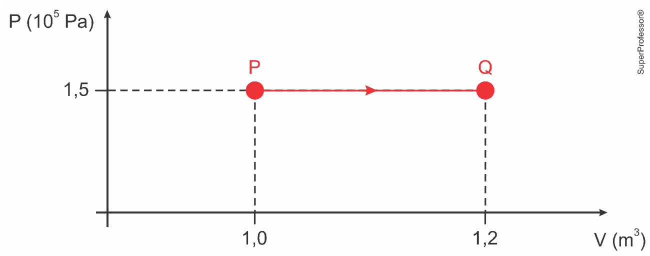
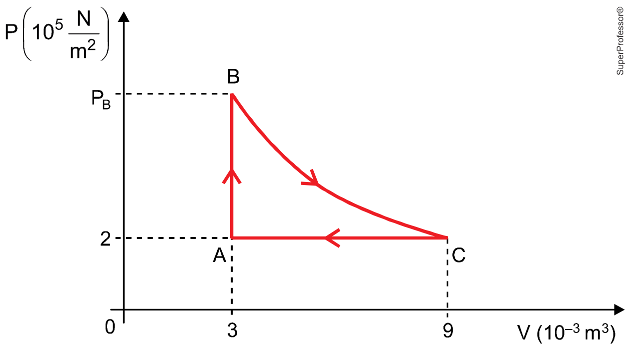
1. (Fcmscsp 2023) Certa massa de gás ideal sofreu a transformação PQ mostrada no gráfico.



a) Sabendo que no estado P a temperatura do gás era de 300 K, calcule a temperatura do gás, em graus Celsius, no estado Q.

b) Sabendo que nessa transformação a energia interna do gás aumentou em $4{,}5 \times 10^4$ J, calcule a quantidade de calor, em joules, absorvida pelo gás, entre os estados P e Q.

2. (Unifesp 2023) Um gás monoatômico ideal está confinado em um recipiente e sofre a transformação cíclica ABCA indicada no diagrama $P \times V$, em que BC é uma transformação isotérmica.

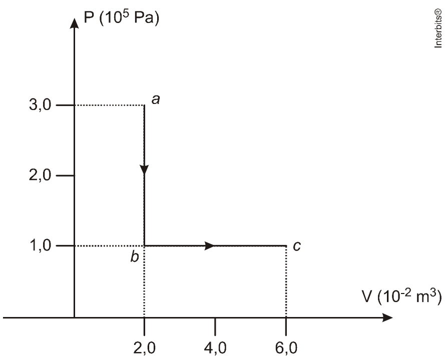


Sabendo que a temperatura do gás no estado A é 300 K e adotando, para a constante universal dos gases ideais, o valor $8\,\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$, calcule:

a) o trabalho, em joules, realizado pelas forças que o gás exerce sobre as paredes do recipiente na transformação AB e na transformação CA.

b) o número de mols de gás existente dentro do recipiente e a pressão, em N/m², exercida pelo gás no estado B.

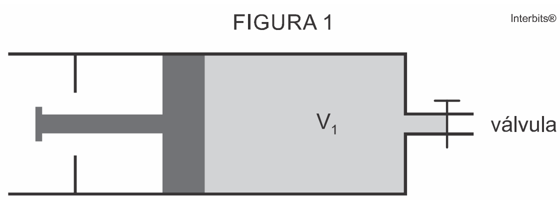
3. (Unifesp 2011) Em um trocador de calor fechado por paredes diatérmicas, inicialmente o gás monoatômico ideal é resfriado por um processo isocórico e depois tem seu volume expandido por um processo isobárico, como mostra o diagrama pressão *versus* volume.



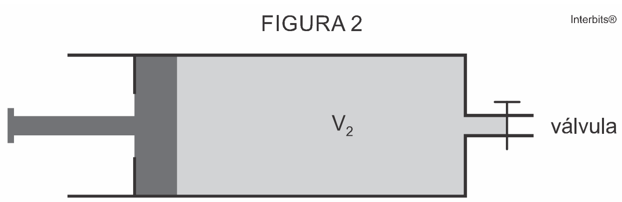
a) Indique a variação da pressão e do volume no processo isocórico e no processo isobárico e determine a relação entre a temperatura inicial, no estado termodinâmico *a*, e final, no estado termodinâmico *c*, do gás monoatômico ideal.

b) Calcule a quantidade total de calor trocada em todo o processo termodinâmico *abc*.

4. (Unesp 2017) A figura 1 mostra um cilindro reto de base circular provido de um pistão, que desliza sem atrito. O cilindro contém um gás ideal à temperatura de $300\,K$, que inicialmente ocupa um volume de $6{,}0 \times 10^{-3}\ m^3$ e está a uma pressão de $2{,}0 \times 10^5\ Pa$.



O gás é aquecido, expandindo-se isobaricamente, e o êmbolo desloca-se $10\ cm$ até atingir a posição de máximo volume, quando é travado, conforme indica a figura 2.



Considerando a área interna da base do cilindro igual a $2{,}0 \times 10^{-2}\ m^2$, determine a temperatura do gás, em kelvin, na situação da figura 2. Supondo que nesse processo a energia interna do gás aumentou de $600\ J$, calcule a quantidade de calor, em joules, recebida pelo gás. Apresente os cálculos.

5. (Fuvest 2024) Considere uma amostra de 2 mols de um gás monoatômico, em que cada átomo possui uma massa de aproximadamente 7×10^{-24} gramas. O gás pode ser tratado como ideal.

a) Determine a massa total do gás na amostra, em gramas.
b) A energia interna da amostra a uma temperatura de 300 K é de 7500 J. Quanta energia é preciso transferir para a amostra para que sua temperatura atinja 400 K?
c) A descoberta de Einstein sobre a equivalência entre massa e energia é válida mesmo em fenômenos mais familiares, como o aquecimento de um fluido, embora, nesse caso, o efeito seja muito pequeno para ser perceptível. Nesse contexto, calcule a variação na massa da amostra de gás do enunciado quando ela experimenta um processo de expansão ao longo do qual recebe 13500 J de calor do entorno e realiza um trabalho de 4500 J.

