

TENTAMEN THERMODYNAMICA 1

Wb 4100

19 juni 2009

9:00 - 12:00

Rechts boven 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) x 4. Elke open vraag levert je 28 punten.

Neem de eenheden ook in tussenstappen consistent mee!

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: er zijn formulieren waarop a, b, c en d niet in alfabetische volgorde staan.

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

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

Succes!

Opgave 1:

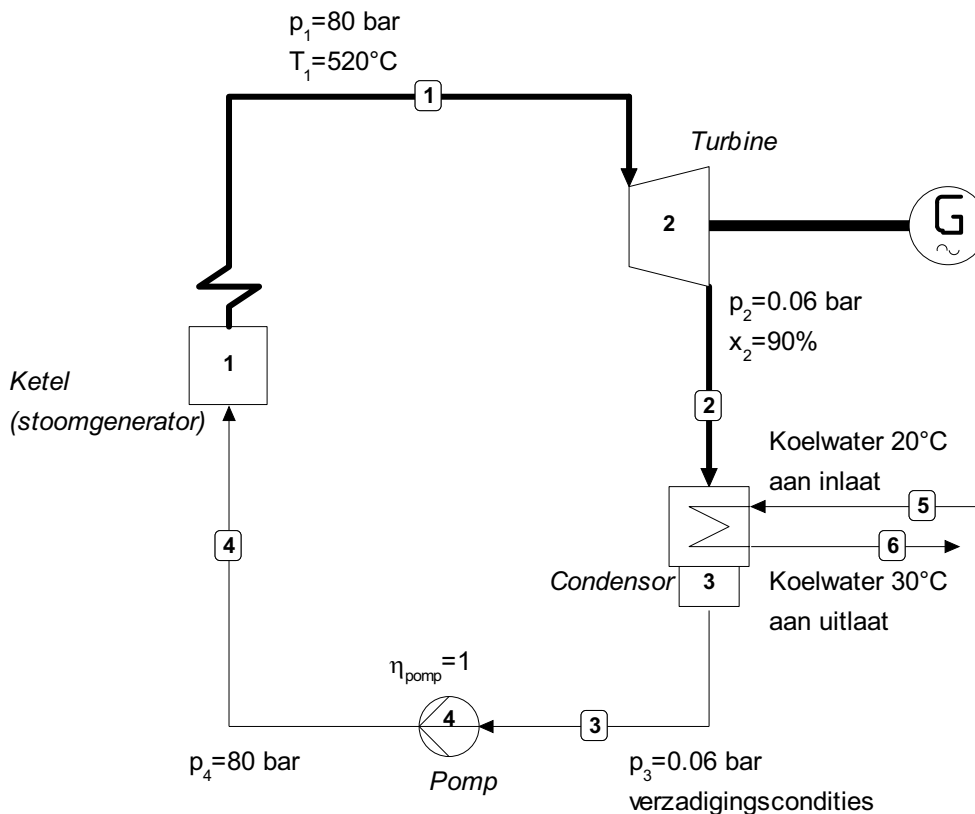
Een duale cyclus gebruikt standaardlucht als werkmedium. Gebruik dus tabel A-22 voor het bepalen van de stoffeigenschappen (properties), zie bijlage. De duale cyclus bestaat uit vijf deelprocessen: adiabatische compressie, isochore warmtetoevoer, isobare warmtetoevoer, adiabatische expansie en isochore warmteafvoer. Het proces heeft een compressieverhouding (compression-ratio) $r = 24.68$ en een "cutoff-ratio" (volumeverhouding bij isobare warmtetoevoer) $r_c = 1.4$. Aan het begin van de compressie zijn de condities: $p_1 = 95$ kPa en $T_1 = 300$ K. Tijdens de warmtetoevoer bij constant volume stijgt de druk met een factor 1.5 (dus $p_3 = 1.5 p_2$). De massa lucht in de cyclus bedraagt 0.024 kg. De molaire massa van standaardlucht is $M = 28.97$ kg/kmol

De punten 1 t/m 4 mogen worden afgerond op tabelwaarden, zodat interpoleren alleen gevraagd wordt voor punt 5.

