Problemas de Termodinâmica e Estrutura da Matéria
3^a série

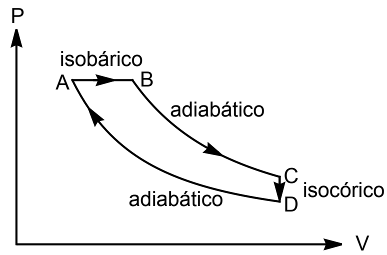
3.1) Uma mole de um gás descreve um ciclo de Carnot, entre as temperaturas de 20 °C e 120 °C. Na transformação isotérmica superior, o volume inicial é de 1 litro e o volume final é de 5 litros. Calcule as quantidades de calor permutadas entre o sistema termodinâmico e as fontes quente e fria. Calcule o trabalho realizado ao longo de um ciclo.

3.2) Calcule o rendimento ideal de um motor térmico trabalhando entre as temperaturas de 20 °C e 200 °C.

3.3) A temperatura da radiação solar que chega à Terra é de 6 000 K.
a) Qual é a eficiência máxima de um painel solar que está à temperatura de 25 °C. Considere que o painel solar funciona aproximadamente como uma máquina térmica de Carnot.
b) Se a energia da radiação solar incidente é de 100 J, quanto é a quantidade máxima de energia que o painel solar pode fornecer?

3.4) Uma máquina térmica descreve um ciclo de Carnot, entre as temperaturas de 80 °C e 200 °C, atingindo apenas 20% da sua eficiência máxima. Calcule a energia que é necessário fornecer à máquina para que o trabalho realizado seja de 10^4 J.

3.5) Um motor a diesel é descrito pelo ciclo termodinâmico indicado na figura. Determine os fluxos de calor da fonte quente e da fonte fria. Determine o rendimento do motor a diesel.



3.6) Uma máquina térmica de Stirling é descrita por um ciclo termodinâmico constituído por duas isotérmicas e duas isocóricas. Determine a sua eficiência.

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, $c_V = 85.85$ J/(mol K) e $\gamma = 1.097$.
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 1 000 ciclos termodinâmico por hora, e o preço da energia eléctrica é de 15 cêntimos 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.

3.8) Num sistema termodinâmico, uma mole de um gás ideal monoatómico está sujeita a uma transformação cíclica, percorrida sentido contrário ao da rotação dos ponteiros do relógio. Num diagrama (V, P), o processo termodinâmico tem forma triangular. Inicialmente, o gás está à pressão de 1 atm e à temperatura de 350 K, sendo depois aquecido até se atingir a temperatura de 400 K, ocupando o dobro do volume inicial. Em seguida, o gás é arrefecido até atingir a temperatura de 250 K, ocupando o triplo do volume inicial. Finalmente, o sistema é aquecido até chegar às condições iniciais.
a) Calcule as quantidades de calor e de trabalho trocadas com o exterior nas várias transformações elementares do ciclo termodinâmico.
b) Se o ciclo termodinâmico descreve um frigorífico, calcule o rendimento.
c) Se o ciclo termodinâmico descreve uma bomba de calor, calcule o rendimento.
d) Se o mesmo ciclo termodinâmico é percorrido no sentido da rotação dos ponteiros do relógio, calcule o rendimento da máquina térmica.

3.9) Num sistema termodinâmico, duas moles de um gás ideal diatómico estão sujeitas a uma transformação cíclica. O diagrama do processo termo-

dinâmico numa representação (V, P) tem forma triangular. Inicialmente o gás está á pressão de 1.013 bar e à temperatura de 300 K. Em seguida é aquecido até atingir a temperatura de 350 K, ocupando o dobro do volume inicial. Depois é arrefecido até atingir a temperatura de 250 K, ocupando o triplo do volume inicial. Finalmente, o sistema é aquecido até chegar às condições iniciais. Ao todo, existem três processos termodinâmicos elementares.
a) Calcule as pressões e os volumes no início e no fim dos três processos termodinâmicos elementares.
b) Faça o diagrama (V, P) do processo termodinâmico cíclico descrito e indique os sentidos dos percursos.
c) Calcule as quantidades de calor e de trabalho trocadas com o exterior nas várias transformações elementares do ciclo termodinâmico. No diagrama do ciclo termodinâmico, indique os sentidos dos fluxos de calor e de trabalho.

