

جدول خواص ترمودینامیکی (یادآوری)

TABLE B.1
Thermodynamic Properties of Water

TABLE B.1.1
Saturated Water

Temp. (°C)	Press. (kPa)	Specific Volume, m ³ /kg			Internal Energy, kJ/kg		
		Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g
0.01	0.6113	0.001000	206.131	206.132	0	2375.33	2375.33
5	0.8721	0.001000	147.117	147.118	20.97	2361.27	2382.24
10	1.2276	0.001000	106.376	106.377	41.99	2347.16	2389.15
15	1.705	0.001001	77.924	77.925	62.98	2333.06	2396.04
20	2.339	0.001002	57.7887	57.7897	83.94	2318.98	2402.91
25	3.169	0.001003	43.3583	43.3593	104.86	2304.90	2409.76
30	4.246	0.001004	32.8922	32.8932	125.77	2290.81	2416.58
35	5.628	0.001006	25.2148	25.2158	146.65	2276.71	2423.36
40	7.384	0.001008	19.5219	19.5229	167.53	2262.57	2430.11
45	9.593	0.001010	15.2571	15.2581	188.41	2248.40	2436.81
50	12.350	0.001012	12.0308	12.0318	209.30	2234.17	2443.47
55	15.758	0.001015	9.56734	9.56835	230.19	2219.89	2450.08
60	19.941	0.001017	7.66969	7.67071	251.09	2205.54	2456.63
65	25.03	0.001020	6.19554	6.19656	272.00	2191.12	2463.12
70	31.19	0.001023	5.04114	5.04217	292.93	2176.62	2469.55
75	38.58	0.001026	4.13021	4.13123	313.87	2162.03	2475.91
80	47.39	0.001029	3.40612	3.40715	334.84	2147.36	2482.19
85	57.83	0.001032	2.82654	2.82757	355.82	2132.58	2488.40
90	70.14	0.001036	2.35953	2.36056	376.82	2117.70	2494.52
95	84.55	0.001040	1.98082	1.98186	397.86	2102.70	2500.56
100	101.3	0.001044	1.67185	1.67290	418.91	2087.58	2506.50
105	120.8	0.001047	1.41831	1.41936	440.00	2072.34	2512.34
110	143.3	0.001052	1.20909	1.21014	461.12	2056.96	2518.09
115	169.1	0.001056	1.03552	1.03658	482.28	2041.44	2523.72
120	198.5	0.001060	0.90080	0.90186	503.48	2025.76	2529.24

TABLE B.1.1 (continued)
Saturated Water

Temp. (°C)	Press. (kPa)	Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg-K		
		Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0.01	0.6113	0.00	2501.35	2501.35	0	9.1562	9.1562
5	0.8721	20.98	2489.57	2510.54	0.0761	8.9496	9.0257
10	1.2276	41.99	2477.75	2519.74	0.1510	8.7498	8.9007
15	1.705	62.98	2465.93	2528.91	0.2245	8.5569	8.7813
20	2.339	83.94	2454.12	2538.06	0.2966	8.3706	8.6671
25	3.169	104.87	2442.30	2547.17	0.3673	8.1905	8.5579
30	4.246	125.77	2430.48	2556.25	0.4369	8.0164	8.4533
35	5.628	146.66	2418.62	2565.28	0.5052	7.8478	8.3530
40	7.384	167.54	2406.72	2574.26	0.5724	7.6845	8.2569
45	9.593	188.42	2394.77	2583.19	0.6386	7.5261	8.1647
50	12.350	209.31	2382.75	2592.06	0.7037	7.3725	8.0762
55	15.758	230.20	2370.66	2600.86	0.7679	7.2234	7.9912
60	19.941	251.11	2358.48	2609.59	0.8311	7.0784	7.9095
65	25.03	272.03	2346.21	2618.24	0.8934	6.9375	7.8309
70	31.19	292.96	2333.85	2626.80	0.9548	6.8004	7.7552
75	38.58	313.91	2321.37	2635.28	1.0154	6.6670	7.6824
80	47.39	334.88	2308.77	2643.66	1.0752	6.5369	7.6121
85	57.83	355.88	2296.05	2651.93	1.1342	6.4102	7.5444
90	70.14	376.90	2283.19	2660.09	1.1924	6.2866	7.4790
95	84.55	397.94	2270.19	2668.13	1.2500	6.1659	7.4158
100	101.3	419.02	2257.02	2676.05	1.3069	6.0480	7.3549

