

# TENTAMEN THERMODYNAMICA 1

Wb 4100

16 april 2010

9:00 - 12:00

*Linksboven op elk blad vermelden: naam, studienummer en studierichting.*

Puntentelling: het tentamen bestaat uit 14 meerkeuzevragen en twee open vragen. Voor de meerkeuzevragen kun je 44 punten halen (het aantal goede antwoorden  $-3$ )  $\times$  4. Elke open vraag levert je 28 punten.

Het reglement:

1. Het formuleblad en het overzicht kringprocessen mag je bij je hebben en het formuleblad mag bovendien volstaan met aantekeningen in je eigen handschrift.
2. Het is raadzaam met de 14 meerkeuzevragen te beginnen, omdat het antwoordformulier na ca. 2 uur wordt opgehaald.
3. Laat het antwoordformulier van andere tafels daar liggen. Je krijgt je eigen formulier.
4. Vul het hoofd van het antwoordformulier volledig in, ook het studienummer. Zet je studienummer op elk blad dat je inlevert.
5. Gebruik bij voorkeur een HB-potlood. Gum een fout antwoord goed uit.
6. Blauwe of zwarte pen kan ook maar correctie is dan niet mogelijk.
7. Per vraag mag slechts één hokje zwart gemaakt zijn, meer is fout.
8. Het is verstandig de keuze eerst op het vragenblaadje te maken (zorg ervoor dat het niet leesbaar is voor je omgeving, want dat is fraude) en later het antwoordformulier in te vullen.
9. Let op: op de formulieren staan a, b, c en d vaak niet in alfabetische volgorde.
10. Zet je telefoon uit en doe je eventuele koptelefoon en dergelijke in je tas

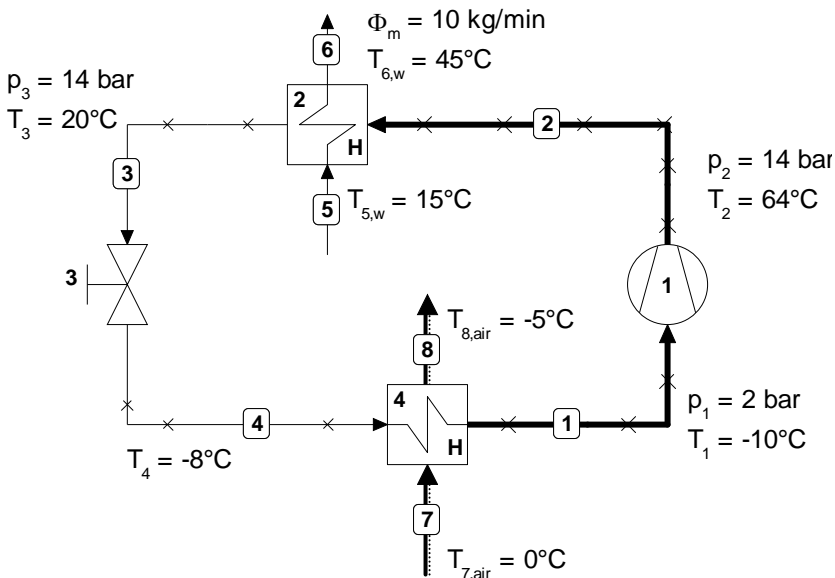
Op de eerste bladzijden staan de twee open vraagstukken. De laatste bladzijden bevatten de bij de vraagstukken benodigde tabellen van de eigenschappen van lucht, water en R134a.

***Het antwoordformulier voor de meerkeuzevragen is los van de bundel uitgereikt en wordt omstreeks 11.00 uur opgehaald.***

Succes!

### Opgave 1

Een warmtepomp levert stationair 10 kg/min warm tapwater van 45°C en onttrekt warmte aan de buitenlucht, waarvan de temperatuur 0°C bedraagt. De gegevens hiervoor staan in onderstaande figuur bij de betreffende leidingen. Het werkmedium is R134a. Stofwaarden zijn bijgevoegd op de laatste pagina's, zie de bijgevoegde tabellen A10, A11 en A12. Neem voor water:  $c_p = 4.18 \text{ kJ/kg K}$ . Veranderingen in kinetische en potentiële energie zijn verwaarloosbaar klein. Alle warme componenten en leidingen zijn geïsoleerd, zodat warmteverliezen worden verwaarloosd.



