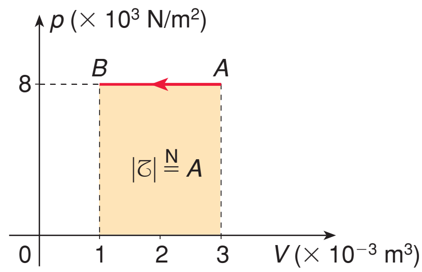
P.158 a) Do gráfico: $V_A = 3 \cdot 10^{-3}\ m^3$; $V_B = 1 \cdot 10^{-3}\ m^3$

Dado: $T_A = 300$ K

$$p_A = p_B \Rightarrow \frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{3 \cdot 10^{-3}}{300} = \frac{1 \cdot 10^{-3}}{T_B} \Rightarrow \boxed{T_B = 100\ K}$$

b)



A área do gráfico é numericamente igual ao módulo do trabalho no processo:

$A = \text{base} \times \text{altura} \Rightarrow$

$\Rightarrow A = (3 - 1) \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^3 \Rightarrow A \overset{N}{=} |\mathcal{T}| = 16$ J

Como se trata de uma compressão:

$\boxed{\mathcal{T} = -16\ J}$

c) O **trabalho** é realizado **sobre o gás** pelo ambiente, pois o volume diminui (compressão).

P.159 a) Dados: $n = 4$ mols; $R = 8{,}31$ J/mol · K

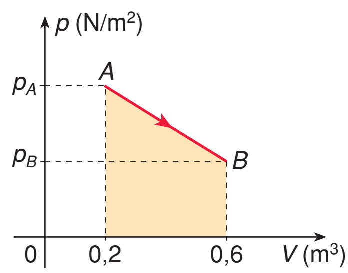
Estado A: $V_A = 0{,}2\ m^3$; $T_A = 500$ K

Estado B: $V_B = 0{,}6\ m^3$; $T_B = 600$ K

$$p_AV_A = nRT_A \Rightarrow p_A \cdot 0{,}2 = 4 \cdot 8{,}31 \cdot 500 \Rightarrow \boxed{p_A = 8{,}31 \cdot 10^4\ N/m^2}$$

$$p_BV_B = nRT_B \Rightarrow p_B \cdot 0{,}6 = 4 \cdot 8{,}31 \cdot 600 \Rightarrow \boxed{p_B \simeq 3{,}32 \cdot 10^4\ N/m^2}$$

b)



A área do trapézio assinalado no gráfico mede numericamente o trabalho realizado ($A \overset{N}{=} \mathcal{T}$):

$$A = \frac{8{,}31 \cdot 10^4 + 3{,}32 \cdot 10^4}{2} \cdot (0{,}6 - 0{,}2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A \simeq 2{,}33 \cdot 10^4 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} \simeq 2{,}33 \cdot 10^4\ J}$$

c) Como se trata de uma expansão (aumento de volume), o **trabalho** é realizado **pelo gás**.

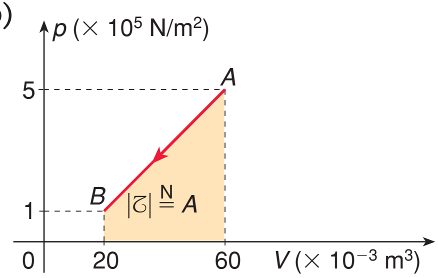
P.160 a) Dados: $m = 56$ g; $M = 28$ g/mol; $R = 8,31$ J/mol · K; $n = \dfrac{m}{M} = \dfrac{56}{28} \Rightarrow n = 2$ mols

Estado A: $p_A = 5 \cdot 10^5$ N/m²; $V_A = 60 \cdot 10^{-3}$ m³
Estado B: $p_B = 1 \cdot 10^5$ N/m²; $V_B = 20 \cdot 10^{-3}$ m³

$$p_A V_A = nRT_A \Rightarrow 5 \cdot 10^5 \cdot 60 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 8,31 \cdot T_A \Rightarrow \boxed{T_A \simeq 1.805 \text{ K}}$$

$$p_B V_B = nRT_B \Rightarrow 1 \cdot 10^5 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 8,31 \cdot T_B \Rightarrow \boxed{T_B \simeq 120,3 \text{ K}}$$

b)



A área do trapézio assinalado no gráfico é numericamente igual ao módulo do trabalho realizado ($A \overset{N}{=} |Ꞇ|$):

$$A = \frac{5 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^5}{2} \cdot (60 - 20) \cdot 10^{-3} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = 1,2 \cdot 10^4 \Rightarrow |Ꞇ| = 1,2 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Como se trata de uma compressão, vem:

$$\boxed{Ꞇ = -1,2 \cdot 10^4 \text{ J}}$$

c) O **trabalho** é realizado **sobre o gás** pelo ambiente, pois o volume diminui (compressão).

P.161 a) Dados: $R = 8,31$ J/mol · K; $T_A = 600$ K
Do gráfico: $p_A = 10 \cdot 10^3$ N/m²; $V_A = 0,3$ m³

$$p_A V_A = nRT_A \Rightarrow 10 \cdot 10^3 \cdot 0,3 = n \cdot 8,31 \cdot 600 \Rightarrow \boxed{n \simeq 0,6 \text{ mol}}$$

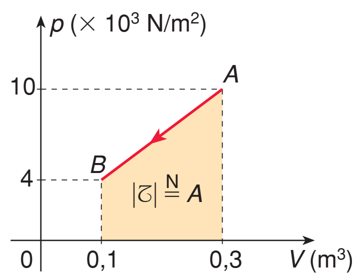
b) Estado B: $p_B = 4 \cdot 10^3$ N/m²; $V_B = 0,1$ m³

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} \Rightarrow \frac{10 \cdot 10^3 \cdot 0,3}{600} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 0,1}{T_B} \Rightarrow \boxed{T_B = 80 \text{ K}}$$

c) A variação de energia interna é dada por:

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR \cdot (T_B - T_A) = \frac{3}{2} \cdot 0,6 \cdot 8,31 \cdot (80 - 600) \Rightarrow \boxed{\Delta U \simeq -3,9 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

d) Pela área do gráfico:



$$A = \frac{10 \cdot 10^3 + 4 \cdot 10^3}{2} \cdot (0,3 - 0,1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = 1,4 \cdot 10^3 \Rightarrow |Ꞇ| = 1,4 \cdot 10^3 \text{ J}$$

Como se trata de compressão: $\boxed{Ꞇ = -1,4 \cdot 10^3 \text{ J}}$

e) Aplicando a primeira lei da Termodinâmica:
$\Delta U = Q - \mathcal{T} \Rightarrow Q = \Delta U + \mathcal{T} \Rightarrow Q = -3{,}9 \cdot 10^3 - 1{,}4 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{Q = -5{,}3 \cdot 10^3 \text{ J}}$

P.162 a) Dados: $n = 2$ mols; $R = 8{,}31$ J/mol · K; $T_A = ?$; $T_B = ?$
Do gráfico: $p_A = 3 \cdot 10^4$ N/m²; $V_A = 0{,}2$ m³; $p_B = 2 \cdot 10^4$ N/m²; $V_B = 0{,}4$ m³