TABLE B.1.2

Saturated Water Pressure Entry

Press. (kPa)	Temp. (°C)	Specific Volume, m ³ /kg			Internal Energy, kJ/kg		
		Sat. Liquid v_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Evap. u_{fg}	Sat. Vapor u_g
0.6113	0.01	0.001000	206.131	206.132	0	2375.3	2375.3
1	6.98	0.001000	129.20702	129.20802	29.29	2355.69	2384.98
1.5	13.03	0.001001	87.97913	87.98013	54.70	2338.63	2393.32
2	17.50	0.001001	67.00285	67.00385	73.47	2326.02	2399.48
2.5	21.08	0.001002	54.25285	54.25385	88.47	2315.93	2404.40
3	24.08	0.001003	45.66402	45.66502	101.03	2307.48	2408.51
4	28.96	0.001004	34.79915	34.80015	121.44	2293.73	2415.17
5	32.88	0.001005	28.19150	28.19251	137.79	2282.70	2420.49
7.5	40.29	0.001008	19.23674	19.23775	168.76	2261.74	2430.50
10	45.81	0.001010	14.67254	14.67355	191.79	2246.10	2437.89
15	53.97	0.001014	10.02117	10.02218	225.90	2222.83	2448.73
20	60.06	0.001017	7.64835	7.64937	251.35	2205.36	2456.71
25	64.97	0.001020	6.20322	6.20424	271.88	2191.21	2463.08
30	69.10	0.001022	5.22816	5.22918	289.18	2179.22	2468.40
40	75.87	0.001026	3.99243	3.99345	317.51	2159.49	2477.00
50	81.33	0.001030	3.23931	3.24034	340.42	2143.43	2483.85
75	91.77	0.001037	2.21607	2.21711	394.29	2112.39	2496.67
100	99.62	0.001043	1.69296	1.69400	417.33	2088.72	2506.06
125	105.99	0.001048	1.37385	1.37490	444.16	2069.32	2513.48
150	111.37	0.001053	1.15828	1.15933	466.92	2052.72	2519.64
175	116.06	0.001057	1.00257	1.00363	486.78	2038.12	2524.90
200	120.23	0.001061	0.88467	0.88573	504.47	2025.02	2529.49
225	124.00	0.001064	0.79219	0.79325	520.45	2013.10	2533.56
250	127.43	0.001067	0.71765	0.71871	535.08	2002.14	2537.21

TABLE B.1.2 (continued)
Saturated Water Pressure Entry

Press. (kPa)	Temp. (°C)	Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg-K		
		Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Evap. s_{fg}	Sat. Vapor s_g
0.6113	0.01	0.00	2501.3	2501.3	0	9.1562	9.1562
1.0	6.98	29.29	2484.89	2514.18	0.1059	8.8697	8.9756
1.5	13.03	54.70	2470.59	2525.30	0.1956	8.6322	8.8278
2.0	17.50	73.47	2460.02	2533.49	0.2607	8.4629	8.7236
2.5	21.08	88.47	2451.56	2540.03	0.3120	8.3311	8.6431
3.0	24.08	101.03	2444.47	2545.50	0.3545	8.2231	8.5775
4.0	28.96	121.44	2432.93	2554.37	0.4226	8.0520	8.4746
5.0	32.88	137.79	2423.66	2561.45	0.4763	7.9187	8.3950
7.5	40.29	168.77	2406.02	2574.79	0.5763	7.6751	8.2514
10	45.81	191.81	2392.82	2584.63	0.6492	7.5010	8.1501
15	53.97	225.91	2373.14	2599.06	0.7548	7.2536	8.0084
20	60.06	251.38	2358.33	2609.70	0.8319	7.0766	7.9085
25	64.97	271.90	2346.29	2618.19	0.8930	6.9383	7.8313
30	69.10	289.21	2336.07	2625.28	0.9439	6.8247	7.7686
40	75.87	317.55	2319.19	2636.74	1.0258	6.6441	7.6700
50	81.33	340.47	2305.40	2645.87	1.0910	6.5029	7.5939
75	91.77	384.36	2278.59	2662.96	1.2129	6.2434	7.4563
100	99.62	417.44	2258.02	2675.46	1.3025	6.0568	7.3593
125	105.99	444.30	2241.05	2685.35	1.3739	5.9104	7.2843
150	111.37	467.08	2226.46	2693.54	1.4335	5.7897	7.2232
175	116.06	486.97	2213.57	2700.53	1.4848	5.6868	7.1717
200	120.23	504.68	2201.96	2706.63	1.5300	5.5970	7.1271
225	124.00	520.69	2191.35	2712.04	1.5705	5.5173	7.0878
250	127.43	535.34	2181.55	2716.89	1.6072	5.4455	7.0526

TABLE B.1.3

Superheated Vapor Water

Temp. (°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)
	$P = 10 \text{ kPa (45.81°C)}$				$P = 50 \text{ kPa (81.33°C)}$			
Sat.	14.67355	2437.89	2584.63	8.1501	3.24034	2483.85	2645.87	7.5939
50	14.86920	2443.87	2592.56	8.1749	—	—	—	—
100	17.19561	2515.50	2687.46	8.4479	3.41833	2511.61	2682.52	7.6947
150	19.51251	2587.86	2782.99	8.6881	3.88937	2585.61	2780.08	7.9400
200	21.82507	2661.27	2879.52	8.9037	4.35595	2659.85	2877.64	8.1579
250	24.13559	2735.95	2977.31	9.1002	4.82045	2734.97	2975.99	8.3555
300	26.44508	2812.06	3076.51	9.2812	5.28391	2811.33	3075.52	8.5372
400	31.06252	2968.89	3279.51	9.6076	6.20929	2968.43	3278.89	8.8641
500	35.67896	3132.26	3489.05	9.8977	7.13364	3131.94	3488.62	9.1545
600	40.29488	3302.45	3705.40	10.1608	8.05748	3302.22	3705.10	9.4177
700	44.91052	3479.63	3928.73	10.4028	8.98104	3479.45	3928.51	9.6599
800	49.52599	3663.84	4159.10	10.6281	9.90444	3663.70	4158.92	9.8852
900	54.14137	3855.03	4396.44	10.8395	10.82773	3854.91	4396.30	10.0967
1000	58.75669	4053.01	4640.58	11.0392	11.75097	4052.91	4640.46	10.2964
1100	63.37198	4257.47	4891.19	11.2287	12.67418	4257.37	4891.08	10.4858
1200	67.98724	4467.91	5147.78	11.4090	13.59737	4467.82	5147.69	10.6662
1300	72.60250	4683.68	5409.70	14.5810	14.52054	4683.58	5409.61	10.8382

