Pontificia Universidad Católica de Chile
Instituto de Física
FIS1523 - Termodinámica
28 de Agosto de 2014

P1	P2	P3	Nota

Tiempo: 120 minutos
Se puede usar calculadora.
No se puede usar celular.
No se puede prestar nada.
Preguntas de enunciado en voz alta durante los primeros 60 minutos.
Si usa lápiz mina no podrá pedir recorrección.

Interrogación Nro. 1

Nombre: _____ **Sección:** _____

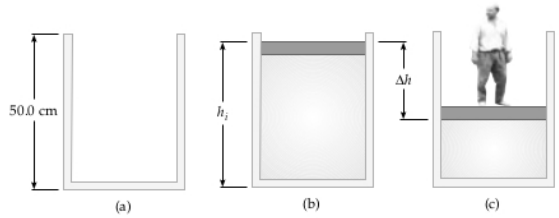
Problema 1

Un cilindro que tiene un radio de 40.0 cm y 50.0 cm de profundidad se llena con aire a 20.0^{o}C y 1.00 atm (ver figura, parte a). Un émbolo de 20.0 kg desciende luego en el cilindro y comprime el aire atrapado en el interior (ver figura, parte b). Por último, un hombre de 75.0 kg parado sobre el émbolo comprime aún más el aire, que permanece a 20.0^{o}C (ver figura, parte c).

a) ¿Qué distancia (Δh) se mueve el émbolo cuando el hombre está parado sobre él?

b) ¿A qué temperatura debe calentarse el gas para elevar el émbolo y al hombre de regreso a h_i?

c) Si, en lugar de que se suba la persona sobre el émbolo, se coloca mercurio sobre el émbolo para aumentar la presión, ¿cuál sería la altura de la columna de mercurio para provocar el mismo aumento de presión que se logra con la persona?



Solución

(a) Cuando se coloca el pistón, como T permanece constante, se tiene que $P_i\,V_i = P_o\,V_o$, siendo P_o y V_o presión y volumen de aire antes de colocar el pistón y P_i y V_i presión y volumen de aire después de colocar el pistón.

$$P_o = 101{,}3kPa \qquad V_o = A\,h_o = 0{,}2513m^3 \qquad V_i = A\,h_i$$

Como el área es constante, $P_i = P_o\,(h_o/h_i)$ [0,25 puntos].

Además, el cambio de presión se debe al peso del pistón aplicado sobre el aire: $P_i = P_o + m_p\,g/A$ donde m_p es la masa del pistón [1,0 puntos].

Así, $P_o + m_p\, g/A = P_o\, (h_o/h_i)$, lo cual se reduce a

$$h_i = \frac{h_o}{1 + \frac{m_p\, g}{P_o\, A}} = \frac{50}{1 + \frac{20 \times 9{,}81}{101{,}3 \times \pi \times 0{,}4^2}} = 49.81 \text{ cm [1,0 puntos]}$$

Cuando la persona se sube al pistón, el cálculo es igual sólo que ahora la masa es mayor, en lugar de m_p debemos usar $m_p + M$, siendo M la masa de la persona. Entonces, la altura del volumen de aire será

$$h_f = \frac{h_o}{1 + \frac{(m_p + M)\, g}{P_o\, A}} = \frac{50}{1 + \frac{(20+75) \times 9{,}81}{101{,}3 \times \pi \times 0{,}4^2}} = 49.10 \text{ cm [0,5 puntos]}$$

En definitiva, cuando la persona se sube al pistón, el pistón se desplaza hacia abajo en

$$\Delta h = h_i - h_f = 49{,}81 - 49{,}10 = 0.71 \text{ cm} = 7.1 \text{ mm [0,25 puntos]}$$

(b) La presión debe volver a ser P_i, entonces

$$\frac{V_f}{T_o} = \frac{V_i}{T'} \longrightarrow \frac{A\, h_f}{T_o} = \frac{A\, h_i}{T'} \longrightarrow T' = T_o\, \frac{h_i}{h_f} = 293 \times \frac{49{,}81}{49{,}10} = 297 \text{ K} = 24^o\text{C [1,5 puntos]}$$

(c) Si colocamos mercurio en lugar de que la persona se pare sobre el pistón, la altura de mercurio debe ser tal que la masa de mercurio sea la misma que la masa de la persona,