Note e adote:
Número de Avogadro: $6 \times 10^{23}\ mol^{-1}$
Relação de Einstein: $E = mc^2$
Velocidade da luz no vácuo: $3 \times 10^8\ m/s$

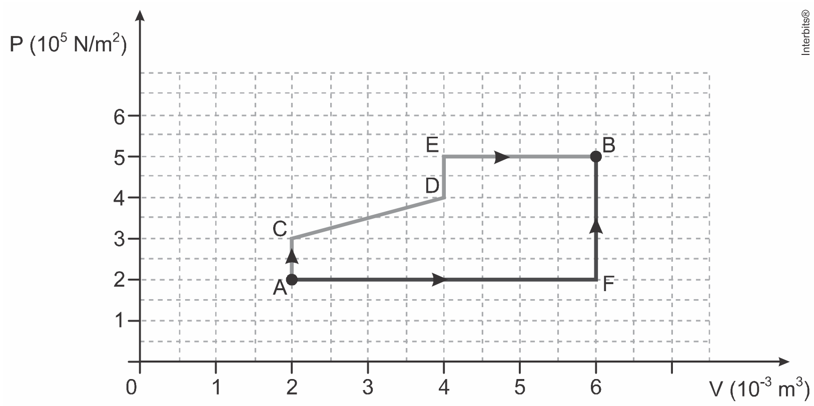
6. (Fuvest 2020) Um mol de um gás ideal monoatômico é resfriado adiabaticamente de uma temperatura inicial T_1 até uma temperatura final $T_1/3$.

Com base nessas informações, responda:

a) O gás sofreu expansão ou compressão ao final do processo? Justifique sua resposta.
b) Encontre o valor do trabalho realizado pelo gás nesse processo em termos da constante universal dos gases ideais R e de T_1.
c) Encontre a razão entre as pressões final e inicial do gás após o processo.

Note e adote:
Em um processo adiabático, não há troca de calor com o ambiente.
Energia interna por mol de um gás ideal monoatômico: $U = 3RT/2$.
Para o processo adiabático em questão, vale a relação $PV^{5/3} =$ constante.

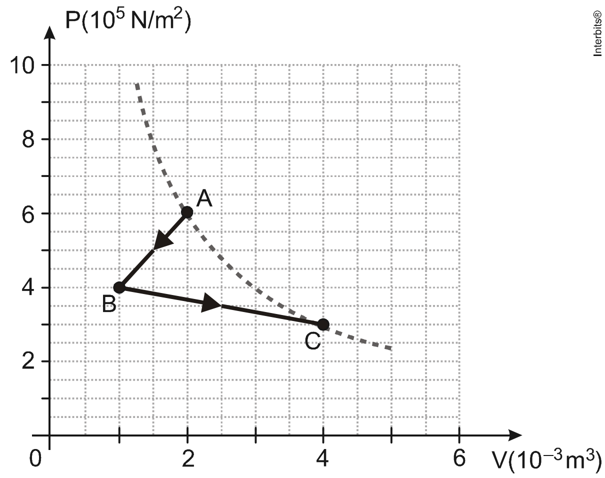
7. (Unifesp 2017) Uma massa constante de gás ideal pode ser levada de um estado inicial A a um estado final B por dois processos diferentes, indicados no diagrama $P \times V$.



Para ocorrer, a transformação ACDEB exige uma quantidade Q_1 de calor e a transformação AFB exige uma quantidade Q_2 de calor. Sendo T_A e T_B as temperaturas absolutas do gás nos estados A e B, respectivamente, calcule:

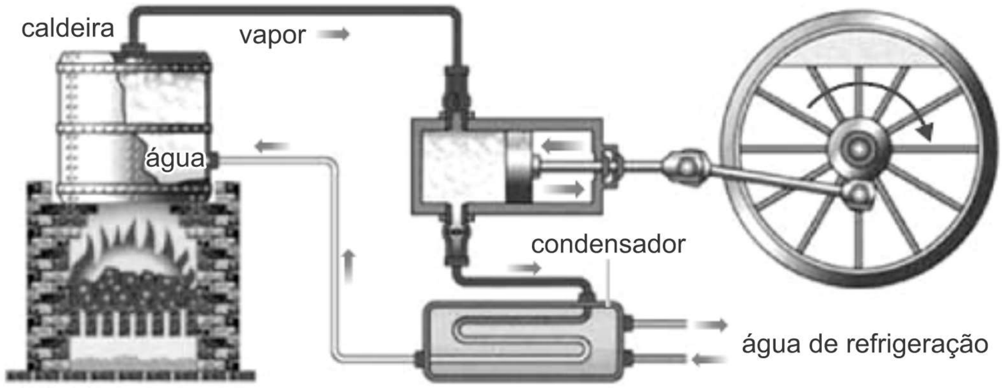
a) o valor da razão $\frac{T_B}{T_A}$.
b) o valor da diferença $Q_1 - Q_2$, em joules.

8. (Unifesp 2014) Um gás ideal passa pelo processo termodinâmico representado pelo diagrama $P \times V$. O gás, que se encontrava à temperatura de 57 °C no estado inicial A, comprime-se até o estado B, pela perda de 800 J de calor nessa etapa. Em seguida, é levado ao estado final C, quando retorna à temperatura inicial. A linha tracejada representa uma isoterma.



Considerando os valores indicados no gráfico e que a massa do gás tenha permanecido constante durante todo o processo, calcule:
a) a temperatura do gás, em graus Celsius, no estado B.
b) o calor, em joules, recebido pelo gás de uma fonte externa, quando foi levado do estado B para o estado final C.

