1. (Ufrgs) Enquanto se expande, um gás recebe o calor Q=100J e realiza o trabalho W=70J. Ao final do processo, podemos afirmar que a energia interna do gás
a) aumentou 170 J.
b) aumentou 100 J.
c) aumentou 30 J.
d) diminuiu 70 J.
e) diminuiu 30 J.

2. (Espcex (Aman) 2020) Um gás ideal é comprimido por um agente externo, ao mesmo tempo em que recebe calor de $300\ \text{J}$ de uma fonte térmica.

Sabendo-se que o trabalho do agente externo é de $600\ \text{J}$, então a variação de energia interna do gás é
a) $900\ \text{J}$.
b) $600\ \text{J}$.
c) $400\ \text{J}$.
d) $500\ \text{J}$.
e) $300\ \text{J}$.

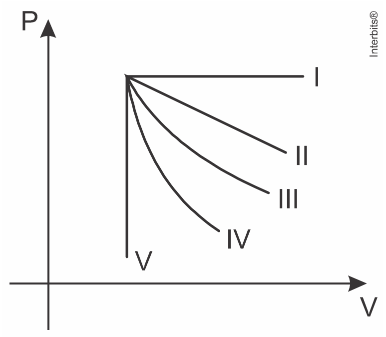
3. (Espcex (Aman) 2012) Um gás ideal sofre uma compressão isobárica sob a pressão de $4 \cdot 10^3\ \text{N/m}^2$ e o seu volume diminui $0,2\ \text{m}^3$. Durante o processo, o gás perde $1,8 \cdot 10^3\ \text{J}$ de calor. A variação da energia interna do gás foi de:
a) $1,8 \cdot 10^3\ \text{J}$
b) $1,0 \cdot 10^3\ \text{J}$
c) $-8,0 \cdot 10^2\ \text{J}$
d) $-1,0 \cdot 10^3\ \text{J}$
e) $-1,8 \cdot 10^3\ \text{J}$

4. (Ufsm) Quando um gás ideal sofre uma expansão isotérmica,
a) a energia recebida pelo gás na forma de calor é igual ao trabalho realizado pelo gás na expansão.
b) não troca energia na forma de calor com o meio exterior.
c) não troca energia na forma de trabalho com o meio exterior.
d) a energia recebida pelo gás na forma de calor é igual à variação da energia interna do gás.
e) o trabalho realizado pelo gás é igual à variação da energia interna do gás.

5. (Espcex (Aman) 2017) Durante um experimento, um gás perfeito é comprimido, adiabaticamente, sendo realizado sobre ele um trabalho de $800\ \text{J}$. Em relação ao gás, ao final do processo, podemos afirmar que:
a) o volume aumentou, a temperatura aumentou e a pressão aumentou.
b) o volume diminuiu, a temperatura diminuiu e a pressão aumentou.
c) o volume diminuiu, a temperatura aumentou e a pressão diminuiu.
d) o volume diminuiu, a temperatura aumentou e a pressão aumentou.
e) o volume aumentou, a temperatura aumentou e a pressão diminuiu.

6. (Unesp) Um gás ideal, confinado no interior de um pistão com êmbolo móvel, é submetido a uma transformação na qual seu volume é aumentado ao quadruplo do seu volume inicial, em um intervalo de tempo muito curto. Tratando-se de uma transformação muito rápida, não há tempo para a troca de calor entre o gás e o meio exterior. Pode-se afirmar que a transformação é
a) isobárica, e a temperatura final do gás é maior que a inicial.
b) isotérmica, e a pressão final do gás é maior que a inicial.
c) adiabática, e a temperatura final do gás é menor que a inicial.
d) isobárica, e a energia interna final do gás é menor que a inicial.
e) adiabática, e a energia interna final do gás é maior que a inicial.

7. (Ufsm) Quando um jogador "dá de bico" na bola, ela fica deformada, enquanto está em contato com a chuteira. O ar dentro da bola tem uma variação de volume num intervalo de tempo muito curto, podendo-se considerar essa variação como adiabática.

