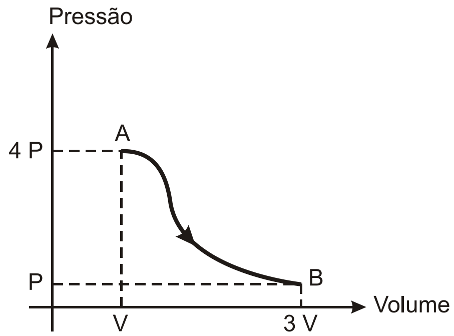
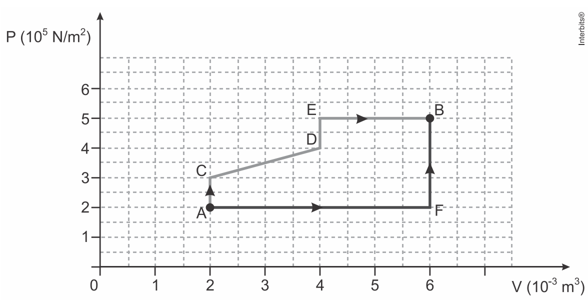
PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

1. (UNESP 2010) Considere o gráfico da Pressão em função do Volume de certa massa de gás perfeito que sofre uma transformação do estado A para o estado B. Admitindo que não haja variação da massa do gás durante a transformação, determine a razão entre as energias internas do gás nos estados A e B.



2. (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 $P \times V$.



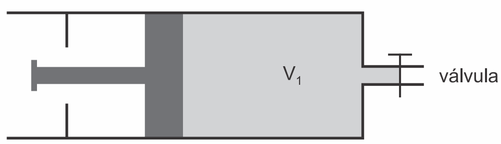
Para ocorrer, a transformação $ACDEB$ exige uma quantidade Q_1 de calor e a transformação AFB exige uma quantidade Q_2 de calor. Sendo T_A e T_B as temperaturas absolutas do gás nos estados A e B, respectivamente, calcule:

a. o valor da razão $\frac{T_B}{T_A}$.

b. o valor da diferença $Q_1 - Q_2$, em joules.

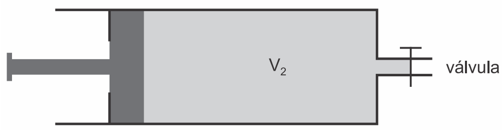
3. (UNESP 2017) A figura 1 mostra um cilindro reto de base circular provido de um pistão, que desliza sem atrito. O cilindro contém um gás ideal à temperatura de $300\ K$, que inicialmente ocupa um volume de $6{,}0 \times 10^{-3}\ m^3$ e está a uma pressão de $2{,}0 \times 10^5\ Pa$.

FIGURA 1



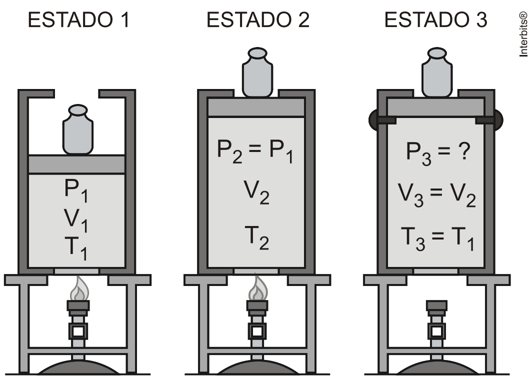
O gás é aquecido, expandindo-se isobaricamente, e o êmbolo desloca-se 10 cm até atingir a posição de máximo volume, quando é travado, conforme indica a figura 2.

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.

4. (UNESP 2014) A figura representa um cilindro contendo um gás ideal em três estados, 1, 2 e 3, respectivamente.

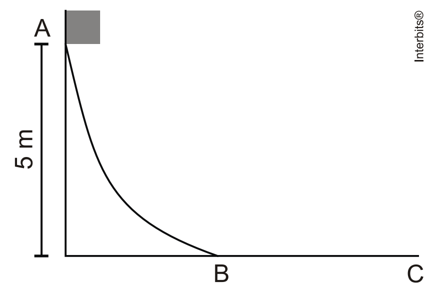


No estado 1, o gás está submetido à pressão $P_1 = 1{,}2 \times 10^5$ Pa e ocupa um volume V_1 = 0,008 m³ à temperatura T_1. Acende-se uma chama de potência constante sob o cilindro, de maneira que ao receber 500 J de calor o gás sofre uma expansão lenta e isobárica até o estado 2, quando o êmbolo atinge o topo do cilindro e é impedido de continuar a se mover. Nesse estado, o gás passa a ocupar um volume V_2 = 0,012 m³ à temperatura T_2.

Nesse momento, o êmbolo é travado de maneira que não possa mais descer e a chama é apagada. O gás é, então, resfriado até o estado 3, quando a temperatura volta ao valor inicial T_1 e o gás fica submetido a uma nova pressão P_3.

Considerando que o cilindro tenha capacidade térmica desprezível, calcule a variação de energia interna sofrida pelo gás quando ele é levado do estado 1 ao estado 2 e o valor da pressão final P_3.

5. (UEL 2012) Um bloco de alumínio de massa 1 kg desce uma rampa sem atrito, de A até B, a partir do repouso, e entra numa camada de asfalto (de B até C) cujo coeficiente de atrito cinético é $\mu_c = 1{,}3$, como apresentado na figura a seguir.



O bloco atinge o repouso em C. Ao longo do percurso BC, a temperatura do bloco de alumínio se eleva até 33 °C. Sabendo-se que a temperatura ambiente é de 32 °C e que o processo de aumento de temperatura do bloco de alumínio ocorreu tão rápido que pode ser considerado como adiabático, qual é a variação da energia interna do bloco de alumínio quando este alcança o ponto C? Apresente os cálculos.

