

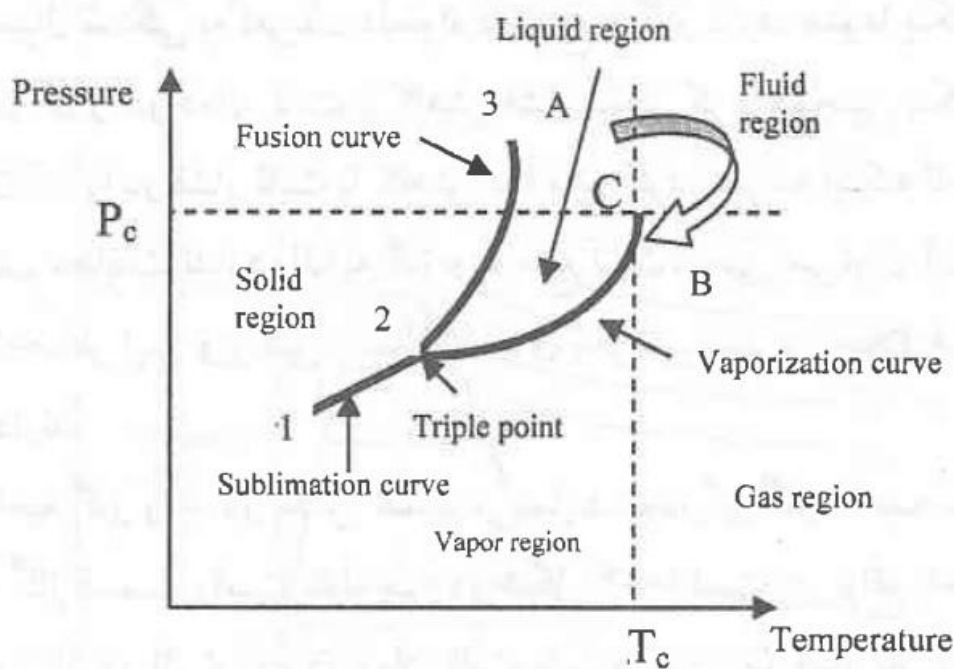
مقدار فاز یا رفتار $P-v-T$ مواد خالص

دسترسی به انرژی داخلی، آنتالپی و ... برای محاسبه کار و دما مورد نیاز در فرآیندهای مهندسی

این خواص تابعی از دما، فشار و حجم هستند

برای رفتار $P-v-T$ - حجم رفتاری - دمای سبک - خاص در تعیین اندازه دستگاه (مثل دیگ)، خطوط لوله و ...
خواص فاز نیز مفید است.

رفتار $P-v-T$ مواد - مقدار یا دیاگرام فاز



شکل ۱-۳: دیاگرام فاز PT برای یک ماده خالص

هر ماده خالص می‌تواند در سه شکل با فاز وجود داشته باشد، همچنین می‌تواند در چند حالت باشد

مناظر باشد و دمای آن

sublimation curve - یا منحنی تصفید، جداکننده ناحیه جامد و گاز، نقاط در نقطه: تعادل جامد-گاز