3.10) O calor específico de um sólido é $c_P = 125.48$ J/(kg K). Determine a variação de entropia quando 1 kg desse sólido é aquecido de 0 ° C para 100 ° C.
3.11) Calcule a variação de entropia de uma mole de um gás ideal, quando este se expande isotermicamente para duas vezes o seu volume.

3.12) Qual a variação de entropia na vaporização de 1 litro de água. Considere que todo o processo ocorre a 100 °C ($L_e = 2.26 \times 10^6$ J/kg).

3.13) Qual a variação de entropia quando se aquece 2 litros de água de 20 °C para 80 °C, a pressão constante ($c_P = 75.29$ J/(mole K).

3.14) Um recipiente isolado do exterior contém dois compartimentos com volumes iguais e separados por uma parede adiabática. Um dos compartimentos contém 0.5 mol de H_2 e o outro, 0.5 mol de O_2. O primeiro compartimento está à pressão de 1 atm e o segundo à pressão de 2 atm. A temperatura do gás no primeiro compartimento é de 20 °C. Qual a variação de entropia, quando se remove a parede que separa os compartimentos.

3.15) Uma máquina térmica percorre um ciclo constituído por uma transformação isobárica de A para B, seguindo-se de uma transformação isocórica de B para C, terminando por uma transformação isotérmica de C para A. Neste processo, $V_A > V_B$. O sistema termodinâmico é constituído por 1 mole de um gás ideal monoatómico, $V_A = 50$ l, $V_B = 10$ l e P_A está à pressão atmosférica.
a) Calcule o trabalho realizado pelo sistema termodinâmico, ao longo de cada um dos percursos AB, BC e CA. Calcule o trabalho total realizado pelo gás.
b) Calcule o calor trocado com o sistema termodinâmico, ao longo de cada um dos percursos AB, BC e CA.

c) Calcule a eficiência do ciclo termodinâmico.
d) Calcule a variação de entropia ao longo do caminho CA.

3.16) Uma turbina realiza trabalho de acordo com um ciclo de Brayton constituído por um caminho isobárico de A para B, um caminho adiabático de B para C e um caminho isotérmico de C para A. A pressão máxima atingida durante o ciclo termodinâmico ocorre no percurso isobárico.
a) Nos três caminhos elementares, determine as quantidades de calor e de trabalho trocadas entre o sistema termodinâmico e o exterior.
b) Determine a eficiência reversível do ciclo termodinâmico.

3.17) O ciclo diário da atmosfera terrestre pode ser descrito por uma máquina térmica. Vai-se estudar este ciclo termodinâmico para uma mole de um gás diatómico. Ao fim de um dia a temperatura é $T_A = 20$ °C, à pressão $P_A = 1$ atm. Durante a noite a temperatura desce até atingir, ao nascer do Sol, a temperatura $T_B = 14$ °C, num processo adiabático. Em seguida, a temperatura aumenta durante a manhã até atingir, ao meio dia solar, a temperatura $T_C = 26$ °C, num processo isobárico. Finalmente, a temperatura desce até ao pôr do Sol, atingindo o valor T_A, num processo cuja variação da pressão sobre a variação do volume é constante.
a) Calcule a quantidade de calor que o sistema recebe do Sol.
b) Calcule o calor dissipado por ciclo.
c) Calcule o balanço de trabalho num ciclo.
d) Calcule a variação de entropia no percurso BC.
e) Considerando que a atmosfera terrestre se comporta como uma bomba de calor, calcule o rendimento do ciclo.
f) Definindo o rendimento como a razão entre o valor absoluto do calor dissipado e o calor recebido, calcule este rendimento do ciclo.

