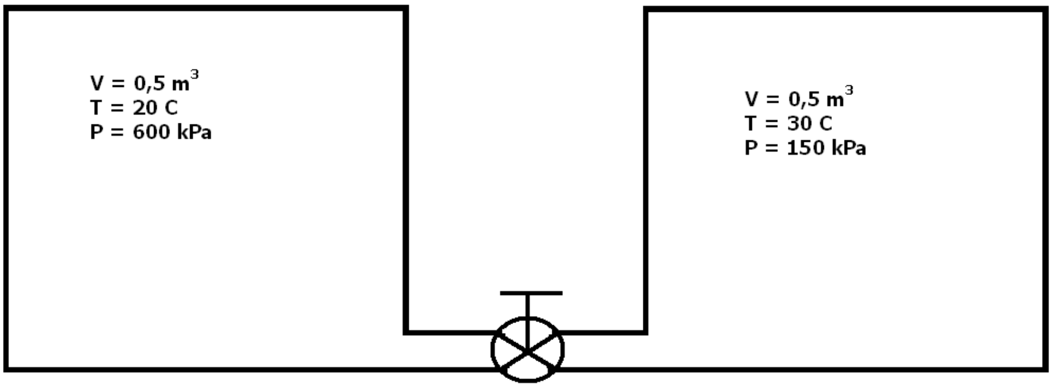
Um tanque rígido com 0,5 m^3 contém hidrogênio à 20°C e 600 kPa esta conectado com outro tanque rígido com 0,5 m^3 também com hidrogênio. A pressão e a temperatura nesse segundo tanque são de 30°C e 150 kPa, respectivamente. A válvula que une os dois tanques é então aberta e o sistema é levado ao equilíbrio térmico com o meio, que se encontra a 15°C. Determine a pressão final do tanque.

<u>Solução</u>



Aplicando a lei de estado para os gases perfeitos, pode-se calcular as massas dos tanques A e B antes da válvula ser aberta como:

$$m_a = \frac{P.V}{R.T} = \frac{600.10^3.0,5}{4,12412.10^3.(273,15+20)} = 0,248 \text{ kg}$$

$$m_b = \frac{P.V}{R.T} = \frac{150.10^3.0,5}{4,12412.10^3.(273,15+30)} = 0,06 \text{ kg}$$

Depois que as válvulas foram abertas, a massa total do tanque (a + b) será a soma das massas iniciais:

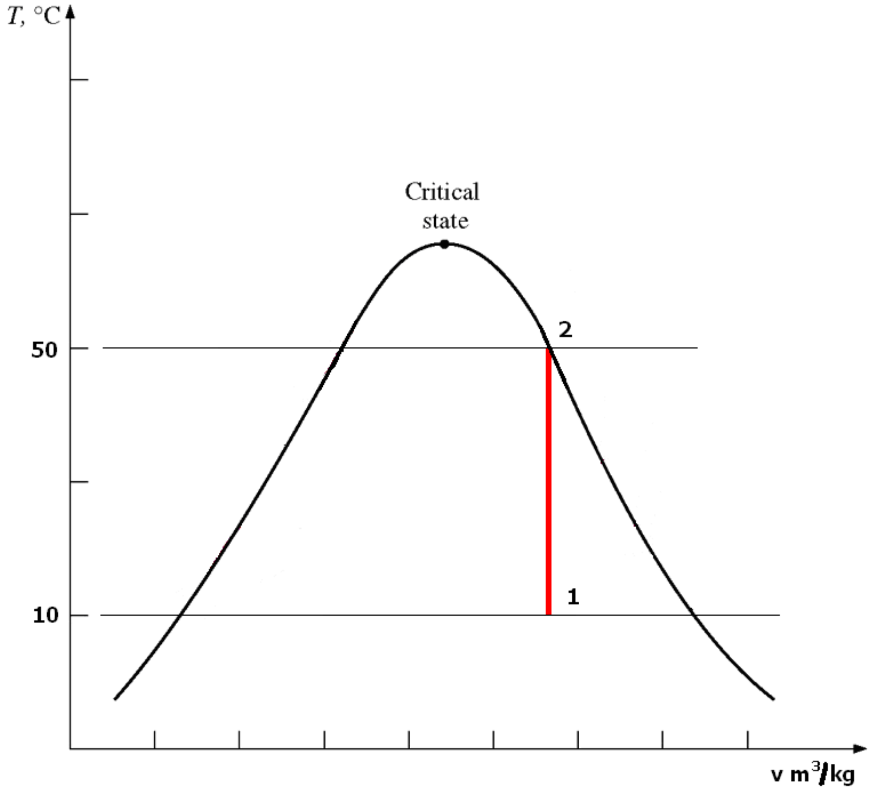
$m = m_a + m_b = 0,248 + 0,06 = 0,3081$ kg