Leid, waar dit van toepassing is, eerst de formule af tot je de onbekende in het linkerlid hebt staan en alle bekenden in het rechterlid. Vul daarna getalswaarden in. Bedenk bij de beantwoording van de vragen in hoeveel cijfers de gevraagde gegevens kunnen worden weergegeven. Maar reken verder met onafgeronde waarden. Gevraagd:

- Bepaal voor elke leiding of er vloeistof, damp of een mengsel van beide in zit. Bijvoorbeeld: als de temperatuur hoger is dan de verzadigingstemperatuur, de tweede kolom van de tabel A11, dan is R134a als damp aanwezig, enzovoort [4]
- Bepaal de enthalpieën voor de vier leidingen [7] (*bedenk dat het voor  $h_3$  handig is om te gebruiken:  $h=u+pv$* )
- Bepaal de dampfractie (quality,  $x$ ) in elke leiding [4]
- Bepaal de massastroom van het werkmedium (R134a) [3] (*als je  $h_3$  niet hebt kunnen bepalen, neem dan  $h_3=80 \text{ kJ/kg}$* )
- Bepaal het compressorvermogen [2]
- Bepaal de prestatiefactor  $\gamma$  (coefficient of performance) [2]
- Schets het  $p, v$  en het  $T, v$ - diagram [6]

### Opgave 2

Een diesel motor met een compressie verhouding van 16 en een cut-off ratio van 2, wordt gebruikt om een schip aan te drijven. Het benodigde asvermogen voor het schip is 1000 kW. De motor wordt gemodelleerd m.b.v. een **cold air standard** model. De druk aan het begin van de arbeidsslag is gelijk aan 250 bar en het volume aan het begin van de arbeidsslag is 2 liter en de temperatuur aan het begin van de arbeidsslag is 600°Celsius. Verder is gegeven dat  $c_p=1 \text{ kJ/kg.K}$ ,  $c_v=0.714 \text{ kJ/kg.K}$ ,  $\bar{R}=8.314 \text{ kJ/kmol K}$  en de molmassa van lucht is 29 kg/kmol.

1. Schets het p-V en T-S diagram voor het diesel kringproces, nummer de hoekpunten, waarbij het punt met de laagste temperatuur nummer 1 krijgt [6]
2. Bereken het volume in elk punt van het kringproces [4]
3. Bereken de toegevoerde warmte per cyclus ( $\Delta_{23}Q$ ). [4]
4. Bereken de afgevoerde warmte per cyclus ( $\Delta_{41}Q$ ). [3]
5. Bereken de geleverde arbeid door de motor per cyclus [3]
6. Bereken het thermisch rendement van de motor. [4]
7. Hoe groot moet het toerental van de motor zijn om het benodigde vermogen te leveren. [4]

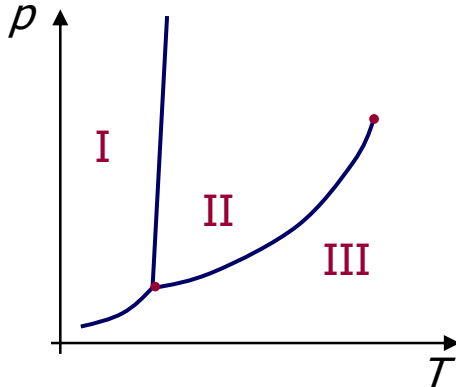
## MEERKEUZEVRAGEN WB 4100

16 april 2010  
9:00 - 11:00

Van de mogelijkheden (a), (b), (c) en (d) is er één juist.

MK 1

Gegeven het volgende fase diagram.



Welke van de onderstaande beweringen is waar?

