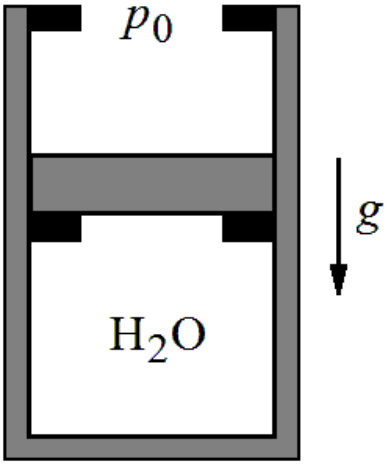
PME3344 – Termodinâmica Aplicada - 1a. Prova – 30/08/2016

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 0,4 m^3, e quando encosta nos batentes superiores, o volume é de 0,6 m^3. A pressão ambiente exterior (p_0) e o peso do pistão são tais que uma pressão de 300 kPa é necessária para erguer o pistão. O cilindro contém água, inicialmente a 100 kPa e com título de 20%. 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 e o trabalho realizado pela água.



Gabarito da 1ª Questão

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) A partir das propriedades do estado 1 (p_1 = 100 kPa; x_1 = 0,2) 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	384,29	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

como $x_1 = 0,2 \Rightarrow$ $v_1 = x_1 v_{v1} + (1-x_1) v_{l1} = 0,3396$ m_3/kg
$u_1 = x_1 u_{v1} + (1-x_1) u_{l1} = 835,08$ kJ/kg

tendo v1 e V1 $\Rightarrow$ $m = V_1/v_1$ {
Prova versão 1: $V_1 = 0,4\ m^3 \Rightarrow m = 1,178$ kg
Prova versão 2: $V_1 = 0,45\ m^3 \Rightarrow m = 1,325$ kg
Prova versão 3: $V_1 = 0,5\ m^3 \Rightarrow m = 1,472$ kg

b) Para verificar se o pistão deixa os batentes inferiores é preciso verificar se para p_2 = 300 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 = 300 kPa temos:

		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.
275	130,60	0,001070	0,65731	548,57	1991,95	2540,53	548,87	2172,42	2721,29	1,6407	5,3801	7,0208
300	133,55	0,001073	0,60582	561,13	1982,43	2543,55	561,45	2163,85	2725,30	1,6717	5,3201	6,9918
325	136,30	0,001076	0,56201	572,88	1973,46	2546,34	573,23	2155,76	2728,99	1,7005	5,2646	6,9651
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

Como $v_v = 0,60582 > v_1$ (nas três versões de prova), isso indica que ainda não atingimos a condição e vapor saturado, que é a nossa condição final do processo. Portanto **<u>o pistão irá deixar os batentes inferiores</u>** e o processo que estava ocorrendo a volume constante passará a ocorrer a pressão constante.

Nesse estado 2, a partir da tabela temos que

$$v_2 = 0,3396 = x_2 v_{v2} + (1-x_2)v_{l2} \Rightarrow \qquad x_2 = 0,56$$

$$u_2 = x_2 u_{v2} + (1-x_2)u_{l2} = 1671,28 \text{ kJ/kg}$$

Da mesma maneira, para verificar se o pistão atinge os batentes superiores, precisamos verificar se para esse novo volume total V_3 e a pressão de 300 kPa o volume específico do vapor saturado é maior, igual ou menor que $v_3 = V_3/m$, Assim:

Prova versão 1: $V_3 = 0,6\ m^3 \Rightarrow v_3 = 0,5093\ m^3/kg$
Prova versão 2: $V_3 = 0,65\ m^3 \Rightarrow v_3 = 0,4905\ m^3/kg$
Prova versão 3: $V_3 = 0,7\ m^3 \Rightarrow v_3 = 0,4761\ m^3/kg$

Como $v_v = 0,60582 > v_3$ (nas três versões de prova), isso indica que ainda não atingimos a condição e vapor saturado, que é a nossa condição final do processo. Portanto **<u>o pistão irá atingir os batentes superiores</u>** e o processo que estava ocorrendo a pressão constante voltará a ocorrer a volume constante até uma pressão maior que $p_3 = 300$ kpa, e na qual $v_3 = v_v$.

