اصول بنیانی و مبانی محاسبات در مهندسی شیمی :

کتاب : دیوید هیمل بلاو ترجمه : دکتر مرتضی سهرابی

فصل اول : مقدمه‌ای بر محاسبات مهندسی

آحاد و ابعاد :

استفاده از آحاد یا ابعاد در کلیه محاسبات عددی به توجهی بیش از آنچه اغلب در گذشته به آن مبذول شده نیاز دارد و در صورت دقت، از مشکلات بعدی جلوگیری بعمل خواهد آمد.

ابعاد : عبارت از مفاهیم اساسی در اندازه‌گیری کمیات مثل طول، جرم، زمان، دما، ...

آحاد : وسیله بیان این ابعاد محسوب می‌شود مثل فوت یا سانتیمتر در مورد طول، ساعت یا ثانیه در مورد زمان.

برای جمع یا تفریق = آحاد همانند باید پذیر (بشرط آنکه واحدها یکسان باشند)

1 Foot + 3 seconds → X

بعد طول — بعد زمان

1 hp + 300 watt

↳ J/s

1 hp = ۷۴۶ watt ۷۴۶ + ۳۰۰ = ۱۰۴۶ watt

حرارت = انرژی در واحد زمان

مثال) هواپیمایی با سرعت دو برابر سرعت صوت پرواز کند (سرعت صوت 1100 Ft/sec) سرعت آن را بر حسب مایل در ساعت بدست آورید.

5280 Ft = 1 mil

$$\frac{2}{\text{sec}} \left| \frac{1100\ \text{Ft}}{5280\ \text{Ft}} \right| \left| \frac{1\ \text{mil}}{1\ \text{min}} \right| \left| \frac{60\ \text{sec}}{1\ \text{min}} \right| \left| \frac{60\ \text{min}}{1\ \text{hr}} \right| = 1500\ \frac{\text{mil}}{\text{hr}}$$

معنای علامت ضرب!

مثال) کمیت $400\ \text{in}^3/\text{روز}$ را به cm^3/min تبدیل کنید.

1 in = 2,54 cm

$$\frac{400\ \text{in}^3}{\text{روز}} \left| \frac{(2{,}54\ \text{cm})^3}{(1\ \text{in})^3} \right| \left| \frac{1\ \text{day}}{24\ \text{hr}} \right| \left| \frac{1\ \text{hr}}{60\ \text{min}} \right| = 4{,}54\ \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

✓ وقتی اعداد به توان می رسند ابعاد نیز همان توان خواهند رسید.

دانشمندان سیستم متری SI را بعنوان یک sys بین المللی برگزیدند.

واحدها { اصلی ← 3 واحد اصلی در sys متری داریم طول / جرم / زمان
فرعی ← از واحدهای اصلی مشتق شده اند.

$$F = m \cdot a$$
$$\downarrow \quad \downarrow$$
$$Kg \times \frac{m}{s^2} = N \quad \text{نیوتن}$$

$$E = N \cdot m = J \quad \text{واحد انرژی}$$

$$\text{توان یا قدرت} = \frac{J}{s} = \text{watt}$$

در سیستم انگلیسی ۴ واحد اصلی داریم و برای آنها واحدهای دیگر بدرستی حاصل شوند باید از یک ضریب تبدیل g_c استفاده کنیم

که مقدار عددی آن برابر واحد نیست.

$$F = C\ m\ a$$

واحد نیرو

$$C = 1\ (\text{dyne}) / (g)(cm)/sec^2$$

$$F = \frac{1\ \text{dyne}}{\frac{(g)(cm)}{sec^2}} \Big| \frac{1\ g}{} \Big| \frac{1\ cm}{sec^2} = 1\ \text{dyne}$$

در سیستم SI :

$$F = C\ m\ a$$

$$C = \frac{1\ N}{Kg.\ m/s^2}$$

✓✓ در سیستم مهندسی انگلیسی فرض می کنیم که مقادیر عددی نیرو و جرم در سطح زمین برابر شوند.

جرم Ib_m شتاب $\frac{ft}{sec^2}$ g شتاب ثقل زمین

$g = 32,2\ ft/sec^2$

(g_c بر حسب موقعیت و مکان جرم تغییر می کند)

واحد نیرو $1\ Ib_f$

$$F = (C) \times 1\ Ib_m \times g\ \frac{ft}{sec^2} = 1\ Ib_f.$$

$$C \propto \frac{Ib_f}{Ib_m \left(\frac{ft}{sec^2}\right)}$$

با توجه به تغییر g بر حسب موقعیت از سطح زمین = مقدار متوسط شتاب ثقل ۳۲,۱۷۴ Ft/sec^2

معکوس ثابت C را با علامت g_c:

$$g_c = ۳۲,۱۷۴ \frac{(Ft)(Ibm)}{(Ibf)(sec^2)}$$

$F = m\,g/g_c$

پس در سیستم مهندسی آمریکایی مقدار عددی پاوند جرم برابر پاوند نیرو است به شرط آنکه نسبت g/g_c مساوی واحد باشد.