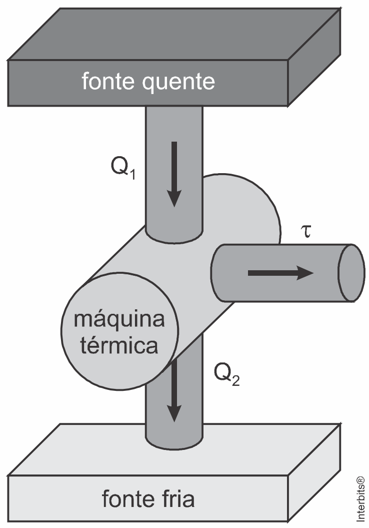
9. (Unesp 2018) A figura mostra uma máquina térmica em que a caldeira funciona como a fonte quente e o condensador como a fonte fria.



(http://elcalor.wordpress.com. Adaptado.)

a) Considerando que, a cada minuto, a caldeira fornece, por meio do vapor, uma quantidade de calor igual a $1,6 \times 10^9\ \text{J}$ e que o condensador recebe uma quantidade de calor igual a $1,2 \times 10^9\ \text{J},$ calcule o rendimento dessa máquina térmica.
b) Considerando que $6,0 \times 10^3\ \text{kg}$ de água de refrigeração fluem pelo condensador a cada minuto, que essa água sai do condensador com temperatura $20\ °\text{C}$ acima da temperatura de entrada e que o calor específico da água é igual a $4,0 \times 10^3\ \text{J}/(\text{kg} \cdot °\text{C}),$ calcule a razão entre a quantidade de calor retirada pela água de refrigeração e a quantidade de calor recebida pelo condensador.

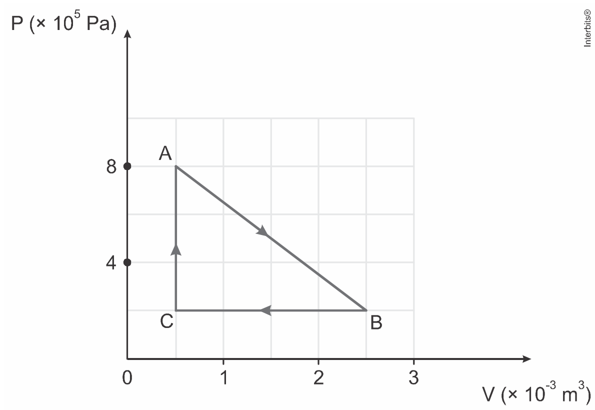
10. (Famerp 2017) A figura representa o diagrama de fluxo de energia de uma máquina térmica que, trabalhando em ciclos, retira calor (Q_1) de uma fonte quente. Parte dessa quantidade de calor é transformada em trabalho mecânico (τ) e a outra parte (Q_2) transfere-se para uma fonte fria. A cada ciclo da máquina, Q_1 e Q_2 são iguais, em módulo, respectivamente, a $4 \times 10^3\ \text{J}$ e $2,8 \times 10^3\ \text{J}.$



Sabendo que essa máquina executa 3.000 ciclos por minuto, calcule:

a) o rendimento dessa máquina.
b) a potência, em watts, com que essa máquina opera.

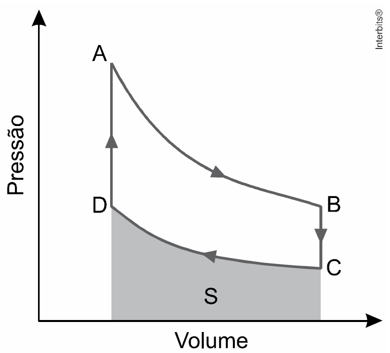
11. (Unifesp 2021) Analise o diagrama que representa o ciclo de transformações sofridas por um gás ideal em uma máquina térmica.



Sabe-se que no ponto C a temperatura do gás é de $800\,K$.

a) Qual é a temperatura do gás no ponto A, em graus Celsius?
b) Qual será a variação da energia interna do gás ao longo do ciclo completo $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$? Calcule o valor absoluto do trabalho realizado na compressão do gás.

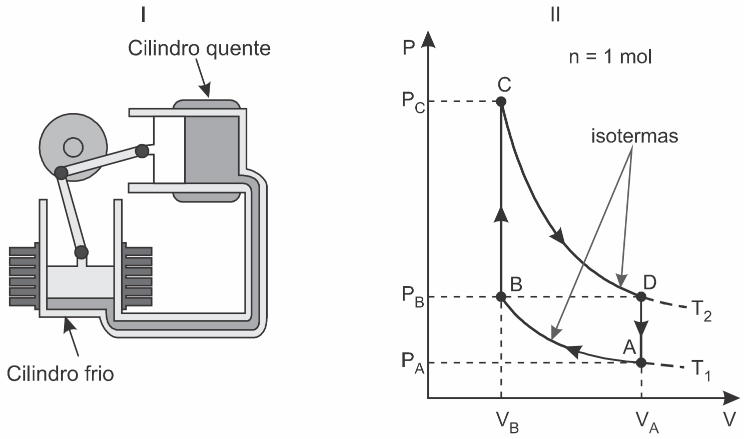
12. (Famerp 2019) Um motor funciona obedecendo ao ciclo de Stirling, no qual um gás ideal é submetido a duas transformações isotérmicas, AB e CD, e a duas transformações isovolumétricas, BC e DA, como mostra a figura.



a) Sabendo que a temperatura do gás na transformação AB é $327\ °C$ e que a pressão nos pontos B e C valem $8{,}0 \times 10^5$ Pa e $4{,}0 \times 10^5$ Pa, respectivamente, calcule a temperatura do gás, em kelvins, durante a transformação CD.
b) Sabendo que a área S sob a curva da transformação CD, destacada na figura, corresponde a uma quantidade de energia igual a 3.700 J, calcule a quantidade de calor, em joules, que o gás libera nessa transformação.

