Lista de exercícios - entropia e 2ª lei da Termo. ①

perguntas:

1) cilindro isolado, compressão adiabática ($Q=0$),

$$V_f = \frac{V_i}{2} \qquad \Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T} \Rightarrow \Delta S = 0 \Rightarrow S = cte.$$

2)

a) refrigerador de Carnot: para o ciclo completo

$$\Delta S = \Delta S_Q + \Delta S_F = \frac{|Q_Q|}{T_Q} - \frac{|Q_F|}{T_F}$$

$S \Rightarrow$ função de estado, ciclo completo $\Rightarrow S_i = S_f \Rightarrow \Delta S = 0$.

$\Rightarrow S \Rightarrow$ cte

c) refrigerador perfeito: entropia da substância de trabalho é constante, a das fontes variam:

$$\Delta S = -\frac{|Q|}{T_F} + \frac{|Q|}{T_Q} \qquad (A)$$

como $T_Q > T_F \Rightarrow$ lado direito de (A) é negativo $\Rightarrow$

$\Delta S < 0. \Rightarrow S \Rightarrow$ diminui.

b) refrigerador real: $\Delta S > 0$, $S \Rightarrow$ aumenta.

3) a) $S \Rightarrow$ cte   c) $S \Rightarrow$ diminui

b) $S \Rightarrow$ aumenta   (v/f 2)

Problemas:

1) $n = 4{,}00$ mol (gás ideal)

expansão isot. reversível V_i a $2V_i$

$T = 400$ K

a) $W = ?$ $W = \int_{V_i}^{V_f} p\,dV$ e $p = \frac{nRT}{V}$

$$W = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

$$W = 4 \cdot 8{,}31 \cdot 400 \ln 2 = 9216{,}1 \text{ J}$$

b) $\Delta S = ?$ $\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int_i^f dQ = \frac{Q}{T}$

$Q = ?$ $\Rightarrow$ $\Delta E_{int} = Q - W$ $\Rightarrow$ expansão isot. $Q = W$

Logo: $\Delta S = \frac{W}{T} = \frac{9216{,}1}{400} = 23{,}04$ J/K

c) para reversível e adiabática (isentrópico) ③

$$\Delta S = 0 \Rightarrow$$ para todos os processos reversíveis e adiabáticos!

2) $Q = ?$

exp. isot. reversível / gás ideal

$T = 132°C$ $\qquad \Delta S = 46\ J/K$

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

$$Q = \Delta S . T = 46\ \frac{J}{K} . (132°C + 273,15)$$

$$Q = 18636,9\ J$$

3) a) $Q = ?$ $\qquad$ b) $\Delta S = ?$ $\qquad m_{cu} = 2\ Kg$

$T_i = 25°C$ $\qquad T_f = 100°C$ (reversível)

$c_{cu} = 386\ J/Kg.K$

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T}$$

$Q = ?$

$Q = mc\Delta T$

$dQ = mcdT$

$$Q = 2\,Kg \cdot 386 \frac{J}{Kg \cdot K} \cdot (100-25)$$

$$Q = 5{,}79 \times 10^4 \, J$$

$$\Delta S = mc \cdot \ln(T_f/T_i) = 2 \cdot 386 \ln\left(\frac{25+273{,}15}{100+273{,}15} J\right)$$

$$\Delta S = 173{,}22 \, J/K$$

4) gás ideal, exp. isot. reversível, $T = 77°C$

$V_i = 1{,}3\,L$, $V_f = 3{,}4\,L$, $\Delta S = 22\,J/K$, $n = ?$

$$\Delta S = nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$$

$$22 \frac{J}{K} = n \cdot 8{,}31 \frac{J}{mol \cdot K} \cdot \ln\left(\frac{3{,}4}{1{,}3}\right)$$

$$n = 2{,}75 \, mol$$

5) gás, exp. isot. reversível, $\Delta S_1 = 64\,J/K$

gráfico $\Delta S / V_f$, $n = ?$

$$\Delta S = nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right) + \cancel{nC_v \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right)}^{0}$$

nos sobra nada sobre V_i, mas sabemos que

$\Delta S = 0$ quando $V_f = 0{,}4\ m^3$, assim:

$$0 = nR \cdot \ln\left(\frac{0{,}4\ m^3}{V_i}\right)$$

como $n \neq 0$, $R \neq 0$ $\Rightarrow$ então $\ln\left(\frac{0{,}4}{V_i}\right) = 0$

ou seja $V_i = V_f = 0{,}4\ m^3$.