No estado final, os tanques estarão na temperatura ambiente e a pressão poderá ser determinada usando a equação de estado de gás perfeito como:

$$P = \frac{m_a.R.T}{V} = \frac{0,3081.4,12412.10^3.(273,15+15)}{1} = 366\text{kPa}$$

Um reservatório rígido e estanque com capacidade para 2 m^3 contém R-134a saturado a $10^{\circ}C$. O fluido é então aquecido e sabe-se que quando a temperatura atinge $50^{\circ}C$ a fase líquida desaparece. Nestas condições, determine a pressão no estado final do processo de aquecimento e a massa inicial de líquido no reservatório e mostre o processo no diagrama de saturação T-v.

Solução



Do gráfico pode-se constatar que a pressão final corresponde a pressão de saturação na temperatura de 50ºC , que é de p_2 = 1,3180 MPa. O estado inicial corresponde a temperatura de 10ºC e ao volume específico do vapor saturado a temperatura de 50ºC, uma vez que o tanque é rígido. Da tabela termodinâmica pode-se obter que o volume específico do vapor saturado a50ºC é de v_2 = 0,015124 m^3/kg. A massa total no sistema pode ser determinada por:

$$m = \frac{V}{v} = \frac{2}{0,015124} = 132 \text{ kg}.$$

Para se determinar a massa de líquido no início do processo é necessário se determinar o título da mistura nesse estado, que pode ser calculado como a partir do volume específico da mistura (v_1) e do volume específico do vapor (v_v) e do líquido (v_l) saturado, ambos obtido na tabela, como:

$$x = \frac{\mathrm{v}_1 - \mathrm{v}_l}{\mathrm{v}_v - \mathrm{v}_l} = \frac{0,015124 - 0,000794}{0,049451 - 0,000794} = 0,295$$

Como o título é uma razão entre a massa de vapor e a do total, pode-se calcular a massa de líquido como:

$m_l = (1 - x)m_t = (1 - 0,295).132 = 93$ kg

Um secador de ar consiste basicamente de um duto com uma resistência elétrica. Um ventilador empurra o ar contra a resistência elétrica onde é aquecido. A potência dissipada pela resistência elétrica é de 1200 W. Sabendo que o ar entra no secador de ar à 100 kPa e 22°C e deixa-o a 47°C e que a seção e saída é de 60 cm^2, determine (a) a vazão de ar que passa na entrada e a (b) a velocidade na saída. Despreze a potência consumida pelo ventilador e as perdas de calor pelas paredes do aquecedor.

