

MEC - Mestrado Integrado em Engenharia Civil

LEGM - Licenciatura Bolonha em Engenharia Geológica e de Minas

TERMODINÂMICA E ESTRUTURA DA MATÉRIA 2012 - 2013

Simulação de exame, 17 de Maio de 2013

I - Questões teóricas

1 – No verão, um campista a dormir ao relento a uma temperatura constante de 20°C **perde calor por convecção e radiação**

2 – O comprimento de onda de uma bola de futebol com massa de 450g chutada a uma velocidade de 30ms⁻¹ é **4,9x10⁻³⁵ m**

3 – A temperatura do Sol, ao emitir luz com uma intensidade máxima de comprimento de onda 500nm (verde), é aproximadamente $T = \frac{2,897768 \times 10^{-3} mK}{\lambda_{max}} = \mathbf{5795 \approx 5800 K}$

II - Questão

Considere um gabinete com 5x5 m² de área e altura de 3 m, com uma janela vidro de 1 m², com condutividade térmica de 0,95 W/(m.K), uma espessura de 0,5cm e uma emissividade de 0,85. Num dia típico de inverno, em que a temperatura exterior é de 10°C, pretende-se que a temperatura interior seja mantida a 20°C. Tendo em atenção notas abaixo para resolver este problema:

- a) Calcule a quantidade de calor que é preciso gerar dentro do gabinete para o manter a 20°C.

Como sabemos as temperaturas das superfícies interior e exterior do vidro, segundo a lei de Fourier $\dot{q} = k \frac{T_{int} - T_{ext}}{L}$, logo o fluxo de calor através da janela é de 1900 W/m². Como a área da janela é de $A = 1$, a taxa de calor perdido pela janela é de 1900 W.

- b) Verifique se um radiador de 2000 W é suficiente para garantir a temperatura interior **(0,5 valor)**

Qualquer tipo de radiador de 2000 W, com eficiência igual ou superior a 95% (1900W) é suficiente para manter a temperatura da sala.

Considere agora que de noite, os estores não são fechados, que a temperatura exterior se mantém igual a 10°C e que a temperatura equivalente do céu são -3°C.

- c) Quais as perdas por radiação da janela? **(1 valor)**

Segundo a lei de Stefan-Boltzmann, e considerando que toda a radiação emitida pela janela chega ao céu, temos que

$$\dot{q} = A\epsilon\sigma(T_{ext}^4 - T_{ceu}^4) = 1 \times 0,95 \times 5,67 \times 10^{-8} \times (283^4 - 270^4) = 59 \text{ W}$$

uma vez que a temperatura da face exterior da janela é sempre 10°C

d) O utilizador do gabinete saiu ao final do dia e desligou o radiador. No dia seguinte, passado 12 horas a perder calor nas condições das aléneas anteriores, qual era a temperatura quando o utilizador entrou no gabinete? **(1 valor)**

Durante a noite o gabinete irá estar a perder calor por condução e a sua temperatura irá baixar uma vez que não há outra fonte de energia que não seja a energia interna do ar do gabinete. A variação de energia interna no gabinete é de $\Delta U = mC_v\Delta T = \rho VC_v\Delta T$. A questão que teremos de analisar primeiro é se o calor perdido por condução é suficiente para levar a temperatura da sala até aos 10°C. Como quer a potência perdida por condução quer a variação de energia interna dependem linearmente da diferença de temperaturas, uma potência inicial de 1900 W e uma potência final de 0 W (quando atingem o equilíbrio) resultam numa potência média de 950W. Estes 950 W resultariam numa diminuição da temperatura da sala calculável da seguinte forma:

A energia perdida durante 12 horas é de $q = 950 \times 3600 \times 12 = 41 \text{ MJ}$, então $\Delta U = Q = 41 \text{ MJ} \Leftrightarrow \Delta T = \frac{Q}{\rho VC_v} = \frac{41 \times 10^6}{1,2 \times 5 \times 5 \times 3 \times 1012} = \frac{41 \times 10^6}{91080} = 450^\circ\text{C}$, ou seja, é uma energia mais que suficiente para levar a sala de 20°C a 10°C

Apesar de haver sempre calor radiado para o céu, como assumimos que a convecção é tão grande que a temperatura da superfície do vidro é sempre igual à temperatura do ar exterior, essas perdas são constantemente repostas pelo ambiente.