13**.** (Fuvest 2018) O motor Stirling, uma máquina térmica de alto rendimento, é considerado um motor ecológico, pois pode funcionar com diversas fontes energéticas. A figura I mostra esquematicamente um motor Stirling com dois cilindros. O ciclo termodinâmico de Stirling, mostrado na figura II, representa o processo em que o combustível é queimado externamente para aquecer um dos dois cilindros do motor, sendo que uma quantidade fixa de gás inerte se move entre eles, expandindo-se e contraindo-se.

Nessa figura está representado um ciclo de Stirling no diagrama $P \times V$ para um mol de gás ideal monoatômico. No estado *A*, a pressão é $P_A = 4$ atm, a temperatura é $T_1 = 27°$ C e o volume é V_A. A partir do estado *A*, o gás é comprimido isotermicamente até um terço do volume inicial, atingindo o estado *B*. Na isoterma T_1, a quantidade de calor trocada é $Q_1 = 2.640$ J, e, na isoterma T_2, é $Q_2 = 7.910$ J.



Determine

a) o volume V_A, em litros;
b) a pressão P_D, em atm, no estado D;
c) a temperatura T_2.

Considerando apenas as transformações em que o gás recebe calor, determine

d) a quantidade total de calor recebido em um ciclo, Q_R, em J.

Note e adote:
Calor específico a volume constante: $C_V = 3\,R/2$
Constante universal dos gases: $R = 8$ J/(mol K) $= 0{,}08$ atm ℓ/(mol K)
$0\ °C = 273$ K
$1\,\text{atm} = 10^5$ Pa
$1\,m^3 = 1.000\ \ell$

Gabarito:

Resposta da questão 1:

a) Aplicando a equação geral dos gases:

$$\frac{\cancel{P_P} V_P}{T_P} = \frac{\cancel{P_Q} V_Q}{T_Q}$$

$$\frac{1}{300} = \frac{1,2}{T_Q}$$

$$\therefore T_Q = 360 \text{ K}$$

b) Pela 1Ş Lei da Termodinâmica, temos:

$$Q = \tau + \Delta U = P\Delta V + \Delta U$$

$$Q = 1,5 \cdot 10^5 \cdot (1,2 - 1) + 4,5 \cdot 10^4$$

$$Q = 3 \cdot 10^4 + 4,5 \cdot 10^4$$

$$\therefore Q = 7,5 \cdot 10^4 \text{ J}$$

Resposta da questão 2:

a) AB: isométrica $\boxed{W_{AB} = 0}$

CA: contração isobárica: $W_{CA} = P_A (V_C - V_A) = 2 \times 10^5 \cdot (3 - 9) \times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{W_{CA} = -1,2 \times 10^3 \text{ J}}$

b) Da equação de Clapeyron:

$$P_A V_A = n R T_A \Rightarrow n = \frac{P_A V_A}{R T_A} = \frac{2 \times 10^5 \cdot 3 \times 10^{-3}}{8 \cdot 300} = \frac{6 \times 10^2}{24 \times 10^2} \Rightarrow \boxed{n = \frac{1}{4} \text{mol}}$$

Da equação geral:

$$\frac{P_B V_B}{\cancel{T_B}} = \frac{P_C V_C}{\cancel{T_C}} \Rightarrow P_B = \frac{P_C V_C}{V_B} = \frac{2 \times 10^5 \cdot 9 \times 10^{-3}}{3 \times 10^{-3}} \Rightarrow \boxed{P_B = 6 \times 10^5 \text{ N/m}^2}$$

Resposta da questão 3:

a) No processo isocórico (volume constante) ($a \rightarrow b$):

Variação do volume: $\Delta V_{ab} = V_b - V_a = 0$

Variação da pressão: $\Delta P_{ab} = P_b - P_a = (1,0 - 3,0) \times 10^5 \Rightarrow \Delta P_{ab} = -2,0 \times 10^5$ Pa.

No processo isobárico (pressão constante) ($b \rightarrow c$):

Variação do volume: $\Delta V_{bc} = V_c - V_b = (6,0 - 2,0) \times 10^{-2} \Rightarrow \Delta V_{ab} = 4,0 \times 10^{-2}$ m^3.

Variação da pressão: $\Delta P_{bc} = P_c - P_b = 0$.

Aplicando a equação geral dos gases entre os estados *a* e *c*.

$$\frac{P_a V_a}{T_a} = \frac{P_c V_c}{T_c} \Rightarrow \frac{3 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-2}}{T_a} = \frac{1 \times 10^5 \times 6 \times 10^{-2}}{T_c} \Rightarrow$$

$$\frac{\cancel{6} \times \cancel{10^3}}{T_a} = \frac{\cancel{6} \times \cancel{10^3}}{T_c} \Rightarrow T_a = T_c \Rightarrow \frac{T_a}{T_c} = 1.$$

b) Sendo **Q** a quantidade de calor trocado, Δ**U** a variação da energia interna e **W** o trabalho realizado entre dois estados, a 1ª lei da termodinâmica nos dá:

$Q = \Delta U + W$.

Como mostrado no item anterior, a temperatura do gás nos estados *a* e *c* são iguais, portanto a variação da energia interna entre esses dois estados é nula ($\boldsymbol{\Delta U_{ac} = 0}$). Então:

$Q_{ac} = W_{ac} = W_{ab} + W_{bc}$.

Mas a transformação *ab* é isocórica $\Rightarrow$ $W_{ab} = 0$. Então:
$Q_{ac} = W_{bc} = P_c\,(\Delta V_{bc}) = 1{,}0 \times 10^5 \times 4{,}0 \times 10^{-2} \Rightarrow$
$Q_{ac} = 4{,}0 \times 10^3$ J.