Fusion curve - یا منحنی ذوب، ... جامد و مایع، ... تعادل جامد و مایع

vaporization curve - یا منحنی تبخیر، ... مایع و گاز، ... تعادل مایع و گاز

Triple point - یا نقطه سه گانه، برای آب 0.01°C و 0.611 kPa

critical point - یا نقطه بحرانی، مشخصات فو بحرانی و دمای بحرانی

Fluid Region - یا ناحیه سیال، ناحیه مایع-گاز؛ ناحیه بدون تغییر فاز

supercritical - یا فوق بحرانی و اهمیت آن

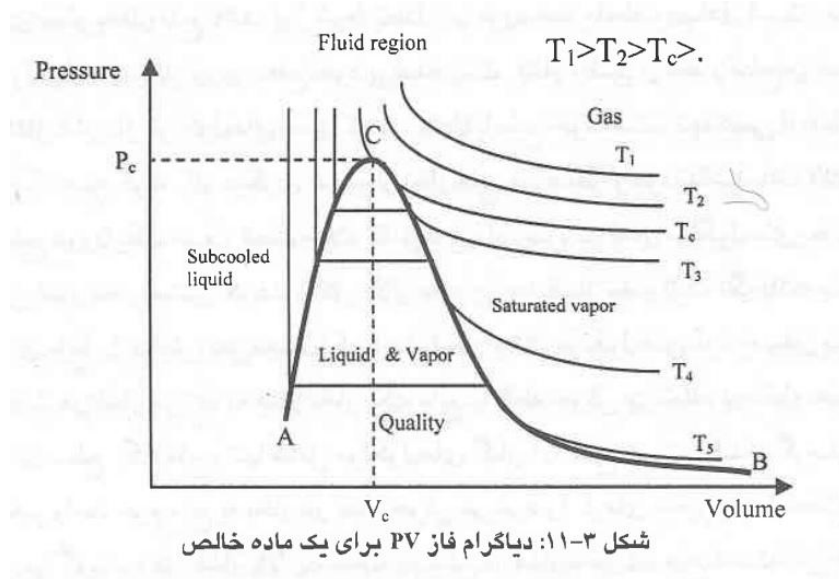
دما و فشار بحرانی برخی از سیالیت

سیال	دما ($^{\circ}\text{C}$)	فشار (bar)
آب	۳۷۴	۲۲.۰۵
اکسژن	-۱۱۹	۵۰.۱۵
هیدروژن	-۲۴۰	۱۲
دی‌اکسید کربن	۳۱	۷۳.۱۸

: Gas Region, Vapor Region

ناحیه بخار به گاز اطلاق می‌شود که بتوان در اثر تراکم در دمای ثابت یا سه در دمای دوش ثابت مایع شود

معدله فاز Pv : تغییرات حجم مطلق حجم محفص درت مختلف (های ثابت)



درت اشباع و درت یک که مایع خالص به بخار تبدیل می‌شود. دمای 100°C ، 101.328 kPa است.
از نقاط دما و درت اشباع آب است.

saturated liquid = مایع اشباع : حالت کاملاً مایع - منحنی AC

subcooled liquid = مایع زیر سرد ، مادی سردتر از مایع اشباع ، درت اشباع درجه حرارت مایع به
پایین تر از دمای اشباع می‌رسد

saturated vapor = بخار اشباع ، بعد از حالت بخار ، منحنی CB

superheated steam : بخار فوق گرم یا سوپر هیت ، درت اشباع دمای بخار به بالاتر از دمای اشباع
رسیده می‌شود.

degree of superheat = درجه داغی یا سوپر هیت : تفاوت دمای بخار داغ و بخار اشباع درت یک

درخششی یا کیفیت بخار (steam quality)
 در ناصیه درماری قسمتی از ماده مکنخ است مایع اشباع و بخشی بخار اشباع باشد، کیفیت بخار
 نشان دهنده درصد مایک جرمی فاز بخار در مخلوط درماری است:

$$m_t = m_f + m_g$$

$$x = \frac{m_g}{m_t}$$

$$m_g = x \cdot m_t$$

$$m_f = (1-x) m_t$$

x : کیفیت بخار

m_t : جرم بخار مرطوب

m_f : جرم مایع اشباع

m_g : جرم بخار اشباع

$x=0$ ← همه ماده لغیرت مایع اشباع

$x=1$ ← همه ماده بخار اشباع

$0 < x < 1$ ← مثلاً $x=0.9$ $\left\{ \begin{array}{l} 90\% \text{ بخار خشک} \\ 10\% \text{ مایع اشباع} \end{array} \right.$ ← درخششی بخار = 90%

جدول بخار آب اشباع و بخار آب سوبرهیت

نمایش صفحهای همچون حجم مخصوص (v)، آنتالپی (H) و آنترپی (S) مایع اشباع (f) و بخار اشباع (g) بر مبنای تابعی از دما، فشار، مطلق.

$$\lambda = H_{fg} = H_g - H_f = \text{گرمای نهان تبخیر}$$

- حجم محفوض: حجمی که یک پوند یا یک کیلوگرم آب بخار تحت شرایط معینی بر حسب f^3 یا m^3 اشغال می کند، عکس برشته
- آنتالپی: مقدار گرمی را در حجم بخار یا آب درشت، در دمای اشباع مربوط (محدودای حرارتی)

- خواص بخار با کفیت کم از ۱٪

$$V = (1-x) V_f + x V_g = V_f + x(V_g - V_f) = V_f + x V_{fg}$$

$$H = (1-x) H_f + x H_g = H_f + x(H_g - H_f) = H_f + x H_{fg}$$

$$S = (1-x) S_f + x S_g = S_f + x(S_g - S_f) = S_f + x S_{fg}$$

$$E = (1-x) E_f + x E_g = E_f + x(E_g - E_f) = E_f + x E_{fg}$$

x : کفیت بخار (%)

f : fluid مایع

V : حجم محفوض ($\frac{m^3}{kg}$)

g : gas بخار

H : آنتالپی ($\frac{KJ}{kg}$)

fg : تفاوت خاصیت مایع بخار

E : انرژی داخلی محفوض ($\frac{KJ}{kg}$)