Solução

a) Aplicando a primeira lei entra a entrada e saída do secador de cabelo e desprezando a variação de energia cinética e potencial, pode-se escrever que:

$$\dot{Q}_{VC} = \dot{m}\left(h_s - h_e\right)$$

Considerando o ar como gás perfeito, pode-se determinar a variação de entalpia por:

$dh = c_p.dT$

e sendo c_p constante com a temperatura (T), a variação de entalpia pode ser calculada como:

$h_s – h_e = c_p(T_s – T_e) = 1{,}005.(47 – 22) = 25$ kJ/kg

Portanto, o fluxo de massa pode ser calculado como:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_{VC}}{\left(h_s - h_e\right)} = \frac{1200}{25.10^3} = 48.10^{-3}\,\mathrm{kg/s}$$

A vazão pode ser determinada a partir do fluxo de massa como:

$$\dot{m} = \rho.Q \Rightarrow Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$$

Como se trata de gás perfeito pode-se calcular a massa específica do ar na entrada do secador com a equação de estado de gás perfeito e calcular a vazão como:

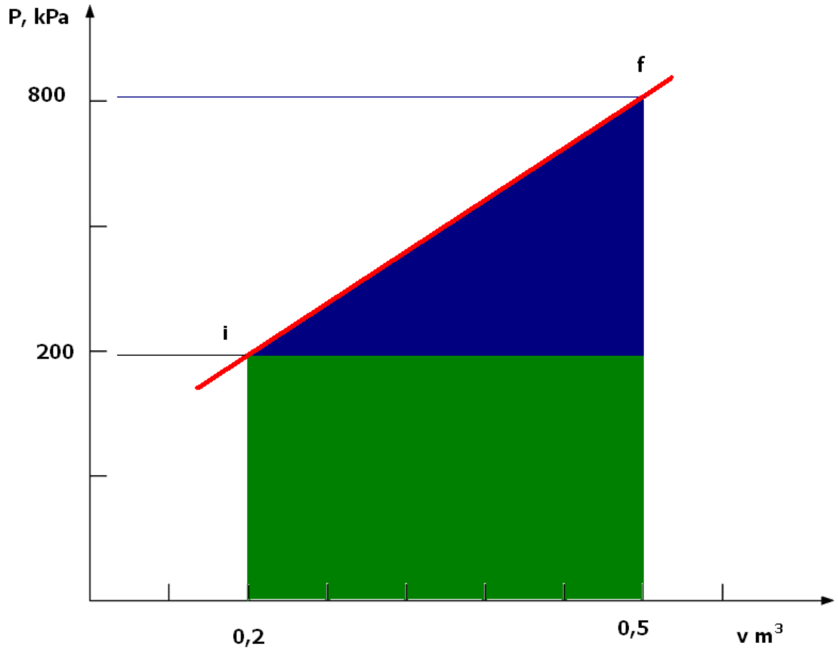
$$Q = \frac{\dot{m}.R.T}{P} = \frac{48.10^{-3}.0{,}287.10^3.\left(273{,}15 + 22\right)}{100.10^3} = 41.10^{-3}\,\mathrm{m^3/s}$$

b) a velocidade pode ser determinada por:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{41.10^{-3}}{64.10^{-4}} = 6\,\mathrm{m/s}$$

Um sistema pistão-cilindro sem atrito contém inicialmente ar a 200 kPa, 30ºC e 0,2m^3. Neste estado, uma mola linear toca o pistão, mas não exerce nenhuma força sobre ele. O ar é então aquecido até o estado final, ocupando um volume de 0,5m^3 e com uma pressão de 800 kPa e 60ºC. Determine: (a) o trabalho total realizado pelo ar; (b) o trabalho realizado contra a mola; c) o calor transferido no processo. Mostre também o processo em um diagrama P-V.

Solução



a) o trabalho realizado pode ser calculado pela área embaixo da curva PxV (área verde e azul) como:

$w = 0{,}5\ (P_f + P_i)(v_f - v_i) = 0{,}5(800 + 200).10^3\ (0{,}5 - 0{,}2) = 150$ kJ/kg

b) o trabalho realizado contra a mola é o referente apenas a parte inclinada (azul) como:

$w = 0{,}5\ (P_f - P_i)(v_f - v_i) = 0{,}5(800 - 200).10^3\ (0{,}5 - 0{,}2) = 90$ kJ/kg

