

## Questão 1

(2,5)

Uma barra de seção transversal constante de  $1,00 \text{ cm}^2$  de área tem  $15 \text{ cm}$  de comprimento, dos quais  $5 \text{ cm}$  de alumínio e  $10 \text{ cm}$  de cobre. A extremidade de alumínio está em contato com um reservatório de temperatura desconhecida, e a de cobre, com outro reservatório que contém uma mistura de água e gelo a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Observa-se que em dois minutos  $30 \text{ g}$  de gelo derretem.

Dados:  $L_f = 4,00 \times 10^5 \text{ J/kg}$ ,  $\kappa_{\text{Al}} = 200 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ ,  $\kappa_{\text{Cu}} = 400 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ .

(1,5): a) Qual é a temperatura da barra na junção entre o alumínio e o cobre?

(1,0): b) Qual é a temperatura do reservatório de temperatura desconhecida?

a)

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{30 \text{ g} \times 400 \text{ J/g}}{120 \text{ s}} = 100 \text{ W}$$

Chamando de  $T_j$  a temperatura da junção e  $T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\frac{dQ}{dt} = \kappa_{\text{Cu}} \frac{A}{L_{\text{Cu}}} (T_j - T_0) \Rightarrow T_j = T_0 + \frac{L_{\text{Cu}}}{\kappa_{\text{Cu}} A} \frac{dQ}{dt}$$
$$T_j = \frac{10 \times 10^{-2} \text{ m} \times 100 \text{ W}}{400 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) \times 1,00 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \rightarrow \boxed{T_j = 250 \text{ }^\circ\text{C}}$$

b) Chamando de  $T_q$  a temperatura desconhecida

$$\frac{dQ}{dt} = \kappa_{\text{Al}} \frac{A}{L_{\text{Al}}} (T_q - T_j) \Rightarrow T_q = T_j + \frac{L_{\text{Al}}}{\kappa_{\text{Al}} A} \frac{dQ}{dt}$$
$$T_q = 250 \text{ }^\circ\text{C} + \frac{5 \times 10^{-2} \text{ m} \times 100 \text{ W}}{200 \text{ W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) \times 1,00 \times 10^{-4} \text{ m}^2} \rightarrow \boxed{T_q = 500 \text{ }^\circ\text{C}}$$

## Questão 2

(2,5)

Um recipiente de paredes adiabáticas e capacidade térmica desprezível contém 2,0 L de água a 30 °C. Coloca-se nele um bloco de 500 g de gelo a -20 °C.

Dados:  $L_f = 80 \text{ cal/g}$ ,  $c_{\text{água}} = 1,00 \text{ cal/(g} \cdot \text{K)}$ ,  $c_{\text{gelo}} = 0,5 \text{ cal/(g} \cdot \text{K)}$ ,  $\rho_{\text{água}} = 1,00 \text{ g/cm}^3$ .

(1,0): a) Calcule a temperatura final do sistema.

(1,5): b) Calcule a variação de entropia do sistema.

a)  $m_{\text{água}} = 2,0 \text{ kg}$ ,  $m_{\text{gelo}} = 0,500 \text{ kg}$

Para resfriar a água de  $t_a = 30 \text{ °C}$  a  $0 \text{ °C}$  ( $\Delta t = -30 \text{ °C}$ ):

$$Q_1 = m_{\text{água}} c_{\text{água}} \Delta t = -60 \text{ kcal}$$

Para aquecer o gelo de  $-20 \text{ °C}$  a  $0 \text{ °C}$  ( $\Delta t = +20 \text{ °C}$ ):

$$Q_2 = m_{\text{gelo}} c_{\text{gelo}} \Delta t = +5,00 \text{ kcal}$$

Para fundir completamente o gelo a  $0 \text{ °C}$ :

$$Q_3 = m_{\text{gelo}} L_f = +40,0 \text{ kcal}$$

Como  $|Q_1| > Q_2 + Q_3$ , o gelo derrete completamente e a temperatura de equilíbrio é  $t_{\text{eq}} > 0 \text{ °C}$ . Assim: para aquecer a água proveniente da fusão de  $0 \text{ °C}$  até  $t_{\text{eq}}$

$$Q_4 = m_{\text{gelo}} c_{\text{água}} \Delta t = m_{\text{gelo}} c_{\text{água}} t_{\text{eq}}$$

O resfriamento inicial é de  $t_a$  até  $t_{\text{eq}}$  (não  $0 \text{ °C}$ ):

$$Q'_1 = m_{\text{água}} c_{\text{água}} (t_{\text{eq}} - t_a)$$

Para determinar  $t_{\text{eq}}$ :

$$Q'_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0$$

$$m_{\text{água}} c_{\text{água}} (t_{\text{eq}} - t_a) + Q_2 + Q_3 + m_{\text{gelo}} c_{\text{água}} t_{\text{eq}} = 0$$

$$(m_{\text{água}} + m_{\text{gelo}}) c_{\text{água}} t_{\text{eq}} = m_{\text{água}} c_{\text{água}} t_a - Q_2 - Q_3 = 0$$

$$t_{\text{eq}} = \frac{m_{\text{água}} c_{\text{água}} t_a - Q_2 - Q_3}{(m_{\text{água}} + m_{\text{gelo}}) c_{\text{água}}} = \frac{15,0 \text{ kcal}}{2,50 \text{ kcal}/^{\circ}\text{C}} \Rightarrow \boxed{t_{\text{eq}} = 6,0 ^{\circ}\text{C}}$$