گرمای نهان تبخیر $H_{fg} = \lambda = H_g - H_f$

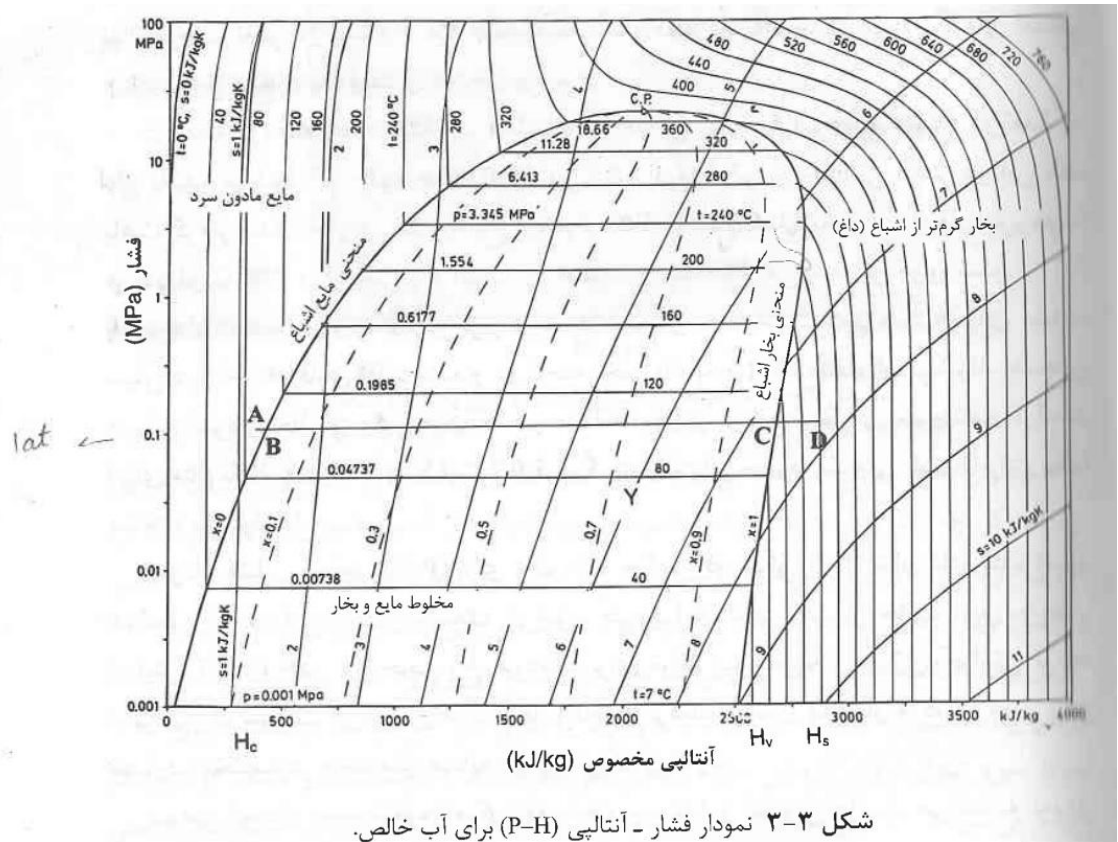
S : آنتروپی ($\frac{KJ}{kg \cdot K}$)

H_g : آنتالپی بخار اشباع

H_f : آنتالپی مایع اشباع

ترمودینامیک تفسیر فاز

نمودار P-H برای تغییر فاز آب و تبدیل آب از حالت مایع به بخار



شکل ۳-۳ نمودار فشار - آنثالپی (P-H) برای آب خالص.

بنابر این، در دما و آنثالپی برای آب در حالت اشباع

- همگی اینها در یک خط عمودی در منطقه مایع مادن سرد، انقی در منطقه دما و دمای سب دار در منطقه بخار داغ

- نمایش خطوط هم کیفیت در منطقه دما و دمای

ت. اینها در دما و دمای سب دار در منطقه دما و دمای سب دار در منطقه بخار داغ

نقطه A: آب در دمای ۸۰°C و فشار ۰.۱ MPa، آنثالپی ۳۰۰ kJ/kg، حالت مایع مادن سرد

نقطه B: دمای ۱۰۰°C، مایع اشباع، آنثالپی مایع اشباع (H_f) ۴۰۰ kJ/kg

نمودار مایع در این نقطه از تغییر فاز در دما و دمای سب دار، ثابت بودن دما و دمای سب دار، تبدیل مایع به بخار

