

Gabarito Lista 2

Gabarito:

Resposta da questão 1:

Como é pedida apenas uma estimativa, podemos aproximar o CO_2 para um gás ideal e considerar condições normais de temperatura e pressão (CNTP). Temos, então, os seguintes dados:

- Massa molar do CO_2 : $m = 44 \text{ g/mol} = 44 \times 10^{-3} \text{ kg/mol}$;
- Massa específica da água: $\mu_{\text{ág}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$;
- Aceleração da gravidade: $g = 10,0 \text{ m/s}^2$;
- $T = 0 \text{ }^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$;
- $p = 1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$;
- Constante dos gases: $R = 8 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$.

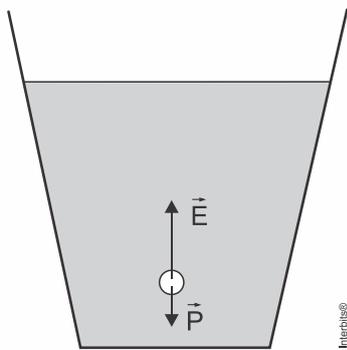
Calculando o volume ocupado por 1 mol de CO_2 :

$$pV = nRT \Rightarrow V = \frac{nRT}{p} = \frac{1 \times 8 \times 273}{10^5} \Rightarrow V = 21,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3.$$

Assim, a massa específica ($\mu_{\text{gás}}$) do CO_2 é:

$$\mu_{\text{gás}} = \frac{m}{V} = \frac{44 \times 10^{-3} \text{ kg}}{21,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3} \Rightarrow \mu_{\text{gás}} = 2,0 \text{ kg/m}^3.$$

A figura mostra as forças, empuxo e peso, que agem na bolha, assim que ela se forma.



Aplicando o princípio fundamental da dinâmica:

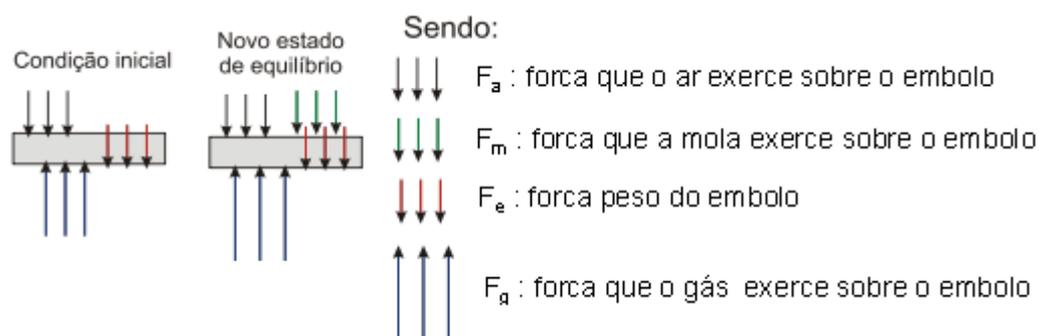
$$E - P = m a \Rightarrow E - mg = m a \Rightarrow \rho_{\text{ág}} \cancel{V} g - \rho_{\text{gás}} \cancel{V} g = \rho_{\text{gás}} \cancel{V} a \Rightarrow$$

$$a = \frac{(\rho_{\text{ág}} - \rho_{\text{gás}})g}{\rho_{\text{gás}}} = \frac{(1 - 2 \times 10^{-3})10}{2 \times 10^{-3}} \Rightarrow$$

$$a = 5,0 \times 10^3 \text{ m/s}^2.$$

Resposta da questão 2:

Analisando o enunciado, podemos montar o seguinte esquema:



Para o equilíbrio na condição inicial e no novo estado, teremos:

$$F_a + F_e = F_g$$

$$F_a + F_e + F_m = F'_g$$

Como $P = \frac{F}{A}$, podemos escrever:

$$P_e = \frac{\text{Peso}}{A} = \frac{m \cdot g}{A} \rightarrow P_e = \frac{20 \cdot 10}{0,01} \rightarrow P_e = 2 \times 10^4 \text{ Pa}$$

$$F_m = \frac{F}{A} = \frac{K \cdot \Delta x}{A} \rightarrow P_m = \frac{4000 \cdot (1,2 - 1)}{0,01} \rightarrow P_m = 8 \times 10^4 \text{ Pa}$$

