

# **Termodinâmica e Estrutura da Matéria**

(LEGM, MEC)

2013-2014

Problemas – Aula 8

Carlos Augusto Santos Silva  
[carlos.santos.silva@ist.utl.pt](mailto:carlos.santos.silva@ist.utl.pt)

Versão 1.0  
2-5-2013

## Ciclo Otto

### Problema 1

Considere um ciclo de Otto ideal, que funciona dentro dos seguintes parâmetros:

- A temperatura inicial é de 300K e a pressão é de 1 bar;
  - O volume do cilindro é  $560\text{cm}^3$
  - O máximo de temperatura que é atingido no ciclo é 2000K
  - A taxa de compressão é de 8
- a) Represente o ciclo num diagrama Pv e Ts  
b) Calcule o valor de temperatura e pressão em cada estado do ciclo  
c) Calcule a eficiência térmica

## Ciclo Diesel

### Problema 2

Considere um ciclo Diesel ideal, que funciona dentro dos seguintes parâmetros:

- A temperatura inicial é de 300K e a pressão é de 100 kPa;
  - A taxa de compressão é de 18
  - A taxa de variação do volume no processo de expansão isobárica é de 2 (taxa de corte  $r_c$ )
- d) Represente o ciclo num diagrama Pv e Ts  
e) Calcule o valor de temperatura e pressão em cada estado do ciclo  
f) Calcule a eficiência térmica

## Ciclo Refrigeração de compressão

Considere um equipamento de refrigeração de compressão de vapor que funciona dentro dos seguintes parâmetros:

- está instalado numa sala com uma temperatura média de  $26^\circ\text{C}$
- o objetivo é manter a zona refrigerada a  $0^\circ\text{C}$
- utilizando para isso o líquido frigorígeno R134a com um caudal mássico de  $0,08\text{kg/s}$ .
- a entalpia à saída do compressor é de  $264,7\text{ kJ/kg}$

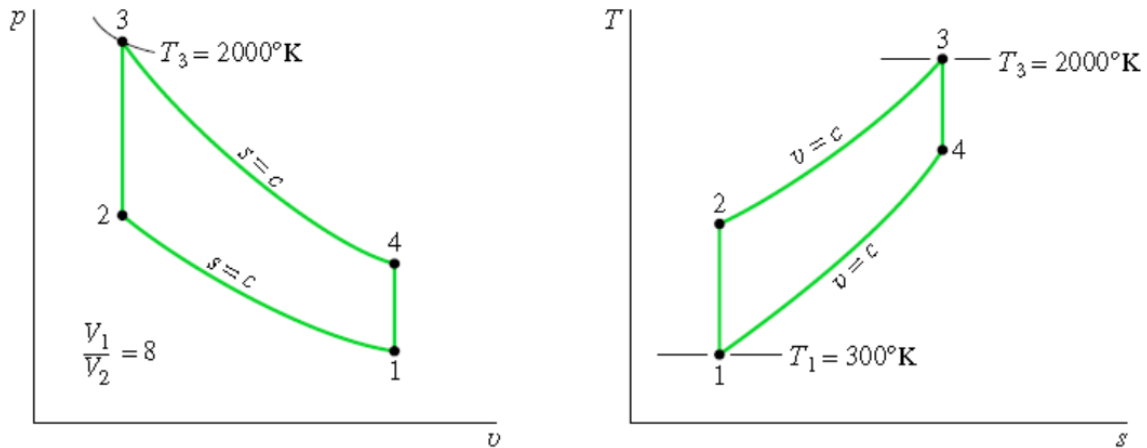
Assumindo que o ciclo é ideal e que funciona à temperatura das fontes.

- a) Represente o ciclo num diagrama Ts  
b) Determine a potência do compressor  
c) Determine a capacidade de refrigeração em BTU/hora  
d) Determine a eficiência e compare-a com a eficiência de Carnot para as mesmas condições

**Soluções**

**Problema 1**

a) Represente o ciclo num diagrama Pv e Ts



b) Calcule o valor de temperatura e pressão em cada estado do ciclo

Da tabela de ar como gás ideal, sabemos que para  $T=300K$ ,  $u= 214.07 \text{ kJ/kg}$  e que  $vr= 621.2$ .

