

۱ ترمودینامیک

استاد:

سیدعلی صدر واقفی

۱۳۹۹



بورگناک - زونتاگ - (ون وایلن)

ویرایش ہفتم

چاپ سی و ششم

مبانی ترمودینامیک



ترجمہ:

مهندس غلام رضا ملک زادہ

مهندس محمد حسین کاشانی حصار

مباحثي که در مورد آنها بحث خواهيم کرد:

۱- مقدمه و مفاهيم اوليه ترموديناميك

۲- ماده خالص و خواص آن

۳- کار و گرما

۴- قانون اول ترموديناميك

۵- قانون دوم ترموديناميك و انترپي

فصل اول ؛ مقدمه

تعريف ترموديناميك

سیستم ، سیستم مجزا (سیستم عایق شده)

محیط

حجم کنترل

سطح کنترل

فاز

تبادل

فرایند

چرخه

خواص ترمودینامیکی

قانون صفرم ترمودینامیک

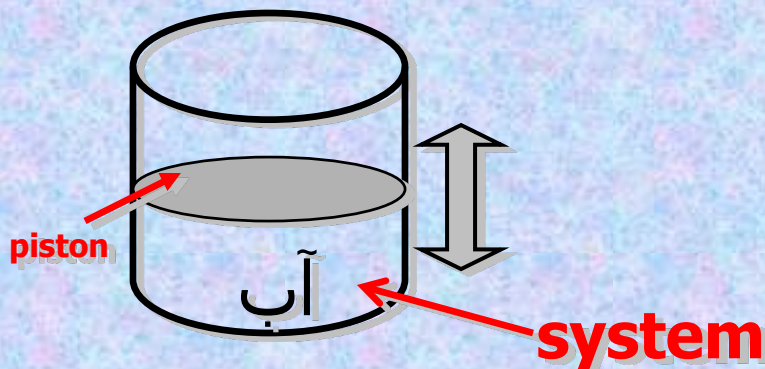
فصل اول

مفاهيم اوليه ترموديناميك-

تعريف ترموديناميك: ترموديناميك علمي است که با کار، گرما و آن دسته خواص مواد که با کار و گرما بستگی پیدا می‌کنند سروکار دارند. پایه ترموديناميك مانند تمام علوم ديگر بر مشاهدات تجربی استوار است. در ترموديناميك یافته‌های حاصل از این مشاهدات را بصورت قانونهائی دسته‌بندی کرده‌اند که آنها را در بخش‌های بعدی مطرح خواهیم کرد. بجز این قانونها يك قانون صفرم نیز وجود دارد که در پایان این فصل بیان می‌شود.

تعريف سيستم: مقداری از ماده با جرم مشخصی که مورد بررسی قرار می‌گیرد سیستم می‌نامیم.

محيط: هر چه که بیرون از سیستم جای داشته باشد محیط نامیده می‌شود.

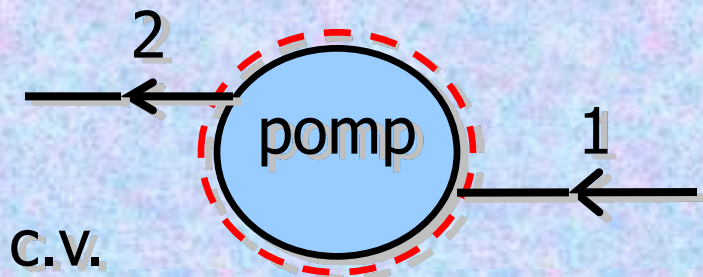


مرزهاي سيستم: سيستم را از محيط جدا مي‌کنند, اين مرزها ممکن است ثابت يا متحرك باشند.

مثال: در يك سيلندر پيستون آب درون سيلندر را به عنوان سيستم انتخاب مي‌کنيم, با گرم کردن سيلندر دماي آب افزايش مي‌يابد و پيستون بالا مي‌رود, با بالا رفتن پيستون مرز سيستم جابجا مي‌شود در اين فرايند گرما مرز سيستم را قطع مي‌کند و از محيط وارد سيستم مي‌شود.

سيستم مجزا: سيستمي که محيط به هيچ وجه بر روي آن تأثيري ندارد به عبارت ديگر در يك سيستم مجزا کار و گرما مرز سيستم را قطع نمي‌کنند.

حجم کنترل: حجم مشخصي در فضا که مورد بررسي قرار مي‌گيرد را حجم کنترل مي‌نامند و معمولاً شامل دستگاهي است که مورد بررسي قرار مي‌گيرد.



آنچه حجم کنترل را از محیط جدا می کند، **سطح کنترل** نامیده می شود.

جرم کنترل

تفاوت حجم کنترل و سیستم: سیستم هنگامی تعریف می شود که با مقدار مشخصی از جرم سروکار داشته باشد و حجم کنترل در مورد تحلیلی بکار می رود که در برگیرنده جریانی از جرم باشد به عبارت دیگر در حجم کنترل جریانی از جرم مرز حجم کنترل را قطع می کند اما در یک سیستم این طور نیست.

سیستم بسته (جرم ثابت) و سیستم باز

فاز: مقداری از ماده که کاملاً همگن باشد را یک فاز می نامند. ماده در هر فازی دارای خواص ترمودینامیکی مختلفی است. به عبارت دیگر خواصی مانند دما و فشار در هر فاز مختلف است. به عبارت دیگر ماده در هر فازی حالات مختلفی دارد که این حالت ماده با برخی از خواص آن مانند دما و فشار و ... مشخص می شود. این خواص ترمودینامیکی را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد:

۱- خواصی که به جرم ماده بستگی ندارند مثل دما، فشار که به این خواص، خواص نوابسته به جرم یا مستقل از جرم گویند. (خاصیت شدتی)

۲- خواصی که در ارتباط با جرم می باشند مثل حجم، وزن که به این خواص، خواص وابسته به جرم می گویند. (خاصیت مقداری)

دما یک ویژگی ماده است که وابسته به انرژی گرمایی آن است. هر چه انرژی گرمایی ماده‌ای افزایش یابد، دمای آن نیز افزایش پیدا می‌کند. دما به عنوان میزان گرم بودن یک ماده تعریف می‌شود. به بیان دیگر، میان دو ماده با دمای متفاوت، ماده‌ای که گرمای بیشتری داشته‌باشد، دمای آن نیز بالاتر است. برای اندازه‌گیری دمای مواد، یکاهای مختلفی تعریف می‌شوند.

یکای سلسیوس متداول‌ترین یکای مورد استفاده در حال حاضر است. این یکا پیشتر با نام سانتی‌گراد شناخته می‌شد. مبنای این یکا، نقطه انجماد و جوش آب هستند. نقطه انجماد آب برابر دمای صفر درجه و نقطه جوش آن برابر دمای صد درجه سانتی‌گراد تعریف شده‌است.

فارنهایت، یکای دیگری برای دما است که در گذشته، در بسیاری از کشورها به کار گرفته می‌شد و اکنون در کشورهایی همچنان به عنوان یکای اصلی اندازه‌گیری دما به کار می‌رود. نقطه صفر آن عبارت بود از دمای تعادل گرمایی مخلوطی با نسبت برابر از یخ، آب. همچنین نقطه مرجع دیگر را دمای تعادل گرمایی مخلوط آب و یخ (دمای صفر درجه سلسیوس) معادل ۳۲ فارنهایت در نظر گرفت. فارنهایت دریافت که دمای جوش آب با این یکا برابر ۲۱۲ درجه است.

خواص ترمودینامیکی

دما

یکای اصلی دما در سیستم متریک، کلوین با نماد K است و یکای مطلق دما نامیده می‌شود. زیرا نقطه صفر آن، صفر مطلق است و دمایی پایین‌تر از آن وجود ندارد. به عبارت دیگر، در صفر کلوین هیچ گرمایی وجود ندارد و ذرات ماده از حرکت (که نشان دهنده میزان انرژی گرمایی ذره است) بازمی‌ایستند. نرخ تغییرات کلوین، معادل با درجه سلسیوس است و صفر آن برابر ۲۷۳,۱۵- درجه سلسیوس است. برخلاف دو یکای سلسیوس و فارنهایت که با درجه (°) مشخص می‌شوند، یکای کلوین فقط به صرف گفتن کلوین مشخص می‌شود. برای مثال ۲۷۳ «کلوین» معادل با ۰ «درجه سلسیوس» است.

رابطه‌های زیر میان یکاهای متداول دما وجود دارد:

$$[K] = [^{\circ}C] + ۲۷۳,۱۵$$

$$[^{\circ}F] = ۱,۸[^{\circ}C] + ۳۲$$

حجم یک شکل، معادل با فضایی در نظر گرفته می‌شود که توسط آن اشغال می‌شود. از این رو محاسبه حجم در بسیاری از مفاهیم مرتبط با ریاضی و فیزیک دیده می‌شود

حجم به صورت فضایی در نظر گرفته می‌شود که می‌توان در آن هوا، آب یا جرم خاصی قرار داد. معمولا واحدهای اندازه‌گیری حجم برابر با سانتی‌متر مکعب، اینچ مکعب یا فوت مکعب، لیتر یا مترمکعب است.

فشار عبارتست از نیروی وارده بر واحد سطح که با علامت اختصاری نشان می‌دهند. این کمیت در گازها نقش عمده را ایفا میکند زیرا یکی از کمیات مشخصه گاز میباشد، از این رو بیشتر قوانین فشار در گازها نهفته شده و به دست آوردن معادله حالت گاز به کار برده میشود.

شاربا یکاهای مختلفی بیان میشود. یکای استاندارد ما در دستگاه SI پاسکال میباشد که برابر ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$) میباشد. یک پاسکال برابر مقدار یک نیوتن نیروست که بر یک متر مربع سطح جسمی وارد میگردد. بهترین یکایی که میتواند مرجعی برای سایر یکاها به کار برده شود (Atmospher) یا (dyn/cm^2) است که به صورت فشار متوسط هوا در سطح دریا تعریف میشود.

چون پاسکال یکای کوچکی برای فشار است معمولا از کیلو پاسکال (kpa) که برابر ۱۰۰۰ پاسکال است، استفاده میکنند. هر جو تقریبا برابر ۱۰۰ kpa است. هواشناسان از واحد میلی بار استفاده میکنند که برابر یک دهم پاسکال است. از سایر واحدهای فشار میتوان دین بر سانتیمتر مربع (dyn/cm^2) یا torr را نام برد. چون در اندازه گیری فشار در لوله U شکل از طول سنجی مایع جیوه به فشار سنجی پی می‌برند، واحد سانتیمتر جیوه (cmHg) نیز برای کمیت فشار به غلط مرسوم شده است.

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ pa} = 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 76 \text{ cm Hg} = 760 \text{ mm Hg}$$

تعریف تعادل: اگر مقدار خاصیت ترمودینامیکی در تمام نقاط سیستم یکسان باشد می‌گوئیم سیستم در حال تعادل است.

مثلا اگر در سیلندر پیستون شکل مقابل آب را بعنوان سیستم در نظر بگیریم، اگر دما در همه نقاط سیستم یکسان باشد سیستم در حال **تعادل گرمایی** خواهد بود و اگر فشار در همه نقاط ثابت باشد می‌گوئیم سیستم در حال **تعادل مکانیکی** می‌باشد در هر کدام از این حالات می‌توان دما یا فشار را بعنوان یکی از خواص سیستم در نظر گرفت.



(دما و فشار در همه نقاط ثابت است.)