Sendo dado: $P_a = 10 \times 10^4 \text{ Pa}$

Condição inicial

$$P_g = P_a + P_e \rightarrow P_g = 10 \times 10^4 + 2 \times 10^4 \rightarrow P_g = 1,2 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Novo estado de equilíbrio

$$P'_g = P_a + P_e + P_m \rightarrow P'_g = 10 \times 10^4 + 2 \times 10^4 + 8 \times 10^4 \rightarrow P'_g = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

Observamos uma transformação gasosa entre os dois estados:

$$\frac{P_g \cdot V}{T} = \frac{P'_g \cdot V'}{T'} \rightarrow \frac{P_g \cdot A \cdot h}{T} = \frac{P'_g \cdot A \cdot h'}{T'} \rightarrow \frac{P_g \cdot h}{T} = \frac{P'_g \cdot h'}{T'} \rightarrow \frac{1,2 \times 10^5 \cdot 1}{T} = \frac{2,0 \times 10^5 \cdot 1,2}{T'} \rightarrow T' = 2 \cdot T$$

"eq.1"

Analisando os trabalhos realizados pelas forças que atuam no êmbolo:

τ_a : trabalho da força do ar;

τ_m : trabalho da força da mola;

τ_e : trabalho do peso do êmbolo;

τ_g : trabalho da força do gás.

Como não há aumento da energia cinética do êmbolo, podemos escrever:

$$0 = \tau_g + \tau_a + \tau_m + \tau_e$$

$$\tau_a = \vec{F}_a \cdot \vec{d} = -P_a \cdot A \cdot (h' - h)$$

$$\tau_m = -\Delta E_{p,m} = -\frac{k \cdot \Delta x^2}{2} = -\frac{k \cdot (h' - h)^2}{2}$$

$$\tau_e = m \cdot \vec{g} \cdot \vec{d} = -m \cdot g \cdot (h' - h)$$

$$\therefore \tau_g = \tau_a + \tau_m + \tau_e \rightarrow \tau_g = P_a \cdot A \cdot (h' - h) + \frac{k \cdot (h' - h)^2}{2} + m \cdot g \cdot (h' - h)$$

$$\tau_g = 10 \times 10^4 \cdot 0,01 \cdot 0,2 + \frac{4000 \cdot (0,2)^2}{2} + 20 \cdot 10 \cdot 0,2$$

$$\tau_g = 320 \text{ J}$$

Aplicando a primeira lei da termodinâmica: $Q = \tau_g + \Delta U \rightarrow 3520 = 320 + \Delta U \rightarrow \Delta U = 3200 \text{ J}$

Como: $\Delta U = m \cdot c_v \cdot (T' - T) \rightarrow 3200 = 0,01 \cdot 1000 \cdot (T' - T) \rightarrow T' - T = 320$ "eq.2"

Analisando a "eq.1" ($T' = 2 \cdot T$) e a "eq.2" ($T' - T = 320$), teremos: $T = 320 \text{ K}$ e $T' = 640 \text{ K}$.

RESPOSTAS

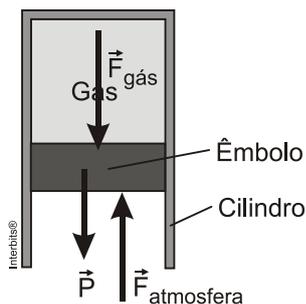
a) $1,2 \times 10^5 \text{ Pa}$
320K

b) $2,0 \times 10^5 \text{ Pa}$
640K

Resposta da questão 3:

$$1. P = P_{\text{atm}} + \frac{Mg}{A} \rightarrow P = 101.000 + \frac{200}{0,2} = 102.000 \text{ Pa} = 102 \text{ kPa}$$