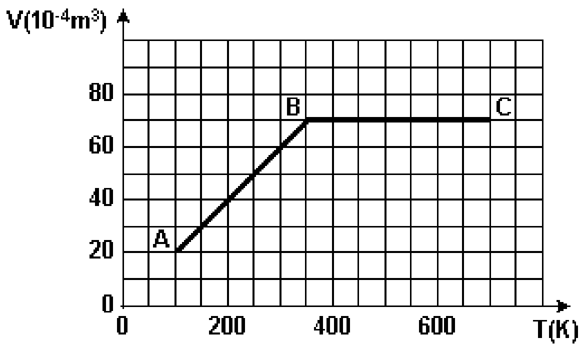
Dado: $c_{a\ell}$ = 0,22 cal/g °C

6. (UFRJ 2010) Um gás ideal em equilíbrio termodinâmico tem pressão de 1,0×10⁵ N/m², volume de 2,0×10⁻³ m³ e temperatura de 300 K. O gás é aquecido lentamente à pressão constante recebendo uma quantidade de 375 J de calor até atingir um volume de 3,5×10⁻³ m³, no qual permanece em equilíbrio termodinâmico.

a. Calcule a temperatura do gás em seu estado final de equilíbrio.

b. Calcule a variação da energia interna do gás entre os estados inicial e final.

7. (UDESC 2009) O gráfico a seguir mostra a variação do volume de um gás perfeito, em função da temperatura. A transformação entre os estados A e B ocorre à pressão constante de 10^5 N/m², e a energia interna do gás aumenta em 1000 J. Durante a transformação entre os estados B e C, o gás recebe calor.



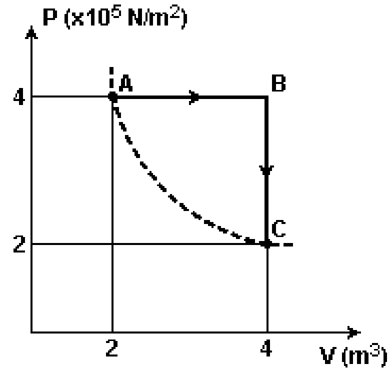
Calcule:

a. a quantidade de calor recebida pelo gás entre os estados A e B;

b. o trabalho realizado sobre o gás entre os estados B e C;

c. o valor da pressão do gás no estado C.

8. (UFRRJ 2006) A figura a seguir representa o gráfico p-V de um gás, suposto ideal, que sofre primeiramente um processo isobárico, partindo do ponto A para o ponto B, e depois um processo isovolumétrico, atingindo o ponto C, que se situa sobre a mesma isoterma que A.

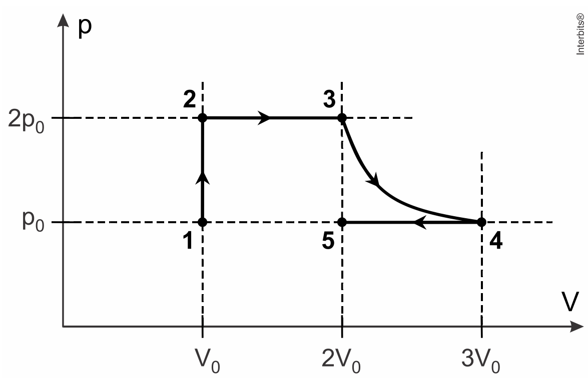


Calcule

a. o trabalho realizado pelo gás ao final do processo ABC;

b. o calor recebido pelo gás ao final do processo ABC.

9. (UFES 2015) A figura abaixo apresenta um conjunto de transformações termodinâmicas sofridas por um gás perfeito. Na transformação $1 \rightarrow 2$, são adicionados $200\,J$ de calor ao gás, levando esse gás a atingir a temperatura de $60°C$ no ponto 2. A partir desses dados, determine

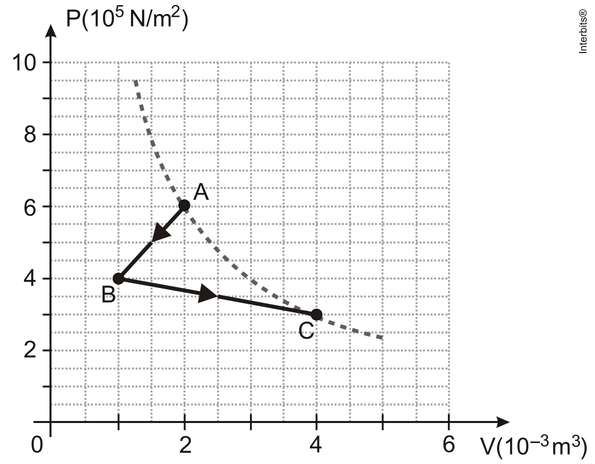


a. a variação da energia interna do gás no processo $1 \rightarrow 2$;

b. a temperatura do gás no ponto 5;

c. a variação da energia interna do gás em todo o processo termodinâmico $1 \rightarrow 5$.

10. (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.