agora, usando dados do gráfico:

$$64 = n \cdot 8{,}31 \cdot \ln\left(\frac{3{,}6}{0{,}4}\right)$$

$$n = 3{,}51\ mol$$

6) $m_{Cu} = 50{,}0\ g$ $T = 400\ K$

$m_{Pb} = 100\ g$ $T = 200\ K$

(a) $T_{eq} = ?$

$$Q = (-Q)$$

$$m_{Cu} \cdot c_{Cu} \cdot \Delta T_{Cu} = -(m_{Pb} \cdot c_{Pb} \cdot \Delta T_{Pb})$$

$$50\ g \cdot 386\ J/Kg.K \cdot (T_f - 400\ K) =$$

$= -100\ g \cdot 128\ J/Kg \cdot K \cdot (T_F - 200\,K)$

$19{,}3\ \frac{J}{K} \cdot (T_F - 400\,K) = -12{,}8\ (T_F - 200\,K)$

$19{,}3\ T_F - 7720\ J = -12{,}8\ T_F + 2560\ J$

$32{,}1\ T_F = 10280$

$T_F = 320{,}25\ K$

b) $\Delta E_{int_T} = ?$

a energia interna de cada bloco deve ter variado, mas a variação da energia interna do sistema (como um todo) não $\Rightarrow$ sistema isolado do ambiente.

c) $\Delta S_T = ?$

$\Delta S_T = \Delta S_1 + \Delta S_2 \quad m_{Cu} c_{Cu} \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + \text{idem pb}$

$\Delta S_T = 19{,}3 \ln(0{,}8) + 12{,}8 \cdot \ln(1{,}6)$

$\Delta S_T = -4{,}31 + 6{,}02 = 1{,}71\ J/K$

7) $m = 10\,g$ $\Delta S = ?$

$T_i = -10°C$ $c_{gl} = 2220\ J/Kg.K$

$T_f = 15°C$

* $T_f = 15°C$ pois um cubo de gelo nos mudará a temperatura do lago.

* processo em 3 etapas
 $-10°$ a $0°C$
 liquefação (fusão)
 $0°$ a $15°C$

→ 1ª parte: $\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T} = mc \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right)$

$\Delta S = 0{,}01 \cdot 2220 \cdot (-0{,}42) = 0{,}828\ J/K$

→ 2ª parte: fusão, processo a T cte

$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{m \cdot L_f}{T} = \frac{0{,}01\,Kg \cdot 333 \times 10^3\ J/Kg}{273{,}15}$

$\Delta S = 12{,}19\ J/K$

→ 3ª parte: $\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T} = mc \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right)$

$$\Delta S = 0{,}01\,Kg \cdot 4190\,\frac{J}{Kg \cdot K}\,\ln\left(\frac{288{,}15}{273{,}15}\right)$$

$$\Delta S = 2{,}24\ J/K$$

assim: $\Delta S_T = 0{,}83\ J/K + 12{,}18\ K^{-1}J + 2{,}24\ K^{-1}J$

$\Delta S_T = 15{,}27\ J/K$

$\downarrow$ para a água / gelo

* para o lago: $T_i \simeq T_f$, então $\Delta S = \dfrac{Q}{T}$

quando o gelo derrete, quando troca de fase e quando é aquecido até 15°C. Temos que achar os Q para as 3 situações:

1° $Q = -mc\,\Delta T = -0{,}01\,Kg \cdot 2220\,\frac{J}{Kg \cdot K} \cdot (10K) = -222\,J$