3.18) Calcule o logaritmo natural do número de configurações microscópicas de uma mole de um gás ideal monoatómico, à pressão atmosférica e à temperatura de 20 °C.

Soluções: 3.1) $Q_q = 5261$ J, $Q_f = -3923$ J, $W = -1338$ J. 3.2) $e = 0.38$. 3.3) (a) $e = 0.95$, (b) $W = 95$ kJ. 3.4) $Q_q = 197$ kJ. 3.5) $Q_q = nc_P(T_B - T_A) > 0$, $Q_f = nc_V(T_D - T_C) < 0$, $e = 1 - (T_C - T_D)/\gamma(T_B - T_A)$. 3.6) $e = R(T_q - T_f)\ln(V_B/V_A)/(RT_q \ln(V_B/V_A) + c_V(T_q - T_f))$, em que $V_B > V_A$. 3.7) (a) $V_A = 1.24$ l, $V_B = 2.63$ ℓ, $P_B = 175\,118$ Pa, $P_C = 177\,645$ Pa, $V_D = 1.26$ l, $T_D = 28.92$ °C, (b) $Q_f = 68.7$ J, $Q_q = -73.8$ J, $W_{AB} = -360.6$ J, $W_{CD} = 359.2$ J, $W_{DA} = 6.6$ J, (c) 102 W, 0.37 euro, (d) $e_{frig} = 0.19$. 3.8) (a) $Q_{AB} = 2\,910$ J, $Q_{BC} = -693$ J, $Q_{CA} = -2\,356$ J, $W_{AB} = -2\,286$ J, $W_{BC} = -1\,178$ J, $W_{CA} = 3603$ J, (b) $e = 0.81$, (c) $e = 0.85$, (d) $e = 0.05$. 3.9) (a) $V_A = 49.2$ l, $P_B = 59092$ Pa, $P_C = 28139$ Pa, (c) $W_{AB} = -3949$ J, $W_{BC} = -2148$ J, $W_{CA} = 6374$ J, $Q_{AB} = 6028$ J, $Q_{BC} = -2009$ J, $Q_{CA} = -4296$ J. 3.10) $\Delta S = 39.14$ J/K. 3.11) $\Delta S = 5.76$ J/K. 3.12) $\Delta S = 6057$ J/K. 3.13) $\Delta S = 1558$ J/K. 3.14) $\Delta S = 7$ J/K. 3.15) (a) $W_{AB} = 4053$ J, $W_{BC} = 0$ J, $W_{CA} = -8154$ J, $W = -4101$ J, (b) $Q_{AB} = -10133$ J, $Q_{BC} = 6080$ J, $Q_{CA} = 8154$ J, (c) $e = 0.29$, (d) $\Delta S = 13.38$ J/K. 3.16) (a) $W_{AB} = -p_A(V_B - V_A)$, $Q_{AB} = nc_P(T_B - T_A)$, $W_{BC} = (p_C V_C - p_B V_B)/(\gamma - 1)$, $Q_{BC} = 0$, $W_{CA} = -Q_{CA} = -nRT_C \ln(V_A/V_C)$, (b) $e_{rev} = 1 - RT_c \ln(V_C/V_A)/c_P(T_B - T_A)$. 3.17) (a) $Q_{BC} = 349$ J, (b) $Q_{CA} = -353$ J, (c) $W = 3.8$ J, (d) $\Delta S = 1.19$ J/K, (e) $e = 1.55$, (f) $e = 1.01$. 3.18) 3×10^{24}.