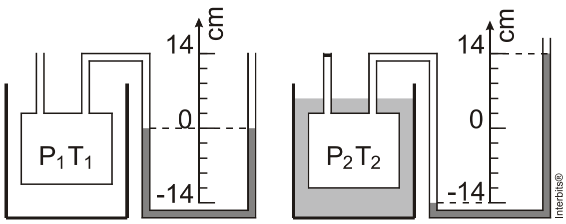


Considerando os valores indicados no gráfico e que a massa do gás tenha permanecido constante durante todo o processo, calcule:

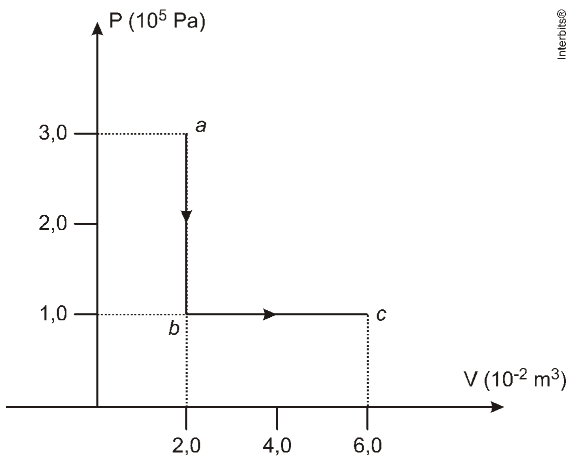
a. a temperatura do gás, em graus Celsius, no estado B.

b. o calor, em joules, recebido pelo gás de uma fonte externa, quando foi levado do estado B para o estado final C.

11. (ITA 2013) Um recipiente é inicialmente aberto para a atmosfera a temperatura de 0°C. A seguir, o recipiente é fechado e imerso num banho térmico com água em ebulição. Ao atingir o novo equilíbrio, observa-se o desnível do mercúrio indicado na escala das colunas do manômetro. Construa um gráfico $P \times T$ para os dois estados do ar no interior do recipiente e o extrapole para encontrar a temperatura T_0 quando a pressão $P = 0$, interpretando fisicamente este novo estado à luz da teoria cinética dos gases.



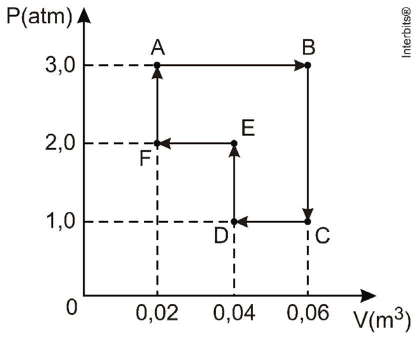
12. (UNIFESP 2011) Em um trocador de calor fechado por paredes diatérmicas, inicialmente o gás monoatômico ideal é resfriado por um processo isocórico e depois tem seu volume expandido por um processo isobárico, como mostra o diagrama pressão versus volume.



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.

13. (UFJF 2011) A figura abaixo mostra o diagrama P x V para o ciclo de um sistema termodinâmico contendo um gás ideal monoatômico.

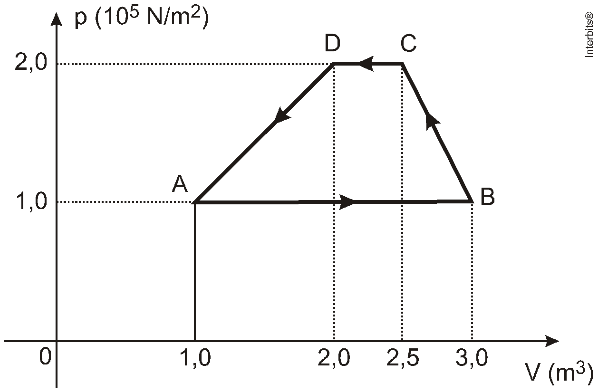


a. Calcule o trabalho total, em joules, realizado pelo gás no ciclo completo.

b. Calcule a variação da energia interna, em joules, no percurso AB.

c. Qual é a quantidade de calor, em joules, trocada pelo sistema no percurso AB?

14. (UFG 2010) A máquina térmica é um dispositivo que pode tanto fornecer energia para um sistema quanto retirar.



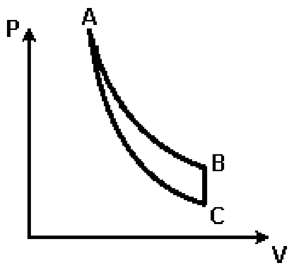
Considere que a máquina térmica opera com um gás ideal em um sistema fechado, conforme o ciclo ilustrado acima. De acordo com o exposto,

a. calcule o trabalho total em ciclo;

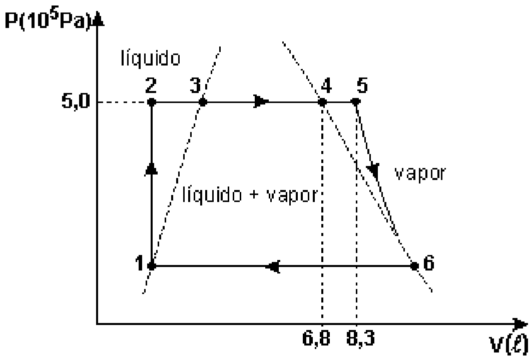
b. explique como ela opera, ou seja, qual é a sua função? Justifique sua resposta;

c. calcule a temperatura no ponto C, considerando que a temperatura do ponto A é de 300 K.

15. (ITA 2009) Três processos compõem o ciclo termodinâmico ABCA mostrado no diagrama P × V da figura. O processo AB ocorre a temperatura constante. O processo BC ocorre a volume constante com decréscimo de 40 J de energia interna e, no processo CA, adiabático, um trabalho de 40 J é efetuado sobre o sistema. Sabendo-se também que em um ciclo completo o trabalho total realizado pelo sistema é de 30 J, calcule a quantidade de calor trocado durante o processo AB.