"calor" que o gelo ganhou, o lago perdeu

2ª $Q = -mL_f = -3{,}33 \times 10^3\,J$

3° $Q = -mc\,\Delta T = -0{,}01\,Kg \cdot 4190\,\frac{J}{Kg \cdot K} \cdot 15K = -629\,J$

assim: $\Delta S = \dfrac{Q}{T} = \dfrac{-4181\,J}{288{,}15\,K} = -14{,}51\,\dfrac{J}{K}$

finalmente $\Delta S_T = 15,27 - 14,51 = 0,76 \ J/K$ (9)

8) $n = 1,00$ mol (gás monoatômico ideal)

p_1, V_1

→ etapa 1 : (1) expansão isotérmica até $2,00 V_1$.

→ " 2 : (2) aumento de p até $2,00 p_1$ a V cte.

a) $\dfrac{Q}{p_1 V_1} = ?$ (etapa 1) ⇒ gás monoatômico

$C_V = \dfrac{3R}{2}$ $\gamma = \dfrac{5}{3}$

$C_p = \dfrac{5R}{2}$

* gás ideal: $\Delta E_{int} = n C_V \Delta T$

$\Delta T = 0$

$\Delta E_{int} = 0$

então: $\Delta E_{int} = Q - W$

$$Q = W = nRT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

usando $pV = nRT$

$$Q = p_1 V_1 \ln\left(\frac{2V_1}{V_1}\right)$$

$$\frac{Q}{p_1 V_1} = 0,693$$

b) $\frac{Q}{p_1 V_1} = ?$ (etapa 2)

(10)

$$p_1 V_1 = nRT_1 \quad e \quad p_f V_f = nRT_f$$

parte (1): $nR = \frac{p_1 V_1}{\cancel{T_1}}$ e $nR = \frac{p_f \cdot 2V_1}{\cancel{T_1}}$

$$p_1 \cancel{V_1} = p_f 2 \cancel{V_1}$$

$$p_f = \frac{p_1}{2}$$

→ para de chegar a $2p_1$, partindo de $\frac{p_1}{2}$, ele deve ser multiplicado por 4 agora: $\frac{4p_1}{2} = 2p_1$.

parte (2) $\frac{p_i V_i}{T_i} = \frac{p_f V_f}{T_f}$

$$\frac{p_1}{2} \cdot \cancel{V} \cdot T_1 = 2p_1 \cancel{V} \cdot T_2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{4\cancel{p_1}}{\cancel{p_1}}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 4.$$

$$Q = nC_v \Delta T = n\frac{3}{2}RT_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) = \frac{3}{2}p_1V_1 \Rightarrow \frac{Q}{p_1V_1} = 4{,}5$$

c) $\frac{W}{p_1 V_1} = ?$ (etapa 1)

→ para um processo isotérmico : $W = nRT_1 . \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

usando o ~~~~ $pV = nRT$

$$W = p_1 V_1 . \ln 2{,}0$$

$$\frac{W}{p_1 V_1} = 0{,}693$$

d) $\frac{W}{p_1 V_1} = ?$ (etapa 2)

→ isovolumétrico : $W = 0$

e) $\frac{\Delta E_{int}}{p_1 V_1} = ?$ (1 + 2)

$$\Delta E_{int} = Q_T - W_T = \left(p_1 V_1 \ln 2 + \frac{9}{2} p_1 V_1\right) -$$

$$-\left(p_1 V_1 \ln 2 + 0\right) = \frac{9}{2} p_1 V_1$$

$$\frac{\Delta E_{int}}{p_1 V_1} = 4{,}5$$

(12)

f) $\Delta S = ?$ (1+2)

$$\Delta S = R \ln\left(\frac{2V_1}{V_1}\right) + C_v \ln\left(\frac{4{,}00\,T_1}{T_1}\right) = R \ln 2{,}0 + \frac{3}{2} R \ln(2)^2$$

$\Delta S = 23{,}0$ J/K

g) duas novas etapas:

(1) compressão isotérmica até $2{,}00\,p_1$

(2) aumento de volume até $2{,}00\,V_1$ (p = cte)

(*) mesmos i e f.