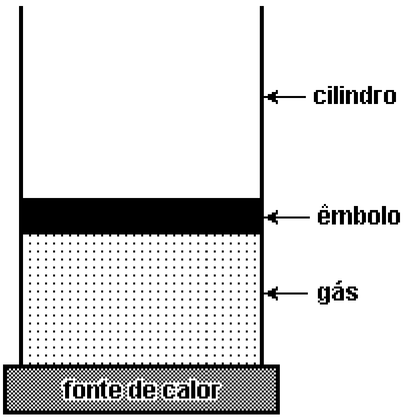


Na figura, as curvas que melhor representam um processo adiabático e um isotérmico de um gás ideal são, respectivamente,
a) V e IV.
b) IV e III.
c) III e II.
d) II e III.
e) II e I.

8. (Unesp) Um gás, que se comporta como gás ideal, sofre expansão sem alteração de temperatura, quando recebe uma quantidade de calor Q = 6 J.

a) Determine o valor ΔU da variação da energia interna do gás.
b) Determine o valor do trabalho T realizado pelo gás durante esse processo.

9. (Unifesp) A figura representa uma amostra de um gás, suposto ideal, contida dentro de um cilindro. As paredes laterais e o êmbolo são adiabáticos; a base é diatérmica e está apoiada em uma fonte de calor.

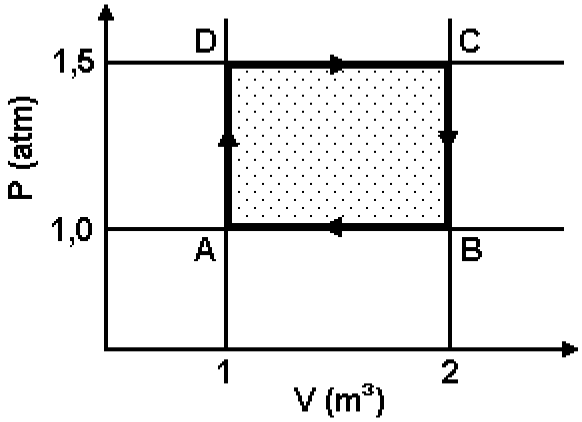


Considere duas situações:

I. o êmbolo pode mover-se livremente, permitindo que o gás se expanda à pressão constante;
II. o êmbolo é fixo, mantendo o gás a volume constante.

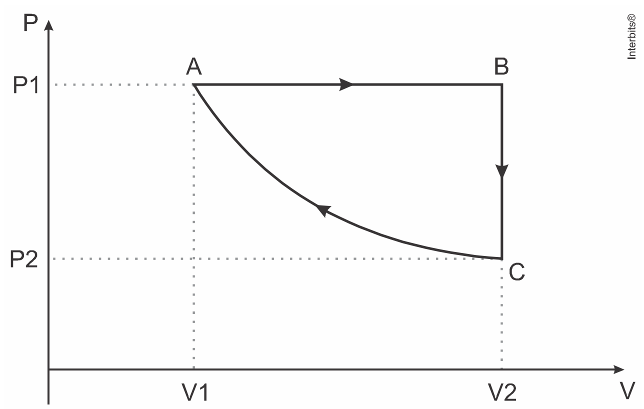
Suponha que nas duas situações a mesma quantidade de calor é fornecida a esse gás, por meio dessa fonte. Pode-se afirmar que a temperatura desse gás vai aumentar
a) igualmente em ambas as situações.
b) mais em I do que em II.
c) mais em II do que em I.
d) em I, mas se mantém constante em II.
e) em II, mas se mantém constante em I.

10. (Unicamp) Uma máquina térmica industrial utiliza um gás ideal, cujo ciclo de trabalho é mostrado na figura a seguir. A temperatura no ponto A é 400K.
Utilizando 1atm = $10^5 N/m^2$, responda os itens a e b.



a) Qual é a temperatura no ponto C?
b) Calcule a quantidade de calor trocada pelo gás com o ambiente ao longo de um ciclo.

11. (Fuvest 2021) Um mol de um gás ideal percorre o processo cíclico ABCA em um diagrama $P-V$, conforme mostrado na figura, sendo que a etapa AB é isobárica, a etapa BC é isocórica e a etapa CA é isotérmica.

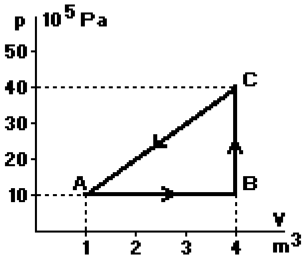


Considere as seguintes afirmações:

I. O gás libera calor tanto na etapa BC quanto na etapa CA.
II. O módulo do trabalho realizado pelo gás é não nulo tanto na etapa AB quanto na etapa BC.
III. O gás tem sua temperatura aumentada tanto na etapa AB quanto na etapa CA.