Sabendo que a taxa de compressão é de 8, ou seja  $V1/V2=8$ , então  $v_{r2} = \frac{v_{r1}}{r}=77,65$ .

Por interpolação na tabela de ar como gás ideal, temos que

$$T_2 = 670 + (680 - 670) \times \frac{v_{r2} - 75,5}{78,61 - 75,5} = 673,3K$$

$$u_2 = 488,81 + (496,62 - 488,81) \times \frac{v_{r2} - 75,5}{78,61 - 75,5} = 491,2\text{kJ/kg}$$

Da equação de gases perfeitos, obtemos

$$p_2 = p_1 \frac{T_2 V_1}{T_1 V_2} = 17,95 \text{ bar}$$

Também podemos calcular  $p_2$  a partir de  $p_2 = p_1 \frac{p_{r1}}{p_{r2}}$

De  $p_3$  para  $p_2$ , a compressão é feita a volume constante, logo pela equação dos gases perfeitos temos que  $p_3 = p_2 \frac{T_3 V_2}{T_2 V_2} = 53,3 \text{ bar}$

Da tabela de ar como gás ideal, sabemos que para  $T_3=2000K$ ,  $u_3= 1678.7 \text{ kJ/kg}$  e que  $vr= 2.776$ .

Para uma expansão isentrópica, sabemos que  $v_{r4} = v_{r3} r = 2,776 \times 8 = 22,21 \text{ bar}$ .

Por interpolação na tabela de gases ideais, temos que  $T_4 = 1043 \text{ K}$  e  $u_4 = 795,8 \text{ kJ/kg}$ .

Finalmente, temos pela equação dos gases perfeitos que  $p_4 = p_1 \frac{T_4 V_4}{T_1 V_1}$ , com  $V_4 = V_1$ , logo  $p_4 = 3,48 \text{ bar}$

c) Calcule a eficiência térmica

A eficiência é dada por  $r$

$$\eta = \frac{W_{\text{ciclo}}}{Q_{\text{in}}} = \frac{(u_3 - u_2) - (u_4 - u_1)}{u_3 - u_2} = 1 - \frac{u_4 - u_1}{u_3 - u_2} = 1 - \frac{795,8 - 214,07}{1678,7 - 491,2} = 51,1\%$$

**Solução alternativa**

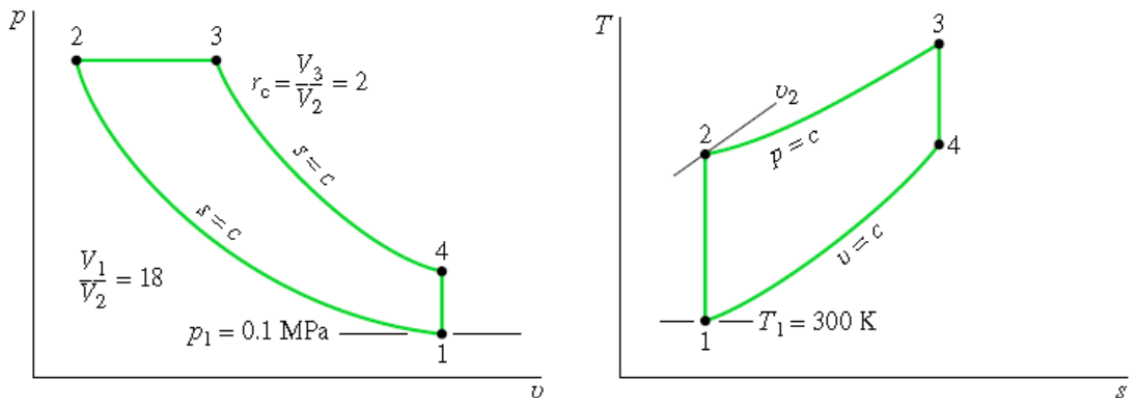
Considerando a análise ar-padrão frio, temos que  $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = r^{k-1}$  e que

$$\frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{k-1} = \frac{1}{r^{k-1}} \text{ e que } \eta = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}, \text{ logo com } r = 1,4$$

$T_2 = 689 \text{ K}$ ,  $T_4 = 871 \text{ K}$  e que  $\eta = 56,5\%$

**Problema 2**

a) Represente o ciclo num diagrama Pv e Ts



b) Calcule o valor de temperatura e pressão em cada estado do ciclo

Da tabela de ar como gás ideal, sabemos que para  $T=300K$ ,  $u= 214.07 \text{ kJ/kg}$  e que  $vr= 621.2$ .