$\frac{Q}{p_1 V_1} = ?$ (1), usando $p_1 T_1 V_1 = p_f V_f T_F$.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$p_1 V_1 = 2 p_1 V_2$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{2} \text{ ou } V_2 = \frac{V_1}{2}$$

$$Q = +p_1 V_1 \ln\left(\frac{1}{2}\right) \Rightarrow \frac{Q}{p_1 V_1} = -0{,}693,$$

h) $\frac{Q}{p_1 V_1} = ?$ (2)

volume final de (1), letra g) $V_2 = \frac{V_1}{2}$, mas o

final de (2) é $2V_1$, logo $\Rightarrow V_2 = 4\left(\frac{V_1}{2}\right) = 2V_1$

ou

$$p_i V_i T_i = p_f V_f T_f$$

$$V_i T_i = V_f T_f$$

$$\frac{V_1}{2} \cdot T_1 = 2V_1 \cdot T_2$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 4$$

então aplicamos:

$$Q = C_p \Delta T = \frac{5}{2} R (\Delta T) = \frac{5}{2} R T_1 \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)$$

$$Q = \frac{5}{2} p_1 V_1 (4-1) = \frac{15}{2} p_1 V_1$$

$$\frac{Q}{p_1 V_1} = 7{,}5$$

i) $\frac{W}{p_1 V_1} = ?$ (1) $W = nRT_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

$W = p_1 V_1 \ln\left(\frac{1}{2}\right) \Rightarrow W/_{p_1 V_1} = -0{,}693$

j) $\frac{W}{p_1 V_1} = ?$ (2)

conforme g) $V_i = \frac{V_1}{2}$ (volume no começo do processo 2)

e conforme o enunciado $V_f = 2V_1$.

$$W = p\Delta V = (2{,}00\, p_1) \cdot \left(2V_1 - \frac{1}{2}V_1\right)$$

$$W = 3{,}00\, p_1 V_1$$

$$\frac{W}{p_1 V_1} = 3$$

k) $\frac{\Delta E_{int}}{p_1 V_1} = ?$ (1+2)

$$\Delta E_{int} = Q_T + W_T = \left(\frac{15}{2} p_1 V_1 - p_1 V_1 \ln 2\right) - \left(3 p_1 V_1 - p_1 V_1 \cdot \ln 2\right)$$

$$\frac{\Delta E_{int}}{p_1 V_1} = 4{,}5$$

l) $\Delta S = ?$ $\Delta S = 4 k \ln 2 = 23{,}0\ J/K$

9) $\varepsilon = 22\%$ $\qquad \Delta T = 75,0°C$

a) $T_F = ?$

$T_F = T_Q - 75$

$T_F = 266\ K$

b) $T_Q = ?$

$$T_Q = \frac{\Delta T}{\varepsilon} = \frac{75\ K}{0,22}$$

$T_Q = 341\ K$

10) $T_Q = 235°C$ $\qquad Q_H = 6,30 \times 10^4\ J$

$T_F = 115°C$

a) $\varepsilon = ?$

$$\varepsilon = \frac{T_Q - T_F}{T_Q} = \frac{(235 - 115)}{(235 + 273)} = 0,236 = 23,6\%$$