É correto o que se afirma em:
a) Nenhuma delas.
b) Apenas I.
c) Apenas II.
d) Apenas III.
e) Apenas I e II.

12. (Unesp) Um sistema termodinâmico é levado do estado inicial A a outro estado B e depois trazido de volta até A através do estado C, conforme o diagrama p - V da figura a seguir.



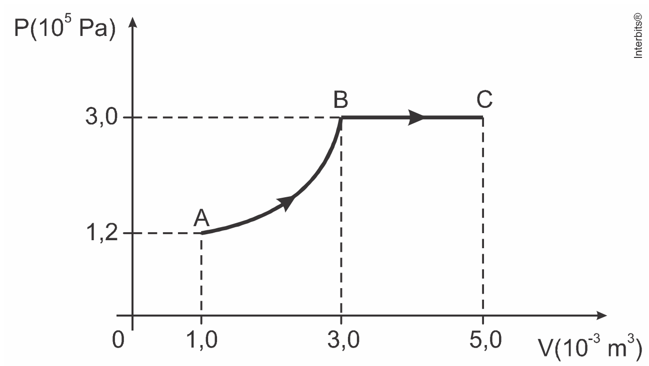
	Q	W	ΔU
A⟶B			+
B⟶C	+		
C⟶A			

a) Complete a tabela atribuindo sinais (+) ou (-) às grandezas termodinâmicas associadas a cada processo. W positivo significa trabalho realizado pelo sistema, Q positivo é calor fornecido ao sistema e ΔU positivo é aumento da energia interna.

b) Calcule o trabalho realizado pelo sistema durante o ciclo completo ABCA.

13. (Unesp) Um mol de gás monoatômico, classificado como ideal, inicialmente à temperatura de 60 ˚C, sofre uma expansão adiabática, com realização de trabalho de 249 J. Se o valor da constante dos gases R é 8,3 J/(mol K) e a energia interna de um mol desse gás é (3/2)RT, calcule o valor da temperatura ao final da expansão.

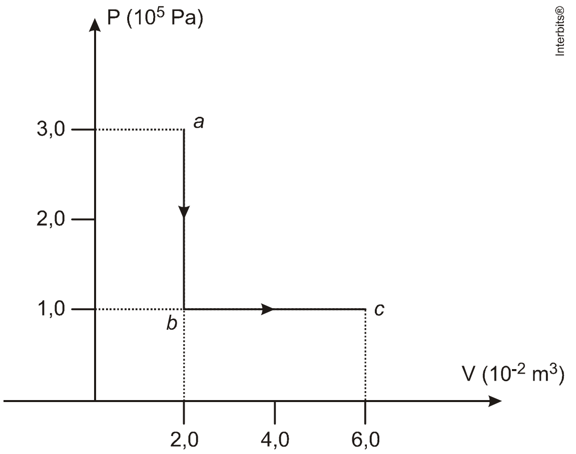
14. (Fac. Albert Einstein - Medicin 2019) Para provocar a transformação gasosa ABC, representada no diagrama $P \times V$, em determinada massa constante de gás ideal, foi necessário fornecer-lhe 1.400 J de energia em forma de calor, dos quais 300 J transformaram-se em energia interna do gás, devido ao seu aquecimento nesse processo.



Considerando não ter havido perda de energia, o trabalho realizado pelas forças exercidas pelo gás no trecho AB dessa transformação foi de

a) 600 J.
b) 400 J.
c) 500 J.
d) 1.100 J.
e) 800 J.

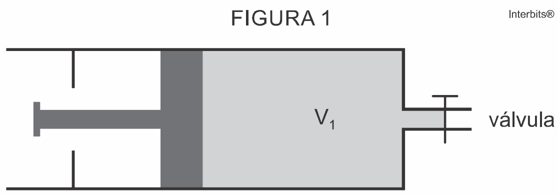
15. (Unifesp 2011) Em um trocador de calor fechado por paredes diatérmicas, inicialmente o gás monoatômico ideal é resfriado por um processo isocórico e depois tem seu volume expandido por um processo isobárico, como mostra o diagrama pressão *versus* volume.