نکته: اگر يك یا چند خاصیت سیستم تغییر کند می‌گوئیم تغییری در حالت سیستم رخ داده است.

تعریف فرایند: تغییر سیستم از حالتی به حالت دیگر را فرایند می‌نامند. به این ترتیب می‌توان گفت اگر یکی از خواص ترمودینامیکی سیستم تغییر کند در حقیقت حالت تعادل اولیه از بین رفته و فرایندی صورت گرفته است. این فرایند ادامه پیدا می‌کند تا سیستم به حالت تعادل جدید برسد.

انواع فرایند: ۱- فرایند شبه تعادلی: فرایندی که انحراف از حالت تعادل ترمودینامیکی در آن بی‌نهایت کوچک باشد را فرایند شبه تعادلی می‌نامند. به این ترتیب می‌توان همه حالاتی را که سیستم طی یک فرایند شبه تعادلی از آن می‌گذرد به عنوان حالت‌های تعادل در نظر گرفت. بسیاری از فرایندهای واقعی را می‌توان به‌گونه‌ای شبه تعادلی دانست بدون آنکه خطائی محسوس بوجود آید.

مثال: یک سیلندر پیستون را در نظر بگیرید اگر وزنه‌های روی پیستون بسیار کوچک باشند و آنها را یکی‌یکی و به آرامی از روی پیستون برداریم فرایند را می‌توان شبه تعادلی در نظر گرفت. اما اگر همه وزنه‌ها را همزمان برداریم پیستون به سرعت بالا می‌رود که این دیگر فرایند شبه تعادلی محسوب نمی‌شود و به عنوان یک **فرایند غیر تعادلی** نامیده می‌شود. پس سیستم در جریان این تغییر حالت یا فرایند در هیچ لحظه‌ای تعادل ندارد. در فرایندهای غیر تعادلی تنها پیش از آغاز فرایند و یا پس از پایان آن با برقراری دوباره حالت تعادل جدید می‌توان سیستم را مورد بررسی قرار داد و نمی‌توان هیچ یک از حالاتی را که سیستم از آن می‌گذرد مشخص کرد.

نکته: در طول بسیاری از فرایندها یکی از خواص ترمودینامیکی ثابت می‌ماند و همین موضوع توصیف‌گر فرایند می‌شود.

- ۱- فرایند دما ثابت (همدما) (ایزوترمال)
 - ۲- فرایند فشار ثابت (همفشار) (ایزوبار)
 - ۳- فرایند حجم ثابت (هم‌حجم)
- انواع فرایند:
ایزو=هم

تعریف چرخه (سیکل): مجموعه‌ای از فرایندها بطوری که سیستم پس از طی آن فرایندها به حالت اولیه‌اش باز می‌گردد. به عبارت دیگر خواص ترمودینامیکی در پایان یک چرخه برابر است با همان مقادیر مربوط به نقطه شروع فرایند. به عبارت دیگر فشار اولیه برابر است با فشار پایانی و دمای اولیه و حجم اولیه به ترتیب با دمای پایانی و حجم پایانی برابرند و ...

خواص ترمودینامیکی و جرم، طول، زمان،

قانون صفرم ترمودینامیک: می‌گوید وقتی دو جسم با جسم سوم برابری دما داشته باشند خود آن دو جسم نیز با هم برابری دما دارند و در تعادل گرمایی می‌باشند.

بخش ۲ / فصل اول

خواص ترمودینامیکی

دما

فشار

حجم ویژه

حجم در واحد جرم

انرژی

پتانسیل + جنبشی + درونی

آزمون

خاصیت-سیکل-فرایند-حجم کنترل-سیستم-فاز-حالت-انرژی-تعادل

سوالات:

۳ تست کنکور ارشد

فصل دوم ؛ ماده خالص

تعریف ماده خالص

تعادل فازهای مایع و بخار در یک ماده خالص

حالت اشباع (سیر شدن)

بخار داغ (سوپرهیت)

مایع متراکم

عیار (کیفیت)

دیاگرام دما - حجم

دیاگرام فشار - حجم

نقطه سه گانه

جدول ترمودینامیکی

فصل دوم

ماده خالص و خواص آن

ماده خالص:

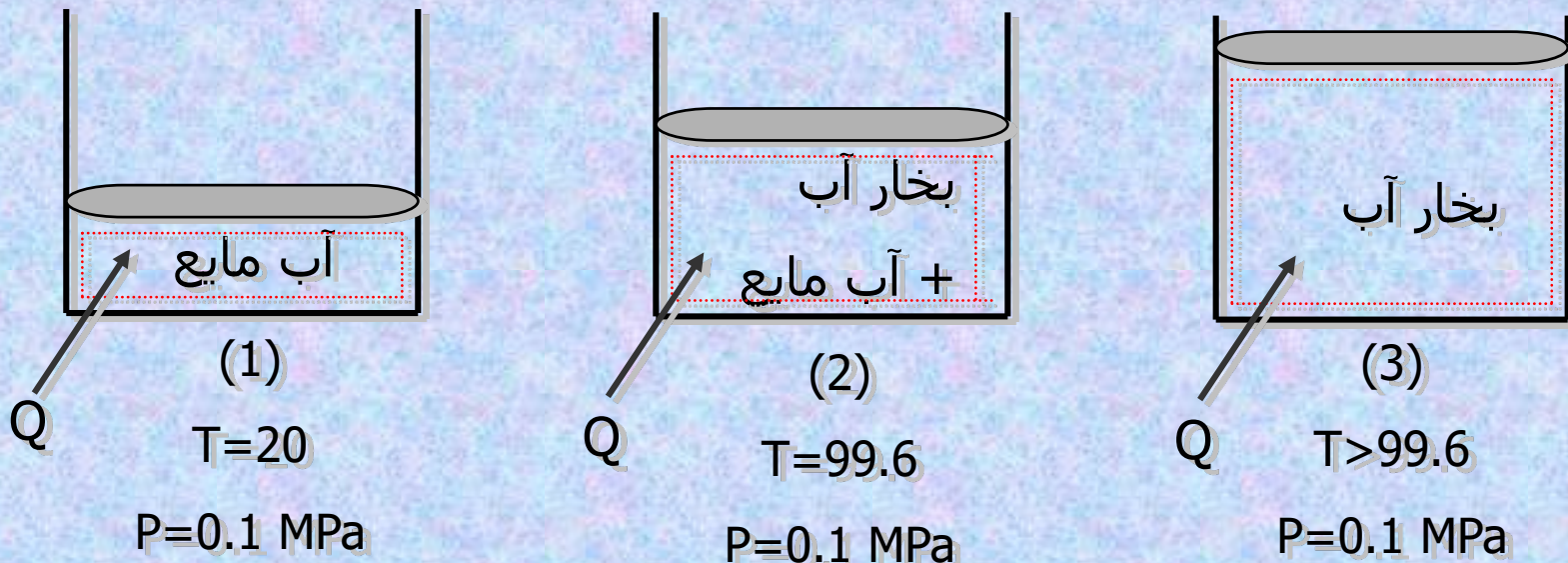
ماده‌ای که ترکیب شیمیایی آن همگن و یکنواخت باشد، چنین ماده‌ای ممکن است در بیش از یک فاز وجود داشته باشد، اما ترکیب شیمیایی آن در همه فازها یکسان است. بنابراین مخلوط آب مایع و بخار آب یا مخلوط آب و یخ همگی مواد خالص بشمار می‌آیند.

توجه:

مخلوط هوای مایع و هوای گازی یک ماده خالص نیست زیرا ترکیب شیمیایی هوا در این دو فاز با یکدیگر فرق می‌کند اما می‌توان مخلوطی مانند هوا را که از چند گاز تشکیل شده است تا وقتی که تغییر فازی در بین نباشد بعنوان یک ماده خالص فرض کرد. در این صورت مخلوطی مثل هوا را می‌توان بعنوان ماده خالص در نظر گرفت، هر چند این فرض خطای بسیار ناچیزی دارد.

تعادل فازهاي مختلف در يك ماده خالص

در مجموعه سيلندر پيستون شكل فوق 1Kg آب را بعنوان سيستم در نظر مي گيريم فرض مي كنيم كه پيستون و فشار اتمسفر 100 KPa فشار در سيستم بوجود آورده و دماي اوليه 20°C باشد، با انتقال گرما به آب دماي آن افزايش مي يابد و حجم ويژه كمي زياد مي شود و فشار ثابت مي ماند (شكل 1) هنگامي كه دما به 99.6°C رسيد انتقال گرمائي بيشتر باعث افزايش دما نمي شود بلكه باعث تغيير فاز سيستم از مايع به بخار مي گردد (شكل 2). در اين حالت مولكولهاي مايع يكي يكي به بخار تبديل مي شوند در طي اين فرايند دما و فشار ثابت مي ماند و حجم ويژه افزايش چشمگيري خواهد يافت هنگامي كه آخرين ذره مايع تبخير شد با ادامه يافتن انتقال حرارت دما نيز به مانند حجم ويژه افزايش مي يابد.



نکته: تغییر فاز در طی فرایند فشار ثابت و دما ثابت انجام می‌شود.

نکته: در تغییر فاز فقط و فقط یک فشار برای هر دمای مشخص وجود دارد.

دمای اشباع: دمایی که در آن تبخیر در فشاری معین رخ می‌دهد را دمای اشباع یا سیر شدن می‌نامند. این فشار را نیز فشار سیر شدن برای آن دما می‌نامند. بنابراین با توجه به مثال قبل برای آب 99.6°C فشار سیر شدن برابر 0.1 MPa و یا برعکس خواهد بود.

نکته ۱: اگر ماده‌ای در فشار و دمای سیر شدن مایع باشد آن را مایع اشباع گوئیم.

نکته ۲: اگر ماده‌ای در فشار و دمای سیر شدن بخار باشد آن را بخار اشباع گوئیم.

نکته ۳: اگر دمای مایع در فشار موجود پایین‌تر از دمای اشباع باشد مایع متراکم است.

نکته ۴: اگر بخار در دمایی بیش از دمای اشباع باشد به آن بخار داغ یا سوپرهیت گوئیم.

نکته ۵: هرگاه در دمای اشباع بخشی از ماده مایع و بخشی دیگر بخار باشد حالت ماده را دو فازی گوئیم.

نقطه بحرانی: جایی که در آن مایع اشباع و بخار اشباع باهم معادلند و تغییر فاز قابل تشخیص نیست.

