ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

การสอบกลางภาค ประจำภาคการศึกษาที่ 1 ประจำปีการศึกษา 2553

วันที่ 5 สิงหาคม 2553 เวลา 13.30-16.30 น.

วิชา 215-391, 216-391 Fundamental of Mechanical Engineering ห้อง หัวหุ่น , A400

คำสั่ง

1. ข้อสอบมีทั้งหมด 7 ข้อ คะแนนเต็ม 140 คะแนน ให้ทำทุกข้อ และมีทั้งหมด 12 หน้ารวมปก
2. ให้แสดงวิธีทำโดยละเอียดลงในข้อสอบ
3. ให้เขียนชื่อ นามสกุล และรหัสนักศึกษาในข้อสอบทุกแผ่น
4. ไม่อนุญาตให้นำเอกสารใดๆ เข้าห้องสอบรวมทั้งตารางเทอร์โมไดนามิกส์
5. อนุญาตให้นำเครื่องคิดเลขเข้าห้องสอบได้
6. ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ ให้ส่งคืนพร้อมกับข้อสอบ

ดร.สมชาย แซ่อึ้ง

ผู้ออกข้อสอบ

กำหนดให้ อากาศมีค่าต่อไปนี้คงที่

$C_P = 1.0035\,kJ/kg\cdot K$

$C_v = 0.718\,kJ/kg\cdot K$

$k = 1.4$

$R = 0.287\,kPa\cdot m^3/kg\cdot K$

ค่าคงที่ของ สตีเฟน โบลซ์แมน

$\sigma = 5.67\times10^{-8}\ W/\left(m^2K^4\right)$

ทุจริตในการสอบโทษขั้นต่ำ คือ ปรับตกในรายวิชาที่ทุจริต และพักการเรียน 1 ภาคการศึกษา

ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

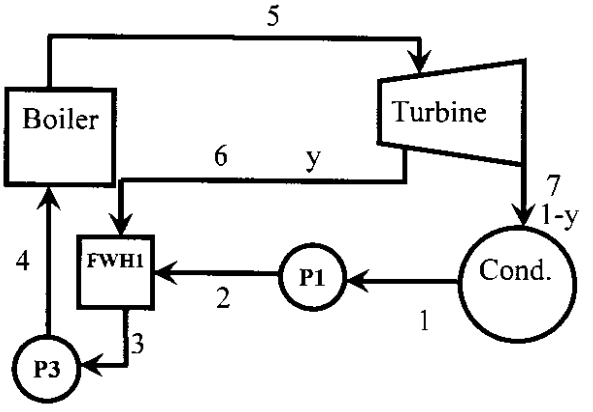
1. โรงจักรไอน้ำทำงานในลักษณะวัฏจักรอุดมคติ โดยมีเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยงแบบเปิด (Open Feedwater Heater) โดยไอน้ำที่ทางเข้ากังหันมีค่าความดัน 6 MPa และออกไปยังเครื่องควบแน่นที่ความดัน 10 kPa โดยไอน้ำส่วนหนึ่ง (y) ถูกดึงจากกังหันที่ความดัน 4 MPa เพื่อป้อนให้กับเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง โดยที่ทางออกของเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยงและที่เครื่องควบแน่นน้ำจะมีสภาวะเป็นของเหลวอิ่มตัว ถ้าต้องการให้ไอน้ำที่ออกจากกังหันมีความชื้นไม่เกิน 9.7 % จงหาคุณสมบัติที่สภาวะต่างๆ เติมลงในตารางที่ให้มา **(20 คะแนน)** แล้วเขียนแผนภาพ T-s **(2 คะแนน)** และจงคำนวณหา

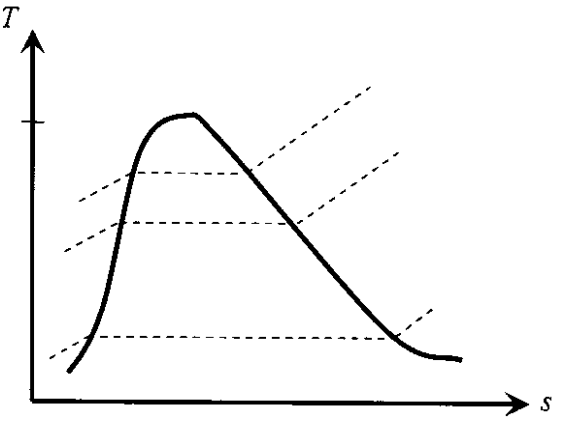
1.1) สัดส่วนไอน้ำที่ทางเข้าของเครื่องอุ่นน้ำเลี้ยง **(5 คะแนน)**