b) $$\varepsilon = \frac{|W|}{|Q_H|} \Rightarrow |W| = \varepsilon . |Q_H|$$

$|W| = 1,49 \times 10^4\ J$

11) $T_F = 17°C$ $\qquad \Delta T_Q = ?$ $\quad$ max $\varepsilon = 50\%$

$\varepsilon = 40\%$

$T_F = 17 + 273 = 290\ K$

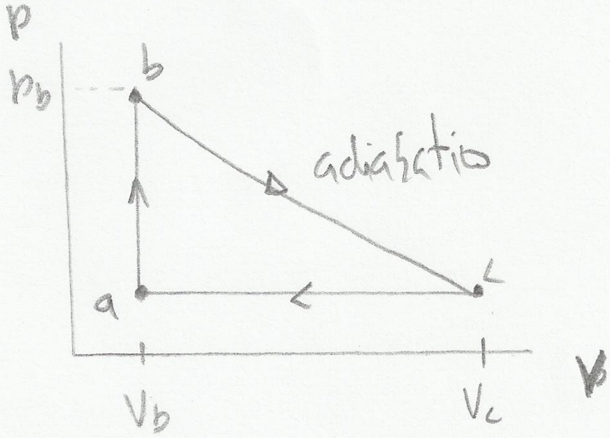
$$\varepsilon = 1 - \frac{T_F}{T_Q} \Bigg\} \; T_Q = \frac{T_F}{1 - \varepsilon} = \frac{290}{1 - 0,40} = 483,3\ K$$

Usando $\varepsilon = 0,5$

$$T_q = \frac{290}{1-0,5} = 580\,K$$

$$\Delta T_q = 580 - 483,3 = 96,7\ K.$$

12)



$n = 1$ mol / gás monoatômico ideal

bc ⇒ expansão adiabática

p_b ⇒ 10 atm

$V_b = 1,00 \times 10^{-3}\ m^3$

$V_c = 8,00\, V_b$

a) $Q = ?$ (ciclo)

→ energia adicionada como Q? → a até b

→ volume cte.

$$Q = n C_V \Delta T = n \frac{3}{2} R\, \Delta T$$

e

$\Delta T = ?$ de $pV = nRT$

$$\frac{1}{nR} = \frac{T}{pV}$$

$$\Delta T = \frac{1}{nR}\left(p_b V_b - p_a V_a\right) = \frac{1}{nR}\left(p_b - p_a\right) V_b$$

$$Q = nR\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{nR}(p_b - p_a)V_b$$

$$Q = \frac{3}{2}(p_b - p_a)V_b$$

dado | ? | dado

$p_a = p_c \rightarrow$ adiabática $\Rightarrow \quad p_c V_c^{\gamma} = p_b V_b^{\gamma}$

$$p_c = \frac{p_b V_b^{\gamma}}{V_c^{\gamma}}$$

$$p_a = p_c = 3{,}167 \times 10^4 \ Pa$$

e $\quad Q = \frac{3}{2}(1{,}013 \times 10^6 \ Pa - 3{,}167 \times 10^4 \ Pa)(1{,}00 \times 10^{-3} \ m^3)$

$$Q = 1{,}47 \times 10^3 \ J$$

b) a energia é cedida pelo gás em forma de calor durante a trajetória c até a, a pressão constante:

$$Q = nC_p\Delta T = \frac{5}{2}(p_a V_a - p_c V_c) = \frac{5}{2}p_a(V_a - V_c)$$

$Q = -5{,}54 \times 10^2 \ J$, (o sinal negativo confirma que Q foi cedido) obs: foi usado $V_a - V_c = V_a - 8,00 V_a = -7,0 V_a$

e que $C_v = \frac{5}{2} R$,

c) ciclo completo, W=?

$\Delta E_{int} = 0$

$Q = W$

$W = Q = 1,47 \times 10^3 J + (-5,54 \times 10^2 J) = 9,18 \times 10^2 J$,

d) ε=?

$\varepsilon = \frac{W}{Q_{recebido}} = \frac{9,18 \times 10^2 J}{1,47 \times 10^3 J} = 0,624$

ou

62,4 %

13) ciclo reversível, n = 1,00 mol, gás monoatômico ideal

* $p = 2p_0$, $V = 2V_0$, $p_0 = 1,01 \times 10^5 Pa$, $V_0 = 0,0225 m^3$.

a) W=? (ciclo)