2. A figura mostra as forças que agem no êmbolo.



$$\text{Para haver equilíbrio: } F_{\text{gás}} + P = F_{\text{atmosfera}} \rightarrow P_{\text{gás}} \cdot S = P + P_{\text{atm}} \cdot S$$

$$P_{\text{gás}} \times 0,2 + 200 = 101.000 \times 0,2 \rightarrow P_{\text{gás}} \times 0,2 = 20000 \rightarrow P_{\text{gás}} = 100.000 \text{ Pa}$$

$$\frac{P_I \cdot V_I}{T_I} = \frac{P_{II} \cdot V_{II}}{T_{II}} \rightarrow \frac{V_{II}}{V_I} = \frac{P_I}{P_{II}} \rightarrow \frac{V_{II}}{V_I} = \frac{102.000}{100.000} = 1,02$$

3. A evolução foi isotérmica $\rightarrow T = \text{constante} \rightarrow \Delta U = 0$

Pela Primeira Lei da Termodinâmica $\rightarrow \Delta U = Q - W = 0 \rightarrow Q = W$

Como ocorreu uma expansão $W > 0 \rightarrow Q > 0 \rightarrow$ o gás recebeu calor.

Resposta da questão 4:

a) Como o enunciado manda considerar o ar como gás perfeito, usando a equação de Clapeyron, temos:

$$P_0 V = n_0 R T.$$

Mas, $n_0 = \frac{m_0}{M}$, pois M é massa molecular do gás. Então:

$$P_0 V = \frac{m_0}{M} R T \Rightarrow m_0 = \frac{M P_0 V}{R T}.$$

b) Para anular a pressão (fazer vácuo) no interior do cilindro, é necessário retirar toda a massa gasosa (m_0) ali contida inicialmente, ou seja, a massa final é nula.

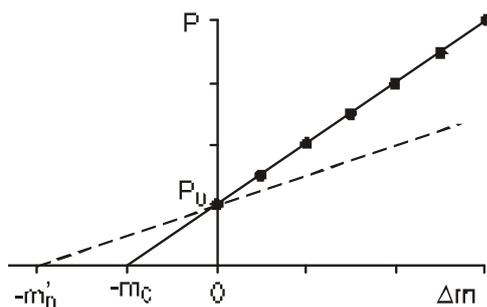
$$\Delta m = m - m_0 \Rightarrow \Delta m = 0 - m_0 \Rightarrow \Delta m = -m_0.$$

c) Analisando matematicamente o resultando obtido no item (a), vemos que a massa m_0 necessária para atingir a pressão P_0 é inversamente proporcional à temperatura:

$$m_0 = \frac{M P_0 V}{R} \left(\frac{1}{T} \right).$$

Assim, a uma temperatura $T' < T \Rightarrow m'_0 > m_0$.

Conforme o item (b), isso significa que, para anular a pressão no interior do cilindro, $\Delta m = -m'_0$.



Fisicamente, podemos entender da seguinte forma: como a temperatura é a medida do estado de agitação das partículas, para exercer a mesma pressão a uma temperatura menor, é necessária uma maior massa de ar.

Resposta da questão 5:

a) Vamos calcular a densidade de cada lata.

$$\text{Refrigerante comum: } d = \frac{m}{V} = \frac{m_{\text{lata}} + m_{\text{refrigerante}} + m_{\text{açúcar}}}{V} = \frac{15 + 302 + 40}{350} = 1,02 \text{g/cm}^3$$

Como a densidade é maior que a da água a lata afunda.

Refrigerante dietético:

$$d = \frac{m}{V} = \frac{m_{\text{lata}} + m_{\text{refrigerante}}}{V} = \frac{15 + 328}{350} = 0,98 \text{g/cm}^3$$

Como a densidade é menor que a da água a lata boia.