1.2) งานสุทธิของวัฏจักร **(4 คะแนน)**

1.3) อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำที่ไหลผ่านหม้อต้มเพื่อให้ได้กำลังสุทธิ 50 MW **(2 คะแนน)**

1.4) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักร **(2 คะแนน)**





(1bar = 0.1 MPa)

จุดที่ (สถานะ)	P (bar)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg.K)
1 (ของเหลวอิ่มตัว)			

สถานะให้บอกในรูป ของเหลวอิ่มตัว(Saturated liquid.), ของเหลวอัดตัว (Compressed liquid), ไออิ่มตัว (Saturated vapor), ไอร้อนยวดยิ่งหรือไอดง (Superheated vapor), ไอผสม (Saturated Mixture) เท่านั้น

ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

2. เครื่องยนต์ ซีไอ (Compression-ignition engine) 4 จังหวะ มีปริมาตรเมื่อลูกสูบอยู่ที่ BDC เท่ากับ 4.8 ลิตร ทำงานแบบ ideal diesel cycle โดยมี อัตราส่วนกำลังอัดเท่ากับ 16 โดยที่จุดเริ่มต้นก่อนเข้ากระบวนการอัดแบบไอเซนโทรปิก อากาศมีความดันและอุณหภูมิเท่ากับ 100 kPa, 27°C โดยมีความร้อนถ่ายเทเข้าสู่ระบบเท่ากับ 10 kJ จงเขียน P-v diagram ของวัฏจักรนี้อย่างคร่าว ๆ (2 Pts) และหา

2.1 มวลของอากาศที่ใช้ในระบบ (8 Pts)

2.2 อุณหภูมิสูงสุดและความดันสูงสุดของวัฏจักร (8 Pts)

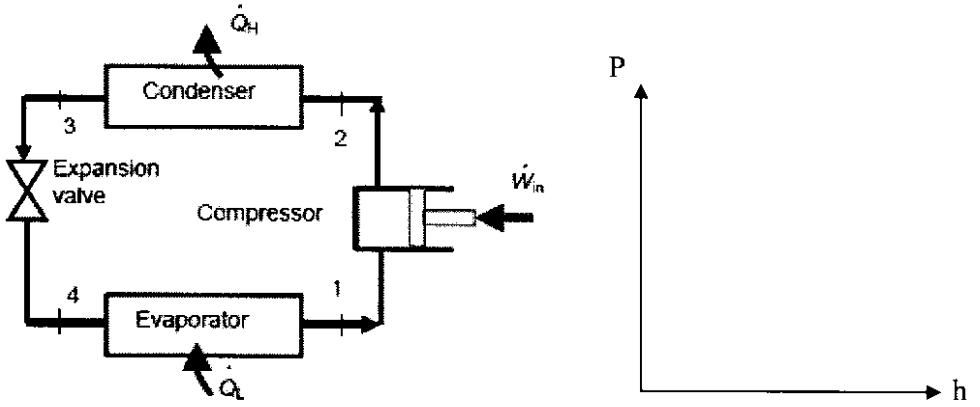
ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

2.3ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักร (5 Pts)

2.4 ความดันโดยเฉลี่ย mean effective pressure (2 Pts)

ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

3. เครื่องทำความเย็นวัฏจักรอุดมคติ ใช้ R-134a เป็นสารทำงาน โดยเข้าเครื่องระเหย (evaporator) ที่ความดัน 100 kPa ด้วยค่าคุณภาพไอ (x) เท่ากับ 41.38 % และออกจากเครื่องอัดไอ (compressor) ที่อุณหภูมิ 60 °C โดยเครื่องอัดไอ (compressor) ต้องการกำลัง 600 W จงเขียน P-h diagram อย่างคร่าวๆ (2 Pts) และหา