3ª Série

3.1) $Q_q = nRT_q \ln\frac{5}{1} = 5261\,J$

$Q_f = nRT_f \ln\frac{1}{5} = -3923\,J$

$|w| = Q_q - |Q_f| = 1338\,J, \quad w = -1338\,J$

3.2) $e = 1 - \frac{T_f}{T_q} = \frac{T_q - T_f}{T_q} = \frac{180}{473.15} = 0.38$

3.3) a) Ciclo de Carnot $\quad e = 1 - \frac{298.15}{6000} = 0.95$

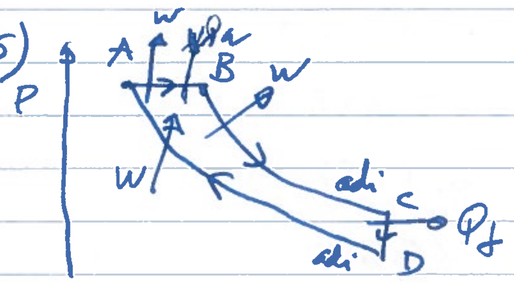
b) $e = \frac{|w|}{Q_q}, \quad w = eQ_q = 0.95 \times 100 = 95\,J$

3.4) $e = 1 - \frac{T_f}{T_q} = 1 - \frac{273.15+80}{273.15+200} = 0.253619$

$e' = 0.25 \times 0.2 = \frac{|w|}{Q_q} = 0.0507239$

$Q_q = \frac{|w|}{e'} = \frac{10^4}{0.0507239} = 197146 = 197\,kJ$

3.5)



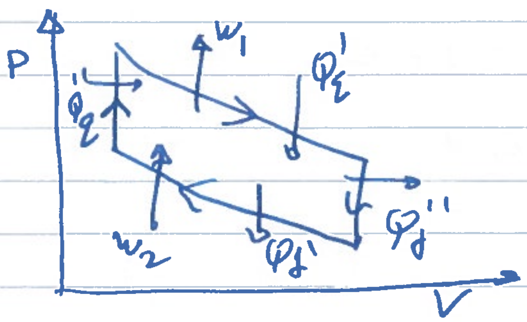
$Q_q = nc_p\Delta T = nc_p(T_B - T_A) > 0$

$Q_f = nc_v(T_D - T_C) < 0 \quad (dU = dQ)$

$|W| = Q_q - |Q_f|$

$e = \frac{|W|}{Q_q} = 1 - \frac{|Q_f|}{Q_q} = 1 - \frac{c_v}{c_p}\frac{|T_D - T_C|}{T_B - T_A} = 1 - \frac{1}{\gamma}\frac{(T_C - T_D)}{(T_B - T_A)}$

3.6) Máquina de Stirling



$-w_1 = Q_q' = nRT_q \ln\frac{V_B}{V_A} > 0$

$-w_2 = Q_f' = nRT_f \ln\frac{V_A}{V_B} < 0$

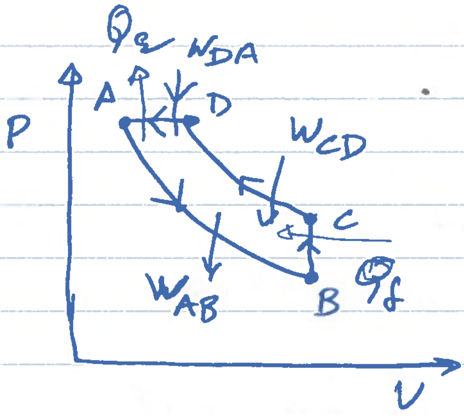
Nos processos isocóricos não há trabalho

$Q_f'' = nc_v(T_f - T_q); \quad Q_q'' = nc_v(T_q - T_f)$

$e = \frac{|W|}{Q_q} = 1 - \frac{|Q_f|}{Q_q} = \frac{nc_v(T_q - T_f) + nRT_q \ln V_B/V_A - nRT_f \ln\frac{V_B}{V_A} - nc_v(T_q \ldots}{nc_v(T_q - T_f) + nRT_q \ln V_B/V_A}$

$= \frac{R(T_q - T_f)\ln V_B/V_A}{RT_q \ln V_B/V_A + c_v(T_q - T_f)}$

3.7)