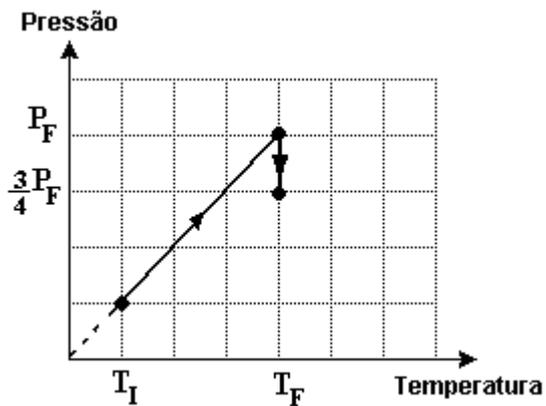
b) A equação de Clapeyron diz: $PV = nRT \rightarrow PV = \frac{m}{\text{Mol}} RT$

$$d = \frac{m}{V} = \frac{P \times \text{Mol}}{RT} = \frac{3,0 \times 10^5 \times 44 \times 10^{-3}}{8,3 \times 300} \cong 5,3 \text{ kg/m}^3$$

Resposta da questão 6:

1. Segundo processo: $\frac{P_F V_F}{n_F T_F} = \frac{PV}{nT} \rightarrow \frac{P_F}{n} = \frac{P}{\frac{3n}{4}} \rightarrow P = \frac{3}{4} P_F$

Observe a figura a seguir:



b) $\frac{P_i V_i}{n_i T_i} = \frac{PV}{nT} \rightarrow \frac{1,0 \times 10^5}{n_i \times 300} = \frac{P}{\frac{3n_i}{4} \cdot 360} \rightarrow P = \frac{3 \times 360 \times 10^5}{1200} = 9,0 \times 10^4 \text{ N/m}^2$

Resposta da questão 7:

Uma máquina térmica tem rendimento máximo de acordo com o ciclo de Carnot: $\eta = 1 - \frac{T_F}{T_Q}$

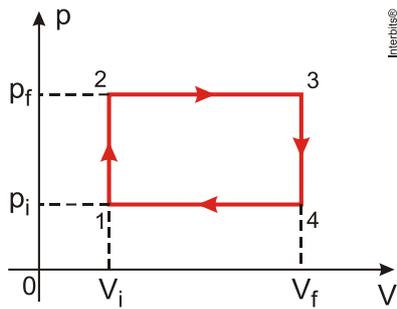
Sendo $T_F=300\text{K}$ e $T_Q=900\text{K}$, teremos: $\eta' = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \rightarrow \eta' = 1 - \frac{300}{900} \rightarrow \eta' = \frac{2}{3}$, que é o rendimento teórico máximo desta máquina.

Como o enunciado nos informa que o rendimento é de supostamente 40% do máximo, podemos escrever:

$$\eta = 0,4 \cdot \eta' \rightarrow \eta = 0,4 \cdot \frac{2}{3} \rightarrow \eta = \frac{4}{15}, \text{ que é o rendimento desejado de acordo com o engenheiro.}$$

Sendo $\eta = \frac{\tau}{Q}$ o rendimento real da máquina, podemos escrever que $\frac{\tau}{Q} = \frac{4}{15}$ (eq.1).

Diagrama pXV do ciclo proposto:



$$\tau = \text{área interna do ciclo} \rightarrow \tau = p_f(V_f - V_i) - p_i(V_f - V_i)$$

O enunciado nos informa que: $\frac{V_f}{V_i} = 2 \rightarrow V_f = 2V_i$

$$\tau = p_f(V_f - V_i) - p_i(V_f - V_i) \rightarrow \tau = p_f \cdot V_i - p_i \cdot V_i \rightarrow \tau = V_i(p_f - p_i) \quad \text{(eq.2)}$$

1ª lei da termodinâmica: $Q = \Delta U + \tau$

$$Q = \Delta U_{1 \rightarrow 3} + \tau_{1 \rightarrow 3} = \frac{3}{2}(p_f \cdot V_f - p_i \cdot V_i) + p_f(V_f - V_i)$$

Como $\frac{V_f}{V_i} = 2 \rightarrow V_f = 2V_i$, teremos:

$$Q = \frac{3}{2}(p_f \cdot 2V_i - p_i \cdot V_i) + p_f(2V_i - V_i) \rightarrow Q = \frac{3}{2}V_i(2p_f - p_i) + p_f \cdot V_i \quad \text{(eq.3)}$$

Substituindo **eq.3** e **eq.2** em **eq.1**:

$$\frac{\tau}{Q} = \frac{4}{15} \rightarrow \frac{V_i(p_f - p_i)}{\frac{3}{2}V_i(2p_f - p_i) + p_f \cdot V_i} = \frac{4}{15} \rightarrow \frac{p_f - p_i}{\frac{3}{2}(2p_f - p_i) + p_f} = \frac{4}{15} \rightarrow \frac{p_f - p_i}{4p_f - \frac{3}{2}p_i} = \frac{4}{15} \rightarrow \frac{p_f}{p_i} = -9$$

Como o enunciado nos informou a relação $\frac{p_f}{p_i} > 1$ e encontramos $\frac{p_f}{p_i} = -9$, concluímos que o rendimento desejado não pode ser atingido.