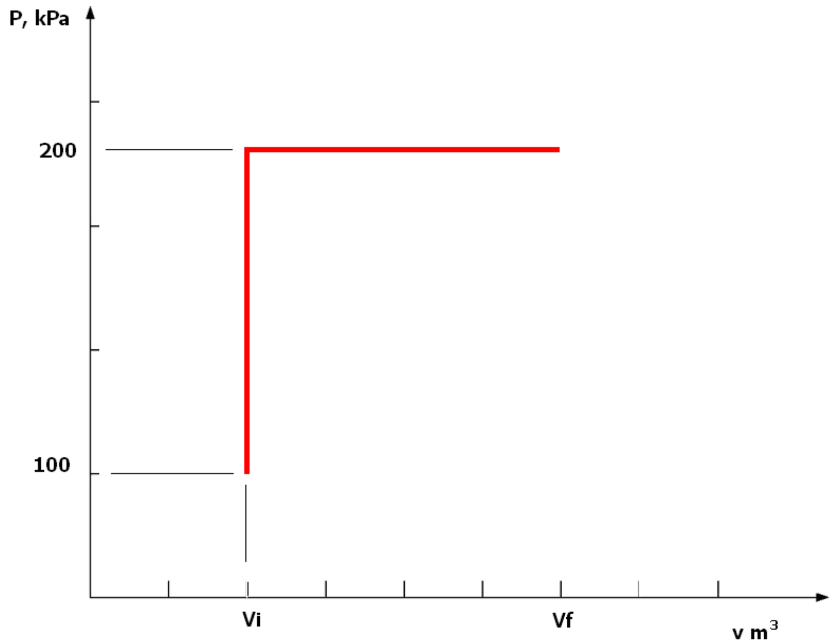
c) o calor pode ser determinado a partir da primeira lei como:

$$Q = m.\Delta u + W = \frac{P.V}{R.T} c_v \Delta T + W$$

$$Q = \frac{200.10^3.0,5}{0,287.10^3\left(273,15+30\right)}.0,7165.10^3.\left(60-30\right)+150.10^3 = 175\text{kJ}$$

Um sistema pistão cilindro contém 5 kg de água a uma pressão de 100 kPa. Inicialmente, 2 kg de água se encontram na fase líquida e o restante na de vapor. Calor é então transferido para o sistema e o pistão, que estava posicionado em um esbarro, começa a se mover quando a pressão atinge 200 kPa. Calor continua sendo transferido ao sistema até que o volume total aumente de 20%. Nessas condições determine: (a) a temperatura inicial e final; (b) a massa de líquido quando o pistão começa a se deslocar e (c) o trabalho realizado durante esse processo. Mostre também o processo em diagrama P-V.

<u>Solução</u>



a) a temperatura inicial do sistema corresponde a temperatura de saturação na pressão de saturação, obtida na tabela como T_i = 99,62 C. Para a temperatura final é necessário se conhecer mais uma propriedade termodinâmica uma vez que só é fornecida a pressão. Uma informação extra que é colocada no problema é que o volume final é 20% superior ao volume inicial, desta forma pode-se escrever que:

$v_f = 1{,}2\ v_i$

e como o estado inicial esta determinado, pode-se determinar o volume específico inicial a partir da tabela como:

$v_i = (1 - x).v_l + x.v_v$

sendo o título determinado por:

$$\chi = \frac{m_v}{m_T} = \frac{5-2}{5} = 0,6\,.$$

Portanto o volume específico no início do processo será:

$v_i = (1 - x).v_l + x.v_v = (1 - 0,6).\ 0,01043 - 0,6.1,694 = 1,02\ m^3/kg$

e o volume específico no final será

$v_f = 1,2.1,02 = 1,23\ m^3/kg$.