$c_V = 85.85\,J/mol\,K$, $P_A = 4\times10^5\,Pa$
$\gamma = 1.097$, $n = 0.2$
$T_A = T_q = 25°C$, $T_B = T_f = 4°C$
$T_C = 8°C$

a) $V_A = nRT_A/P_A = 0.001239\,m^3 = 1{,}239\,\ell$

$AB: \; T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \Rightarrow V_B = V_A\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^{1/(\gamma-1)} = 0.002631 = 2{,}631\,\ell$

$P_B = nRT_B/V_B = 175118\,Pa$

$P_C = nRT_C/V_B = 177645\,Pa$

$V_D = V_B\left(\frac{P_C}{P_A}\right)^{1/\gamma} = 0.00125578\,m^3 = 1{,}2557\,\ell$

$T_D = P_A V_D / nR = 302{,}07\,K \; (28.92°C)$

b) $W_{AB} = n c_V (T_B - T_A) = -360.57\,J$

$W_{CD} = n c_V (T_D - T_C) = 359.198\,J$

$W_{DA} = -nR(T_D - T_A) = 6.51874\,J$

$Q_{BC} = Q_f = n c_V (T_C - T_B) = 68.68\,J$

$Q_{DA} = n c_p (T_A - T_D) = n(c_V + R)(T_A - T_D) = -73.8269\,J$

c) Potencia

$$P_o = \frac{(W_{CD} + W_{DA})\times 1000}{3600} = 101.588 \simeq 101.6\,W$$

custo : $P_o \times 24 \times 0.15 = 0.37$ €

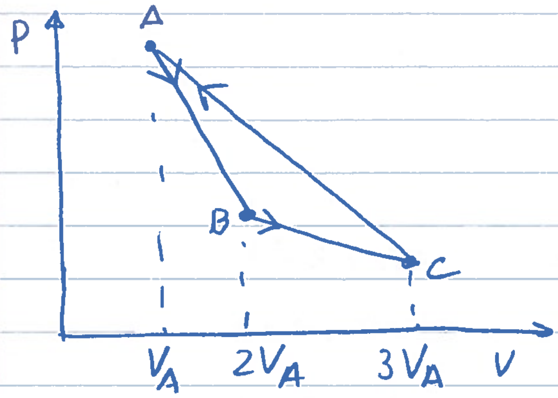
d) $$e_f = \frac{Q_f}{W_{CD} + W_{DA}} = 0.1877 = 0.19$$

3.8)

$P_A = 101325\ Pa$, $n=1$, $c_V = \frac{3}{2}R$

$T_A = 350\ K$; $T_B = 400\ K$

$T_C = 250\ K$



$$V_A = \frac{nRT_A}{P_A} = 0.0287\ m^3$$

$$P_B = \frac{nRT_B}{2V_A} = 57900\ Pa$$

$$P_C = \frac{nRT_C}{3V_A} = 24125\ Pa$$

a) Balanço do trabalho da máquina inversa = área do triângulo

$$W = 2V_A(P_A - P_C)\frac{1}{2} - \frac{1}{2}V_A(P_B - P_C) - \frac{1}{2}V_A(P_A - P_B) - V_A(P_B - P_C)$$

$$= V_A(P_A + P_C)\frac{1}{2} - V_A P_B = 138.57\ J$$

b) $Q_{AB} = U_{AB} - W_{AB} = nc_V(T_B - T_A) + \int P\,dV$

$= nc_V(T_B - T_A) + \frac{1}{2}V_A(P_A - P_B) + V_A P_B$

$= 2910.08\ J$ (máquina inversa Q_f)

$Q_{BC} = U_{BC} - W_{BC} = nc_V(T_C - T_B) + \frac{1}{2}V_A(P_B - P_C) + V_A P_C$

$= -692.875\ J$ (Máq. inversa Q_q')

