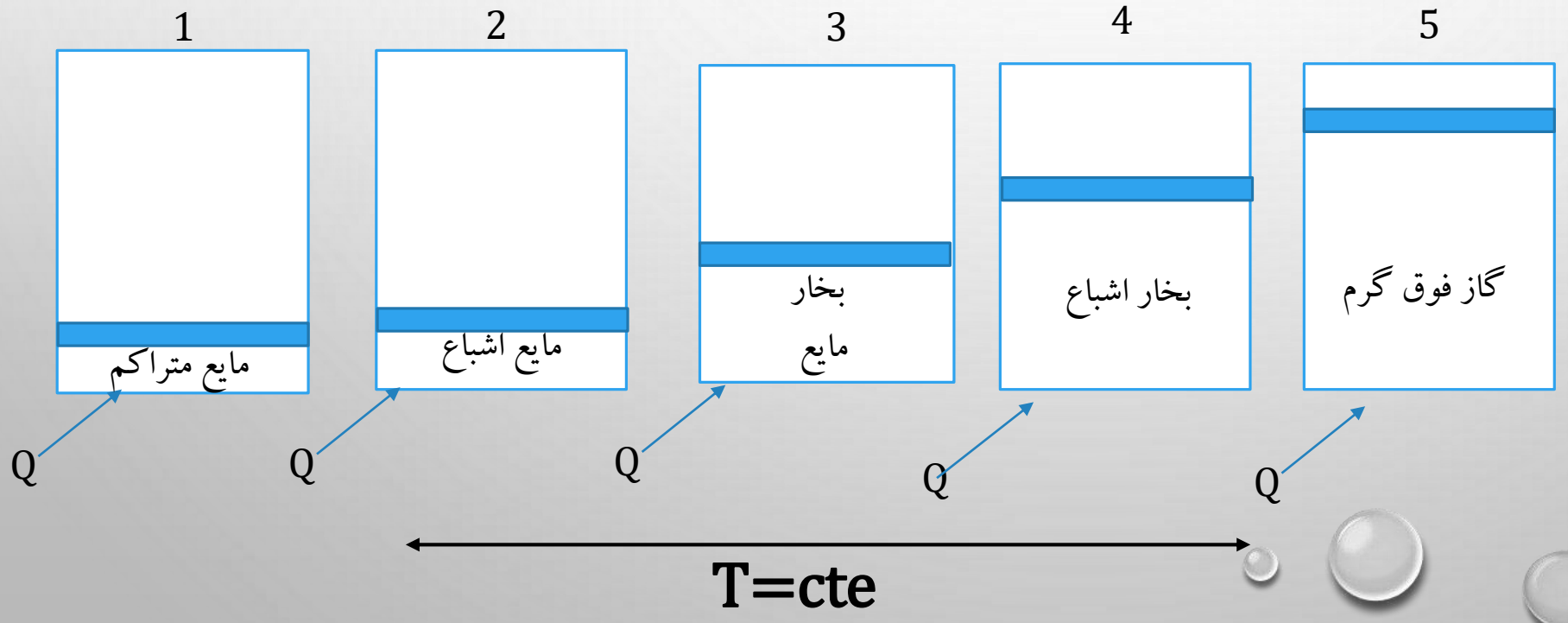
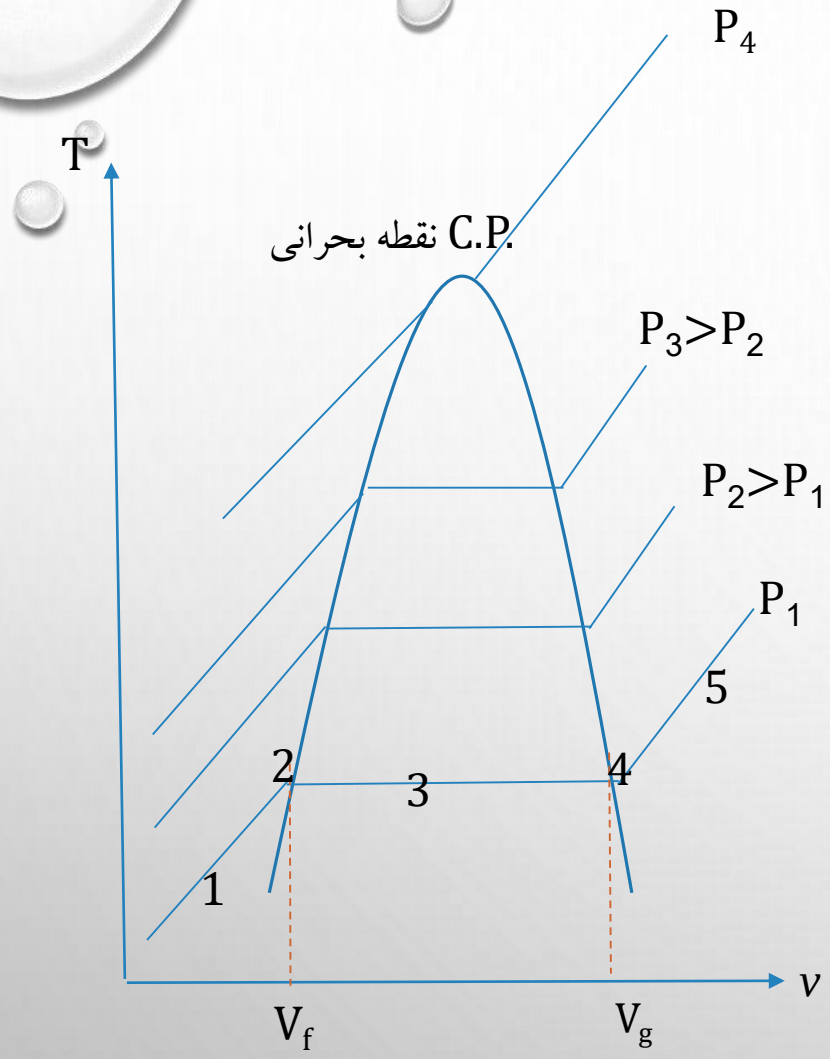
فصل سوم:تعادل فاز های جامد، مایع وگاز برای مواد خالص