- Schets het proces in een p,v en een T,s -diagram (6)
- Bepaal het volume in punt 1 (2)
- Bepaal de temperatuur en de druk in punt 2 (4)
- Bepaal de beide warmtetoevoerprocessen, de warmtetoevoer bij constant volume en de warmtetoevoer bij constante druk, elk in kJ (5)
- Bepaal de warmteafvoer, in kJ (3)
- Bepaal de netto arbeid per cyclus, in kJ (2)
- Bepaal het thermisch rendement (2)
- In tabel 20 (hier niet bijgevoegd) heeft de isentropenexponent k bij 300 K de waarde: $k = 1.4$ met $(k = \frac{c_p}{c_v})$. Stel dat deze waarde was gebruikt om het proces van 1 naar 2 te beschrijven, welke temperatuur en druk waren dan voor punt 2 gevonden? (4)

Opgave 2

Onderstaande figuur geeft het processchema van een eenvoudige stoomkringloop en geeft de stationaire situatie (steady state) weer. De relevante gegevens staan in de figuur vermeld bij de componenten en de leidingen. Effecten van veranderingen in kinetische en potentiële energie mogen worden verwaarloosd. Warmteverliezen zijn verwaarloosbaar (dus pomp en turbine werken adiabatisch) evenals de mechanische (en elektrische) verliezen van de turbine, de generator en de pomp. Veronderstel water (vloeistof) als incompressibel.



- Geef de eerste hoofdwet voor een open (deel-) systeem met stationaire doorstroming en geef daarin aan welke vereenvoudigingen hier kunnen worden aangebracht (2)
- Schets het proces in een p,v - en een T,s -diagram (6)
- Bepaal voor alle vier leidingen van de kringloop de enthalpie van de stoom of van het water. De nodige tabellen zijn als bijlage toegevoegd. (7)
- Bepaal het vermogen aan de as van de stoomturbine, het pompvermogen en de warmtestroom die moet worden toegevoerd in de ketel als de massastroom stoom 90 kg/s bedraagt. *Als het bij b) niet gelukt is h_4 te vinden, neem dan $h_4 = 170 \text{ kJ/kg}$, ten koste van een punt in de waardering* (6)
- Bepaal de warmtestroom die moet worden afgevoerd in de condensor en de massastroom koelwater die daarvoor nodig is. Neem voor water $c_p = 4.18 \text{ kJ/kg K}$. (5)
- Bepaal het thermisch rendement van de kringloop. (2)

Bonusvraag (voor extra punten):

- Bepaal het isentropisch rendement (isentropic efficiency) van de stoomturbine. (5)

MEERKEUZEVRAGEN WB 4100

19 juni 2009

9:00 - 11:00

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

MK 1

De balansvergelijking van een algemene extensieve grootte Ψ is:

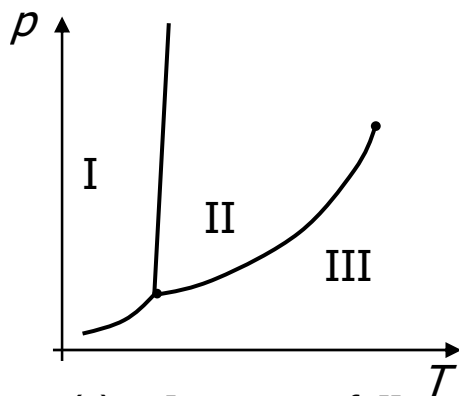
$$\frac{d\Psi}{dt} = \dot{m}_i \psi_i - \dot{m}_e \psi_e + \dot{J}_\Psi + \dot{\sigma}_\Psi$$

Beoordeel de volgende beweringen:

1. voor de energiebalans (met $\Psi=E$) is $\dot{J}_\Psi = \dot{Q} - \dot{W}$ de (niet-convectieve d.w.z. niet aan massa gekoppelde) flux, verder is $\psi_i = h_i + \frac{1}{2} \vec{V}_i^2 + gz_i$ en de productie is $\dot{\sigma}_\Psi = 0 \frac{J}{s}$
2. voor de energiebalans (met $\Psi=E$) kan de accumulatie van energie in het controle-volume worden geschreven als $\frac{dE}{dt} = \frac{d}{dt} \int_V \left(u + \frac{1}{2} \vec{V}^2 + gz \right) \rho dV$
3. voor de massabalans (met $\Psi=m$) is $\psi_i = \psi_e = 1$, $\dot{J}_\Psi = 0 \frac{kg}{s}$ en $\dot{\sigma}_\Psi = 0 \frac{kg}{s}$ en de term aan de linkerkant kan worden uitgedrukt als $\frac{dm}{dt} = \frac{d}{dt} \int_V \rho dV$ met ρ voor de dichtheid van het materiaal.
4. voor de entropiebalans (met $\Psi=S$) is $\dot{\sigma}_\Psi$ de entropieproductie, waarvoor geldt $\dot{\sigma}_\Psi \geq 0 \frac{J}{Ks}$

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

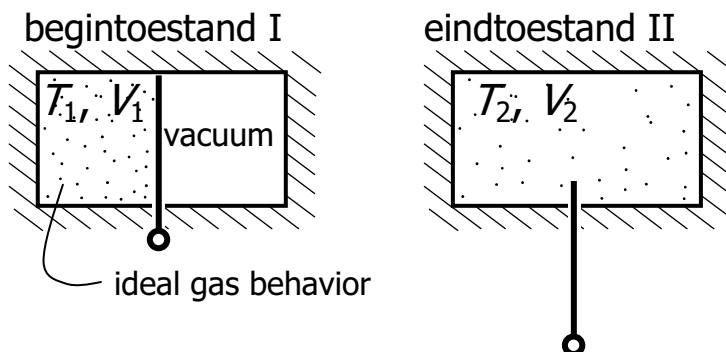
MK 2



- (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 3

Joule and Thomson hebben experimenten uitgevoerd, zoals hieronder geschetst.



- (a) Zij hebben gezien dat de temperatuur steeg, en ze hebben geconcludeerd dat de inwendige energie monotoon met temperatuur toeneemt
- (b) Zij hebben gezien dat de temperatuur daalde, en ze hebben geconcludeerd dat de inwendige energie monotoon met de temperatuur afneemt
- (c) Zij hebben gezien dat de temperatuur constant bleef, en ze hebben geconcludeerd dat de inwendige energie alleen een functie van de druk is
- (d) Zij hebben gezien dat de temperatuur constant bleef, en ze hebben geconcludeerd dat de inwendige energie alleen een functie van de temperatuur is

MK 4

Voor differentiële arbeid δW en de integrale arbeid $\Delta_{12}W$ geldt, respectievelijk

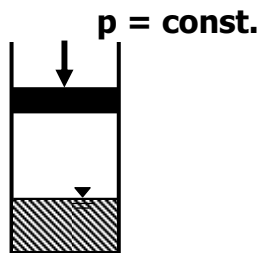
1. $\delta W = pdV$, maar alleen voor reversibele processen (quasi-evenwicht).
2. $\delta W = pdV$ voor alle processen.
3. $\Delta_{12}W = \int \delta W \neq W_2 - W_1$, want W is geen toestandsgrootheid
4. $\Delta_{12}W = \int \delta W = W_2 - W_1$, want W is een toestandsgrootheid

- (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 5

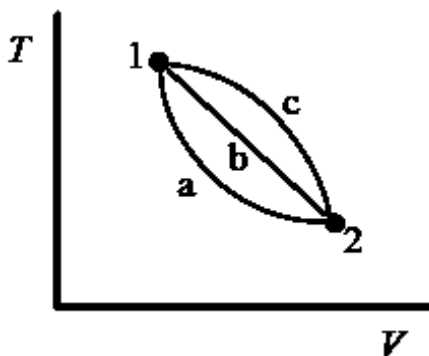
Wij verdampen een vloeistof volledig in een gesloten systeem met zuiger. Het proces wordt isobaar (en dus ook isotherm) uitgevoerd. De warmte die hiervoor nodig is,

- (a) is de enthalpie van de damp minus de enthalpie van de vloeistof
- (b) is de enthalpie van de vloeistof minus de enthalpie van de damp
- (c) is de inwendige energie van de damp minus de inwendige energie van de vloeistof
- (d) is de inwendige energie van de vloeistof minus de inwendige energie van de damp



MK 6

Welk proces van een ideaal gas in het diagram kan een isobaar proces zijn? De schalen langs de assen zijn lineair.



