

Gabarito 3 com Resolução

Termodinâmica

Conteúdos: Trabalho isotérmico, ciclos termodinâmicos completos, ciclo Otto, bombas de calor, razão C_p/C_v , entropia do universo e Terceira Lei — aprofundamento

1. $W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln(V_2/V_1) = 2 \times 8,31 \times 350 \times \ln(3) = 5817 \times 1,0986 \approx 6390 \text{ J} \approx 6,39 \times 10^3 \text{ J}$
2. W_{AB} (isobárica, expansão) $= p_1 \cdot (V_2 - V_1) = 3 \times 10^5 \times 3 = 9 \times 10^5 \text{ J}$. $W_{BC} = 0$ (isocórica). W_{CD} (isobárica, compressão) $= p_2 \cdot (V_1 - V_2) = 1 \times 10^5 \times (-3) = -3 \times 10^5 \text{ J}$. $W_{DA} = 0$ (isocórica). Trabalho líquido $= 9 \times 10^5 - 3 \times 10^5 = 6 \times 10^5 \text{ J}$ (confere com a área do retângulo: $(p_1 - p_2) \cdot (V_2 - V_1) = 2 \times 10^5 \times 3 = 6 \times 10^5 \text{ J}$).
3. $\eta = 1 - 1/r^{\gamma-1} = 1 - 1/8^{0,4} = 1 - 1/2,297 \approx 1 - 0,435 = 0,565 = 56,5\%$
4. $\text{COP}_{\text{aquecimento}} = Q_q/W = 1200/300 = 4$. $Q_f = Q_q - W = 1200 - 300 = 900 \text{ J}$ retirados do ambiente externo.
5. $C_p = C_v + R = (5/2) \times 8,31 + 8,31 = 20,775 + 8,31 = 29,085 \text{ J/(mol} \cdot \text{K)}$. $\gamma = C_p/C_v = 29,085/20,775 = 1,4$
6. $\Delta S_{\text{quente}} = -Q/T_{\text{quente}} = -800/400 = -2 \text{ J/K}$. $\Delta S_{\text{fria}} = +Q/T_{\text{fria}} = 800/250 = 3,2 \text{ J/K}$. $\Delta S_{\text{universo}} = -2 + 3,2 = 1,2 \text{ J/K}$. Como $\Delta S_{\text{universo}} > 0$, o processo é consistente com a Segunda Lei da Termodinâmica, que afirma que a entropia do universo (sistema isolado) nunca diminui — ela aumenta em qualquer processo real e irreversível, como essa condução espontânea de calor do corpo mais quente para o mais frio.
7. $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - (1/300) = 1 - 0,0033 = 0,9967 = 99,67\%$. Mesmo com a fonte fria extremamente próxima do zero absoluto, o rendimento ainda é menor que 100%, pois só seria exatamente 100% se $T_f = 0 \text{ K}$ exatamente. Pela Terceira Lei da Termodinâmica, o zero absoluto é uma temperatura inatingível na prática (exigiria infinitas etapas de resfriamento), portanto nenhuma máquina térmica real pode, mesmo teoricamente, atingir rendimento de 100%.
8. $\Delta U = Q - W = 0 - 500 = -500 \text{ J}$. Como $\Delta U = n \cdot C_v \cdot \Delta T$: $-500 = 2 \times 12,5 \times \Delta T \rightarrow \Delta T = -500/25 = -20 \text{ K}$. Temperatura final $= 300 - 20 = 280 \text{ K}$.
9. $W = \eta \times Q_q = 0,30 \times 1000 = 300 \text{ J}$. $Q_f = Q_q - W = 1000 - 300 = 700 \text{ J}$. $\Delta S_{\text{quente}} = -Q_q/T_q = -1000/500 = -2 \text{ J/K}$. $\Delta S_{\text{fria}} = +Q_f/T_f = 700/300 \approx 2,333 \text{ J/K}$. $\Delta S_{\text{universo}} = -2 + 2,333 = 0,333 \text{ J/K} > 0$, confirmando que o processo é irreversível (uma máquina de Carnot reversível operando entre as mesmas fontes teria $\Delta S_{\text{universo}} = 0$).
10. Não é necessário colocar A e C diretamente em contato. Pela Lei Zero da Termodinâmica, se A está em equilíbrio térmico com o termômetro (mesma leitura obtida) e B também está em equilíbrio térmico com esse mesmo termômetro (mesma leitura), então A e B estão em equilíbrio térmico entre si (mesma temperatura). Como B e C já estão em equilíbrio térmico entre si, por transitividade A e C também estão em equilíbrio térmico entre si, mesmo sem nunca terem sido colocados em contato direto. É exatamente essa propriedade de transitividade, estabelecida pela Lei Zero, que torna válido o uso prático de um termômetro: ele permite comparar indiretamente as temperaturas de corpos diferentes, bastando compará-los, um de cada vez, com o mesmo instrumento.