سیلندر وپیستون شکل زیر را در نظر بگیرید.

فشار تنها ناشی از وزن پیستون و اتمسفر است.





- در یک فشار مشخص دمایی که در آن تبخیر انجام میشود را دمای اشباع میگویند .فشار مربوط به این دما را فشار اشباع می نامند.

- اگر در دما و فشار اشباع حالت ماده ای به صورت مایع باشد به ان مایع اشباع گویند. در صورتی که دمای مایع در این فشار کمتر از دمای اشباع باشد ان را مایع متراکم گویند. (آزمایش ۱)

- ناحیه ۲ تا ۴ ناحیه اشباع دو فازی است یعنی دارای دما و فشار اشباع است در این ناحیه که مخلوط مایع و بخار را داریم کیفیت را به صورت نسبت جرم بخار به جرم کل تعریف میکنیم: (آزمایش ۳)

$$x = \frac{m_v}{m_{tot}} \qquad 0 \le x \le 1$$

- اگر در دما و فشار اشباع ماده به صورت بخار باشد، آن را بخار اشباع گویند. (آزمایش۴) در صوتی که دمای بخار بیش از دمای اشباع باشد، آن را بخار فوق گرم یا سوپرهیت نامند. (آزمایش ۵)
- نقطه بحرانی : حالتهای مایع اشباع و بخار اشباع بر هم منطبق است.

برای حالت دوفازی:

کل $\forall = \forall_F + \forall_G$

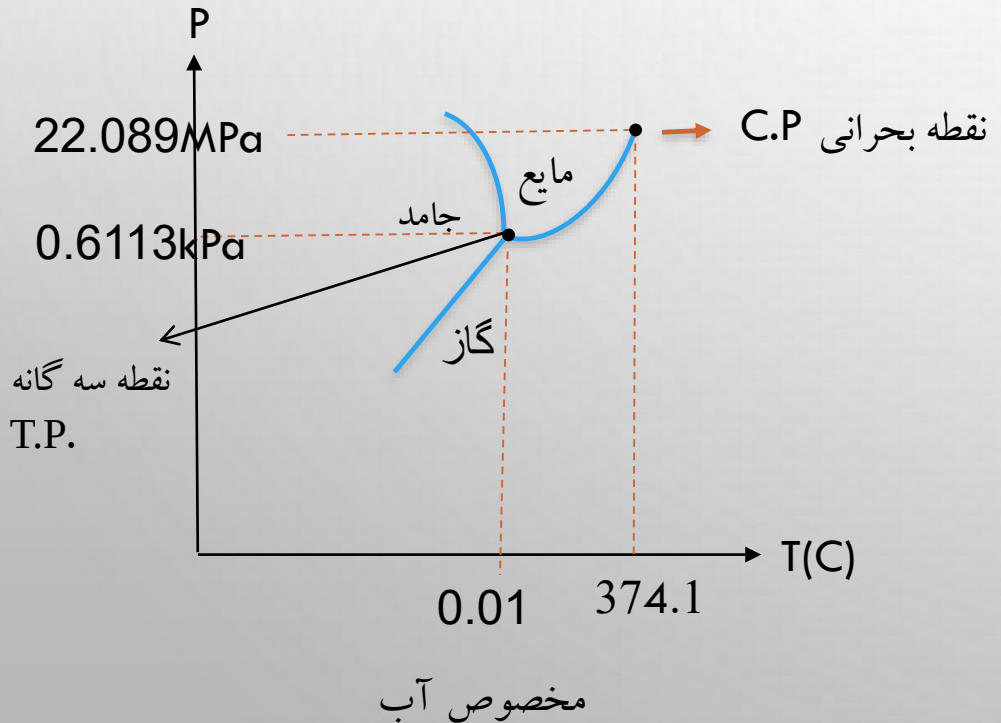
$mv = m_f v_f + m_g v_g$ تقسیم بر m $\longrightarrow$ $v = \frac{m_F}{m} v_f + \frac{m_a}{m} v_g$

$m = m_f + m_g$ تقسیم بر m $\longrightarrow$ $1 = \frac{m_f}{m} + \frac{m_a}{m} \longrightarrow \frac{m_f}{m} = 1 - x$