16. (UNICAMP 2009) O aperfeiçoamento da máquina a vapor ao longo do século XVIII, que atingiu o ápice com o trabalho de James Watt, permitiu a mecanização do modo de produção, desempenhando papel decisivo na revolução industrial. A figura a seguir mostra o diagrama de pressão P 'versus' volume V do cilindro de uma máquina a vapor contendo 1,0 mol de água. Os diferentes trechos do gráfico referem-se a:



1 → 2: água líquida é bombeada até a pressão P_2;

2 → 3: a temperatura da água é aumentada pela caldeira a pressão constante;

3 → 4: a água é vaporizada a pressão e temperatura constantes (T_3 = 400K);

4 → 5: o vapor é aquecido a pressão constante, expandindo de V_4 a V_5;

5 → 6: o vapor sofre expansão sem troca de calor, fazendo com que a temperatura e a pressão sejam reduzidas;

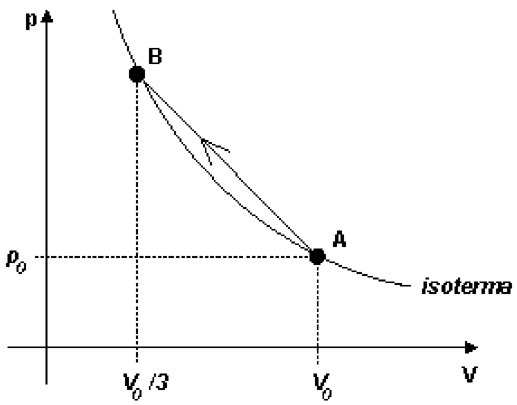
6 → 1: o vapor é condensado com a retirada de calor do cilindro a pressão constante.

a. No ponto 5 o vapor d'água se comporta como um gás ideal. Encontre a temperatura do vapor neste ponto.

A constante universal dos gases é R = 8,3 J/mol K .

b. Calcule o trabalho realizado pelo vapor d'água no trecho de 4 → 5.

17. (UFRJ 2009) Um gás ideal se encontra em um estado de equilíbrio termodinâmico A no qual tem volume V_0 e pressão p_0 conhecidos. O gás é então comprimido lentamente até atingir um estado de equilíbrio termodinâmico B no qual seu



Sabendo que o processo que leva o gás do estado A ao estado B é o indicado pelo segmento de reta do diagrama, e que os estados A e B estão em uma mesma isoterma, calcule o calor total Q_{AB} cedido pelo gás nesse processo.

18. (UFMG 2011) Um pistão – constituído de um cilindro e de um êmbolo, que pode se mover livremente – contém um gás ideal, como representado na Figura I. O êmbolo tem massa de 20 kg e área de $0,20\ m^2$.

Nessa situação, o gás está à temperatura ambiente e ocupa um volume V_I.

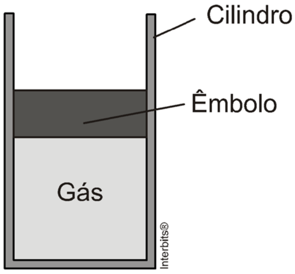


Figura I

Considere quaisquer atritos desprezíveis e que a pressão atmosférica é de 101 kPa.

1. Com base nessas informações, determine a pressão do gás dentro do pistão.

2. Em seguida, o pistão é virado de cabeça para baixo, como mostrado na Figura II.

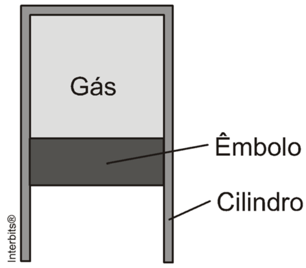


Figura II

Nessa nova situação, a temperatura continua igual à do ambiente e o volume ocupado pelo gás é V_{II}.

Com base nessas informações, determine a razão V_{II} / V_I entre os volumes.

3. Assinalando com um X a opção apropriada, responda:

Ao passar da situação representada na Figura I para a mostrada na Figura II, o gás dentro do cilindro cede calor, recebe calor ou não troca calor?

( ) Cede calor.

( ) Recebe calor.

( ) Não troca calor.

Justifique sua resposta.

ANOTAÇÕES

GABARITO

1. A energia interna (**U**) de um gás perfeito é diretamente proporcional à sua temperatura absoluta (**T**).

$$U = \frac{3}{2}nRT$$

A equação de Clapeyron nos dá:

$PV = nRT.$

Combinando essas duas expressões, concluímos que:

$$U = \frac{3}{2}PV.$$

Colocando nessa expressão os valores dados no gráfico e fazendo a razão entre os dois estados:

$$\frac{U_A}{U_B} = \frac{\frac{3}{2}P_A V_A}{\frac{3}{2}P_B V_B} = \frac{4PV}{3PV} \Rightarrow \frac{U_A}{U_B} = \frac{4}{3}.$$

2. 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:

$$\frac{T_B}{T_A} = \frac{p_B V_B}{p_A V_A} = \frac{5\times10^5 \times 6\times10^{-3}}{2\times10^5 \times 2\times10^{-3}} = 7{,}5$$

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:

$Q_1 = \Delta U_1 + \tau_1$ 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.

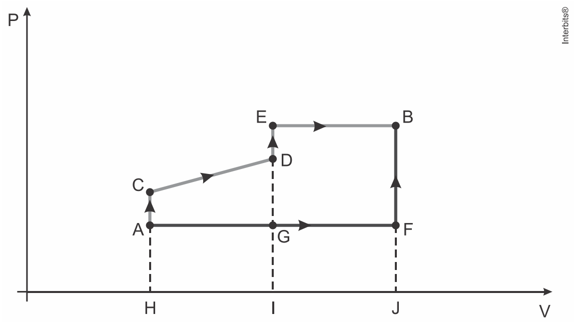
A partir da equação (5), tem-se que:

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

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:

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

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

3. Dados:

$$p = 2\times 10^5\ N/m^2;\ T_1 = 300K;\ V_1 = 6\times 10^{-3}\ m^3;$$

$$d = 10\,cm = 0{,}1\ m;\ A = 2\times 10^{-2}\ m^2;\ \Delta U = 600\ J.$$

Temperatura na situação da figura 2:

$$\Delta V = A\,d = 2\times 10^{-2}\times 0{,}1 \Rightarrow \Delta V = 2\times 10^{-3}\ m^3$$

$$V_2 = V_1 + \Delta V = 6\times 10^{-3} + 2\times 10^{-3} \Rightarrow V_2 = 8\times 10^{-3}\ m^3.$$