Nota:

- Considere para efeitos deste problema que as superfícies do vidro estão à mesma temperatura que o ar (dentro e fora), que não há trocas de calor entre o ar da sala e as paredes, o chão e o tecto, e que toda a radiação perdida pela janela vai para o céu.
- Considere que o ar a 20°C tem uma densidade de 1,2 kg/m³ e uma calor específico é de 1,012 kJ/(kg.K)

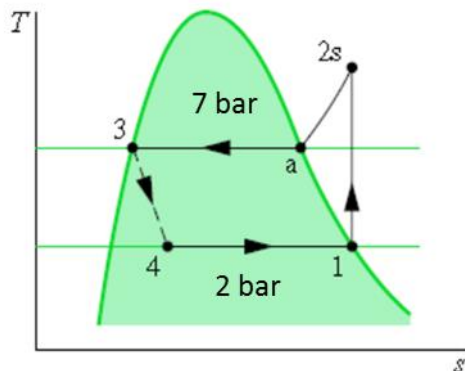
III - Questão (5 valores)

Considere um ciclo de refrigeração de compressão ideal em que o fluído frigorígeno R134a opera nas seguintes condições:

- O vapor saturado entra no compressor a 2 bar
- Líquido saturado sai do condensador a 7 bar
- O caudal mássico é de 0,083 kg/s



a) Desenhe o diagrama Ts do ciclo **(0,5 valores)**



b) Calcule a potência do compressor em kW **(2 valor)**

No estado 1, à entrada do compressor temos, o refrigerante está em vapor saturado a 2 bar, logo diretamente da tabela temos que $h_1 = 241,30$ kJ/kg e $s_1 = 0,9253$ kJ/kg

A pressão no estado 2 temos que $p_2 = 7$ bar. Se a compressão for isentrópica temos que $s_2 = s_1 = 0,9353$ kJ/kg. Por interpolação nas tabela

$$h_2 = 265,37 + (275,93 - 265,37) \times \frac{s_2 - 0,9197}{0,9539 - 0,9197} = 265,5$$

Finalmente, temos que $\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = h_2 - h_1$ logo

$$\dot{W}_c = 0,083 \times (265,5 - 241,30) = 2,0 \text{ kJ}$$

c) Calcule o calor libertado no condensador **(1,5 valor)**

No estado 3, temos que o refrigerante está em estado de líquido saturado a 7 bar, logo da tabela temos que $h_3 = 86,78$ kJ/kg.

$$\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = h_2 - h_3 \text{ logo } \dot{Q}_{out} = 0,083 \times (270,19 - 86,78) = 14,8 \text{ kJ}$$

d) Calcule o coeficiente de performance se estiver o equipamento for uma bomba de calor **(1 valor)**

$$\text{O coeficiente de performance de um ciclo frigorífico é } COP_{BC} = \frac{Q_H}{W_{ciclo}} = \frac{15,22}{2,39} = 7,4$$

Nota:



TABLE A-11 Properties of Saturated Refrigerant 134a (Liquid–Vapor): Pressure Table

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg·K		Press. bar
		Sat. Liquid v _f × 10 ³	Sat. Vapor v _g	Sat. Liquid u _f	Sat. Vapor u _g	Sat. Liquid h _f	Evap. h _{fg}	Sat. Vapor h _g	Sat. Liquid s _f	Sat. Vapor s _g	
2.0	-10.09	0.7532	0.0993	36.69	221.43	36.84	204.46	241.30	0.1481	0.9253	2.0
2.4	-5.37	0.7618	0.0834	42.77	224.07	42.95	201.14	244.09	0.1710	0.9222	2.4
2.8	-1.23	0.7697	0.0719	48.18	226.38	48.39	198.13	246.52	0.1911	0.9197	2.8
3.2	2.48	0.7770	0.0632	53.06	228.43	53.31	195.35	248.66	0.2089	0.9177	3.2
3.6	5.84	0.7839	0.0564	57.54	230.28	57.82	192.76	250.58	0.2251	0.9160	3.6
4.0	8.93	0.7904	0.0509	61.69	231.97	62.00	190.32	252.32	0.2399	0.9145	4.0
5.0	15.74	0.8056	0.0409	70.93	235.64	71.33	184.74	256.07	0.2723	0.9117	5.0
6.0	21.58	0.8196	0.0341	78.99	238.74	79.48	179.71	259.19	0.2999	0.9097	6.0
7.0	26.72	0.8328	0.0292	86.19	241.42	86.78	175.07	261.85	0.3242	0.9080	7.0

v	u	h	s
m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K

p = 2.0 bar = 0.20 MPa
(T_{sat} = -10.09°C)