Resposta da questão 4:
Dados: $p = 2\times10^5\ \text{N}/\text{m}^2;\ T_1 = 300\,\text{K};\ V_1 = 6\times10^{-3}\,\text{m}^3;\ d = 10\,\text{cm} = 0{,}1\,\text{m};\ A = 2\times10^{-2}\,\text{m}^2;\ \Delta U = 600\,\text{J}.$
Temperatura na situação da figura 2:
$\Delta V = A\,d = 2\times10^{-2}\times0{,}1 \Rightarrow \underline{\Delta V = 2\times10^{-3}\,\text{m}^3}|$

$V_2 = V_1 + \Delta V = 6\times10^{-3} + 2\times10^{-3} \Rightarrow \underline{V_2 = 8\times10^{-3}\,\text{m}^3.}|$

Aplicando a equação geral dos gases para uma transformação isobárica:
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{6\times10^{-3}}{300} = \frac{8\times10^{-3}}{T_2} \Rightarrow \boxed{T_2 = 400\,\text{K}.}$$

Cálculo do trabalho (W) realizado pela força de pressão do gás na expansão:
$W = p\,\Delta V = p\,A\,d = 2\times10^5\times2\times10^{-2}\times0{,}1 \Rightarrow \underline{W = 400\,\text{J}.}|$

Aplicando a primeira lei da termodinâmica:
$$Q = \Delta U + W = 600 + 400 \Rightarrow \boxed{Q = 1\,000\,\text{J}.}$$

Observação: *para o cálculo do calor trocado, se o enunciado não desse a variação da energia interna e especificasse que o gás é monoatômico, uma segunda solução, dada a seguir, seria possível.*

Quantidade de calor recebida pelo gás:
Aplicando a 1ª Lei da Termodinâmica: $Q = \Delta U + W$
$$\left\{\begin{aligned} &W = p\Delta V \\ &\Delta U = \frac{3}{2}p\Delta V \end{aligned}\right\rangle\ Q = \Delta U + W = \frac{3}{2}p\Delta V + p\Delta V \Rightarrow Q = \frac{5}{2}p\Delta V = \frac{5}{2}\times2\times10^5\times2\times10^{-3} \Rightarrow$$
$$\boxed{Q = 1.000\,\text{J}.}$$

Resposta da questão 5:
a) Usando análise dimensional:
$$M = 2\,\cancel{\text{mol}}\cdot\frac{6\times10^{23}\ \cancel{\text{átomos}}}{\cancel{\text{mol}}}\cdot\frac{7\times10^{-24}\ \text{grama}}{\cancel{\text{átomo}}} \Rightarrow \boxed{M = 8{,}4\,\text{g}}$$

b) A energia interna (U) é diretamente proporcional à temperatura absoluta (T).
$$U = k\,T \Rightarrow \frac{U_2}{U_1} = \frac{\cancel{k}\,T_2}{\cancel{k}\,T_1} \Rightarrow U_2 = U_1\frac{T_2}{T_1} = 7500\cdot\frac{400}{300} \Rightarrow \underline{U_2 = 10.000\,\text{J}}|$$

Calculando a variação da energia interna (ΔU):
$$\Delta U = U_2 - U_1 = 10.000 - 7.500 \Rightarrow \boxed{\Delta U = 2.500\,\text{J}}$$

c) Do enunciado:
$$\left\{\begin{aligned} &Q = +13.500\,\text{J (recebido)} \\ &W = +4.500\,\text{J (expansão)} \end{aligned}\right.$$

Da primeira lei da termodinâmica:
$\Delta U = Q - W = 13.500 - 4.500 \Rightarrow \underline{\Delta U = 9.000\,\text{J}}|$

A energia absorvida pela amostra gasosa equivale à variação da energia interna.
Aplicando a relação de Einstein:

$$E = \Delta U = mc^2 \Rightarrow m = \frac{\Delta U}{c^2} = \frac{9.000}{\left(3 \times 10^8\right)^2} \Rightarrow m = \frac{9 \times 10^3}{9 \times 10^{16}} \Rightarrow$$

$$m = 10^{-13}\,\text{kg} \Rightarrow \boxed{m = 10^{-10}\,\text{g}}$$

Resposta da questão 6:

a) De acordo com a 1ª lei da Termodinâmica:

$Q = \tau + \Delta U$

Para o problema dado, temos que:

$Q = 0$ (transformação adiabática)

$\Delta T < 0 \Rightarrow \Delta U < 0 \ \left(\text{pois } \Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T\right)$

Logo:

$0 = \tau + \Delta U \Rightarrow \tau = -\Delta U$

$\therefore \tau > 0$

Portanto, o gás sofreu expansão.

b) Da expressão obtida anteriormente:

$$\tau = -\Delta U = -\frac{3}{2} nR\Delta T$$

$$\tau = -\frac{3}{2} \cdot 1 \cdot R\left(\frac{T_1}{3} - T_1\right)$$

$$\therefore \tau = RT_1$$

c) Como $PV^{5/3} =$ constante, devemos ter que:

$P_f V_f^{5/3} = P_1 V_1^{5/3}$

Da equação de Clayperon com $n = 1,$ vem:

$$PV = 1 \cdot RT \Rightarrow V = \frac{RT}{P}$$

Substituindo este resultado na expressão anterior, chegamos a:

$$P_f \left(\frac{RT_f}{P_f}\right)^{5/3} = P_1 \left(\frac{RT_1}{P_1}\right)^{5/3} \Rightarrow \frac{T_f^{5/3}}{P_f^{2/3}} = \frac{T_1^{5/3}}{P_1^{2/3}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \left(\frac{P_f}{P_1}\right)^{2/3} = \left(\frac{T_1 / 3}{T_1}\right)^{5/3} \Rightarrow \frac{P_f}{P_1} = \left(\frac{1}{3}\right)^{5/2} = \frac{1}{\sqrt{3^5}}$$

$$\therefore \frac{P_f}{P_1} = \frac{\sqrt{3}}{27}$$

Resposta da questão 7:

Para gases ideais é válida a equação geral dos gases:

$pV = nRT \qquad (1)$

Como por hipótese a massa do gás é constante, e supondo que sua composição não varia, então:

$$n = \frac{m}{M} = \text{constante}$$

sendo m a massa do gás, M a massa molar e n o número de moles.