TABLE B.1.3 (continued)
Superheated Vapor Water

Temp. (°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)
300 kPa (133.55°C)					400 kPa (143.63°C)			
250	0.79636	2728.69	2967.59	7.5165	0.59512	2726.11	2964.16	7.3788
300	0.87529	2806.69	3069.28	7.7022	0.65484	2804.81	3066.75	7.5661
400	1.03151	2965.53	3274.98	8.0329	0.77262	2964.36	3273.41	7.8984
500	1.18669	3129.95	3485.96	8.3250	0.88934	3129.15	3484.89	8.1912
600	1.34136	3300.79	3703.20	8.5892	1.00555	3300.22	3702.44	8.4557
700	1.49573	3478.38	3927.10	8.8319	1.12147	3477.95	3926.53	8.6987
800	1.64994	3662.85	4157.83	9.0575	1.23722	3662.51	4157.40	8.9244
900	1.80406	3854.20	4395.42	9.2691	1.35288	3853.91	4395.06	9.1361
1000	1.95812	4052.27	4639.71	9.4689	1.46847	4052.02	4639.41	9.3360
1100	2.11214	4256.77	4890.41	9.6585	1.58404	4256.53	4890.15	9.5255
1200	2.26614	4467.23	5147.07	9.8389	1.69958	4466.99	5146.83	9.7059
1300	2.42013	4682.99	5409.03	10.0109	1.81511	4682.75	5408.80	9.8780
500 kPa (151.86°C)					600 kPa (158.85°C)			
Sat.	0.37489	2561.23	2748.67	6.8212	0.31567	2567.40	2756.80	6.7600
200	0.42492	2642.91	2855.37	7.0592	0.35202	2638.91	2850.12	6.9665
250	0.47436	2723.50	2960.68	7.2708	0.39383	2720.86	2957.16	7.1816
300	0.52256	2802.91	3064.20	7.4598	0.43437	2801.00	3061.63	7.3723
350	0.57012	2882.59	3167.65	7.6328	0.47424	2881.12	3165.66	7.5463
400	0.61728	2963.19	3271.83	7.7937	0.51372	2962.02	3270.25	7.7078
500	0.71093	3128.35	3483.82	8.0872	0.59199	3127.55	3482.75	8.0020
600	0.80406	3299.64	3701.67	8.3521	0.66974	3299.07	3700.91	8.2673
700	0.89691	3477.52	3925.97	8.5952	0.74720	3477.08	3925.41	8.5107

مثال ۱

مقداری آب در فشار ۲ مگاپاسکال و دمای ۳۰۰ درجه سلیوس در داخل سیلندر پیستونی قرار دارد. آب در آن را سرد می کنیم تا کیفیت آن به ۵۰ % برسد .

- الف – آب در ابتدا در چه حالتی است.
- ب- حجم مخصوص ، انرژی درونی، انتالپی و انتروپی آب را حساب کنید.
- نمودار $T-v$ و نمودار $p-v$ فرایند را رسم کنید

مثال ۲

- مقداری مبرد R-134a بصورت بخار اشباع در داخل ظرفی صلب قرار دارد. به ظرف گرما می دهیم تا دمایش به ۴۰ درجه سلیوس برسد. فشار ، انرژی درونی و انتالپی مبرد در حالت نهایی چقدر است. نمودار دما-حجم فرایند را رسم کنید

مثال ۲-۳ دمای بخار اشباع درون سیلندر

یک دستگاه پیستون-سیلندر حاوی 0.06 m^3 آب به صورت بخار اشباع با فشار 350 kPa است. دما و جرم بخار درون سیلندر را محاسبه کنید.