$W_c = W_1 + W_2$

$W_1 \Rightarrow$ expansão $= p\Delta V = 2p_0 . (V - V_0)$

$= 2p_0 . (2V_0 - V_0) = 2p_0 . V_0$

$W_2 \Rightarrow$ contração $= p\Delta V = p_0 (V_0 - 2V_0) = -p_0 V_0$

$W_c = 2p_0V_0 + (-p_0V_0) = p_0V_0$

$W_c = 1 \cdot 1{,}01 \times 10^5\ Pa \cdot 0{,}0225\ m^3 = 2{,}27 \times 10^3\ J$

b) Q ganho em abc ?

ver exemplo 19.1

$$Q_{abc} = nC_v \underbrace{\Delta T}_{T_b - T_a} + nC_p \underbrace{\Delta T}_{T_c - T_b}$$

$$= n\frac{3}{2}R(T_b - T_a) + n\frac{5}{2}R(T_c - T_b)$$

$$= \frac{nR}{2}\left[3(T_a)\left(\frac{T_b}{T_a} - 1\right) + 5(T_a)\left(\frac{T_c}{T_a} - \frac{T_b}{T_a}\right)\right]$$

$$= \frac{nRT_a}{2}\left[3\left(\frac{T_b}{T_a} - 1\right) + 5\left(\frac{T_c}{T_a} - \frac{T_b}{T_a}\right)\right]$$

$$= \frac{p_0V_0}{2}\left(3(2-1) + 5(4-2)\right]$$

$$= \frac{13}{2}p_0V_0$$

como $p_0V_0 = W \Rightarrow Q_{abc} = \frac{13W}{2} = 14{,}8\ kJ$

c) $\varepsilon = ?$

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_Q} = \frac{2}{13} = 0{,}154 \text{ ou } 15{,}4\ \%$$

d) $\varepsilon = ?$ para máquina entre T_Q e T_F

$$\varepsilon = 1 - \frac{T_a}{T_c} = 1 - \frac{1}{4} = 0{,}75 \text{ ou } 75\ \%$$

e) valor maior que o achado em c).

14) $n = 1{,}00$ mol, gás ideal

BC e DA ⇒ reversíveis e adiabáticos.

(a) mono, dia. ou poli?

podemos escolher um processo qualquer e usar

$$p_i V_i^{\gamma} = p_f V_f^{\gamma} \quad \text{ou} \quad p_D V_D^{\gamma} = p_A V_A^{\gamma}$$

$$\frac{p_0}{32}(8V_0)^{\gamma} = p_0 V_0^{\gamma}$$

$$8^{\gamma} = 32$$

$$\gamma = 5/3 \Rightarrow \text{mono}$$

b) $\varepsilon = ?$ $\qquad \varepsilon = 1 - \dfrac{|Q_F|}{|Q_Q|}$

$$Q_Q = nC_V\Delta T = n\frac{5}{2}RT_A\left(\frac{T_B}{T_A} - 1\right)$$ calor é absorvido de A a B

$$Q_Q = nRT_A\frac{5}{2}(2-1) = \frac{5}{2}p_0V_0$$

$$Q_F = nC_V\Delta T = n\frac{5}{2}RT_D\left(1 - \frac{T_C}{T_D}\right)$$ calor é cedido de D até C

$$Q_F = nRT_D\frac{5}{2}(1-2) = nR\frac{1}{4}T_A\frac{5}{2}(-1)$$

$$Q_F = -\frac{1}{4}\left(\frac{5}{2}\right)p_0V_0$$

$T_D = \frac{1}{4}T_A$?

$\Downarrow$

vel exemplo 19.1

assim:

$$\varepsilon = 1 - \frac{(-1/4)(5/2)p_0V_0}{\left(\frac{5}{2}\right)p_0V_0}$$

$$\varepsilon = 1 - 1/4 = 0{,}75 = 75\%$$

15) $\gamma = 1{,}30$

a) $\frac{T_2}{T_1} = ?$

pressão em 2 $\rightarrow p_2 = 3{,}00\, p_1$

volume em 2 $\rightarrow V_2 = V_1 = \frac{nRT_1}{p_1}$

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{Rn} = \frac{3{,}00\, p_1 V_1}{nR} = \frac{3{,}00\, \cancel{p_1}\, \cancel{nR}T_1/\cancel{p_1}}{\cancel{nR}}$$