Partindo da equação (1) tem-se então que:

$$\frac{pV}{T} = nR = \text{constante} \qquad (2)$$

a) Da equação (2) conclui-se que:

$$\frac{p_A V_A}{T_A} = \frac{p_B V_B}{T_B} \qquad (3)$$

sendo p_A, V_A e T_A a pressão, o volume e a temperatura absoluta do gás no estado A, respectivamente. E p_B, V_B e T_B a pressão, o volume e a temperatura do gás no estado B, respectivamente.
Por meio de um simples rearranjo algébrico da equação (3), tem-se que:

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{p_B V_B}{p_A V_A} = \frac{5 \times 10^5 \times 6 \times 10^{-3}}{2 \times 10^5 \times 2 \times 10^{-3}} = 7{,}5$$

b) Da primeira Lei da Termodinâmica, tem-se que:

$$\Delta U = Q\tau$$

sendo ΔU a variação da energia interna do gás, Q o calor trocado com o meio externo, com $Q > 0$ para o calor inserido no sistema e $Q < 0$ para o calor perdido pelo sistema. τ corresponde ao trabalho realizado pelo sistema sobre o meio externo.

Logo, partindo-se da equação (4), tem-se que:

$$Q_1 = \Delta U_1 + \tau_1 \text{ e } Q_2 = \Delta U_2 + \tau_2$$

de um modo geral, para gases ideais:

$$\Delta U = k\,\Delta T \qquad (5)$$

sendo $k = f(n, R)$ uma função de n e de R. Como n e R são constantes, k é constante e ΔU depende apenas de ΔT.

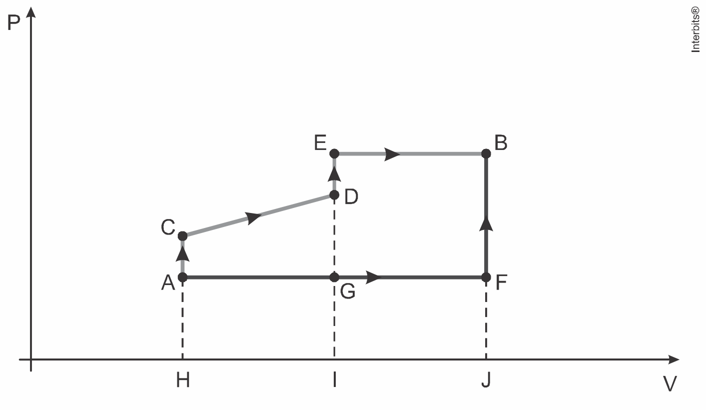
A partir da equação (5), tem-se que:

$$\Delta U_1 = k\,\Delta T_{AB} = k(T_B - T_A) = \Delta U_2 \qquad (6)$$

Da equação (6) conclui-se que:

$$Q_1 - Q_2 = (\Delta U_1 + \tau_1) - (\Delta U_2 + \tau_2) = \tau_1 - \tau_2$$

Observe o gráfico da figura. Os pontos G, H, I e J foram acrescentados para facilitar a compreensão da solução.



τ_1 corresponde ao trabalho realizado pelo gás no processo 1, e por isso é numericamente igual à área delimitada

pelo polígono HCDEBJH.
τ_2 corresponde ao trabalho realizado pelo gás no processo 2, e por isso é numericamente igual à área delimitada pelo polígono HAFJH.

Conclui-se que: $\tau_1 - \tau_2$ é numericamente igual à área delimitada pelo polígono ACDEBFA.

Logo:

$$Q_1 - Q_2 = \tau_1 - \tau_2 \overset{N}{=} (ACDGA) + (GEBFG)$$

Sendo $(ACDGA)$ a área do trapézio ACDGA e $(GEBFG)$ a área do retângulo GEBFG.
Assim:

$$Q_1 - Q_2 = \left[\frac{(1+2)\times 2}{2} + 2\times 3\right]\times 10^5 \frac{N}{m^2}\times 10^{-3} m^3$$

$$Q_1 - Q_2 = 900\ Nm = \boxed{900\ J}$$

Resposta da questão 8:
Comentário 1: *a questão ficará ÓTIMA se forem consertadas as incompatibilidades do enunciado, possibilitando duas soluções para a questão.*

a) Dados:

$T_A = T_C = 57\ °C = 330\ K;\ Q_{AB} = -800\ J;\ P_A = 6\times 10^5 N/m^2;\ P_B = 4\times 10^5 N/m^2;$

$V_A = 2\times 10^{-3} m^3;\ V_B = 1\times 10^{-3} m^3.$

Aplicando a lei geral dos gases ideais:

$$\frac{P_B\ V_B}{T_B} = \frac{P_A\ V_A}{T_A} \Rightarrow \frac{4\times 10^5 \cdot 1\times 10^{-3}}{T_B} = \frac{6\times 10^5 \cdot 2\times 10^{-3}}{330} \Rightarrow \frac{4}{T_B} = \frac{12}{330} \Rightarrow T_B = \frac{330}{3} \Rightarrow$$

$$\boxed{T_B = 110\ K = -163\ °C.}$$

b) Dados:

$T_C = 57\ °C = 330\ K;\ P_A = 6\times 10^5 N/m^2;\ P_B = 4\times 10^5 N/m^2;\ P_C = 3\times 10^5 N/m^2;$

$V_A = 2\times 10^{-3} m^3;\ V_B = 1\times 10^{-3} m^3;\ V_C = 4\times 10^{-3} m^3;\ Q_{AB} = -800\ J.$