حل می‌خواهیم دما و جرم بخار درون سیلندری را تعیین کنیم که حاوی آب به صورت بخار اشباع است. تحلیل شکل ۲۹-۳ حالت آب به صورت بخار اشباع را در نمودار $P-v$ نشان می‌دهد. چون سیلندر حاوی بخار اشباع با فشار 350 kPa است، دمای درون آن با دمای اشباع در این فشار برابر است:

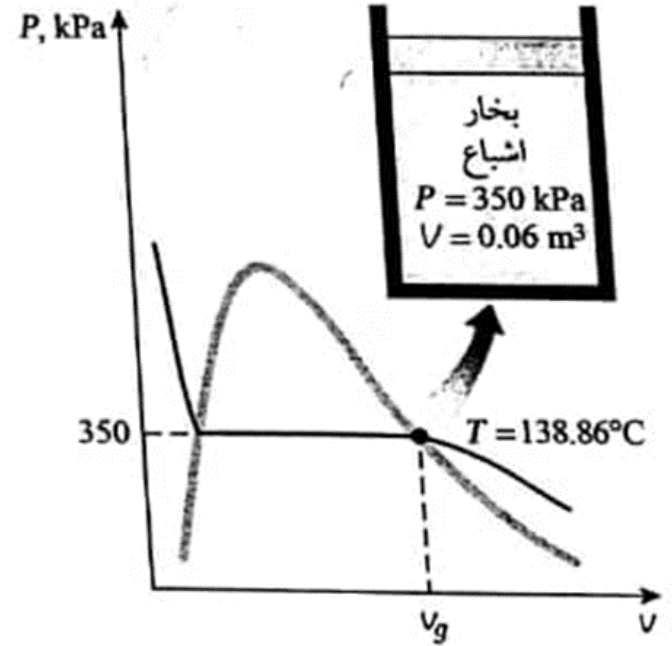
$$T = T_{\text{sat}} @ 350 \text{ kPa} = 138.86^\circ\text{C} \quad (\text{جدول الف-۵})$$

حجم ویژه بخار اشباع در فشار 350 kPa برابر است با:

$$v = v_g @ 350 \text{ kPa} = 0.52422 \text{ m}^3/\text{kg} \quad (\text{جدول الف-۵})$$

جرم بخار آب درون سیلندر برابر است با:

$$m = \frac{V}{v} = \frac{0.06 \text{ m}^3}{0.52422 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.114 \text{ kg}$$



شکل ۲۹-۳ طرح‌واره و نمودار $P-v$ مثال ۲-۳.

مثال ۳-۳ تغییر حجم و انرژی طی تبخیر

۲۰۰ g آب به صورت مایع اشباع، در فشار ثابت ۱۰۰ kPa کاملاً تبخیر می‌شود. (الف) تغییر حجم و (ب) مقدار انرژی انتقالی به آب را محاسبه کنید.

حل آب به صورت مایع اشباع، در فشار ثابت تبخیر می‌شود. می‌خواهیم تغییر حجم و انرژی انتقالی را تعیین کنیم.

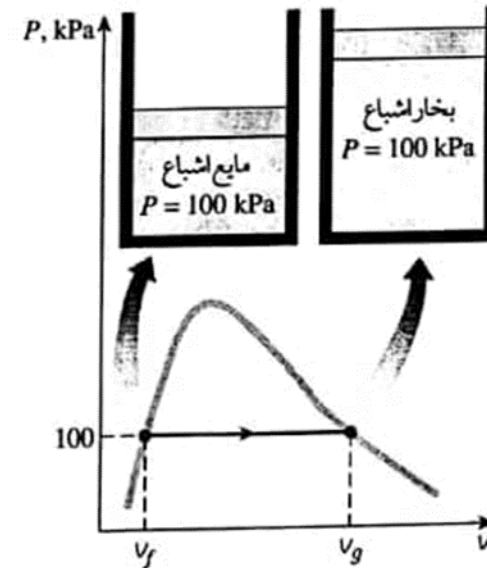
تحلیل (الف) شکل ۳-۳۰ نمودار $P-v$ این فرایند را نشان می‌دهد. تغییر حجم در واحد جرم طی این فرایند تبخیر با v_{fg} یا به عبارتی، اختلاف میان v_g و v_f برابر است. این مقادیر را در فشار ۱۰۰ kPa از جدول الف-۵ به دست می‌آوریم و جای‌گذاری می‌کنیم:

$$v_{fg} = v_g - v_f = 1.6941 - 0.001043 = 1.6931 \text{ m}^3/\text{kg} \quad \text{بنابراین،}$$

$$\Delta V = m v_{fg} = (0.2 \text{ kg})(1.6931 \text{ m}^3/\text{kg}) = 0.3386 \text{ m}^3$$

(ب) مقدار انرژی موردنیاز برای تبخیر واحد جرم ماده در فشار معلوم، با انتالپی تبخیر در آن فشار برابر است. انتالپی تبخیر آب در فشار ۱۰۰ kPa برابر است با $h_{fg} = 2257.5 \text{ kJ/kg}$. بنابراین، مقدار انرژی انتقالی برابر است با:

$$m h_{fg} = (0.2 \text{ kg})(2257.5 \text{ kJ/kg}) = 451.5 \text{ kJ}$$



شکل ۳-۳۰ طرح‌واره و نمودار $P-v$ مثال ۳-۳.

مثال ۴-۳ فشار و حجم مخلوط اشباع

مخزنی صلبی حاوی ۱۰ kg آب با دمای ۹۰°C است. فرض کنید ۸ kg از آب مایع و باقی بخار است؛ (الف) فشار درون مخزن و (ب) حجم مخزن را محاسبه کنید.