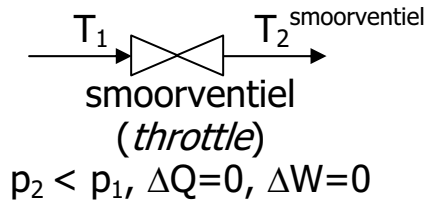
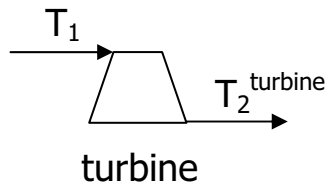
- (a) a
- (b) b
- (c) c
- (d) geen

MK 7

We beschouwen een turbineproces en een smoorventiel-proces, zoals beneden geschetst. Voor een ideaal gas voldoet de temperatuur T_2 aan de uitlaat van de twee processen aan:

- (a) $T_2^{\text{turbine}} < T_1$,
- (b) $T_2^{\text{turbine}} = T_1$,
- (c) $T_2^{\text{turbine}} < T_1$,
- (d) $T_2^{\text{turbine}} > T_1$,

- $T_2^{\text{smoorventiel}} > T_1$
- $T_2^{\text{smoorventiel}} < T_1$
- $T_2^{\text{smoorventiel}} = T_1$
- $T_2^{\text{smoorventiel}} = T_1$



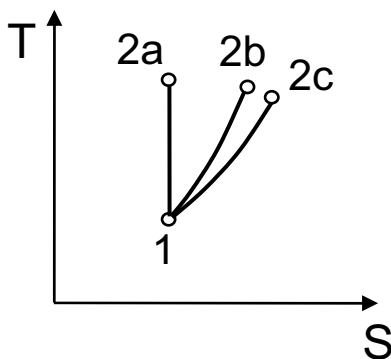
MK 8

Beschouw een twee-fase systeem van R134a bestaand uit een damp- en een vloeistof-fase in een gesloten systeem met een dampfractie van $x=0.314$. Het systeem heeft een constant volume van 0.015 m^3 en bevat 1 kg R134a. De vloeistof heeft een specifiek volume van $v_L=0.797 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$. Het specifiek volume van de damp is:

- (a) $v_V=0.0211 \text{ m}^3/\text{kg}$.
- (b) $v_V=0.0444 \text{ m}^3/\text{kg}$.
- (c) $v_V=0.0460 \text{ m}^3/\text{kg}$.
- (d) $v_V=0.0495 \text{ m}^3/\text{kg}$.

MK 9

De processtappen, die bij het geschetste T - S diagram zouden kunnen horen, zijn:



- (a) 1-2a: isochoor, 1-2b: isotherm, 1-2c: isobaar
- (b) 1-2a: polytroom, 1-2b: adiabaat, 1-2d: isochoor
- (c) 1-2a: adiabaat, 1-2b: isochoor, 1-2c: isobaar
- (d) 1-2a: polytroom, 1-2b: isobaar, 1-2c: isochoor

MK 10

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

MK 11

Kan een systeem een reversibel proces ondergaan, terwijl de entropie niet constant blijft?

- (a) nee, bij een reversibel proces blijft de entropie van een systeem altijd constant
- (b) ja, maar alleen als de warmte $\Delta Q \neq 0J$
- (c) ja, maar alleen als de warmte $\Delta Q > 0J$
- (d) ja, maar alleen als de warmte $\Delta Q < 0J$

MK 12

Beoordeel de volgende beweringen over de entropieproductie $\Delta_{12}\sigma$:

1. de entropieproductie is een toestandsgröotheid
2. de entropieproductie is nul voor reversibele processen
3. de entropieproductie is nul voor ideale gassen, maar niet voor reële stoffen
4. het product $T_0 \cdot \Delta_{12}\sigma$ is het niet gerealiseerde arbeidspotentieel van een irreversibel proces
5. de entropieproductie is een mate voor de niet-duurzaamheid van een proces

