AULAS 19 E 20

Orientações

O enfoque principal desse capítulo é a resolução de exercícios. Dessa forma, a aula foi planejada para que 30% a 40% no máximo sejam destinados à explanação teórica, e o restante do tempo concentrado na aplicação dos conceitos de forma prática e dirigida.

Iniciar a aula apresentando o conceito de máquinas térmicas dividindo-as em duas categorias:

- **motores térmicos:** capazes de transformar energia térmica, a partir do calor recebido, em energia mecânica, utilizada para movimentar algum mecanismo, como pistões.
- **bombas de calor**: capazes de, a partir de trabalho mecânico imposto ao dispositivo, transferir calor de forma não espontânea, invertendo seu fluxo natural.

Apresentar o esquema gráfico de um motor térmico, explicando cada parte do esquema. Esse é o principal esquema que os estudantes vão encontrar em exercícios e provas, por isso é importante que eles estejam familiarizados com essa representação. Comentar a inversão do fluxo de calor que caracteriza a bomba de calor. Se julgar conveniente, mostrar ambos os esquemas sobrepostos, como apresentado no resumo de aula.

Apresentar os conceitos de rendimento e eficiência. Fazer os exercícios correspondentes (1 e 2) ou distribuí-los de acordo com o andamento da turma. Verificar o ritmo de aula antes de fazer o exercício 3. Caso o tempo seja exíguo, sugerimos que esse exercício seja resolvido no final da aula ou que seja proposto aos estudantes como desafio pós-aula.

Introduzir a ideia de transformação de energia térmica em energia mecânica associando-a à perda energética como um fenômeno natural e inevitável. Falar sobre a máquina ideal, na qual não haveria perda. Se julgar oportuno, falar do motor de um automóvel, no qual parte do calor liberado na combustão provoca aquecimento e expansão do gás formado na combustão, provocando o movimento do veículo; e parte do calor causa aquecimento da carcaça do próprio motor, sendo eliminado para o ambiente pelo sistema de refrigeração e escapamento. Reforçar que essa dissipação de energia é inevitável. Apresentar o enunciado da 2ª lei da Termodinâmica.

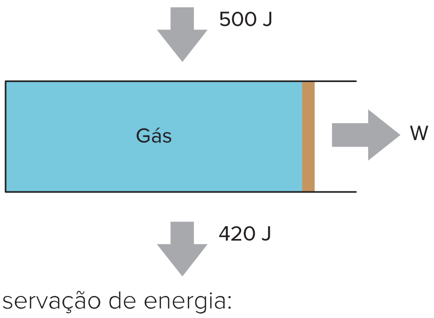
Por fim, comentar o trabalho do jovem Sadi Carnot, que propôs um modelo teórico segundo o qual a perda de calor poderia ser minimizada, embora não eliminada. Desenhar o ciclo de Carnot no quadro, mostrando os detalhes que compõem cada uma das quatro etapas, reforçando onde ocorre a entrada e a saída de calor no sistema. Mostrar como calcular o rendimento nesse ciclo. Fazer os exercícios finais (4 a 6).

RESOLUÇÕES

Exercícios de sala

1. **A**

A figura a seguir representa o funcionamento da máquina térmica em questão.



Da conservação de energia:

$$Q_Q = |Q_F| + W \Rightarrow 500 = 420 + W$$

$$W = 80\ J$$

A definição de rendimento é a razão entre o trabalho obtido e o calor fornecido. Assim:

$$\eta = \frac{W}{Q_Q} = \frac{80}{500} \Rightarrow \eta = 0,16$$

$$\eta = 16\%$$

2.

a) Do enunciado, temos que $P_A = 4$ atm, $T_A = 300$ K e n = 1 mol. Utilizando esses valores na equação de Clapeyron, temos:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \Rightarrow 4 \cdot V_A = 1{,}0 \cdot 0{,}08 \cdot 300$$
$$V_A = 6\ L$$

b) Do gráfico, $P_D = P_B$. Do texto, sabemos que $V_B = \dfrac{V_A}{3}$; $T_A = T_B$. Relacionando as variáveis de estado:

$$\frac{V_A \cdot P_A}{T_A} = \frac{V_B \cdot P_B}{T_B} \Rightarrow \frac{6 \cdot 4}{300} = \frac{\left(\frac{6}{3}\right) \cdot P_B}{300}$$
$$P_B = 12\ atm \Rightarrow P_D = 12\ atm$$

c) Sendo $V_D = V_A = 6$ L, podemos relacionar as variáveis de estado:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_D \cdot V_D}{T_D} \Rightarrow \frac{4 \cdot 6}{300} = \frac{12 \cdot 6}{T_D}$$
$$T_D = 900\ K$$