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*.

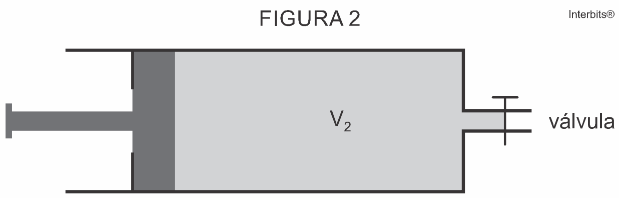
16. (Unesp 2017) A figura 1 mostra um cilindro reto de base circular provido de um pistão, que desliza sem atrito. O cilindro contém um gás ideal à temperatura de $300\,\text{K}$, que inicialmente ocupa um volume de $6{,}0 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$ e está a uma pressão de $2{,}0 \times 10^5\ \text{Pa}$.

FIGURA 1



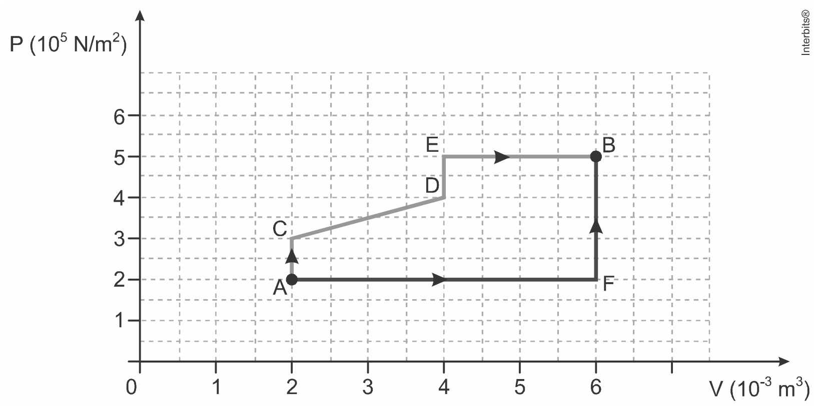
O gás é aquecido, expandindo-se isobaricamente, e o êmbolo desloca-se $10\ \text{cm}$ até atingir a posição de máximo volume, quando é travado, conforme indica a figura 2.

FIGURA 2



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

17**.** (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.

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

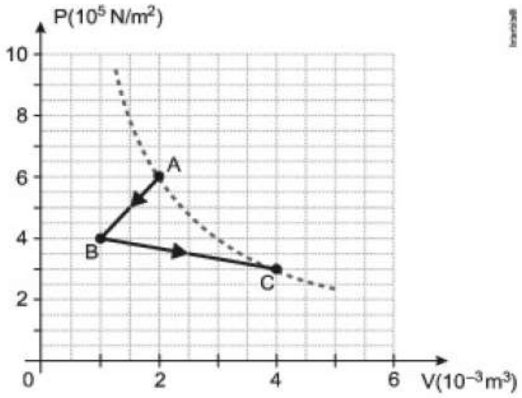
Com base nessas informações, responda:

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.

<u>Note e adote</u>:
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.

18. (UNIFESP) - Um gás ideal passa pelo processo termodinâmico representado pelo diagrama P × V. O gás, que se encontrava à temperatura de 57°C no estado inicial A, comprime-se até o estado B, pela perda de 1700 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.

Gabarito:

Resposta da questão 1:
[C]

Resposta da questão 2:
[A]

Aplicando a 1ª lei da Termodinâmica com $\tau < 0$ (pois há compressão do gás), vem:
$Q = \tau + \Delta U$
$300 = -600 + \Delta U$
$\therefore \Delta U = 900 \text{ J}$

Resposta da questão 3:
[D]

Por ser uma compressão, o trabalho realizado pelo gás é negativo:

$$W = p\Delta V = 4 \times 10^3 \times (-0,2) = -8 \times 10^2 \text{ J}$$

O calor é negativo, pois foi perdido pelo gás.