Properties of Saturated Refrigerant 134a (Liquid–Vapor): Pressure Table

Press. bar	Temp. °C	Specific Volume m³/kg Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Specific Volume m³/kg Sat. Vapor v_g	Internal Energy kJ/kg Sat. Liquid u_f	Internal Energy kJ/kg Sat. Vapor u_g	Enthalpy kJ/kg Sat. Liquid h_f	Enthalpy kJ/kg Evap. h_{fg}	Enthalpy kJ/kg Sat. Vapor h_g	Entropy kJ/kg · K Sat. Liquid s_f	Entropy kJ/kg · K Sat. Vapor s_g	Press. bar
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

R-134a

3.1. ค่าเอนทาลปีของสารทำงานก่อนเข้า Evaporator **(6 Pts)**

ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

Properties of Superheated Refrigerant 134a Vapor

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
	p = 8.0 bar = 0.80 MPa (T_{sat} = 31.33°C)				p = 9.0 bar = 0.90 MPa (T_{sat} = 35.53°C)			
Sat.	0.02547	243.78	264.15	0.9066	0.02255	245.88	266.18	0.9054
40	0.02691	252.13	273.66	0.9374	0.02325	250.32	271.25	0.9217
50	0.02846	261.62	284.39	0.9711	0.02472	260.09	282.34	0.9566
60	0.02992	271.04	294.98	1.0034	0.02609	269.72	293.21	0.9897
70	0.03131	280.45	305.50	1.0345	0.02738	279.30	303.94	1.0214
80	0.03264	289.89	316.00	1.0647	0.02861	288.87	314.62	1.0521
90	0.03393	299.37	326.52	1.0940	0.02980	298.46	325.28	1.0819
100	0.03519	308.93	337.08	1.1227	0.03095	308.11	335.96	1.1109
110	0.03642	318.57	347.71	1.1508	0.03207	317.82	346.68	1.1392
120	0.03762	328.31	358.40	1.1784	0.03316	327.62	357.47	1.1670
130	0.03881	338.14	369.19	1.2055	0.03423	337.52	368.33	1.1943
140	0.03997	348.09	380.07	1.2321	0.03529	347.51	379.27	1.2211
150	0.04113	358.15	391.05	1.2584	0.03633	357.61	390.31	1.2475
160	0.04227	368.32	402.14	1.2843	0.03736	367.82	401.44	1.2735
170	0.04340	378.61	413.33	1.3098	0.03838	378.14	412.68	1.2992
180	0.04452	389.02	424.63	1.3351	0.03939	388.57	424.02	1.3245
	p = 10.0 bar = 1.00 MPa (T_{sat} = 39.39°C)				p = 12.0 bar = 1.20 MPa (T_{sat} = 46.32°C)			
Sat.	0.02020	247.77	267.97	0.9043	0.01663	251.03	270.99	0.9023
40	0.02029	248.39	268.68	0.9066				
50	0.02171	258.48	280.19	0.9428	0.01712	254.98	275.52	0.9164
60	0.02301	268.35	291.36	0.9768	0.01835	265.42	287.44	0.9527
70	0.02423	278.11	302.34	1.0093	0.01947	275.59	298.96	0.9868
80	0.02538	287.82	313.20	1.0405	0.02051	285.62	310.24	1.0192
90	0.02649	297.53	324.01	1.0707	0.02150	295.59	321.39	1.0503
100	0.02755	307.27	334.82	1.1000	0.02244	305.54	332.47	1.0804
110	0.02858	317.06	345.65	1.1286	0.02335	315.50	343.52	1.1096
120	0.02959	326.93	356.52	1.1567	0.02423	325.51	354.58	1.1381
130	0.03058	336.88	367.46	1.1841	0.02508	335.58	365.68	1.1660
140	0.03154	346.92	378.46	1.2111	0.02592	345.73	376.83	1.1933
150	0.03250	357.06	389.56	1.2376	0.02674	355.95	388.04	1.2201
160	0.03344	367.31	400.74	1.2638	0.02754	366.27	399.33	1.2465
170	0.03436	377.66	412.02	1.2895	0.02834	376.69	410.70	1.2724
180	0.03528	388.12	423.40	1.3149	0.02912	387.21	422.16	1.2980

3.2. หาค่าเอนทาลปีที่ออกจาก คอนเดนเซอร์ และความดันที่คอนเดนเซอร์ทำงานถ้าสารทำความเย็นออกจากคอนเดนเซอร์ด้วยสภาวะ ของเหลวอิ่มตัว **(6 Pts)**

ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

3.3. กำลังในการผลิตความเย็นของระบบในหน่วย kW **(4 Pts)**

3.4. COP **(2 Pts)**

ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

4. ในวัฏจักรกังหันแก๊ส อากาศเข้าสู่เครื่องอัดอากาศที่ 0.1 MPa 27 °C และออกจากเครื่องอัดอากาศ 1.0 MPa โดยเป็นกระบวนการอัดแบบไอเซนโทรปิก โดยใช้กำลังในการอัด 280 kW ถ้าอุณหภูมิสูงสุดในวัฏจักรมีค่า 1000 °C จงหากำลังสุทธิของวัฏจักรในหน่วย kW และประสิทธิภาพของวัฏจักร **(20 คะแนน)**

ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

5.ทรงกระบอกตันรัศมี 1 cm ยาว 1 m มีอุณหภูมิที่ผิววัตถุเท่ากับ 150 °C แช่อยู่ในของเหลวอุณหภูมิ 25°C และมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 20 W/(m^2 °C) จงหาฟลักซ์ความร้อน และความร้อนทั้งหมดที่ถ่ายเทโดยการพาความร้อน (10 คะแนน)

6. แผ่นเหล็กสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 50 cm x 50 cm ได้รับความร้อน 400 W ถ้าความร้อนที่ได้รับทั้งหมด ถ่ายเทไปให้กับอากาศโดยการพาและการแผ่รังสีโดยแผ่นเหล็กมีค่า Emissivity $\varepsilon = 0.9$ จงหาอุณหภูมิบนผิวแผ่นเหล็ก กำหนดให้อากาศมีอุณหภูมิ 27 °C และมีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน 20 W/(m^2 °C) (10 คะแนน)

ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

7. พิจารณาการนำความร้อน 1 มิติ ในสภาวะคงตัว **สำหรับทรงกลมกลวง**รัศมีภายใน a และ รัศมีภายนอก b มีค่าการนำความร้อนคงที่ k โดยมีแหล่งกำเนิดความร้อนภายในทรงกลมเท่ากับ g_0 W/m^3 ถ้าผิวภายในทรงกลมเป็นฉนวน และผิวภายนอกทรงกลมมีอุณหภูมิคงที่ T_b

a. จงเขียนสมการคณิตศาสตร์และ boundary conditions สำหรับปัญหานี้ (10 คะแนน)

b. จากข้อที่แล้วให้หาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและรัศมีของทรงกลม (10 คะแนน)

ชื่อ.....นามสกุล.....รหัส.....

สมการที่เกี่ยวข้อง และตารางเทอร์โมไดนามิกส์

กฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์	${}_1q_2 - {}_1w_2 = h_2 - h_1$ หน่วย kJ/kg
สำหรับกฎอนุรักษ์พลังงาน	$\sum \dot{m}_{in} h_{in} = \sum \dot{m}_{out} h_{out}$
ความสัมพันธ์ของเอนโทรปี และเอนทาลปี สำหรับของผสม	$s = s_f + x s_{fg}$ $\quad h = h_f + x h_{fg}$ $s_{fg} = s_g - s_f$ $\quad h_{fg} = h_g - h_f$
งานสำหรับกระบวนการปั๊มไอเซนโทรปิก	$-{}_1w_2 = v_1(P_2 - P_1)$
กระบวนการอัดหรือขยายตัวแบบไอเซนโทรปิก	$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\left(\frac{k-1}{k}\right)} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1}$
ความร้อนจากกระบวนการความดันคงที่	$Q = mC_P\Delta T$
ความร้อนจากกระบวนการปริมาตรคงที่	$Q = mC_v\Delta T$
กำลังงาน	$\dot{W} = \dot{m}w$
กฎของแก๊ส	$PV = mRT$ $\quad R = 0.287\ kJ/kg\cdot K$ $Pv = RT$ $\quad = 0.287\ kPa\cdot m^3/kg\cdot K$
ความดันเฉลี่ยในลูกสูบ	$P_m = \left(\frac{W_{net}}{Swept\ \ Volume}\right) = \left(\frac{W_{net}}{V_{\max} - V_{\min}}\right)$