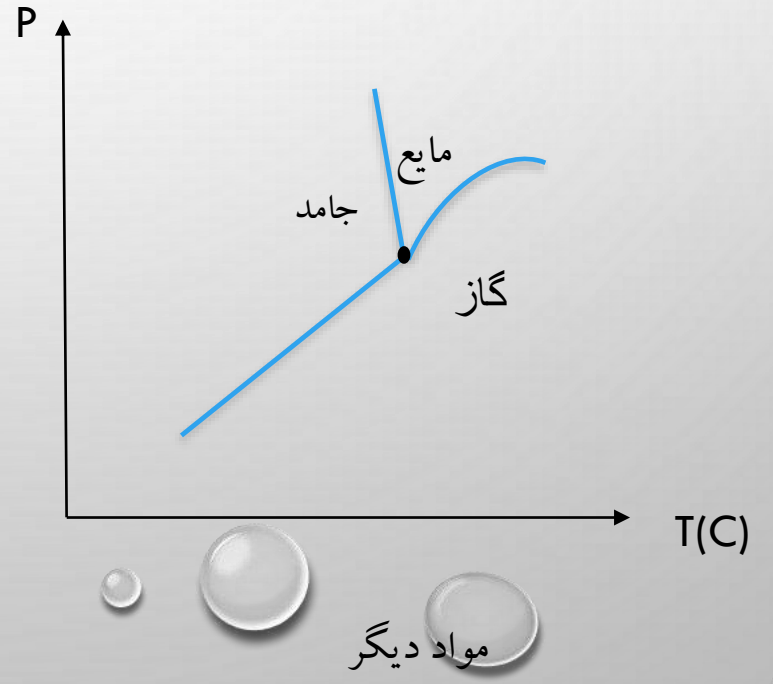
تعریف $v_{fg} = v_g - v_f$

$v = v_f + x v_{fg}$

$v = v_g - (1-x) v_{fg}$



مخصوص آب



مواد دیگر

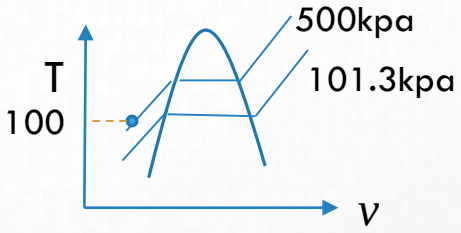
مثال:با استفاده از جدول فاز مواد زیر را تعیین کنید .(جدول B)

الف) اب در 100°c و فشار 500kpa

نکته ۱. برای تعیین هر خاصیت ترمودینامیکی در ابتدا لازم است تعیین فاز شود.

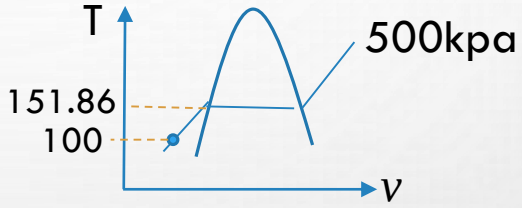
نکته۲. برای تعیین فاز هر سیال در ابتدا از جداول اشباع استفاده می کنیم.

B.1.1 ⟶ T=100°c ⟶ P_{sat} = 101.3 kpa



روش اول) مایع متراکم ⟶

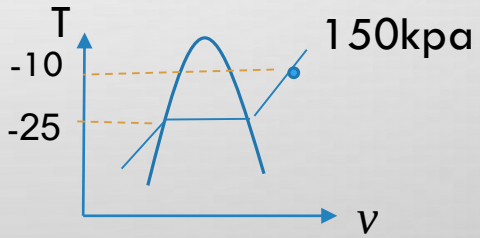
B.1.2 ⟶ P=500kpa ⟶ T_{sat} =151.86°c



روش دوم) مایع متراکم ⟶

ب)آمونیاک ۱۰- درجه و ۱۵۰کیلو پاسکال

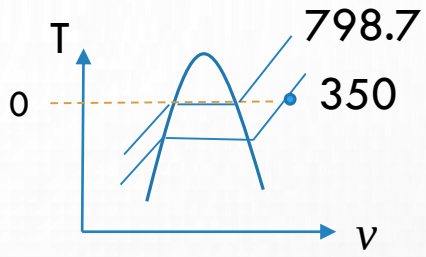
B.2.1 ⟶ P = 150 kpa ⟶ T_{sat} =-25°c



⟶ فوق گرم

ج) R-410 در $0\,^{\circ}C$ و در فشار 350KPa

B.4.1 ⟶ @T=0°c ⟶ P_{sat} = 798.7 kpa



⟶ فوق گرم

مثال: برای هریک از حالت های داده شده برای اب فاز و کلیه خواص داده نشده را تعیین کنید. (P,T,v,x)

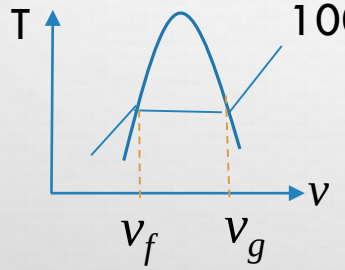
الف) $0.003\ m^3/kg$,10Mpa

B.1.2 ⟶ P_{sat} = 10*1000 kpa=10000 kpa

v_f=0.001452

v_g=0.01803

⟶

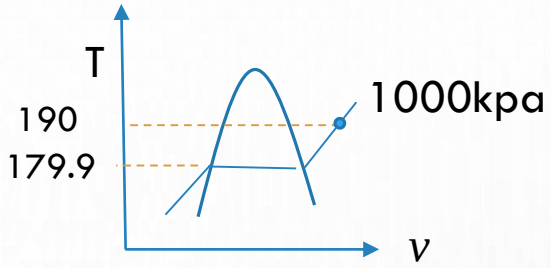


$v_f < v < vg$ ⟶ دوفازی اشباع

دوفازی اشباع ⟶ B.1.2 ⟶ $x = \frac{v - v_f}{v_{fg}}$ ⟶ $x = \frac{0.003 - 0.001452}{0.01657}$ ⟶ $x = 0.09$