Voltando à tabela temos que

Prova versão 1: $v_3 = 0,5093\ m^3/kg \Rightarrow$ $x_3 = 0,84$, $u_3 = 2226,36$ kJ/kg

Prova versão 2: $v_3 = 0,4905\ m^3/kg \Rightarrow$ $x_3 = 0,81$, $u_3 = 2166,89$ kJ/kg

Prova versão 3: $v_3 = 0,4761\ m^3/kg \Rightarrow$ $x_3 = 0,79$, $u_3 = 2127,24$ kJ/kg

c) A partir dos itens anteriores, na condição final do processo precisamos ter $v_4 = v_3$ e $x_4 = 1$ (vapor saturado). Mais uma vez voltando à tabela da água saturada:

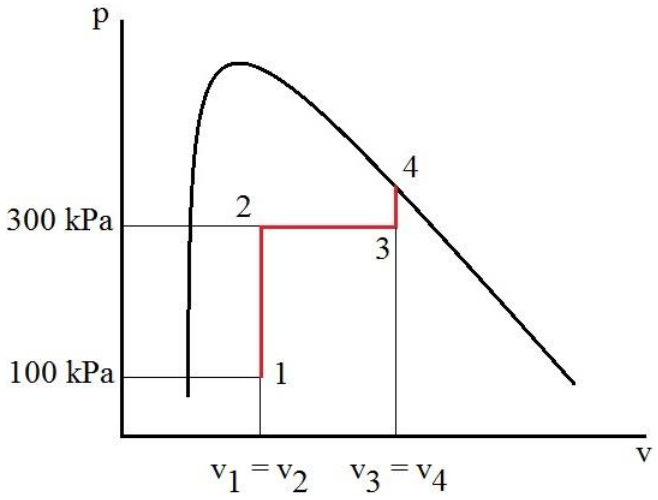
		Volume específico (m^3/kg)		Energia interna (kJ/kg)			Entalpia (kJ/kg)			Entropia (kJ/kg K)		
Pressão kPa	Temp. °C	Líquido sat.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.	Líquido sat.	Evap.	Vapor sat.
350	138,88	0,001079	0,52425	583,93	1964,98	2548,92	584,31	2148,10	2732,40	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
450	147,93	0,001088	0,41398	622,75	1934,87	2557,62	623,24	2120,67	2743,91	1,8206	5,0359	6,8565
500	151,86	0,001093	0,37489	639,66	1921,57	2561,23	640,21	2108,47	2748,67	1,8606	4,9606	6,8212

Prova versão 1: $v_4 = 0{,}5093\ m^3/kg \Rightarrow 350 < p_4 < 375\ kPa$; interpolando $\Rightarrow$ p4 = 361,4 kPa
u4 = 2550,0 kJ/kg

Prova versão 2: $v_4 = 0{,}4545\ m^3/kg \Rightarrow 375 < p_4 < 400\ kPa$; interpolando $\Rightarrow$ p4 = 375,8 kPa
u4 = 2551,37 kJ/kg

Prova versão 3: $v_4 = 0{,}4082\ m^3/kg \Rightarrow 375 < p_4 < 400\ kPa$; interpolando $\Rightarrow$ p4 = 388,2 kPa
u4 = 2552,49 kJ/kg

d)



e) Como os processos 1-2 e 3-4 ocorrem a volume constante W_{12} e W_{34} são nulos. Para o processo 2-3 temos

$$W_{23} = \int_2^3 p\,dV = \text{ área sobre o gráfico} = \underbrace{p_2\left(V_3 - V_2\right)}_{\text{pressão constante}} = 300.0{,}2 = 60kJ$$

Aplicando a Primeira Lei entre os pontos 1 e 4, lembrando que ΔE_c e ΔE_p são desprezíveis

$$m\left(u_4 - u_1\right) = Q_{14} - W_{14}$$

$$\therefore Q_{14} = m\left(u_4 - u_1\right) + W_{23} \Rightarrow \begin{cases} \text{prova versão 1: } Q_{14} = 2080{,}18kJ \\ \text{prova versão 2: } Q_{14} = 2334{,}08kJ \\ \text{prova versão 3: } Q_{14} = 2588{,}03kJ \end{cases}$$

2a Questão) Um sistema contém inicialmente 5 kg de ar a P1 = 10 bar e T1 = 800K. O sistema é submetido a um ciclo motor composto pelos seguintes processos:

- Processo 1-2: expansão isotérmica até V2 = 2,5*V1;
- 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.V1,3 = 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, Cp = 1,004 kJ/kg.K, Cv = 0,717 kJ/kg.K.

