PME3344 – Termodinâmica Aplicada - 1a. Prova – 23/04/2018

Nome: ____ NUSP: ______________

1ª Questão) Considere o conjunto mostrado na figura. O pistão pode mover-se sem atrito entre os dois conjuntos de batentes. Quando o pistão repousa sobre os batentes inferiores o volume interno é de 0,3 m^3, e quando encosta nos batentes superiores, o volume é de 0,7 m^3. A pressão ambiente exterior (p_0) e o peso do pistão são tais que uma pressão de 400 kPa é necessária para erguer o pistão. O cilindro contém água, inicialmente a 100 kPa e com título de 30%. O conjunto é aquecido até que a água atinja a condição de vapor saturado. Pede-se para:

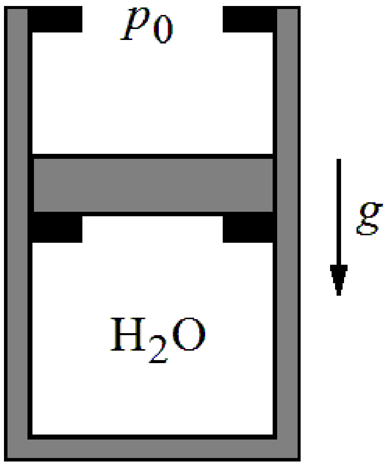
a) determinar a massa de água no interior do conjunto;

b) identificar se na condição final de vapor saturado o pistão deixará os batentes inferiores e, também, se atingirá os batentes superiores;

c) determinar a pressão final no interior do cilindro;

d) representar o processo em um diagrama p-v;

e) determinar o calor transferido, o trabalho realizado pela água e a variação de entropia.



Solução:

Hipóteses:

- O sistema é a água no interior do cilindro
- Os estados inicial e final são estados de equilíbrio
- O processo é de quase-equilíbrio ou quase-estático
- Sistema estacionário (variação de E_c nula)
- A variação de E_p é desprezível

A partir das propriedades do estado 1 (p_1 = 100 kPa; x_1 = 0,3) e da tabela da água saturada temos:

Tabela B.1.2
Água saturada: tabela em função da pressão

		Volume específico (m^3/kg)		Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/kg K)		
Pressão kPa	Temp. °C	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
75	91,77	0,001037	2,21711	394,29	2112,39	2496,67	384,36	2278,59	2662,96	1,2129	6,2434	7,4563
100	99,62	0,001043	1,69400	417,33	2088,72	2506,06	417,44	2258,02	2675,46	1,3025	6,0568	7,3593
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

como $x_1 = 0,3$ $\Rightarrow$ $v_1 = x_1 v_{v1} + (1-x_1)v_{l1} = 0,5089\ m^3/kg$

$u_1 = x_1 u_{v1} + (1-x_1)u_{l1} = 1043,95$ kJ/kg

tendo v1 e V1 $\Rightarrow$ $m = V_1/v_1$ $\quad V_1 = 0,3\ m^3 \Rightarrow m = 0,589$ kg

Para verificar se o pistão deixa os batentes inferiores é preciso verificar se para p_2 = 400 kPa o volume específico do vapor saturado é maior, igual ou menor que v_1. Voltando à tabela da água saturada agora com p_2 = 400 kPa temos:

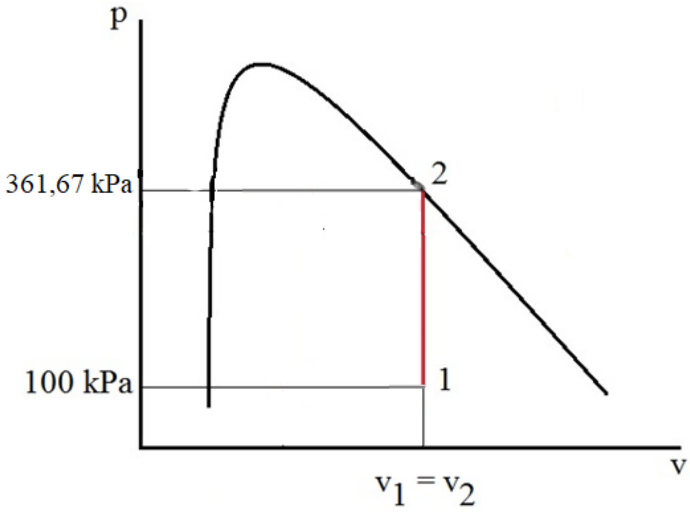
Tabela B.1.2
Água saturada: tabela em função da pressão