Sabendo que a taxa de compressão é de 18, ou seja  $V1/V2=18$ , então  $v_{r2} = \frac{v_{r1}}{r}=34,51$ .

Por interpolação na tabela de ar como gás ideal, temos que

$$T_2 = 898,3K \text{ e } h_2 = 930,98kJ/kg$$

Da equação de gases perfeitos, obtemos

$$p_2 = p_1 \frac{T_2 V_1}{T_1 V_2} = 0,1 \times \frac{898,3}{300} \times 18 = 5,39MPa$$

Também podemos calcular  $p_2$  a partir de  $p_2 = p_1 \frac{p_{r1}}{p_{r2}}$

De 2 para 3, o processo é feita a pressão constante (esta é a principal diferença em relação ao ciclo de Otto) constante, logo pela equação dos gases perfeitos temos que  $T_3 = T_2 \frac{V_3}{V_2}$ . Como  $\frac{V_3}{V_2} = r_c = 2$ , temos que  $T_3 = 1796,6 \text{ K}$

Da tabela de ar como gás ideal, sabemos que para  $T_3=1796,6K$ ,  $h_3= 1999.1 \text{ kJ/kg}$  e que  $vr= 3,97$ .

Para uma expansão isentrópica, sabemos que  $v_{r4} = v_3 \frac{r}{r_c}=35,73 \text{ bar}$ .

Por interpolação na tabela de gases ideias, temos que  $T_4 = 887,7 \text{ K}$  e  $u_4 = 664.3 \text{ kJ/kg}$ .

Finalmente, temos pela equação dos gases perfeitos que  $p_4 = p_1 \frac{T_4 V_4}{T_1 V_1}$ , com  $V_4=V_1$ ,

logo  $p_4=0,3MPa$

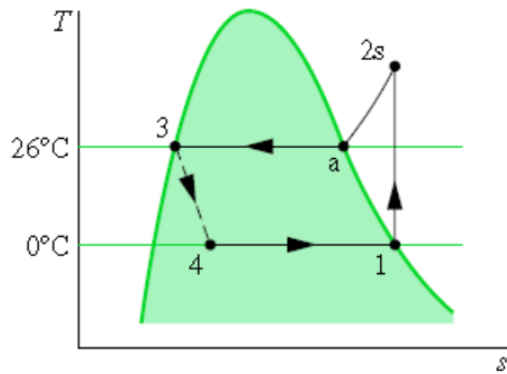
c) Calcule a eficiência térmica

A eficiência térmica é dada por

$$\eta = \frac{W_{ciclo}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{u_4 - u_1}{h_3 - h_2} = 57,8\%$$

**Problema 3**

a) Represente o ciclo num diagrama Ts



b) Determine a potência do compressor

No estado 1, à entrada do compressor temos, o refrigerante está em vapor saturado a 0°C, logo diretamente da tabela temos que  $h_1= 247.23 \text{ kJ/kg}$  e  $s_1= 0,9190 \text{ kJ/kg}$

A pressão no estado 2 é a pressão de saturação a 26°C, logo temos que  $p_2=6,853 \text{ bar}$ . Se a compressão for isentrópica temos que  $s_2= 0,9190 \text{ kJ/kg}$ . Do enunciado temos que  $h_2 = 264.7 \text{ kJ/Kg}$ .

No estado 3, temos que o frigorígeno está em estado de líquido saturado a 26°C, logo da tabela temos que  $h_3 = h_4=85.75 \text{ kJ/kg}$ .