$Q_{CA} = W - Q_{AB} - Q_{BC} = -2355.77\ J$ (Q_q'')

$W_{CA} = \frac{1}{2}2V_A(P_A - P_C) + 2V_A P_C = 3602.59\ J$ (W_{input})

$W_{BC} = -\frac{1}{2}V_A(P_B - P_C) - V_A P_C = -1177.89\ J$

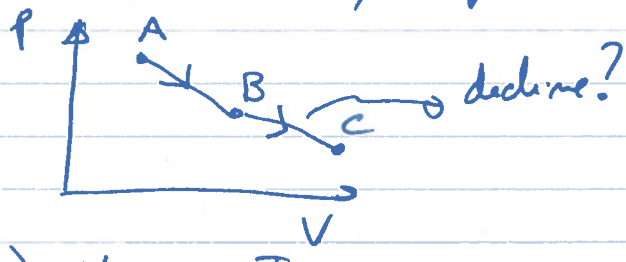
$W_{AB} = W - W_{BC} - W_{CA} = -2286.49\ J$

b) $e_f = \frac{Q_f}{W_i} = \frac{Q_{AB}}{W_{CA}} = 0.8076$ (0.81)

c) $e_{bc} = \frac{|Q_q|}{W_i} = \frac{|Q_{BC} + Q_{CA}|}{W_i = W_{CA}} = 0.846$ (~0.85)

d) $e = \frac{|W|}{Q_q} = \frac{|W|}{|Q_{BC} + Q_{CA}|} = 0.0454$ (~0.05)

3.9) $m = 2$, $P_A = 1.013\ bar = 101300\ Pa$, $T_A = 300K$, $T_B = 350K$
$T_C = 250K$, $c_V = 5/2\ R$



a) $V_A = 2R\dfrac{T_A}{P_A} = 0.0492\ m^3 \quad (= 49.2\ \ell)$

$V_B = 2V_A = 0.0984936\ m^3 \quad (98.49\ \ell)$

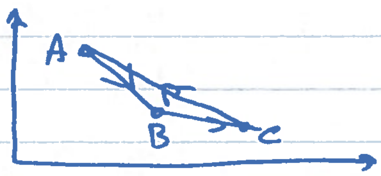
$V_C = 3V_A = 0.14774\ m^3 \quad (147{,}74\ \ell)$

$P_B = \dfrac{mRT_B}{V_B} = 59091.7\ Pa$

$P_C = \dfrac{mRT_C}{V_C} = 28138.9\ Pa$

O declive é menor de B para C, pelo que o ciclo é de sentido inverso.

b)



c) AB: $\Delta U = mc_V\Delta T = dQ + dW$, $dQ = dU - dW$

$U_{AB} = mc_V(T_B - T_A) = 2078.63\ J$

$W_{AB} = -V_A P_B - \frac{1}{2}V_A(P_A - P_B) = -3949{,}39\ J$

$Q_{AB} = U_{AB} - W_{AB} = 6028.01\ J$

BC: $U_{BC} = mc_V(T_C - T_B) = -4157{,}25\ J$

$W_{BC} = -V_A P_C - \frac{1}{2}V_A(P_B - P_C) = -2147.91\ J$

$Q_{BC} = -2009{,}34\ J$

CA: $U_{CA} = mc_V(T_A - T_C) = 2078.63\ J$

$W_{CA} = 2V_A P_C + \frac{1}{2}2V_A(P_A - P_C) = 6374.45\ J$

$Q_{CA} = U_{CA} - W_{CA} = -4295.54\ J$

3.10) $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \int c_p \frac{dT}{T} = c_p \ln \frac{T_f}{T_i} = 125.48 \ln \frac{T_f}{T_i} = 39.14\ J/K$

3.11) $\Delta S = nR \ln \frac{V_f}{V_i} = nR \ln 2 = 5.76\ J/K$

5.12) $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{m\ L_{ev}}{T} = 6056,55$