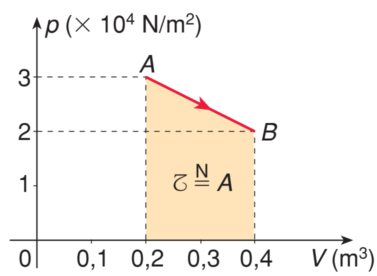
$$p_A V_A = nRT_A \Rightarrow 3 \cdot 10^4 \cdot 0{,}2 = 2 \cdot 8{,}31 \cdot T_A \Rightarrow \boxed{T_A \simeq 361 \text{ K}}$$

$$p_B V_B = nRT_B \Rightarrow 2 \cdot 10^4 \cdot 0{,}4 = 2 \cdot 8{,}31 \cdot T_B \Rightarrow \boxed{T_B \simeq 481 \text{ K}}$$

b) $\Delta T = T_B - T_A = 481 - 361 \Rightarrow \Delta T = 120$ K

$$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8{,}31 \cdot 120 \Rightarrow \boxed{\Delta U \simeq 3 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

c)



Pela área do gráfico:

$$A = \frac{3 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^4}{2} \cdot (0{,}4 - 0{,}2) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = 5 \cdot 10^3$$

Como $A \overset{N}{=} \mathcal{T}$, temos: $\boxed{\mathcal{T} = 5 \cdot 10^3 \text{ J}}$

d) Aplicando ao processo a primeira lei da Termodinâmica, teremos:

$$\Delta U = Q - \mathcal{T} \Rightarrow Q = \Delta U + \mathcal{T} \Rightarrow Q = 3 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3 \Rightarrow \boxed{Q = 8 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

P.163 Na transformação isotérmica: $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = \mathcal{T}$
No caso, $\mathcal{T} = -600$ J (trabalho realizado sobre o gás).

Portanto, a quantidade de calor cedida pelo gás é $\boxed{Q = -600 \text{ J}}$

P.164 a) Dados: $p_1 = 10^5$ N/m²; $T_1 = 500$ K; $V_1 = 1{,}66$ m³; $R = 8{,}3$ J/mol · K

$$p_1 V_1 = nRT_1 \Rightarrow 10^5 \cdot 1{,}66 = n \cdot 8{,}3 \cdot 500 \Rightarrow \boxed{n = 40 \text{ mols}}$$

b) Como a expansão é isotérmica ($\Delta T = 0$), a variação de energia interna é nula ($\Delta U = 0$). Então: $\mathcal{T} = Q$
Assim, o calor recebido pelo gás ($Q = 400$ J) é integralmente convertido em trabalho: $\boxed{\mathcal{T} = 400 \text{ J}}$

c) Conforme foi comentado no item anterior: $\boxed{\Delta U = 0}$

P.165 a) Dados: $n = 3$ mols; $A \overset{N}{=} 9{,}5 \cdot 10^4$; $R = 8{,}31$ J/mol · K

O processo é uma **compressão isotérmica**, pois a curva AB é uma hipérbole equilátera, que traduz uma proporcionalidade inversa entre pressão (p) e volume (V), o que é característico da transformação isotérmica.

b) Do gráfico: $p_A = 1{,}2 \cdot 10^4$ N/m^2; $V_A = 0{,}6$ m^3

$$p_A V_A = nRT \Rightarrow 1{,}2 \cdot 10^4 \cdot 0{,}6 = 3 \cdot 8{,}31 \cdot T \Rightarrow \boxed{T \simeq 288{,}8 \text{ K}}$$

c) A variação de energia interna é nula, pois se trata de uma transformação isotérmica:

$$\Delta T = 0 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 0}$$

d) O trabalho tem módulo dado numericamente pela área do gráfico:

$|\tau| \overset{N}{=} A \Rightarrow |\tau| = 9{,}5 \cdot 10^4$ J

Como o processo é uma compressão, esse trabalho é realizado sobre o gás, sendo negativo:

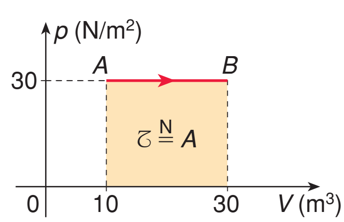
$$\boxed{\tau = -9{,}5 \cdot 10^4 \text{ J}}$$

e) De $\Delta U = 0$, vem $Q = \tau$. Portanto:

$$\boxed{Q = -9{,}5 \cdot 10^4 \text{ J}}$$

O gás **perde**, sob a forma de calor, a energia que recebeu na forma de trabalho, uma vez que não varia sua energia interna.

P.166 a) Dado: $Q = 1.500$ J



O trabalho realizado pelo gás na expansão AB é numericamente igual à área do retângulo destacada:

$$\tau = 30 \cdot (30 - 10) \Rightarrow \boxed{\tau = 600 \text{ J}}$$

b) Pela primeira lei da Termodinâmica:

$$\Delta U = Q - \tau = 1.500 - 600 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 900 \text{ J}}$$

P.167 a) Dados: $p = 2 \cdot 10^3$ N/m^2; $R = 8{,}31$ J/mol · K

Do gráfico: $V_1 = 0{,}6$ m^3; $T_1 = 300$ K

Aplicando a equação de Clapeyron ao estado inicial, temos:

$$pV_1 = nRT_1 \Rightarrow 2 \cdot 10^3 \cdot 0{,}6 = n \cdot 8{,}31 \cdot 300 \Rightarrow \boxed{n \simeq 0{,}48 \text{ mol}}$$

b) Do gráfico: $\Delta V = V_2 - V_1 = 0,2 - 0,6 \Rightarrow \Delta V = -0,4\ m^3$

O trabalho, numa transformação isobárica, é dado por:

$\tau = p \cdot \Delta V = 2 \cdot 10^3 \cdot (-0,4) \Rightarrow \tau = -0,8 \cdot 10^3\ J \Rightarrow \boxed{\tau = -8 \cdot 10^2\ J}$

c) Como durante o processo o gás perdeu $2,0 \cdot 10^3$ J de calor, temos:

$Q = -2,0 \cdot 10^3\ J$

Por fim, pela primeira lei da Termodinâmica, temos:

$\Delta U = Q - \tau = -2,0 \cdot 10^3 - (-0,8 \cdot 10^3) \Rightarrow \boxed{\Delta U = -1,2 \cdot 10^3\ J}$

P.168 Dados: $n = 3$ mols; $C_p = 5$ cal/mol · K; $R = 8,31$ J/mol · K; 1 cal = 4,18 J

a) Do gráfico: $V_A = 2\ m^3$; $T_A = 200$ K

$pV_A = nRT_A \Rightarrow p \cdot 2 = 3 \cdot 8,31 \cdot 200 \Rightarrow \boxed{p \simeq 2,5 \cdot 10^3\ N/m^2}$

b) $Q = nC_p \cdot (T_B - T_A) = 3 \cdot 5 \cdot (500 - 200) \Rightarrow$

$\Rightarrow Q = 4,5 \cdot 10^3\ cal \Rightarrow Q = 4,5 \cdot 10^3 \cdot 4,18\ J \Rightarrow \boxed{Q \simeq 1,88 \cdot 10^4\ J}$

c) Do gráfico: $\Delta V = V_B - V_A = 5 - 2 \Rightarrow \Delta V = 3\ m^3$

Numa expansão isobárica, o trabalho realizado pelo gás é dado por:

$\tau = p \cdot \Delta V = 2,5 \cdot 10^3 \cdot 3 \Rightarrow \boxed{\tau = 7,5 \cdot 10^3\ J}$

d) Da primeira lei da Termodinâmica, vem:

$\Delta U = Q - \tau = 18,8 \cdot 10^3 - 7,5 \cdot 10^3 \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta U = 11,3 \cdot 10^3\ J \Rightarrow \boxed{\Delta U = 1,13 \cdot 10^4\ J}$

P.169 Dado: $C_p = 5$ cal/mol · K

Pela relação de Mayer: $C_p - C_v = R$, em que $R = 2$ cal/mol · K

Então:

$5 - C_v = 2 \Rightarrow C_v = 3$ cal/mol · K

De $Q_v = n \cdot C_v \cdot \Delta T$, vem: $Q_v = 3 \cdot 3 \cdot 300 \Rightarrow$

$\Rightarrow Q_v = 2,7 \cdot 10^3\ cal \Rightarrow Q_v = 2,7 \cdot 10^3 \cdot 4,18\ J \Rightarrow \boxed{Q_v = 1,13 \cdot 10^4\ J}$

P.170 Se o volume permanece constante, não há realização de trabalho na transformação:

$$\boxed{\tau = 0}$$

Pela primeira lei da Termodinâmica: $\Delta U = Q$

Como o gás recebe $Q = 500$ J, vem: $\boxed{\Delta U = 500\ J}$

P.171 Dados: $n = 1$ mol; $C_v = 2{,}98$ cal/mol · K; $R = 8{,}31$ J/mol · K; 1 cal = 4,18 J

a) Do gráfico: $p_1 = 400\ \text{N/m}^2$; $T_1 = 100$ K

De $p_1V = nRT_1$, vem: $400V = 1 \cdot 8{,}31 \cdot 100 \Rightarrow \boxed{V \simeq 2{,}08\ \text{m}^3}$

b) $Q = n \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1) = 1 \cdot 2{,}98 \cdot (250 - 100) \Rightarrow$

$\Rightarrow Q = 447\ \text{cal} \Rightarrow Q = 447 \cdot 4{,}18\ \text{J} \Rightarrow \boxed{Q \simeq 1{,}87 \cdot 10^3\ \text{J}}$

c) Como a transformação é isocórica: $\Delta V = 0 \Rightarrow \mathcal{T} = 0$

Então: $\Delta U = Q \Rightarrow \boxed{\Delta U \simeq 1{,}87 \cdot 10^3\ \text{J}}$

P.172 Dado: $Q_{ABC} = 8 \cdot 10^4$ J

a) Na etapa AB, $\boxed{\mathcal{T}_{AB} = 0}$, pois o processo é isocórico ($\Delta V = 0$).

b) Na etapa BC, o trabalho é dado por:

$\mathcal{T}_{BC} = p \cdot (V_C - V_B) = 5 \cdot 10^4 \cdot (0{,}7 - 0{,}3) \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_{BC} = 2 \cdot 10^4\ \text{J}}$

c) $\mathcal{T}_{ABC} = \mathcal{T}_{AB} + \mathcal{T}_{BC} \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_{ABC} = 2 \cdot 10^4\ \text{J}}$

d) Pela primeira lei da Termodinâmica, temos:

$\Delta U_{ABC} = Q_{ABC} - \mathcal{T}_{ABC} \Rightarrow \Delta U_{ABC} = 8 \cdot 10^4 - 2 \cdot 10^4 \Rightarrow \boxed{\Delta U_{ABC} = 6 \cdot 10^4\ \text{J}}$

P.173 a) Sendo o processo adiabático, não há troca de calor com o meio externo:

$$\boxed{Q = 0}$$

b) O trabalho realizado sobre o gás é: $\mathcal{T} = -500$ J

A variação de energia interna é dada por:

$\Delta U = -\mathcal{T} \Rightarrow \Delta U = -(-500) \Rightarrow \boxed{\Delta U = 500\ \text{J}}$

c) Sendo uma compressão, **o volume diminui**. O aumento da energia interna indica que **a temperatura aumenta**. Como $\dfrac{pV}{T}$ = constante, conclui-se que **a pressão aumenta**.

P.174 Expansão isobárica: volume aumenta; pressão constante; temperatura aumenta; $\mathcal{T} > 0$; $Q > 0$; $\Delta U > 0$.

Expansão adiabática: volume aumenta; pressão diminui; temperatura diminui; $\mathcal{T} > 0$; $Q = 0$; $\Delta U < 0$.

P.175 Dados: $V_1 = 2\ \ell$; $p_1 = 16$ atm; $V_2 = 8\ \ell$; $\gamma = 1{,}5$

Utilizando esses valores na equação de Poisson, teremos:

$p_1V_1^{\gamma} = p_2V_2^{\gamma} \Rightarrow 16 \cdot 2^{1,5} = p_2 \cdot 8^{1,5}$

Elevando ao quadrado os dois membros da equação, vem:

$$256 \cdot 2^3 = p_2^2 \cdot 8^3 \Rightarrow 256 \cdot 8 = p_2^2 \cdot 512 \Rightarrow p_2^2 = 4 \Rightarrow \boxed{p_2 = 2 \text{ atm}}$$

P.176 Dados: $T_1 = 400$ K; $T_2 = ?$

Aplicando a lei geral dos gases perfeitos, temos:

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{16 \cdot 2}{400} = \frac{2 \cdot 8}{T_2} \Rightarrow \boxed{T_2 = 200 \text{ K}}$$

P.177 a) Do gráfico: $p_A = 1 \cdot 10^3$ N/m; $V_A = 8 \cdot 10^{-1}$ m^3

$p_B = 4 \cdot 10^3$ N/m; $V_B = 2 \cdot 10^{-1}$ m^3

Da equação geral dos gases perfeitos, vem:

$$\frac{p_AV_A}{T_A} = \frac{p_BV_B}{T_B} \Rightarrow \frac{1 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-1}}{T_A} = \frac{4 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-1}}{T_B} \Rightarrow \boxed{T_A = T_B}$$

b) Sendo $T_A = T_B$, a variação de temperatura, em ambos os processos, é nula.

Portanto: $\boxed{\Delta U = 0}$

c) O trabalho realizado depende do "caminho" entre os estados inicial e final. Como nas transformações isocóricas o trabalho é nulo, o trabalho total corresponde ao trabalho realizado na transformação isobárica. Teremos:

$\mathcal{T}_1 = p_1 \cdot \Delta V$ e $\mathcal{T}_2 = p_2 \cdot \Delta V$

Como a variação de volume é a mesma nos dois processos, terá módulo maior o trabalho realizado sob maior pressão: $p_1 > p_2 \Rightarrow |\mathcal{T}_1| > |\mathcal{T}_2|$

Do gráfico: $\Delta V = 2 \cdot 10^{-1} - 8 \cdot 10^{-1} \Rightarrow \Delta V = -6 \cdot 10^{-1}$ m^3

$p_1 = 4 \cdot 10^3$ N/m^2; $p_2 = 1 \cdot 10^3$ N/m^2

$$\mathcal{T}_1 = p_1 \cdot \Delta V \Rightarrow \mathcal{T}_1 = 4 \cdot 10^3 \cdot (-6 \cdot 10^{-1}) \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_1 = -2{,}4 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

$$\mathcal{T}_2 = p_2 \cdot \Delta V \Rightarrow \mathcal{T}_2 = 1 \cdot 10^3 \cdot (-6 \cdot 10^{-1}) \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_2 = -6 \cdot 10^2 \text{ J}}$$

d) Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, temos:
$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow 0 = Q - \tau \Rightarrow Q = \tau$
Portanto, a quantidade de calor trocada terá módulo maior onde o módulo do trabalho for maior: $|\tau_1| > |\tau_2| \Rightarrow \boxed{|Q_1| > |Q_2|}$

Os valores serão: $\boxed{Q_1 = -2{,}4 \cdot 10^3 \text{ J}}$ e $\boxed{Q_2 = -6 \cdot 10^2 \text{ J}}$

P.178 a) $T_A > T_B$, pois T_A corresponde à isoterma mais afastada dos eixos.