$q_x = -k\frac{dT}{dx}$	W/m^2	**Conduction heat flux in the x**
$q = h(T_h - T_c)$	W/m^2	**Convection heat flux**
$q = \varepsilon\sigma T^4$	W/m^2	**Radiation flux emitted by a real body**
$Q_1 = A_1\varepsilon_1\sigma(T_1^4 - T_2^4)$ for $A_1/A_2 \to 0$	W	**Net radiation from surface A_1 at T_1 to a very large medium A_2 at T_2**
$q_1 = h_r(T_1 - T_2)$ Where $h_r = 4\varepsilon\sigma T_1^3$	W/m^2	**Energy transfer by radiation for $\lvert T_1 - T_2\rvert \ll T_1$**
$q_w = \varepsilon\sigma(T_w^4 - T_s^4) + h_c(T_w - T_\infty)$	W/m^2	**Energy transfer by combined convection and radiation**
$q_w = h_r(T_w - T_s) + h_c(T_w - T_\infty)$ Where $h_r = 4\varepsilon\sigma T_w^3$	W/m^2	**for $\lvert T_w - T_s\rvert \ll T_w$**

$$\frac{1}{r^n}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^n k\frac{\partial T}{\partial r}\right) + g = \rho C_p\frac{\partial T}{\partial t}$$

$$\frac{1}{r^n}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^n\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{1}{k}g = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}$$

$$n = \begin{cases} 0 \text{ rectangular coordiante} \\ 1 \text{ cylindrical coordiante} \\ 2 \text{ spherical coordiante} \end{cases}$$

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} = \textit{Thermal diffusivity of material}\ \ (m^2/s)$$

3-dimensional heat conduction equation

For a rectangular coordinate system (x, y, z)

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{g}{k} = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}$$

For the cylindrical coordinate system (r, ϕ, z)

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{1}{k}g = \frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}$$

TABLE A-3 Properties of Saturated Water (Liquid–Vapor): Pressure Table

H_2O

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	
0.04	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-4 Properties of Superheated Water Vapor

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
	p = 0.06 bar = 0.006 MPa (T_{sat} = 36.16°C)				p = 0.35 bar = 0.035 MPa (T_{sat} = 72.69°C)			
Sat.	23.739	2425.0	2567.4	8.3304	4.526	2473.0	2631.4	7.7158
80	27.132	2487.3	2650.1	8.5804	4.625	2483.7	2645.6	7.7564
120	30.219	2544.7	2726.0	8.7840	5.163	2542.4	2723.1	7.9644
160	33.302	2602.7	2802.5	8.9693	5.696	2601.2	2800.6	8.1519
200	36.383	2661.4	2879.7	9.1398	6.228	2660.4	2878.4	8.3237
240	39.462	2721.0	2957.8	9.2982	6.758	2720.3	2956.8	8.4828
280	42.540	2781.5	3036.8	9.4464	7.287	2780.9	3036.0	8.6314
320	45.618	2843.0	3116.7	9.5859	7.815	2842.5	3116.1	8.7712
360	48.696	2905.5	3197.7	9.7180	8.344	2905.1	3197.1	8.9034
400	51.774	2969.0	3279.6	9.8435	8.872	2968.6	3279.2	9.0291
440	54.851	3033.5	3362.6	9.9633	9.400	3033.2	3362.2	9.1490
500	59.467	3132.3	3489.1	10.1336	10.192	3132.1	3488.8	9.3194
	p = 0.70 bar = 0.07 MPa (T_{sat} = 89.95°C)				p = 1.0 bar = 0.10 MPa (T_{sat} = 99.63°C)			
Sat.	2.365	2494.5	2660.0	7.4797	1.694	2506.1	2675.5	7.3594
100	2.434	2509.7	2680.0	7.5341	1.696	2506.7	2676.2	7.3614
120	2.571	2539.7	2719.6	7.6375	1.793	2537.3	2716.6	7.4668
160	2.841	2599.4	2798.2	7.8279	1.984	2597.8	2796.2	7.6597
200	3.108	2659.1	2876.7	8.0012	2.172	2658.1	2875.3	7.8343
240	3.374	2719.3	2955.5	8.1611	2.359	2718.5	2954.5	7.9949
280	3.640	2780.2	3035.0	8.3162	2.546	2779.6	3034.2	8.1445
320	3.905	2842.0	3115.3	8.4504	2.732	2841.5	3114.6	8.2849
360	4.170	2904.6	3196.5	8.5828	2.917	2904.2	3195.9	8.4175
400	4.434	2968.2	3278.6	8.7086	3.103	2967.9	3278.2	8.5435
440	4.698	3032.9	3361.8	8.8286	3.288	3032.6	3361.4	8.6636
500	5.095	3131.8	3488.5	8.9991	3.565	3131.6	3488.1	8.8342
	p = 1.5 bar = 0.15 MPa (T_{sat} = 111.37°C)				p = 3.0 bar = 0.30 MPa (T_{sat} = 133.55°C)			
Sat.	1.159	2519.7	2693.6	7.2233	0.606	2543.6	2725.3	6.9919
120	1.188	2533.3	2711.4	7.2693				
160	1.317	2595.2	2792.8	7.4665	0.651	2587.1	2782.3	7.1276
200	1.444	2656.2	2872.9	7.6433	0.716	2650.7	2865.5	7.3115
240	1.570	2717.2	2952.7	7.8052	0.781	2713.1	2947.3	7.4774
280	1.695	2778.6	3032.8	7.9555	0.844	2775.4	3028.6	7.6299
320	1.819	2840.6	3113.5	8.0964	0.907	2838.1	3110.1	7.7722
360	1.943	2903.5	3195.0	8.2293	0.969	2901.4	3192.2	7.9061
400	2.067	2967.3	3277.4	8.3555	1.032	2965.6	3275.0	8.0330
440	2.191	3032.1	3360.7	8.4757	1.094	3030.6	3358.7	8.1538
500	2.376	3131.2	3487.6	8.6466	1.187	3130.0	3486.0	8.3251
600	2.685	3301.7	3704.3	8.9101	1.341	3300.8	3703.2	8.5892