حل می‌خواهیم فشار و حجم مخزنی صلب را تعیین کنیم که حاوی مخلوط اشباع است. تحلیل (الف) شکل ۳-۲۵ حالت مخلوط اشباع مایع-بخار را نشان می‌دهد. چون دو فاز به صورت تعادلی و توانمان وجود دارند، آب در ناحیه مخلوط اشباع است و فشار آن با فشار اشباع در دمای داده‌شده برابر است:

$$P = P_{\text{sat}@ 90^\circ\text{C}} = 70.183 \text{ kPa} \quad (\text{جدول الف-۴})$$

(ب) در دمای ۹۰°C، از جدول الف-۴، $v_f = 0.001036 \text{ m}^3/\text{kg}$ و $v_g = 2.3593 \text{ m}^3/\text{kg}$ را به دست می‌آوریم. برای محاسبه حجم مخزن دو روش وجود دارد: نخست، تعیین حجمی که هریک از فازها اشغال می‌کند و سپس محاسبه مجموع آن‌ها:

$$\begin{aligned} V &= V_f + V_g = m_f v_f + m_g v_g \\ &= (8 \text{ kg})(0.001036 \text{ m}^3/\text{kg}) + (2 \text{ kg})(2.3593 \text{ m}^3/\text{kg}) = 4.72 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

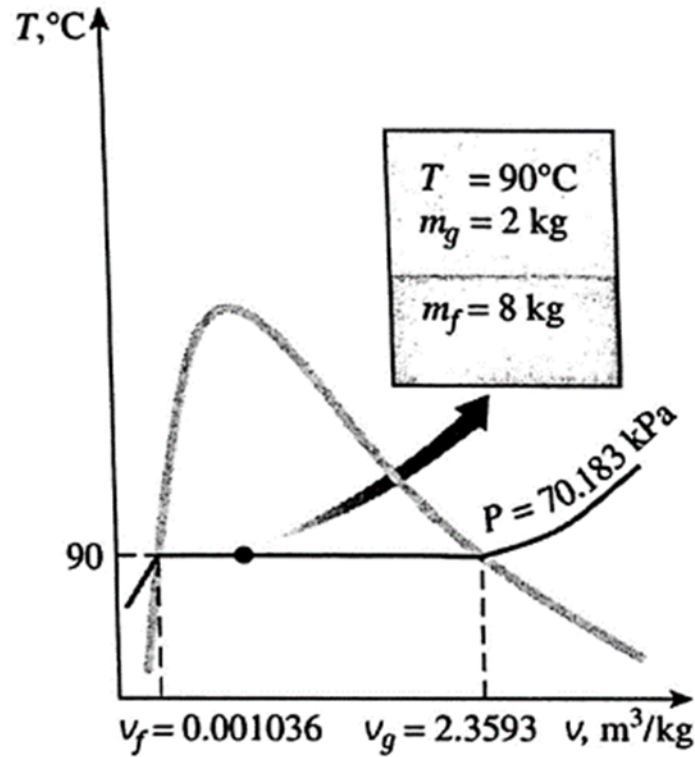
و در روش دوم، نخست کیفیت (x)، سپس میانگین حجم ویژه (v) و نهایتاً حجم کل را محاسبه کنیم:

$$x = \frac{m_g}{m_t} = \frac{2 \text{ kg}}{10 \text{ kg}} = 0.2$$

$$\begin{aligned} V &= v_f + x v_{fg} \\ &= 0.001036 \text{ m}^3/\text{kg} + (0.2)[(2.3593 - 0.001036) \text{ m}^3/\text{kg}] \\ &= 0.472 \text{ m}^3/\text{kg} \end{aligned}$$

$$V = m v = (10 \text{ kg})(0.472 \text{ m}^3/\text{kg}) = 4.72 \text{ m}^3$$

بحث در این مثال، چون جرم همه فازها معلوم است، روش نخست آسان‌تر به نظر می‌رسد. اما در اغلب موارد، جرم همه فازها در دسترس نیست و روش دوم مناسب‌تر است.



مثال ۵-۳ خواص مخلوط اشباع مایع-بخار

ظرف ۸۰ لیتری، حاوی ۴ kg مبرد ۱۳۴a با فشار ۱۶۰ kPa است. (الف) دما، (ب) کیفیت، (ج) انتالپی مبرد و (د) حجمی را که فاز بخار اشغال می‌کند، محاسبه کنید.

حل ظرف حاوی مبرد ۱۳۴a است. می‌خواهیم برخی خواص مبرد را تعیین کنیم.