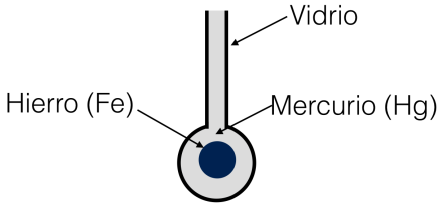
$$M = \rho_{Hg}\, V_{Hg} = \rho_{Hg}\, A\, h_{Hg} \longrightarrow h_{Hg} = \frac{M}{A\, \rho_{Hg}} = \frac{75}{\pi \times 0{,}4^2\ times 13600} = 0.011 \text{ m} = 11 \text{ mm [1,5 puntos]}$$

Nombre: _____ **Sección:** _____

Problema 2

A 0^oC se llena totalmente de mercurio un recipiente de vidrio que contiene una pieza de hierro de 56 g de masa que no puede salir por la boca del recipiente. Si se aumenta la temperatura a 10^oC, sabiendo que inicialmente había 272 g de mercurio, ¿cuál será la masa de este metal que se verterá?

Datos: $\rho_{\text{Hg}} = 13{,}6\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $\rho_{\text{Fe}} = 7{,}0\ \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, $\beta_{\text{Fe}} = 10^{-4}\ K^{-1}$, $\beta_{\text{Hg}} = 18\times 10^{-5}\ K^{-1}$, $\beta_{\text{vidrio}} = 10^{-5}\ K^{-1}$.



Solución

Sean M_{Fe} y M_{Hg} las masas del hierro y del mercurio respectivamente. Definimos como V^0_{Hg}, V^0_{vid} y V^0_{Fe} los volúmenes que ocupan el mercurio, el recipiente de vidrio y la masa de hierro a 0C. Puesto que al inicio el recipiente está totalmente lleno, entonces se cumple la relación:

$$V^0_{\text{vid}} = V^0_{\text{Hg}} + V^0_{\text{Fe}}. \text{ [1,0 puntos]} \tag{1}$$

V^0_{Hg} y V^0_{Fe} pueden ser calculados fácilmente a partir de sus densidades:

$$V^0_{\text{Hg}} = \frac{M_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{Hg}}} = \frac{272}{13{,}6} = 20\ \text{cm}^3 \text{ [0,5 puntos]}$$
$$V^0_{\text{Fe}} = \frac{M_{\text{Fe}}}{\rho_{\text{Fe}}} = \frac{56}{7{,}0} = 8\ \text{cm}^3 \text{ [0,5 puntos]}$$

De la ecuación (1), obtenemos entonces que: $V^0_{\text{vid}} = 20 + 8 = 28\ \text{cm}^3$ [0,5 puntos] Sean V^{10}_{Hg}, V^{10}_{vid} y V^{10}_{Fe} los volúmenes que ocupan el mercurio, el recipiente de vidrio y la masa de hierro a 10C. Tenemos que:

$$V^{10}_{\text{Hg}} = V^0_{\text{Hg}} + \beta_{\text{Hg}} V^0_{\text{Hg}} \Delta T = V^0_{\text{Hg}}(1 + 10\beta_{\text{Hg}}) \text{ [0,25 puntos]}$$
$$V^{10}_{\text{vid}} = V^0_{\text{vid}} + \beta_{\text{Hg}} V^0_{\text{vid}} \Delta T = V^0_{\text{vid}}(1 + 10\beta_{\text{vid}}) \text{ [0,25 puntos]}$$
$$V^{10}_{\text{Fe}} = V^0_{\text{Fe}} + \beta_{\text{Fe}} V^0_{\text{Fe}} \Delta T = V^0_{\text{Fe}}(1 + 10\beta_{\text{Fe}}) \text{ [0,25 puntos]}$$

Sea $\Delta V^{10}_{\text{Hg}}$ el volumen de mercurio que no cabe en el recipiente (es decir, que se derrama). Esta cantidad está dada por la siguiente relación:

$$\Delta V^{10}_{\text{Hg}} = V^{10}_{\text{Hg}} + V^{10}_{\text{Fe}} - V^{10}_{\text{vid}} \text{ [1,25 punto]} \tag{2}$$

Remplazando los valores numérices en la ecuación (2) nos queda que:

$$\begin{aligned} \Delta V^{10}_{\text{Hg}} &= 20(1 + 10\cdot 18\times 10^{-5}) + 8(1 + 10\cdot 10^{-4}) - 28(1 + 10\cdot 10^{-5}) \\ &= 0{,}0412\ \text{cm}^3 \text{ [1,0 punto]} \end{aligned}$$

Entonces la masa de mercurio ΔM_{Hg} que se derrama es: $\Delta M_{\text{Hg}} = \Delta V^{10}_{\text{Hg}} \cdot \rho_{\text{Hg}} = 0{,}0412 \cdot 13{,}6 = 0{,}56$ g [0,5 puntos]

Nombre: _____ **Sección:** _____

Problema 3

Elegir UNA de las dos opciones en este ejercicio e indicar claramente su elección.