TABLE A-4 *(Continued)*

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
	p = 5.0 bar = 0.50 MPa (T_{sat} = 151.86°C)			
Sat.	0.3749	2561.2	2748.7	6.8213
180	0.4045	2609.7	2812.0	6.9656
200	0.4249	2642.9	2855.4	7.0592
240	0.4646	2707.6	2939.9	7.2307
280	0.5034	2771.2	3022.9	7.3865
320	0.5416	2834.7	3105.6	7.5308
360	0.5796	2898.7	3188.4	7.6660
400	0.6173	2963.2	3271.9	7.7938
440	0.6548	3028.6	3356.0	7.9152
500	0.7109	3128.4	3483.9	8.0873
600	0.8041	3299.6	3701.7	8.3522
700	0.8969	3477.5	3925.9	8.5952
	p = 7.0 bar = 0.70 MPa (T_{sat} = 164.97°C)			
	0.2729	2572.5	2763.5	6.7080
	0.2847	2599.8	2799.1	6.7880
	0.2999	2634.8	2844.8	6.8865
	0.3292	2701.8	2932.2	7.0641
	0.3574	2766.9	3017.1	7.2233
	0.3852	2831.3	3100.9	7.3697
	0.4126	2895.8	3184.7	7.5063
	0.4397	2960.9	3268.7	7.6350
	0.4667	3026.6	3353.3	7.7571
	0.5070	3126.8	3481.7	7.9299
	0.5738	3298.5	3700.2	8.1956
	0.6403	3476.6	3924.8	8.4391
	p = 10.0 bar = 1.0 MPa (T_{sat} = 179.91°C)			
Sat.	0.1944	2583.6	2778.1	6.5865
200	0.2060	2621.9	2827.9	6.6940
240	0.2275	2692.9	2920.4	6.8817
280	0.2480	2760.2	3008.2	7.0465
320	0.2678	2826.1	3093.9	7.1962
360	0.2873	2891.6	3178.9	7.3349
400	0.3066	2957.3	3263.9	7.4651
440	0.3257	3023.6	3349.3	7.5883
500	0.3541	3124.4	3478.5	7.7622
540	0.3729	3192.6	3565.6	7.8720
600	0.4011	3296.8	3697.9	8.0290
640	0.4198	3367.4	3787.2	8.1290
	p = 15.0 bar = 1.5 MPa (T_{sat} = 198.32°C)			
	0.1318	2594.5	2792.2	6.4448
	0.1325	2598.1	2796.8	6.4546
	0.1483	2676.9	2899.3	6.6628
	0.1627	2748.6	2992.7	6.8381
	0.1765	2817.1	3081.9	6.9938
	0.1899	2884.4	3169.2	7.1363
	0.2030	2951.3	3255.8	7.2690
	0.2160	3018.5	3342.5	7.3940
	0.2352	3120.3	3473.1	7.5698
	0.2478	3189.1	3560.9	7.6805
	0.2668	3293.9	3694.0	7.8385
	0.2793	3364.8	3783.8	7.9391
	p = 20.0 bar = 2.0 MPa (T_{sat} = 212.42°C)			
Sat.	0.0996	2600.3	2799.5	6.3409
240	0.1085	2659.6	2876.5	6.4952
280	0.1200	2736.4	2976.4	6.6828
320	0.1308	2807.9	3069.5	6.8452
360	0.1411	2877.0	3159.3	6.9917
400	0.1512	2945.2	3247.6	7.1271
440	0.1611	3013.4	3335.5	7.2540
500	0.1757	3116.2	3467.6	7.4317
540	0.1853	3185.6	3556.1	7.5434
600	0.1996	3290.9	3690.1	7.7024
640	0.2091	3362.2	3780.4	7.8035
700	0.2232	3470.9	3917.4	7.9487
	p = 30.0 bar = 3.0 MPa (T_{sat} = 233.90°C)			
	0.0667	2604.1	2804.2	6.1869
	0.0682	2619.7	2824.3	6.2265
	0.0771	2709.9	2941.3	6.4462
	0.0850	2788.4	3043.4	6.6245
	0.0923	2861.7	3138.7	6.7801
	0.0994	2932.8	3230.9	6.9212
	0.1062	3002.9	3321.5	7.0520
	0.1162	3108.0	3456.5	7.2338
	0.1227	3178.4	3546.6	7.3474
	0.1324	3285.0	3682.3	7.5085
	0.1388	3357.0	3773.5	7.6106
	0.1484	3466.5	3911.7	7.7571