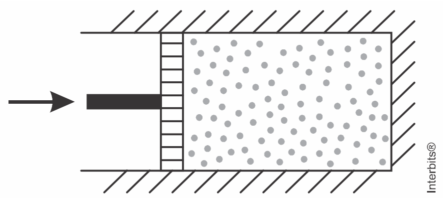
$$Q = -1,8 \times 10^3 \text{ J}$$

Pela Primeira Lei da Termodinâmica, sabemos que:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = \left(-1,8 \times 10^3\right) - \left(-8 \times 10^2\right) = -1,0 \times 10^3 \text{ J}$$

Resposta da questão 4:
[A]

Resposta da questão 5:
[D]



Partindo da 1ª Lei da Termodinâmica, tem-se que:
$\Delta U = Q - \tau \quad (1)$

sendo ΔU a variação da energia interna do gás, Q o calor inserido no gás e τ o trabalho realizado pelo gás.

Como o processo é adiabático, ou seja, sem troca de calor, $Q = 0 \text{ J}$.

Como o trabalho foi realizado sobre o gás, então $\tau < 0$, ou seja, $\tau = -800 \text{ J}$.

Substituindo-se esses valores na equação 1, tem-se que:
$\Delta U = 0 - (-800) = 800 \text{ J}$
$\Delta U = 800 \text{ J}$

Para gases perfeitos, é válida a seguinte relação:

$\Delta U = \frac{3}{2} n\,R\,\Delta T \qquad (2)$

sendo n o número de moles do gás, R a constante universal dos gases e ΔT a variação da temperatura do gás.

Como $\Delta U = 800\ J > 0,$ então, pela equação 2, $\Delta T > 0.$

Como o trabalho está sendo realizado sobre o gás, ou seja, o mesmo está sendo comprimido, então $\Delta V < 0,$ quer dizer, o gás reduz de volume.

Da equação de Clapeyron para gases perfeitos:

$pV = n\,R\,T \Rightarrow p = \frac{n\,R\,T}{V} \qquad (3)$

E considerando que T aumentou $(\Delta T > 0)$ e V diminuiu $(\Delta V < 0),$ conclui-se da equação 3 que p aumentou $(\Delta p > 0).$

Logo, o volume diminuiu, a temperatura aumentou e a pressão aumentou.

Resposta da questão 6:
[C]

Resposta da questão 7:
[B]

Os processos adiabático e isotérmico são não lineares e logo eliminamos as opções [I], [II] e [V]. Os processos adiabáticos tem trabalho associado inferior ao dos processos isotérmicos e desta forma os diagramas [IV] e [III] são os que melhores atendem, nesta ordem, o solicitado.

Resposta da questão 8:
a) $\Delta E = 0$
b) T = 6J

Resposta da questão 9:
[C]

Resposta da questão 10:
a) 1220 K
b) 5×10^4 J

Resposta da questão 11:
[B]

Analisando as afirmativas:
[I] Verdadeira. 1ª Lei da Termodinâmica: $Q = \tau + \Delta U.$
Na etapas BC e $CA,$ temos:

$$\begin{cases} \Delta V_{BC} = 0 \Rightarrow \tau_{BC} = 0 \\ \Delta T_{BC} < 0 \Rightarrow \Delta U_{BC} < 0 \end{cases} \Rightarrow Q_{BC} < 0$$

$$\begin{cases} \Delta V_{CA} < 0 \Rightarrow \tau_{CA} < 0 \\ \Delta T_{CA} = 0 \Rightarrow \Delta U_{CA} = 0 \end{cases} \Rightarrow Q_{CA} < 0$$

Logo, ambas as etapas liberam calor.

[II] Falsa. Pelo item anterior, $\tau_{BC} = 0.$

[III] Falsa. Como CA se dá sobre uma isoterma, $\Delta T_{CA} = 0.$

Resposta da questão 12:
Observe a figura a seguir:

a)

	Q	W	ΔU
A→B	+	+	+
B→C	+	0	+
C→A	–	–	–

b) $4{,}5 \cdot 10^6$ J

Resposta da questão 13:
$Q = \tau + \Delta U = 0$
$\tau + \Delta U = 0$
$249 + (3/2).R.\Delta T = 0$
$249 + (3/2).8{,}3.[T - (60 + 273)] = 0$
$249 + 12{,}45.[T - (333)] = 0$
$12{,}45.[T - (333)] = - 249$
$[T - (333)] = - 249/12{,}45$
$T - 333 = - 20$
$T = 333 - 20 = 313$ K = 40 °C

Resposta da questão 14:
[C]