Resposta da questão 8:

Lembrando-se do primeiro princípio da termodinâmica: $Q = \tau + \Delta U$, onde $Q=0$, pois a transformação é adiabática.

$$Q = \tau + \Delta U \rightarrow 0 = \tau + \Delta U \rightarrow \tau = -\Delta U \quad \text{(eq.1)}$$

Associando $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$, que foi dado no enunciado, com a relação de Mayer ($C_P - C_V = R$), teremos:

$$C_P - C_V = R$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

$$\gamma C_V - C_V = R \rightarrow C_V = \frac{R}{\gamma - 1} \quad \text{(eq.2)}$$

Lembrando-se da equação de Clapeyron:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \rightarrow T = \frac{P \cdot V}{n \cdot R} \quad \text{(eq.3)}$$

Neste caso, podemos escrever a variação da energia interna como:

$$\Delta U = n.C_V(T_f - T_i) \quad (\text{eq.4})$$

Substituindo "eq.2" e "eq.3" em "eq.4", teremos:

$$\Delta U = n.C_V(T_f - T_i) \rightarrow \Delta U = \left(\frac{nR}{\gamma - 1} \right) \cdot \left(\frac{P_f V_f}{nR} - \frac{P_i V_i}{nR} \right)$$

$$\Delta U = \frac{1}{\gamma - 1} (P_f V_f - P_i V_i)$$

Substituindo a equação acima em "eq.1":

$$\tau = -\Delta U$$

$$\tau = \frac{1}{\gamma - 1} (P_i V_i - P_f V_f)$$

Resposta da questão 9:

$$\text{a) } P_0 \cdot V_0 = PV \rightarrow 5 \times 10^5 \times 3 \times 10^{-5} = 3 \times 10^5 \times V \rightarrow V = 5 \times 10^{-5} \text{ m}^3.$$

$$\text{b) } P_0 V_0^\gamma = PV^\gamma \rightarrow 3 \times (5)^{1,5} = P(6)^{1,5}$$

$$P = 3 \times \left(\frac{5}{6} \right)^{\frac{3}{2}} = 3 \times \sqrt{\left(\frac{5}{6} \right)^3} = \frac{3 \times 5}{6} \sqrt{\frac{5}{6}} = 2,5 \sqrt{\frac{5}{6}} \text{ atm} = 2,5 \sqrt{\frac{5}{6}} \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Resposta da questão 10:

Como o enunciado cita um processo adiabático, não há troca de calor com nenhum meio externo, ou seja, o sistema é constituído apenas pelo bloco.

De acordo com a 1ª lei da termodinâmica $\Delta U = Q - \tau$, onde:

ΔU : energia interna.

Q : energia sob a forma de calor, responsável pelo aumento da temperatura.

τ : trabalho realizado pela força de atrito entre o bloco e a superfície.

Energia sob a forma de calor (Q), responsável pelo aumento da temperatura.

$$m = 1 \text{ kg} = 1.10^3 \text{ g}$$

$$c = 0,22 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$\Delta T = 33 - 32 = 1^\circ\text{C}$$

Da equação do calor sensível, temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \rightarrow Q = 1.10^3 \cdot 0,22 \cdot 1 \rightarrow Q = 220 \text{ cal}$$

Considerando que $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$: $Q = 924 \text{ J}$

Trabalho (τ) realizado pela força de atrito entre o bloco e a superfície.