$$T_2 = 3{,}00\, T_1 \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = 3{,}00$$

b) $\frac{T_3}{T_1} = ?$

de 2 a 3 $\Rightarrow$ processo adiabático

$\Downarrow$

$$T_2 V_2^{\gamma - 1} = T_3 V_3^{\gamma - 1}$$

$T_2 = ? \Rightarrow 3{,}00 T_1$

$\gamma = 1{,}30$

$V_2 = V_1$

$V_3 = 4{,}00\, V_1$

$$\frac{T_3}{T_1} = \frac{T_3}{T_2/3{,}00}$$

$$\frac{T_3}{T_1} = 3{,}00\left(\frac{T_3}{T_2}\right)$$

$$\frac{T_3}{T_1} = 3{,}00\left(\frac{V_2}{V_3}\right)^{\gamma - 1}$$

$$\frac{T_3}{T_1} = 3{,}00\left(\frac{1}{4{,}00}\right)^{1{,}30-1} = 1{,}98$$

c) $\frac{T_4}{T_1} = ?$ de $4 \to 1$, processo adiabático

$$\Downarrow$$

$$T_4 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$$

$V_4 = V_3 = 4{,}00\, V_1$

$$\frac{T_4}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_4}\right)^{\gamma-1} = \left(\frac{1}{4{,}00}\right)^{0{,}30} = 0{,}66$$

d) $\frac{p_3}{p_1} = ?$ de 2 a 3 $\Rightarrow$ adiabático

$$p_2 V_2^{\gamma} = p_3 V_3^{\gamma}$$

$$\frac{p_3}{p_2} = \left(\frac{V_2}{V_3}\right)^{\gamma}$$

$p_2 = 3{,}00\, p_1$, $V_3 = 4{,}00\, V_1$, $V_2 = V_1$.

$$\frac{p_3}{3p_1} = \left(\frac{V_1}{4{,}00 V_1}\right)^{1{,}30}$$

$$\frac{p_3}{p_1} = 3\left(\frac{1}{4}\right)^{1{,}30} = 0{,}49$$

e) $\frac{p_4}{p_1} = ?$ de 4 a 1 $\rightarrow$ adiabático (24)

$$p_4 V_4^{\gamma} = p_1 V_1^{\gamma}$$

$$\frac{p_4}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_4}\right)^{\gamma} = \frac{1}{(4,00)^{1,30}} = 0,17 \,//$$

f) $\varepsilon = ?$ $\varepsilon = \frac{|W|}{|Q_Q|}$

* onde energia é sanho em forma de calor? somente no trajeto de 1 a 2. $\Rightarrow Q_Q = Q_{12}$ //

* trabalho? $\cancel{W_{12}}^{0} + W_{23} + \cancel{W_{34}}^{0} + W_{41}$

$$W_{23} = \int p\,dV$$

$$W_{23} = \int_{V_2}^{V_3} \frac{p_2 V_2^{\gamma}}{V^{\gamma}}\,dV = p_2 V_2^{\gamma} \int_{V_2}^{V_3} V^{-\gamma}\,dV$$

$$W_{23} = \frac{p_2 V_2^{\gamma}}{\gamma - 1} \cdot \left(V_2^{1-\gamma} - V_3^{1-\gamma}\right) =$$

$$W_{23} = \left(\frac{3 p_1 V_1}{1-\gamma}\right)\left(1 - \frac{1}{4^{\gamma-1}}\right) = \left(\frac{3 nRT_1}{\gamma - 1}\right)\left(1 - \frac{1}{4^{\gamma-1}}\right)$$

$$W_{41} = \left(\frac{p_1 V_1^{\gamma}}{\gamma - 1}\right)\left(V_4^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}\right) =$$

$$- \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{4^{\gamma-1}}\right) = -\left(\frac{nRT_1}{\gamma - 1}\right) \cdot \left(1 - \frac{1}{4^{\gamma-1}}\right)$$

