparia exatamente o lugar do furo.

Nesse caso, o aumento da temperatura faria o furo circular dilatar, e seu novo comprimento seria dado por:

$$D = D_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \Rightarrow D = 5 \cdot [1 + 22 \cdot 10^{-6} \cdot (125 - 25)]$$

$$D = 5 \cdot (1 + 22 \cdot 10^{-6} \cdot 100)$$

$$D = 5 \cdot 1,0022$$

$$D = 5,011 \text{ cm}$$

5. A

Sendo o recipiente cilíndrico, o volume ocupado pode ser dado por $V = S \cdot h$, sendo S a seção transversal, e h , a altura

Da equação da dilatação volumétrica, temos:

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \Rightarrow S \cdot \Delta h = S \cdot h_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T$$

Substituindo os valores da figura 2:

$$S \cdot (52,1 + 50,0) = S \cdot 50 \cdot \gamma \cdot (70 - 35)$$

$$2,1 = \gamma \cdot 1750$$

$$\gamma = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ °C}^{-1}$$

6. O volume que transbordou diz respeito à dilatação aparente. Assim:

$$\Delta V_{\text{ap}} = V_0 \cdot \gamma_{\text{ap}} \cdot \Delta T \Rightarrow 4,8 = 500 \cdot \gamma_{\text{ap}} \cdot (70 - 10)$$

$$4,8 = \gamma_{\text{ap}} \cdot 30000 \Rightarrow \gamma_{\text{ap}} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ °C}^{-1}$$

$$\text{Mas } \gamma_{\text{ap}} = \gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{vidro}}:$$

$$1,6 \cdot 10^{-4} = 1,8 \cdot 10^{-4} - \gamma_{\text{vidro}}$$

$$\gamma_{\text{vidro}} = 1,8 \cdot 10^{-4} - 1,6 \cdot 10^{-4}$$

$$\gamma_{\text{vidro}} = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ °C}^{-1}$$

Organizar as aulas da seguinte maneira: aula 4 para os conceitos iniciais de Calorimetria e aula 5 para trocas de calor em sistemas termicamente isolados.

Reapresentar o conceito de calor como energia que se transfere espontaneamente do corpo mais quente (maior temperatura) para o mais frio (menor temperatura).

Pontuar que o efeito do calor que será estudado nesse capítulo é a variação de temperatura:

- corpo recebe calor e se aquece: sua temperatura aumenta;
- corpo perde calor e se resfria: sua temperatura diminui.

Lembrar aos alunos que eles já estudaram os efeitos da dilatação e da contração térmica. Convém associá-los agora ao calor também.

Conceituar capacidade térmica como uma grandeza medida experimentalmente que caracteriza o corpo quanto ao calor trocado por ele com o ambiente e a variação de temperatura apresentada.

Conceituar calor específico como sendo a capacidade térmica por unidade de massa, caracterizando os diferentes materiais ou substâncias. Reforçar essa diferença:

- capacidade térmica: característica de um corpo;
- calor específico: característica de uma substância.

Representar graficamente o aquecimento ou resfriamento dos corpos (curvas de aquecimento e resfriamento), envolvendo calor e variação de temperatura.

Conceituar equivalente em água como a massa de água cuja capacidade térmica é igual à do corpo comparado.

Apresentar a equação fundamental da calorimetria e a convenção de sinais:

- calor perdido ($Q < 0$): associado ao resfriamento;
- calor recebido ($Q > 0$): associado ao aquecimento.

Definir potência térmica como a taxa de troca de calor pelo corpo em função do tempo.

Apresentar gráficos de calor em função do tempo e comentar como obter informações a partir deles.

Foram planejadas duas aulas para a apresentação do calorímetro e tratamento de problemas em sistemas termicamente isolados. Havendo tempo disponível, você pode se estender um pouco mais no assunto, propor exercícios adicionais de acordo com o ritmo da turma ou resolver eventuais atrasos de programação acumulados anteriormente.

Definir calorímetro como um dispositivo que simula uma situação ideal: o sistema termicamente isolado.

Mostrar que, em um calorímetro ideal, as trocas de calor entre corpos inicialmente a diferentes temperaturas são apenas internas, e que o sistema inexoravelmente caminha para o equilíbrio térmico após determinado tempo.

Mostrar como equacionar problemas de sistemas termicamente isolados e que isso decorre do princípio da conservação da energia.