5.13) $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{m c_p\ dT}{T} = m c_p \ln \frac{T_f}{T_i}$

$c_p = 75.29\ J/mol\,K = 75.29 \frac{1}{18 \times 10^{-3}} = 4182.78\ J/kg\,K$

$\Delta S = 2 \times 4182.78 \ln \frac{273.15+80}{273.15+20} = 1557.74\ J/K$

5.14)

0,5 mol H_2 $p = 1$ atm 20°C V	0,5 mol O_2 $p = 2$ atm V

$P_1 V = n_1 R T_1$ $\qquad$ $P_2 V = n_2 R T_2$

$V = \frac{n_1 R T_1}{P_1}$ $\qquad$ $T_2 = \frac{P_2 V}{n_2 R} = \frac{n_1 R T_1}{P_1} P_2 \frac{1}{n_2 R} = 2T_1$

Se $T_1 = 293.15$, $T_2 = 586.3\ K$ $(= 313,15\ °C)$

diatómico $c_V = \frac{5}{2} R$

Os gases misturam-se ao retirar a parede e é atingido o equilíbrio térmico

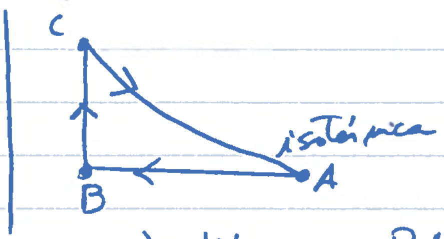
$$T_f = \frac{n c_V T_1 + n c_V T_2}{n c_V + n c_V} = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{3}{2} T_1 = 439.725\ K$$

$$\Delta S = \Delta S_{H_2} + \Delta S_{O_2} = n c_V \ln \frac{T_f}{T_1} + nR \ln 2 + n c_V \ln \frac{T_f}{T_2} + nR \ln 2$$

$$= n c_V \left(\ln \frac{439.725}{293.15} + \ln \frac{439.725}{586.3} \right) + 2nR \ln 2$$

$$= \frac{1}{2} \frac{5}{2} R \left(\ldots \right) + 2 \frac{1}{2} R \ln 2 = 6.987\ (\sim 7\ J/K)$$

3.15)



$V_A = 50\,\ell$, $V_B = 10\,\ell$, $P_A = 101325\,Pa$

$n = 1$, monoatómico.

$C_p = \frac{5}{2}R \quad C_V = \frac{3}{2}R$

a) $W_{AB} = -P\Delta V = 101325 \times 40 \times 10^{-3} = 4053\,J$

$W_{BC} = 0\,J$; $W_{CA} = -nRT_A \ln \frac{V_A}{V_C} = -8153.81\,J$

$T_A = \frac{P_A V_A}{n R} = 609.327\,K$

$W = -4100.81\,J \sim 4101\,J$

b) $Q_{AB} = n\,C_p \Delta T\,(T_B - T_A) = -10132.5\,J$

$T_B = \frac{P_B V_B}{n R} = 121.865\,K$

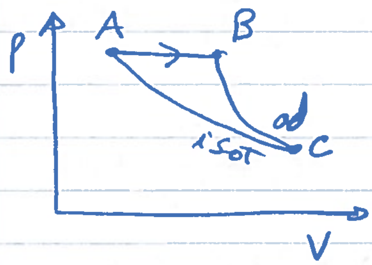
$Q_{BC} = n\,c_V\,(T_A - T_B) = 6079.5\,J$

$T_C = T_A \Rightarrow \Delta Q_{CA} = -\Delta W_{CA} = 8153.81\,J$

c) $e = \frac{|W|}{Q_2} = \frac{4100.81}{6079.5 + 8153.81} = 0.288 \quad (\sim 0.29)$

d) $\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} = \frac{\Delta Q_{CA}}{T_A} = 13.38 \sim 13.4\,J/K$