TABLE B.1
Thermodynamic Properties of Water

TABLE B.1.1
Saturated Water

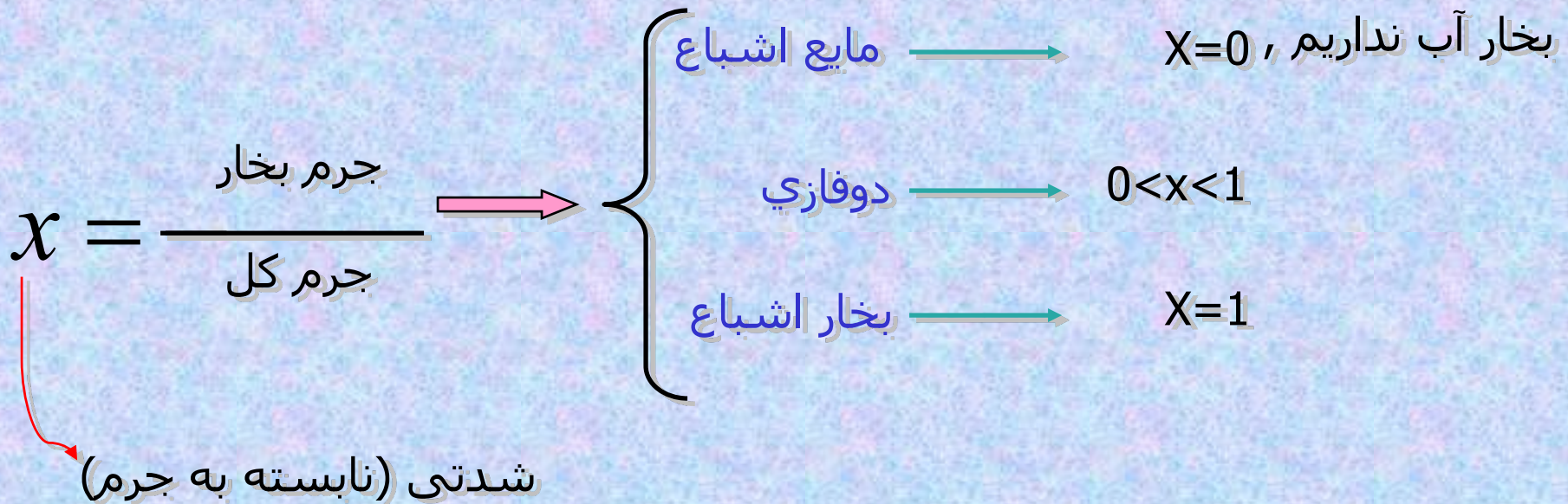
Temp. (°C)	Press. (kPa)	Specific Volume, m ³ /kg		
		Sat. Liquid ν_f	Evap. ν_{fg}	Sat. Vapor ν_g
0.01	0.6113	0.001000	206.131	206.132
5	0.8721	0.001000	147.117	147.118
10	1.2276	0.001000	106.376	106.377
15	1.705	0.001001	77.924	77.925
20	2.339	0.001002	57.7887	57.7897
25	3.169	0.001003	43.3583	43.3593
30	4.246	0.001004	32.8922	32.8932
35	5.628	0.001006	25.2148	25.2158
40	7.384	0.001008	19.5219	19.5229
45	9.593	0.001010	15.2571	15.2581
50	12.350	0.001012	12.0308	12.0318
55	15.758	0.001015	9.56734	9.56835
60	19.941	0.001017	7.66969	7.67071
65	25.03	0.001020	6.19554	6.19656
70	31.19	0.001023	5.04114	5.04217
75	38.58	0.001026	4.13021	4.13123
80	47.39	0.001029	3.40612	3.40715
85	57.83	0.001032	2.82654	2.82757
90	70.14	0.001036	2.35953	2.36056
95	84.55	0.001040	1.98082	1.98186
100	101.3	0.001044	1.67185	1.67290

TABLE B.1.2
Saturated Water Pressure Entry

Press. (kPa)	Temp. (°C)	Specific Volume, m ³ /kg		
		Sat. Liquid ν_f	Evap. ν_{fg}	Sat. Vapor ν_g
0.6113	0.01	0.001000	206.131	206.132
1	6.98	0.001000	129.20702	129.20802
1.5	13.03	0.001001	87.97913	87.98013
2	17.50	0.001001	67.00285	67.00385
2.5	21.08	0.001002	54.25285	54.25385
3	24.08	0.001003	45.66402	45.66502
4	28.96	0.001004	34.79915	34.80015
5	32.88	0.001005	28.19150	28.19251
7.5	40.29	0.001008	19.23674	19.23775
10	45.81	0.001010	14.67254	14.67355
15	53.97	0.001014	10.02117	10.02218
20	60.06	0.001017	7.64835	7.64937
25	64.97	0.001020	6.20322	6.20424
30	69.10	0.001022	5.22816	5.22918
40	75.87	0.001026	3.99243	3.99345
50	81.33	0.001030	3.23931	3.24034
75	91.77	0.001037	2.21607	2.21711
100	99.62	0.001043	1.69296	1.69400
125	105.99	0.001048	1.37385	1.37490
150	111.37	0.001053	1.15828	1.15933
175	116.06	0.001057	1.00257	1.00363
200	120.23	0.001061	0.88467	0.88573
225	124.00	0.001064	0.79219	0.79325

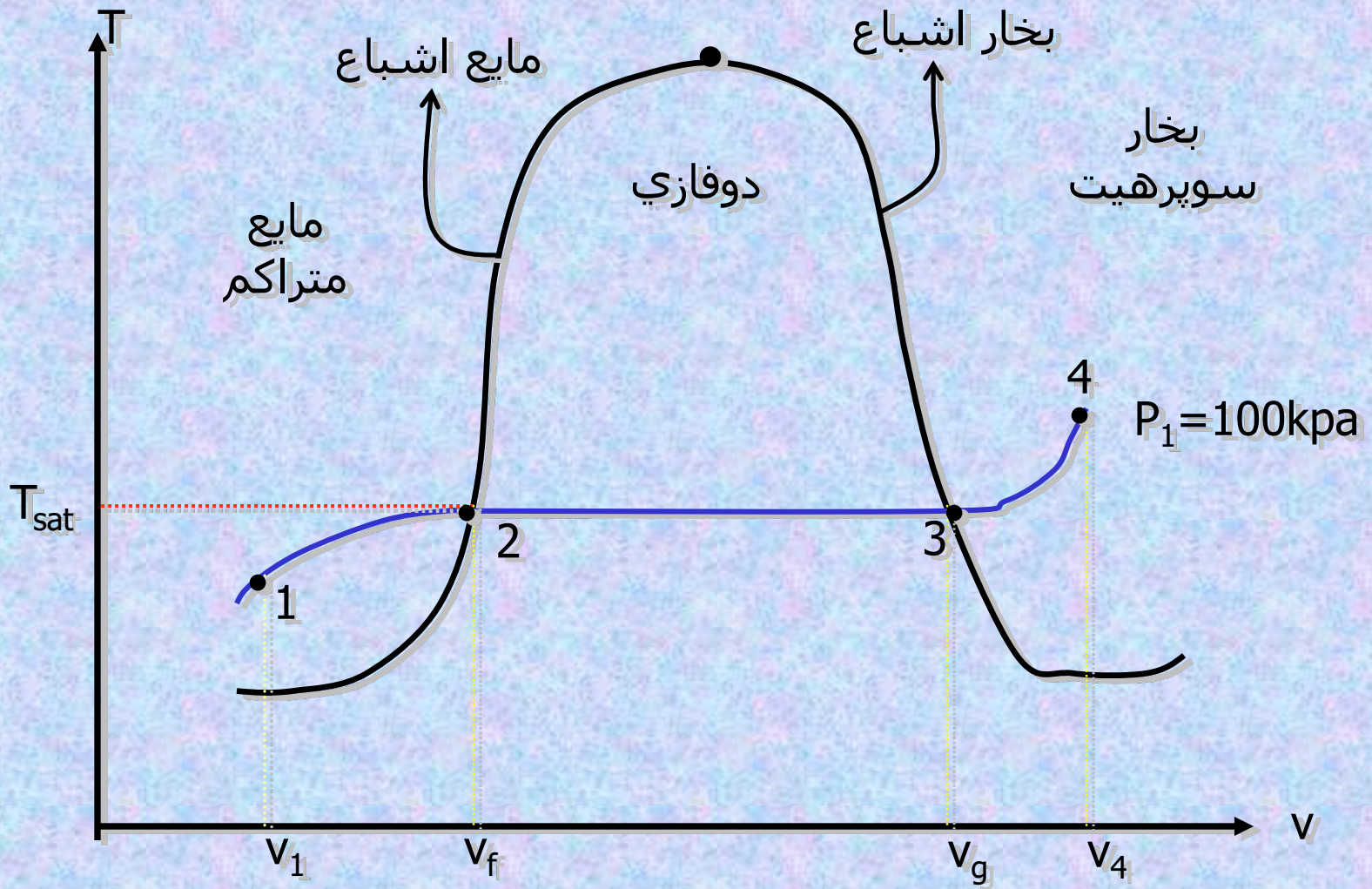
تعریف عیار یا کیفیت (quality):

نسبت جرم بخار به کل جرم يك ماده را عیار یا کیفیت آن ماده گویند و با x نمایش می‌دهند، عیار تنها هنگامی معنا دارد که ماده در حالت سیرشدن باشد.

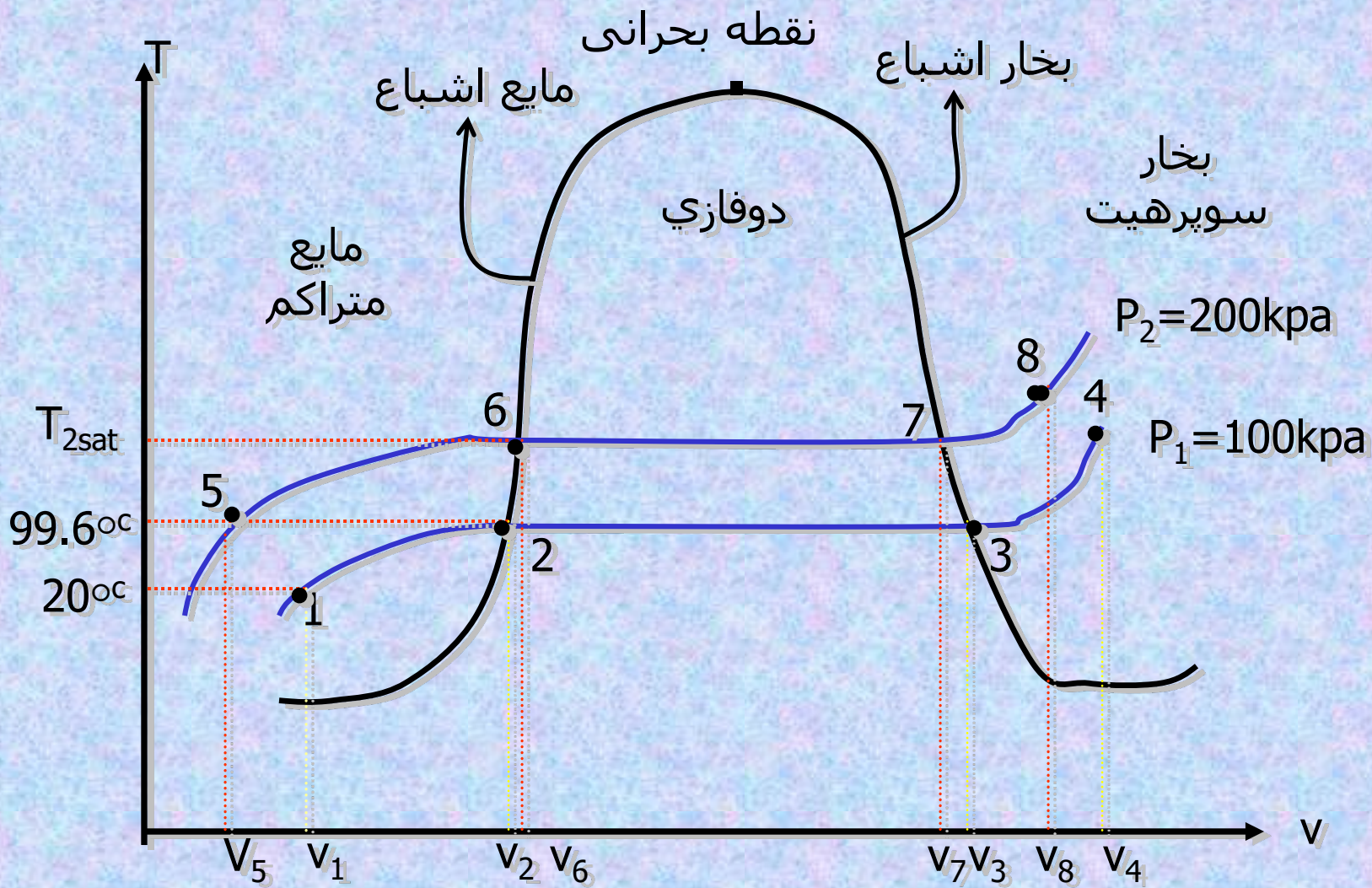


$$v = v_f + x v_{fg} \quad (\text{اثبات کنید})$$

نکته، در حالت دوفازی:



(دیاگرام دما - حجم)



$$P_2 > P_1$$

$$T_{sat2} > T_{sat1}$$

(دیاگرام دما - حجم)

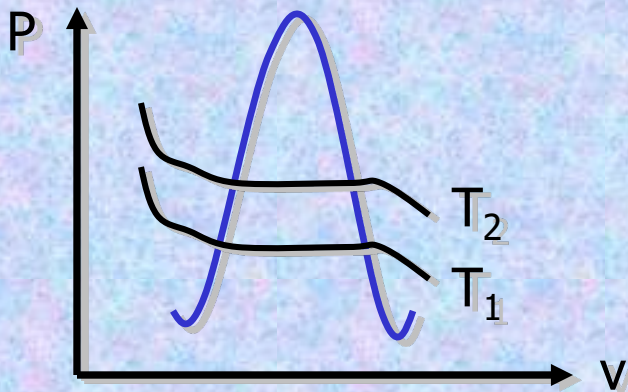
TABLE 2.2
Some Critical-Point Data

	Critical Temperature, °C	Critical Pressure, MPa	Critical Volume, m/kg
Water	374.14	22.09	0.003 155
Carbon dioxide	31.05	7.39	0.002 143
Oxygen	-118.35	5.08	0.002 438
Hydrogen	-239.85	1.30	0.032 192

* نمودار دما-حجم قبل برای فشار ثابت $p_1=100\text{Kpa}$ نشان داده شده است. نقطه 1 حالت متراکم را نشان می‌دهد و نقطه 2 مایع اشباع را مشخص می‌کند. خط 12 نشانگر فرایندی است که در آن دمای مایع افزایش یافته تا به دمای اشباع برسد نقطه 3 بخار اشباع و خط 23 فرایند دما ثابتی را نشان می‌دهد که طی آن ماده تغییر فاز داده و از مایع به بخار تبدیل می‌شود، خط 34 نشانگر فرایندی است که در آن بخار در فشاری ثابت گرم می‌شود و در جریان این فرایند دما افزایش می‌یابد تا بخار اشباع به بخار سوپرهیت تبدیل گردد.

* نمودار بالایی برای فشار ثابت $p_2 > p_1$ رسم شده است، نقطه 5 حالت اولیه برای این فشار را نشان می‌دهد که دمای آن همان دمای نقطه 1 است اما چون فشار نقطه 5 از فشار نقطه 1 بیشتر است در نتیجه حجم ویژه آن کوچکتر است. بقیه مراحل این نمودار مانند حالت قبل است از این نمودار می‌توان نتیجه گرفت که هر چه فشار افزایش یابد دمای اشباع آن نیز افزایش خواهد یافت.

نکته: نمودار فشار-حجم ویژه بصورت زیر مشخص می‌شود و خطوط دما ثابت بر روی آن طبق شکل زیر خواهد بود:



برای نمودار روبرو داریم: $T_1 < T_2$

TABLE B.1.3

Superheated Vapor Water

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
$P = 10 \text{ kPa (45.81}^\circ\text{C)}$				
Sat.	14.67355	2437.89	2584.63	8.1501
50	14.86920	2443.87	2592.56	8.1749
100	17.19561	2515.50	2687.46	8.4479
150	19.51251	2587.86	2782.99	8.6881
200	21.82507	2661.27	2879.52	8.9037
250	24.13559	2735.95	2977.31	9.1002
300	26.44508	2812.06	3076.51	9.2812
400	31.06252	2968.89	3279.51	9.6076
500	35.67896	3132.26	3489.05	9.8977
600	40.29488	3302.45	3705.40	10.1608
700	44.91052	3479.63	3928.73	10.4028
800	49.52599	3663.84	4159.10	10.6281
900	54.14137	3855.03	4396.44	10.8395
1000	58.75669	4053.01	4640.58	11.0392
1100	63.37198	4257.47	4891.19	11.2287
1200	67.98724	4467.91	5147.78	11.4090
1300	72.60250	4683.68	5409.70	14.5810

TABLE B.1.3

Superheated Vapor Water

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
$100 \text{ kPa (99.62}^\circ\text{C)}$				
Sat.	1.69400	2506.06	2675.46	7.3593
150	1.93636	2582.75	2776.38	7.6133
200	2.17226	2658.05	2875.27	7.8342
250	2.40604	2733.73	2974.33	8.0332
300	2.63876	2810.41	3074.28	8.2157
400	3.10263	2967.85	3278.11	8.5434
500	3.56547	3131.54	3488.09	8.8341
600	4.02781	3301.94	3704.72	9.0975
700	4.48986	3479.24	3928.23	9.3398
800	4.95174	3663.53	4158.71	9.5652
900	5.41353	3854.77	4396.12	9.7767
1000	5.87526	4052.78	4640.31	9.9764
1100	6.33696	4257.25	4890.95	10.1658
1200	6.79863	4467.70	5147.56	10.3462
1300	7.26030	4683.47	5409.49	10.5182
$300 \text{ kPa (133.55}^\circ\text{C)}$				
Sat.	0.60582	2543.55	2725.30	6.9918
150	0.63388	2570.79	2760.95	7.0778
200	0.71629	2650.65	2865.54	7.3115

TABLE B.1.3

Superheated Vapor Water

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
500 kPa (151.86°C)				
Sat.	0.37489	2561.23	2748.67	6.8212
200	0.42492	2642.91	2855.37	7.0592
250	0.47436	2723.50	2960.68	7.2708
300	0.52256	2802.91	3064.20	7.4598
350	0.57012	2882.59	3167.65	7.6328
400	0.61728	2963.19	3271.83	7.7937
500	0.71093	3128.35	3483.82	8.0872
600	0.80406	3299.64	3701.67	8.3521
700	0.89691	3477.52	3925.97	8.5952
800	0.98959	3662.17	4156.96	8.8211
900	1.08217	3853.63	4394.71	9.0329
1000	1.17469	4051.76	4639.11	9.2328
1100	1.26718	4256.29	4889.88	9.4224
1200	1.35964	4466.76	5146.58	9.6028
1300	1.45210	4682.52	5408.57	9.7749

TABLE B.1.3

Superheated Vapor Water

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
1200 kPa (187.99°C)				
Sat.	0.16333	2588.82	2784.82	6.5233
200	0.16930	2612.74	2815.90	6.5898
250	0.19235	2704.20	2935.01	6.8293
300	0.21382	2789.22	3045.80	7.0316
350	0.23452	2872.16	3153.59	7.2120
400	0.25480	2954.90	3260.66	7.3773
500	0.29463	3122.72	3476.28	7.6758
600	0.33393	3295.60	3696.32	7.9434
700	0.37294	3474.48	3922.01	8.1881
800	0.41177	3659.77	4153.90	8.4149
900	0.45051	3851.62	4392.23	8.6272
1000	0.48919	4049.98	4637.00	8.8274
1100	0.52783	4254.61	4888.02	9.0171
1200	0.56646	4465.12	5144.87	9.1977
1300	0.60507	4680.86	5406.95	9.3698

TABLE B.2

Thermodynamic Properties of Ammonia

TABLE B.2.1

Saturated Ammonia

Temp. (°C)	Press. (kPa)	Specific Volume, m ³ /kg		
		Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g
-50	40.9	0.001424	2.62557	2.62700
-45	54.5	0.001437	2.00489	2.00632
-40	71.7	0.001450	1.55111	1.55256
-35	93.2	0.001463	1.21466	1.21613
-30	119.5	0.001476	0.96192	0.96339
-25	151.6	0.001490	0.76970	0.77119
-20	190.2	0.001504	0.62184	0.62334
-15	236.3	0.001519	0.50686	0.50838
-10	290.9	0.001534	0.41655	0.41808
-5	354.9	0.001550	0.34493	0.34648
0	429.6	0.001566	0.28763	0.28920
5	515.9	0.001583	0.24140	0.24299
10	615.2	0.001600	0.20381	0.20541
15	728.6	0.001619	0.17300	0.17462
20	857.5	0.001638	0.14758	0.14922
25	1003.2	0.001658	0.12647	0.12813
30	1167.0	0.001680	0.10881	0.11049
35	1350.4	0.001702	0.09397	0.09567
40	1554.9	0.001725	0.08141	0.08313
45	1782.0	0.001750	0.07073	0.07248
50	2033.1	0.001777	0.06159	0.06337

TABLE B.2.2
Superheated Ammonia

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
50 kPa (−46.53°C)				
Sat.	2.1752	1269.6	1378.3	6.0839
−30	2.3448	1296.2	1413.4	6.2333
−20	2.4463	1312.3	1434.6	6.3187
−10	2.5471	1328.4	1455.7	6.4006
0	2.6474	1344.5	1476.9	6.4795
10	2.7472	1360.7	1498.1	6.5556
20	2.8466	1377.0	1519.3	6.6293
30	2.9458	1393.3	1540.6	6.7008
40	3.0447	1409.8	1562.0	6.7703
50	3.1435	1426.3	1583.5	6.8379
60	3.2421	1443.0	1605.1	6.9038
70	3.3406	1459.9	1626.9	6.9682
80	3.4390	1476.9	1648.8	7.0312
100	3.6355	1511.4	1693.2	7.1533
120	3.8318	1546.6	1738.2	7.2708
140	4.0280	1582.5	1783.9	7.3842
160	4.2240	1619.2	1830.4	7.4941
180	4.4199	1656.7	1877.7	7.6008
200	4.6157	1694.9	1925.7	7.7045

TABLE B.2.2 (continued)
Superheated Ammonia

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
800 kPa (17.85°C)				
Sat.	0.15958	1330.9	1458.6	5.1110
20	0.16138	1335.8	1464.9	5.1328
30	0.16947	1358.0	1493.5	5.2287
40	0.17720	1379.0	1520.8	5.3171
50	0.18465	1399.3	1547.0	5.3996
60	0.19189	1419.0	1572.5	5.4774
70	0.19896	1438.3	1597.5	5.5513
80	0.20590	1457.4	1622.1	5.6219
100	0.21949	1495.0	1670.6	5.7555
120	0.23280	1532.5	1718.7	5.8811
140	0.24590	1570.1	1766.9	6.0006
160	0.25886	1608.2	1815.3	6.1150
180	0.27170	1646.8	1864.2	6.2254
200	0.28445	1686.1	1913.6	6.3322
220	0.29712	1726.0	1963.7	6.4358
240	0.30973	1766.7	2014.5	6.5367
260	0.32228	1808.1	2065.9	6.6350
280	0.33477	1850.2	2118.0	6.7310
300	0.34722	1893.1	2170.9	6.8248