Comentar que, quando o calorímetro não é ideal, ele se comporta como mais um corpo envolvido nas trocas de calor.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **A**

Da equação fundamental da calorimetria, temos:

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

$$Q = 2,0 \cdot 10^{-10} \cdot 3000 \cdot (46 - 36)$$

$$Q = 6 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

2. **C**

Para resolver essa questão, é necessário considerar que o sistema é termicamente isolado. Nesse caso:

$$Q_{\text{leite}} + Q_{\text{café}} = m_{\text{leite}} \cdot c \cdot \Delta T_{\text{leite}} + m_{\text{café}} \cdot c \cdot \Delta T_{\text{café}} = 0$$

$$m_{\text{leite}} = \frac{-(m_{\text{café}} \cdot c \cdot \Delta T_{\text{café}})}{c \cdot \Delta T_{\text{leite}}} = \frac{-(m_{\text{café}} \cdot \Delta T_{\text{café}})}{\Delta T_{\text{leite}}}$$

$$m_{\text{leite}} = \frac{-60 \cdot (65 - 80)}{(65 - 5)}$$

$$m_{\text{leite}} = 15 \text{ mL}$$

3. E

A expressão que relaciona a potência térmica com o calor:

$$P_T = \frac{|Q|}{\Delta t} \Rightarrow |Q| = P_T \cdot \Delta t$$

Relacionando com a equação do calor sensível:

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

$$\Delta t = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{P_T} = \frac{200 \cdot (0,03 \cdot 4) \cdot (80 - 20)}{2}$$

$$\Delta t = 720 \text{ s} \Rightarrow \Delta t = 12 \text{ min}$$

4. C

Como é necessário que o sistema de aquecimento tenha uma potência de 50 W para manter a temperatura constante, é possível supor que a água do aquário perca calor para o ambiente também a uma potência de resfriamento igual a 50 W. Dessa forma:

$$P_T = \frac{|Q|}{\Delta t} \Rightarrow |Q| = P_T \cdot \Delta t$$

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

$$\Delta T = \frac{P_T \cdot \Delta t}{m \cdot c}$$

Como a densidade da água é igual a 1 kgL^{-1} :

$$\Delta T = \frac{50 \cdot 3600}{1 \cdot 50 \cdot 4000}$$

$$\Delta T = 0,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

5. B

Sendo o sistema isolado, pode-se afirmar que a troca de calor ocorre somente entre a água e a barra de aço:

$$Q_{\text{água}} + Q_{\text{aço}} = 0$$

$$m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} = m_{\text{aço}} \cdot c_{\text{aço}} \cdot \Delta T_{\text{aço}} = 0$$

Como os dois corpos estarão em contato até o equilíbrio térmico, pode-se afirmar que a temperatura final T será igual para os dois:

$$m_{\text{água}} + c_{\text{água}} \cdot (T - T_{\text{água}}) + m_{\text{aço}} \cdot c_{\text{aço}} \cdot (T - T_{\text{aço}}) = 0$$

$$400 \cdot 1,0 \cdot (T - 20) + 500 \cdot 0,12 \cdot (T - 80) = 0$$

$$400T - 8000 + 60T - 4800 = 0$$

$$T \cong 27,8 \text{ }^\circ\text{C} \Rightarrow T \cong 28 \text{ }^\circ\text{C}$$

6. D

Assumindo que a troca de calor ocorre somente entre a barra e o óleo, temos:

$$Q_{\text{óleo}} + Q_{\text{ferro}} = 0$$

$$m_{\text{óleo}} \cdot c_{\text{óleo}} \cdot \Delta T_{\text{óleo}} + m_{\text{ferro}} \cdot c_{\text{ferro}} \cdot \Delta T_{\text{ferro}} = 0$$

Como o material foi colocado até o equilíbrio térmico, conclui-se que o ferro também ficou com temperatura final igual a $38 \text{ }^\circ\text{C}$. Assim, temos:

$$10000 \cdot 0,40 \cdot (38 - 28) + 1000 \cdot 0,11 \cdot (38 - T) = 0$$

$$40000 + 4180 - 110T = 0$$

$$T \cong 400 \text{ }^\circ\text{C}$$

Iniciar a abordagem do tema lembrando que, quando um corpo recebe calor, é esperado que ele se aqueça. Porém, quando a temperatura do corpo atinge determinado valor, característico daquela substância a uma dada pressão, em vez de se aquecer, sua estrutura microscópica passa por uma reorganização. Do ponto de vista macroscópico, chamamos a isso de mudança de estado físico.

