1 O domínio da tecnologia e dos conceitos relacionados à Termodinâmica permitiu que algumas nações adquirissem considerável vantagem econômica, durante o período conhecido como Primeira Revolução Industrial, cujos reflexos ecoam até o presente. Nesse sentido, para uma sociedade moderna, faz parte de uma cultura científica mínima o conhecimento de certas leis físicas que permitem interpretar os processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica. Dessa maneira, avalie as afirmações a seguir, julgando-as corretas ou não segundo as leis da Termodinâmica.

I. ( ) Uma expansão gasosa isobárica só se realiza mediante recebimento de calor por parte do gás.

II. ( ) É possível que certa massa gasosa seja submetida a uma expansão isotérmica sem que ocorram trocas de calor entre o gás e o meio.

III. ( ) Nas transformações isocóricas, a energia interna do gás só pode ser alterada por meio de trocas de energia térmica entre o gás e o meio.

I. Correta. Na expansão isobárica: $\Delta U > 0$, $\tau > 0 \Rightarrow Q > 0$

II. Incorreta. Na expansão isotérmica: $\Delta U = 0 \Rightarrow \tau = Q \neq 0$

III. Correta. Na transformação isocórica: $\tau = 0 \Rightarrow \Delta U = Q \neq 0$

2 Certa massa de gás ideal e monoatômico encontra-se no interior de um recipiente dotado de instrumentos de medida e de um dispositivo que possibilita regular o volume em seu interior. Inicialmente o gás se encontra em um estado termodinâmico A, no qual sua pressão vale $3 \cdot 10^5$ Pa e ocupa um volume de $2 \cdot 10^{-3}$ m^3.

Então, esse sistema gasoso é submetido a uma sequência de transformações descritas a seguir:

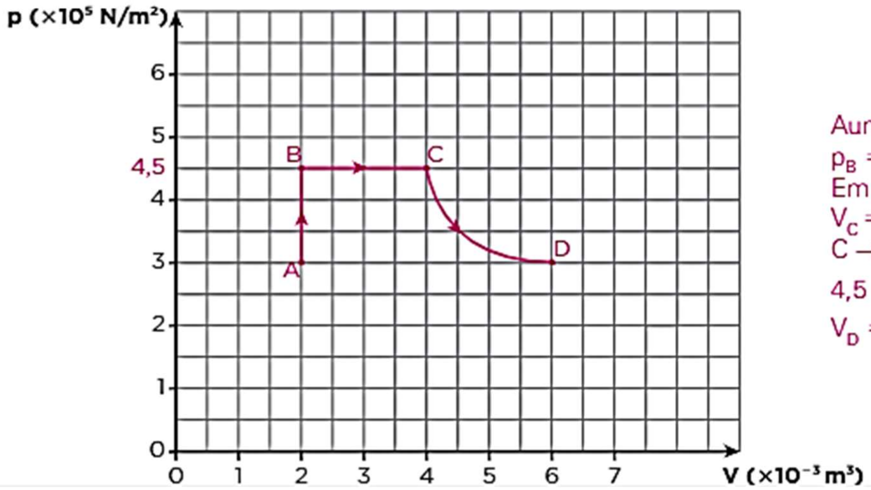
1) Do estado A ao estado B, o gás recebe calor e evolui isometricamente, aumentando em 50% sua pressão.

2) Do estado B ao estado C, o gás dobra seu volume isobaricamente.

3) Finalmente, de C ao estado final D, ele é submetido a uma expansão isotérmica até que atinja a pressão inicial. Nessa transformação, houve realização de trabalho da força de pressão, de módulo igual a 700 J.

Com relação a essa situação, pede-se:

I. Construa, no diagrama p × V, indicado abaixo, o gráfico correspondente a esta série de transformações.



Aumento de 50% na pressão:
$p_B = 1,5 \cdot p_A = 4,5 \cdot 10^5$ Pa
Em C o volume é o dobro de B. Logo:
$V_C = 2 \cdot V_B = 4 \cdot 10^{-3}$ m^3
C → D: isotérmica. Logo: $p_C \cdot V_C = p_D \cdot V_D$
$4,5 \cdot 10^5 \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^5 \cdot V_D$
$V_D = 6 \cdot 10^{-3}$ m^3

II. A quantidade de calor Q_{AB} que o gás troca durante a transformação de A para B vale:

a) zero.
b) 150 J.
▶ c) 450 J.
d) 600 J.
e) 900 J.