Finalmente, temos que  $\frac{\dot{W}_c}{\dot{m}} = h_2 - h_1$  logo  $\dot{W}_c = 0,08 \times (264,7 - 247,23) = 1,4kW$

c) Determine a capacidade de refrigeração em BTU

A capacidade de refrigeração é a quantidade de calor que o dispositivo consegue retirar da zona fria, ou seja  $\frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{m}} = h_1 - h_4$ , logo  $Q_{in} = 0,08 \times (247,23 - 85,75)=12,92 \text{ KJ/s}=12,44\text{BTU/s}=44,74\text{kBTU/hora}$

- d) Determine a eficiência e compare-a com a eficiência de Carnot para as mesmas condições

*A eficiência de uma máquina frigorífica é dada por*

$$COP_F = \frac{Q_C}{W_{ciclo}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = 9,24$$

*A eficiência de Carnot é dada por*

$$COP_F = \frac{Q_C}{W_{ciclo}} = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{273}{26} = 10,5$$

## Anexo

### Tabela de ar como gás ideal

TABLE A-22 Ideal Gas Properties of Air

T(K), h and u(kJ/kg), s° (kJ/kg · K)											
T	h	u	s°	when Δs = 0 <sup>1</sup>		T	h	u	s°	when Δs = 0	
				p <sub>r</sub>	v <sub>r</sub>					p <sub>r</sub>	v <sub>r</sub>
200	199.97	142.56	1.29559	0.3363	1707.	450	451.80	322.62	2.11161	5.775	223.6
210	209.97	149.69	1.34444	0.3987	1512.	460	462.02	329.97	2.13407	6.245	211.4
220	219.97	156.82	1.39105	0.4690	1346.	470	472.24	337.32	2.15604	6.742	200.1
230	230.02	164.00	1.43557	0.5477	1205.	480	482.49	344.70	2.17760	7.268	189.5
240	240.02	171.13	1.47824	0.6355	1084.	490	492.74	352.08	2.19876	7.824	179.7
250	250.05	178.28	1.51917	0.7329	979.	500	503.02	359.49	2.21952	8.411	170.6
260	260.09	185.45	1.55848	0.8405	887.8	510	513.32	366.92	2.23993	9.031	162.1
270	270.11	192.60	1.59634	0.9590	808.0	520	523.63	374.36	2.25997	9.684	154.1
280	280.13	199.75	1.63279	1.0889	738.0	530	533.98	381.84	2.27967	10.37	146.7
285	285.14	203.33	1.65055	1.1584	706.1	540	544.35	389.34	2.29906	11.10	139.7
290	290.16	206.91	1.66802	1.2311	676.1	550	554.74	396.86	2.31809	11.86	133.1
295	295.17	210.49	1.68515	1.3068	647.9	560	565.17	404.42	2.33685	12.66	127.0
300	300.19	214.07	1.70203	1.3860	621.2	570	575.59	411.97	2.35531	13.50	121.2
305	305.22	217.67	1.71865	1.4686	596.0	580	586.04	419.55	2.37348	14.38	115.7
310	310.24	221.25	1.73498	1.5546	572.3	590	596.52	427.15	2.39140	15.31	110.6
315	315.27	224.85	1.75106	1.6442	549.8	600	607.02	434.78	2.40902	16.28	105.8
320	320.29	228.42	1.76690	1.7375	528.6	610	617.53	442.42	2.42644	17.30	101.2
325	325.31	232.02	1.78249	1.8345	508.4	620	628.07	450.09	2.44356	18.36	96.92
330	330.34	235.61	1.79783	1.9352	489.4	630	638.63	457.78	2.46048	19.48	92.84
340	340.42	242.82	1.82790	2.149	454.1	640	649.22	465.50	2.47716	20.64	88.99
350	350.49	250.02	1.85708	2.379	422.2	650	659.84	473.25	2.49364	21.86	85.34
360	360.58	257.24	1.88543	2.626	393.4	660	670.47	481.01	2.50985	23.13	81.89
370	370.67	264.46	1.91313	2.892	367.2	670	681.14	488.81	2.52589	24.46	78.61
380	380.77	271.69	1.94001	3.176	343.4	680	691.82	496.62	2.54175	25.85	75.50
390	390.88	278.93	1.96633	3.481	321.5	690	702.52	504.45	2.55731	27.29	72.56
400	400.98	286.16	1.99194	3.806	301.6	700	713.27	512.33	2.57277	28.80	69.76
410	411.12	293.43	2.01699	4.153	283.3	710	724.04	520.23	2.58810	30.38	67.07
420	421.26	300.69	2.04142	4.522	266.6	720	734.82	528.14	2.60319	32.02	64.53
430	431.43	307.99	2.06533	4.915	251.1	730	745.62	536.07	2.61803	33.72	62.13
440	441.61	315.30	2.08870	5.332	236.8	740	756.44	544.02	2.63280	35.50	59.82