TABLE B.4

Thermodynamic Properties of R-410a

TABLE B.4.1

Saturated R-410a

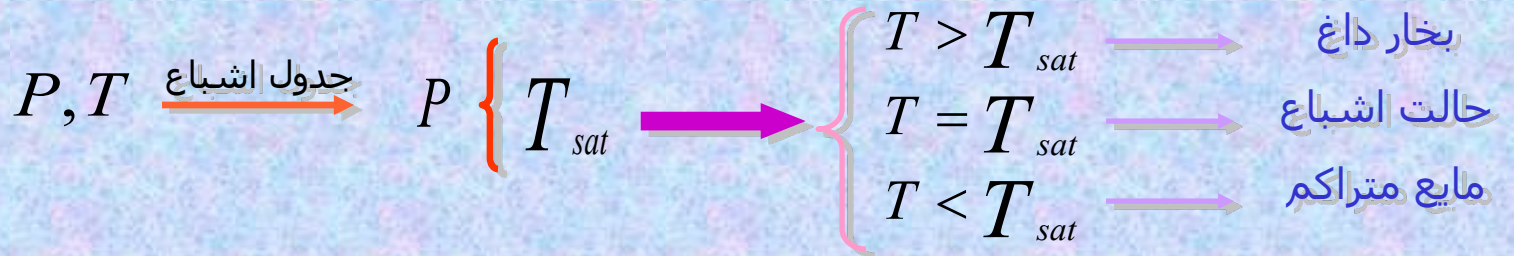
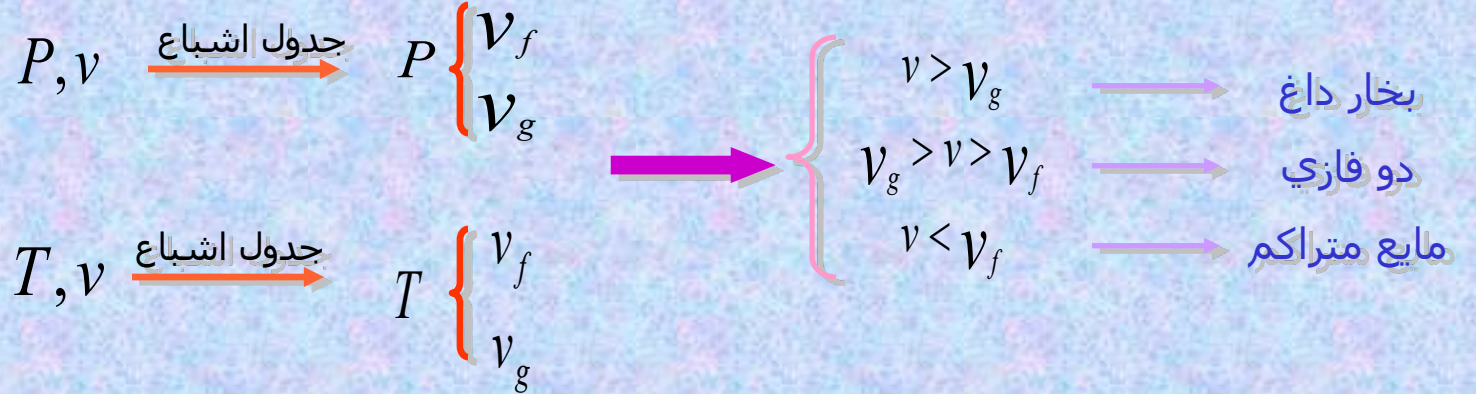
Temp. (°C)	Press. (kPa)	Specific Volume, m ³ /kg		
		Sat. Liquid v_f	Evap. v_{fg}	Sat. Vapor v_g
-60	64.1	0.000727	0.36772	0.36845
-55	84.0	0.000735	0.28484	0.28558
-51.4	101.3	0.000741	0.23875	0.23949
-50	108.7	0.000743	0.22344	0.22418
-45	138.8	0.000752	0.17729	0.17804
-40	175.0	0.000762	0.14215	0.14291
-35	218.4	0.000771	0.11505	0.11582
-30	269.6	0.000781	0.09392	0.09470
-25	329.7	0.000792	0.07726	0.07805
-20	399.6	0.000803	0.06400	0.06480
-15	480.4	0.000815	0.05334	0.05416
-10	573.1	0.000827	0.04470	0.04553
-5	678.9	0.000841	0.03764	0.03848
0	798.7	0.000855	0.03182	0.03267
5	933.9	0.000870	0.02699	0.02786
10	1085.7	0.000886	0.02295	0.02383
15	1255.4	0.000904	0.01955	0.02045
20	1444.2	0.000923	0.01666	0.01758
25	1653.6	0.000944	0.01420	0.01514
30	1885.1	0.000968	0.01208	0.01305
35	2140.2	0.000995	0.01025	0.01124

TABLE B.4.2 (continued)

Superheated R-410a

Temp. (°C)	v (m ³ /kg)	u (kJ/kg)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg-K)
300 kPa (-27.37°C)				
Sat.	0.08548	243.08	268.72	1.0949
-20	0.08916	248.71	275.46	1.1219
0	0.09845	263.33	292.87	1.1881
20	0.10720	277.81	309.96	1.2485
40	0.11564	292.53	327.22	1.3054
60	0.12388	307.65	344.81	1.3599
80	0.13200	323.25	362.85	1.4125
100	0.14003	339.37	381.38	1.4635
120	0.14798	356.03	400.43	1.5132
140	0.15589	373.23	420.00	1.5617
160	0.16376	390.97	440.10	1.6093
180	0.17159	409.24	460.72	1.6558
200	0.17940	428.03	481.85	1.7014
220	0.18719	447.31	503.47	1.7462
240	0.19496	467.09	525.58	1.7901
260	0.20272	487.33	548.15	1.8332
280	0.21046	508.02	571.16	1.8756

تشخیص حالت سیستم:



Example 2.1

چند مثال

Determine the phase for each of the following water states using the tables in Appendix B and indicate the relative position in the P - v , T - v , and P - T diagrams.

- 120°C, 500 kPa
- 120°C, 0.5 m³/kg

Solution

- Enter Table B.1.1 with 120°C. The saturation pressure is 198.5 kPa, so we have a compressed liquid, point a in Fig. 2.11. That is above the saturation line for 120°C. We could also have entered Table B.1.2 with 500 kPa and found the saturation temperature as 151.86°C, so we would say that it is a subcooled liquid. That is to the left of the saturation line for 500 kPa, as seen in the P - T diagram.
- Enter Table B.1.1 with 120°C and notice that

$$v_f = 0.00106 < v < v_g = 0.89186 \text{ m}^3/\text{kg}$$

so the state is a two-phase mixture of liquid and vapor, point b in Fig. 2.11. The state is to the left of the saturated vapor state and to the right of the saturated liquid state, both seen in the T - v diagram.

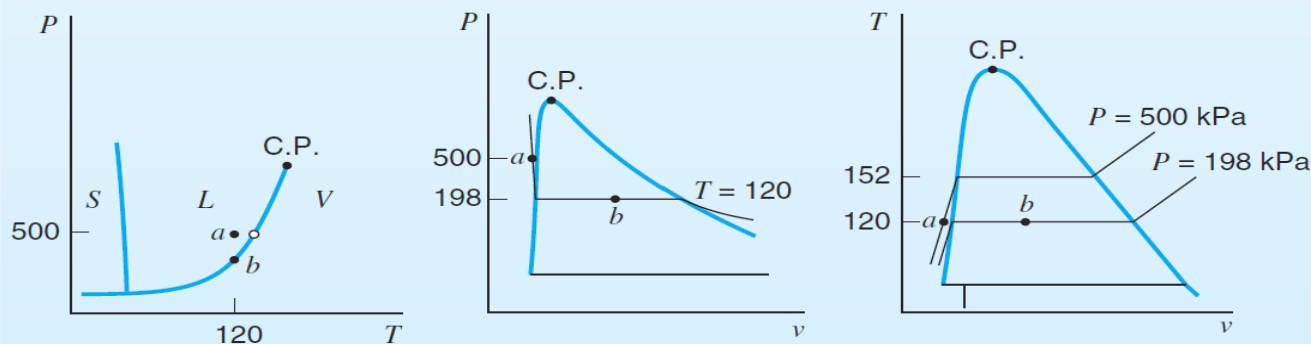


FIGURE 2.11 Diagram for Example 2.1.

Example 2.2

A closed vessel contains 0.1 m^3 of saturated liquid and 0.9 m^3 of saturated vapor R-134a in equilibrium at 30°C . Determine the percent vapor on a mass basis.

Solution

Values of the saturation properties for R-134a are found from Table B.5.1. The mass–volume relations then give

$$V_{\text{liq}} = m_{\text{liq}}v_f, \quad m_{\text{liq}} = \frac{0.1}{0.000843} = 118.6 \text{ kg}$$

$$V_{\text{vap}} = m_{\text{vap}}v_g, \quad m_{\text{vap}} = \frac{0.9}{0.02671} = 33.7 \text{ kg}$$

$$m = 152.3 \text{ kg}$$

$$x = \frac{m_{\text{vap}}}{m} = \frac{33.7}{152.3} = 0.221$$

That is, the vessel contains 90% vapor by volume but only 22.1% vapor by mass.

solid states, the liquid P - v - T surface for lower temperatures is fairly steep and flat, so this region also describes an incompressible substance with a specific volume that is only a weak function of T , which we can write

$$v \approx v(T) = v_f \quad (2.3)$$

where the saturated liquid specific volume v_f at T is found in the Appendix B tables as the first part of the tables for each substance. A few other entries are found as density ($1/v$) for some common liquids in Tables A.3 and F.2.

In-Text Concept Questions

- a. If the pressure is smaller than the smallest P_{sat} at a given T , what is the phase?
- b. An external water tap has the valve activated by a long spindle, so the closing mechanism is located well inside the wall. Why?
- c. What is the lowest temperature (approximately) at which water can be liquid?

Example 2.3

Determine the phase for each of the following states using the tables in Appendix B and indicate the relative position in the P - v , T - v , and P - T diagrams, as in Fig. 2.11.

- Ammonia 30°C , 1000 kPa
- R-134a 200 kPa , $0.125\text{ m}^3/\text{kg}$

Solution

- Enter Table B.2.1 with 30°C . The saturation pressure is 1167 kPa . As we have a lower P (see Fig. 2.13), it is a superheated vapor state. We could also have entered with 1000 kPa and found a saturation temperature of slightly less than 25°C , so we have a state that is superheated about 5°C .

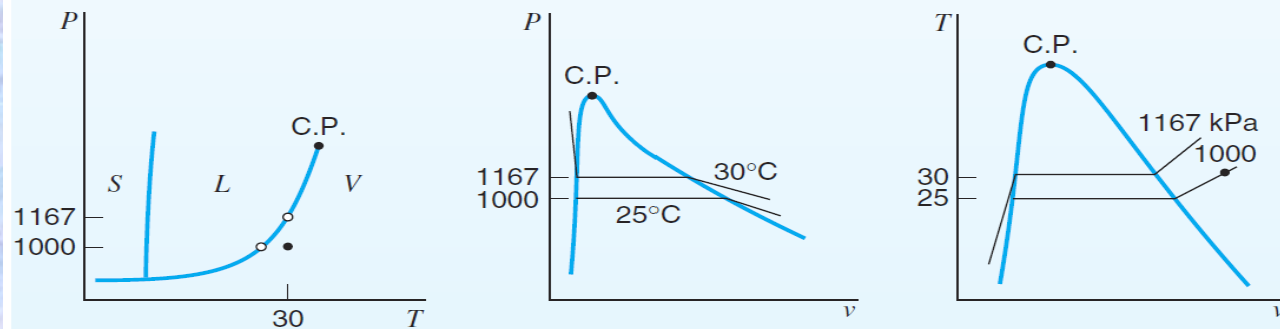


FIGURE 2.13 Diagram for Example 2.3a.