⟶ $0 \le x \le 1$

ب) 1Mpa ,190°c



فوق گرم

B.1.2 → P=1000kpa → T_{sat} =179.9°c

B.1.3 →

1000Kpa(179.9)	
T	v
$T_{Sat}(T_1)$	$0.19444(V_1)$
190(T)	V
$200(T_2)$	$0.20596(V_2)$

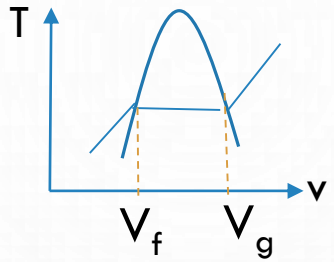
میان یابی → $\frac{T_1 - T_2}{V_1 - V_2} = \frac{T_1 - T}{V_1 - V}$

جایگذاری مقادیر →

$V=0.2001\frac{m^3}{kg}$

ج) 200°c ,0.1 m^3/kg

@ T=200°c → B-1-1 → v_f=0.001156, v_g=0.12736



$v_f < v < v_g$ → دوفازی اشباع

P=P_{sat}=1553.8 kpa

$v=v_f + xv_{fg}$ → $x = \frac{v - v_f}{v_{fg}}$ → $x = \frac{0.1 - 0.001156}{0.12620}$ → $x = 0.78$

$0 \le x \le 1$

نتیجه گیری:

داده ها P,T

@ P → T_{sat} از جدول

T< T_{sat} → مایع متراکم

T= T_{sat} → دوفازی اشباع

T>T_{sat} → فوق گرم

@T → P_{sat} از جدول

P< P_{sat} → فوق گرم

P= P_{sat} → دوفازی اشباع

P>P_{sat} → مایع متراکم

داده ها T,V یا P,V

@ P or T → v_f, v_g از جدول

$v < v_f$ → مایع متراکم

$v_f < v < v_g$ → دوفازی اشباع

$v > v_g$ → فوق گرم

د) 10kpa , 10°c

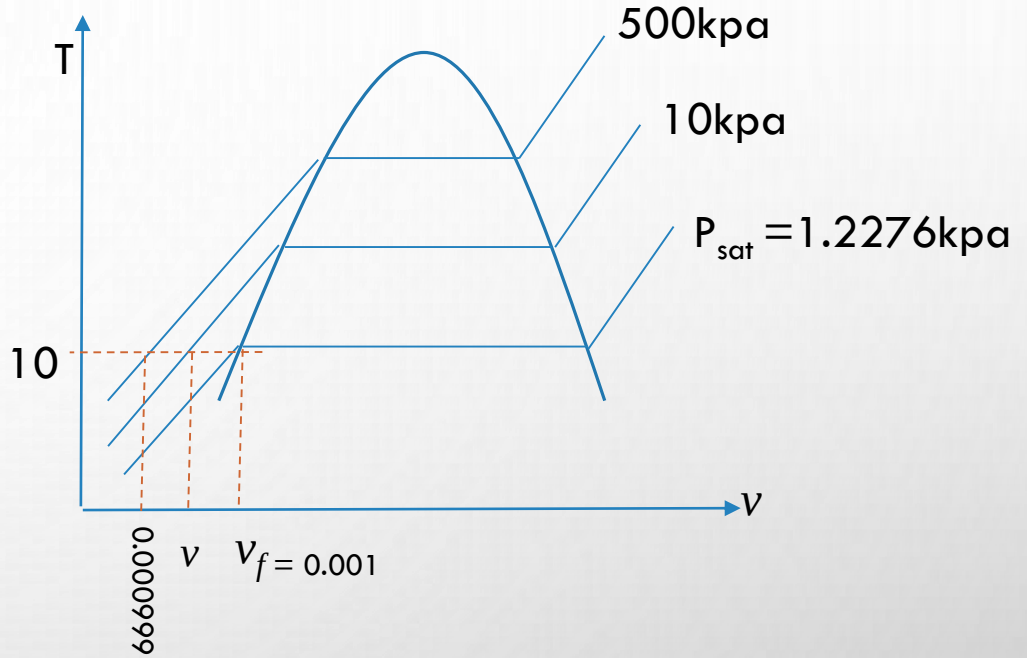
B.1.1 ⟶ @ T=10°c ⟶ P_{sat} = 1.2276 kpa ⟶ $P>P_{sat}$ ⟶ مایع متراکم ⟶ B.1.4

500Kpa	
T	V
0.01	0.000998
10	v
20	0.001000

بعد از میان یابی در دمای ۱۰درجه

⟶ v=0.000999

بدست می آید



میان یابی دوم ⟶

V	P
0.001	1.2276
؟	10
0.000999	500

⟶ $\frac{P_1-P_2}{V_1-V_2}=\frac{P-P_1}{v-V_1}$ ⟶ $\frac{1.22-500}{0.001-0.000999}=\frac{10-1.22}{v-0.001}$

v=0. 001$\frac{m^3}{kg}$

نکته بسیار مهم:

⟵

مایع متراکم ⟶ $v\approx v_f$ @ T در همان دما

مثال: R-134a در -20 °c,150 kpa

@ T=-20°c → B.5.1 → P_{sat} = 133.7 kpa → P>P_{sat} → مایع متراکم

مایع متراکم → $v \approx v_f$ @$_{T\,-20}$ =0.000738

نکته : درحالت مایع متراکم که v را با حجم مخصوص مایع اشباع در همان دما تقریب میزنیم، لازم است برای تعیین v_f از همان جدول دوفازی اشباع استفاده کنیم.