- (a) I = vaste stof, II = gas, III = vloeistof
- (b) I = vaste stof, II = vloeistof, III = gas
- (c) I = vloeistof, II = vaste stof, III = gas
- (d) I = vloeistof, II = gas, III = vaste stof

MK 2

Voor differentiële warmte  $\delta Q$  en de integrale warmte  $\Delta_{12}Q$  geldt, respectievelijk

1.  $\delta Q = TdS$ , maar alleen voor reversibele processen (quasi-evenwicht).
2.  $\delta Q = TdS$  voor alle processen.
3.  $\Delta_{12}Q = \int \delta Q \neq Q_2 - Q_1$ , want  $Q$  is geen toestandsgrootheid
4.  $\Delta_{12}Q = \int \delta Q = Q_2 - Q_1$ , want  $Q$  is een toestandsgrootheid

- (a) 1 en 3 zijn waar; 2 en 4 niet.
- (b) 1 en 4 zijn waar; 2 en 3 niet.
- (c) 2 en 3 zijn waar; 1 en 4 niet.
- (d) 2 en 4 zijn waar; 1 en 3 niet.

### MK 3

Een medium wordt geëxpandeerd over een smookklep (throttling device). Er geldt dat

- (a) De entropy  $S$  en de enthalpy  $H$  zijn constant
- (b) De enthalpy  $H$  en de druk  $p$  nemen af
- (c) De kinetische energie en temperatuur nemen toe
- (d) De druk  $p$  neemt af en the enthalpy  $H$  blijft constant

### MK 4

Helium (molmassa 4 g/mol,  $\kappa=5/3$ ) wordt isentroop gecomprimeerd van een toestand (1) waarvoor geldt dat de druk is 10 bar en het volume 1 liter naar een toestand met een druk van 20 bar en een volume  $V_2$ . Als de compressie isentroop is, wat is dan het volume  $V_2$  en de benodigde arbeid?

- (a) 0.45 liter en 348W
- (b) 0.82 liter en 562W
- (c) 0.66 liter en 498W
- (d) 0.72 liter en 420W

### MK 5

Beschouw het systeem fietser plus fiets. De fietser schakelt van een lichte naar een zwaardere versnelling terwijl de trapfrequentie gelijk blijft. Wat geldt er voor het door het systeem geleverde vermogen:

- (a) neemt toe
- (b) blijft gelijk
- (c) neemt af
- (d) de verandering van het vermogen hangt af van de door het systeem afgegeven hoeveelheid warmte per tijdseenheid

### MK 6

Een ingenieur woont vlak bij een rioolwaterzuiveringsinstallatie. De temperatuur van het rioolwater is vrijwel constant door het jaar heen en heeft een temperatuur van 16°C. Hij wil deze warmte gebruiken om zijn huis te verwarmen tot 21°C. Als hij 20 kW warmtevraag heeft wat is dan het minimaal benodigde compressorvermogen.

- (a) 4.76 kW
- (b) 0.34 kW
- (c) 3.4 kW
- (d) 0.48 kW

MK 7

Een kringproces dan in het p-v diagram tegen klok in wordt doorlopen:

- (a) levert netto arbeid en ontvangt netto warmte
- (b) ontvangt netto arbeid en levert netto warmte
- (c) ontvangt netto arbeid en ontvangt netto warmte
- (d) levert netto arbeid en levert netto warmte

MK 8

We beschouwen een reversibele expansie van een ideaal gas in een stationair doorstroomde turbine met vaste inlaatdruk en uitlaatdruk. De absolute waarde van de expansiearbeid is

- (a) kleiner voor een isotherm proces dan voor een adiabaat proces
- (b) de zelfde expansiearbeid voor een isotherm proces en een adiabaat proces
- (c) groter voor een isotherm proces dan voor een adiabaat proces
- (d) arbeid is een toestandsgröotheid en geen procesgröotheid. Daarom is geen uitspraak mogelijk

MK 9

De Kelvin-Planck formulering van de tweede hoofdwet van de thermodynamica zegt dat:

- (a) Warmte omgezet kan worden in arbeid
- (b) Er bij het genereren van arbeid altijd restwarmte moet worden afgegeven
- (c) Het rendement nooit hoger kan zijn dan het Carnotrendement
- (d) Er geen warmte van een reservoir met een lage temperatuur naar een reservoir met een hoge temperatuur getransporteerd kan worden zonder de toevoer van arbeid

MK 10

Lucht wordt isentroop van een toestand 1 naar een toestand 2 gebracht. Voor toestand 1 geldt  $p_1=1\text{bar}$ ,  $T_1=300\text{K}$  en voor toestand 2 geldt  $p_2=40\text{bar}$ . Wat is de waarde van  $T_2$  in K voor een "cold air standard model" ( $\kappa=1.4$ ) en een air standard model?

- (a) 870K resp 840K
- (b) 861K resp 831K
- (c) 850K resp 835K
- (d) 810K resp 839K

MK 11

Een reversibele warmtepomp ontvangt energie uit een reservoir met een temperatuur van 25°C en geeft 500 kJ warmte af aan een reservoir met een temperatuur van 65°C. De netto benodigde arbeid is:

- (a) 63KJ
- (b) 71KJ
- (c) 60KJ
- (d) 65KJ

MK 12

Een constructeur probeert het vermogen van een benzinemotor te vergroten door meer warmte toe te voeren aan de cilinders. Geeft dit een verbetering van het rendement van motor?

- (a) Ja want de gemiddelde temperatuur van de warmte toevoer gaat omhoog
- (b) Ja want het vermogen gaat omhoog
- (c) Nee want de compressieverhouding blijft gelijk
- (d) Nee want het toerental van de motor blijft gelijk

MK 13

De volgende statements worden gemaakt

- 1) Een benzinemotor heeft een hoger rendement dan een dieselmotor
- 2) Een hogere compressie verhouding geeft aanleiding tot een lager rendement
- 3) In een benzine motor vindt de warmtetoevoer plaats tijdens een isochoor proces
- 4) In een dieselmotor vindt de warmtetoevoer plaats tijdens isentroop proces

- (a) 1 en 3 zijn waar en 2 en 4 zijn niet waar
- (b) 3 is waar en 1, 2 en 4 zijn niet waar
- (c) 2, 4 en 3 zijn waar en 1 is niet waar
- (d) Alle beweringen zijn niet waar

MK 14

Verzadigde stoom wordt geëxpandeerd van 10 bar naar 1 bar. Wat is de stoomkwaliteit na isentropische expansie?