Aplicando a equação geral dos gases para uma transformação isobárica:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{6\times 10^{-3}}{300} = \frac{8\times 10^{-3}}{T_2} \Rightarrow \boxed{T_2 = 400K.}$$

Cálculo do trabalho (W) realizado pela força de pressão do gás na expansão:

$$W = p\,\Delta V = p\,A\,d = 2\times 10^5 \times 2\times 10^{-2}\times 0{,}1$$

$$\Rightarrow W = 400\ J.$$

Aplicando a primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U + W = 600 + 400 \Rightarrow \boxed{Q = 1\,000\ J.}$$

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: $Q = \Delta U + W$

$$\left\{\begin{array}{l} W = p\,\Delta V \\ \Delta U = \frac{3}{2} p\,\Delta V \end{array}\right\} Q = \Delta U + W = \frac{3}{2} p\,\Delta V + p\,\Delta V$$

$$\Rightarrow Q = \frac{5}{2} p\,\Delta V = \frac{5}{2}\times 2\times 10^5 \times 2\times 10^{-3} \Rightarrow \boxed{Q = 1.000\ J.}$$

4. - Variação da Energia Interna $(\Delta U_{1,2})$ na transformação $1 \rightarrow 2$.

Dados:

$$\mathbf{P_1} = \mathbf{P_2} = 1{,}2\times 10^5 Pa;\ \mathbf{V_1} = 0{,}008\ m^3 = 8\times 10^{-3} m^3;$$

$$\mathbf{V_2} = 0{,}012\ m^3 = 1{,}2\times 10^{-3}\ m^3;\ \mathbf{Q_{1,2}} = 500\ J.$$

Como a transformação é isobárica, o trabalho realizado na transformação $1 \rightarrow 2$ é:

$$W_{1,2} = P_1\ \Delta V_{1,2} = 1{,}2\times 10^5 (12-8)10^{-3} \Rightarrow W_{1,2} = 480\ J.$$

Aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica:

$$\Delta U_{1,2} = Q_{1,2} - W_{1,2} \Rightarrow \Delta U_{1,2} = 500 - 480 \Rightarrow$$

$$\boxed{\Delta U_{1,2} = 20\ J.}$$

Comentário: a banca examinadora cometeu um deslize ao ar arbitrar em 500 J a quantidade de calor absorvida pelo gás na transformação isobárica $1 \rightarrow 2$. Calculemos o valor correto, supondo gás monoatômico.

$$\left\{\begin{array}{l} \Delta U_{1,2} = \frac{3}{2}\ n\ R\ \Delta T_{1,2} \\ W_{1,2} = P\ \Delta V_{1,2} = n\ R\ \Delta T_{1,2} = 480\ J \end{array}\right\} Q_{1,2} = \Delta U_{1,2} + W_{1,2} =$$

$$\frac{3}{2}\ n\ R\ \Delta T_{1,2} + n\ R\ \Delta T_{1,2} \Rightarrow Q_{1,2} = \frac{5}{2} n\ R\ \Delta T_{1,2} \Rightarrow$$

$$Q_{1,2} = \frac{5}{2} W_{1,2} = \frac{5}{2}(480) \Rightarrow Q_{1,2} = 1\,200\ J.$$

- Valor da pressão final (P_3).

Dados:

$$\mathbf{P_1} = 1{,}2\times 10^5 Pa;\ \mathbf{V_1} = 0{,}008\ m^3 = 8\times 10^{-3} m^3;$$

$$\mathbf{V_3} = 0{,}012\ m^3 = 1{,}2\times 10^{-3}\ m^3;\ \mathbf{T_1} = \mathbf{T_3}.$$

Aplicando a equação geral dos gases:

$$\frac{P_1\ V_1}{\cancel{T_1}} = \frac{P_3\ V_3}{\cancel{T_3}} \Rightarrow P_3 = \frac{P_1\ V_1}{V_3} = \frac{1{,}2\times 10^5 \times 8\times 10^{-3}}{12\times 10^{-3}} \Rightarrow$$

$$\boxed{P_3 = 8\times 10^4\ Pa.}$$

5. Como o enunciado cita um processo adiabático, não há troca de calor com nenhum meio externo, ou seja, o sistema é constituído apenas pelo bloco.

De acordo com a 1ª lei da termodinâmica $\Delta U = Q - \tau$, onde:

ΔU : energia interna.

Q: energia sob a forma de calor, responsável pelo aumento da temperatura.

τ : trabalho realizado pela força de atrito entre o bloco e a superfície.

Energia sob a forma de calor (Q), responsável pelo aumento da temperatura.

$m = 1kg = 1.10^3 g$

$c = 0{,}22 cal/g.\ °C$

$\Delta T = 33 - 32 = 1°C$

Da equação do calor sensível, temos:

$Q = m.c.\Delta T \rightarrow Q = 1.10^3.0,22.1 \rightarrow Q = 220cal$

Considerando que 1cal=4,2J: Q = 924J

Trabalho (τ) realizado pela força de atrito entre o bloco e a superfície.

A força de atrito atua no bloco entre os pontos BC e, de acordo com o teorema da energia cinética: $\tau = \Delta Ec = Ec_C - Ec_B$.

No ponto A o bloco possui energia potencial gravitacional (Ep_{gA}), que será transformada em energia cinética, de acordo que o bloco se aproxima do ponto B (Ec_B). Como o bloco atinge o ponto C em repouso, ele não possui energia cinética neste ponto $(Ec_C = 0)$.