مثال) یکصد پاوند آب در داخل لوله‌ای با سرعت ۱۰ Ft/sec جریان دارد انرژی جنبشی آنرا بر حسب $(Ft)(Ibf)$ بدست آورید.

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

برای تبدیل Ib_m به Ib_f باید از ضریب g_c استفاده کنیم.

$$K = \frac{1}{2} \left| 100\ Ibm \right| \left| \left(10\ \frac{Ft}{sec} \right)^2 \right| \Big/ \left| 32.174\ \frac{(Ft)(Ibm)}{(Ibf)(sec^2)} \right| = 155\ (Ft)(Ibf)$$

مثال) انرژی پتانسیل یک بشکه ۱۰۰ پاوندی را که در ارتفاع ۱۰ فوت از سطح زمین آویخته شده است بر حسب $(Ft)(Ibf)$ تعیین کنید. سطح مقایسه را سطح زمین در نظر می‌گیریم.

$$P = mgh \qquad P = m\,g/g_c\,h$$

$$P = \left| 100\ Ibm \right| \left| ۳۲,۲\ \frac{Ft}{sec^2} \right| \left| 10\ Ft \right| \Big/ \left| ۳۲,۱۷۴\ \frac{Ibm \cdot Ft}{Ibf \times sec^2} \right| = 1000\ (Ft \times$$

Ibf

$Ib_m \times \frac{Ft^2}{s^2} \sim \frac{Ibf \cdot ft}{Ibf \times sec^2}$

مثال) تفاوت وزن یک موشک ۱۰۰ کیلوگرمی را بر حسب نیوتن وقتی در ارتفاع ۱۰ کیلومتر از سطح زمین قرار دارد $g=9,76\ m/s^2$ با حالتیکه در سطح زمین $g=9,8\ m/s^2$ واقع شده بدست آورید.

$$\frac{100\ kg \mid (9,8-9,76)\ m}{s^2} = 4\ N$$

چون سیستم متریک SI بوده

نیازی به استفاده از ضریب g_c نداریم.

نکاتی در مورد علامت واحدها:

علامات واحدها بصورت جمع به کار نمی روند مگر اینکه بصورت کامل نوشته شوند.

mins ✗ minutes ✓

hs ✗ hours ✓

در انتهای آن نقطه گذارده نمی شود به استثنای اینچ

in. $1in. = 2,54\ cm$

$12\ in. = 1\ Ft$

وقتی یک واحد ترکیبی از حاصل ضرب دو یا چند واحد ایجاد شود، علامت آن متشکل از علامات واحدها خواهد بود که بدنبال یکدیگر نوشته شده و بوسیله نقطه از هم مجزا می شوند.

$N.m$

$m.s^{-1}$

✓ وقتی پیشوندی همراه با علامتی بکار رود که به توان معینی رسیده، آن پیشوند نیز با پیستی بهمان توان برسد.

$(10^{-2}\ m)^3 = 10^{-6}\ (m^3)$

N.m	(نیوتن متر)	mN	(میلی نیوتن)
m.s	(متر ثانیه)	ms	(میلی ثانیه)

مثال) معادله ساده شده انتقال حرارت از یک لوله به هوا بصورت زیر نوشته می شود

$$h = \frac{0.026\ G^{0.6}}{D^{0.4}}$$

که در آن

h = ضریب انتقال حرارت $\frac{BTU}{(hr)(ft^2)(^\circ F)}$

G = سرعت جریان جرمی $lbm/(hr)(ft^2)$

D = قطر خارجی لوله (ft)

اگر بخواهیم h را بر حسب $\frac{cal}{(min)(cm^2)(^\circ C)}$

بیان نماییم، ثابت عددی معادله بجای ۰/۰۲۶ چه باید باشد.

$1\ BTU = 252\ cal$

$$h = \frac{0.026\ G^{0.6}}{D^{0.4}} \frac{BTU}{(hr)(ft^2)(^\circ F)} \left|\frac{252\ cal}{1\ BTU}\right| \left|\frac{1\ hr}{60\ min}\right| \left|\left(\frac{1\ ft}{12\ in.}\right)^2\right| \left|\left(\frac{1\ in.}{2.54\ cm}\right)^2\right| \left|\frac{1.8\ ^\circ F}{1\ ^\circ C}\right| = 2.11 \times 10^{-4} \frac{G^{0.6}}{D^{0.4}} \frac{cal}{(min)(cm^2)(^\circ C)}$$

۱-۲- واحد مولی

تعداد تعیین مشخص مولکول، اتم، الکترون یا هر ذره دیگری می باشد.