Resolvendo a questão com os dados apresentados:
- Transformação **AB**.
  - Calculando o trabalho (**W_{AB}**) recebido na compressão **AB**, lembrando que esse trabalho é obtido pela "área" entre a linha do gráfico e o eixo do volume:

$$W_{AB} = \frac{P_A + P_B}{2}(V_B - V_A) \Rightarrow W_{AB} = \frac{(6+4)\times 10^5}{2}(1-2)\times 10^{-3} \Rightarrow$$

$$W_{AB} = -500\ J.$$

  - Aplicando a 1ª lei da Termodinâmica:

$$\Delta U_{AB} = Q_{AB} - W_{AB} \Rightarrow \Delta U_{AB} = -800 - (-500) \Rightarrow$$

$$\Delta U_{AB} = -300\ J.$$

- Transformação **BC**.
  - Como a curva AC é uma isoterma, a variação da energia interna entre esses dois estados é nula $(\Delta U_{BC} = 0)$.

$$\Delta U_{BC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} \Rightarrow 0 = -300 + \Delta U_{BC} \Rightarrow \Delta U_{BC} = 300\ J.$$

  - Calculando o trabalho (**W_{BC}**) realizado na expansão **AB**:

$$W_{BC} = \frac{P_B + P_C}{2}(V_C - V_B) \Rightarrow W_{BC} = \frac{4\times10^5 + 3\times10^5}{2}\left(4\times10^{-3} - 1\times10^{-3}\right) =$$
$$\frac{4+3}{2}(4-1)\times10^2 \Rightarrow W_{BC} = 1.050 \text{ J.}$$

- Aplicando a 1ª lei da Termodinâmica, obtemos a resposta esperada pelo examinador:

$$\Delta U_{BC} = Q_{BC} - W_{BC} \Rightarrow 300 = Q_{BC} - 1.050 \Rightarrow$$

$$Q_{BC} = 1.350 \text{ J.}$$

Comentário 2: *mostremos que o dado Q_{AB} = –800 J está incompatível com a transformação, mostrando duas soluções para o problema.*

Essas resoluções supõem que o gás seja monoatômico.

<u>1ª Solução:</u>
- Transformação **BC**.
 - Calculando a variação da energia interna (ΔU_{BC}). (**ΔU_{BC}**):

$$\Delta U_{BC} = \frac{3}{2}\Delta(P\ V)_{BC} \Rightarrow \Delta U_{BC} = \frac{3}{2}\left(P_C\ V_C - P_B\ V_B\right) = \frac{3}{2}(3\cdot4 - 4\cdot1)\times10^2 = \frac{3\cdot8}{2}\times10^2 \Rightarrow$$
$$\Delta U_{BC} = 1.200 \text{ J.}$$

Aplicando a 1ª lei da termodinâmica:

$$Q_{BC} = W_{BC} + \Delta U_{BC} = 1.050 + 1.200 \Rightarrow \boxed{Q_{BC} = 2.250 \text{ J.}}$$

<u>2ª Solução:</u>
- Aplicando a equação de Clapeyron ao estado **A**:

$$P_A\ V_A = n\ R\ T_A \Rightarrow n\ R = \frac{P_A\ V_A}{T_A} \Rightarrow n\ R = \frac{6\times10^5\cdot2\times10^{-3}}{330} = \frac{1200}{330} \Rightarrow$$
$$n\ R = \frac{40}{11} \text{ J/K.}$$

Calculando a variação da energia interna (ΔU_{AB}) na transformação **AB**, usando os valores de temperatura:

$$\Delta U_{AB} = \frac{3}{2}n\ R\ \Delta T_{AB} \Rightarrow \Delta U_{AB} = \frac{3}{2}\left(\frac{40}{11}\right)(110 - 330) = \Delta U_{AB} = \frac{3}{2}\left(\frac{40}{11}\right)(-220) \Rightarrow$$
$$\Delta U_{AB} = -1.200 \text{ J.}$$

Notemos que esse resultado está perfeitamente coerente com o da 1ª resolução, pois: $\Delta U_{AB} = -\Delta U_{BC}$, porque as temperaturas em **A** e **C** são iguais $(\Delta U_{AC} = 0)$.

Aplicando a 1ª lei da termodinâmica à transformação **AB**:

$$Q_{AB} = W_{AB} + \Delta U_{AB} = -500 - 1.200 \Rightarrow \boxed{Q_{AB} = -1.700 \text{ J.}}$$

Esse é o valor que deveria estar no enunciado!!!
Assim:

$$Q_{AB}+Q_{BC}=\left(W_{AB}+\Delta U_{AB}\right)+\left(W_{BC}+\Delta U_{BC}\right) \Rightarrow$$
$$Q_{AB}+Q_{BC}=\left(W_{AB}+W_{BC}\right)+\left(\Delta U_{AB}+\Delta U_{BC}\right) \Rightarrow$$
$$-1.700+Q_{BC}=\left(-500+1.050\right)+\left(0\right) \Rightarrow$$
$$Q_{BC}=1.700-500+1.050 \Rightarrow$$
$$\boxed{Q_{BC}=2.250 \text{ J.}}$$

OBS: Para a hipótese de o gás ser diatômico, os resultados são, ainda, mais discrepantes.

Resposta da questão 9:

a) Dados: $Q_q=1{,}6\times10^9$ J; $Q_f=-1{,}2\times10^9$ J.

O trabalho (W) realizado é a diferença entre a quantidade de calor recebida da fonte quente e a rejeitada para a fonte fria.

$$\eta=\frac{W}{Q_q}=\frac{Q_q-|Q_f|}{Q_q}=\frac{(1{,}6-1{,}2)\times10^9}{1{,}6\times10^9} \Rightarrow \boxed{\eta=0{,}25=25\%.}$$

b) Dados: $m=6\times10^3$ J; $\Delta\theta=20\ °C$; $c=4\times10^3 J/kg\cdot °C$.