Como esse volume específico é maior que o volume específico do vapor saturado na pressão de 200 kPa ($v_v = 0,8857\ m^3/kg$) e portanto a água esta na região de vapor superaquecido. Da tabela para essa região e com os dados conhecidos pode-se determinar a temperatura no final como igual a 261,1ºC.

b) o pistão começa a se deslocar quando a pressão é de 200 kPa, mas não há mudança do volume específico ($v_s = 1,02\ m^3/kg$). Como esse valor é maior que o volume específico do vapor saturado na pressão de 200 kPa ($v_v = 0,8857\ m^3/kg$), o sistema se encontra na região de vapor superaquecido e portanto não há a presença de líquido.

c) o trabalho pode ser calculado pela área abaixo da curva como:

$W = m.P_f.\Delta v = 5.200.10^3.(1,23 - 1,02) = 210\ kJ$.

Vapor d'água entra em uma turbina adiabática a 10 MPa e 500°C com um fluxo de massa de 3 kg/s e sai a 20 kPa. Se a potência gerada na turbina é de 2 MW, determine a temperatura na saída do vapor. Despreze qualquer variação de energia cinética e potencial.

<u>Solução</u>

Aplicando a primeira lei da termodinâmica na turbina e considerando as hipóteses listadas, pode-se escrever que:

$$\dot{W}_{VC} = \dot{m}\left(h_e - h_s\right)$$

Como se conhece o estado na entrada da turbina (P e T > $T_{critica}$) pode-se obter a entalpia na entrada a partir da tabela termodinâmica como h_e = 3376,6 kJ/kg. Desta forma, a entalpia na saída da turbina pode ser calculada como:

$$h_s = h_e - \frac{\dot{W}_{VC}}{\dot{m}} = 3373,6 - \frac{2.10^3}{3} = 2706,9 kJ/kg$$

Com a pressão na saída da turbina (20kPa) e a entalpia (2706,9 kJ/kg) pode-se determinar a temperatura da tabela como sendo 110,7ºC.

Um método promissor para gerar energia envolve coletar e armazenar energia solar em lagos artificial. A energia solar é absorvida em todas as partes do lago e a temperatura cresce em todo o lago. A parte superior do lago, entretanto, perde calor para atmosfera parte do calor que absorve. Como resultado, a temperatura superficial é menor que a do fundo do lago. A baixa temperatura da parte superior do lago funciona como isolante ajudando a aprisionar o calor no lago. Usualmente, sal é adicionado na parte inferior para evitar que a água quente suba. Um gerador de potência que utiliza um fluído orgânico (álcool) como fluido de trabalho pode ser operado entre o topo e o fundo do lago. Se a temperatura perto da superfície é de 35°C e a de baixo é de 80°C, determine a máxima eficiência térmica desta planta?

Solução

A eficiência desse sistema pode ser calculada como:

$$\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}.$$

Assumindo que o sistema funcione como uma máquina de Carnot (máxima eficiência) pode-se determinar a relação entre o calor trocado com o reservatório de baixa e alta como sendo a razoa de suas respectivas temperaturas, desde que ambas estejam na escala termodinâmica de temperatura. Desta forma, a eficiência pode ser calculada como:

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{35 + 273,15}{80 + 273,15} = 0,13$$

Como é conhecido por todos, para se economizar energia a porta de refrigerador não deve ser aberta frequentemente ou permanecer aberta por um longo período. Considerando que um refrigerador doméstico tenha em média 0,9 m^3 de volume e uma temperatura média de 4ºC, uma pressão de 95 kPa e uma umidade de 0,004 kg/m^3 de ar e que tenha cerca de 0,3 m^3 do volume ocupado por mantimentos, prateleiras, líquidos, etc., a 4ºC e que os volume restante (0,6 m^3) seja ocupado por ar. Também considerando que a temperatura média de uma cozinha é de 25ºC, com uma pressão de 95 kPa e com uma umidade de 0,01º kg/m^3 de ar. Estimando que em média uma geladeira é aberta 8 vezes por dia e por um período tal que metade do ar interno é renovado pelo ar quente da cozinha a cada vez que a porta é aberta, determine a quantidade de energia que é perdida em um ano em cada geladeira. Considere que o coeficiente de eficácia do refrigerador é de 1,4.