Falar sobre os três estados físicos mais facilmente identificáveis no cotidiano: sólido, líquido e gasoso, citando exemplos além dos estados da água (gelo, água, vapor).

Apresentar o critério forma e volume como uma primeira abordagem para caracterizar os três estados. Salientar que esse critério tem limitações. Por exemplo, como classificar a pasta de dente? Apresentar o critério microscópico dos graus de liberdade como uma abordagem mais complexa e abrangente da classificação dos estados físicos.

Apresentar o diagrama de mudanças de estado nomeando-as e apontando suas particularidades. Comentar a sublimação, destacando que não é tão comum e citar os exemplos clássicos, como a naftalina e o gelo seco (dióxido de carbono).

Explicar que, em substâncias puras e cristalinas, a mudança de estado se processa a temperatura constante, característica da substância a uma dada pressão. Comentar que impurezas e variações de pressão podem interferir no processo, alterando inclusive a temperatura em que a mudança ocorre.

Apresentar a curva de aquecimento como um registro completo do que ocorre com um corpo à medida que recebe calor a partir de determinada temperatura. Construir o diagrama para a água, à temperatura ambiente padrão (1 atm), destacando as mudanças de estado e as temperaturas correspondentes.

Apresentar a equação do calor latente e comentar como calcular o calor a cada etapa e como encontrar a quantidade total de calor envolvida ao longo do processo. Destacar que as etapas são reversíveis e falar sobre os calores latentes a cada transformação.

Apresentar a sobrepressão e as condições em que ocorre, dando exemplos do cotidiano. É importante o comentário sobre esse fenômeno, pois há um exercício de aula sobre o assunto. Outra estratégia é comentar o fenômeno ao abordar o exercício.

Se houver disponibilidade de tempo, explicar a diferença entre ebulição, evaporação e calefação ou, ao menos, indicar a leitura sobre o assunto no livro.

Apresentar os diagramas de fase, destacando o ponto triplo e a temperatura crítica. Mostrar, por meio desse diagrama, a influência da pressão e a diferença entre gás e vapor. Diferenciar gás e vapor.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. C

Do enunciado, temos que o calor específico da água é o dobro do calor específico do gelo, ou seja:

$$c_{\text{água}} = 2c_{\text{gelo}} \Rightarrow c_{\text{água}} = 2 \cdot 2,1 \Rightarrow c_{\text{água}} = 4,2 \text{ kJ/kg } ^\circ\text{C}$$

O calor necessário para atingir 10°C é a soma dos calores sensíveis com o calor latente:

$$Q_T = Q_{S,\text{gelo}} + Q_L + Q_{S,\text{água}}$$

$$Q_T = m \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta T_{\text{gelo}} + m \cdot L + m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}}$$

$$Q_T = m \cdot [2,1 \cdot (0 - (-2)) + 330 + 4,2 \cdot (10 - 0)]$$

$$\frac{Q_T}{m} = 376,2 \text{ kJ/kg}$$

2. a) Pelo calor latente de fusão:

$$Q_L = m \cdot L_F \Rightarrow 8000 = m \cdot 80 \Rightarrow m = 100 \text{ g}$$

b) O calor específico do gelo será obtido pelo calor sensível:

$$Q = m \cdot c_g \cdot \Delta t \Rightarrow 1500 = 100 \cdot c_g \cdot 30 \Rightarrow c_g = 0,5 \text{ cal/g } \cdot ^\circ\text{C}$$

c) A quantidade de calor recebida pela água na parte final do aquecimento:

$$Q = m \cdot c_a \cdot \Delta t = 100 \cdot 1 \cdot 30 \Rightarrow Q = 3000 \text{ cal}$$

Logo, o calor em todo o processo será:

$$Q_{\text{total}} = 9500 + 3000 \Rightarrow Q_{\text{total}} = 12500 \text{ cal}$$

