

## Orientações

Conceituar trabalho de um gás associando, sendo 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 texto.

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.

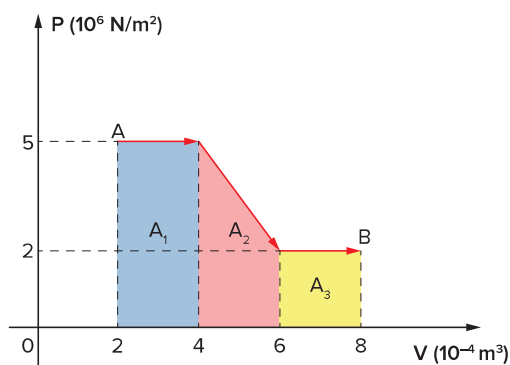
Apresentar as equações de cálculo da quantidade de calor explicitando que experimentalmente é percebida diferença na capacidade térmica molar quando o gás sofre transformação a pressão ou a volume constante. Apresentar a relação de Mayer. Ela está deduzida no livro, caso julgue oportuno indicar a leitura.

## RESOLUÇÕES

### Exercícios de sala

1. **C**

O trabalho da transformação é numericamente igual a área do diagrama PV.



Portanto, temos:

$$W \stackrel{N}{=} A_1 + A_2 + A_3$$

$$W = (2 \cdot 10^{-4}) \cdot (5 \cdot 10^6) + \frac{(5+2) \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-4}}{2} +$$

$$+ (2 \cdot 10^6) \cdot (2 \cdot 10^{-4})$$

$$W = 10 \cdot 10^2 + 7 \cdot 10^2 + 8 \cdot 10^2$$

$$W = 21 \cdot 10^2 \text{ J} = 2,1 \text{ kJ}$$

2.

a) Substituindo os valores na equação de Clapeyron para o estado *a*, temos:

$$P_a \cdot V_a = n \cdot R \cdot T_a \Rightarrow T_a = \frac{P_a \cdot V_a}{n \cdot R}$$

$$T_a = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 8,3} \Rightarrow T_a \cong 271 \text{ K}$$

Do enunciado, sabemos que:

$$P_b = 2P_a = 6,0 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$P_d = \frac{P_b}{4} \Rightarrow P_d = 1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$V_d = V_c = 3V_a = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Utilizando esses resultados na equação de Clapeyron para o estado *d*, temos:

$$P_d \cdot V_d = n \cdot R \cdot T_d \Rightarrow T_d = \frac{P_d \cdot V_d}{n \cdot R}$$

$$T_d = \frac{1,5 \cdot 10^5 \cdot 4,5 \cdot 10^{-3}}{0,2 \cdot 8,3} \Rightarrow T_d \cong 407 \text{ K}$$

b) Sendo os trechos *a* → *b* e *c* → *d* isométricos, não há realização de trabalho nesses trechos. Assim:

$$W_{ab} = W_{cd} = 0$$

$$W_{ab} = P_b \cdot \Delta V = (6,0 \cdot 10^5) \cdot (4,5 - 1,5) \cdot 10^{-3}$$

$$W_{ab} = 1800 \text{ J}$$

3. **D**

Tratando-se de uma compressão, necessariamente o volume diminui e o trabalho ( $W$ ) é negativo. Como a transformação é adiabática, não há trocas de calor ( $Q = 0$ ):

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow \Delta U = -W \Rightarrow \Delta U + W = 0$$

Como  $W$  é negativo,  $\Delta U$  é positivo. Como  $\Delta U \propto \Delta T$ , podemos concluir que a temperatura também aumentou. Em uma transformação em que a temperatura aumenta e o volume diminui, necessariamente a pressão aumenta.

4. **B**

Afirmativa I: correta. Na etapa BC, o gás sofre um resfriamento isométrico, portanto:

$$W_{BC} = 0 \text{ e } \Delta U_{BC} < 0$$

Assim, da conservação de energia, temos:

$$Q_{BC} = \Delta U_{BC} - W_{BC} \Rightarrow Q_{BC} = \Delta U_{BC}$$

Como  $\Delta U_{BC} < 0$ , temos que:

$$Q_{BC} < 0 \text{ (o gás cedeu calor ao meio externo)}$$

Já na etapa CA, o gás sofre uma compressão isotérmica:

$$W_{CA} > 0 \text{ e } \Delta U_{CA} = 0$$

Portanto, da conservação de energia, temos:

$$Q_{CA} = \Delta U_{CA} - W_{CA} \Rightarrow Q_{CA} = -W_{CA}$$

Como  $W_{CA} > 0$ , temos que:

$$Q_{CA} < 0 \text{ (o gás cedeu calor ao meio externo)}$$

Afirmativa II: incorreta. Na etapa BC, o gás não varia de volume, portanto o trabalho nessa etapa é nulo.

Afirmativa III: incorreta. A temperatura do gás aumenta na etapa AB, mas diminui na etapa CA.

5. **D**

Tratando-se de gás monoatômico, sabemos que o calor específico molar a volume constante ( $C_V$ ) e a pressão constante ( $C_P$ ) valem:

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

Para uma mesma variação de temperatura, os calores trocados em cada transformação gasosa são dados por:

$$Q_V = n \cdot C_V \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$Q_P = n \cdot C_P \cdot \Delta T = \frac{5}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

Dividindo as duas equações anteriores:

$$\frac{Q_V}{Q_P} = \frac{3}{5} \Rightarrow Q_V = \frac{3Q_P}{5}$$

6. 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 1ª 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
$\Delta U$	450 J				
$Q$			-1350 J		
$W$					600 J