Da primeira lei da Termodinâmica tem-se a relação entre calor (Q), trabalho (W) e energia interna (ΔU).
$Q = W + \Delta U$

Assim, o trabalho total entre ABC é
$1400\ J = W_{ABC} + 300\ J \Rightarrow W_{ABC} = 1100\ J$

Para determinar o trabalho entre AB deve-se calcular o trabalho do processo isobárico BC e descontar do trabalho total já obtido.
$W_{BC} = p \cdot \Delta V = 3{,}0 \cdot 10^5\ Pa \cdot (5{,}0 - 3{,}0) \cdot 10^{-3}\ m^3$
$W_{BC} = 6{,}0 \cdot 10^2\ J = 600\ J$

Logo, o trabalho do processo AB é:
$W_{AB} = W_{ABC} - W_{BC} = 1100\ J - 600\ J \therefore W_{AB} = 500\ J$

Resposta da questão 15:
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: $\Delta V_{bc} = V_c - V_b = (6{,}0 - 2{,}0) \times 10^{-2} \Rightarrow \Delta V_{ab} = 4{,}0 \times 10^{-2}$ m³.
Variação da pressão: $\Delta P_{bc} = P_c - P_b = 0$.

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

$$\frac{P_aV_a}{T_a} = \frac{P_cV_c}{T_c} \quad \Rightarrow \quad \frac{3\times10^5\times2\times10^{-2}}{T_a} = \frac{1\times10^5\times6\times10^{-2}}{T_c} \Rightarrow$$

$$\frac{\cancel{6}\times10^{\cancel{3}}}{T_a} = \frac{\cancel{6}\times10^{\cancel{3}}}{T_c} \quad \Rightarrow \quad T_a = T_c \quad \Rightarrow \quad \frac{T_a}{T_c} = 1.$$

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:
$Q_{ac} = W_{bc} = P_c\,(\Delta V_{bc}) = 1{,}0\times10^5\times4{,}0\times10^{-2} \Rightarrow$
$Q_{ac} = 4{,}0\times10^3$ J.

Resposta da questão 16:
Dados: $p = 2\times10^5\ \text{N/m}^2;\ T_1 = 300\text{K};\ V_1 = 6\times10^{-3}\ \text{m}^3;\ d = 10\ \text{cm} = 0{,}1\ \text{m};\ A = 2\times10^{-2}\ \text{m}^2;\ \Delta U = 600\ \text{J}.$
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: $Q = \Delta U + W$

$$\left\{\begin{matrix} W = p\Delta V \\ \Delta U = \frac{3}{2}p\Delta V \end{matrix}\right\rangle\ Q = \Delta U + W = \frac{3}{2}p\Delta V + p\Delta V \Rightarrow Q = \frac{5}{2}p\Delta V = \frac{5}{2}\times2\times10^5\times2\times10^{-3} \Rightarrow$$

$$\boxed{Q = 1.000\ \text{J}.}$$

Resposta da questão 17:
Para gases ideais é válida a equação geral dos gases:
$pV = nRT \quad (1)$

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.

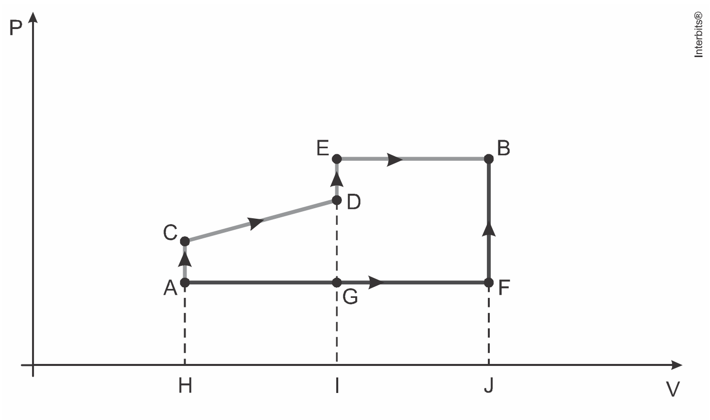
A partir da equação (5), tem-se que:

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

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 18:
a) De acordo com a 1ª lei da Termodinâmica:
$Q = \tau + \Delta U$

Para o problema dado, temos que:
$Q = 0$ (transformação adiabática)

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

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 18:

a) 110 K

b) 2250 J