ب) R-134a در 0.072m^3/kg و 300kpa

@P = 300kpa → B.5.1 → V_f , V_g

P	V_f	V_g
294.0	0.000773	0.06919
300	≈0.00078	≈0.06
350.9	0.000783	0.05833

→ V> V_g → فوق گرم → B.5.2

300Kpa	
T	V
10	0.0711
T	0.072
20	0.07441

→ $\frac{T_2 - T_1}{V_2 - V_1} = \frac{T - T_1}{V - V_1}$ → $\frac{20 - 10}{0.07441 - 0.0711} = \frac{T - 10}{0.072 - 0.0711}$

→ $T \approx 13.3°c$

ج) متان در $T=155K,\ v=0.04\ \frac{m^3}{Kg}$

@T=155 K ⟶ B.7.1 ⟶ $P_{sat} = 1295.6\ kpa$

v_f=0.002877

v_g=0.04892

⟶ $v_f < v < v_g$ ⟶ دوفازی اشباع ⟶ $x = \frac{V - v_f}{V_{fg}} = \frac{0.04 - 0.002877}{0.4605} = 0.8$

د) متان $T=350K,\ v=0.25\ \frac{m^3}{Kg}$

B.7.2 با فرض اولیه فوق گرم بودن

V	P
0.1797	1000
0.22510(1)	800(1)
0.30067(2)	600(2)
0.451	400

⟶ $\frac{P_1 - P_2}{V_1 - V_2} = \frac{P_1 - P}{V_1 - V}$

⟶ $\frac{800 - 600}{0.22510 - 0.30067} = \frac{800 - P}{0.22510 - 0.25}$

⟶ P=734.1kpa

معادله حالت

یک معادله ای حالت تابعی است از پارامترهای دما فشار حجم در حالت تعادل.

$$F(P, T, V)=0$$

طبق مشاهدات تجربی برای گاز کامل داریم :

$$P\bar{v}=\bar{R}T \quad ①$$

$\bar{R}$: ثابت جهانی گازها

$\bar{v}$: حجم واحد مول

$$Pv=RT \quad ②$$

در صورتی که معادله بالارابه M یعنی وزن مولکولی تقسیم کنیم معادله حالت بر واحد جرم به دست می آید:

v: حجم واحد جرم

R : ثابت مربوط به گاز خاص

اگرمعادله ① را در n یعنی تعداد مول ضرب کنیم و معادله ② را درm یعنی جرم ضرب کنیم داریم:

$$* \begin{cases} P\bar{V}=n\bar{R}T & ① \\ P\bar{V}=mRT & ② \end{cases} \xrightarrow{m=\,cte} \frac{P_1\forall_1}{T_1}=\frac{P_2\forall_2}{T_2} \longrightarrow \begin{cases} T=cte \longrightarrow P_1\forall_1=P_2\forall_2 \\ \forall=cte \longrightarrow \frac{P_1}{T_1}=\frac{P_2}{T_2} \\ P=cte \longrightarrow \frac{\forall_1}{T_1}=\frac{\forall_2}{T_2} \end{cases}$$

معادلات ① و ②و ✻ برای گاز کامل صادق است. در چگالی خیلی کم تمام گازها و بخارها به رفتار گاز ایده ال نزدیک می شوند ولی در چگالی های بالاتر رفتار آنها از معادله گاز کامل دور می شود.