3.16)



a) $W_{AB} = -P_A(V_B - V_A)$; $Q_{AB} = n\,C_V(T_B - T_A) + P_A(V_B - V_A)$

$= n\,C_p\,(T_B - T_A) > 0$

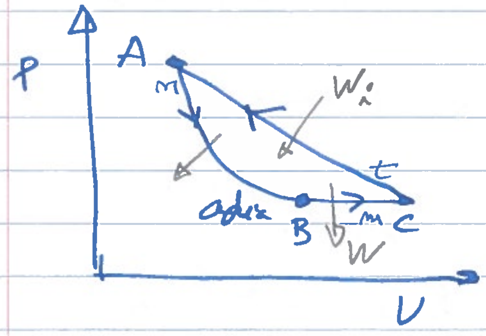
$W_{BC} = \frac{1}{\gamma - 1}(P_C V_C - P_B V_B)$, $Q_{BC} = 0$

$W_{CA} = -nRT_C \ln \frac{V_A}{V_C}$, $dU = 0$, $Q_{CA} = nRT_C \ln \frac{V_A}{V_C}$

b) $e_{rev} = 1 - \frac{|Q_1|}{Q_2} = 1 - RT_C \ln \frac{V_C}{V_A} \Big/ \left(C_p(T_B - T_A)\right)$

3/7

3.17)



$n=1$, gás diatómico

$T_A = 20°C$ $\qquad \gamma = \frac{7}{5}$

$T_B = 14°C$ $\qquad c_V = \frac{5}{2}R$

$T_C = 26°C$

$P_A = 101\,325$

$P_A V_A = nRT_A$ $\qquad V_A = \frac{nRT_A}{P_A} = 0.0245476\ m^3$

$T_A P_A^{\frac{1}{\gamma}-1} = T_B P_B^{\frac{1}{\gamma}-1}$ $\quad \Rightarrow \quad P_B = P_A \left(\frac{T_A}{T_B}\right)^{\frac{1}{\frac{1}{\gamma}-1}} =$

$= 94250.3\ Pa$

$V_B = \frac{nRT_B}{P_B} = 0.0253316\ m^3$

$P_C = P_B$, $\qquad V_C = \frac{nRT_C}{P_C} = 0.0263902\ m^3$

a) $Q_{AB} = 0$ $\qquad$ Recebe do Sol em BC

$Q_{BC} = n c_V (T_C - T_B) + P_B (V_C - V_B) = 349{,}209\ J$

b) Calor dissipado por ciclo

$$Q_{CA} = n c_V (T_A - T_C) - W_{CA}$$
$$= n c_V (T_A - T_C) - P_B (V_C - V_A) - \frac{1}{2}(V_C - V_A)(P_A - P_C)$$
$$= -353{,}047\ J$$

c) Balanço de trabalho por ciclo

$$W = -Q_{AB} - Q_{BC} - Q_{CA} = 3.838\ J$$

d) $\Delta S = \int \frac{n c_p\, dT}{T} = n c_p \ln \frac{T_C}{T_B} = 1.1914\ J/K$

e) Bomba de Calor

$$\eta = \frac{|Q_e|}{W_i} = \frac{|Q_{CA}|}{W_{CA}} = 1.546 \quad (1.55)$$

$W_{CA} = P_B (V_C - V_A) + \frac{1}{2}(V_C - V_A)(P_A - P_C)$

f) $\eta' = \frac{|Q_{CA}|}{Q_{BC}} = 1.01$

3.18) Pela fórmula da entropia de Boltzmann

$$k \ln \Omega = n c_V \ln T + nR \ln V$$

$$\ln \Omega = \frac{n c_V}{k} \ln T + n \frac{R}{k} \ln V$$

$n = 1$, $T = 20°C$, $\ln \Omega = n \frac{3}{2} \frac{R}{k} \ln T + n \frac{R}{k} \ln V$

$V = \frac{nRT}{P} = 0{,}0240552$

$$\ln \Omega = 3 \times 10^{24}$$