TABLE A-22 (Continued)

T(K), h and u(kJ/kg), s° (kJ/kg · K)											
T	h	u	s°	when Δs = 0 <sup>1</sup>		T	h	u	s°	when Δs = 0	
				p <sub>t</sub>	v <sub>t</sub>					p <sub>t</sub>	v <sub>t</sub>
750	767.29	551.99	2.64737	37.35	57.63	1300	1395.97	1022.82	3.27345	330.9	11.275
760	778.18	560.01	2.66176	39.27	55.54	1320	1419.76	1040.88	3.29160	352.5	10.747
770	789.11	568.07	2.67595	41.31	53.39	1340	1443.60	1058.94	3.30959	375.3	10.247
780	800.03	576.12	2.69013	43.35	51.64	1360	1467.49	1077.10	3.32724	399.1	9.780
790	810.99	584.21	2.70400	45.55	49.86	1380	1491.44	1095.26	3.34474	424.2	9.337
800	821.95	592.30	2.71787	47.75	48.08	1400	1515.42	1113.52	3.36200	450.5	8.919
820	843.98	608.59	2.74504	52.59	44.84	1420	1539.44	1131.77	3.37901	478.0	8.526
840	866.08	624.95	2.77170	57.60	41.85	1440	1563.51	1150.13	3.39586	506.9	8.153
860	888.27	641.40	2.79783	63.09	39.12	1460	1587.63	1168.49	3.41247	537.1	7.801
880	910.56	657.95	2.82344	68.98	36.61	1480	1611.79	1186.95	3.42892	568.8	7.468
900	932.93	674.58	2.84856	75.29	34.31	1500	1635.97	1205.41	3.44516	601.9	7.152
920	955.38	691.28	2.87324	82.05	32.18	1520	1660.23	1223.87	3.46120	636.5	6.854
940	977.92	708.08	2.89748	89.28	30.22	1540	1684.51	1242.43	3.47712	672.8	6.569
960	1000.55	725.02	2.92128	97.00	28.40	1560	1708.82	1260.99	3.49276	710.5	6.301
980	1023.25	741.98	2.94468	105.2	26.73	1580	1733.17	1279.65	3.50829	750.0	6.046
1000	1046.04	758.94	2.96770	114.0	25.17	1600	1757.57	1298.30	3.52364	791.2	5.804
1020	1068.89	776.10	2.99034	123.4	23.72	1620	1782.00	1316.96	3.53879	834.1	5.574
1040	1091.85	793.36	3.01260	133.3	22.39	1640	1806.46	1335.72	3.55381	878.9	5.355
1060	1114.86	810.62	3.03449	143.9	21.14	1660	1830.96	1354.48	3.56867	925.6	5.147
1080	1137.89	827.88	3.05608	155.2	19.98	1680	1855.50	1373.24	3.58335	974.2	4.949
1100	1161.07	845.33	3.07732	167.1	18.896	1700	1880.1	1392.7	3.5979	1025	4.761
1120	1184.28	862.79	3.09825	179.7	17.886	1750	1941.6	1439.8	3.6336	1161	4.328
1140	1207.57	880.35	3.11883	193.1	16.946	1800	2003.3	1487.2	3.6684	1310	3.944
1160	1230.92	897.91	3.13916	207.2	16.064	1850	2065.3	1534.9	3.7023	1475	3.601
1180	1254.34	915.57	3.15916	222.2	15.241	1900	2127.4	1582.6	3.7354	1655	3.295
1200	1277.79	933.33	3.17888	238.0	14.470	1950	2189.7	1630.6	3.7677	1852	3.022
1220	1301.31	951.09	3.19834	254.7	13.747	2000	2252.1	1678.7	3.7994	2068	2.776
1240	1324.93	968.95	3.21751	272.3	13.069	2050	2314.6	1726.8	3.8303	2303	2.555
1260	1348.55	986.90	3.23638	290.8	12.435	2100	2377.4	1775.3	3.8605	2559	2.356
1280	1372.24	1004.76	3.25510	310.4	11.835	2150	2440.3	1823.8	3.8901	2837	2.175
						2200	2503.2	1872.4	3.9191	3138	2.012
						2250	2566.4	1921.3	3.9474	3464	1.864

Source: Tables A-22 are based on J. H. Keenan and J. Kaye, *Gas Tables*, Wiley, New York, 1945.