از نظر SI: یک مول مقداری از یک جسم است که دارای تعدادی ذره ابتدایی

- اندازه انرژی موجود در ۱۲ ه/ه کیلوگرم کربن ۱۲ باشد.

یک مول دارای $۶/۰۲۳ \times ۱۰^{۲۳}$ مولکول است.

$$gr\ mol = \frac{\text{جرم gr}}{\text{وزن مولکولی}} \qquad gr\ \text{جرم} = (mol.wt)(g\ mol)$$

$$Ib\ mol = \frac{\text{جرم Ib}}{\text{وزن مولکولی}} \qquad Ib\ \text{جرم} = (mol.wt)(Ib\ mol)$$

$m.wt$ = جرم ماده برای واحد Ib یا kg

$wt_{H_2} = ۱/۰۰۸ \qquad wt_C = ۱۲/۰۱$

$H_2O \qquad 2(۱/۰۰۸) + ۱۶ = ۱۸/۰۲$

454 g mol = 1 Ib mol

مثال) اگر در ظرفی 2 Ib از NaOH (وزن مولکولی ۴۰) موجود باشد:

$fw = gr/mol$ یا $Ib/Ibmol$

الف) چند Ibmol از NaOH در ظرف موجود است

ب) چند g mol از NaOH در ظرف وجود دارد.

$$\frac{2\ Ib\ NaOH}{40\ Ib\ NaOH} \left| \frac{1\ Ibmol\ NaOH}{} \right. = ۰/۰۵\ Ibmol\ NaOH$$

$$\frac{۲\ Ib\ NaOH}{۴۰\ Ib\ NaOH} \left| \frac{1\ Ibmol\ NaOH}{1\ Ib\ mol} \right| \frac{۴۵۴\ gmol}{} = ۲۲۷\ gmol$$

ج) چند Ib از NaOH در ۷/۵ گرم مول NaOH وجود دارد.

$$\frac{۷/۵\ gmol\ NaOH}{۴۵۴\ gmol} \left| \frac{1\ Ibmol}{1\ Ibmol\ NaOH} \right| \frac{۴۰\ Ib\ NaOH}{} = ۰/۶۶\ Ib\ NaOH$$

۱-۳- قواعدی در روشهای تجربی و اندازه گیری:

جرم ویژه: نسبت جرم به واحد حجم $\frac{kg}{m^3}$ یا $\frac{lb}{ft^3}$

برای اندازه گیری حجم جامد = قرار دادن جسم مذکور در مقداری معین از یک مایع بی اثر

- وزن و حجم مایع مستخرج است ← وزن و حجم جامدی مجموعه را اندازه می گیریم

جرم ویژه مایعات = توسط هیدرومتر یا ترازوی وستفال

هیدرومتر = جسمی با وزن و حجم معین را داخل مایع قرار داده و عمق نفوذ جسم در مایع را تعیین می کنند.

ترازوی وستفال = وزن توده معینی را در داخل مایع با وزن آن توده در آب مقایسه می کنند.

جرم ویژه گازها = ترازوی ادوارد

وزن یک حباب پر شده از هوا را با وزن همان حباب که از گاز نامعلوم پر شده مقایسه می کنند.

چگالی: نسبت دو جرم ویژه بیکدیگر

$$sp\ gr = \frac{(lb/ft^3)_A}{(lb/ft^3)_{ref}} = \frac{(g/cm^3)_A}{(g/cm^3)_{ref}} = \frac{(kg/m^3)_A}{(kg/m^3)_{ref}}$$

جسم مبنا در مورد مایعات و جامدات را معمولاً آب در نظر می گیرند.

چگالی: نسبت جرم ویژه جسم مورد نظر به جرم ویژه آب

چگالی گازها را غالباً به هوا ارتباط می دهند.

پس در SI، مقدار جرم ویژه و چگالی $\frac{g}{cm^3}$ ۱ جرم ویژه آب SI برابر است.

در سیستم آمریکایی ۶۲٫۴ lb/ft^3

چگالی مواد نفتی با مقیاس API سنجیده می شود.

$$^{\circ}API = \frac{141.5}{sp\,gr\ \frac{60}{60}} - 131.5$$

60 ← دمای استاندارد یا متعارف برای اندازه گیری جرم و چگالی

حجم ویژه:

معکوس جرم ویژه . حجم به ازای واحد جرم یا واحد مقدار جسم

$\frac{ft^3}{lb_m}$ $\frac{ft^3}{lb\,mole}$ $\frac{m^3}{kg}$ $\frac{cm^3}{gr}$ $\frac{bbl}{lb_m}$

1 bbl = ۴۲ gal

1 ft³ = 7.48 gal

جزء مولی و جزء وزنی:

جزء مولی = تعداد مول های یک جسم معین تقسیم بر تعداد کل مول های موجود

$$\frac{n_i}{n_t}$$

$$\text{mole fraction } A = \frac{\text{moles of } A}{\text{total moles}}$$

جزء وزنی = وزن یک جسم تقسیم بر کل وزن اجسام حاضر

$$\frac{w_i}{w_T}$$

$$\text{weight fraction of A} = \frac{\text{weight of A}}{\text{total weight}}$$

درصد مولی = جزء مولی ضرب در ۱۰۰

درصد وزنی = جزء وزنی ضرب در ۱۰۰

مثال) یک محلول صنعتی تمیز کننده فلزی حاوی ۵ کیلوگرم آب و ۵ کیلوگرم سود سوزآور است. مطلوبست تعیین جزء وزنی و جزء مولی هریک از سازندگان محلول تمیز کننده.

