## Módulo 8 Primeira Lei da Termodinâmica

### Atividades para sala

**01** **D**

Na 2ª situação, o ar se expande rapidamente, de modo que esse processo é considerado, aproximadamente, adiabático. Como se sabe, em uma expansão adiabática, o gás se expande às custas de uma diminuição na sua energia interna e, consequentemente, na sua temperatura, conforme sugerido pelo gráfico da alternativa D.

**02** **A**

Em qualquer ciclo, o gás sempre volta ao estado inicial, à mesma temperatura ($\Delta T = 0$).

Como a variação da energia interna ($\Delta U$) é diretamente proporcional à variação de temperatura ($\Delta T$), pela expressão $\Delta U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot \Delta T$, a variação da energia interna também é nula.

**03** **C**

Se o processo é adiabático, a quantidade de calor trocada é nula ($Q = 0$). Como se trata de uma compressão, o trabalho realizado pela força de pressão do gás é negativo ($\tau < 0$). Recorrendo à Primeira Lei da Termodinâmica: $\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = -\tau \Rightarrow \Delta U > 0$ (aquecimento).

Da equação de Clapeyron:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow P = n \cdot R \cdot \frac{T}{V} \quad \left[T\uparrow \ V\downarrow \Rightarrow P\uparrow\right]$$

A pressão é diretamente proporcional à temperatura e inversamente proporcional ao volume. Se a temperatura aumenta e o volume diminui, a pressão aumenta.

**04** **D**

Da equação de Clapeyron:

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

Essa expressão mostra que a temperatura é diretamente proporcional ao produto pressão × volume. O gráfico mostra que o mínimo valor desse produto é no final da transformação III, portanto, esse é o ponto em que a temperatura atinge o menor valor.

**05** **A**

Para um gás ideal, a temperatura está associada à energia cinética média por partícula. De acordo com a equação de Boltzmann, para um gás ideal e monoatômico:

$e_c = \frac{3}{2} kT$ (**k** é a constante de Boltzmann, e T, a temperatura absoluta).

**06** **C**

Como o ar dentro da bomba foi comprimido ($\tau < 0$) rapidamente, a troca de calor é desprezível, de modo que o processo pode ser considerado aproximadamente adiabático ($Q = 0$). Pela Primeira Lei da Termodinâmica, obtém-se:

$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = 0 - \tau \Rightarrow \Delta U = -\tau > 0$, pois o trabalho é $\tau < 0$.

O ar incorporou o trabalho recebido da vizinhança como aumento de energia interna para si.

### Atividades propostas

**01** **C**

Ao abrir-se o botijão, o gás sofreu expansão realizando trabalho contra o meio ($\tau > 0$).

Como o calor trocado foi nulo ($Q = 0$), a Primeira Lei da Termodinâmica apresenta:

$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = -\tau$

Se a variação da energia interna foi negativa ($\Delta U < 0$), o gás sofre resfriamento, ou seja, a temperatura do gás diminuiu.

**02** **B**

Por se tratar de uma compressão muito rápida, praticamente não haverá troca de calor com a vizinhança, o que permite considerar o processo aproximadamente adiabático. Na compressão adiabática, o trabalho realizado sobre o gás produz aumento em sua energia interna.

**03** **C**

**Dados:** $Q = 0$ (expansão adiabática); $p = 5 \cdot 10^6$ Pa; $V_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ m³; $V = 2V_0$.

Da Primeira Lei da Termodinâmica:

$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow \Delta U = 0 - p \cdot \Delta V \Rightarrow \Delta U = -p \cdot (V - V_0) \Rightarrow$

$\Delta U = -p \cdot (2V_0 - V_0) \Rightarrow \Delta U = -p \cdot V_0 = -5 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-5} \Rightarrow$

$\Delta U = -100$ J

**04** **D**

A energia interna (U) de um gás perfeito monoatômico é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta (T):

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

A equação de Clapeyron estabelece PV = nRT.

Combinando essas duas expressões, conclui-se que:

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

Colocando nessa expressão os valores dados no gráfico e fazendo a razão entre os dois estados:

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{\frac{3}{2}P_A V_A}{\frac{3}{2}P_B V_B} = \frac{4PV}{3PV} \Rightarrow \frac{U_A}{U_B} = \frac{4}{3}$$

**05** **A**

A frequência de operação é 40 ciclos/s, ou seja, 40 Hz. Note ainda que, no eixo das abscissas, a unidade de volume é o litro (1 L = $10^{-3}$ m³).

Calculando o trabalho ($\tau_{ciclo}$) em cada ciclo: como o ciclo está no sentido horário, o trabalho realizado é positivo, sendo numericamente igual à área interna do ciclo.