- Enter Table B.5.2 (or B.5.1) with 200 kPa and notice that

$$v > v_g = 0.1000\text{ m}^3/\text{kg}$$

so from the P - v diagram in Fig. 2.14 the state is superheated vapor. We can find the state in Table B.5.2 between 40 and 50°C .

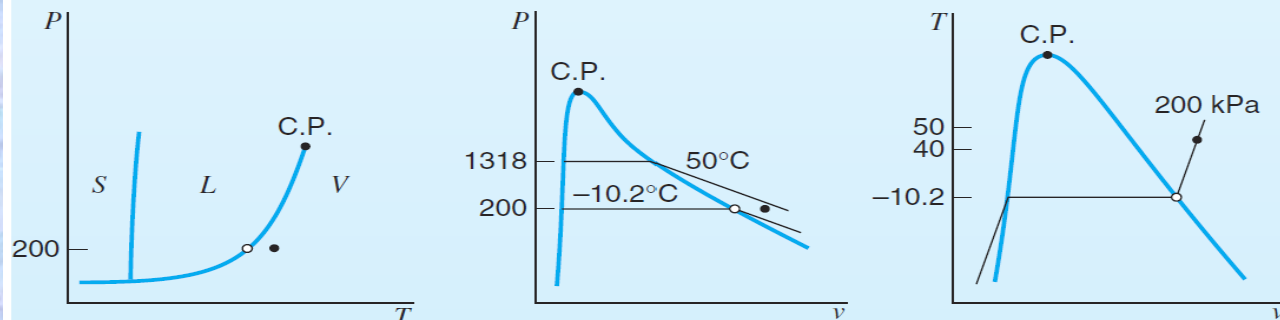


FIGURE 2.14 Diagram for Example 2.3b.

Example 2.4

A rigid vessel contains saturated ammonia vapor at 20°C. Heat is transferred to the system until the temperature reaches 40°C. What is the final pressure?

Solution

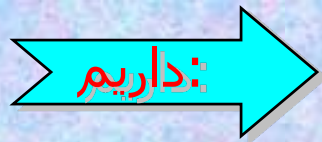
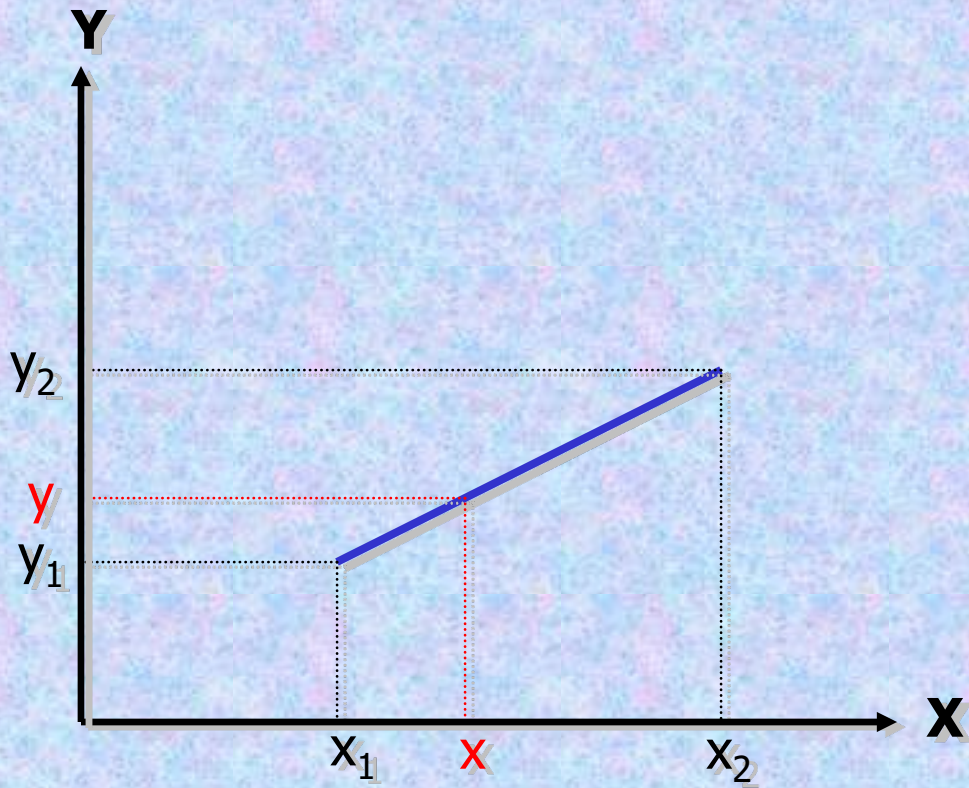
Since the volume does not change during this process, the specific volume also remains constant. From the ammonia tables, Table B.2.1, we have

$$v_1 = v_2 = 0.14922 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Since v_g at 40°C is less than 0.14922 m³/kg, it is evident that in the final state the ammonia is superheated vapor. By interpolating between the 800- and 1000-kPa columns of Table B.2.2, we find that

$$P_2 = 945 \text{ kPa}$$

فرمول درون یابی :



$$y - y_1 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1)$$

Example 2.5

Determine the pressure for water at 200°C with $\nu = 0.4 \text{ m}^3/\text{kg}$.

Solution

Start in Table B.1.1 with 200°C and note that $\nu > \nu_g = 0.12736 \text{ m}^3/\text{kg}$, so we have superheated vapor. Proceed to Table B.1.3 at any subsection with 200°C ; suppose we start at 200 kPa. There $\nu = 1.08034$, which is too large, so the pressure must be higher. For 500 kPa, $\nu = 0.42492$, and for 600 kPa, $\nu = 0.35202$, so it is bracketed. This is shown in Fig. 2.15.

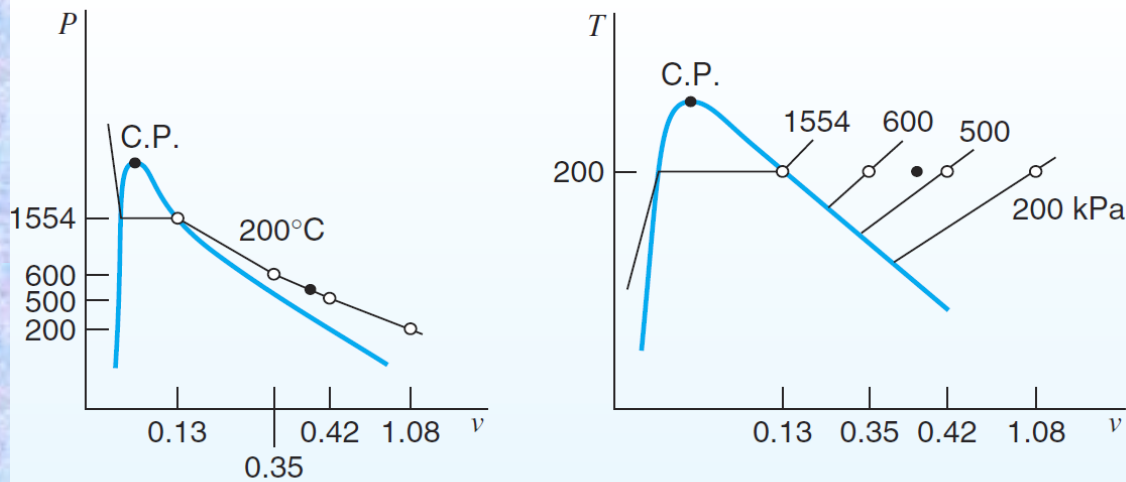
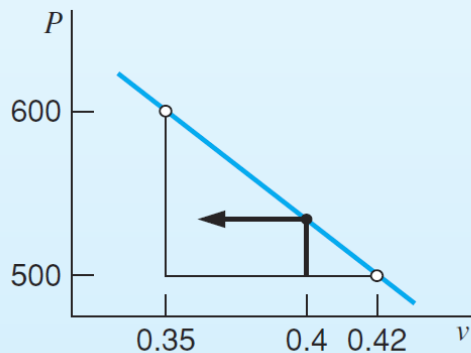


FIGURE 2.15 Diagram for Example 2.5.

A linear interpolation, Fig. 2.16, between the two pressures is done to get P at the desired v .

$$P = 500 + (600 - 500) \frac{0.4 - 0.42492}{0.35202 - 0.42492} = 534.2 \text{ kPa}$$

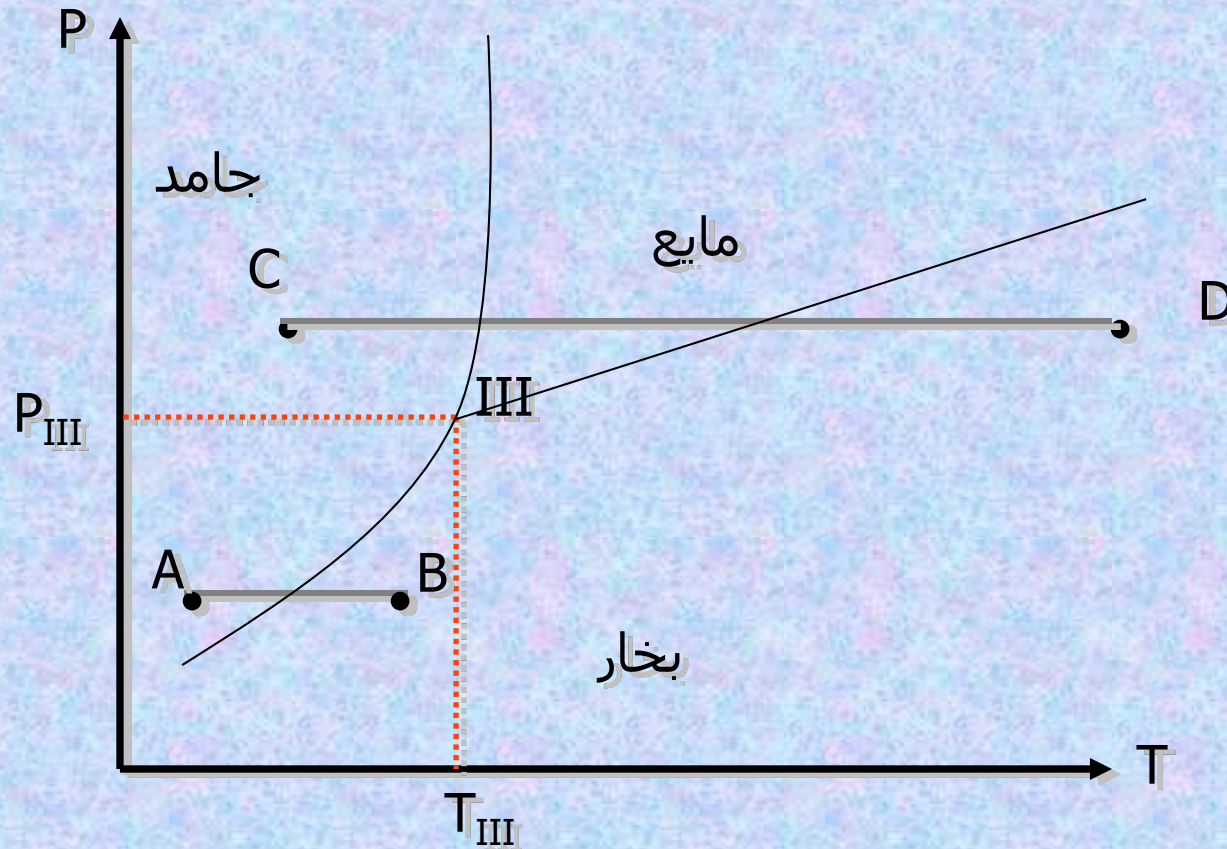


The real constant- T curve is slightly curved and not linear, but for manual interpolation we assume a linear variation.