$Ep_{gA} = m.g.h$

$Ec_B = Ep_{gA} = m.g.h \rightarrow Ec_B = 1.10.5 \rightarrow Ec_B = 50J$

$\tau = \Delta Ec = Ec_C - Ec_B = 0 - 50 \rightarrow \tau = -50J$

Energia interna (ΔU).

Substituindo os valores na 1ª lei da termodinâmica:

$\Delta U = Q - \tau \rightarrow \Delta U = 924 - (-50)$

$\Delta U = 974J$

6. Dados: p = $1,0 \times 10^5$ N/m²; $V_1 = 2,0 \times 10^{-3}$ m³; $V_2 = 1,5 \times 10^{-3}$ m³; T_1 = 300 K; Q = 375 J.

a. Equação geral dos gases perfeitos: $\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$.

Como a transformação é isobárica: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$.

Substituindo os valores dados:

$\frac{2 \times 10^{-3}}{300} = \frac{3,5 \times 10^{-3}}{T_2} \Rightarrow T_2 = 150 \times 3,5 \Rightarrow T_2 = 525$ K.

b. Primeira lei da termodinâmica, a variação da energia interna (ΔU) é igual à diferença entre o calor recebido (Q) e o trabalho realizado (W):

$\Delta U = Q - W$.

Tratando-se de uma transformação isobárica, o trabalho realizado é: $W = p\,\Delta V$. Assim:

$\Delta U = Q - p\,\Delta V = 375 - 10^5(3,5 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3}) = 375 - 10^5(1,5 \times 10^{-3}) \Rightarrow$

$\Delta U = 375 - 150 \Rightarrow \Delta U = 225$ J.

Obs: o examinador poderia aumentar o grau de dificuldade dessa questão, tornando-a mais interessante, perguntando a quantidade de calor trocada nessa transformação.

A solução é:

$Q = \Delta U + W$

Sabemos que, numa transformação isobárica:

$\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T = \frac{3}{2}p\ \Delta V$ e, também, que $W = p\,\Delta V$.

Então:

$Q = \frac{3}{2}p\ \Delta V + p\,\Delta V \Rightarrow Q = \frac{5}{2}p\ \Delta V$

$\Rightarrow Q = \frac{5}{2}10^5(3,5 \times 10^{-3} - 2 \times 10^{-3}) = \frac{5}{2}(1,5 \times 10^2)$

$\Rightarrow Q = 375$ J.

7. $Q = W + \Delta U = p.\Delta V + 1000 = 10^5.(70 - 20).10^{-4} + 1000 = 500 + 1000 = 1500$ J

W = 0, pois não há variação de volume

Pela lei geral dos gases $\rightarrow$ p.V/T = constante. Como o volume é constante (processo isocórico)

p/T = constante $\rightarrow \frac{10^5}{350} = \frac{p}{700} \rightarrow p = 2.10^5$ N/m²

8. a. $W = 2 \times 4 \times 10^5$J;

b. Como os pontos A e C situam-se sobre a mesma isoterma, então a energia interna do gás nesses dois estados é a mesma. Deste modo, pela primeira Lei da Termodinâmica,

$Q = W + \Delta U = W = 8,0 \times 10^5$J.

9. a. O trabalho do ciclo **ABCDA** representado na figura corresponde à área da figura, considerando o sentido horário teremos um trabalho positivo. Os segmentos **AB** e **CD** em que temos uma transformação isocórica (volume constante) terão trabalho nulo. No seguimento **BC** teremos uma expansão volumétrica isobárica conduzindo a um trabalho positivo (gás realizando trabalho sobre o meio externo) e no seguimento **DA** teremos o gás recebendo trabalho do meio externo, ou seja, um trabalho negativo referente a uma contração de volume à pressão constante.

A expressão do trabalho isobárico fica $\tau = p \cdot \Delta V$

Onde

$\tau =$ trabalho realizado (+) ou recebido pelo gás (–) em joules (J)

$p =$ pressão do gás em Pascal $(Pa = N/m^2)$

$\Delta V =$ variação de volume do gás (m^3)

$\tau_{BC} = 15Pa \cdot (6-2)m^3 = 60J$

e

$\tau_{DA} = 5Pa \cdot (2-6)m^3 = -20J$

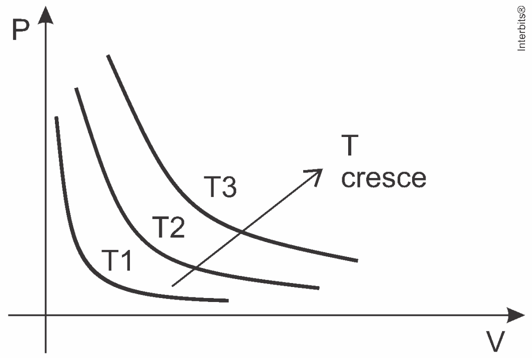
O trabalho do ciclo é

$\tau_{ciclo} = 60 - 20 = 40J$

Ou ainda pela área do retângulo

$\tau_{ciclo} = (15-5)Pa \cdot (6-2)m^3 = 40J$

b. Para calcularmos a maior e a menor temperatura do sistema devemos lembrar os gráficos de isotermas, através da Lei de Boyle-Mariotti



Observando o gráfico dado notamos que os pontos de maior e menor temperaturas absolutas são respectivamente C e A.