**Tabela do refrigerante R134a**

**TABLE A-10** Properties of Saturated Refrigerant 134a (Liquid–Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bar	Specific Volume m <sup>3</sup> /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Temp. °C
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	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 $s_g$	
-40	0.5164	0.7055	0.3569	-0.04	204.45	0.00	222.88	222.88	0.0000	0.9360	-40
-36	0.6332	0.7113	0.2947	4.68	206.73	4.73	220.67	225.40	0.0201	0.9306	-36
-32	0.7704	0.7172	0.2451	9.47	209.01	9.52	218.37	227.90	0.0401	0.9456	-32
-28	0.9305	0.7233	0.2052	14.31	211.29	14.37	216.01	230.38	0.0600	0.9411	-28
-26	1.0199	0.7265	0.1882	16.75	212.43	16.82	214.80	231.62	0.0699	0.9390	-26
-24	1.1160	0.7296	0.1728	19.21	213.57	19.29	213.57	232.85	0.0798	0.9370	-24
-22	1.2192	0.7328	0.1590	21.68	214.70	21.77	212.32	234.08	0.0897	0.9351	-22
-20	1.3299	0.7361	0.1464	24.17	215.84	24.26	211.05	235.31	0.0996	0.9332	-20
-18	1.4483	0.7395	0.1350	26.67	216.97	26.77	209.76	236.53	0.1094	0.9315	-18
-16	1.5748	0.7428	0.1247	29.18	218.10	29.30	208.45	237.74	0.1192	0.9298	-16
-12	1.8540	0.7498	0.1068	34.25	220.36	34.39	205.77	240.15	0.1388	0.9267	-12
-8	2.1704	0.7569	0.0919	39.38	222.60	39.54	203.00	242.54	0.1583	0.9239	-8
-4	2.5274	0.7644	0.0794	44.56	224.84	44.75	200.15	244.90	0.1777	0.9213	-4
0	2.9282	0.7721	0.0689	49.79	227.06	50.02	197.21	247.23	0.1970	0.9190	0
4	3.3765	0.7801	0.0600	55.08	229.27	55.35	194.19	249.53	0.2162	0.9169	4
8	3.8736	0.7884	0.0525	60.43	231.46	60.73	191.07	251.80	0.2354	0.9150	8
12	4.4294	0.7971	0.0460	65.83	233.63	66.18	187.85	254.03	0.2545	0.9132	12
16	5.0416	0.8062	0.0405	71.29	235.78	71.69	184.52	256.22	0.2735	0.9116	16
20	5.7160	0.8157	0.0358	76.80	237.91	77.26	181.09	258.36	0.2924	0.9102	20
24	6.4566	0.8257	0.0317	82.37	240.01	82.90	177.55	260.45	0.3113	0.9089	24
26	6.8530	0.8309	0.0298	85.18	241.05	85.75	175.73	261.48	0.3208	0.9082	26
28	7.2675	0.8362	0.0281	88.00	242.08	88.61	173.89	262.50	0.3302	0.9076	28
30	7.7006	0.8417	0.0265	90.84	243.10	91.49	172.00	263.50	0.3396	0.9070	30
32	8.1528	0.8473	0.0250	93.70	244.12	94.39	170.09	264.48	0.3490	0.9064	32
34	8.6247	0.8530	0.0236	96.58	245.12	97.31	168.14	265.45	0.3584	0.9058	34
36	9.1168	0.8590	0.0223	99.47	246.11	100.25	166.15	266.40	0.3678	0.9053	36
38	9.6298	0.8651	0.0210	102.38	247.09	103.21	164.12	267.33	0.3772	0.9047	38
40	10.164	0.8714	0.0199	105.30	248.06	106.19	162.05	268.24	0.3866	0.9041	40
42	10.720	0.8780	0.0188	108.25	249.02	109.19	159.94	269.14	0.3960	0.9035	42
44	11.299	0.8847	0.0177	111.22	249.96	112.22	157.79	270.01	0.4054	0.9030	44
48	12.526	0.8989	0.0159	117.22	251.79	118.35	153.33	271.68	0.4243	0.9017	48
52	13.851	0.9142	0.0142	123.31	253.55	124.58	148.66	273.24	0.4432	0.9004	52
56	15.278	0.9308	0.0127	129.51	255.23	130.93	143.75	274.68	0.4622	0.8990	56
60	16.813	0.9488	0.0114	135.82	256.81	137.42	138.57	275.99	0.4814	0.8973	60
70	21.162	1.0027	0.0086	152.22	260.15	154.34	124.08	278.43	0.5302	0.8918	70
80	26.324	1.0766	0.0064	169.88	262.14	172.71	106.41	279.12	0.5814	0.8827	80
90	32.435	1.1949	0.0046	189.82	261.34	193.69	82.63	276.32	0.6380	0.8655	90
100	39.742	1.5443	0.0027	218.60	248.49	224.74	34.40	239.13	0.7196	0.8117	100