Sat.	0.09933	221.43	241.30	0.9253
-10	0.09938	221.50	241.38	0.9256
0	0.10438	229.23	250.10	0.9582
10	0.10922	237.05	258.89	0.9898
20	0.11394	244.99	267.78	1.0206
30	0.11856	253.06	276.77	1.0508
40	0.12311	261.26	285.88	1.0804
50	0.12758	269.61	295.12	1.1094
60	0.13201	278.10	304.50	1.1380
70	0.13639	286.74	314.02	1.1661
80	0.14073	295.53	323.68	1.1939
90	0.14504	304.47	333.48	1.2212
100	0.14932	313.57	343.43	1.2483

v	u	h	s
m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg·K

p = 7.0 bar = 0.70 MPa
(T_{sat} = 26.72°C)

0.02918	241.42	261.85	0.9080
0.02979	244.51	265.37	0.9197
0.03157	253.83	275.93	0.9539
0.03324	263.08	286.35	0.9867
0.03482	272.31	296.69	1.0182
0.03634	281.57	307.01	1.0487
0.03781	290.88	317.35	1.0784
0.03924	300.27	327.74	1.1074
0.04064	309.74	338.19	1.1358
0.04201	319.31	348.71	1.1637
0.04335	328.98	359.33	1.1910
0.04468	338.76	370.04	1.2179
0.04599	348.66	380.86	1.2444
0.04729	358.68	391.79	1.2706
0.04857	368.82	402.82	1.2963

Formulário

Leis da termodinâmica	Ciclo Frigorífico
$W = \int_1^2 PdV$ $h = u + Pv$ $c_v = \left(\frac{\delta u}{\delta T}\right)_v$ $c_p = \left(\frac{\delta h}{\delta T}\right)_p$ 1ª Lei da Termodinâmica:	$COP_F = \frac{Q_C}{W_{ciclo}} = \frac{Q_C}{Q_H - Q_C}$ $COP_{BC} = \frac{Q_H}{W_{ciclo}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_C}$ $COP_{BC} = 1 + COP_F$ $COP_{F,Carnot} = \frac{1}{T_H/T_C - 1}$

$\Delta E = Q - W [J]$ $\Delta E = \Delta PE + \Delta KE + \Delta U$ $TdS = dU + PdV$ <p>1ª Lei da Termodinâmica: (sistemas abertos):</p> $\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_{out} \left(h_{out} + \frac{v_{out}^2}{2} + gz_{out} \right) - \sum \dot{m}_{in} \left(h_{in} + \frac{v_{in}^2}{2} + gz_{in} \right)$ <p>2ª Lei da Termodinâmica:</p> $\eta = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \leq 1 - \frac{T_C}{T_H}$ $dS = \frac{dQ}{T}$ $\Delta S \geq \oint_1^2 \frac{\delta Q}{T}$ $S_{gen} = \Delta S_{sistema} + \Delta S_{exterior} \geq 0$	$COP_{BC, Carnot} = \frac{1}{1 - T_C/T_H}$ $\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = h_2 - h_1$ $\frac{\dot{Q}_{out}}{\dot{m}} = h_2 - h_3$ $h_4 = h_3$ $\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$
<p style="text-align: center;">Transmissão de calor</p> <p>Lei de Fourier $\dot{q} = kA \frac{T_1 - T_2}{L}$ $\ddot{q} = k \frac{T_1 - T_2}{L}$</p> <p>Resistividade Térmica: $R = \frac{L}{kA}$</p> <p>Lei de arrefecimento de Newton: $\dot{q} = hA(T_s - T_f)$, $\ddot{q} = h(T_s - T_f)$</p> <p>Lei de Stefan-Boltzmann $\ddot{q} = \epsilon \sigma T^4$ $\dot{q} = A_1 \epsilon \sigma (T_1^4 - T_2^4)$</p> <p>Constante de Boltzmann $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$</p> <p>Lei de Wien $T = \frac{2,897768 \times 10^{-3} \text{ mK}}{\lambda_{max}}$</p>	<p style="text-align: center;">Física Quântica e Estrutura da Matéria</p> <p>Energia de um fóton: $E = hf$</p> <p>Constante de Plank: $h = 6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$</p> <p>Momento linear de um fóton: $p = \frac{h}{c}$</p> <p>Onda de uma partícula $\lambda = \frac{h}{p}$</p> $\frac{1}{\lambda_n} = RZ^2 \left(\frac{1}{nf^2} - \frac{1}{ni^2} \right), R = 1.097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$