A quantidade de calor absorvida pela água que passa pelo condensador é:

$$Q_a=m\,c\,\Delta\theta=6\times10^3\times4\times10^3\times20 \Rightarrow \underline{Q_a=4{,}8\times10^8 \text{ J.}}$$

Fazendo a razão pedida:

$$\frac{Q_a}{Q_f}=\frac{4{,}8\times10^8}{1{,}2\times10^9} \Rightarrow \boxed{\frac{Q_a}{Q_f}=0{,}4.}$$

Resposta da questão 10:

a) Pelo Teorema de Carnot, temos:

$$\eta=1-\frac{Q_2}{Q_1}=1-\frac{2{,}8\cdot10^3}{4\cdot10^3}$$
$$\eta=1-0{,}7=0{,}3$$
$$\therefore \eta=30\%$$

b) Trabalho da máquina:

$$\tau=Q_1-Q_2=4\cdot10^3-2{,}8\cdot10^3$$
$$\tau=1{,}2\cdot10^3 \text{ J}$$

Período de um ciclo:

$$T=\frac{1}{\frac{3000}{60}} \Rightarrow T=2\cdot10^{-2} \text{ s}$$

Sendo assim, a potência com a qual a máquina opera é de:

$$P_{ot}=\frac{\tau}{T}=\frac{1{,}2\cdot10^3}{2\cdot10^{-2}}$$
$$\therefore P_{ot}=6\cdot10^4 \text{ W}$$

Resposta da questão 11:

a) Pela equação geral dos gases, obtemos:

$$\frac{P_A \cancel{V_A}}{T_A} = \frac{P_C \cancel{V_C}}{T_C} \Rightarrow \frac{8 \cdot 10^5}{T_A} = \frac{2 \cdot 10^5}{800} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow T_A = 4 \cdot 800 \Rightarrow T_A = 3200\ \text{K}$$

Convertendo para Celsius:
$\theta_A = 3200 - 273$
$\therefore \theta_A = 2927\ °\text{C}$

b) Como a variação de temperatura num ciclo é nula, a variação da energia interna também o é.
$\Delta U = 0$

O módulo do trabalho realizado na compressão do gás é dado pela área sob o trecho BC:
$|\tau| = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^5$
$\therefore |\tau| = 400\ \text{J}$

Resposta da questão 12:
a) Aplicando a lei geral dos gases para a transformação isométrica, BC:

$$\frac{p_B}{T_B} = \frac{p_C}{T_C} \Rightarrow \frac{8 \times 10^5}{327 + 273} = \frac{4 \times 10^5}{T_C} \Rightarrow \frac{2}{600} = \frac{1}{T_C} \Rightarrow \boxed{T_C = 300\ \text{K.}}$$

Como a transformação CD é isotérmica, a temperatura é constante e igual a T_C.

Assim: $\boxed{T_{CD} = 300\text{K.}}$

b) Utilizando primeira lei da termodinâmica para a transformação CD:
$Q_{CD} = \Delta U_{CD} + W_{CD}$.

Como se trata de uma compressão isotérmica, o trabalho (W_{CD}) é negativo e a variação da energia interna (ΔU_{CD}) é nula. Assim:

$Q_{CD} = 0 - 3.700 \Rightarrow \boxed{Q_{CD} = -3.700\ \text{J.}}$

O sinal $(-)$ indica que o calor foi liberado; ou seja, o gás libera $3.700\ \text{J}$ de calor.

Resposta da questão 13:
a) Pela equação de Clayperon, temos:
$P_A \cdot V_A = n \cdot R \cdot T_A$
$4 \cdot V_A = 1 \cdot 0{,}08 \cdot 300$
$\therefore V_A = 6\ \text{L}$

b) Entre os estados A e B (com $V_B = V_A/3$ e $T_A = T_B$), temos:
$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B}$$
$4 \cdot 6 = P_B \cdot 6/3$
$\therefore P_D = P_B = 12\ \text{atm}$

c) Entre os estados A e D (com $V_A = V_D$), temos:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_D \cdot V_D}{T_D}$$
$$\frac{4}{300} = \frac{12}{T_D}$$
$$\therefore T_D = 900\ K$$

d) Utilizando a 1ª Lei da Termodinâmica e sabendo que $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T,$ obtemos para as transformações:

De A para B:
$$Q_1 = -\tau_{AB} + \Delta U_{AB} \quad (\tau_{AB} < 0 \text{ e } \Delta U_{AB} = 0)$$
$$Q_1 = -\tau_{AB}$$
$$Q_1 = -2640\ J \quad \text{(calor cedido)}$$

De B para C:
$$Q_{BC} = \tau_{BC} + \Delta U_{BC} \quad (\tau_{BC} = 0 \text{ e } \Delta U_{BC} > 0)$$
$$Q_{BC} = \Delta U_{BC} = \frac{3}{2} nR(T_C - T_B)$$
$$Q_{BC} = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8 \cdot (900 - 300)$$
$$Q_{BC} = 7200\ J \quad \text{(calor recebido)}$$

De C para D:
$$Q_2 = \tau_{CD} + \Delta U_{CD} \quad (\tau_{CD} > 0 \text{ e } \Delta U_{CD} = 0)$$
$$Q_2 = \tau_{CD}$$
$$Q_2 = 7910\ J \quad \text{(calor recebido)}$$

De D para A:
$$Q_{DA} = \tau_{DA} + \Delta U_{DA} \quad (\tau_{DA} = 0 \text{ e } \Delta U_{DA} < 0)$$
$$Q_{DA} = \Delta U_{DA} = \frac{3}{2} nR(T_A - T_D)$$
$$Q_{DA} = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8 \cdot (300 - 900)$$
$$Q_{DA} = -7200\ J \quad \text{(calor cedido)}$$

Como o problema pede apenas a quantidade de calor recebido, chegamos a:
$$Q_{recebido} = Q_{BC} + Q_2 = 7200 + 7910$$
$$\therefore Q_{recebido} = 15110\ J$$