Pressão kPa	Temp. °C	Volume específico (m³/kg) Líquido sat.	Vapor sat.	Energia interna (kJ/kg) Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Entalpia (kJ/kg) Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Entropia (kJ/kg K) Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
P	T	v_l	v_v	u_l	u_{lv}	u_v	h_l	h_{lv}	h_v	s_l	s_{lv}	s_v
350	138,88	0,001079	0,52425	583,93	1964,98	2548,92	584,31	2148,10	2732,40	1,7274	5,2130	6,9404
375	141,32	0,001081	0,49137	594,38	1956,93	2551,31	594,79	2140,79	2735,58	1,7527	5,1647	6,9174
400	143,63	0,001084	0,46246	604,29	1949,26	2553,55	604,73	2133,81	2738,53	1,7766	5,1193	6,8958

Como $v_v = 0,46246 < v_1$, isso indica que foi atingida condição de vapor saturado, que é a nossa condição final do processo. Portanto **<u>o pistão não irá deixar os batentes inferiores</u>** e o processo ocorrerá a volume constante.

A condição final da água é dada para uma pressão no qual se tenha vapor saturado com volume específico igual a 0,5089 m³/kg. Logo esta pressão é 361,67 kPa e as propriedades neste estado são:

$$u_2 = u_{v,p=361,67kPa} = 2550,04 \text{ kJ/kg}$$
$$s_2 = s_{v,p=361,67kPa} = 6,9297 \text{ kJ/kg.K}$$



Como o processo 1-2 ocorre a volume constante W_{12} é nulo.

Aplicando a Primeira Lei entre os pontos 1 e 2, lembrando que ΔE_c e ΔE_p são desprezíveis

$$m(u_2 - u_1) = Q_{1\to2} - W_{1\to2}$$

$$W_{1\to2} = 0$$

$$Q_{1\to2} = m(u_2 - u_1) = 0,589 * (2550,04 - 1043,95) = 887,09\ kJ$$

Como não há atrito (σ=0). a variação de entropia é dada por:

$$\Delta S_{1\to2} = m(s_2 - s_1)$$

Como $x_1 = 0,3$ $\Rightarrow$ $s_1 = x_1 s_{v1} + (1-x_1)s_{l1} = 0,3*7,3593 + (1-0,3)*(1,3025) = 3,1195$ kJ/kg.K

Logo:

$$\Delta S_{1\to2} = m(s_2 - s_1) = 0,589 * (6,9297 - 3,1195) = 2,2442\ kJ/kg.K$$

PME3344 – Termodinâmica Aplicada - 1a. Prova – 23/04/2018

Nome: ____ NUSP: _____________

2ª Questão) Um sistema contém inicialmente 4 kg de ar a P_1 = 1200 kPa e T_1 = 900K. O sistema é submetido a um ciclo motor composto pelos seguintes processos:

- Processo 1-2: expansão isotérmica até $V_2 = 3*V_1$;
- Processo 2-3: compressão a pressão constante;
- Processo 3-1: aquecimento a volume constante.