تحلیل (الف) شکل ۳-۲۶ حالت مخلوط اشباع مایع-بخار را نشان می‌دهد. در این نقطه، نمی‌دانیم مبرد در کدام ناحیه است؛ ناحیه مایع متراکم، بخار فراگرم یا ناحیه مخلوط اشباع. برای تعیین ناحیه مبرد، می‌توانیم مقدار یکی از خواص را با مقادیر مایع اشباع و بخار اشباع آن، مقایسه کنیم. با توجه به داده‌ها، می‌توانیم حجم ویژه را محاسبه کنیم:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{0.080 \text{ m}^3}{4 \text{ kg}} = 0.02 \text{ m}^3/\text{kg}$$

در فشار ۱۶۰ kPa، به دست می‌آوریم:

$$v_f = 0.0007435 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_g = 0.12355 \text{ m}^3/\text{kg}$$

(جدول الف-۱۲)

روشن است که $v_f < v < v_g$ و از این رو، مبرد در ناحیه مخلوط اشباع است؛ بنابراین دما با دمای اشباع در فشار مشخص شده برابر است:

$$T = T_{\text{sat}@160 \text{ kPa}} = -15.60^\circ\text{C}$$

(ب) کیفیت را از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

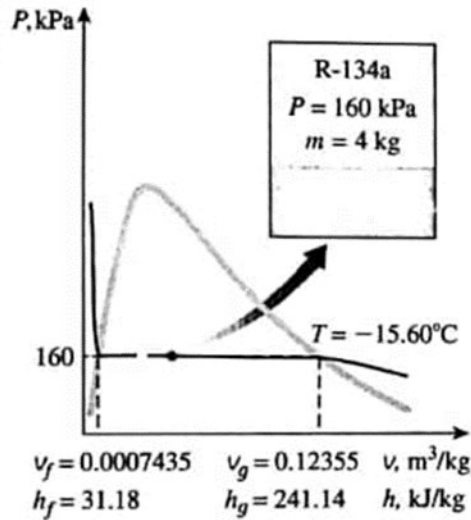
$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.02 - 0.0007435}{0.12355 - 0.0007435} = 0.157$$

(ج) در فشار ۱۶۰ kPa نیز از جدول الف-۱۲ $h_f = 31.18 \text{ kJ/kg}$ و $h_{fg} = 209.96 \text{ kJ/kg}$ را به دست می‌آوریم. در نتیجه،

$$h = h_f + x h_{fg}$$

$$= 31.18 \text{ kJ/kg} + (0.157)(209.96 \text{ kJ/kg}) = 64.1 \text{ kJ/kg}$$

شکل ۳-۳۵ طرح‌واره و نمودار $T-v$ مثال ۴-۳.



شکل ۳-۳۶ طرح‌واره و نمودار $P-v$ مثال ۵-۳.

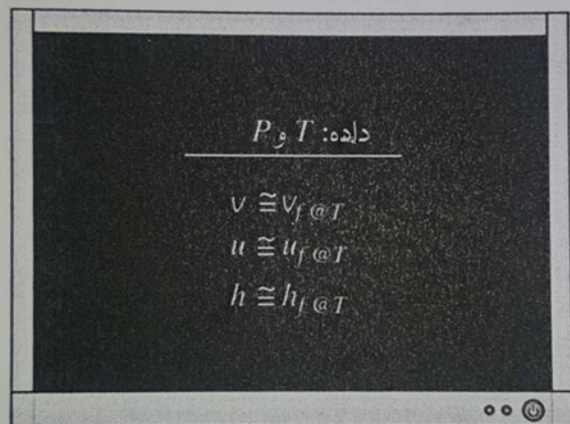
۳ مایع متراکم

معمولاً به جداول مایع متراکم دسترسی نداریم. جدول الف-۷، تنها جدول مایع متراکم در این کتاب است. قالب جدول الف-۷ بسیار شبیه به جداول بخار آب فراگرم است. یکی از دلایل در دسترس نبودن جداول مایع متراکم، استقلال نسبی خواص مایع متراکم از فشار است؛ به بیان دیگر، تغییر خواص مایع متراکم با فشار، بسیار ملایم است. اگر فشار را ۱۰۰ برابر کنیم، خواص مایع متراکم معمولاً کم‌تر از ۱ درصد تغییر می‌کنند.

در نبود جداول مایع متراکم، تقریبی کلی این است که مایع متراکم را مایع اشباع در دمای داده‌شده فرض کنیم (شکل ۲-۲۹)؛ زیرا وابستگی خواص مایع متراکم به دما بسیار بیش از وابستگی آن به فشار است. بنابراین برای مایع متراکم،

$$y \cong y_f @ T \quad (۲-۸)$$

می‌توانیم v ، u یا h را در رابطه فوق به جای y قرار دهیم.



شکل ۲-۳۹ می‌توانیم مایع متراکم را به صورت تقریبی، مایع اشباع در دمای داده‌شده فرض کنیم.

اگر هر يك از شروط زير تأمين شود، ماده به صورت مايع متراكم است:

فشار بيش تر از فشار اشباع باشد (در T معلوم، $P > P_{sat}$).

دمای كم تر از دمای اشباع باشد (در P معلوم، $T < T_{sat}$).

حجم ويژه كم تر از حجم ويژه مايع اشباع باشد (در P يا T معلوم، $v < v_f$).

انرژی درونی كم تر از انرژی درونی مايع اشباع باشد (در P يا T معلوم، $u < u_f$).

انتالپی كم تر از انتالپی مايع اشباع باشد (در P يا T معلوم، $h < h_f$).

اما به طور کلی، برخلاف بخار فراگرم، مقادير خواص مايع متراكم تفاوت چندانی با مايع اشباع ندارند.

مثال ۹-۳ استفاده از جداول بخار آب برای تعیین خواص جدول زیر خواص آب را نشان می‌دهد. خانه‌های خالی و حالت آب را مشخص کنید.