Solução

A vazão volumetria que entra na geladeira em um ano pode ser determinado por:

$$Q = \frac{0,3.8}{365} = 876 \text{ m}^3/\text{ano}$$

e o fluxo de massa pode ser determinado como:

$$\dot{m} = \rho.Q = \frac{P}{R.T}.Q = \frac{95.10^3}{0,287.10^3.(4+273,15)}.876 = 1047 \text{ kg/ano}$$

A quantidade de umidade que deverá ser condensada e retirada pelo refrigerador será:

$$\dot{m}_{condensado} = \dot{m}.\Delta\text{umidade} = 1047.(0,01-0,004) = 6,28 \text{ kg/ano}.$$

A entrada dessa massa de ar representa um acréscimo da necessidade de refrigeração referente ao aquecimento da massa de ar (1047 kg/ano) e a condensação de toda a umidade (6,28 kg/ano). O calor necessário para o aquecimento da massa de ar pode ser determinado como:

$$\dot{Q}_{aquecimento} = \dot{m}_{ar}.c_p.\Delta T = 1047.1,005.\left(4-20\right) = -16,836 \text{ MJ/ano}$$

O calor necessário para a condensação de toda a umidade pode ser obtida a partir da diferença de entalpia entre o vapor e o líquido saturado na temperatura do interior da geladeira como:

$$\dot{Q}_{condensação} = \dot{m}_{condensado}.\Delta h = \dot{m}_{condensado}.\left(h_l - h_v\right) = 6,28.\left(16,77-2509\right) = -15,65 \text{ MJ/ano}$$

Desta formo, a quantidade extra de calor que será necessário retirar da geladeira será de:

$$\dot{Q}_{extra} = \dot{Q}_{aquecimento} + \dot{Q}_{condensação} = -16,836 - 15,650 = -32,486 \text{ MJ/ano}.$$

Esse extra de calor a ser retirado representará uma potência extra também ao refrigerador. Como o coeficiente de eficácia do refrigerador é conhecido, pode-se estimar o acréscimo do consumo de potência como:

$$\dot{W}_{extra} = \beta.\dot{Q}_{extra} = 1,4.32,486 = 45,480 \text{ MJ/ano}$$

Durante o processo de rejeição de calor de um motor de Carnot o fluido de trabalho apresenta uma variação de entropia de -0,7 kJ/K. Se a temperatura do reservatório frio é de 25ºC, determine: a) a quantidade de calor trocada pelo motor com o reservatório frio; b) a variação de entropia da fonte fria; c) a variação total de entropia do processo.

Solução

a) Como o motor é um motor de Carnot (reversível) pode-se calcular o processo de transferência de calor como isotérmico como:

$Q_L = \Delta S.T_L = -\,0,7.\ (25 + 273,15) = -\,208$ kJ

b) Como o motor térmico é reversível, a variação líquida de entropia deverá ser nula. Portanto, a variação de entropia do reservatório frio deverá ser tal que anule a entropia líquida. Desta forma, $\Delta S_L = 0,7$ kJ/K.

c) Como foi dito anteriormente, $\Delta S_T = 0$.

Um tanque A possui volume interno de 1 m^3 e contém ar a 25ºC e 500 kPa. O tanque B contém 4 kg de ar a 60ºC e 200 kPa. Uma válvula que interliga os tanques é aberta e espera-se até que o ar atinja o equilíbrio térmico com o meio, que se encontra a 20ºC. Nessas condições, determine a pressão do ar no estado final e quantidade de calor trocado com o meio até que o sistema atinja o equilíbrio. Considere que o ar se comporte como gás perfeito e que os calores específicos são constantes durante o processo.