$\tau_{ciclo}$ = Área = (0,6 – 0,2) (2 – 1) · $10^5 \cdot 10^{-3}$ ⇒ $\tau_{ciclo}$ = 40 J.

O trabalho total (τ) em 40 ciclos é τ = 40(40) = 1 600 J.

Calculando a potência do sistema:

$$P = \frac{\tau}{\Delta t} = \frac{1600 \text{ J}}{1 \text{ s}} \Rightarrow P = 1600 \text{ W}$$

**06** **D**

Como a expansão analisada acontece de forma muito rápida, trata-se de uma transformação adiabática, na qual a pressão diminuirá. O gás realiza trabalho às custas de uma diminuição de sua energia interna. Logo, sua temperatura diminui.

**07** **A**

Como se trata de uma expansão gasosa que ocorre em um intervalo de tempo muito pequeno, a transformação sofrida pelo $CO_2$ é adiabática. Nesse caso, devido à transferência de energia do gás para o meio exterior, durante a realização de trabalho, há uma diminuição da energia interna (U) do gás e, como consequência, queda de temperatura na região do bocal.

Ou ainda, em equações:

- transformação adiabática: Q = 0;
- expansão do gás: T > 0;
- Primeira Lei da Termodinâmica: ΔU = Q – T ⇒ ΔU < 0.

Como ΔU < 0 ⇒ ΔT < 0.

**08** **B**

Supondo que os processos estejam ocorrendo com uma amostra de gás ideal, como os três caminhos se encontram sobre uma mesma isoterma, conclui-se que:

$\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3 = 0$

O trabalho **τ** é dado numericamente pela área sob a curva (até encostar no eixo do volume).

Nesse caso, pelo gráfico, tem-se $\tau_1 > \tau_2 > \tau_3$.

**09** **C**

Usando a Primeira Lei da Termodinâmica, calcula-se a variação da energia interna em cada uma das transformações.

$$\begin{cases} \Delta U_{FG} = Q_{FG} - \tau_{FG} = 200 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^5\,(0{,}50 - 0{,}15) = 130 \cdot 10^3 \Rightarrow \\ \Delta U_{FG} = 130 \text{ kJ} \\ \Delta U_{GH} = 0 \text{ (isotérmica)} \\ \Delta U_{HI} = Q_{HI} - \tau_{HI} = -220 \cdot 10^3 - 1 \cdot 10^5\,(0{,}25 - 1) = -145 \cdot 10^3 \Rightarrow \\ \Delta U_{HI} = -145 \text{ kJ} \end{cases}$$

Em um ciclo, a variação da energia interna é nula e igual ao somatório das variações de energia interna nas transformações parciais. Assim:

$$\Delta U_{FG} + \Delta U_{GH} + \Delta U_{HI} + \Delta U_{IJ} = \Delta U_{ciclo} \Rightarrow 130 + 0 - 145 + \Delta U_{IJ} = 0 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{IJ} = 145 - 130 \Rightarrow \Delta U_{IJ} = 15 \text{ kJ}$$

**10** **A**

**Dados:** $V_0$ = 400 mL; $\gamma = \frac{3}{2}$; $P_0$ = 1 atm; $T_0$ = 26 °C = 299 K;

V = 0,25 · $V_0$ = 0,25(400) = 100 mL.

Aplicando a equação de uma transformação adiabática para as situações final e inicial:

$$PV^{\gamma} = P_0 V_0^{\gamma} \Rightarrow P(100)^{\frac{3}{2}} = 1(400)^{\frac{3}{2}} \Rightarrow P(10^2)^{\frac{3}{2}} = (20^2)^{\frac{3}{2}} \Rightarrow$$

$$P \cdot 10^3 = 20^3 \Rightarrow P\left(\frac{20}{10}\right)^3 = 2^3 \Rightarrow P = 8 \text{ atm}$$

Aplicando a equação geral para os estados final e inicial:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \Rightarrow \frac{8(100)}{T} = \frac{1(400)}{299} \Rightarrow T = 598 \text{ K} \Rightarrow T = 325 \text{ °C}$$

**11** **D**

- Trabalho realizado pelo sistema gasoso:
  τ = mg · h = 100 · 0,1 ⇒ τ =10 J
- Como o gás absorveu uma quantidade de calor de 40 J, tem-se que:
  ΔU = Q – τ = 40 – 10 ⇒ ΔU = 30 J
- Note que houve um aumento de 30 J na energia interna do sistema.

**12** **A**

O líquido, ao ser expelido para o meio externo, passou rapidamente para o estado gasoso. Durante essa expansão muito rápida, praticamente não há trocas de calor com a vizinhança. Dessa forma, o trabalho é realizado às custas da diminuição da energia interna, o que justifica o jato sair tão frio. Logo, essa transformação é aproximadamente adiabática.