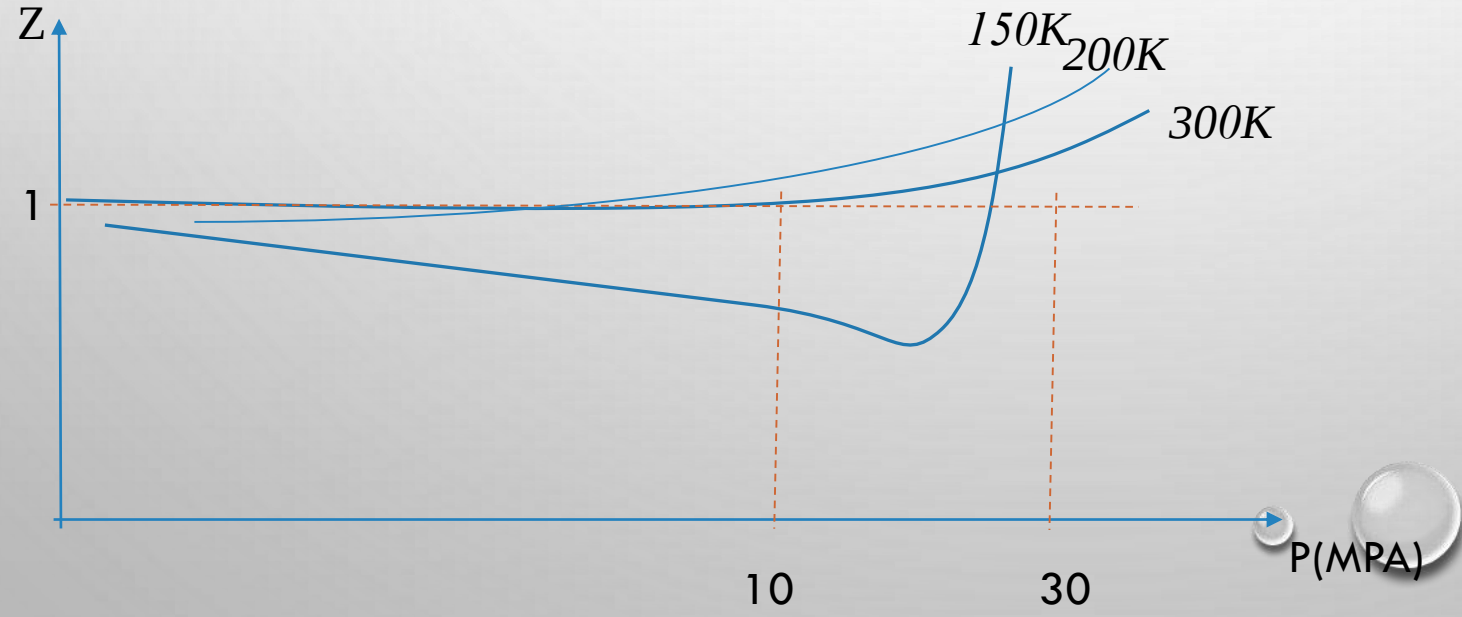
گفته شده در چگالی کم معادله حالت گاز ایده ال تقریب خوبی است اما معنی چگالی کم چیست یا به عبارتی دیگر در چه محدوده ای از چگالی، معادله گازایده ال دارای دقت کافی است؟ و سوال دیگر این است که رفتار یک گاز واقعی در یک فشار و دمای مشخص چقدر از رفتار یک گاز کامل فاصله میگیرد؟

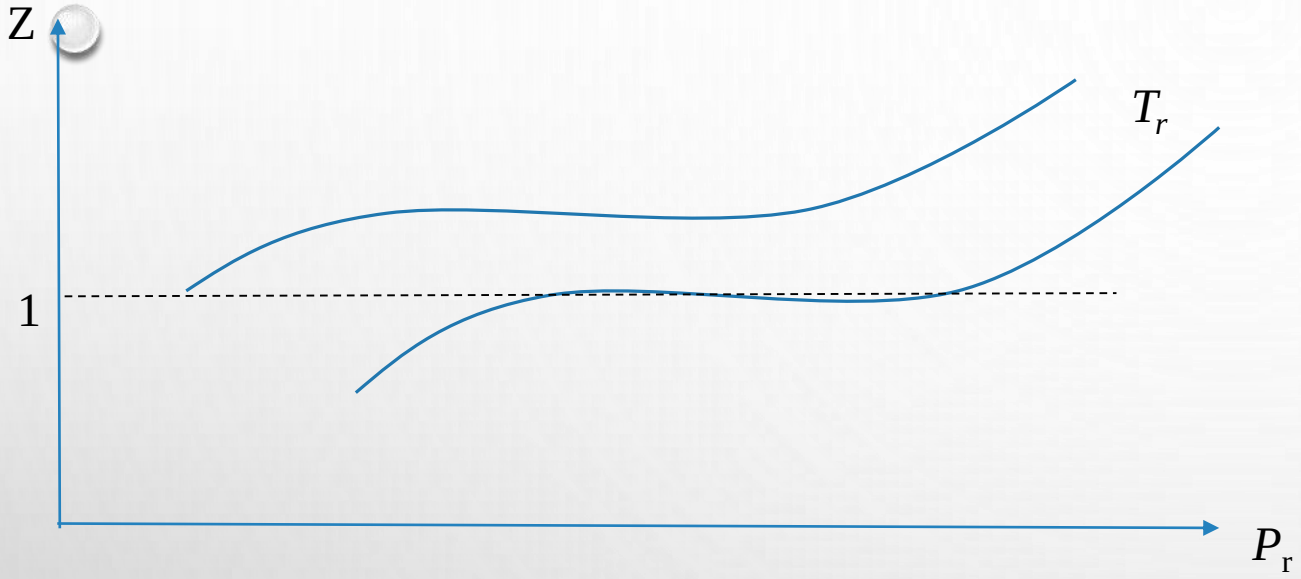
برای پاسخ به این دو سوال مفهوم ضریب تراکم پذیری معرفی می شود:

$$Z = \frac{Pv}{RT}$$ ضریب تراکم پذیری

If Z ⟶ 1 ➡ گاز ⟶ گاز ایده ال

If P ⟶ 0 ➡ Z ⟶ 1 رفتار گاز ایده ال





فشار کاهش یافته

$P_r = \frac{P}{P_c}$ ← فشار بحرانی

دمای کاهش یافته

$T_r = \frac{T}{T_c}$ ← دمای بحرانی

در صورتی که Z را بر حسب P_r در T_r های ثابت رسم کنیم، دیاگرام عمومی موجود در پیوست D-1 بدست می آید. این نمودارها برای مواد مختلف تقریبا بر هم منطبق است.