$\forall_A = 1 m^3$

$T_i^A = 25 C = 298 K$

$P_i^A = 500 kPa$

$m_B = 4 Kg$

$T_i^B = 60 ºC = 333 K$

$P_i^B = 200 kPa$

$T_\infty = 20 C = T_f = 293 K$

a) $P_f = ?$

Aplicando equação de estado p/ os gases perfeitos, pode-se escrever que:

$$P_f = \frac{(m_A + m_B) . R . T_f}{\forall_A + \forall_B} \Rightarrow P_f = \frac{(5,8 + 4) 0,287 \times 293}{1 + 1,9} = 284 kPa$$

$$m_A = \frac{P_i^A . \forall_i^A}{R . T_i A} \Rightarrow m_A = \frac{500 \times 1}{0,287 \times 298} \Rightarrow m_A = 5,8 kg$$

$$\forall_B = \frac{m_B . R . T_i^B}{P_i^B} \Rightarrow \forall_B = \frac{4 \times 0,287 \times 333}{200} \Rightarrow \forall_B = 1,9 m^3$$

b) APLICANDO A PLT

$$Q = m \cdot \Delta u + W$$

Como o trabalho realizado pelo tanque A é recebido pelo tanque B e vice-versa, $\Rightarrow W = 0$

$\therefore$

$$Q = m \cdot \Delta u \rightarrow Q = (m_A + m_B)\, C_p\, T_f - m_A \cdot C_p\, T_i^A - m_B\, C_p\, T_i^B$$

$$\Rightarrow Q = m_A\, C_p (T_f - T_i^A) + m_B \cdot C_p (T_f - T_i^B)$$

$$Q = 5{,}81 \times 0{,}7\,(293 - 298) + 4 \times 0{,}7\,(293 - 333)$$

$$\boxed{Q = -132 \text{ KJ}}$$

A figura mostra o esquema de uma pistola de ar comprimido que possuí uma câmara de 1 cm^3 preenchida com ar a 27ºC e 1 MPa. A expansão isotérmica do ar arremessa um projétil de 15 g quando o gatilho é acionado. Sabendo que a pressão atmosférica é de 0,1MPa, determine:

a) O volume final e a massa de ar contido na pistola;
b) O trabalho realizado pela expansão do ar contido na câmara da pistola e o trabalho realizado na atmosfera;
c) O trabalho realizado no projétil e a sua velocidade na seção de saída do cano.

$V_i = 1\,cm^3 = 10^{-6}\,m^3$; $T = 300\,K$; $P_i = 1\,MPa$ $P_f = 0{,}1\,MPa$

a) O volume final pode ser obtido a partir de uma expansão isotérmica até 0,1 MPa de um gas perfeito

$$P_i V_i = P_f V_f \Rightarrow V_f = \frac{P_i V_i}{P_f} \Rightarrow V_f = \frac{1\times10^{+6}\times 10^{-6}}{0{,}1\times10^{6}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \boxed{V_f = 10^{-5}\,m^3}$$

A massa pode ser obtida a partir a equação de estado para os gases perfeitos

$$m = \frac{PV}{RT} \Rightarrow m = \frac{1\times10^{3}\times 10^{-6}}{0{,}287\times 300} \Rightarrow \boxed{m = 1{,}16\times10^{-5}\,Kg}$$

b) A expansão é isotérmica ∴ $PV = cte$ ou $P = \frac{cte}{V} = \frac{P_i V_i}{V}$

O trabalho da expansão pode ser calculado por:

$$W = \int P\,dV \Rightarrow W = P_i V_i \int \frac{dV}{V} = P_i V_i \ln(V_f/V_i) = 1\times10^{6} \cdot 10^{-6} \cdot \ln(10^{-5}/10^{-6})$$

