



Termodinâmica e Estrutura da Matéria

(LEGM, MEC)

2013-2014

Problemas – Aula 4

Carlos Augusto Santos Silva
carlos.santos.silva@ist.utl.pt

Versão 1.0
21-3-2014

2ª Lei da termodinâmica

Problema 1

Um inventor diz que desenvolveu uma máquina térmica capaz de produzir 410kJ de trabalho por cada 1MJ de calor fornecido a 500K. A máquina liberta calor para a atmosfera à temperatura ambiente (300K).

- Calcule o rendimento da máquina segundo as condições descritas pelo inventor
- Calcule o rendimento máximo e avalie a máquina.

Problema 2

Um frigorífico instalado numa sala com uma temperatura média de 22°C, está regulado para manter a temperatura interior a 5°. A taxa de transferência de calor retirada ao frigorífico é de 8000kJ/h, sendo a potência de energia elétrica é de 0,89kW.

- Calcule a eficiência do frigorífico
- Calcule a eficiência máxima nas condições indicadas

Problema 3

Uma bomba de calor elétrica é utilizada para manter uma casa à temperatura interior de 21°C, quando no exterior a temperatura é de 5°C. A quantidade de calor introduzida pela bomba de calor dentro de casa é de 500MJ por dia.

- Calcule o consumo de eletricidade diário da bomba de calor, assumido que a eficiência é de 10% da eficiência máxima para as condições indicadas.
- Calcule a quantidade de calor que um radiador elétrico convencional de 1,5kW conseguiria fornecer à mesma casa durante o dia. Assuma um rendimento de 100% e assumo ainda que na prática, um radiador funciona apenas 50% do tempo à potência máxima.
- Quantos radiadores seriam necessários para fornecer a mesma energia que a bomba de calor?
- Qual a diferença de custo de eletricidade gasta pelos dois sistemas (bomba de calor versus radiadores) (1kWh≈0,14€)?

Problema 4

Um sistema cilindro-pistão contém água a 100°C no estado líquido saturado. O sistema recebe calor até se transformar em vapor saturado. Assumindo que o processo ocorrido é reversível:

- Calcule o trabalho fornecido ao pistão.
- Calcule o calor recebido neste processo.

Problema 5

Um sistema cilindro-pistão contém água a 100°C no estado líquido saturado. O sistema é mexido através de um misturador até se transformar em vapor saturado. Assumindo que o processo ocorrido é adiabático e reversível:

- Calcule o balanço de trabalho.
- Calcule a variação de entropia específica.

Soluções**Problema 1**

Solução:

$$a) \eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_H} = \frac{410 \text{ kJ}}{1000 \text{ kJ}} = 0,41$$

$$b) \eta_{max} = 1 - \frac{T_F}{T_Q} = 1 - \frac{300}{500} = 0,4 \text{ logo a máquina descrita pelo inventor não pode existir.}$$

Problema 2

Solução:

$$a) COP_F = \frac{Q_F}{W} = \frac{8000 \text{ kJ/h}}{0,89 \times 3600 \text{ kJ/h}} = 2,5$$

$$b) COP_{F_{max}} = \frac{T_C}{T_H - T_F} = \frac{268,15}{27} = 9,9$$

Problema 3

Solução:

$$a) COP_{BC_{max}} = \frac{T_H}{T_H - T_F} = \frac{294,15}{16} = 18,4$$

$$COP_{BC_{max}} = \frac{Q_H}{W_{ciclo}} \Leftrightarrow W_{ciclo_{ideal}} = \frac{Q_H}{COP_{BC_{max}}} = \frac{500}{18,4} = 27,17 \text{ MJ}$$

$$W_{ciclo_{real}} = \frac{Q_H}{0,1 \times COP_{BC_{max}}} = \frac{500}{1,84} = 271,7 \text{ MJ}$$

$$b) E = 1,5 \text{ kW} \times 50\% \times 24 \text{ h} = 18 \text{ kWh} = 64,8 \text{ MJ / dia}$$

$$c) \quad 500 / 64,8 = 7,71 \approx 8 \text{ radiadores}$$

d)

Electricidade gasta pelos radiadores (100% de eficiência): $500 \text{ MJ} / 3600 = 138,9 \text{ kWh}$

Electricidade da bomba de calor: $271,7 \text{ MJ} = 271700 \text{ kJ} / 3600 \text{ kJ/kWh} = 75,5 \text{ kWh}$

$\Delta \text{Custo} = 63,4 \text{ kWh} \times 0,14 \text{ €} = 8,876 \text{ €}$

Problema 4

Solução:

$$a) \quad W/m = P(v_{vs} - v_{ls}) = 1,014 \text{ kPa} \times (1,673 - 1,4035 \times 10^{-3}) = 170 \text{ kJ/kg}$$

$$b) \quad Q/m = T(s_{vs} - s_{ls}) = 373,15 \times (7,3549 - 1,30692) = 2257 \text{ kJ/kg}$$

Problema 5

Solução:

$$a) \quad \Delta U = \Delta W \Leftrightarrow \Delta W = -(u_{vs} - u_{ls}) = -2087,56 \text{ kJ/kg}$$

$$b) \quad \Delta s = (s_{vs} - s_{ls}) = 6,048 \text{ kJ/kg}$$

Anexo

Tabela vapor de água saturado

Saturated water—Temperature table

Temp., <i>T</i> °C	Sat. press., <i>P</i> _{sat} kPa	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
		Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302