De A para B: $\tau = 0$ (isométrica). Logo, pela PLT: $Q_{AB} = \Delta U_{AB}$

$U_A = \frac{3}{2} \cdot p_A \cdot V_A = \frac{3}{2} \cdot 3 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 900\,J$

$U_B = \frac{3}{2} \cdot p_B \cdot V_B = \frac{3}{2} \cdot 4{,}5 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 1350\,J$

Logo: $Q_{AB} = 450$ J

III. A quantidade de calor Q_{BC} que o gás troca durante a transformação de B para C vale:

a) zero.
b) 450 J.
c) 800 J.
d) 1 150 J.
▶ e) 2 250 J.

Na transformação isobárica:

$\tau = p \cdot \Delta V$ e $\Delta U = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V$

Na PLT: $Q = \Delta U + \tau = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \Delta V + p \cdot \Delta V = \frac{5}{2} \cdot p \cdot \Delta V$

Logo: $Q_{BC} = \frac{5}{2} \cdot 4{,}5 \cdot (4 - 2) \cdot 10^{-3} = 2250\,J$

IV. A quantidade de calor Q_{CD} trocada entre o gás e o meio na transformação isotérmica $C \rightarrow D$ foi de:

a) zero.
▶ b) +700 J.
c) −700 J.
d) +900 J.
e) −900 J.

Na transformação isotérmica: $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = \tau$, em que $\tau > 0$, pois houve uma expansão.
Logo: $Q = +700$ J

3 Certa massa de gás ideal se encontra inicialmente em um estado termodinâmico de equilíbrio A, podendo ser submetido a uma transformação gasosa.

Com relação às possíveis trocas de energia em certas transformações, avalie as afirmações a seguir, julgando-as corretas ou incorretas.

I. ( ) Em uma transformação cíclica, o trabalho da força de pressão do gás, na fase de expansão, em módulo, é igual ao trabalho na fase de compressão, resultando em um trabalho global nulo.

II. ( ) Expansões ou compressões rápidas podem ser consideradas transformações adiabáticas.

III. ( ) Em uma expansão adiabática, ocorre uma diminuição de energia interna do sistema gasoso.

I. Incorreta. O trabalho na transformação cíclica não é nulo, pois o valor médio da pressão na fase de expansão não é igual ao valor médio da pressão na fase de compressão.

II. Correta. O termo *rápido* pode ser entendido como "não dá tempo para que ocorram trocas de calor".

III. Correta. Expansão significa perda de energia. Se não há reposição sob forma de calor, a energia interna do sistema diminui.

4 (Fuvest-SP) Um mol de um gás ideal monoatômico é resfriado adiabaticamente de uma temperatura inicial T_1 até uma temperatura final $\frac{T_1}{3}$.

Com base nessas informações, responda:

a) O gás sofreu expansão ou compressão ao final do processo? Justifique sua resposta.

b) Encontre o valor do trabalho realizado pelo gás nesse processo em termos da constante universal dos gases ideais R e de T_1.

c) Encontre a razão entre as pressões final e inicial do gás após o processo.

> Note e adote:
> - Em um processo adiabático, não há troca de calor com o ambiente.
> - Energia interna por mol de um gás ideal monoatômico: $U = \frac{3RT}{2}$.
> - Para o processo adiabático em questão, vale a relação $PV^{\frac{5}{3}}$ = constante.

a) De acordo com a 1ª lei da Termodinâmica: $Q = \tau + \Delta U$

De acordo com o enunciado: transformação adiabática $\Rightarrow Q = 0$

Como $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$ e $\Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U < 0$

Logo:

$0 = \tau + \Delta U \Rightarrow \tau = -\Delta U$

$\therefore \ \tau > 0$

Portanto, o **gás sofreu expansão**.

b) Da expressão obtida anteriormente:

$$\tau = -\Delta U = -\frac{3}{2} nR\Delta T$$

$$\tau = -\frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R\left(\frac{T_1}{3} - T_1\right)$$

$$\therefore \ \tau = RT_1$$

c) Como $PV^{5/3}$ = constante, devemos ter que: $P_f V_f^{5/3} = P_1 V_1^{5/3}$

Da equação de Clapeyron com n = 1, vem: $PV = 1 \cdot RT \Rightarrow V = \frac{RT}{P}$

Substituindo na expressão anterior: $P_f \left(\frac{RT_f}{P_f}\right)^{5/3} = P_1 \left(\frac{RT_1}{P_1}\right)^{5/3} \Rightarrow \frac{T_f^{5/3}}{P_f^{2/3}} = \frac{T_1^{5/3}}{P_1^{2/3}} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \left(\frac{P_f}{P_1}\right)^{2/3} = \left(\frac{T_1/3}{T_1}\right)^{5/3} \Rightarrow \frac{P_f}{P_1} = \left(\frac{1}{3}\right)^{5/2} = \frac{1}{\sqrt{3^5}} \therefore \ \frac{P_f}{P_1} = \frac{\sqrt{3}}{27}$$