b) Como nos três processos as temperaturas inicial e final são as mesmas, a variação de temperatura ($\Delta T = T_B - T_A$) é a mesma. Portanto, nos três processos ocorre a mesma variação de energia interna: $\boxed{\Delta U_1 = \Delta U_2 = \Delta U_3}$

c) No gráfico, a área compreendida entre as curvas que representam as transformações e o eixo das abscissas é numericamente igual aos trabalhos realizados. Portanto:

$$\tau_1 > \tau_2 > \tau_3 \quad \text{ou} \quad \boxed{\tau_3 < \tau_2 < \tau_1}$$

d) Considerando que as variações de energia interna são iguais, as diferenças $Q - \tau$ devem ser iguais, pois $\Delta U = Q - \tau$. Então, ao maior trabalho deve corresponder também a maior quantidade de calor trocada:

$$Q_1 > Q_2 > Q_3 \quad \text{ou} \quad \boxed{Q_3 < Q_2 < Q_1}$$

P.179 Dados: $n = 2$ mols; $\Delta T = 450 - 300 \Rightarrow \Delta T = 150$ K; $C_p = 20{,}75$ J/mol · K;
$R = 8{,}3$ J/mol · K

1ª solução:

$$\Delta U = \frac{3}{2} n \cdot R \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 8{,}3 \cdot 150 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 3.735 \text{ J}}$$

Como $\tau = -\Delta U$, vem: $\boxed{\tau = -3.735 \text{ J}}$

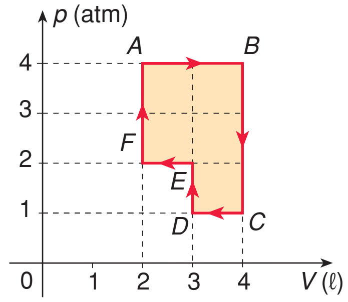
2ª solução:

$\Delta U = n \cdot C_v \cdot \Delta T \Rightarrow \Delta U = n \cdot (C_p - R) \cdot \Delta T \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta U = 2 \cdot (20{,}75 - 8{,}3) \cdot 150 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 3.735 \text{ J}}$

Como $\tau = -\Delta U$, vem: $\boxed{\tau = -3.735 \text{ J}}$

P.180 Dados: 1 atm $= 10^5$ N/m^2; 1 $\ell = 10^{-3}$ m^3

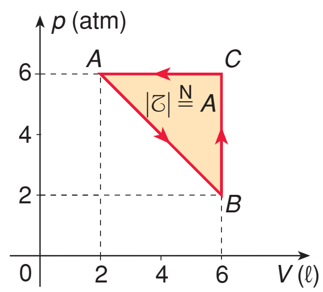


A área assinalada no gráfico equivale numericamente ao trabalho realizado no ciclo:

$A \overset{N}{=} \mathcal{T} = 5 \cdot (1 \text{ atm} \cdot \ell) \Rightarrow$

$\Rightarrow \mathcal{T} = 5 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = 5 \cdot 10^2 \text{ J}}$

P.181 Dados: 1 atm $= 10^5$ N/m^2; 1 $\ell = 10^{-3}$ m^3



A área assinalada no gráfico equivale numericamente ao módulo do trabalho:

$A \overset{N}{=} |\mathcal{T}| = \dfrac{(6-2)\cdot(6-2)}{2} \Rightarrow |\mathcal{T}| = 8 \text{ atm} \cdot \ell$

Como o trabalho realizado na compressão CA tem módulo maior que o trabalho realizado na expansão AB ($|\mathcal{T}_{CA}| > |\mathcal{T}_{AB}|$), o trabalho total $\mathcal{T}$ é negativo ($\mathcal{T} = -8 \text{ atm} \cdot \ell$).

Para exprimir em joules:

$\mathcal{T} = -8 \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = -8 \cdot 10^2 \text{ J}}$

No ciclo, é nula a variação de energia interna ($\Delta U = 0$). Assim, pela primeira lei da Termodinâmica:

$\Delta U = Q - \mathcal{T} \Rightarrow 0 = Q - \mathcal{T} \Rightarrow Q = \mathcal{T} \Rightarrow \boxed{Q = -8 \cdot 10^2 \text{ J}}$

Como o ciclo é realizado no sentido anti-horário, há **conversão de trabalho em calor**.

P.182 a) Dados: $p = 4 \cdot 10^2$ N/m^2; $\Delta V = (1{,}2 - 0{,}2)$ m^3 $= 1{,}0$ m^3

O trabalho realizado na expansão AB é dado por:

$\mathcal{T}_{AB} = p \cdot \Delta V = 4 \cdot 10^2 \cdot 1{,}0 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_{AB} = 4 \cdot 10^2 \text{ J}}$ (trabalho realizado *pelo* gás)

O processo BC é isocórico. Assim, não há realização de trabalho: $\boxed{\mathcal{T}_{BC} = 0}$

Para a compressão CD, temos: $p = 2 \cdot 10^2$ N/m^2; $\Delta V = (0{,}2 - 1{,}2)$ m^3 $= -1{,}0$ m^3

$\mathcal{T}_{CD} = p \cdot \Delta V = 2 \cdot 10^2 \cdot (-1{,}0) \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_{CD} = -2 \cdot 10^2 \text{ J}}$ (trabalho realizado *sobre* o gás)

O processo DA é isocórico. Portanto: $\boxed{\mathcal{T}_{DA} = 0}$

b) Expansão AB: V aumenta $\Rightarrow$ T aumenta $\Rightarrow$ ***U* aumenta**
Processo BC: p diminui $\Rightarrow$ T diminui $\Rightarrow$ ***U* diminui**
Compressão CD: V diminui $\Rightarrow$ T diminui $\Rightarrow$ ***U* diminui**
Processo DA: p aumenta $\Rightarrow$ T aumenta $\Rightarrow$ ***U* aumenta**
Portanto, a energia interna (U) aumenta nas transformações AB e DA e diminui nas transformações BC e CD.

c) Como o ciclo é realizado no sentido horário, há **conversão de calor em trabalho**. Esse raciocínio se baseia no fato de que o trabalho na expansão AB tem módulo maior que o trabalho realizado na compressão CD.

d) Trabalho no ciclo: $\tau = \tau_{AB} + \tau_{BC} + \tau_{CD} + \tau_{DA} \Rightarrow$

$\Rightarrow \tau = 4 \cdot 10^2 + 0 - 2 \cdot 10^2 + 0 \Rightarrow \boxed{\tau = 2 \cdot 10^2 \text{ J}}$

Chega-se ao mesmo resultado pelo cálculo da área interna do ciclo ($A \overset{N}{=} \tau$).
A = base × altura = $(1{,}2 - 0{,}2) \cdot (4 - 2) \cdot 10^2 = 2 \cdot 10^2 \Rightarrow \tau = 2 \cdot 10^2$ J
Como é nula a variação de energia interna no ciclo ($\Delta U = 0$), temos:

$Q = \tau \Rightarrow \boxed{Q = 2 \cdot 10^2 \text{ J}}$

P.183 O trabalho total, realizado no intervalo de tempo $\Delta t = 1$ s, vale:
$\tau_{total} = 4\tau = 4 \cdot 2 \cdot 10^2 \Rightarrow \tau_{total} = 8 \cdot 10^2$ J
A potência da máquina é dada por:

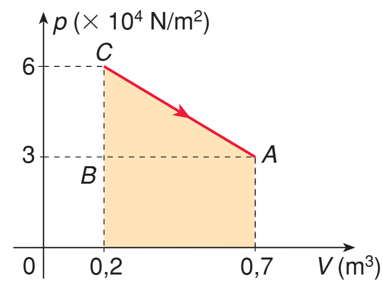
$$Pot = \frac{\tau_{total}}{\Delta t} = \frac{8 \cdot 10^2}{1} \Rightarrow \boxed{Pot = 8 \cdot 10^2 \text{ W}}$$