A força de atrito atua no bloco entre os pontos B e C, e, de acordo com o teorema da energia cinética:

$$\tau = \Delta E_c = E_{cC} - E_{cB}.$$

No ponto A o bloco possui energia potencial gravitacional ($E_{p_{gA}}$), que será transformada em energia cinética, de acordo que o bloco se aproxima do ponto B (E_{cB}). Como o bloco atinge o ponto C em repouso, ele não possui energia cinética neste ponto ($E_{cC} = 0$).

$$E_{p_{gA}} = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{cB} = E_{p_{gA}} = m \cdot g \cdot h \rightarrow E_{cB} = 1 \cdot 10 \cdot 5 \rightarrow E_{cB} = 50 \text{ J}$$

$$\tau = \Delta E_c = E_{cC} - E_{cB} = 0 - 50 \rightarrow \tau = -50 \text{ J}$$

Energia interna (ΔU).

Substituindo os valores na 1ª lei da termodinâmica:

$$\Delta U = Q - \tau \rightarrow \Delta U = 924 - (-50)$$

$$\Delta U = 974 \text{ J}$$

Resposta da questão 11:

a) Dados: $n = 1 \text{ mol}$; P_A ; V_A ; P_C ; V_C e R .

– Estado A: Da equação de Clapeyron:

$$P_A V_A = n R T_A \Rightarrow P_A V_A = 1 R T_A \Rightarrow T_A = \frac{P_A V_A}{R}$$

– Estado B: O processo AB é isotérmico ($T_B = T_A$) e o processo BC é isocórico ($V_B = V_C$).

$$\frac{P_B V_B}{T_B} = \frac{P_A V_A}{T_A} \Rightarrow P_B V_C = P_A V_A \Rightarrow P_B = \frac{P_A V_A}{V_C}$$

– Estado C: Da equação de Clapeyron:

$$P_C V_C = n R T_C \Rightarrow P_C V_C = 1 R T_C \Rightarrow T_C = \frac{P_C V_C}{R}$$

– Estado D: O processo CD é isotérmico ($T_D = T_C$) e o processo DA é isocórico ($V_D = V_A$).

$$\frac{P_D V_D}{T_D} = \frac{P_C V_C}{T_C} \Rightarrow P_D V_A = P_C V_C \Rightarrow P_D = \frac{P_C V_C}{V_A}$$

	P	V	T
A	P_A	V_A	$\frac{P_A V_A}{R}$
B	$\frac{P_A V_A}{V_C}$	V_C	$\frac{P_A V_A}{R}$
C	P_C	V_C	$\frac{P_C V_C}{R}$
D	$\frac{P_C V_C}{V_A}$	V_A	$\frac{P_C V_C}{R}$

Dados: $W_{AB} = 300 \text{ J}$; $W_{CD} = -150 \text{ J}$ e $\Delta U_{DA} = 750 \text{ J}$.

Primeira Lei da Termodinâmica: $\Delta U = Q - W$.

Vamos aos cálculos literais:

– O processo AB é uma expansão ($W_{AB} > 0$) isotérmica ($\Delta U_{AB} = 0$) \Rightarrow

$$\Delta U_{AB} = Q_{AB} - W_{AB} \Rightarrow 0 = Q_{AB} - W_{AB} \Rightarrow Q_{AB} = W_{AB} = 300 \text{ J}$$

– O processo BC é um resfriamento ($\Delta U_{BC} = -\Delta U_{DA} = -750 \text{ J}$) isocórico ($W_{BC} = 0$) \Rightarrow

$$\Delta U_{BC} = Q_{BC} - W_{BC} \Rightarrow \Delta U_{BC} = Q_{BC} - 0 \Rightarrow Q_{BC} = \Delta U_{BC} = -750 \text{ J}$$

– O processo CD é uma compressão ($W_{CD} = -150 \text{ J}$) isotérmica ($\Delta U_{CD} = 0$) \Rightarrow

$$\Delta U_{CD} = Q_{CD} - W_{CD} \Rightarrow 0 = Q_{CD} - W_{CD} \Rightarrow Q_{CD} = W_{CD} = -150 \text{ J}$$

– O processo DA é um aquecimento ($\Delta U_{DA} = 750 \text{ J}$) isocórico ($W_{DA} = 0$) \Rightarrow
 $\Delta U_{DA} = Q_{DA} - W_{DA} \Rightarrow \Delta U_{DA} = Q_{DA} - 0 \Rightarrow Q_{DA} = \Delta U_{DA} = 750 \text{ J}$.