Gabarito da 2ª Questão

No estado 1: p_1=10 bar=1,0 MPa e T_1=800 K → $v_1 = RT_1/p_1 = (287*800)/1,0x10^6 = 0,230\,m^3/kg$ → $v_1 = V_1/m \Rightarrow V_1 = mv_1 = 5*0,230 = 1,15m^3$

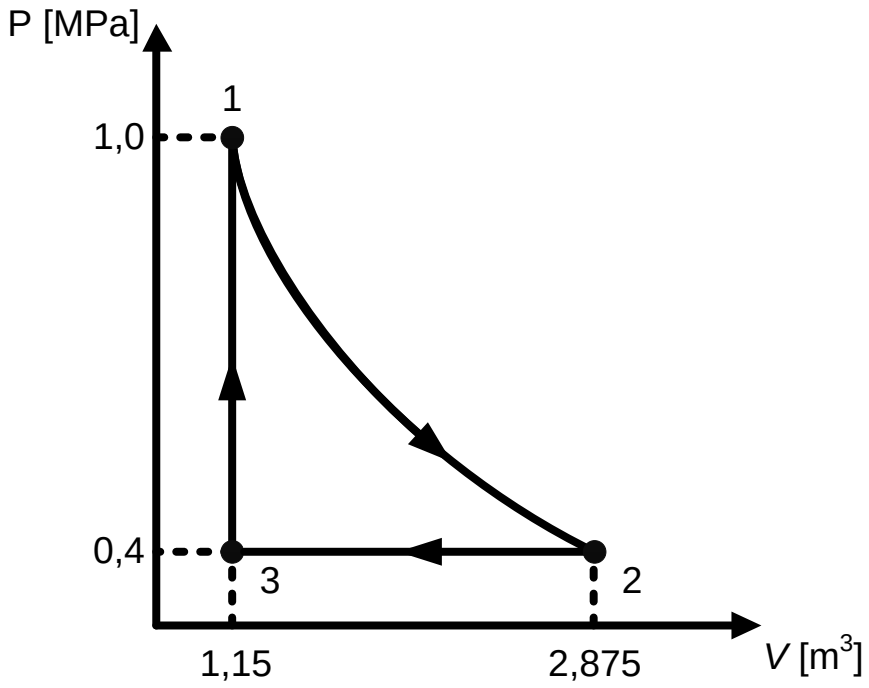
No estado 2: V_2=2,5* V_1 =2,5*1,15=2,875m^3 e sendo um processo isotérmico: $p_1v_1 = p_2v_2$. Logo:

$p_2 = p_1v_1/v_2 = (1,0x10^6 * 0,23)/(2,875/5) = 0,4MPa$; T_2= T_1=800 K e $v_2 = (2,875/5) = 0,575\,m^3/kg$

No estado 3: p_3=p_2 =0,4 MPa e v_3=v_1 =0,230 m^3/kg (processo a volume constante), logo:

$T_3/v_3 = T_2/v_2 \Rightarrow T_3 = 0,230*(800/0,575) = 320K$

Ciclo no diagrama P-V:



$$W_{1\to2} = \int_1^2 pdV = \int_1^2 \frac{mRT_1}{V}dV = mRT_1\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 5*287*800\ln\left(\frac{2,875}{1,15}\right) = 1051,9kJ$$

$$W_{2\to3}=\int_2^3 pdV = p\left(V_3-V_2\right)=0,4x10^6\left(1{,}15-2{,}875\right)=-690kJ$$

$$Q_{1\to2}-W_{1\to2}=U_2-U_1=m\left(u_2-u_1\right)=mC_v\left(T_2-T_1\right)$$

$$Q_{1\to2}-1051{,}9=5*0{,}717\left(800-800\right)\Rightarrow Q_{1\to2}=1051{,}9kJ$$

$$Q_{2\to3}-W_{2\to3}=U_3-U_2=m\left(u_3-u_2\right)=mC_v\left(T_3-T_2\right)$$

$$Q_{2\to3}-\left(-690\right)=5*0{,}717*\left(320-800\right)\Rightarrow Q_{2\to3}=-1030{,}8kJ$$

$$Q_{3\to1}-W_{3\to1}=U_1-U_3=m\left(u_1-u_3\right)=mC_v\left(T_1-T_3\right)$$

$$Q_{3\to1}-0=5*0{,}717*\left(800-320\right)\Rightarrow Q_{3\to1}=1720{,}8kJ$$

$$\eta_{ciclo}=\frac{W_{ciclo}}{Q_{fornecido}}=\frac{1051{,}9}{1720{,}8+1051{,}9}=0{,}379$$

Versão	V_2=2,5* V_1	V_2=2,0* V_1	V_2=3,0* V_1
$V_2[m^3]$	2,875	2,3	3,45
p_2[MPa]	0,4	0,5	0,33
T_3[K]	320	400	267
$W_{1\to2}[kJ]$	1051,9	795,7	1261,2
$W_{2\to3}[kJ]$	-690	-460	-920
$Q_{1\to2}[kJ]$	1051,9	795,7	1261,2
$Q_{2\to3}[kJ]$	-1030,8	-974	-991
$Q_{3\to1}[kJ]$	1720,8	1434	1910,8
η_{ciclo}	0,379	0,357	0,398