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

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m <sup>3</sup> /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K		Press. bar
		Sat. Liquid v <sub>f</sub> × 10 <sup>3</sup>	Sat. Vapor v <sub>g</sub>	Sat. Liquid u <sub>f</sub>	Sat. Vapor u <sub>g</sub>	Sat. Liquid h <sub>f</sub>	Evap. h <sub>fg</sub>	Sat. Vapor h <sub>g</sub>	Sat. Liquid s <sub>f</sub>	Sat. Vapor s <sub>g</sub>	
0.6	-37.07	0.7097	0.3100	3.41	206.12	3.46	221.27	224.72	0.0147	0.9320	0.6
0.8	-31.21	0.7184	0.2366	10.41	209.46	10.47	217.92	228.39	0.0440	0.9447	0.8
1.0	-26.43	0.7258	0.1917	16.22	212.18	16.29	215.06	231.35	0.0678	0.9595	1.0
1.2	-22.36	0.7323	0.1614	21.23	214.50	21.32	212.54	233.86	0.0879	0.9554	1.2
1.4	-18.80	0.7381	0.1395	25.66	216.52	25.77	210.27	236.04	0.1055	0.9322	1.4
1.6	-15.62	0.7435	0.1229	29.66	218.32	29.78	208.19	237.97	0.1211	0.9295	1.6
1.8	-12.73	0.7485	0.1098	33.31	219.94	33.45	206.26	239.71	0.1352	0.9273	1.8
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
8.0	31.33	0.8454	0.0255	92.75	243.78	93.42	170.73	264.15	0.3439	0.9066	8.0
9.0	35.33	0.8576	0.0226	98.79	245.88	99.56	166.62	266.18	0.3636	0.9054	9.0
10.0	39.39	0.8695	0.0202	104.42	247.77	105.29	162.68	267.97	0.3838	0.9043	10.0
12.0	46.32	0.8928	0.0166	114.69	251.03	115.76	155.23	270.99	0.4164	0.9023	12.0
14.0	52.43	0.9159	0.0140	123.98	253.74	125.26	148.14	273.40	0.4453	0.9003	14.0
16.0	57.92	0.9392	0.0121	132.52	256.00	134.02	141.31	275.33	0.4714	0.8982	16.0
18.0	62.91	0.9631	0.0105	140.49	257.88	142.22	134.60	276.83	0.4954	0.8939	18.0
20.0	67.49	0.9878	0.0093	148.02	259.41	149.99	127.95	277.94	0.5178	0.8934	20.0
25.0	77.39	1.0562	0.0069	165.48	261.84	168.12	111.06	279.17	0.5687	0.8854	25.0
30.0	86.22	1.1416	0.0053	181.88	262.16	185.30	92.71	278.01	0.6156	0.8735	30.0