آیا میتوان رفتار گاز ایده ال را برای موارد زیر در نظر گرفت؟

الف)اکسیژن 30 °c , 3MPa

$T=30+273.2=303.2k$

$$P_r=\frac{P}{P_c}=\frac{3MPa}{5.04MPa}\approx 0.6 \qquad T_r=\frac{T}{T_c}=\frac{303.2K}{154.6K}\approx 2$$

D-1 ⟵ ایده آل ⟵ Z=0.99

ب)متان 30 °c , 3MPA

$$Z=\frac{Pv}{RT}$$ B.7.1 ⟵ @ P=3000Kpa

P	T
2777.6	175
3000	T_{sat}
3286.4	180

$T_{sat} < 180$

$T_{sat} < 303$

⟵ فوق گرم ⟵ B.7.2

ادامه) ب)متان 30 °c , 3MPA

2000	
T	V
300	0.07513

3000

4000	
T	V
300	0.03631

میان یابی ⟵ $v \approx 0.055 \frac{m^3}{kg}$

A.5 ⟵ $R=0.5183 \frac{kj}{kgK}$ ⟵ $Z = \frac{Pv}{RT}$ ⟵ Z=1

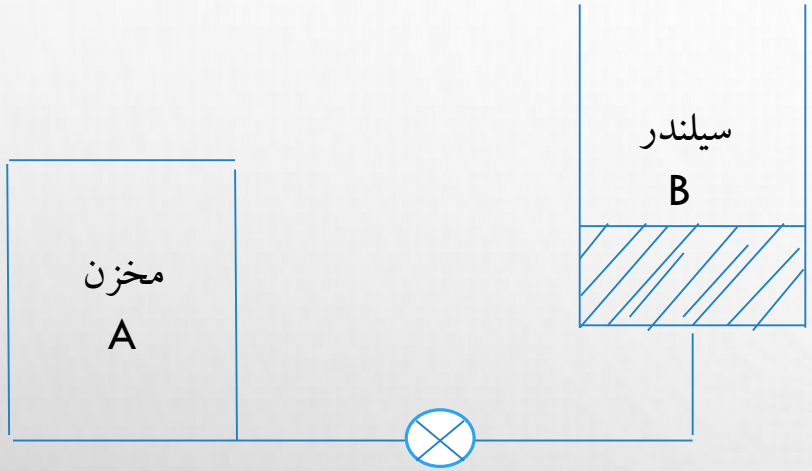
2000Kpa	
T	V
300	0.07513
303	V=0.07597
325	0.08216

3000

4000Kpa	
T	V
300	0.03631
303	V^*=0.03637
325	0.04011

نهایی $v = \frac{V+V^*}{2}$=0.056

مخزن صلبی به حجم $1m^3$ حاوی هوا در شرایط ۱۵۰۰ kpa و ۳۰۰ K است این مخزن توسط شیری به سیستم سیلندر و پیستون متصل شده است. برای بالا بردن پیستون با مساحت ۰/۱ متر مربع فشار ۲۵۰ kpa نیاز است. شیر باز میشود و پیستون به طور آهسته ۲متر بالا میرود سپس شیر بسته میشود در این فرآیند دمای هوا در ۳۰۰K ثابت میماند . فشار نهایی در مخزن چقدر است؟ (با فرض ایده ال بودن هوا حل کنید)



$V=1m^3$

$P_{1A}=1500kpa$

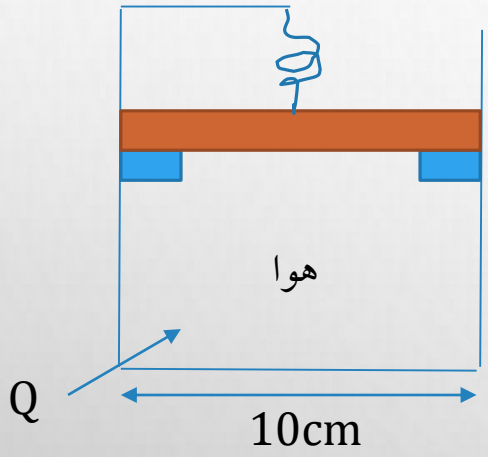
$T=300=cte$

$Ap=0.1m^2$

$P_0+\frac{mg}{A}=250kpa$

$P_{2A}=?$

در داخل سیلندری مطابق شکل پیستونی به قطر 10cm با یک فنر خطی مهار شده است ثابت فنر ۸۰کیلو نیوتون بر متر بوده و پیستون ابتدا بر تکیه گاه ها قرار گرفته است. در این حالت حجم سیلندر ۱لیتر است. فرآیند گرمادهی به سیلندر انجام میشود تا فشار به 150KPa برسد در این حالت حجم پیستون شروع به حرکت می کند. فرآیند گرمادهی ادامه پیدا می کند تا این حجم سیلندر به 1.5 لیتر برسد و دمای ان ۸۰ درجه شود. در این حالت فرآیند گرمادهی را قطع می کنیم. جرم هوای داخل سیلندر را تعیین کنید.