حالت آب	x	$u, \text{kJ/kg}$	P, kPa	$T, ^\circ\text{C}$
(الف)			۲۰۰	
(ب)	۰/۶	۱۶۰۰		۱۲۵
(ج)		۲۹۵۰	۱۰۰۰	
(د)			۵۰۰	۷۵
(ه)	۰/۰		۸۵۰	

حل می‌خواهیم خواص و حالت آب را در حالات مختلف تعیین کنیم.

تحلیل (الف) کیفیت برابر است با $x = ۰/۶$ ، بدین معنا که ۶۰ درصد از جرم در فاز بخار و ۴۰ درصد باقی در فاز مایع است. بنابراین، آب در ناحیه مخلوط اشباع مایع-بخار قرار دارد و فشار آن ۲۰۰ kPa است. در نتیجه، دما با دمای اشباع در فشار داده‌شده برابر است:

$$T = T_{\text{sat}@ 200 \text{ kPa}} = 120.21^\circ\text{C} \quad (\text{جدول الف-۵})$$

به‌ازای فشار ۲۰۰ kPa، از جدول الف-۵ $u_f = 504.50 \text{ kJ/kg}$ و $u_{fg} = 2024.6 \text{ kJ/kg}$ را به دست می‌آوریم. در نتیجه، میانگین انرژی درونی مخلوط برابر است با:

$$\begin{aligned} u &= u_f + x u_{fg} \\ &= 504.50 \text{ kJ/kg} + (0.6)(2024.6 \text{ kJ/kg}) \\ &= 1719.26 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

(ب) دما و انرژی درونی معلوم‌اند، اما نمی‌دانیم خواص مجهول را از کدام جدول به دست آوریم، زیرا نمی‌دانیم آب در کدام ناحیه است؛ ناحیه مخلوط اشباع، مایع متراکم یا بخار فراگرم. برای تعیین ناحیه آب، نخست به جدول اشباع رجوع می‌کنیم (جدول الف-۴) و مقادیر u_f و u_g را به‌ازای دمای داده‌شده به دست می‌آوریم. در دمای 125°C ، می‌خوانیم $u_f = 524.82 \text{ kJ/kg}$ و $u_g = 2524.3 \text{ kJ/kg}$. سپس مقدار u معلوم را با این مقادیر u_f و u_g ، به صورت زیر مقایسه می‌کنیم:

$$\text{اگر } u < u_f \text{ مایع متراکم است}$$

$$\text{اگر } u_f \leq u \leq u_g \text{ مخلوط اشباع است}$$

$$\text{اگر } u > u_g \text{ بخار فراگرم است}$$

مقدار u داده‌شده ۱۶۰۰ است که میان مقادیر u_f و u_g متناظر با دمای 125°C قرار دارد. بنابراین، آب در ناحیه مخلوط اشباع مایع-بخار است. در نتیجه، فشار با فشار اشباع در دمای داده‌شده برابر است:

$$P = P_{\text{sat}@ 125^\circ\text{C}} = 232.23 \text{ kPa} \quad (\text{جدول الف-۴})$$

کیفیت را از رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$x = \frac{u - u_f}{u_{fg}} = \frac{1600 - 524.82}{2009.5} = 0.535$$

هرگاه به‌جای انرژی درونی (u)، انتالپی (h) یا حجم ویژه (v) معلوم باشد، یا هنگامی که به‌جای دما، فشار داده شده باشد، می‌توانیم برای تعیین این‌که سیستم در ناحیه مایع متراکم، مخلوط اشباع یا بخار فراگرم

قرار دارد، از معیارهای فوق استفاده کنیم.

(ج) این مورد مانند قسمت (ب) است، با این تفاوت که به جای دما، فشار معلوم است. مقادیر u_g و u_f را در فشار مشخص شده مانند قسمت قبل محاسبه می‌کنیم. در فشار ۱ MPa، به دست می‌آوریم $u_g = 2582.8 \text{ kJ/kg}$ و $u_f = 761.39 \text{ kJ/kg}$. مقدار u داده شده 2950 kJ/kg است که از مقدار u_g در ۱ MPa بیش‌تر است. بنابراین آب در ناحیه بخار فراگرم است و در این حالت، دما را از جدول بخار فراگرم و به کمک درونیابی محاسبه می‌کنیم:

$$T = 395.2^\circ\text{C} \quad (\text{جدول الف-۶})$$

ستون کیفیت را ننوشتیم؛ زیرا در ناحیه بخار فراگرم، کیفیت بی‌معنی است.