- (a) 0.80
- (b) 0.81
- (c) 0.87
- (d) 0.90

TABLE A-3 Properties of Saturated Water (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 $v_f \times 10^3$	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 $s_g$	
0.04	28.96	1.0040	34.800	121.45	2415.2	121.46	2432.9	2554.4	0.4226	8.4746	0.04
0.06	36.16	1.0064	23.739	151.53	2425.0	151.53	2415.9	2567.4	0.5210	8.3304	0.06
0.08	41.51	1.0084	18.103	173.87	2432.2	173.88	2403.1	2577.0	0.5926	8.2287	0.08
0.10	45.81	1.0102	14.674	191.82	2437.9	191.83	2392.8	2584.7	0.6493	8.1502	0.10
0.20	60.06	1.0172	7.649	251.38	2456.7	251.40	2358.3	2609.7	0.8320	7.9085	0.20
0.30	69.10	1.0223	5.229	289.20	2468.4	289.23	2336.1	2625.3	0.9439	7.7686	0.30
0.40	75.87	1.0265	3.993	317.53	2477.0	317.58	2319.2	2636.8	1.0259	7.6700	0.40
0.50	81.33	1.0300	3.240	340.44	2483.9	340.49	2305.4	2645.9	1.0910	7.5939	0.50
0.60	85.94	1.0331	2.732	359.79	2489.6	359.86	2293.6	2653.5	1.1453	7.5320	0.60
0.70	89.95	1.0360	2.365	376.63	2494.5	376.70	2283.3	2660.0	1.1919	7.4797	0.70
0.80	93.50	1.0380	2.087	391.58	2498.8	391.66	2274.1	2665.8	1.2329	7.4346	0.80
0.90	96.71	1.0410	1.869	405.06	2502.6	405.15	2265.7	2670.9	1.2695	7.3949	0.90
1.00	99.63	1.0432	1.694	417.36	2506.1	417.46	2258.0	2675.5	1.3026	7.3594	1.00
1.50	111.4	1.0528	1.159	466.94	2519.7	467.11	2226.5	2693.6	1.4336	7.2233	1.50
2.00	120.2	1.0605	0.8857	504.49	2529.5	504.70	2201.9	2706.7	1.5301	7.1271	2.00
2.50	127.4	1.0672	0.7187	535.10	2537.2	535.37	2181.5	2716.9	1.6072	7.0527	2.50
3.00	133.6	1.0732	0.6058	561.15	2543.6	561.47	2163.8	2725.3	1.6718	6.9919	3.00
3.50	138.9	1.0786	0.5243	583.95	2546.9	584.33	2148.1	2732.4	1.7275	6.9405	3.50
4.00	143.6	1.0836	0.4625	604.31	2553.6	604.74	2133.8	2738.6	1.7766	6.8959	4.00
4.50	147.9	1.0882	0.4140	622.25	2557.6	623.25	2120.7	2743.9	1.8207	6.8565	4.50
5.00	151.9	1.0926	0.3749	639.68	2561.2	640.23	2108.5	2748.7	1.8607	6.8212	5.00
6.00	158.9	1.1006	0.3157	669.90	2567.4	670.56	2086.3	2756.8	1.9312	6.7600	6.00
7.00	165.0	1.1080	0.2729	696.44	2572.5	697.22	2066.3	2763.5	1.9922	6.7080	7.00
8.00	170.4	1.1148	0.2404	720.22	2576.8	721.11	2048.0	2769.1	2.0462	6.6628	8.00
9.00	175.4	1.1212	0.2150	741.83	2580.5	742.83	2031.1	2773.9	2.0946	6.6226	9.00
10.0	179.9	1.1273	0.1944	761.68	2583.6	762.81	2015.3	2778.1	2.1387	6.5863	10.0
15.0	198.3	1.1539	0.1318	843.16	2594.5	844.84	1947.3	2792.2	2.3150	6.4448	15.0
20.0	212.4	1.1767	0.09963	906.44	2600.3	908.79	1890.7	2799.5	2.4474	6.3409	20.0
25.0	224.0	1.1973	0.07998	959.11	2603.1	962.11	1841.0	2803.1	2.5547	6.2575	25.0
30.0	233.9	1.2165	0.06668	1004.8	2604.1	1008.4	1795.7	2804.2	2.6457	6.1869	30.0
35.0	242.6	1.2347	0.05707	1045.4	2603.7	1049.8	1753.7	2803.4	2.7253	6.1253	35.0
40.0	250.4	1.2522	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7964	6.0701	40.0
45.0	257.5	1.2692	0.04406	1116.2	2600.1	1121.9	1676.4	2798.3	2.8610	6.0199	45.0
50.0	264.0	1.2859	0.03944	1147.8	2597.1	1154.2	1640.1	2794.3	2.9202	5.9734	50.0
60.0	275.6	1.3187	0.03244	1205.4	2589.7	1213.4	1571.0	2784.3	3.0267	5.8892	60.0
70.0	285.9	1.3513	0.02737	1257.6	2580.5	1267.0	1505.1	2772.1	3.1211	5.8133	70.0
80.0	295.1	1.3842	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.3	2758.0	3.2068	5.7432	80.0
90.0	303.4	1.4178	0.02048	1350.5	2557.8	1363.3	1378.9	2742.1	3.2858	5.6772	90.0
100.	311.1	1.4524	0.01803	1393.0	2544.4	1407.6	1317.1	2724.7	3.3596	5.6141	100.
110.	318.2	1.4886	0.01599	1433.7	2529.8	1450.1	1255.5	2705.6	3.4295	5.5527	110.