Opción 1 **Opción 2**

En caso de resolver ambos opciones, la calificación será automáticamente 1.0.

Opción 1

Un cierto gas a una temperatura $T = 334.6$ K tiene una presión reducida $P_R = 2.1$ y un factor de compresibilidad $Z = 0.4$.
(a) ¿De qué gas se trata?
(b) ¿A qué presión se encuentra este gas?
(c) ¿Qué volumen debe tener un recipiente que almacene 1000 kg de este gas con estas características?

Opción 2

Un contenedor rígido y cerrado de 0.5 m^3 de volumen es colocado sobre un calentador. Inicialmente, el contenedor tiene en su interior una mezcla de agua líquida saturada y vapor saturado a $P_1 = 100$ kPa con una calidad de 0.5. Despues del calentamiento, la presión en el contenedor es $P_2 = 150$ kPa.

a) Hacer un gráfico cualitativo del diagrama de fases $T - \nu$ e indicar los estados (P, T, ν) inicial y final del sistema.

b) Determinar la temperatura, en ^{o}C, en los estados anterior y posterior al calentamiento.

c) Determinar la masa de vapor presente en el contenedor antes y despues del calentamiento.

d) Si el calentamiento continúa, determinar la presión, para la cual dentro del contenedor sólo hay vapor saturado.

Solución Opción 1

(a) Viendo la gráfica de compresibilidad generalizada, nos percatamos que la curva de temperatura reducida $T_R = 1{,}1$ [1 punto] es la que satisface $Z = 0{,}4$ para $P_r = 2{,}1$.

La temperatura reducida se define como:

$$T_R = \frac{T}{T_c}, \tag{3}$$

donde T_c es la temperatura crítica. Como $T = 334{,}6$ K, entonces $T_c = 334{,}6/1{,}1 = 304{,}2$ K [0,5 puntos]. Viendo la tabla con las propiedades del punto crítico, encontramos que el CO_2 tiene justamente este valor de T_c. Por ende, se trata de CO_2. [0,5 puntos]

(b) Según la tabla, la presión crítica para el CO_2 es $P_c = 7{,}39$ MPa [1 punto]. La definición de la presión reducida es:

$$P_R = \frac{P}{P_c}. \tag{4}$$

Puesto que $P_R = 2{,}1$, entonces $P = 7{,}39 \times 2{,}1 = 15{,}52$ MPa. [1 punto]

(c) La ecuación de los gases ideales se puede escribir como: p $\nu_{\text{ideal}} = RT$, donde ν_{ideal} es el volumen específico ideal. Según la tabla, la constante de gas para el CO_2 es $R = 0{,}1889 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}}$. Por ende, $\nu_{\text{ideal}} = \frac{(0{,}1889\times10^3)(334)}{15{,}52\times10^6} = 0{,}00406\ \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ [0,75 puntos] Puesto que Z=$\nu_{real}\frac{}{\nu_{ideal}}$ entonces $\nu_{real} = 0{,}4\times0{,}00406 = 0{,}00163\ \text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ [0,75 puntos]. Esto significa que el recipiente para m =1000 kg de este gas necesita tener un volumen de $V = m \cdot \nu_{real} = 1{,}63\ \text{m}^3$ [0,5 puntos].

Nota para el corrector. Si un estudiante tiene mal la parte (a), pero bien el razonamiento y los cálculos en (b) y en (c), favor de otorgar 1.5 puntos para cada una de estas secciones.

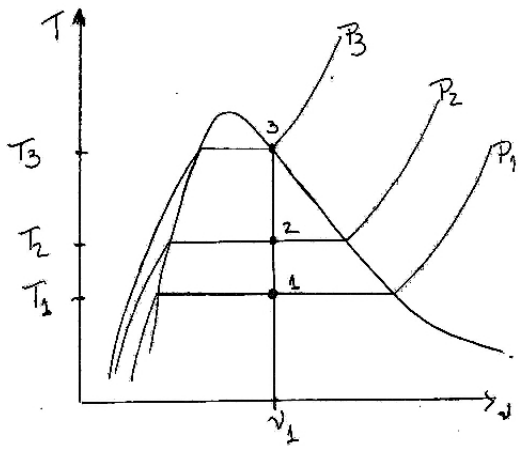
Solución Opción 2

(a) En el estado inicial (1), la presión y la calidad son conocidas. Además se conoce el volumen del recipiente, el cual se mantiene constante durante todo el proceso:

$$\nu_1 = \nu_{f1} + x_1\,(\nu_{g1} - \nu_{f1}) = 1{,}0432 \times 10^{-3} + 0{,}5 \times (1{,}694 - 1{,}0432 \times 10^{-3}) = 0.8475\ \text{m}^3/\text{kg}$$ [0,75 punto]

Los valores de ν_{f1} y ν_{g1} se obtienen de la tabla.