$$W_T = \left(\frac{2nRT_1}{\gamma - 1}\right)\left(1 - \frac{1}{4^{\gamma-1}}\right)$$

$$Q_{12} = nC_V\Delta T = nC_V(3T_1 - T_1) = 2nC_VT_1$$

como $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{C_V + R}{C_V} = 1 + \frac{R}{C_V}$

ou $C_V = \frac{R}{(\gamma - 1)}$

assim: $Q_{12} = 2n\left(\frac{R}{\gamma - 1}\right) T_1$

$$\varepsilon = \frac{2nRT_1}{\gamma - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{4^{\gamma-1}}\right) \Big/ 2nT_1R/\gamma - 1$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{1}{4^{0-1}}$$

$$\varepsilon = 0{,}34 = 34\%$$

16) $T_Q = 96° F = 309 K$

$T_F = 70° F = 294 K$

para um trabalho de 1J (energia fornecida)

⇓

quanto vale Q_F = ?

$$|Q_F| = K|W|$$

$$K = \frac{T_F}{T_Q - T_F} = \frac{294}{(309-294)} = 19{,}6$$

$$|Q_F| = 19{,}6 \cdot 1 = 19{,}6 \ J$$

17) $T_F = -5{,}0°C$

$T_Q = 22°C$

$K = 3{,}8$

$$\frac{Q_Q}{t} = \frac{7{,}54 \ MJ}{1h}$$

máquina de carnot, $P = ?$ $P = W/t$

$$K = \frac{|Q_F|}{|W|}$$, mas $Q_Q + Q_F - W = 0$, para um ciclo completo.

$$K = \frac{|W| - |Q_a|}{|W|}$$

$$|W| = \frac{|Q_Q| - |W|}{K}$$

$$|W| + \frac{|W|}{K} = \frac{Q_Q}{K}$$

$$|W|\left(1 + \frac{1}{K}\right) = \frac{Q_Q}{K}$$

$$|W| = \frac{Q_Q}{\cancel{K}}\left(\frac{\cancel{K}}{1+K}\right) = \frac{Q_Q}{1+K} = \frac{7{,}54\,MJ}{3{,}8+1}$$

$$|W| = 1{,}57\,MJ$$

$$P = \frac{1{,}57\,MJ}{3600\,s} = 440\,W$$

18) $\underbrace{T_1 = T_{Q_1} = 400\,K \quad T_2 = T_{F_2} = 150\,K}_{\text{máquina}}$, $\underbrace{T_3 = T_{Q_3} = 325\,K \quad T_4 = T_{F_4} = 225\,K}_{\text{refrigerador}}$

$Q_3/Q_1 = ?$

máquina

$$\varepsilon = \frac{W}{Q_1}$$

$$\varepsilon = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$\frac{W}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (A)$$

refrigerador: $$K = \frac{T_4}{T_3 - T_4} = \frac{Q_4}{W}$$

pelo balanço de energia: $Q_4 = Q_3 - W$

$$\frac{Q_3 - W}{W} = \frac{T_4}{T_3 - T_4} \qquad (B)$$

→ o trabalho feito pela máquina → faz o refrigerador funcionar ⇒ $W = W$

de (A) $$W = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot Q_1 \qquad (C)$$

de (B) $$\left(\frac{Q_3}{W} - 1\right) = \frac{T_4}{T_3 - T_4} \qquad (D)$$

(C) → (D) $$\frac{Q_3}{(T_1 - T_2) \cdot \frac{Q_1}{T_1}} = \frac{T_4}{T_3 - T_4} + 1$$

$$\frac{Q_3}{(T_1-T_2)} \cdot \frac{T_1}{Q_1} = \frac{T_4}{T_3-T_4} + 1$$

$$\frac{Q_3}{250} \cdot \frac{400}{Q_1} = \frac{225}{100} + 1$$

$$1{,}6\ \frac{Q_3}{Q_1} = 3{,}25$$

$$\frac{Q_3}{Q_1} = 2{,}03$$