**TABLE A-22** Ideal Gas Properties of Air

$T(K), h$ and $u(kJ/kg), s^\circ (kJ/kg \cdot K)$											
$T$	$h$	$u$	$s^\circ$	when $\Delta s = 0^1$		$T$	$h$	$u$	$s^\circ$	when $\Delta s = 0$	
				$p_r$	$v_r$					$p_r$	$v_r$
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

1.  $p_r$  and  $v_r$  data for use with Eqs. 6.43 and 6.44, respectively.



**TABLE A-22** (Continued)

$T(K), h$ and $u(kJ/kg), s^\circ (kJ/kg \cdot K)$											
$T$	$h$	$u$	$s^\circ$	when $\Delta s = 0^1$		$T$	$h$	$u$	$s^\circ$	when $\Delta s = 0$	
				$p_r$	$v_r$					$p_r$	$v_r$
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.

**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	0.9560	-40
-36	0.6332	0.7113	0.2947	4.68	206.73	4.73	220.67	225.40	0.0201	0.9506	-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	3.8756	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	259.13	0.7196	0.8117	100

Source: Tables A-10 through A-12 are calculated based on equations from D. P. Wilson and R. S. Basu, "Thermodynamic Properties of a New Stratospherically Safe Working Fluid—Refrigerant 134a," *ASHRAE Trans.*, Vol. 94, Pt. 2, 1988, pp. 2095–2118.

**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 $v_f \times 10^3$	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 $s_g$	
0.6	−37.07	0.7097	0.3100	3.41	206.12	3.46	221.27	224.72	0.0147	0.9520	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	0.9395	1.0
1.2	−22.36	0.7323	0.1614	21.23	214.50	21.32	212.54	233.86	0.0879	0.9354	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	0.3459	0.9066	8.0
9.0	35.53	0.8576	0.0226	98.79	245.88	99.56	166.62	266.18	0.3656	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	0.8959	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	77.59	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
$p = 2.0 \text{ bar} = 0.20 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -10.09^\circ\text{C}$ )					$p = 2.4 \text{ bar} = 0.24 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = -5.37^\circ\text{C}$ )			
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
$p = 14.0 \text{ bar} = 1.40 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 52.43^\circ\text{C}$ )					$p = 16.0 \text{ bar} = 1.60 \text{ MPa}$ ( $T_{\text{sat}} = 57.92^\circ\text{C}$ )			
Sat.	0.01405	253.74	273.40	0.9003	0.01208	256.00	275.33	0.8982
60	0.01495	262.17	283.10	0.9297	0.01233	258.48	278.20	0.9069
70	0.01603	272.87	295.31	0.9658	0.01340	269.89	291.33	0.9457
80	0.01701	283.29	307.10	0.9997	0.01435	280.78	303.74	0.9813
90	0.01792	293.55	318.63	1.0319	0.01521	291.39	315.72	1.0148
100	0.01878	303.73	330.02	1.0628	0.01601	301.84	327.46	1.0467
110	0.01960	313.88	341.32	1.0927	0.01677	312.20	339.04	1.0773
120	0.02039	324.05	352.59	1.1218	0.01750	322.53	350.53	1.1069
130	0.02115	334.25	363.86	1.1501	0.01820	332.87	361.99	1.1357
140	0.02189	344.50	375.15	1.1777	0.01887	343.24	373.44	1.1638
150	0.02262	354.82	386.49	1.2048	0.01953	353.66	384.91	1.1912
160	0.02333	365.22	397.89	1.2315	0.02017	364.15	396.43	1.2181
170	0.02403	375.71	409.36	1.2576	0.02080	374.71	407.99	1.2445
180	0.02472	386.29	420.90	1.2834	0.02142	385.35	419.62	1.2704
190	0.02541	396.96	432.53	1.3088	0.02203	396.08	431.33	1.2960
200	0.02608	407.73	444.24	1.3338	0.02263	406.90	443.11	1.3212