	Q (J)	ΔU (J)	W (J)
AB	300	0	300
BC	-750	-750	0
CD	-150	0	-150
DA	750	750	0

Resposta da questão 12:

Dados: $h = 30 \text{ m}$; $V_1 = 10 \text{ cm}^3$; $C_V = 3 R$; $P_0 = 10^5 \text{ N/m}^2$; $d_{\text{água}} = 1 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$; $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Calculemos a pressão absoluta no fundo do lago (P_1), usando o teorema de Stevin:

$$P_1 = P_0 + d_{\text{água}} g h \Rightarrow P_1 = 10^3 (10) (30) \Rightarrow P_1 = 3 \times 10^5 \text{ N/m}^2.$$

Durante a subida, o gás não troca calor com a água. Trata-se, então, de uma transformação adiabática, cuja equação é:

$$P_1 V_1^\gamma = P_0 V_0^\gamma \text{ (I)}.$$

O expoente γ é a razão entre os calores específicos molares a pressão constante (C_P) e a volume constante (C_V), respectivamente. Ou seja:

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} \text{ (II)}.$$

Mas, da relação de Mayer:

$$C_P - C_V = R.$$

Usando os dados do enunciado:

$$C_P - 3R = R \Rightarrow C_P = 4R \text{ (III)}.$$

Substituindo (III) em (II):

$$\gamma = \frac{4R}{3R} \Rightarrow \gamma = \frac{4}{3} \text{ (IV)}.$$

Substituindo (IV) em (I):

$$P_1 V_1^{\frac{4}{3}} = P_0 V_0^{\frac{4}{3}}.$$

Substituindo os valores dados:

$$4 \times 10^5 \times 10^{\frac{4}{3}} = 10^5 V_0^{\frac{4}{3}} \Rightarrow V_0^{\frac{4}{3}} = 4 \times 10^{\frac{4}{3}}.$$

Elevando os dois membros a $\frac{3}{4}$:

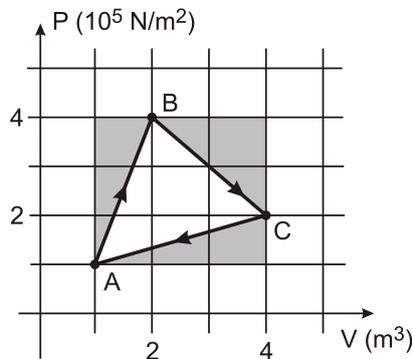
$$\left(V_0^{\frac{4}{3}} \right)^{\frac{3}{4}} = \left(4 \times 10^{\frac{4}{3}} \right)^{\frac{3}{4}} \Rightarrow V_0 = 10 \sqrt[4]{4^3} = 10 \sqrt[4]{2^4 \times 2^2} = 20 \sqrt[4]{2^2} \Rightarrow V_0 = 20 \sqrt{2} \Rightarrow$$

$$V_0 \cong 28 \text{ cm}^3.$$

Resposta da questão 13:

a) a variação da energia interna é função exclusiva da variação da temperatura. Como se trata de um ciclo, as temperaturas final e inicial são iguais. Assim:

$$\Delta T = 0 \Rightarrow \Delta U_{\text{ciclo}} = 0.$$



O trabalho é numericamente igual à área interna do ciclo. Essa área pode ser calculada fazendo a diferença entre a área do retângulo e a soma das áreas dos três triângulos destacados na figura.

$$\tau_{\text{ciclo}} = [3 \times 3] - \left(\frac{1 \times 3}{2} + \frac{1 \times 3}{2} + \frac{2 \times 2}{2} \right) \times 10^5 = 4 \times 10^5 \text{ J}.$$

Uma solução mais sofisticada poderia ser obtida lembrando a expressão da geometria analítica para o cálculo da área de um triângulo.