FIGURE 2.16 Linear interpolation for Example 2.5.

نقطه سه گانه:

حالتی است که در آن هر سه فاز جامد، مایع و گاز می‌توانند در تعادل با یکدیگر باشند. به عنوان مثال برای آب در فشار 611.3 pa و دمای 0.01°C هر سه حالت ماده وجود دارند.



* با توجه به نمودار قبل می‌توان مشاهده کرد که چگونه فازهای مختلف با یکدیگر در حال تعادل هستند. همچنین می‌توان در مورد تغییر فرایندهای مختلف با توجه به اینکه فشار کمتر از فشار نقطه سه‌گانه یا بیشتر از آن باشد، صحبت کرد. (فرایند AB و CD)

بخار $\xrightarrow{\text{طی (AB) جامد}}$: با افزایش دما ، $P < P_{III}$

بخار $\xrightarrow{\text{طی (CD) مایع}}$ جامد $\xrightarrow{\text{طی (CD) مایع}}$: با افزایش دما ، $P > P_{III}$

نکته: برای تشخیص حالت ماده نیاز به در دست داشتن دو مشخصه آن است مثل فشار و دما اما اگر حالت اشباع باشد نیاز به داشتن دو مشخصه مستقل از هم می‌باشد. فشار و دما در حالت اشباع مستقل از هم نیستند. پس به عنوان مثال فشار و حجم ویژه یا عیار و دما را باید داشته باشیم.

TABLE 2.1

Some Solid–Liquid–Vapor Triple-Point Data

	Temperature, °C	Pressure, kPa
Hydrogen (normal)	−259	7.194
Oxygen	−219	0.15
Nitrogen	−210	12.53
Carbon dioxide	−56.4	520.8
Mercury	−39	0.000 000 13
Water	0.01	0.6113
Zinc	419	5.066
Silver	961	0.01
Copper	1083	0.000 079

معادله حالت گاز ایده‌آل:

P [kpa]

V[m³]

M[kg]

$$* \quad R = \frac{\bar{R}}{M}, \quad PV = mRT \quad \bar{R} = 8.3144 \left[\frac{kJ}{kmol.k} \right]$$

$$* \quad PV = n\bar{R}T$$

همچنین
داریم \rightarrow

$$* \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

R ثابت عمومی گازها، \bar{R} ثابت جهانی گازها، M جرم مولکولی $\left[\frac{KJ}{Kmol} \right]$

TABLE A.5

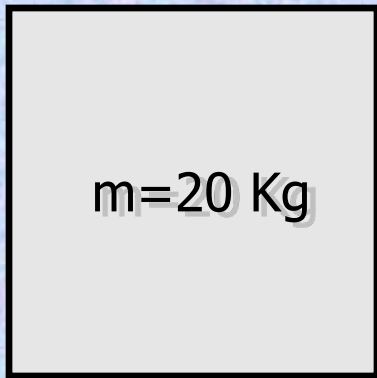
Properties of Various Ideal Gases at 25°C, 100 kPa* (SI Units)

Gas	Chemical Formula	Molecular Mass (kg/kmol)	R (kJ/kg-K)	ρ (kg/m ³)	C_{p0} (kJ/kg-K)	C_{v0} (kJ/kg-K)	$k = \frac{C_p}{C_v}$
Steam	H ₂ O	18.015	0.4615	0.0231	1.872	1.410	1.327
Acetylene	C ₂ H ₂	26.038	0.3193	1.05	1.699	1.380	1.231
Air	—	28.97	0.287	1.169	1.004	0.717	1.400
Ammonia	NH ₃	17.031	0.4882	0.694	2.130	1.642	1.297
Argon	Ar	39.948	0.2081	1.613	0.520	0.312	1.667
Butane	C ₄ H ₁₀	58.124	0.1430	2.407	1.716	1.573	1.091
Carbon dioxide	CO ₂	44.01	0.1889	1.775	0.842	0.653	1.289
Carbon monoxide	CO	28.01	0.2968	1.13	1.041	0.744	1.399
Ethane	C ₂ H ₆	30.07	0.2765	1.222	1.766	1.490	1.186
Ethanol	C ₂ H ₅ OH	46.069	0.1805	1.883	1.427	1.246	1.145
Ethylene	C ₂ H ₄	28.054	0.2964	1.138	1.548	1.252	1.237
Helium	He	4.003	2.0771	0.1615	5.193	3.116	1.667
Hydrogen	H ₂	2.016	4.1243	0.0813	14.209	10.085	1.409
Methane	CH ₄	16.043	0.5183	0.648	2.254	1.736	1.299
Methanol	CH ₃ OH	32.042	0.2595	1.31	1.405	1.146	1.227
Neon	Ne	20.183	0.4120	0.814	1.03	0.618	1.667
Nitric oxide	NO	30.006	0.2771	1.21	0.993	0.716	1.387
Nitrogen	N ₂	28.013	0.2968	1.13	1.042	0.745	1.400
Nitrous oxide	N ₂ O	44.013	0.1889	1.775	0.879	0.690	1.274
<i>n</i> -Octane	C ₈ H ₁₈	114.23	0.07279	0.092	1.711	1.638	1.044
Oxygen	O ₂	31.999	0.2598	1.292	0.922	0.662	1.393
Propane	C ₃ H ₈	44.094	0.1886	1.808	1.679	1.490	1.126
R-12	CCl ₂ F ₂	120.914	0.06876	4.98	0.616	0.547	1.126
R-22	CHClF ₂	86.469	0.09616	3.54	0.658	0.562	1.171
R-32	CF ₂ H ₂	52.024	0.1598	2.125	0.822	0.662	1.242
R-125	CHF ₂ CF ₃	120.022	0.06927	4.918	0.791	0.722	1.097
R-134a	CF ₃ CH ₂ F	102.03	0.08149	4.20	0.852	0.771	1.106
R-410a	—	72.585	0.11455	2.967	0.809	0.694	1.165
Sulfur dioxide	SO ₂	64.059	0.1298	2.618	0.624	0.494	1.263
Sulfur trioxide	SO ₃	80.053	0.10386	3.272	0.635	0.531	1.196

*Or saturation pressure if it is less than 100 kPa.

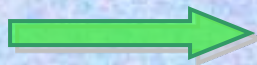
24 $\frac{Kj}{Kmol}$

Quiz: مخزني به حجم 1 m^3 داراي 20 Kg گاز ايده آل به وزن مولكولي در دماي 25°C است. فشار را بدست آوريد.

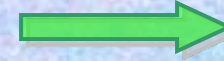


$$T=273+25^\circ\text{C}=298^\circ\text{K}$$

$$PV=mRT$$



$$P \times 1 = 20 \times 298 \times \frac{8.3144}{24}$$



$$P=2064.74 \text{ KPa}$$

2.9 THE COMPRESSIBILITY FACTOR

A more quantitative study of the question of the ideal gas approximation can be conducted by introducing the **compressibility factor** Z , defined as

$$Z = \frac{Pv}{RT}$$

or

$$Pv = ZRT \quad (2.12)$$

Note that for an ideal gas $Z = 1$, and the deviation of Z from unity is a measure of the deviation of the actual relation from the ideal gas equation of state.

Figure 2.20 shows a skeleton compressibility chart for nitrogen. From this chart we make three observations. The first is that at all temperatures $Z \rightarrow 1$ as $P \rightarrow 0$. That is,

as the pressure approaches zero, the P - v - T behavior closely approaches that predicted by the ideal gas equation of state. Second, at temperatures of 300 K and above (that is, room temperature and above), the compressibility factor is near unity up to a pressure of about 10 MPa. This means that the ideal gas equation of state can be used for nitrogen (and, as it happens, air) over this range with considerable accuracy.

Third, at lower temperatures or at very high pressures, the compressibility factor deviates significantly from the ideal gas value. Moderate-density forces of attraction tend to pull molecules together, resulting in a value of $Z < 1$, whereas very-high-density forces of repulsion tend to have the opposite effect.

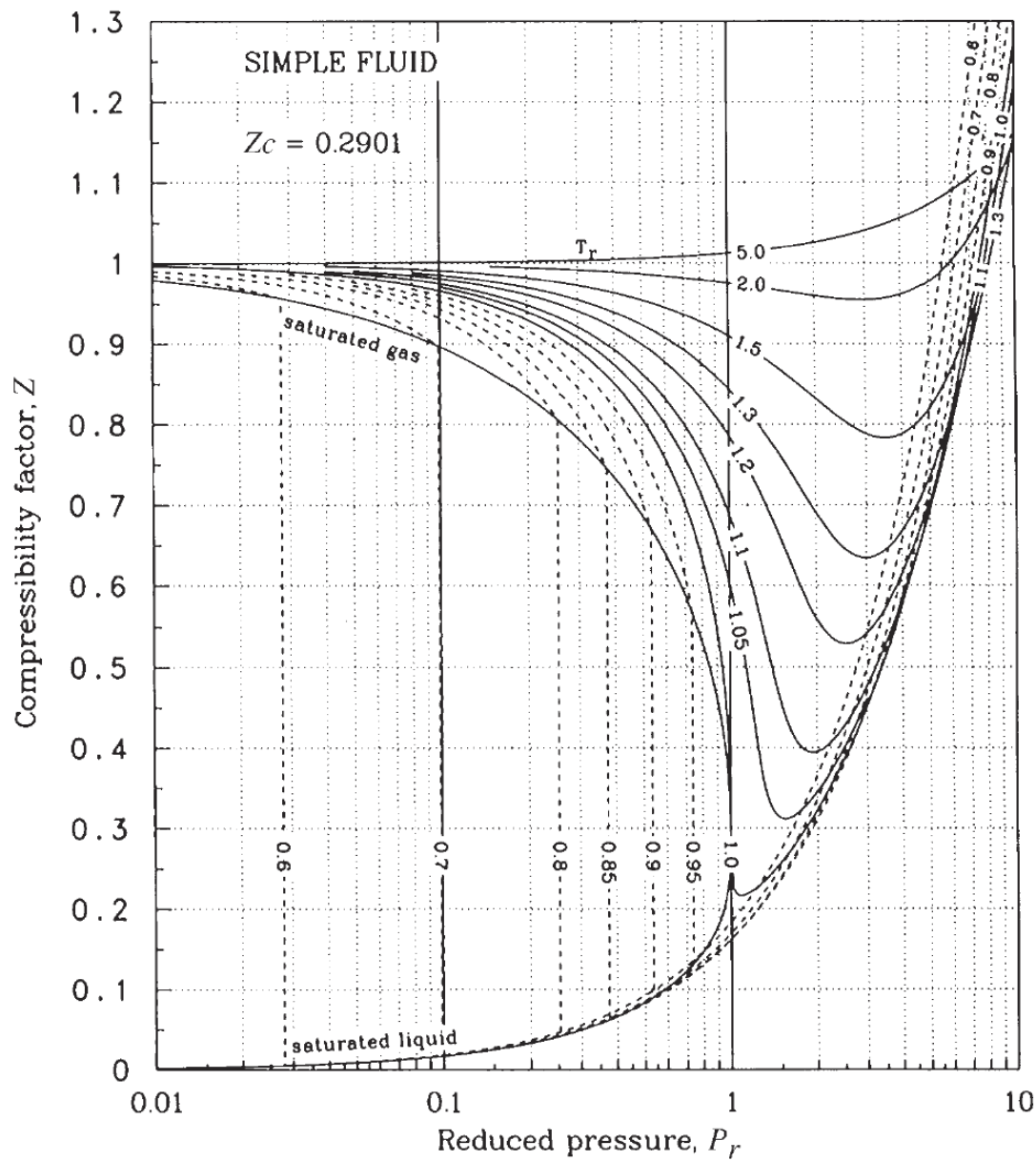


FIGURE D.1 Lee-Kesler simple fluid compressibility factor.

reduced pressure = $P_r = \frac{P}{P_c}$, $P_c =$ critical pressure

reduced temperature = $T_r = \frac{T}{T_c}$, $T_c =$ critical temperature (2.13)

Example 2.9

Is it reasonable to assume ideal gas behavior at each of the given states?