3. A

A energia que a água libera para atingir 0 °C é:

$$Q_{S, \text{água}} = m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T_{\text{água}} \Rightarrow Q_{S, \text{água}} = 200 \cdot 1 \cdot (0 - 30)$$

$$Q_{S, \text{água}} = -6\,000 \text{ cal}$$

A energia que o gelo recebe para atingir 0 °C é:

$$Q_{S, \text{gelo}} = m_{\text{gelo}} \cdot c_{\text{gelo}} \cdot \Delta T_{\text{gelo}}$$

$$Q_{S, \text{gelo}} = 50 \cdot 0,5 \cdot (0 - (-10))$$

$$Q_{S, \text{gelo}} = 250 \text{ cal}$$

Podemos notar que a quantidade de calor que a água pode fornecer é maior do que aquela que o gelo precisa absorver para chegar a 0 °C. Assim, conclui-se que o gelo vai derreter. O calor necessário para derreter todo o gelo é dado por:

$$Q_L = \Delta m \cdot L \Rightarrow Q_L = 50 \cdot 80 \Rightarrow Q_L = 4\,000 \text{ cal}$$

Mesmo derretendo todo o gelo, ainda há uma quantidade de calor disponível que a água pode ceder. Isso significa que a temperatura final é superior a 0 °C. Assim, usamos o calor que “sobrou” para aquecer toda a porção de água:

$$Q_{\text{sobra}} = |Q_{\text{liberado}}| - |Q_{\text{absorvido}}|$$

$$m_{\text{total}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T = 6\,000 - (4\,000 + 250)$$

$$(200 + 50) \cdot 1,0 \cdot (T - 0) = 1\,750$$

$$T = 7 \text{ °C}$$

Essa aula aborda os processos pelos quais o calor se transfere de uma região mais quente para uma mais fria, envolvendo ou não matéria. Reforçar a necessidade de duas temperaturas diferentes para que a transferência ocorra de forma espontânea.

Apresentar o processo de condução térmica, ressaltando a necessidade da presença de matéria e a restrição ao seu movimento, associando esse processo aos sólidos. Classificar os materiais em bons e maus condutores. Explicar que o termo “isolante”, apesar de muito utilizado em normas de segurança e manuais, refere-se a materiais que são maus condutores, uma vez que não existe material isolante de fato.

Quantificar a transferência de calor através de barras ou paredes, por meio do modelo de Fourier.

Apresentar o processo de convecção, explicitando a movimentação de matéria e associando esse processo a líquidos e gases, em razão da característica de maior mobilidade das partículas nesses dois estados da matéria. Ressaltar a influência da temperatura na diferença de densidades e a influência da gravidade na formação das correntes de convecção.

Comentar a formação de brisas litorâneas e, sendo possível, falar sobre chuvas orográficas. Pode-se, também, associar esse fenômeno da convecção à inversão térmica e aos efeitos nocivos da poluição atmosférica em centros urbanos, agravados no inverno.

Apresentar a irradiação, caracterizando-a como emissão de ondas eletromagnéticas e a não necessidade de matéria para sua ocorrência. Relacioná-la ao vácuo e explicar como o fenômeno da irradiação solar aquece o planeta. Se possível, explicar a ocorrência do efeito estufa e a manutenção das condições para a vida na Terra como a conhecemos. Sugerir leituras sobre a intensificação do efeito estufa por causas antrópicas e suas consequências apontadas atualmente pela ciência.

Comentar a necessidade de minimizar a transferência de calor em determinadas situações. Apresentar o vaso de Dewar como dispositivo tecnológico criado para esse fim, minimizando as transferências de calor pelos três processos.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **D**

O calor no espaço é transferido por meio da irradiação, visto que é o único modo que independe de meio material (lacuna I). A condução ocorre pela transmissão do calor entre partículas adjacentes (lacuna II).

A convecção é a troca de calor por troca de matéria (lacuna III), o que é característico dos meios fluidos (líquidos e gasosos).

2. **C**

Para que a temperatura seja mantida constante, o aquecedor deverá fornecer um fluxo de calor equivalente a:

$$\phi = \frac{Q}{\Delta t} = k \cdot A \cdot \frac{\Delta T}{L}$$

$$\phi = 0,8 \cdot (2 \cdot 1) \cdot \frac{(20 + 4)}{0,012}$$

$$\phi = 3\,200 \text{ W}$$

3. **A**

A transferência de calor entre o Sol e a ilha de calor ocorre por meio de irradiação, já que é a única forma de transferência de calor através do vácuo. Já a transferência entre a ilha de calor e a brisa marítima ocorre por meio da convecção, já que são as massas de ar que realizam a troca de energia.