P.184 a) Compressão AB: $p = 3 \cdot 10^4$ N/m²; $\Delta V = (0{,}2 - 0{,}7)$ m³ $= -0{,}5$ m³

$\tau_{AB} = p \cdot \Delta V = 3 \cdot 10^4 \cdot (-0{,}5) \Rightarrow \boxed{\tau_{AB} = -1{,}5 \cdot 10^4 \text{ J}}$

O processo BC é isocórico. Logo: $\boxed{\tau_{BC} = 0}$

Na expansão CA, o trabalho é dado numericamente pela área do trapézio assinalado no gráfico:



$$\tau_{CA} = \frac{6 \cdot 10^4 + 3 \cdot 10^4}{2} \cdot (0{,}7 - 0{,}2)$$

$\boxed{\tau_{CA} = 2{,}25 \cdot 10^4 \text{ J}}$

b) Como o ciclo é percorrido no **sentido horário, há conversão de calor em trabalho**.

c) O trabalho $\mathcal{T}$ por ciclo vale:

$$\mathcal{T} = \mathcal{T}_{AB} + \mathcal{T}_{BC} + \mathcal{T}_{CA} = -1{,}5 \cdot 10^4 + 0 + 2{,}25 \cdot 10^4 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = 7{,}5 \cdot 10^3 \text{ J}}$$

d) $\mathcal{T}_{\text{total}} = 8\mathcal{T} = 8 \cdot 7{,}5 \cdot 10^3 \Rightarrow \mathcal{T}_{\text{total}} = 60 \cdot 10^3$ J

Sendo $\Delta t = 5$ s, obtemos:

$$Pot = \frac{\mathcal{T}_{\text{total}}}{\Delta t} = \frac{60 \cdot 10^3}{5} \Rightarrow Pot = 12 \cdot 10^3 \text{ W} \Rightarrow \boxed{Pot = 1{,}2 \cdot 10^4 \text{ W}}$$

P.185 Dados: $Q_1 = 1.600$ kcal (calor recebido da fonte quente)
$Q_2 = 1.400$ kcal (calor rejeitado para a fonte fria)

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{1.400}{1.600} \Rightarrow \eta = 1 - 0{,}875 \Rightarrow \boxed{\eta = 0{,}125 = 12{,}5\%}$$

P.186 O rendimento é: $\eta = \frac{1}{4} = 0{,}25$.

A potência útil é $Pot = 800$ kW, isto é, o trabalho útil em um segundo é $\mathcal{T} = 800$ kJ.

a) $\eta = \dfrac{\mathcal{T}}{Q_1} \Rightarrow Q_1 = \dfrac{\mathcal{T}}{\eta} \Rightarrow Q_1 = \dfrac{800}{0{,}25} \Rightarrow Q_1 = 3.200 \text{ kJ} \Rightarrow \boxed{Q_1 = 3{,}2 \cdot 10^3 \text{ kJ}}$

b) $Q_2 = Q_1 - \mathcal{T} \Rightarrow Q_2 = 3.200 - 800 \Rightarrow Q_2 = 2.400 \text{ kJ} \Rightarrow \boxed{Q_2 = 2{,}4 \cdot 10^3 \text{ kJ}}$

P.187 Dados: $Q_2 = 50$ cal; $Q_1 = 75$ cal

$$\mathcal{T} = Q_1 - Q_2 = 75 - 50 \Rightarrow \mathcal{T} = 25 \text{ cal} = 25 \cdot 4{,}18 \text{ J} \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = 104{,}5 \text{ J}}$$

Eficiência: $e = \dfrac{Q_2}{\mathcal{T}} \Rightarrow e = \dfrac{50}{25} \Rightarrow \boxed{e = 2}$

P.188 Dados: $T_1 = (327 + 273)$ K $= 600$ K; $T_2 = (27 + 273)$ K $= 300$ K

Com esses valores, obtemos:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{300}{600} \Rightarrow \eta = 1 - 0{,}5 \Rightarrow \boxed{\eta = 0{,}5 = 50\%}$$

P.189 Dados: $T_1 = (100 + 273)$ K $= 373$ K; $T_2 = (0 + 273)$ K $= 273$ K;
$Q_1 = 1.000$ cal; 1 cal $= 4{,}18$ J

a) $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273}{373} \simeq 1 - 0{,}732 \Rightarrow \boxed{\eta \simeq 0{,}268 = 26{,}8\%}$

b) $\eta = \frac{\mathcal{T}}{Q_1} \Rightarrow \mathcal{T} = \eta \cdot Q_1 \Rightarrow \mathcal{T} = 0{,}268 \cdot 1.000 \Rightarrow \mathcal{T} = 268 \text{ cal}$

$\mathcal{T} = 268 \cdot 4{,}18 \text{ J} \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} \simeq 1.120 \text{ J}}$

c) $Q_2 = Q_1 - \mathcal{T} = 1.000 - 268 \Rightarrow \boxed{Q_2 = 732 \text{ cal}}$

P.190 Dados: $\theta_1 = 327\ °C \Rightarrow T_1 = (327 + 273)\ K = 600\ K$;
$\theta_2 = 127\ °C \Rightarrow T_2 = (127 + 273)\ K = 400\ K$;
$Q_1 = 200\ J$; $Q_2 = 160\ J$

a) $\mathcal{T} = Q_1 - Q_2 = 200 - 160 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = 40 \text{ J}}$

b) $\eta = \frac{\mathcal{T}}{Q_1} = \frac{40}{200} \Rightarrow \boxed{\eta = 0{,}20 = 20\%}$

c) $\eta_{máx.} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{400}{600} = 1 - 0{,}67 \Rightarrow \boxed{\eta_{máx.} = 0{,}33 = 33\%}$

P.191 Dados: $T_1 = 400\ K$; $T_2 = 300\ K$; $Q_1 = 600$ cal

a) $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{300}{400} = 1 - 0{,}75 \Rightarrow \boxed{\eta = 0{,}25 = 25\%}$

b) $\eta = \frac{\mathcal{T}}{Q_1} \Rightarrow \mathcal{T} = \eta \cdot Q_1 \Rightarrow \eta = 0{,}25 \cdot 600 \Rightarrow \mathcal{T} = 150 \text{ cal}$

$Q_2 = Q_1 - \mathcal{T} = 600 - 150 \Rightarrow \boxed{Q_2 = 450 \text{ cal}}$

P.192 a) Dados: $Q_1 = 10^5$ cal; $\mathcal{T} = 5 \cdot 10^4$ cal

$\eta = \frac{\mathcal{T}}{Q_1} \Rightarrow \eta = \frac{5 \cdot 10^4}{10^5} \Rightarrow \boxed{\eta = 0{,}5 = 50\%}$

b) Dados: $T_2 = (177 + 273)\ K = 450\ K$; $T_1 = (227 + 273)\ K = 500\ K$

$\eta_{máx.} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta_{máx.} = 1 - \frac{450}{500} \Rightarrow \eta_{máx.} = 0{,}1 = 10\%$

A máquina não pode existir, pois, necessariamente, devemos ter: $\eta \leq \eta_{máx.}$

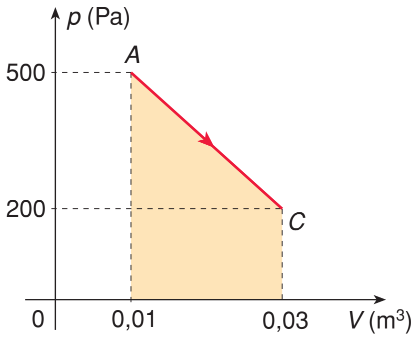
P.193 Do gráfico: $p_A = 500$ Pa; $V_A = 0{,}01\ m^3$; $p_C = 200$ Pa; $V_C = 0{,}03\ m^3$
Calculando a energia interna em A e C:

$U_A = 10 + 2p_A \cdot V_A = 10 + 2 \cdot 500 \cdot 0{,}01 \Rightarrow U_A = 20$ J

$U_C = 10 + 2p_C \cdot V_C = 10 + 2 \cdot 200 \cdot 0{,}03 \Rightarrow U_C = 22$ J

A variação de energia interna no processo *AC* vale:

$\Delta U = U_C - U_A = 22 - 20 \Rightarrow \Delta U = 2$ J



O trabalho realizado no processo *AC* é dado numericamente pela área do trapézio assinalado no gráfico ($\tau \overset{N}{=} A$):

$$\tau = \frac{500 + 200}{2} \cdot (0{,}03 - 0{,}01) \Rightarrow \tau = 7 \text{ J}$$

De $\Delta U = Q - \tau$, vem:

$Q = \Delta U + \tau \Rightarrow Q = 2 + 7 \Rightarrow \boxed{Q = 9 \text{ J}}$

P.194 a) O trabalho no processo *ABC* é igual ao trabalho na transformação isobárica *AB*, pois o trabalho na transformação isocórica *BC* é nulo:

$\tau_{ABC} = \tau_{AB} + \tau_{BC} \Rightarrow \tau_{ABC} = \tau_{AB}$

Mas: $\tau_{AB} = 4 \cdot 10^5 \cdot (4 - 2) \Rightarrow \tau_{AB} = 8 \cdot 10^5$ J

Portanto: $\boxed{\tau_{ABC} = 8 \cdot 10^5 \text{ J}}$

b) $T_c = T_A$ (mesma isoterma) $\Rightarrow U_c = U_A$

Portanto, é nula a variação de energia interna no processo *ABC*: $\Delta U_{ABC} = 0$

Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, obtemos:

$$\Delta U_{ABC} = Q_{ABC} - \tau_{ABC} \Rightarrow 0 = Q_{ABC} - \tau_{ABC} \Rightarrow Q_{ABC} = \tau_{ABC} \Rightarrow \boxed{Q_{ABC} = 8 \cdot 10^5 \text{ J}}$$

P.195 a) No estado *A*, temos: $V_A = 2{,}05 \cdot 10^{-2}$ m³; $p_A = 8 \cdot 10^5$ N/m²;

$m = 640$ g; $M = 32$ g/mol; $R = 8{,}2$ J/mol K

Aplicando a equação de Clapeyron, obtemos:

$$P_AV_A = \frac{m}{M}RT \Rightarrow 8 \cdot 10^5 \cdot 2{,}05 \cdot 10^{-2} = \frac{640}{32} \cdot 8{,}2 \cdot T \Rightarrow \boxed{T = 100 \text{ K}}$$

b) O trabalho é dado pela área do trapézio:

$$\tau = \frac{8 \cdot 10^5 + 4 \cdot 10^5}{2} \cdot (4{,}10 \cdot 10^{-2} - 2{,}05 \cdot 10^{-2})$$

$$\tau = 6 \cdot 10^5 \cdot 2{,}05 \cdot 10^{-2} \Rightarrow \boxed{\tau = 12.300 \text{ J}}$$

c) $\Delta U = 0 \Rightarrow \Delta Q = \tau \Rightarrow \boxed{\Delta Q = 12.300 \text{ J}}$

P.196 Dados: $p_1 = 2{,}0$ atm; $V_1 = 2{,}0\ \ell$; $T_1 = (21 + 273)$ K $= 294$ K;
$p_2 = ?$; $V_2 = 2V_1 = 4{,}0\ \ell$; $\gamma = 2{,}0$; $T_2 = ?$

Da lei de Poisson, vem:

$$p_1V_1^{\gamma} = p_2V_2^{\gamma} \Rightarrow 2{,}0 \cdot (2{,}0)^2 = p_2 \cdot (4{,}0)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 2{,}0 \cdot 4{,}0 = p_2 \cdot 16 \Rightarrow \boxed{p_2 = 0{,}50 \text{ atm}}$$

Aplicando-se a lei geral dos gases perfeitos, obtemos:

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{2{,}0 \cdot 2{,}0}{294} = \frac{0{,}50 \cdot 4{,}0}{T_2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_2 = 147 \text{ K} \Rightarrow \theta_2 = (147 - 273)\ °\text{C} \Rightarrow \boxed{\theta_2 = -126\ °\text{C}}$$

P.197 a) Dados: $U_A = 1.000$ J; $U_B = 2.000$ J

Nas três transformações indicadas, os estados inicial e final são os mesmos. Portanto, em qualquer delas, a variação de energia interna é dada por:

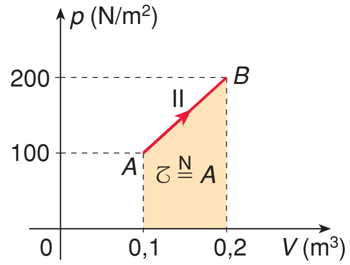
$$\Delta U = U_B - U_A = 2.000 - 1.000 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 1.000 \text{ J}}$$

b) O trabalho na transformação I corresponde ao trabalho realizado no processo isobárico, sob pressão $p = 200$ N/m^2 e com variação de volume dada por:

$\Delta V = (0{,}2 - 0{,}1)$ m^3 $= 0{,}1$ m^3

Portanto: $\mathcal{T}_\text{I} = p \cdot \Delta V = 200 \cdot 0{,}1 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_\text{I} = 20 \text{ J}}$

Como se trata de uma expansão, **o trabalho foi realizado pelo gás**.



Na transformação II, o trabalho é medido numericamente pela área do trapézio assinalado no gráfico ($\mathcal{T} \overset{N}{=} A$):

$$\mathcal{T}_\text{II} = \frac{200 + 100}{2} \cdot (0{,}2 - 0{,}1) \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_\text{II} = 15 \text{ J}}$$

Sendo também uma expansão, **o trabalho foi realizado pelo gás**.

O trabalho na transformação III corresponde ao trabalho no processo isobárico, sob pressão $p = 100$ N/m^2 e com variação de volume dada por:

$\Delta V = (0{,}2 - 0{,}1)$ m^3 $= 0{,}1$ m^3

Portanto: $\mathcal{T}_\text{III} = p\Delta V = 100 \cdot 0{,}1 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T}_\text{III} = 10 \text{ J}}$

Esse trabalho foi realizado **pelo gás**, pois também se trata de uma expansão.

c) Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, temos:

$$\Delta U = Q - \mathcal{T} \Rightarrow Q = \Delta U + \mathcal{T}$$

Então:

$Q_I = \Delta U + \mathcal{T}_I = 1.000 + 20 \Rightarrow \boxed{Q_I = 1.020 \text{ J}}$

$Q_{II} = \Delta U + \mathcal{T}_{II} = 1.000 + 15 \Rightarrow \boxed{Q_{II} = 1.015 \text{ J}}$

$Q_{III} = \Delta U + \mathcal{T}_{III} = 1.000 + 10 \Rightarrow \boxed{Q_{III} = 1.010 \text{ J}}$

P.198 Calculando o trabalho em cada uma das transformações:

$\mathcal{T}_{AB} = -\dfrac{p_2 + p_1}{2} \cdot (2V_0 - V_0) \Rightarrow \mathcal{T}_{AB} = -\dfrac{1}{2}(p_2 + p_1) \cdot V_0$

$\mathcal{T}_{BC} = p_2 \cdot (5V_0 - V_0) \Rightarrow \mathcal{T}_{BC} = 4p_2V_0$