**TABLE A-12** Properties of Superheated Refrigerant 134a Vapor

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	
$p = 0.6 \text{ bar} = 0.06 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -37.07^\circ\text{C}$ )					$p = 1.0 \text{ bar} = 0.10 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -26.43^\circ\text{C}$ )				
Sat	0.31003	206.12	224.72	0.9520	0.19170	212.18	231.35	0.9395	
-20	0.33536	217.86	237.98	1.0062	0.19770	216.77	236.54	0.9602	
-10	0.34992	224.97	245.96	1.0371	0.20686	224.01	244.70	0.9918	
0	0.36433	232.24	254.10	1.0675	0.21587	231.41	252.99	1.0227	
10	0.37861	239.69	262.41	1.0973	0.22473	238.96	261.43	1.0531	
20	0.39279	247.32	270.89	1.1267	0.23349	246.67	270.02	1.0829	
30	0.40688	255.12	279.53	1.1557	0.24216	254.54	278.76	1.1122	
40	0.42091	263.10	288.35	1.1844	0.25076	262.58	287.66	1.1411	
50	0.43487	271.25	297.34	1.2126	0.25930	270.79	296.72	1.1696	
60	0.44879	279.58	306.51	1.2405	0.26779	279.16	305.94	1.1977	
70	0.46266	288.08	315.84	1.2681	0.27623	287.70	315.32	1.2254	
80	0.47650	296.75	325.34	1.2954	0.28464	296.40	324.87	1.2528	
90	0.49031	305.58	335.00	1.3224	0.29302	305.27	334.57	1.2799	
$p = 1.4 \text{ bar} = 0.14 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -18.80^\circ\text{C}$ )					$p = 1.8 \text{ bar} = 0.18 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -12.73^\circ\text{C}$ )				
Sat	0.13945	216.52	236.04	0.9322	0.10983	219.94	239.71	0.9273	
-10	0.14549	223.03	243.40	0.9606	0.11135	222.02	242.06	0.9362	
0	0.15219	230.55	251.86	0.9922	0.11678	229.67	250.69	0.9684	
10	0.15875	238.21	260.43	1.0230	0.12207	237.44	259.41	0.9998	
20	0.16520	246.01	269.13	1.0532	0.12723	245.33	268.23	1.0304	
30	0.17155	253.96	277.97	1.0828	0.13230	253.36	277.17	1.0604	
40	0.17783	262.06	286.96	1.1120	0.13730	261.53	286.24	1.0898	
50	0.18404	270.32	296.09	1.1407	0.14222	269.85	295.45	1.1187	
60	0.19020	278.74	305.37	1.1690	0.14710	278.31	304.79	1.1472	
70	0.19633	287.32	314.80	1.1969	0.15193	286.93	314.28	1.1753	
80	0.20241	296.06	324.39	1.2244	0.15672	295.71	323.92	1.2030	
90	0.20846	304.95	334.14	1.2516	0.16148	304.63	333.70	1.2303	
100	0.21449	314.01	344.04	1.2785	0.16622	313.72	343.63	1.2573	
$p = 2.0 \text{ bar} = 0.20 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -10.09^\circ\text{C}$ )					$p = 2.4 \text{ bar} = 0.24 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -5.37^\circ\text{C}$ )				
Sat	0.09933	221.43	241.30	0.9253	0.08343	224.07	244.09	0.9222	
-10	0.09938	221.50	241.38	0.9256					
0	0.10438	229.23	250.10	0.9582	0.08574	228.31	248.89	0.9399	
10	0.10922	237.05	258.89	0.9898	0.08993	236.26	257.84	0.9721	
20	0.11394	244.99	267.78	1.0206	0.09399	244.30	266.85	1.0034	
30	0.11856	253.06	276.77	1.0508	0.09794	252.45	275.95	1.0339	
40	0.12311	261.26	285.88	1.0804	0.10181	260.72	285.16	1.0637	
50	0.12758	269.61	295.12	1.1094	0.10562	269.12	294.47	1.0930	
60	0.13201	278.10	304.50	1.1380	0.10937	277.67	303.91	1.1218	
70	0.13639	286.74	314.02	1.1661	0.11307	286.35	313.49	1.1501	
80	0.14073	295.53	323.68	1.1939	0.11674	295.18	323.19	1.1780	
90	0.14504	304.47	333.48	1.2212	0.12037	304.15	333.04	1.2055	
100	0.14932	313.57	343.43	1.2483	0.12398	313.27	343.03	1.2326	