نقطه C: نقطه بخارشدن در دمای 100°C ، آنتالپی بخارشدن (H_g) (2650.4 kJ/kg) ، حرارت تبخیر (kJ/kg) گرم شدن بیشتر

نقطه D: بخار داغ در دمای 20°C و آنتالپی (H_g) عدد (2850.4 kJ/kg)

مثال: فرض کنید هیچ گونه گاز معدوم در محصول به سبزی شده درون یک قوطی وجود ندارد و کمترین فضای خالی بالای قوطی تنها از هوا و بخار آب تشکیل شده باشد. اگر محصول در دمای 80°C و تحت اتمسفری برابر 758 mmHg به سبزی شود، حلال به چه درجه آمده درون قوطی را پس از سرد کردن آن تا دمای 20°C بر حسب mmHg بدست آورید. تحت بخار آب در دمای 80°C و 20°C به ترتیب 47360.1 و 2336.6 Pa در نظر گرفته شود

حل: با کاهش دما بخش عمده ای از بخار آب طی سرد کردن کنش می شود اما مقدار هوا در اتمسفر فضا خالی قوطی ثابت است.

$$n_a \text{ at } 80^{\circ}\text{C} = n_a \text{ at } 20^{\circ}\text{C}$$

$$P_a = P_t - P_{\text{vapor}}$$

$$P_t \text{ در } 80^{\circ}\text{C} = 758 \text{ mmHg} \left(\frac{1 \text{ cmHg}}{10 \text{ mmHg}} \right) \left(\frac{1333.3 \text{ Pa}}{1 \text{ cmHg}} \right) = 101064 \text{ Pa}$$

$$P_a \text{ در } 80^{\circ}\text{C} = P_t - P_v = 101064 - 47360.1 = 53703.9 \text{ Pa}$$

$$\text{در } 80^{\circ}\text{C}, P_a v = n_a R T \rightarrow n_a = \frac{P_a v}{R T} = \frac{53703.9 v}{8314 (80 + 273)} = 0.018296 v \quad (\text{kgmole})$$

$$\text{در } 20^{\circ}\text{C}, n_a = \frac{P_a v}{R T} = \frac{(P_t - 2336.6) v}{8314 (20 + 273)} = 4.1014 \times 10^{-7} v (P_t - 2336.6) \quad (\text{kgmole})$$

$$n_a \text{ at } 80^\circ\text{C} = n_a \text{ at } 20^\circ\text{C}$$

$$0.018296 \text{ V} = 4.1014 \times 10^{-7} (P_t - 2336.6) \text{ V}$$

$$P_t = 42232.49 \text{ Pa} = 316.74 \text{ mm Hg} \quad \text{ت، abs}$$

$$P_{vac} = P_{atm} - P_{abs} = 758 - 316.74 = 441.25 \text{ mm Hg} \quad \text{ت، vac}$$

مثال: یک مترمکعب هوا در ۵ atm و بخار آب در دمای ۵۰°C اشباع می‌شود. اگر فشار هوا طی فرآیند ایزو ترمال ۱ atm و دمای آن تا ۲۰°C کاهش یابد، مقدار بخار آبی که به ازاء واحد حجم (m³) هوای پرفشار در ۵۰°C کنده‌اش می‌شود را می‌توانیم بیابیم. در محاسبه بخار آب در ۵۰ و ۲۰°C به ترتیب برابر ۱۲,۳۳۵۴ و ۲,۳۳۴۲ kPa است. فرض کنید که در دمای ۲۰°C آب کنده‌اش نمی‌شود.

حل: تعداد مول‌های هوا طی فرآیند کاهش فشار و سرد کردن یک واحد خواهد بود. می‌توانیم به مول‌های آب در دمای ۵۰ و ۲۰°C.

$$\text{at } 50^\circ\text{C} \rightarrow n_{a_1} = \frac{P_{a_1} V_1}{RT_1} = \frac{(P_t - P_{w_1}) V_1}{RT_1} = \frac{(5 \times 101325 - 12335.4) \times 1}{8314(50 + 273)} = 0.1840 \text{ Kgmol}$$

$$\text{at } 20^\circ\text{C} \rightarrow n_{a_2} = \frac{P_{a_2} V_2}{RT_2} = \frac{(P_t - P_w) V_2}{RT_2} = \frac{(101325 - 2336.6) V_2}{8314(20 + 273)} = 0.04063 V_2 \text{ Kgmol}$$

$$n_{a_1} = n_{a_2} \rightarrow 0.1840 = 0.04063 V_2 \rightarrow V_2 = 4.529 \text{ m}^3$$