Component	kg	weight Fraction $= \frac{w_i}{w_T}$	mol wt	$\frac{\text{kg}}{\text{mol}}$ kg/kmol	mol Fraction $= \frac{n_i}{n_t}$
H_2O	5	0.5	18	$\frac{5}{18}=0.278$	$\frac{0.278}{0.403}=0.699$
NaOH	5	0.5	40	$\frac{5}{40}=0.125$	$\frac{0.125}{0.403}=0.311$
total	10	1		0.403	1

$$5\ \text{kg}\ H_2O \left| \frac{1\ \text{kgmol}\ H_2O}{18\ \text{kg}\ H_2O} \right. = 0.278\ \text{kgmol}\ H_2O$$

$$5\ \text{kg NaOH} \left| \frac{1\ \text{kgmol NaOH}}{40\ \text{kg NaOH}} \right. = 0.125\ \text{kgmol NaOH}$$

تجزیه:

تجزیه گازهای مختلف مثل هوا، محصولات احتراق و غیره معمولاً بر اساس خشک داده می‌شود. یعنی بخار آب را در تجزیه دخالت نمی‌دهند و چنین تجزیه‌ای را ارسات orsat می‌نامند.

تقریباً در تمام موارد، تجزیه کار را بر مبنای حجمی بیان می کنند که در کار ما با تجزیه مولی یکسان است.

تجزیه ماندگاری و حابدات بر حسب درصد وزنی و گاهی اوقات بر حسب درصد مولی می دهند.

۱۰۰ قسمت :

مقدار معینی از یک حل شونده در مقدار ثابتی از یک حلال و یا محلول

در مورد مخلوطی از دو یا چند سازنده است.

$$\text{مولالیته} = \frac{\text{mol}}{\text{حلال kg}} \qquad \text{نرمالیته} = \frac{\text{اکی والان}}{\text{lit}} \qquad \text{مولاریته} \ \frac{\text{mol}}{\text{lit}}$$

PPm : قسمت در میلیون

تمرین ۱) در یک پروژه گازکشی از زغالسنگ پیش بینی شده است که از هر واحد مقدار ۵۷۳۰۰۰ lb/hr خالستر مرطوب حاصل شود. این مقدار خالستر در مدت یک سال توده تخلیه ای را بوجود می آورد به ۲۳۱ فوت پهنا، ۱۰۰ فوت ارتفاع و تقریباً ۷ مایل درازا خواهد داشت. حساب کنید که در این تخمین، جرم ویژه خالستر را بر حسب $\frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$ چه مقدار فرض کرده اند؟

$$1\ \text{mil} = 5280\ \text{ft}$$

$$\frac{\text{۲۳۱ ft} \mid \text{۱۰۰ ft} \mid \text{۷ mil} \mid \text{۵۲۸۰ ft} \mid \text{سال ۱} \mid \text{روز ۱}}{\text{سال ۱} \mid \text{۱ mil} \mid \text{روز ۳۶۵} \mid \text{۲۴ hr}} = 97643\ \frac{\text{ft}^3}{\text{hr}}$$

$$\frac{\text{۵۷۳۰۰۰ lb} \mid}{\text{hr} \mid 97643\ \text{ft}^3/\text{hr}} = 5.88\ \text{lb/ft}^3$$

۷

تمرین ۲) ۵۰۰۰ بشکه از نفت گاز با 28° API را با ۲۰۰۰۰ bbL از نفت کوره با 15° API مخلوط می‌کنند. API مخلوط چیست؟ جرم و چگالی مخلوط را بر حسب lb/gal و lb/ft³ بدست آورید؟