$$b) \tau = A_{\text{ciclo}} = \frac{1}{2} |\text{Det}| = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} 2 & 4 & 1 \\ 4 & 2 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \end{vmatrix} = 4 \times 10^5 \text{ J}.$$

c) A quantidade de calor transmitida à fonte fria (Q_2) corresponde a quantidade de calor recebida (Q_1) que não foi transformada em trabalho (τ). Então:

$$Q_2 = Q_1 - \tau = 6 \times 10^5 - 4 \times 10^5 = 2 \times 10^5 \text{ J}.$$

d) O rendimento corresponde à razão entre o trabalho realizado (energia útil) e o calor recebido (energia total).

$$\eta = \frac{\tau}{Q_1} = \frac{4 \times 10^5}{6 \times 10^5} = \frac{2}{3} = 0,67 \Rightarrow$$

$$\eta = 67\%.$$

Resposta da questão 14:

A Primeira Lei da Termodinâmica pode ser escrita: $\Delta U = Q - W$

Como a evolução AB é isotérmica: $\Delta U = 0$

$$0 = 65 - W_{AB} \rightarrow W_{AB} = 65 \text{ kJ}$$

Como a evolução BC é isobárica: $W = p\Delta V$

$$W_{BC} = 1,0 \times 10^5 (0,1 - 0,4) \rightarrow W_{BC} = -30 \text{ kJ}$$

Como a evolução CA é isométrica: $W = 0 \rightarrow W_{CA} = 0$

O trabalho total no ciclo é igual à soma dos trabalhos de cada evolução.

$$W_{\text{Total}} = \sum W = 65 - 30 + 0 = 35 \text{ kJ}$$

Resposta da questão 15:

$$\Delta S = Q/T$$

(note que that Q é positivo quando calor é adicionado e negativo quando calor é removido)

Considerando que a capacidade calorífica permanece constante durante a variação de entropia quando o cubo muda a sua temperatura de T_1 para T_2 , a variação de entropia é dada por

$$\Delta S = m \cdot C \cdot \ln(T_2/T_1)$$

Pode-se assumir que a massa do gelo é pequena quando comparada com a quantidade de água do lago. Portanto a variação de temperatura da água do lago devido ao derretimento do gelo é negligível.

Considere o cubo de gelo. Ele aquece de

$$T_1 = (-10 + 273)K = 263 K$$

Até a temperatura de fusão

$$T_2 = 273 K$$

Logo ele absorve calor latente de fusão

$$\Delta H_f = 334.0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Depois de derreter o gelo aquece-se até a temperatura do lago

$$T_3 = (15 + 273) K = 288 K$$

Sendo o calor específico da água líquida igual a:

$$C_{\text{água}} = 4182 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Assim a variação de entropia do gelo em água é:

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{gelo}} &= m_{\text{gelo}} \cdot (C_{\text{gelo}} \cdot \ln(T_2/T_1) + (\Delta H_f/T_2) + C_{\text{água}} \cdot \ln(T_3/T_2)) \\ &= 0.01 \text{ kg} \cdot (2220 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \ln(273/263) + (334 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}) / 273 \text{ K} + 4182 \text{ J} \cdot \\ &\text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \ln(288/273)) \\ &= 15.30 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

Como observação a temperatura do lago não varia. A quantidade de calor removida do lago é igual a quantidade de calor absorvida pelo gelo, quando ele aquece e derrete.

Esta quantidade é:

$$\begin{aligned} Q &= m_{\text{gelo}} (C_{\text{gelo}} \cdot (T_2 - T_1) + \Delta H_f + C_{\text{água}} \cdot (T_3 - T_2)) \\ &= 0.01 \text{ kg} \cdot (2220 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (273K - 263K) + 334 \times 10^3 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} + \\ &4182 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \cdot (288K - 273K)) \\ &= 4189.3 \text{ J} \end{aligned}$$

Então a entropia do lago varia de:

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{lago}} &= -Q/T_3 \\ &= - 4189.3 \text{ J} / 288 \text{ K} \\ &= - 14.55 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$

A variação total de entropia do Sistema lago-gelo (universo) é:

$$\begin{aligned} \Delta S &= \Delta S_{\text{gelo}} + \Delta S_{\text{lago}} \\ &= 15.30 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} - 14.55 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \\ &= 0.75 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \end{aligned}$$