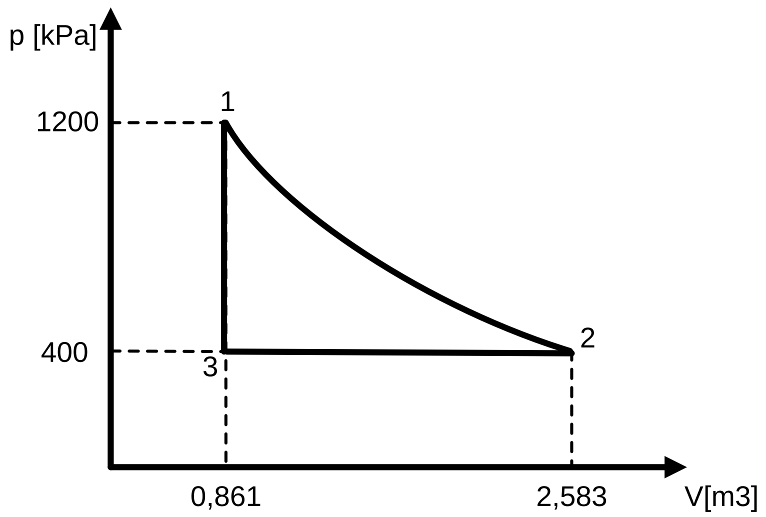
Admitindo modelo de gás ideal, calores específicos constantes e desprezando os efeitos das energias cinética e potencial: (a) esboce o ciclo em um diagrama P-V, (b) calcule o trabalho realizado pelo sistema em cada processo, (c) calcule o calor trocado em cada processo; (d) determine o rendimento térmico do ciclo.
Se a expansão 1-2 obedecesse a relação $p.V^{1,5}$ = constante, o rendimento do ciclo seria maior ou menor? Explique utilizando o diagrama P-V.
Dados para o ar: R = 0,287 kJ/kg.K, C_p = 1,004 kJ/kg.K, C_v = 0,717 kJ/kg.K.

Solução:

Hipóteses:

- O sistema é a massa de ar
- Os estados no ciclo são estados de equilíbrio
- O processo é de quase-equilíbrio ou quase-estático
- Sistema estacionário (variação de E_c nula)
- A variação de E_p é desprezível

O processo no diagrama p-V é apresentado abaixo:



Sendo:

$$p_1V_1 = m_{ar}R_{ar}T_1 \Rightarrow V_1 = \frac{m_{ar}R_{ar}T_1}{p_1} = \frac{4*287*900}{1200x10^3} = 0,861m^3$$

$$p_2V_2 = m_{ar}R_{ar}T_2 \Rightarrow p_2 = \frac{m_{ar}R_{ar}T_2}{V_2} = \frac{4*287*900}{3*0,861} = 400kPa$$

$$p_3V_3 = m_{ar}R_{ar}T_3 \Rightarrow T_3 = \frac{p_3V_3}{m_{ar}R_{ar}} = \frac{400x10^3 * 0,861}{4 * 287} = 300K$$

Aplicando a 1ª Lei para o processo 1→2 temos:

$$m_{ar}(u_2 - u_1) = Q_{1\to2} - W_{1\to2}$$

$$m_{ar}C_v(T_2 - T_1) = 0 \Rightarrow Q_{1\to2} = W_{1\to2}$$

Sendo uma expansão isotérmica: pV=constante=p_1V_1

$$W_{1\to2} = \int_1^2 \delta W = \int_1^2 pdV = p_1V_1 \int_1^2 \frac{1}{V} dV = p_1V_1 ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 1200 * 10^3 * 0,861 ln\left(\frac{2,583}{0,861}\right) = 1135,1\ kJ$$

$$W_{1\to2} = Q_{1\to2} = 1135,1\ kJ *$$

Aplicando a 1ª Lei para o processo 2→3 temos:

$$m_{ar}(u_3 - u_2) = Q_{2\to3} - W_{2\to3}$$

$$W_{2\to3} = \int_2^3 \delta W = \int_2^3 pdV = p_3(V_3 - V_2) = 400x10^3 * (0,861 - 2,583) = -688,8kJ$$

$$m_{ar}C_v(T_3 - T_2) = Q_{2\to3} - W_{2\to3}$$

$$4 * 717 * (300 - 900) = -1720,8\ kJ = Q_{2\to3} - W_{2\to3}$$

$$Q_{2\to3} = -1720,8\ - 688,8 = -2409,6kJ$$

Aplicando a 1ª Lei para o processo 3→1 temos:

$$m_{ar}(u_1 - u_3) = Q_{3\to1} - W_{3\to1}$$

Sendo um processo a volume constante:

$$W_{3\to1} = \int_3^1 \delta W = \int_3^1 pdV = 0$$

$$Q_{3\to1} = m_{ar}C_v(T_1 - T_3) = 4 * 717 * (900 - 300) = 1721kJ$$

O rendimento térmico do ciclo é dado por:

$$\eta_{ciclo} = \frac{W_{útil}}{Q_{fornecido}} = \frac{1135,1 - 688,8}{1721 + 1135,1} = 0,156(15,6\%)$$