TABLE A-4 (*Continued*)

T °C	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m³/kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
	p = 40 bar = 4.0 MPa (T_{sat} = 250.4°C)				p = 60 bar = 6.0 MPa (T_{sat} = 275.64°C)			
Sat.	0.04978	2602.3	2801.4	6.0701	0.03244	2589.7	2784.3	5.8892
280	0.05546	2680.0	2901.8	6.2568	0.03317	2605.2	2804.2	5.9252
320	0.06199	2767.4	3015.4	6.4553	0.03876	2720.0	2952.6	6.1846
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
500	0.08643	3099.5	3445.3	7.0901	0.05665	3082.2	3422.2	6.8803
540	0.09145	3171.1	3536.9	7.2056	0.06015	3156.1	3517.0	6.9999
600	0.09885	3279.1	3674.4	7.3688	0.06525	3266.9	3658.4	7.1677
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 bar = 8.0 MPa (T_{sat} = 295.06°C)				p = 100 bar = 10.0 MPa (T_{sat} = 311.06°C)			
Sat.	0.02352	2569.8	2758.0	5.7432	0.01803	2544.4	2724.7	5.6141
320	0.02682	2662.7	2877.2	5.9489	0.01925	2588.8	2781.3	5.7103
360	0.03089	2772.7	3019.8	6.1819	0.02331	2729.1	2962.1	6.0060
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
520	0.04313	3102.7	3447.7	6.7871	0.03394	3085.6	3425.1	6.6622
560	0.04582	3178.7	3545.3	6.9072	0.03619	3164.1	3526.0	6.7864
600	0.04845	3254.4	3642.0	7.0206	0.03837	3241.7	3625.3	6.9029
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 bar = 12.0 MPa (T_{sat} = 324.75°C)				p = 140 bar = 14.0 MPa (T_{sat} = 336.75°C)			
Sat.	0.01426	2513.7	2684.9	5.4924	0.01149	2476.8	2637.6	5.3717
360	0.01811	2678.4	2895.7	5.8361	0.01422	2617.4	2816.5	5.6602
400	0.02108	2798.3	3051.3	6.0747	0.01722	2760.9	3001.9	5.9448
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
560	0.02977	3149.0	3506.2	6.6840	0.02517	3133.6	3486.0	6.5941
600	0.03164	3228.7	3608.3	6.8037	0.02683	3215.4	3591.1	6.7172
640	0.03345	3307.5	3709.0	6.9164	0.02843	3296.0	3694.1	6.8326
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