$\therefore \underline{W = 2{,}3\ J}$

O trabalho realizado contra a atmosfera pode ser calculado por:

$$W = \int P dV \quad , \quad P = cte \therefore W = P \Delta V$$

$$W = 0{,}1 \times 10^{6} (10^{-5} - 10^{-5}) \Rightarrow \underline{W = -0{,}9\ J}$$

c) O trabalho líquido recebido pelo projetil será

$$W_{liq} = W_{ex} + W_{ATM} = 2{,}3 - 0{,}9 \Rightarrow W_{liq} = 1{,}4\ J$$

Esse trabalho será utilizado p/ aumentar a velocidade do projetil desde o repouso.

$$\therefore W_{liq} = \Delta EC \Rightarrow \frac{1}{2} m V_f^2 = W_{liq} \quad ou$$

$$V_f = \left(\frac{2 W_{liq}}{m} \right)^{1/2} \Rightarrow V_f = \left(\frac{2 \times 1{,}4}{15 \times 10^{-3}} \right)^{1/2}$$

$$\boxed{V_f = 13{,}7\ m/s}$$

Um reator com 1 m^3 contém água a 20 MPa e 360ºC e está localizado dentro de um vaso de contenção. O vaso de contenção é bem isolado e, inicialmente, está evacuado. Admitindo que o reator rompa, após uma falha de operação, determine qual deverá ser o volume mínimo do tanque de contenção para que a pressão final do vaso de contenção não seja maior que 200 kPa.

Como o reator está isolado, pode-se escrever da PLT ~~ou~~E:

$$\Delta U = 0 \Rightarrow U_f = U_i$$

Da tabela pode-se obter que:

$$u_i = u_f =$$

$$\left.\begin{array}{l} T = 360°C \\ P = 20\,MPa \end{array}\right\rangle \begin{array}{c} LC \\ T < T_S \end{array} \Rightarrow \begin{array}{l} u_i = 1702{,}78\ kJ/Kg \\ v_i = 0{,}0018226\ m^3/Kg \\ m = 549\ Kg \end{array}$$

Como $u_\ell < u < u_g \Rightarrow$ REGIÃO DE SATURAÇÃO

$$x = \frac{u - u_\ell}{u_g - u_\ell} \rightarrow x = \frac{1702{,}78 - 504{,}68}{2529{,}5 - 504{,}68} \Rightarrow x = 0{,}59$$

$$v = 0{,}52\ m^3/Kg \Rightarrow V_f = v \cdot m \Rightarrow V_f = 285\ m^3$$

∴ Volume do tanque será.

$$V_T = V_f - V_i \Rightarrow \underline{V_T = 284\,m^3}$$

Uma pessoa em repouso transfere cerca de 400 kJ/h de calor ao meio ambiente. Supondo que a operação do sistema de condicionamento de ar um auditório com capacidade para 100 pessoas e volume de 1500 m^3 falhe, determine a taxa de aumento de temperatura da sala. Suponha que inicialmente a temperatura da sala seja de 300 K e o que a pressão atmosférica do local seja de 101 kPa.

Considerando que o auditório esteja isolado e aplicando a PLT, pode-se escrever que:

$$Q = \Delta U \Rightarrow \dot{Q} = \frac{d}{dt}(m \Delta u)$$

Considerando que a massa do autório seja constante e que o ar se comporte com G.P ⇒

$$\Rightarrow \dot{Q} = m c_p \frac{dT}{dt} \Rightarrow \frac{dT}{dt} = \frac{\dot{Q}}{m c_p}$$

Como o auditório tem capacidade p/ 100 pessoas

$$\Rightarrow \dot{Q} = 100\ \dot{Q}_p \Rightarrow \dot{Q} = 100 \times 400 \Rightarrow \dot{Q} = 40.000\ kJ/h$$

Como o ar é considerado como GP ⇒

$$m = \frac{PV}{RT} \Rightarrow m = \frac{101 \times 1500}{0{,}287 \times 300} \Rightarrow \underline{m = 1760\ kg}$$

$$\therefore \frac{dT}{dt} = \frac{40.000}{1760 \times 0{,}717} \Rightarrow \frac{dT}{dt} = 31{,}71\ K/h$$