Alternativa B: incorreta. A transferência predominante entre a ilha de calor e a brisa marítima se dá por meio da convecção.

Alternativa C: incorreta. Não há como o Sol transferir energia por meio da condução, já que no espaço, predominantemente, não há matéria para conduzir calor.

Alternativa D: incorreta. Os processos são esses, mas estão relacionados de forma errada.

Alternativa E: incorreta. Não há matéria suficiente no espaço para que haja essa troca de calor.

Essa aula aborda de forma mais específica o comportamento dos gases e os desdobramentos tecnológicos decorrentes desses estudos. Iniciar conceituando o modelo de gás ideal.

Enunciar as variáveis de estado utilizadas para estudar um gás ideal e comentar cada uma delas, associando-as ao comportamento das partículas que compõem o gás, suas unidades e conversões importantes.

Apresentar as transformações gasosas como processos físicos reversíveis envolvendo alterações nas variáveis de estado.

Descrever as transformações gasosas especiais e suas características. Apresentar conjuntamente as relações matemáticas entre as variáveis de estado em cada transformação.

Apresentar a equação geral de transformações gasosas. Explicar como ela pode ser utilizada em qualquer transformação.

Enunciar a equação de Clapeyron, as grandezas envolvidas e as unidades, principalmente da constante dos gases R.

Apresentar as curvas de Clapeyron ou diagramas PV. No livro, esses diagramas são apresentados após o tema transformações, pois historicamente os diagramas usados por Clapeyron foram introduzidos após os estudos dos gases abordados anteriormente. No entanto, você pode optar por introduzi-los em conjunto com as transformações.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. A

Em uma transformação isobárica, sabe-se que a razão

$\frac{V}{T}$ é constante. Chamemos essa constante de K:

$$\frac{V}{T} = K \Rightarrow V = K \cdot T$$

Percebe-se que o gráfico é uma função do 1º grau que passa pela origem. Tratando-se de uma expansão, necessariamente, o sentido do vetor representado no gráfico é aquele que indica o aumento do volume.

2. **Soma: 01 + 02 + 04 = 07**

Afirmativa 01: correta. Com base no gráfico, pode-se calcular o trabalho a partir da área abaixo da linha AB e BC:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{100 + 20}{2} \cdot (20 - 10) + 20(60 - 20) = \\ &= 600 + 800 \end{aligned}$$

$$\tau = 1400 \text{ J ou } 350 \text{ cal}$$

Afirmativa 02: correta. Na transformação isobárica, a pressão se mantém constante.

Afirmativa 04: correta. Com base na equação de Clapeyron para o estado B, tem-se que:

$$p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{20 \cdot 20}{8,3 \cdot 300} = \frac{400}{2490} \Rightarrow n = 0,16 \text{ mol}$$

Afirmativa 08: incorreta. Na transformação isotérmica, a temperatura é constante. O produto entre a pressão e o volume de AB e BC não é constante de uma transformação para outra.

3. D

A temperatura do gás em kelvin (T) é:

$$T = 7 + 273 \Rightarrow T = 280 \text{ K}$$

O volume do pescoço da garrafa, em m³, é:

$$V = 24 \text{ mL} = 24 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Substituindo os valores na equação de Clapeyron, temos:

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

$$n = \frac{(2,8 \cdot 10^5) \cdot (24 \cdot 10^{-6})}{8 \cdot 280}$$

$$n = 0,003 \text{ mol} \Rightarrow n = 3,0 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

Conceituar trabalho de um gás associando-o, se possível, ao conceito de trabalho mecânico envolvendo movimento de matéria. Mostrar como obter o trabalho pelo método gráfico, quando a pressão é variável. Havendo tempo, você pode demonstrar como obter essa equação, por meio de um exemplo simples envolvendo um recipiente cilíndrico, ou comentar a demonstração presente no livro.

Mostrar os sinais do cálculo do trabalho e suas interpretações físicas.

Conceituar transformações cíclicas, representando-as graficamente, e apresentar o cálculo do trabalho por ciclo executado, bem como a forma prática de obter seu sinal ("rotação" do ciclo).

Conceituar energia interna do gás, destacando que, no modelo do gás ideal, ela é diretamente associada à energia cinética das partículas que o compõem, podendo, portanto, ser associada à temperatura do gás. Apresentar a equação da energia interna, sem demonstração. Comentar a sua variação.