(د) دما و فشار معلوم است، اما نمی‌دانیم خواص مجهول را از کدام جدول به دست آوریم، زیرا نمی‌دانیم آب در کدام ناحیه است؛ ناحیه مخلوط اشباع، مایع متراکم یا بخار فراگرم. برای تعیین ناحیه آب، نخست به جدول اشباع (جدول الف-۵) رجوع می‌کنیم و مقدار دمای اشباع را به ازای فشار داده شده، به دست می‌آوریم. در فشار ۵۰۰ kPa، می‌خوانیم $T_{\text{sat}} = 151.83^\circ\text{C}$. سپس، مقدار T معلوم را با این مقدار T_{sat} ، به صورت زیر مقایسه می‌کنیم:

اگر P معلوم $T < T_{\text{sat}}$ مایع متراکم است

اگر P معلوم $T = T_{\text{sat}}$ مخلوط اشباع است

اگر P معلوم $T > T_{\text{sat}}$ بخار فراگرم است

مقدار T داده شده 75°C است که از مقدار T_{sat} متناظر با فشار داده شده، کم‌تر است. بنابراین، آب در ناحیه مایع متراکم است (شکل ۴-۳) و طبیعتاً مقدار انرژی درونی را باید از جدول مایع متراکم به دست آوریم. اما فشار داده شده از کم‌ترین مقدار فشار در جدول مایع متراکم (یعنی ۵ MPa)، بسیار کم‌تر است؛ بنابراین، مایع متراکم را مایع اشباع در دمای داده شده (و نه فشار داده شده) فرض می‌کنیم:

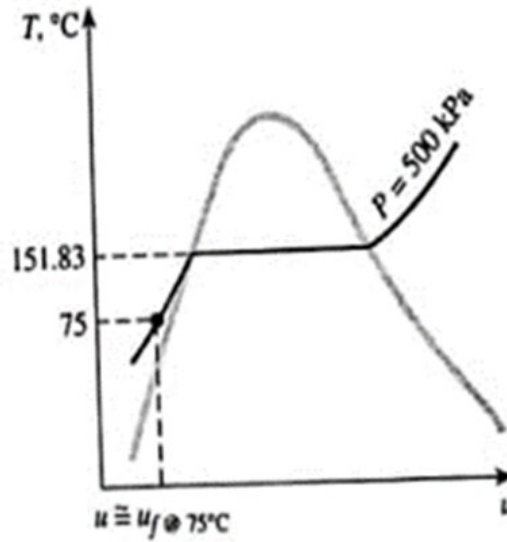
$$u \cong u_f @ 75^\circ\text{C} = 313.99 \text{ kJ/kg} \quad (\text{جدول الف-۴})$$

ستون کیفیت را ننوشتیم؛ زیرا در ناحیه مایع متراکم، کیفیت بی‌معنی است.

(ه) کیفیت برابر است با $x = 0$ ؛ بنابراین در فشار داده شده ۸۵۰ kPa، آب در ناحیه مایع اشباع است. در نتیجه، دما با دمای اشباع در فشار داده شده و انرژی درونی با انرژی درونی مایع اشباع برابر است:

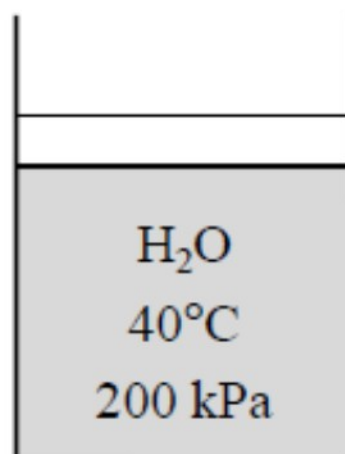
$$T = T_{\text{sat}} @ 850 \text{ kPa} = 172.14^\circ\text{C}$$

$$u = u_f @ 850 \text{ kPa} = 731.00 \text{ kJ/kg} \quad (\text{جدول الف-۵})$$



شکل ۴-۳ در P و T معین، ماده خالص در صورتی مایع متراکم است که $T < T_{\text{sat}} @ P$.

سیلندر پیستونی حاوی آب در دمای 40 درجه سلسیوس و فشار 200 کیلوپاسکال می باشد .
به سیستم گرما می دهیم تا وقتی تمام مایع بخار شود . مطلوبست :



الف- حالت اولیه آب ب- جرم آب

ج- دمای آب وقتی تمام مایع بخار شده باشد

د- تغییر کل انتالپی آب ه- رسم نمودار دما - حجم

Analysis Initially the cylinder contains compressed liquid (since $P > P_{\text{sat}@40^\circ\text{C}}$) that can be approximated as a saturated liquid at the specified temperature

$$\nu_1 \cong \nu_{f@40^\circ\text{C}} = 0.001008 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_1 \cong h_{f@40^\circ\text{C}} = 167.53 \text{ kJ/kg}$$

(a) The mass is determined from

$$m = \frac{V_1}{\nu_1} = \frac{0.050 \text{ m}^3}{0.001008 \text{ m}^3/\text{kg}} = \mathbf{49.61 \text{ kg}}$$

(b) At the final state, the cylinder contains saturated vapor and thus the final temperature must be the saturation temperature at the final pressure,

$$T = T_{\text{sat}@200\text{kPa}} = \mathbf{120.21^\circ\text{C}}$$

(c) The final enthalpy is $h_2 = h_g @ 200 \text{ kPa} = 2706.3 \text{ kJ/kg}$. Thus,

$$\Delta H = m(h_2 - h_1) = (49.61 \text{ kg})(2706.3 - 167.53) \text{ kJ/kg} = \mathbf{125,950 \text{ kJ}}$$

