

## TEM 3.7

### 3.7

O sistema de refrigeração de um frigorífico é constituído por 0.2 mol de um gás - o isobutano ( $C_4H_{10}$ ). Durante o ciclo termodinâmico do frigorífico, o isobutano começa por estar sujeito a uma expansão adiabática, seguindo-se um aquecimento isocórico, uma compressão adiabática e, finalmente, o isobutano é comprimido e arrefecido isobaricamente. No total, o ciclo termodinâmico é constituído por quatro processos termodinâmicos elementares e o ciclo é percorrido no sentido contrário ao das rotações dos ponteiros do relógio. Considere que a temperatura de funcionamento do frigorífico é de 4 °C e que a temperatura exterior é de 25 °C. A pressão máxima do isobutano na tubagem do frigorífico é de 4 bar e a temperatura do isobutano no início da compressão adiabática é de 8 °C. O isobutano é caracterizado pelas constantes termodinâmicas,  $c_V = 85.85 \text{ J/(mol K)}$  e  $\gamma = 1.097$ .

## TEM 3.7

### 3.7

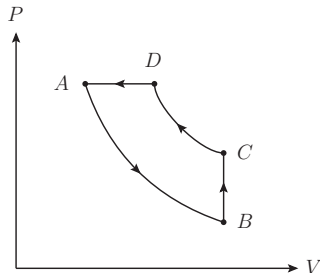
- a) Faça o diagrama ( $V, P$ ) do processo termodinâmico cíclico descrito. Indique os sentidos dos percursos e calcule as pressões, as temperaturas e os volumes no início e no fim dos quatro processos termodinâmicos elementares.
- b) No diagrama do ciclo termodinâmico, indique os sentidos dos fluxos de calor e de trabalho. Nas várias transformações elementares do ciclo, calcule as quantidades de calor e de trabalho trocadas entre o sistema termodinâmico e o exterior.
- c) Em condições normais de funcionamento do frigorífico, são percorridos 1000 ciclos termodinâmico por hora, e o preço da energia eléctrica é de 15 centimos por kilowatt-hora. Calcule a potência do frigorífico. Como o custo de funcionamento do frigorífico é devido ao custo da energia que alimenta o motor que comprime o gás de refrigeração, calcule o custo diário de manutenção do frigorífico.
- d) Calcule a eficiência do ciclo termodinâmico do frigorífico.

## TEM 3.7

- $A \rightarrow B$ , expansão adiabática  $\Rightarrow \Delta Q = 0$
- $B \rightarrow C$ , aquecimento isocórico  $\Rightarrow \Delta V = 0$
- $C \rightarrow D$ , compressão adiabática  $\Rightarrow \Delta Q = 0$
- $D \rightarrow A$ , compressão e arrefecimento isobarica  $\Rightarrow \Delta P = 0$

## TEM 3.7

- $A \rightarrow B$ , expansão adiabática  $\Rightarrow \Delta Q = 0$
- $B \rightarrow C$ , aquecimento isocórico  $\Rightarrow \Delta V = 0$
- $C \rightarrow D$ , compressão adiabática  $\Rightarrow \Delta Q = 0$
- $D \rightarrow A$ , compressão e arrefecimento isobarica  $\Rightarrow \Delta P = 0$



## TEM 3.7

$(V, P, T)$  em  $\{A, B, C, D\}$

**A**

$$T_A = T_q = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_A = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_A = ?$$

**B**

$$T_B = T_f = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_B = ?$$

$$V_B = ?$$

**C**

$$T_C = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_C = ?$$

$$V_C = V_B$$

**D**

$$T_D = ?$$

$$P_D = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_D = ?$$

## TEM 3.7

$(V, P, T)$  em  $\{A, B, C, D\}$

**A**

$$T_A = T_q = 25\text{ °C}$$

$$P_A = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_A = \checkmark$$

**B**

$$T_B = T_f = 4\text{ °C}$$

$$P_B = ?$$

$$V_B = ?$$

**C**

$$T_C = 8\text{ °C}$$

$$P_C = ?$$

$$V_C = V_B$$

**D**

$$T_D = ?$$

$$P_D = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_D = ?$$

**A:** Gás ideal, eq. estado  $\Rightarrow V_A = \dots$

## TEM 3.7

$(V, P, T)$  em  $\{A, B, C, D\}$

**A**

$$T_A = T_q = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_A = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_A = \checkmark$$

**B**

$$T_B = T_f = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_B = \checkmark$$

$$V_B = \checkmark$$

**C**

$$T_C = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_C = ?$$

$$V_C = V_B$$

**D**

$$T_D = ?$$

$$P_D = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_D = ?$$

**B:** A $\rightarrow$ B adiabática,  $TV^{\gamma-1}$ ,  $PV^{\gamma}$ ,  $TP^{\gamma^{-1}-1}$  constantes  $\Rightarrow V_B = \dots$ ,  
 $P_B = \dots$

## TEM 3.7

$(V, P, T)$  em  $\{A, B, C, D\}$

**A**

$$T_A = T_q = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_A = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_A = \checkmark$$

**B**

$$T_B = T_f = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_B = \checkmark$$

$$V_B = \checkmark$$

**C**

$$T_C = 8\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$P_C = \checkmark$$

$$V_C = V_B$$

**D**

$$T_D = ?$$

$$P_D = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_D = ?$$

**C:** Gás ideal, eq. estado  $\Rightarrow P_C = \dots$



## TEM 3.7

$(V, P, T)$  em  $\{A, B, C, D\}$

**A**

$$T_A = T_q = 25\text{ °C}$$

$$P_A = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_A = \checkmark$$

**B**

$$T_B = T_f = 4\text{ °C}$$

$$P_B = \checkmark$$

$$V_B = \checkmark$$

**C**

$$T_C = 8\text{ °C}$$

$$P_C = \checkmark$$

$$V_C = V_B$$

**D**

$$T_D = \checkmark$$

$$P_D = P_{max} = 4\text{ bar}$$

$$V_D = \checkmark$$

**D:** C→D adiabática,  $\dots \Rightarrow T_D = \dots, V_D = \dots$

## TEM 3.7

Fluxos de calor e de trabalho

- $\Delta U = nc_V \Delta T = \Delta Q + \Delta W = \Delta Q - \int P dV$
- Adiabático  $\Delta Q = 0$
- Processo  $V = \text{cte} \Rightarrow - \int P dV = ?$
- Processo  $P = \text{cte} \Rightarrow - \int P dV = ?$
- Sentidos dos fluxos: sinais de  $\Delta Q$ ,  $\Delta W$

## TEM 3.7

- Motor: partes do ciclo em que o trabalho é feito sobre o gás
- 1000 ciclos/hora: trabalho  $\leftrightarrow$  energia, potência = energia / tempo, ...
- Eficiência  $e = \frac{Q_f}{W}$ , identificar nas partes do ciclo
  - $Q_f$  calor recebido por o gás
  - $W$  trabalho feito sobre o gás