$$\text{b) } dS = \frac{dQ}{T}, \frac{T}{\text{K}} = \frac{t}{^{\circ}\text{C}} + 273,15$$

$$T_a = 303 \text{ K}, T_g = 253 \text{ K}, T_0 = 273 \text{ K}, T_{\text{eq}} = 279 \text{ K}$$

$$\Delta S_1 = \int_{T_a}^{T_{\text{eq}}} \frac{m_{\text{água}} c_{\text{água}} dT}{T} = m_{\text{água}} c_{\text{água}} \ln (T_{\text{eq}}/T_a) \quad \Delta S_1 = -165,0 \text{ cal/K}$$

$$\Delta S_2 = \int_{T_g}^{T_0} \frac{m_{\text{gelo}} c_{\text{gelo}} dT}{T} = m_{\text{gelo}} c_{\text{gelo}} \ln (T_0/T_{\text{eq}}) \quad \Delta S_2 = +19,0 \text{ cal/K}$$

$$\Delta S_3 = \frac{m_{\text{gelo}} L_f}{T_0} \quad \Delta S_3 = +146,5 \text{ cal/K}$$

$$\Delta S_4 = \int_{T_0}^{T_{\text{eq}}} \frac{m_{\text{gelo}} c_{\text{água}} dT}{T} = m_{\text{gelo}} c_{\text{água}} \ln (T_{\text{eq}}/T_0) \quad \Delta S_4 = +10,9 \text{ cal/K}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \Delta S_3 + \Delta S_4 = +11,4 \text{ cal/K} = +47,6 \text{ J/K}$$

### Questão 3

(2,5)

Uma máquina de Carnot opera entre uma fonte quente a 500 K e uma fria a 300 K.

- (1,0): a) Se ela absorve 500 J de calor por ciclo da fonte quente, quanto trabalho por ciclo realiza?
- (1,0): b) Desenhe o diagrama  $(T,S)$  do ciclo desta máquina térmica, indicando o valor da variação de entropia. O que representa a área por ele compreendida?
- (0,5): c) Se a mesma máquina, trabalhando em sentido contrário, funciona como um refrigerador entre as mesmas fontes térmicas, qual é o trabalho que deve ser fornecido para remover 1000 J da fonte fria?

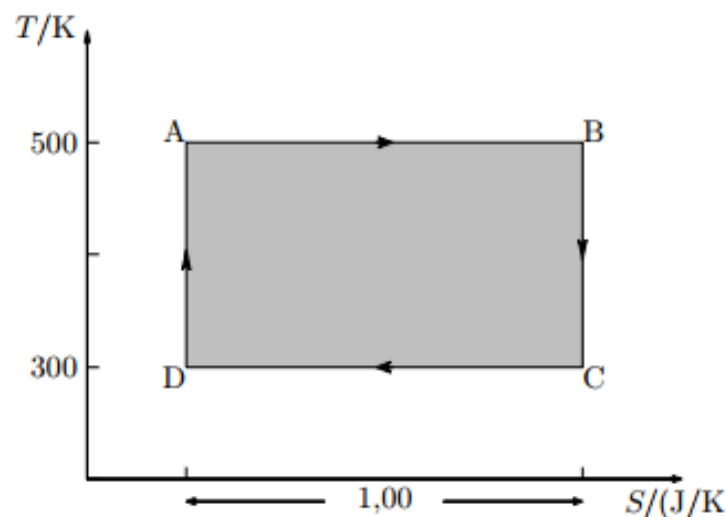
a)  $T_q = 500 \text{ K}$ ,  $T_f = 300 \text{ K}$ ,  $Q_q = 500 \text{ J}$

$$\eta = \eta_{\text{rev}} = \frac{W}{Q_q} = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 0,400 \Rightarrow \boxed{W = \eta Q_q = 200 \text{ J}}$$

b) Isoterma A-B

$$\Delta S = \int_A^B \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T_q} \int_A^B dQ = \frac{Q_q}{T_q} = 1,00 \text{ J/K}$$

A área representa o calor total recebido por ciclo,  $Q_q - Q_f$ , que é igual ao trabalho total realizado por ciclo,  $W$ .





c)  $T_q = 500 \text{ K}$ ,  $T_f = 300 \text{ K}$ ,  $Q_f = 1000 \text{ J}$

$$\frac{Q_f}{Q_q} = \frac{T_f}{T_q} \Rightarrow W = Q_q - Q_f = \frac{T_q - T_f}{T_f} Q_f \Rightarrow \boxed{W = 667 \text{ J}}$$

## Questão 4

(2,5)

Um mol de gás mono-atômico ideal passa do estado inicial com pressão  $P_0$  e volume  $V_0$ , para um estado onde a pressão é  $P = 2P_0$  e o volume é  $V = 2V_0$  através de dois caminhos diferentes:

- I. Ele expande isotermicamente até que seu volume dobre e, em seguida, sua pressão é aumentada a volume constante até a pressão final.
- II. Ele é comprimido isotermicamente até que sua pressão dobre e depois seu volume é aumentado a pressão constante até o volume final.

(0,5): a) Desenhe os processos para cada um dos caminhos num diagrama  $PV$ .

Calcule explicitamente em função de  $P_0$  e  $V_0$  (mostre os cálculos):

(0,5): b)  $Q$ , o calor recebido pelo gás no caminho I,

(0,5): c)  $W$ , o trabalho realizado pelo gás no caminho I,

(0,5): d)  $\Delta U$ , a variação da energia interna do gás nos caminhos I e II,

(0,5): e)  $\Delta S$ , a variação da entropia do gás nos caminhos I e II).