Enunciar a primeira lei da Termodinâmica, destacando-a como uma aplicação do princípio da conservação da energia.

Apresentar as equações de cálculo da quantidade de calor explicitando que experimentalmente é percebida diferença na capacidade térmica molar quando o gás sofre transformação a pressão ou a volume constante. Apresentar a relação de Mayer. Ela está deduzida no livro, caso julgue oportuno indicar a leitura.

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. D

O volume inicial de ar é a diferença da capacidade da garrafa pelo volume colocado de água, ou seja:

$$V_0 = 2,0 - 0,6 = 1,4 \text{ L ou } 1,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Sabendo que ocorre uma transformação isobárica no interior da garrafa, temos que a equação geral dos gases à pressão constante é:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1,4 \cdot 10^{-3}}{300} = \frac{V_2}{280} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_2 = \frac{1,4 \cdot 10^{-3} \cdot 280}{300} \Rightarrow V_2 = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Calculando o trabalho à pressão constante, tem-se que:

$$\tau = p \cdot \Delta V = 10^5 (1,3 - 1,4) \cdot 10^{-3} \Rightarrow \tau = -10 \text{ J}$$

O sinal negativo apenas indica que o sistema recebeu energia, confirmando o teor do enunciado. Portanto:

$$\tau = 10 \text{ J}$$

2. a) O trabalho na transformação AB é nulo, uma vez que se trata de uma transformação isovolumétrica.

O trabalho em CA é:

$$\tau = p \cdot \Delta V = 2 \cdot 10^5 \cdot (3 - 9) \cdot 10^{-3} \Rightarrow \tau = -1,2 \cdot 10^3 \text{ J}$$

b) Com base na equação de Clapeyron, tem-se que:

$$n = \frac{p \cdot V}{R \cdot T} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{8 \cdot 300} = \frac{600}{2400} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow n = \frac{1}{4} \text{ mol}$$

Com base na equação geral para a transformação BC, tem-se que:

$$\frac{P_B V_B}{T_B} = \frac{P_C V_C}{T_C} \Rightarrow P_B = \frac{P_C V_C}{T_C} = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 9 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_B = 6 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

3. Sendo o gás monoatômico, temos que:

$$C_V = \frac{3}{2}R \text{ e } C_P = \frac{5}{2}R$$

Para a transformação AD, temos:

$$\Delta U_{AD} = n \cdot C_V \cdot \Delta T_{AD} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T_{AD}$$

$$\Delta U_{AD} = \frac{3}{2} \cdot \Delta(P \cdot V)_{AD}$$

$$\Delta U_{AD} = \frac{3}{2} \cdot [(2 \cdot 10^5) \cdot (3 \cdot 10^{-3}) - (1 \cdot 10^5) \cdot (3 \cdot 10^{-3})]$$

$$\Delta U_{AD} = 450 \text{ J}$$

Para a transformação CB, temos:

$$\Delta V_{CB} = 0 \Rightarrow W_{CB} = 0$$

$$\Delta U_{CB} = n \cdot C_V \cdot \Delta T_{CB} = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T_{CB} = \frac{3}{2} \cdot \Delta(P \cdot V)_{CB}$$

$$\Delta U_{CB} = \frac{3}{2} \cdot [(1 \cdot 10^5) \cdot (9 \cdot 10^{-3}) - (2 \cdot 10^5) \cdot (9 \cdot 10^{-3})]$$

$$\Delta U_{CB} = -1350 \text{ J}$$

Da primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$Q_{CB} = \Delta U_{CB} + W_{CB} \Rightarrow Q_{CB} = -1350 \text{ J} + 0$$

$$Q_{CB} = -1350 \text{ J}$$

No ciclo ADCBA, o trabalho é numericamente igual à área compreendida pelas curvas do gráfico:

$$W \stackrel{N}{=} \text{Área} \Rightarrow W = [(9 - 3) \cdot 10^{-3}] \cdot [(2 - 1) \cdot 10^5]$$

$$W = 600 \text{ J}$$

O sinal é positivo, pois o ciclo ocorre no sentido horário.

O quadro com as células indicadas fica da seguinte maneira:

Transformação	AD	DC	CB	BA	ADCBA
ΔU	450 J				
Q			-1350 J		
W					600 J