- a. Nitrogen at 20°C, 1.0 MPa
- b. Carbon dioxide at 20°C, 1.0 MPa
- c. Ammonia at 20°C, 1.0 MPa

Solution

In each case, it is first necessary to check phase boundary and critical state data.

- a. For nitrogen, the critical properties are, from Table A.2, 126.2 K, 3.39 MPa. Since the given temperature, 293.2 K, is more than twice T_c and the reduced pressure is less than 0.3, ideal gas behavior is a very good assumption.
- b. For carbon dioxide, the critical properties are 304.1 K, 7.38 MPa. Therefore, the reduced properties are 0.96 and 0.136. From Fig. D.1, carbon dioxide is a gas (although $T < T_c$) with a Z of about 0.95, so the ideal gas model is accurate to within about 5% in this case.
- c. The ammonia tables, Table B.2, give the most accurate information. From Table B.2.1 at 20°C, $P_g = 858$ kPa. Since the given pressure of 1 MPa is greater than P_g , this state is a compressed liquid, not a gas.

Example 2.10

Determine the specific volume for R-134a at 100°C, 3.0 MPa for the following models:

- a. The R-134a tables, Table B.5
- b. Ideal gas
- c. The generalized chart, Fig. D.1

Solution

a. From Table B.5.2 at 100°C, 3 MPa

$$v = 0.006\ 65\ \text{m}^3/\text{kg}\ (\text{most accurate value})$$

b. Assuming ideal gas, we have

$$R = \frac{\bar{R}}{M} = \frac{8.3145}{102.03} = 0.081\ 49\ \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$v = \frac{RT}{P} = \frac{0.081\ 49 \times 373.2}{3000} = 0.010\ 14\ \text{m}^3/\text{kg}$$

which is more than 50% too large.

c. Using the generalized chart, Fig. D.1, we obtain

$$T_r = \frac{373.2}{374.2} = 1.0, \quad P_r = \frac{3}{4.06} = 0.74, \quad Z = 0.67$$

$$v = Z \times \frac{RT}{P} = 0.67 \times 0.010\ 14 = 0.006\ 79\ \text{m}^3/\text{kg}$$

which is only 2% too large.

Example 2.11

Propane in a steel bottle of volume 0.1 m³ has a quality of 10% at a temperature of 15°C. Use the generalized compressibility chart to estimate the total propane mass and to find the pressure.

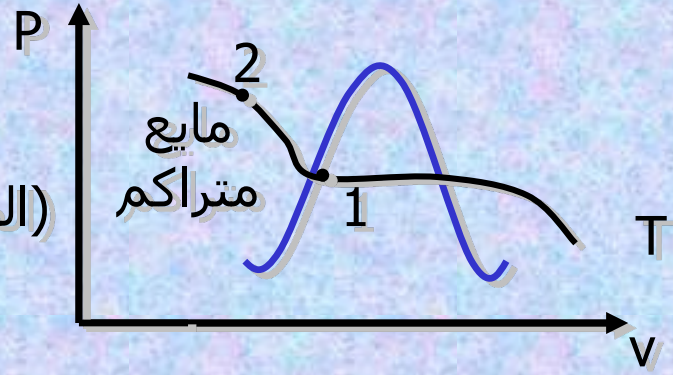
Quiz: برروي يك پيستون بوسيله چند سكه پوشيده شده است. با توجه به اينكه ديواره سيلندر هادي حرارت است و حالت ابتدائي سيستم مايع اشباع مي باشد:



(الف) اگر يك سكه به آن اضافه شود حالت تعادل نهايي چيست؟
(ب) اگر يك سكه از روي پيستون برداريم حالت تعادل نهايي چيست؟

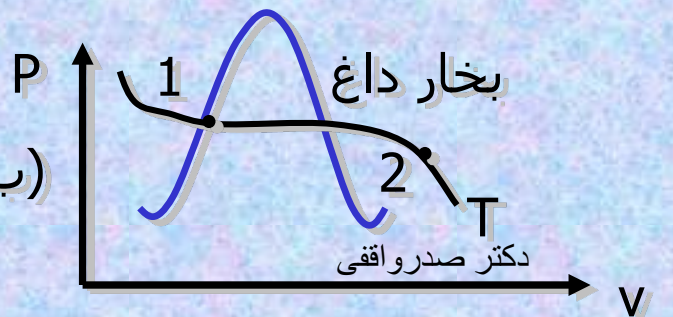
دما \rightleftharpoons دماي محيط \longrightarrow ديواره سيلندر هادي حرارت

(الف) اگر سكه اضافه شود



P افزايش مي يابد
 پس حالت انتهايي
 مايع متراكم است.

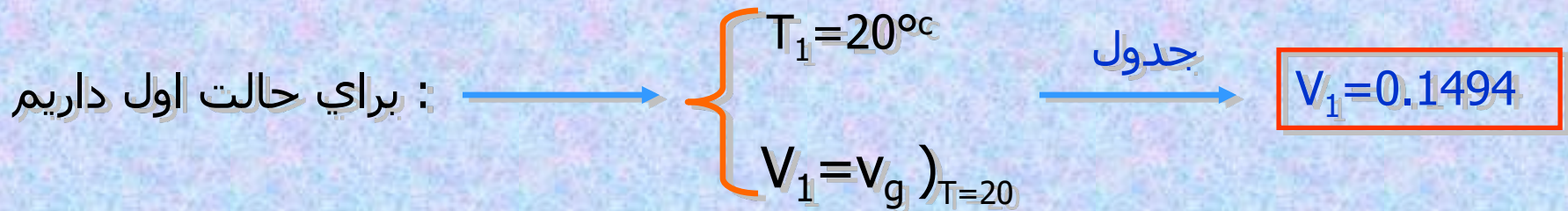
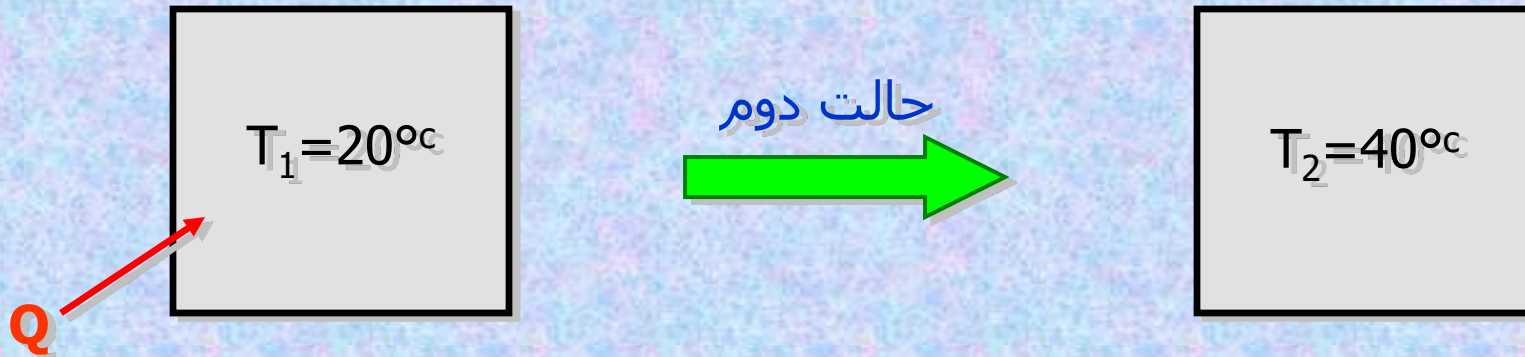
(ب) اگر سكه كم شود



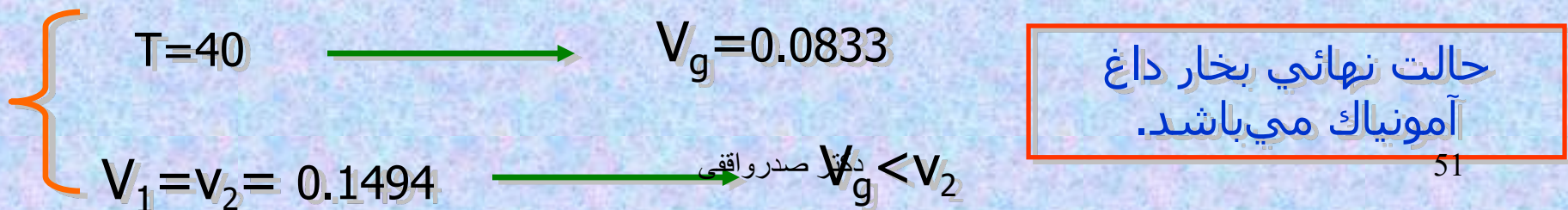
P کاهش مي يابد
 پس حالت انتهايي
 بخار داغ است.

دکتر صدرواقفی

Quiz: به بخار اشباع آمونیاك در دماي 20°C درون يك مخزن صلب حرارت داده مي شود تا دماي آن به 40°C برسد. فشار پاياني چقدر است؟



★ براي تشخيص حالت نهائي سيستم با استفاده از جدول اشباع آمونیاك داريم:



★ به جدول بخار داغ آمونیاك مراجعه مي كنيم تا براي دماي 40 درجه و حجم ویژه $v=0.1494$ فشار را بدست آوريم.

از جدول $\longrightarrow T=40, v=0.1494, p=?$

★ حجم ویژه مورد نظر ما در جدول ترموديناميك نيست پس از فرمول درون يابي استفاده مي كنيم:

	p	v
1	900	0.1559
	?	0.1494
2	1000	0.1388

$$P - P_1 = \frac{P_2 - P_1}{v_2 - v_1} (v - v_1)$$

$$P=938.01$$

تمرین: در ظرفی به حجم 0.4 m^3 , 2 Kg آب مایع و بخار آب در فشار 600 Kpas در حالت تعادل هستند. جرم مایع و جرم بخار را بدست آورید.

$$v = \frac{V}{m} = \frac{0.4}{2} = 0.2 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{Kg}}$$

$P=600 \text{ Kpas}$
جدول اشباع \rightarrow $v_f=0.001101$, $v_g=0.3157$

$$v = v_f + v_{fg} \rightarrow 0.2 = 0.001101 + x(0.3157 - 0.001101) \rightarrow x = 0.6322$$

$$x = \frac{m_g}{m_g + m_f} \rightarrow 0.6322 = \frac{m_g}{2} \rightarrow m_g = 1.2644$$

$$m_f + m_g = 2 \rightarrow m_f = 0.7355$$