1 bbL = 42 gal

1 ft³ = 7.481 gal

وزن نفت گاز + وزن نفت کوره = وزن مخلوط

حجم نفت گاز + حجم نفت کوره = حجم مخلوط

$$\text{حجم نفت گاز} = \frac{5000\ bbL}{1\ bbL} \left| \frac{42\ gal}{7.48\ gal} \right| \frac{1\ ft^3}{} = 28074.866\ ft^3$$

$$\text{حجم نفت کوره} = \frac{20000\ bbL}{1\ bbL} \left| \frac{42\ gal}{7.48\ gal} \right| \frac{1\ ft^3}{} = 112299.46\ ft^3$$

$$V_{\text{کل مخلوط}} = 28074.866 + 112299.46 = 140374.32\ ft^3$$

$$API = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5 \qquad \text{نفت گاز } 28 = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5$$

$$\text{نفت گاز} \rightarrow sp.gr = 0.887$$

$$\text{نفت گاز } sp.gr = \frac{\rho_{\text{نفت گاز}}}{\rho_{\text{آب}}} = \frac{\rho_{\text{نفت گاز}}}{62.4\ lb/ft^3} = 0.887 \rightsquigarrow \rho_{\text{نفت گاز}} = 55.348\ \frac{lb}{ft^3}$$

$$\rho_{\text{نفت گاز}} = \frac{m}{V} = \frac{m}{28074.866} = 55.348$$

$$\rightarrow m_{\text{نفت گاز}} = 1.55 \times 10^6\ lb \quad \text{نفت گاز}$$

$$\text{نفت کوره } 15 = \frac{141.5}{sp.gr} - 131.5 \rightsquigarrow sp.gr_{\text{نفت کوره}} = 0.965\ \frac{lb}{ft^3}$$

$$Sp.gr_{\text{نفت خام}} = \frac{\rho_{\text{نفت خام}}}{\rho_{\text{آب}}} = \frac{\rho_{\text{نفت خام}}}{62.4\ lb/ft^3} = 0.965$$

$$\rho_{\text{نفت خام}} = 60.216\ \frac{lb}{ft^3}$$

$$\rho_{\text{نفت خام}} = \frac{m}{V} = \frac{m}{112299.46} = 60.216$$

$$\rightarrow m_{\text{نفت خام}} = 6.76 \times 10^6\ lb$$

$$\text{وزن کل } m_t = 1.55 \times 10^6 + 6.76 \times 10^6 = 8.31 \times 10^6 (lb)$$

$$\text{چگالی مخلوط } \rho_t = \frac{m_t}{V_t} = \frac{8.31 \times 10^6\ (lb)}{140374.32\ (ft^3)} = 59.198\ \frac{lb}{ft^3}$$

$$Sp.gr = \frac{\rho_t}{\rho_{\text{آب}}} = \frac{59.198}{62.4} = 0.948$$

$$API_{\text{مخلوط}} = \frac{141.5}{0.948} - 131.5 = 17.76^\circ\ API$$

$$\frac{59.198\ lb}{ft^3} \left| \frac{1\ ft^3}{7.48\ gal} \right. = 7.914\ \frac{lb}{gal}$$

چگالی مخلوط

مبنا:

مبنا عبارت از مرجعی است که برای انجام محاسبات مربوط به هر مسئله انتخاب می‌شود و انتخاب درست آن غالباً سبب آسان‌تر شدن حل مسئله خواهد شد.

بهترین راه، استفاده از مبنایی برحسب ۱ یا ۱۰۰ از ملیت‌هایی مثل kg ، mol ، hr ، ft^3 ، ... است.

برای تجزیه وزنی بهترین مبنا یک یا ۱۰۰ (پاوند) یا (کیلوگرم) از مخلوط است

برای تجزیه مولی بهترین مبنا یک یا ۱۰۰ مول از مخلوط گازی است.

مثال) هیدروکربن‌های معطره بین ۱۵ تا ۳۰ درصد از بنزین سرب دار و حدود ۴۰ درصد از بنزین فاقد سرب را تشکیل می‌دهند. نسبت اتم‌های کربن به هیدروژن عاملی در تشخیص تشکیل دهندگان سوخت محسوب می‌شود. اگر سوختی متشکل از ۸۰ وزنی C و ۲۰ وزنی هیدروژن باشد، نسبت اتم‌های C / H در این سوخت چقدر است؟

مبنا ۱۰۰ کیلوگرم از سوخت

Component	kg	mol.wt	kg mol
C	80	12	$80/12 = 6.67$
H	20	1.008	$20/1.008 = 19.84$
total	100		

نسبت اتمی $\frac{C}{H} = \frac{6.67}{19.84} = 0.336$

مثال) فرض کنید ۵۰ کیلوگرم از گاز حاصل از یک واحد آزمایشی بطور متوسط متشکل از CO 30٪، CH_4 40٪، H_2 10٪ و CO_2 20٪ باشد، مطلوبست تعیین وزن مکولی متوسط گاز.