Para calcularmos estes valores de temperatura, lançamos mão da equação de estados dos Gases Ideais

$pV = nRT$

Onde

$p =$ pressão do gás em Pascal $(Pa = N/m^2)$

$V =$ volume do gás (m^3)

$n =$ número de mols do gás (mol)

$R =$ constante universal dos gases ideais (fornecido no problema)

$T =$ temperatura absoluta (K)

Isolando T e calculando as temperaturas para os pontos C e A, temos:

A maior temperatura

$$T_C = \frac{15Pa \cdot 6m^3}{1mol \cdot 8\frac{J}{molK}} = 11{,}25K$$

E a menor temperatura

$$T_A = \frac{5Pa \cdot 2m^3}{1mol \cdot 8\frac{J}{molK}} = 1{,}25K$$

10.

a. Usaremos a 1ª Lei da Termodinâmica $\Delta U = Q - W$ e como na transformação $1 \to 2$ não temos variação de volume $(\Delta V = 0)$ não haverá realização de trabalho $(W = 0)$ e tivemos absorção de calor $(Q = +200\,J)$, sendo assim $\Delta U = Q$, ou seja, $\Delta U = 200\,J$.

b. Neste caso, como dispomos da temperatura do ponto 2, usaremos a Lei dos gases ideais para os pontos 2 e 5. O sistema é fechado, logo não há perdas de massa para o exterior.

$\frac{p_5 V_5}{T_5} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \to$ retirando os valores do gráfico

$\to \frac{p_0 2V_0}{T_5} = \frac{2p_0 V_0}{T_2} \to T_5 = T_2 \to T_5 = 60\,°C.$

c. Sabendo que a energia interna depende da somente da temperatura para a condição de gás ideal, para a transformação de $2 \to 5$ temos que a variação da energia interna é nula $(\Delta U_{25} = 0)$, pois $T_5 = T_2$. Logo, a variação da energia interna de $1 \to 5$ é igual à transformação $1 \to 2$ já calculada anteriormente.

Portanto,

$\Delta U_{15} = \Delta U_{12} + \Delta U_{25} \to \Delta U_{15} = 200\,J + 0 \to \Delta U_{15} = 200\,J.$

11. 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:

$$W_{AB} = \frac{P_A + P_B}{2}(V_B - V_A) \Rightarrow W_{AB} = \frac{(6+4)\times 10^5}{2}(1-2)\times 10^{-3} \Rightarrow$$
$$W_{AB} = -500 \text{ J.}$$

- Aplicando a 1ª lei da Termodinâmica:

$$\Delta U_{AB} = Q_{AB} - W_{AB} \Rightarrow \Delta U_{AB} = -800 - (-500) \Rightarrow$$
$$\Delta U_{AB} = -300 \text{ J.}$$

- Transformação BC.

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

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

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

$$W_{BC} = \frac{P_B + P_C}{2}(V_C - V_B) \Rightarrow W_{BC} = \frac{4\times 10^5 + 3\times 10^5}{2}\left(4\times 10^{-3} - 1\times 10^{-3}\right) =$$
$$\frac{4+3}{2}(4-1)\times 10^2 \Rightarrow W_{BC} = 1.050 \text{ J.}$$

- 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.

1ª Solução:

- Transformação BC.

- Calculando a variação da energia interna (ΔU_{BC}). (ΔU_{BC}):

$$\Delta U_{BC} = \frac{3}{2}\Delta(P\,V)_{BC} \Rightarrow \Delta U_{BC} = \frac{3}{2}\left(P_C\,V_C - P_B\,V_B\right)$$

$$= \frac{3}{2}(3\cdot 4 - 4\cdot 1)\times 10^2 = \frac{3\cdot 8}{2}\times 10^2 \Rightarrow \Delta U_{BC} = 1.200 \text{ J.}$$

Aplicando a 1ª lei da termodinâmica:

$$Q_{BC} = W_{BC} + \Delta U_{BC} = 1.050 + 1.200$$

$$\Rightarrow \boxed{Q_{BC} = 2.250 \text{ J.}}$$

2ª Solução:

- Aplicando a equação de Clapeyron ao estado A:

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

$$\Rightarrow n\,R = \frac{6\times 10^5\cdot 2\times 10^{-3}}{330} = \frac{1200}{330}$$

$$\Rightarrow n\,R = \frac{40}{11} \text{ J/K.}$$

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:

$$Q_{AB} + Q_{BC} = (W_{AB} + \Delta U_{AB}) + (W_{BC} + \Delta U_{BC}) \Rightarrow$$
$$Q_{AB} + Q_{BC} = (W_{AB} + W_{BC}) + (\Delta U_{AB} + \Delta U_{BC}) \Rightarrow$$
$$-1.700 + Q_{BC} = (-500 + 1.050) + (0) \Rightarrow$$
$$Q_{BC} = 1.700 - 500 + 1.050 \Rightarrow$$

$$\boxed{Q_{BC} = 2.250 \text{ J.}}$$

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

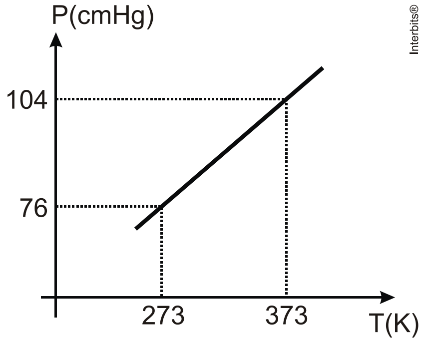
12. No estado inicial o recipiente se encontra aberto, ou seja, sua pressão é igual à pressão atmosférica.

$$T_1 = 0°C = 273K \leftrightarrow P_1 = 76\text{cmHg}.$$

No estado final o recipiente é imerso num banho térmico com água em ebulição, provocando um desnível indicado na escala de 28 cm.