En el estado posterior al calentamiento (2), la presión es conocida y como el volumen específico total es fijo, se tiene que $\nu_2 = \nu_1$. Usando los datos de la tabla, vemos que se cumple $\nu_{f2} < \nu_2 < \nu_{g2}$; entonces el sistema sigue siendo una mezcla de fases [0,25 punto].



Hacer el gráfico e indicar variables principales [0,5 punto].

(b) En los estados (1) y (2), las temperaturas del sistema son las temperaturas de saturación correspondientes a las presiones P_1 y P_2. Así,

$$T_1 = 99.61^o\text{C} \qquad T_2 = 111.35^o\text{C} \quad \text{[1 punto]}$$

(c) Para encontrar la masa de vapor presente en el sistema en el estado inicial, usaremos el volumen y el volumen específico para encontrar la masa total y considerando la calidad obtenemos la masa que buscamos,

$$m = \frac{V}{\nu} = \frac{0{,}5}{0{,}8475} = 0.59 \text{ kg} \quad \longrightarrow \quad m_{g1} = x_1\, m = 0{,}5 \times 0{,}59 = 0.259 \text{ kg [1 punto]}$$

Para conocer la masa de vapor en el estado posterior al calentamiento, debemos conocer la calidad en ese estado, x_2. De la tabla a la presión en el estado 2, obtenemos los valores de volúmenes específicos del líquido y vapor saturados y, junto al valor del volumen específico total, obtenemos la calidad

$$x_2 = \frac{\nu - \nu_{f2}}{\nu_{g2} - \nu_{f2}} = \frac{0{,}8475 - 1{,}0528 \times 10^{-3}}{1{,}159 - 1{,}0528 \times 10^{-3}} = 0.731 \quad \longrightarrow m_{g2} = x_2\, m = 0{,}731 \times 0{,}59 = 0.431 \text{ kg [1 punto]}$$

(d) Si el calentamiento continúa, el estado (3) estaría sobre la curva de saturación. Así, la presión P_3 sería la presión de saturación correspondiente a tener $\nu_g = \nu = 0.8475$ m^3/kg [0,5 punto].

De la tabla obtenemos , mediante interpolación lineal, que $P_3 = 211$ kPa [1 punto].

TABLA A-1

Masa molar, constante de gas y propiedades del punto crítico

Sustancia	Fórmula	Masa molar, M kg/kmol	Constante de gas, R kJ/kg · K*	*Propiedades del punto crítico* Temperatura, K	Presión, MPa	Volumen, m^3/kmol
Agua	H_2O	18.015	0.4615	647.1	22.06	0.0560
Aire	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Alcohol etílico	C_2H_5OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Alcohol metílico	CH_3OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Amoniaco	NH_3	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argón	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benceno	C_6H_6	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromo	Br_2	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
n-Butano	C_4H_{10}	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Cloro	Cl_2	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Cloroformo	$CHCl_3$	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Cloruro metílico	CH_3Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Criptón	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Diclorodifluorometano (R-12)	CCl_2F_2	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Diclorofluorometano (R-21)	$CHCl_2F$	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Dióxido de carbono	CO_2	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Dióxido de sulfuro	SO_2	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Etileno	C_2H_4	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helio	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
n-Hexano	C_6H_{14}	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hidrógeno (normal)	H_2	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Metano	CH_4	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Monóxido de carbono	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Neón	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrógeno	N_2	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Oxígeno	O_2	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Propano	C_3H_8	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propileno	C_3H_6	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Tetracloruro de carbono	CCl_4	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Tetrafluoroetano (R-134a)	CF_3CH_2F	102.03	0.08149	374.2	4.059	0.1993
Triclorofluorometano (R-11)	CCl_3F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Xenón	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186

*La unidad en kJ/kg · K es equivalente a kPa · m^3/kg · K. La constante de gas se calcula de $R = R_u/M$, donde R_u = 8.31447 kJ/kmol · K y M es la masa molar.

Fuente: K. A. Kobe y R. E. Lynn, Jr., *Chemical Review* 52 (1953), pp. 117–236; y ASHRAE, *Handbook of Fundamentals* (Atlanta, GA: Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Acondicionamiento de Aire, Inc., 1993), pp. 16.4 y 36.1.