مبنا = 100 kgmol

component	kg mol	mol.wt	kg
CO_2	20	44	$20 \times 44 = 880$
CO	30	28	$30 \times 28 = 840$
CH_4	40	16.04	$40 \times 16.04 = 641.6$
H_2	10	2.02	$10 \times 2 = 20$
total			2381.6

$$\text{جرم مکولی متوسط} = \frac{2381.6 \text{ kg}}{100 \text{ kg mol}} = 23.816 \text{ kg/kgmol}$$

مثال) مقدار 100 پاوند از مخلوط گازی با ترکیب تقریبی زیر در اختیار است:

CH_4 30٪

H_2 10٪

N_2 60٪

وزن مکولی متوسط این گاز چیست؟ مبنا 100 از حوراک / 100 Ibmol

component	درصد مولی	مول	جرم مولکولی	Ib
CH_4	30	30	16	$30 \times 16 = 480$
H_2	10	10	2	$10 \times 2 = 20$
N_2	60	60	28	$60 \times 28 = 1680$
				2180

$$\text{وزن مکولی متوسط} = \frac{2180}{100} = 21.8 \text{ Ib/Ibmol}$$

تمرین) ترکیب درصد مولی یک گاز قابل احتراق شامل ۲۰ متان، ۵ اتان

۱۰ ۱۰ $\Delta T = ۱۰$

$۱۰ \times ۱/۸ = \frac{۱۸}{۲}$ $۲ \times ۱/۸ = \frac{۳۶}{۲} = ۱۸$

$\frac{۲۸}{۱۸}$ $\frac{۲}{۶۸}$

$۸/۵^{۵}$

$\Delta T = ۱۰^{\circ}C \times ۱/۸ = ۱۸^{\circ}K$

۱

تقریباً CO_2 است. تجزیه این گاز را حسب درصد وزنی بدست آورید؟

مبنا = ۱۰۰ kgmol گاز

ترکیب	درصد مولی	جرم مولکولی	kg	جزء وزنی
CH_4	۲۰	۱۶	$۲۰ \times ۱۶ = ۳۲۰$	$۳۲۰ / ۳۷۷۰ = ۰/۰۸۵$
C_2H_6	۵	۳۰	$۵ \times ۳۰ = ۱۵۰$	۰/۰۴
CO_2	۷۵	۴۴	$۷۵ \times ۴۴ = ۳۳۰۰$	۰/۸۷۵
کل	۱۰۰		۳۷۷۰	۱

حرارت: معیاری است از انرژی حرارتی مربوط به حرکات تصادفی مولکولهای یک جسم

در حالت تعادل حرارتی.

$^{\circ}C$ / $^{\circ}F$ / $^{\circ}R$ / K

$T_K = T_{^{\circ}C} + 273.15$

$T_{^{\circ}F} = ۱/۸ T_{^{\circ}C} + 32$

$T_{^{\circ}R} = T_{^{\circ}F} + \underbrace{459.58}_{\simeq 460}$

$\Delta^{\circ}F = \Delta^{\circ}R$

$\Delta^{\circ}C = \Delta K$

$\Delta^{\circ}C = 1.8\, \Delta^{\circ}F$

$\Delta K = 1.8\, \Delta^{\circ}R$

مثال) ضریب هدایت حرارتی آلومینیوم در $32^{\circ}F$ برابر با $117 \frac{BtU}{(hr)(Ft^2)(^{\circ}F)}$ است. ضریب فلز در $0^{\circ}C$ و بر حسب $\frac{BtU}{(hr)(Ft^2)(K)}$ بدست آورید.

$32^{\circ}F$ برابر با $0^{\circ}C$ است پس تبدیل نمی خواهد

$$\frac{117\ BtU}{(hr)(Ft^2)(^{\circ}F)} \left| \frac{1.8\,\Delta^{\circ}F}{1\,\Delta^{\circ}C} \right| \frac{1\,\Delta^{\circ}C}{1\,\Delta K} = 211\ \frac{BtU}{(hr)(Ft^2)(K)}$$

$^{\circ}F$ در حقیقت همان $\Delta^{\circ}F$ است.

تمرین) قدرت تشعشع یک جسم سیاه بستگی به توان چهارم دمای آن داشته و با عبارت زیر داده می‌شود:

$$W = AT^4$$

W = قدرت تشعشع $BTU/(ft^2)(hr)$

A = ثابت استفان - بولتزمن $0.171 \times 10^{-8}\ BTU/(ft^2)(hr)(^\circ R)^4$

T = دما $^\circ R$

مقدار A برحسب $J/(m^2)(s)(K^4)$ چیست؟

$$\frac{0.171\times10^{-8}\ BTU}{(ft^2)(hr)(^\circ R)^4}\left|\frac{(1.8^\circ R)^4}{(1K)^4}\right|\frac{1\ hr}{3600\ s}\left|\frac{(1\ ft)^2}{144\ in^2}\right|\left(\frac{1\ in}{2.54\ cm}\right)^2$$

$$\left|\left(\frac{100\ cm}{1\ m}\right)^2\right|\frac{1.055\times10^3\ J}{1\ BTU} = 5.67\times10^{-8}\ \frac{J}{(m)^2(s)(K)^4}$$

$1\ BTU = 1.055\times10^3\ J$

$1\ ft = 12\ in$

$1\ in = 2.54\ cm$

فشار:

نیرو بر واحد سطح $P = \frac{F}{A}$

واحدهای فشار: bar ، atm ، $psi = \frac{lb}{in^2}$ ، $pa = \frac{N}{m^2}$

$1\ atm = ۳۴,۹۱\ ft\ H_2O = ۱۴,۷\ psi = ۲۹,۹۲\ inHg = ۷۶۰\ mmHg$

$= ۱۰۱۳۲۵\ pa$

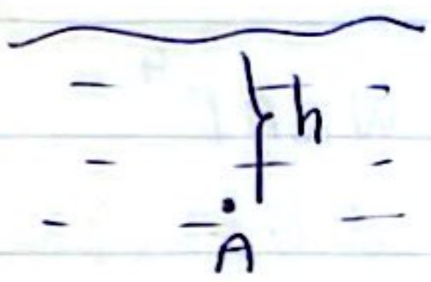
10

فشار بر روی مواد متناسب است با طول ارتفاع سیال

$P_{gage} = \gamma h$

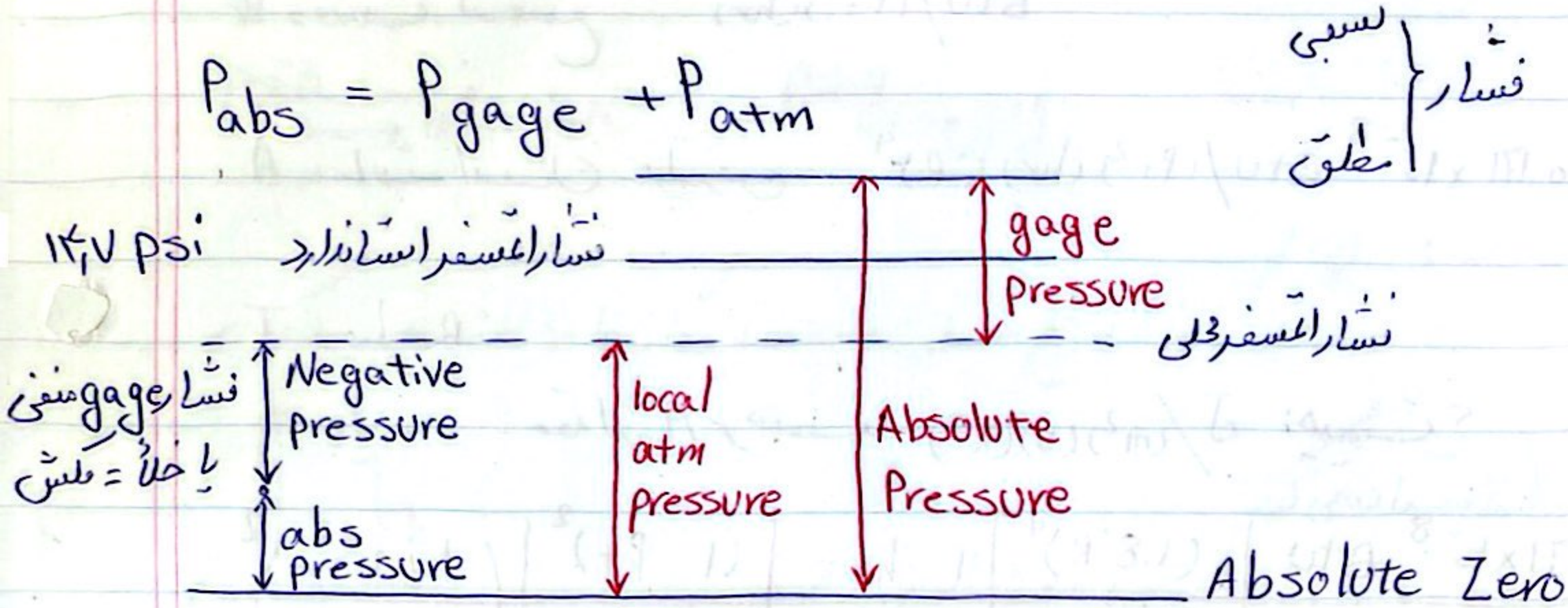
$\gamma = \rho g$

$P = \rho g h$



فشار { نسبی / مطلق

$P_{abs} = P_{gage} + P_{atm}$



مثال) اگر فشار 340 mm Hg بارسنج، معادل با چند اینچ آب و چند کیلو پاسکال خواهد بود؟

340 mm Hg	33.91 Ft H_2O	12 in.
	760 mm Hg	1 Ft

$= 182\ in.H_2O$

340 mm Hg	101325 pa	1 Kpa
	760 mm Hg	10^3 pa

$= 45.4$ Kpa

مثال) فشارسنج نصب شده‌ای بر روی یک مخزن CO_2، فشار 51 psi را نشان می‌دهد در همان حال از بارومتر فشار 28 in.Hg قرائت می‌شود. فشار مطلق گاز در داخل مخزن بر حسب psi چقدر است؟

بارومتر ← فشار اتمسفر.