$P_2 = P_{atm} + P_{Hg} = 76cmHg + 28cmHg = 104cmHg$

$T_2 = 100°C = 373K \leftrightarrow P_2 = 104cmHg$



Considerando que o ar no interior do recipiente se comporte como um gás ideal, a pressão em função da temperatura terá uma variação linear: $P = P_0 + \alpha \cdot T$

Para o estado inicial: $76 = P_0 + \alpha \cdot 273$

Para o estado final: $104 = P_0 + \alpha \cdot 373$

Subtraindo as duas equações, teremos:

$104 - 76 = (P_0 + \alpha \cdot 373) - (P_0 + \alpha \cdot 273) \rightarrow 28 = 100 \cdot \alpha$

$\alpha = 0,28 cmHg / K$

Retornando em uma das duas equações:

$76 = P_0 + \alpha \cdot 273 \rightarrow 76 = P_0 + 0,28 \cdot 273$

$P_0 = -0,44cmHg$

Equação do gás:

$P = P_0 + \alpha \cdot T \rightarrow P = -0,44 + 0,28 \cdot T(cmHg;K)$

Temperatura T_0 para a pressão $P = 0$:

$P = -0,44 + 0,28 \cdot T \rightarrow 0 = -0,44 + 0,28 \cdot T_0$

$T_0 \approx 1,57K$

A resposta é coerente com a teoria cinética dos gases perfeitos, pois a temperatura se aproxima de 0K quando a pressão também se aproxima de 0cmHg.

13. 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.

$$\frac{P_a V_a}{T_a} = \frac{P_c V_c}{T_c} \Rightarrow$$

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

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

$$\frac{T_a}{T_c} = 1$$

b. Sendo Q a quantidade de calor trocado, ΔU 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 ($\Delta U_{ac} = 0$). 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.

14. Dados: $1 \text{ atm} = 10^5 N/m^2$.

a. O trabalho no ciclo é dado pela "área" do ciclo.

$$W_{ciclo} = \left[(1 \times 0,04) + (1 \times 0,02)\right] \times 10^5$$

$$\Rightarrow W_{ciclo} = 6.000 \text{ J.}$$

b. Como se trata de uma transformação isobárica, a variação da energia interna pode ser calculada pela expressão:

$$\Delta U_{AB} = \frac{3}{2} P \, \Delta V_{AB} = \frac{3}{2} \times 3 \times 10^5 \times 0,04 \Rightarrow$$

$$\Delta U_{AB} = 18.000 \text{ J.}$$

c. Aplicando a 1ª lei da termodinâmica para a transformação AB:

$$Q_{AB} = W_{AB} + \Delta U_{AB} = P \, \Delta V_{AB} + 18.000$$

$$= 3 \times 10^5 \times 0,04 + 18.000 = 12.000 + 18.000 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{AB} = 30.000 \text{ J.}$$

15. O trabalho no ciclo completo é

$W = W_{AB} + W_{BC} + W_{CA} = 30$

O $W_{BC} = 0$, pois a transformação é isocórica (ou isovolumétrica)

O $W_{CA} = -40$ J, pois é um trabalho realizado sobre o gás, visto que existe redução de volume.

Então

$W_{AB} + 0 - 40 = 30 \rightarrow W_{AB} = 70$ J

Pela primeira lei da termodinâmica

$Q_{AB} = W_{AB} + \Delta U_{AB}$

Sendo que $\Delta U_{AB} = 0$, pois o processo AB é isotérmico

$Q_{AB} = 70$ J

16. Pela equação de Clapeyron

$pV = nRT$

$5.10^5.8,3.10^{-3} = 1.8,3.T$

$T = 5.10^2 = 500$ K

Para o trecho 4 – 5, onde a pressão é constante

Trabalho = $p.\Delta V$

Trabalho = $5.10^5.(8,3 - 6,8).10^{-3} = 5.10^2.(1,5) = 7,5.10^2 = 750$ J

17. Pela 1ª lei da Termodinâmica $\rightarrow Q = W + \Delta U$

Como A e B estão na mesma isoterma tem a mesma temperatura e então $\Delta U = 0$

Logo Q = W, onde W é o trabalho realizado entre A e B. Este trabalho é igual a área do diagrama PV neste intervalo.

Para o cálculo da área é necessário determinar a pressão do ponto B.

Como A e B estão na mesma isoterma $\rightarrow$ PV = constante $\rightarrow p_0.V_0 = p.V_0/3 \rightarrow p = 3.p_0$

Assim:

$Q = (p_0 + 3p_0).(V_0 - V_0/3)/2 =$

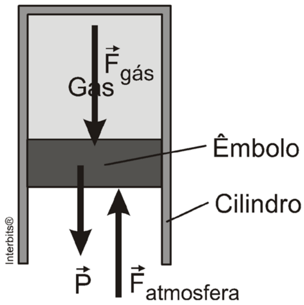
$4p_0.(2V_0/3)/2 =$

$4p_0V_0/3$

18. 1. $P = P_{atm} + \dfrac{Mg}{A} \rightarrow$

$$P = 101.000 + \frac{200}{0,2} = 102.000 \text{ Pa} = 102 \text{ kPa}$$

2. A figura mostra as forças que agem no êmbolo.



Para haver equilíbrio: $F_{gás} + P = F_{atmosfera} \rightarrow$

$P_{gás} \cdot S = P + P_{atm} \cdot S$

$P_{gás} \times 0,2 + 200 = 101.000 \times 0,2 \rightarrow$

$P_{gás} \times 0,2 = 20000 \rightarrow P_{gás} = 100.000$ Pa

$$\frac{P_I \cdot V_I}{T_1} = \frac{P_{II} \cdot V_{II}}{T_{II}} \rightarrow \frac{V_{II}}{V_I} = \frac{P_I}{P_{II}} \rightarrow$$

$$\frac{V_{II}}{V_I} = \frac{102.000}{100.000} = 1,02$$

ANOTAÇÕES

Biologia total
PROF. PAULO JUBILUT

contato@biologiatotal.com.br
/biologiajubilut
Biologia Total com Prof. Jubilut
@biologiatotaloficial
@Prof_jubilut
biologiajubilut