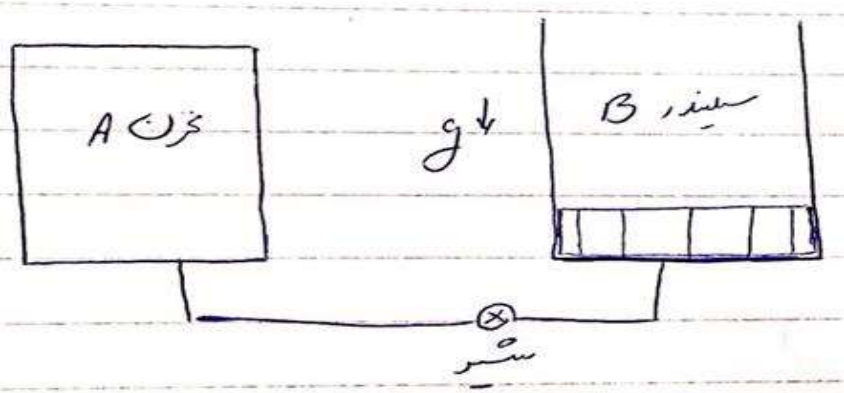
$D=10cm$

$K=80\frac{KN}{m}$

$V=1lit$

$P=150kpa=P_0+\frac{mg}{A}$

مسئله 3-99 : تانک صلبی به حجم $1\ m^3$ حاوی هوا، دمای اولیه $300\ K$ و فشار $1500\ kpa$ است و توسط شیری به سیستم سیلندر-پیستون متصل شده است. پیستون، با مساحت $0.1\ m^2$، فشار $250\ kpa$ را بدون اصطکاک نگه می‌دارد. در ابتدا حجم سیلندر $2\ m$ از ارتفاع است. شیر باز می‌شود و پیستون به آهستگی تا زمانی که دمای سیستم به $300\ K$ برسد، حرکت می‌کند. در این فرایند، دمای هوا در $300\ K$ ثابت باقی می‌ماند. مقدار گرمای منتقل شده از مخزن چقدر است؟



$V_A = 1\ m^3$
$P_{1A} = 1500\ kpa$
$T = 300\ K$
$P_{2A} = ?$

$A_p = 0.1\ m^2$
$P_0 + P_p = 250\ kpa$
$\Delta x = 2\ m$
$T = 300\ K$

$$m_{A_1} = \frac{P_{A_1} V_A}{RT} = \frac{1500 \times 1}{0.287 \times 300} = 17.422\ kg$$

$$m_{B_1} = 0 \quad , \quad m_{B_2} = \frac{P_{B_2} \cdot V_{B_2}}{R \cdot T} = \frac{250 \times 2 \times 0.1}{0.287 \times 300} = 0.581\ kg$$

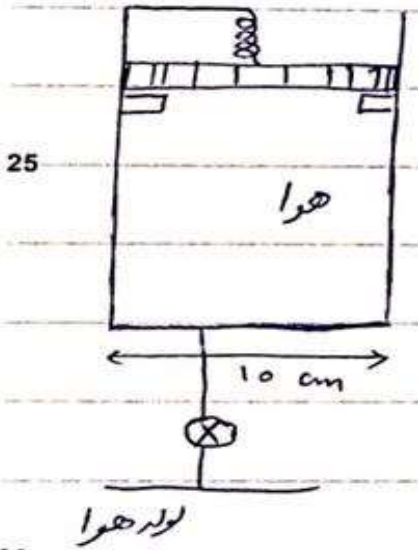
$$m_{A_1} + \cancel{m_{B_1}}^{\,0} = m_{A_2} + m_{B_2} \Rightarrow m_{A_2} = m_{A_1} - m_{B_2} = 16.841\ kg$$

$$A: \quad P_2 V_2 = m_2 R T_2 \Rightarrow P_2 = \frac{16.841 * 0.287 * 300}{1} = 1450\ kpa$$

ب) $P_{A_2} > 250\ kpa$

Scanned with CamScanner

مسئله 3-16 از دو انتهای یک سیلندری مطابق شکل پیستونی به قطر 10 cm با یک فنر خطی بهم متصل شده است (نیروی فنر متناسب با فاصله است). نیروی فنر $80\ kN/m$ بوده و پیستون در ابتدا بر لبه کاهها قرار گرفته است. حجم سیلندر 1 lit است. شیر فشار هوا را باز می‌کنیم تا هوا وارد سیلندر شود و وقتی فشار به 250 kpa رسید پیستون شروع به حرکت می‌کند. پس از اینکه حجم سیلندر 1.5 lit شد و دمای آن $80^\circ C$ بود، شیر را می‌بندیم. جرم هوای داخل سیلندر را تعیین کنید.



$k = 80\ kN/m$

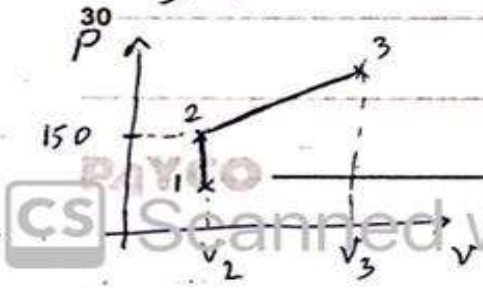
$\forall_1 = 1\ lit$

$P_2 = 150\ kpa$ → در این لحظه حرکت پیستون شروع شده و نیروی فنر هم افزایش می‌یابد.

$\forall_3 = 1.5\ lit$

$T_3 = 80^\circ C$

$P_0 + P_p = 150\ kpa$



$P_3 = P_0 + P_p + P_s = 150 + P_s = 150 + \frac{K}{A^2}\Delta\forall$

$= 150 + \frac{K}{A^2}(\forall_3 - \forall_2) \Rightarrow P_3 = \checkmark \quad m_3 = \frac{P_3 \forall_3}{R T_3} = \checkmark$

Scanned with CamScanner