Portanto, $T_2 = 900$ K.

d) O calor total recebido em um ciclo é a soma dos calores recebidos.
O trecho AB é uma compressão isotérmica: Portanto, temos que:

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

Se é compressão, o trabalho é negativo, e, consequentemente, o calor também é negativo. Sendo assim:

$$Q_{AB} = -2\,640\ J$$

De maneira análoga, concluímos o oposto para a expansão isotérmica:

$$Q_{CD} = +\,7\,910\ J$$

O trecho BC é um aquecimento isométrico, ou seja, recebe calor. O trecho DA é um resfriamento isométrico, ou seja, perde calor. Sendo assim, o calor total recebido é:

$$Q_R = Q_{BC} + Q_{CD}$$
$$Q_{BC} = n \cdot C_V \cdot \Delta T = 1 \cdot \left(\frac{3}{2} \cdot 8\right) \cdot (900 - 300)$$
$$Q_{BC} = +7\,200\ J$$

Finalmente, temos que:

$$Q_R = Q_{BC} + Q_{CD} = 7200 + 7910$$
$$Q_R = 15\,110\ J$$

3.

a) Como o ciclo ocorre no sentido anti-horário, conclui-se que se trata de uma **bomba de calor**.

b) O trabalho realizado sobre o gás é numericamente igual à área do ciclo. Sendo assim:

$$W = (10^5) \cdot (10 \cdot 10^{-3}) \Rightarrow W = 10^3\ J$$

c) Para um refrigerador térmico, a eficiência (e) é obtida da seguinte maneira:

$$e = \frac{Q_F}{W}$$

O calor retirado do refrigerador é justamente o calor recebido pelo sistema. O gás absorve calor nos processos AD e DC:

$$Q_{AD} = n \cdot C_p \cdot \Delta T = \frac{5}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$
$$Q_{AD} = \frac{5}{2} \cdot \Delta(PV) = \frac{5}{2} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^5 - 20 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^5$$
$$Q_{AD} = 2{,}5 \cdot 10^3\ J$$
$$Q_{DC} = n \cdot C_V \cdot \Delta T = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$
$$Q_{DC} = \frac{3}{2} \cdot \Delta(PV) = \frac{3}{2} \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 10^5$$
$$Q_{DC} = 4{,}5 \cdot 10^3\ J$$

Portanto:

$$Q_F = Q_{DC} + Q_{AD}$$
$$Q_F = 2{,}5 \cdot 10^3 + 4{,}5 \cdot 10^3$$
$$Q_F = 7 \cdot 10^3\ J$$

Finalmente, a eficiência é:

$$e = \frac{Q_F}{W} = \frac{7 \cdot 10^3}{10^3} \Rightarrow e = 7$$

4. E

Utilizando os valores do enunciado, temos:

$$\eta_C = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow \frac{40}{100} = 1 - \frac{T_F}{500} \Rightarrow T_F = 300\ K$$

A cada segundo, a máquina realiza $4{,}2 \cdot 10^3$ J de trabalho em 10 ciclos. Portanto:

ciclos		trabalho (J)
1	——	W
10	——	$4{,}2 \cdot 10^3$

$$W = 420\ J$$

5. O rendimento ideal corresponde ao ciclo de Carnot:

$$\eta_C = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow \eta_C = 1 - \frac{300}{1500}$$

$$\eta_C = 0{,}8$$

O rendimento real é 75% do ideal, portanto:

$$\eta_{real} = \frac{75}{100} \cdot \eta_C = 0{,}75 \cdot 0{,}8$$

$$\eta_{real} = 0{,}6$$

Da definição de rendimento, temos que:

$$\eta_{real} = \frac{W}{Q_Q} \Rightarrow W = 0{,}6 \cdot 800$$

$$\eta_{real} = 480 \text{ J}$$

6. Para 1 segundo, temos:

$$|Q_Q| = 6\,000 \text{ J}$$

Sendo essa máquina operando segundo o ciclo de Carnot, vale a seguinte relação:

$$\left|\frac{Q_F}{Q_T}\right| = \frac{T_F}{T_Q} \Rightarrow \frac{Q_F}{6\,000} = \frac{232}{290} \Rightarrow Q_F = 4\,800 \text{ J}$$

Da conservação da energia, temos:

$$|Q_Q| = W + Q_F \Rightarrow W = 6\,000 - 4\,800$$

$$W = 1200 \text{ J}$$

Portanto, a potência será:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{1200}{1} \Rightarrow P = 1200 \text{ W}$$