- (a) 1, 3, 4 en 5 zijn waar; 2 niet
- (b) 2, 3, 4 en 5 zijn waar; 1 niet
- (c) 2, 4 en 5 zijn waar; 1 en 3 niet
- (d) 2 en 5 zijn waar; 1, 3 en 4 niet

MK 13

Een reversibele warmtepomp ontvangt energie uit een reservoir met een temperatuur van 25°C en geeft 300 kJ warmte af aan een reservoir met een temperatuur van 85°C . De netto benodigde arbeid is:

- (a) $\Delta W = 50.3\text{ kJ}$
- (b) $\Delta W = 60.4\text{ kJ}$
- (c) $\Delta W = 212.\text{ kJ}$
- (d) $\Delta W = 720.\text{ kJ}$

MK 14

Geef van de onderstaande geïdealiseerde processen de volgorde aan met afnemend rendement in geval van dezelfde compressieverhouding voor de drie processen.

- (a) diesel, dual, otto
- (b) otto, dual, diesel
- (c) diesel, otto, dual
- (d) dual, diesel, otto

TABLE A-3 Properties of Saturated Water (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 $v_f \times 10^3$	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	
0.30	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
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
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
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-4 (Continued)

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$p = 40 \text{ bar} = 4.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 250.4^\circ\text{C}$)								
360	0.06788	2845.7	3117.2	6.6215	0.04331	2811.2	3071.1	6.3782
400	0.07341	2919.9	3213.6	6.7690	0.04739	2892.9	3177.2	6.5408
440	0.07872	2992.2	3307.1	6.9041	0.05122	2970.0	3277.3	6.6853
640	0.1037	3351.8	3766.6	7.4720	0.06859	3341.0	3752.6	7.2731
700	0.1110	3462.1	3905.9	7.6198	0.07352	3453.1	3894.1	7.4234
740	0.1157	3536.6	3999.6	7.7141	0.07677	3528.3	3989.2	7.5190
$p = 80 \text{ bar} = 8.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 295.06^\circ\text{C}$)								
400	0.03432	2863.8	3138.3	6.3634	0.02641	2832.4	3096.5	6.2120
440	0.03742	2946.7	3246.1	6.5190	0.02911	2922.1	3213.2	6.3805
480	0.04034	3025.7	3348.4	6.6586	0.03160	3005.4	3321.4	6.5282
640	0.05102	3330.1	3738.3	7.1283	0.04048	3318.9	3723.7	7.0131
700	0.05481	3443.9	3882.4	7.2812	0.04358	3434.7	3870.5	7.1687
740	0.05729	3520.4	3978.7	7.3782	0.04560	3512.1	3968.1	7.2670
$p = 120 \text{ bar} = 12.0 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = 324.75^\circ\text{C}$)								
440	0.02355	2896.1	3178.7	6.2586	0.01954	2868.6	3142.2	6.1474
480	0.02576	2984.4	3293.5	6.4154	0.02157	2962.5	3264.5	6.3143
520	0.02781	3068.0	3401.8	6.5555	0.02343	3049.8	3377.8	6.4610
700	0.03610	3425.2	3858.4	7.0749	0.03075	3415.7	3846.2	6.9939
740	0.03781	3503.7	3957.4	7.1746	0.03225	3495.2	3946.7	7.0952

TABLE A-22 Ideal Gas Properties of Air

$T(\text{K}), h$ and $u(\text{kJ/kg}), s^\circ (\text{kJ/kg} \cdot \text{K})$											
T	h	u	s°	when $\Delta s = 0^1$		T	h	u	s°	when $\Delta s = 0$	
				p_r	v_r					p_r	v_r
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
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	19.84	92.84
340	340.42	242.82	1.82790	2.149	454.1	640	649.22	465.50	2.47716	20.64	88.99
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°	when $\Delta s = 0^1$		T	h	u	s°	when $\Delta s = 0$	
				p_r	v_r					p_r	v_r
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
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
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

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