حجم مول آب در دما ۵۰ °C

$$\text{at } 50^{\circ}\text{C} \rightarrow n_{w_1} = \frac{P_{w_1} V_1}{RT_1} = \frac{12335.4 \times 1}{8314 \times 323} = 0.004593 \text{ Kg/mol}$$

$$\text{at } 20^{\circ}\text{C} \rightarrow n_{w_2} = \frac{P_{w_2} V_2}{RT_2} = \frac{2336.6 \times 4.529}{8314 \times 293} = 0.004344 \text{ Kg/mol}$$

$$n_{wc} = n_{w_1} - n_{w_2} = 0.000249 \text{ Kg/mol}$$

مول آب کنده شده

$$n = \frac{m}{M} \rightarrow m = n \times M = 0.000249 \times 18 = 0.004482 \text{ Kg}$$

جرم آب کنده شده

مثال: آنتالپی مخلوط بخار اشباع - مایع اشباع با کیفیت ۱۰٪ را در دما ۲۵۰°F می بینید.

بر اساس جدول بخار اشباع در دمای ۲۵۰°F

$$h_g = 1164.1 \text{ BTU/lbm} , h_f = 218.59 \text{ BTU/lbm}$$

$$H = x h_g + (1-x) h_f$$

$$H = 0.8 \times 1164.1 + (0.2) \times 218.59 = 979.9998 \text{ BTU/lbm}$$

مثال: حجم و آنتالپی بخار اشباع را در دمای ۱۴۰°C و کیفیت ۱۰٪ تعیین کنید؟

$$\text{بر اساس جدول بخار اشباع در دمای } 140^{\circ}\text{C} , h_g = 2706.3 \text{ KJ/kg} , h_f = 563.7 \text{ KJ/kg}$$

$$v_g = 0.8919 \text{ m}^3/\text{kg} , v_f = 0.0010603 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V = (1-x) V_f + x V_g = 0.2 (0.0010603) + 0.8 (0.8919) = 0.7137 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$H = (1-x) H_f + x H_g = 0.2 (503.7) + 0.8 (2706.3) = 2265.78 \text{ kJ/kg}$$

مثال: اگر آب در دما 80°F به جوش آید،

الف - مقدار برج آب چقدر خواهد بود؟ (اگر اتمسفری = 30 in Hg)

ب - ف، مطلق برج آب یا مکال چقدر است؟

حل: با توجه به جدول بخار اشباع، ف مطلق در نقطه جوش (80°F) برابر 1010.6 Pa است.

$$P_{abs} = 0.50683 \text{ lb/in}^2 \left(\frac{2.35 \text{ in Hg}}{1 \text{ lb/in}^2} \right) = 1.03 \text{ in Hg absolute}$$

$$\text{Vacuum} = P_{atm} - P_{abs} = 30 \text{ in Hg} - 1.03 \text{ in Hg} = 29.97 \text{ in Hg}$$

مقدار خلاء

$$P_{abs} = 0.50683 \text{ in Hg} \left(\frac{6894.757 \text{ Pa}}{1 \text{ lb/in}^2} \right) = 3494 \text{ Pa}$$

مقدار ف مطلق

روش دوم استفاده از جدول بخار برای سیستم SI است که ابتدا باید دمای 80°F به $^\circ\text{C}$ تبدیل شود و از آنجا از دمای جدول ف، برج آب Pa به دست آید. اگر آن را مستقیماً وجود نداشته باشد باید از روش درون یابی استفاده کرد.

مثال: یک ماده مخداری در یک اداپراتور تحت خمد نفذیه مرشد. چنیمه ف، اداپراتور 0.51 atm باشد، نقطه جوش ماده مخداری را در اداپراتور تعیین کنید.

حل: ابتدا تبدیل دلهه بالنه به حداری بخار

$$0.51 \text{ atm} \times \frac{101.25 \text{ kPa}}{1 \text{ atm}} = 5.66 \text{ kPa}$$

$T(^{\circ}\text{C})$	$P (\text{kPa})$
80	41.39
$T=?$	51.66
85	57.83

استفاده از رشت درونی برای یافتن نقطه مجهول چون در جدول بخار درج نشده

$$\frac{T - T_1}{T_2 - T_1} = \frac{P - P_1}{P_2 - P_1}$$

نقطه مجهول بین دو نقطه معلوم قرار گرفته، فرض مرشد خطی از آن عبور می‌نمایم.

$$\frac{T - 80}{85 - 80} = \frac{51.66 - 47.39}{57.83 - 47.39} = 0.409$$

$$T = 80^{\circ}\text{C} + 0.409(85 - 80)^{\circ}\text{C} = 82.04^{\circ}\text{C}$$