$\mathcal{T}_{CD} = \dfrac{p_2 + p_1}{2}(6V_0 - 5V_0) \Rightarrow \mathcal{T}_{CD} = \dfrac{1}{2}(p_2 + p_1) \cdot V_0$

$\mathcal{T}_{DA} = -p_1 \cdot (6V_0 - 2V_0) \Rightarrow \mathcal{T}_{DA} = -4p_1V_0$

O trabalho total (no ciclo) é a soma dos trabalhos em cada etapa:

$\mathcal{T} = \mathcal{T}_{AB} + \mathcal{T}_{BC} + \mathcal{T}_{CD} + \mathcal{T}_{DA} \Rightarrow$

$\Rightarrow \mathcal{T} = -\dfrac{1}{2}(p_2 + p_1) \cdot V_0 + 4p_2V_0 + \dfrac{1}{2}(p_2 + p_1) \cdot V_0 - 4p_1V_0 \Rightarrow$

$\Rightarrow \mathcal{T} = 4p_2V_0 - 4p_1V_0 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = 4V_0 \cdot (p_2 - p_1)}$

Chega-se ao mesmo resultado calculando-se a área interna do ciclo (área do paralelogramo).

P.199 Na expansão isotérmica *AB*, temos: $Q_{AB} = 64$ J

Como a variação de energia interna é nula, vem:

$\Delta U_{AB} = 0 \Rightarrow \mathcal{T}_{AB} = Q_{AB} \Rightarrow \mathcal{T}_{AB} = 64$ J

Na compressão isobárica *BC*, sob pressão $p = 2{,}0 \cdot 10^5$ N/m^2, o gás sofre a seguinte variação de volume: $\Delta V = (20 - 70)$ cm^3 $= -50$ cm^3 $\Rightarrow \Delta V = -50 \cdot 10^{-6}$ m^3

O trabalho realizado sobre o gás vale:

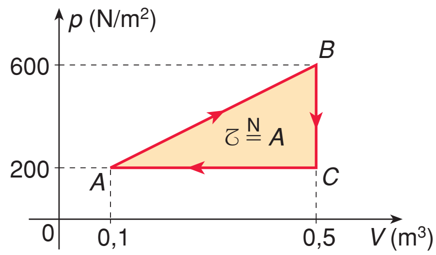
$\mathcal{T}_{BC} = p \cdot \Delta V = 2{,}0 \cdot 10^5 \cdot (-50 \cdot 10^{-6}) \Rightarrow \mathcal{T}_{BC} = -10$ J

Na transformação isocórica *CA*, temos: $\mathcal{T}_{CA} = 0$

O trabalho total produzido pelo gás durante o ciclo *ABCDA* é dado por:

$\mathcal{T} = \mathcal{T}_{AB} + \mathcal{T}_{BC} + \mathcal{T}_{CA} = 64 - 10 + 0 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = 54 \text{ J}}$

P.200 a) Como o estado final (*A*) coincide com o estado inicial (*A*), a variação de energia interna no ciclo *ABCA* é nula: $\boxed{\Delta U = 0}$

b) 

O trabalho realizado pelo gás no ciclo é dado numericamente pela área interna A do ciclo, conforme é assinalado no gráfico:

$$\tau = \frac{(0,5 - 0,1) \cdot (600 - 200)}{2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{\tau = 80 \text{ J}}$$

c) Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, obtemos:

$$\Delta U = Q - \tau \Rightarrow 0 = Q - \tau \Rightarrow Q = \tau \Rightarrow \boxed{Q = 80 \text{ J}}$$

P.201 a) **I.** O gás realiza trabalho positivo quando se expande. Portanto, o trabalho é positivo apenas no **trecho *KL***.

II. A transformação KL é isotérmica. Então, o calor trocado é igual ao trabalho realizado. Como $\tau_{KL} > 0 \Rightarrow Q_{KL} > 0$, isto é, **o gás absorve calor**.

Na transformação LM (isocórica), o gás não realiza trabalho. Como a temperatura aumenta (pois a pressão aumenta), o mesmo ocorre com a energia interna. Para isso, **o gás deve absorver calor**:

$$\Delta U_{LM} > 0 \Rightarrow Q_{LM} > 0$$

b) **I.** No processo NK há uma diminuição de pressão e, portanto, uma diminuição de temperatura. Como a temperatura em K é igual à temperatura em L, concluímos que: $\boxed{T_N > T_L}$

II. Como o ciclo $KLMNK$ está sendo realizado no sentido anti-horário, está ocorrendo **conversão de trabalho em calor**. Portanto, esse ciclo só pode corresponder ao funcionamento de um **refrigerador**.

P.202 A área interna do ciclo, que equivale numericamente ao trabalho realizado pelo gás no ciclo, corresponde à soma das áreas de quatro "quadradinhos" de lados $0,5 \cdot 10^5$ N/m² e 1,0 m³. Assim:

$\tau = 4 \cdot 0,5 \cdot 10^5 \cdot 1,0 \Rightarrow \tau = 2,0 \cdot 10^5$ J

Em 50 ciclos de operação, o trabalho total vale:

$\tau_{total} = 50 \cdot \tau = 50 \cdot 2,0 \cdot 10^5 \Rightarrow \tau_{total} = 100 \cdot 10^5$ J

Expressando em 10^6 J, temos: $\boxed{\tau_{total} = 10 \cdot 10^6 \text{ J}}$

P.203 a) Dados: $n = 0,32$ mol; $R = 8,31$ J/mol · K;
$C_V = 20,775$ J/mol · K; $T_3 = 300,84$ K

$p_1V_1 = nRT_1 \Rightarrow 8 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 0{,}32 \cdot 8{,}31 \cdot T_1 \Rightarrow \boxed{T_1 \simeq 601{,}7 \text{ K}}$

$p_2V_2 = nRT_2 \Rightarrow 8 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0{,}32 \cdot 8{,}31 \cdot T_2 \Rightarrow \boxed{T_2 \simeq 2.406{,}7 \text{ K}}$

$p_3V_3 = nRT_3 \Rightarrow p_3 \cdot 8 \cdot 10^{-3} = 0{,}32 \cdot 8{,}31 \cdot 300{,}84 \Rightarrow \boxed{p_3 \simeq 1 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2}$

b) $\mathcal{T} \overset{N}{=} \text{área} = \dfrac{7 \cdot 10^5 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{2} \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = 2{,}1 \cdot 10^3 \text{ J}}$

c) No processo $3 \to 1$: $\Delta U = n \cdot C_V \cdot \Delta T \Rightarrow$

$\Rightarrow \Delta U = 0{,}32 \cdot 20{,}775 \cdot (601{,}7 - 300{,}84) \Rightarrow \Delta U \simeq 2{,}0 \cdot 10^3 \text{ J}$

$\mathcal{T}_{3 \to 1} = -\left[\dfrac{(8 + 1) \cdot 10^5}{2} \cdot 6 \cdot 10^{-3}\right] \Rightarrow \mathcal{T}_{3 \to 1} = -2{,}7 \cdot 10^3 \text{ J}$

Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, obtemos:

$\Delta U = Q - \mathcal{T} \Rightarrow 2{,}0 \cdot 10^3 = Q - (-2{,}7 \cdot 10^3) \Rightarrow$

$\Rightarrow Q = -0{,}7 \cdot 10^3 \text{ J} \Rightarrow \boxed{Q = -7{,}0 \cdot 10^2 \text{ J}}$

P.204 a) Dados: $Q_1 = 5{,}0 \cdot 10^5$ J (calor transferido para a fonte quente);

$\mathcal{T} = 1{,}0 \cdot 10^5$ J (trabalho do compressor)

De $Q_2 = Q_1 - \mathcal{T}$, vem:

$Q_2 = 5{,}0 \cdot 10^5 - 1{,}0 \cdot 10^5 \Rightarrow \boxed{Q_2 = 4{,}0 \cdot 10^5 \text{ J}}$

b) Como se trata de um refrigerador ideal, ele funciona realizando o ciclo de Carnot.