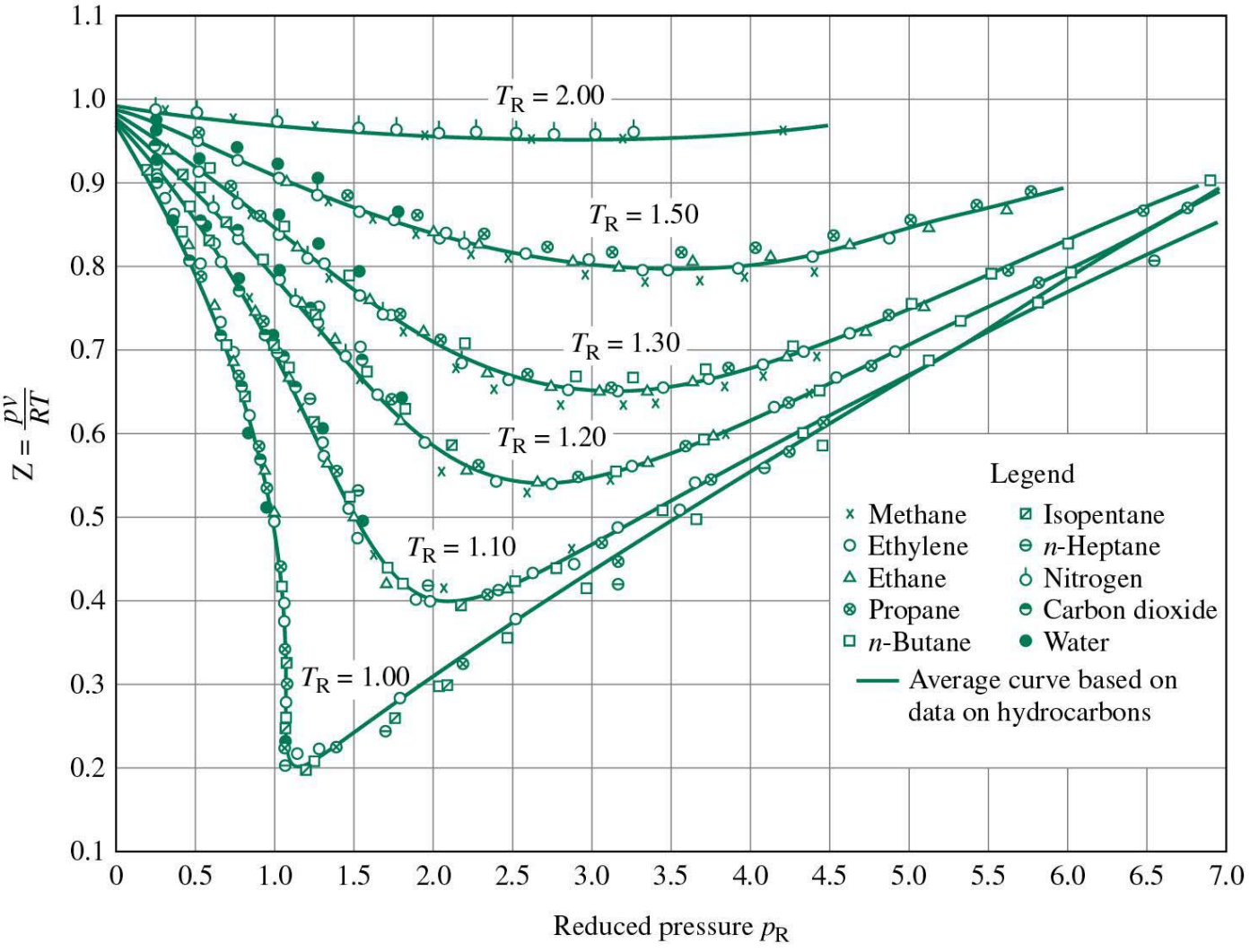

1.1
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
$Z = \frac{pv}{RT}$
$T_R = 2.00$
$T_R = 1.50$
$T_R = 1.30$
$T_R = 1.20$
$T_R = 1.10$
$T_R = 1.00$
Legend
Methane
Ethylene
Ethane
Propane
n-Butane
Isopentane
n-Heptane
Nitrogen
Carbon dioxide
Water
Average curve based on data on hydrocarbons
0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5
5.0
5.5
6.0
6.5
7.0
Reduced pressure p_R

TABLE A–5

Saturated water—Pressure table

		Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg · K		
Press., P kPa	Sat. temp., T_{sat} °C	Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837