Caso o processo seja realizado com base na relação $p.V^{1,5}$ = constante temos que:

$$p_1V_1^{1,5} = p_2V_2^{1,5} \Rightarrow p_2 = p_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1,5} = 1200 * \left(\frac{0,861}{2,583}\right)^{1,5} \Rightarrow p_2 = 231\ kPa$$

$$T_2 = \frac{p_2V_2}{m_{ar}R_{ar}} = \frac{(231 * 10^3) * (2,583)}{4 * 287} = 520\ K$$

$$\frac{p_2V_2}{T_2} = \frac{p_3V_3}{T_3} \Rightarrow T_3 = T_2\frac{V_3}{V_2} = 520 * \left(\frac{0,861}{2,583}\right) = 173,3\ K$$

$$W_{1\to2} = \frac{p_2V_2 - p_1V_1}{1-n} = \frac{(231 * 10^3) * (2,583) - (1200 * 10^3) * (0,861)}{1 - 1,5} = 873,4\ kJ$$

$$m_{ar}(u_2 - u_1) = Q_{1\to2} - W_{1\to2}$$

$$Q_{1\to2} = m_{ar}(u_2 - u_1) + W_{1\to2} = m_{ar}C_v(T_2 - T_1) + W_{1\to2}$$

$$Q_{1\to2} = 4 * 717 * (520 - 900) + 873,1 = -217,6\ kJ$$

$$W_{2\to3} = p_3(V_3 - V_2) = 231x10^3 * (0,861 - 2,583) = -397,7\ kJ$$

$$m_{ar}C_v(T_3 - T_2) = Q_{2\to3} - W_{2\to3}$$

$$4 * 717 * (173,3 - 520) = -993,5\ kJ = Q_{2\to3} - (-397,8) \Rightarrow Q_{2\to3} = -1391,2\ kJ$$

$$W_{3\to1} = 0$$

$$Q_{3\to1} = m_{ar}C_v(T_1 - T_3) = 4 * 717 * (900 - 173,3) = 2084,4\ kJ$$

$$\eta_{ciclo} = \frac{W_{útil}}{Q_{fornecido}} = \frac{873,1 - 397,8}{2084,4} = 0,228(22,8\%)$$

Para o processo com pV= constante				**Para o processo com $pV^{1,5}$= constante**			
Versão	**1**	**2**	**3**	**Versão**	**1**	**2**	**3**
k	3	4	5	**k**	3	4	5
V_1 [m³]	0,861	0,861	0,861	**V_1 [m³]**	0,861	0,861	0,861
p_1 [kPa]	1200	1200	1200	**p_1 [kPa]**	1200	1200	1200
T_1 [K]	900	900	900	**T_1 [K]**	900	900	900
V_2=k*V_1 [m³]	2,583	3,444	4,305	**V_2=k*V_1 [m³]**	2,583	3,444	4,305
p_2 [kPa]	400	300	240	**p_2 [kPa]**	231	150	107
T_2 [K]	900	900	900	**T_2 [K]**	520	450	402
V_3 [m³]	0,861	0,861	0,861	**V_3 [m³]**	0,861	0,861	0,861
p_3 [kPa]	400	300	240	**p_3 [kPa]**	231	150	107
T_3 [K]	300	225	180	**T_3 [K]**	173	113	80
$Q_{1\to2}$ [kJ]	1135,1	1432,3	1662,9	**$Q_{1\to2}$ [kJ]**	-217,6	-257,4	-284,6
$W_{1\to2}$ [kJ]	1135,1	1432,3	1662,9	**$W_{1\to2}$ [kJ]**	873,4	1033,2	1142,3
$W_{2\to3}$ [kJ]	-688,8	-774,9	-826,6	**$W_{2\to3}$ [kJ]**	-397,7	-387,5	-369,6
$Q_{2\to3}$ [kJ]	-2409,6	-2710,8	-2891,5	**$Q_{2\to3}$ [kJ]**	-1391,2	-1355,4	-1293,1
$Q_{3\to1}$ [kJ]	1721	1935,9	2065,0	**$Q_{3\to1}$ [kJ]**	2084,4	2258,6	2350,3
$W_{3\to1}$ [kJ]	0	0	0	**$W_{3\to1}$ [kJ]**	0	0	0
η_{ciclo}	15,6%	19,5%	22,4%	**η_{ciclo}**	22,8%	28,6%	32,9%