Sendo $\theta_1 = 30$ °C, temos:

$T_1 = \theta_1 + 273 = 30 + 273 \Rightarrow T_1 = 303 \text{ K}$

De $\dfrac{Q_1}{T_1} = \dfrac{Q_2}{T_2}$, vem:

$\dfrac{5{,}0 \cdot 10^5}{303} = \dfrac{4{,}0 \cdot 10^5}{T_2} \Rightarrow \boxed{T_2 = 242{,}4 \text{ K}}$

ou $\theta_2 = T_2 - 273 = 242{,}4 - 273 \Rightarrow \boxed{\theta_2 = -30{,}6 \text{ °C}}$

P.205 a) Como a transformação BC é isotérmica, o produto pV se mantém constante. Então:

$P_c \cdot 4 \cdot 10^{-3} = 2 \cdot 10^5 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \boxed{P_c = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2}$

Sendo $T_A = 300$ K e isobárica a transformação AB, temos:

$\dfrac{V_A}{T_A} = \dfrac{V_B}{T_B} \Rightarrow \dfrac{4 \cdot 10^{-3}}{300} = \dfrac{8 \cdot 10^{-3}}{T_B} \Rightarrow \boxed{T_B = 600 \text{ K}}$

b) O trabalho líquido envolvido no ciclo é a soma algébrica dos trabalhos nas transformações *AB*, *BC* e *CA*:

$\mathcal{T} = \mathcal{T}_{AB} + \mathcal{T}_{BC} + \mathcal{T}_{CA}$ ①

Cálculo de $\mathcal{T}_{AB}$:

$\mathcal{T}_{AB} = 2 \cdot 10^5 \cdot (8 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}) \Rightarrow \mathcal{T}_{AB} = 8 \cdot 10^2\ \text{J} = 800\ \text{J}$

O módulo do trabalho na transformação *BC* é 1.100 J; mas, como se trata de uma compressão, temos: $\mathcal{T}_{BC} = -1.100\ \text{J}$

O trabalho na transformação *CA* (isocórica) é nulo: $\mathcal{T}_{CA} = 0$

Substituindo em ①, obtemos:

$$\mathcal{T} = 800 - 1.100 + 0 \Rightarrow \boxed{\mathcal{T} = -300\ \text{J}}$$

c) Na transformação *AB*, o calor trocado é $Q_{AB} = 2.800$ J e o trabalho realizado é $\mathcal{T}_{AB} = 800$ J. Aplicando a primeira lei da Termodinâmica, vem:

$$\Delta U_{AB} = Q_{AB} - \mathcal{T}_{AB} \Rightarrow \Delta U_{AB} = 2.800 - 800 \Rightarrow \boxed{\Delta U_{AB} = 2.000\ \text{J}}$$

P.206 Dados: $T_1 = 1.600$ K; $T_2 = 400$ K;

$Pot_{\text{útil}} = 4\ \text{cv} = 4 \cdot 740\ \text{W} \Rightarrow Pot_{\text{útil}} = 2.960\ \text{W}$;

$Pot_{\text{total}} = 1.480\ \text{cal/s} = 1.480 \cdot 4\ \text{J/s} \Rightarrow Pot_{\text{total}} = 5.920\ \text{W}$

a) $\eta = \dfrac{Pot_{\text{útil}}}{Pot_{\text{total}}} = \dfrac{2.960}{5.920} \Rightarrow \boxed{\eta = 0{,}50\ (50\%)}$

b) $\eta_{\text{máx.}} = 1 - \dfrac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta_{\text{máx.}} = 1 - \dfrac{400}{1.600} = 1 - 0{,}25 \Rightarrow \boxed{\eta_{\text{máx.}} = 0{,}75\ (75\%)}$

c) **O motor é teoricamente viável**, pois apresenta rendimento menor que o rendimento máximo dado pelo motor de Carnot ($\eta < \eta_{\text{máx.}}$).

P.207 a) Dados: $T_{\text{mín.}} = 27\ °\text{C} = (27 + 273)\ \text{K} = 300\ \text{K}$;

$T_{\text{máx.}} = 1.227\ °\text{C} = (1.227 + 273)\ \text{K} = 1.500\ \text{K}$

O rendimento máximo teórico vale:

$$\eta = 1 - \frac{T_{\text{mín.}}}{T_{\text{máx.}}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{300}{1.500} \Rightarrow \eta = 1 - 0{,}2 \Rightarrow \eta = 0{,}8 = 80\%$$

A energia total obtida é dada por:

$Q_1 = 7.200 \cdot 5{,}0 \cdot 10^7 \Rightarrow Q_1 = 3{,}6 \cdot 10^{11}\ \text{J}$

O trabalho máximo obtido é dado por:

$$\eta = \frac{\mathcal{T}}{Q_1} \Rightarrow \mathcal{T} = \eta \cdot Q_1 \Rightarrow \mathcal{T} = 0{,}8 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{11}\ \text{J} \Rightarrow \mathcal{T} = 2{,}88 \cdot 10^{11}\ \text{J}$$

Como o intervalo de tempo é $\Delta t = 1\text{ h} = 3.600\text{ s}$, a potência máxima vale:

$$Pot_{\text{máx.}} = \frac{\mathcal{T}}{\Delta t} \Rightarrow Pot_{\text{máx.}} = \frac{2{,}88 \cdot 10^{11}}{3.600} \Rightarrow Pot_{\text{máx.}} = 8 \cdot 10^{7}\text{ W}$$

A potência gerada é a metade desse valor:

$$Pot_{\text{gerada}} = \frac{Pot_{\text{máx.}}}{2} \Rightarrow Pot_{\text{gerada}} = \frac{8 \cdot 10^{7}}{2} \Rightarrow \boxed{Pot_{\text{gerada}} = 4 \cdot 10^{7}\text{ W}}$$

b) Como a energia útil gerada pela usina é metade da máxima teórica possível, ela corresponde a 40% da energia total (50% de 80% = 40%). Então, a energia dissipada é 60% da energia total:

$Q_d = 0{,}6 \cdot Q_{\text{máx.}} = 0{,}6 \cdot 8 \cdot 10^{7} \Rightarrow Q_d = 4{,}8 \cdot 10^{7}\text{ J}$

Em 1 hora: $E_d = 0{,}6 \cdot Q_1 = 0{,}6 \cdot 3{,}6 \cdot 10^{11} \Rightarrow E_d = 2{,}16 \cdot 10^{11}\text{ J}$

Por regra de três simples e direta, sendo 1 h = 3.600 s, vem:

$$\left.\begin{array}{rcl} 2{,}16 \cdot 10^{11}\text{ J} & \text{———} & 3.600\text{ s} \\ Q_d & \text{———} & 1\text{ s} \end{array}\right\} \Rightarrow Q_d = 6 \cdot 10^{7}\text{ J}$$

Sendo $m = 5.000$ kg (pois $d_A = 1$ kg/ℓ) e $c = 4.000$ J/kg · °C, vem:

$$Q_d = m \cdot c \cdot \Delta\theta \Rightarrow 6 \cdot 10^{7} = 5.000 \cdot 4.000 \cdot \Delta\theta \Rightarrow \boxed{\Delta\theta = 3\text{ °C}}$$