10

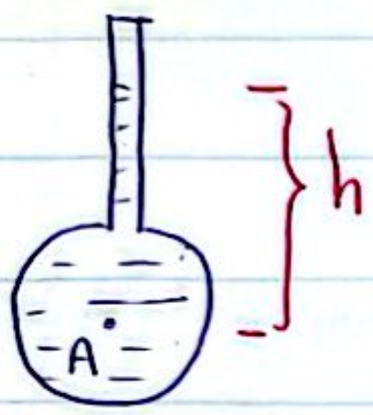
$$P_{atm} = \frac{28\ in\,Hg \mid 14.7\ psi}{29.92\ in\,Hg} = 13.78\ psi$$

$$P_{abs} = P_{gage} + P_{atm}$$
$$= 51 + 13.78 = 64.78\ psi$$

psia ⟶ absolute psig ⟶ gage

مانومتر:

وسیله‌ای که از ارتفاع ستون مایعات و گازها برای مشخص کردن فشار استفاده می‌کند.

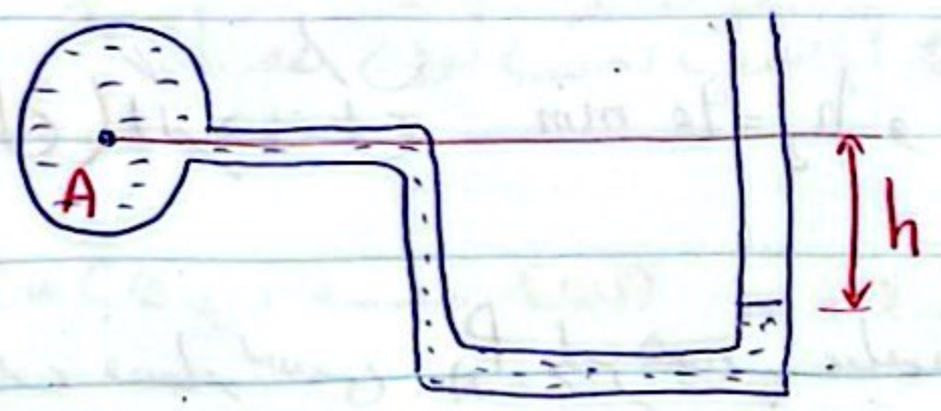


ساده‌ترین نوع مانومتر = پیزومتر

نمی‌تواند فشارهای منفی و فشارهای خیلی زیاد را اندازه بگیرد.

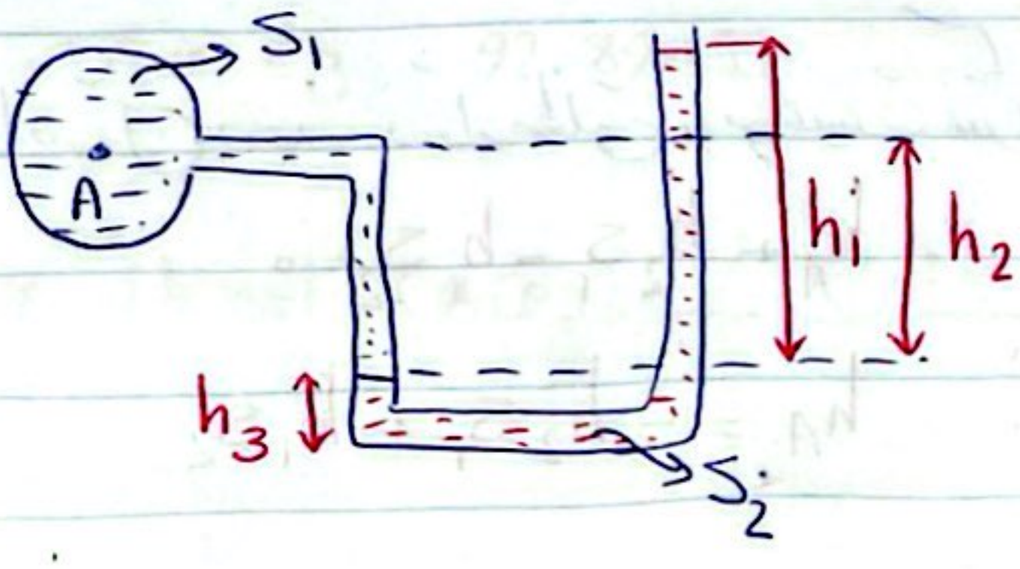
$S = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}}$ چگالی نسبی مایع

$P_A = h.S$ فشار بر حسب طول واحد مادهٔ A



فشار منفی را می‌توان اندازه بگیرد.

$h_A = -hS$



$$h_A + h_2 S_1 + h_3 S_2 - h_3 S_2 - h_1 S_2 = 0$$

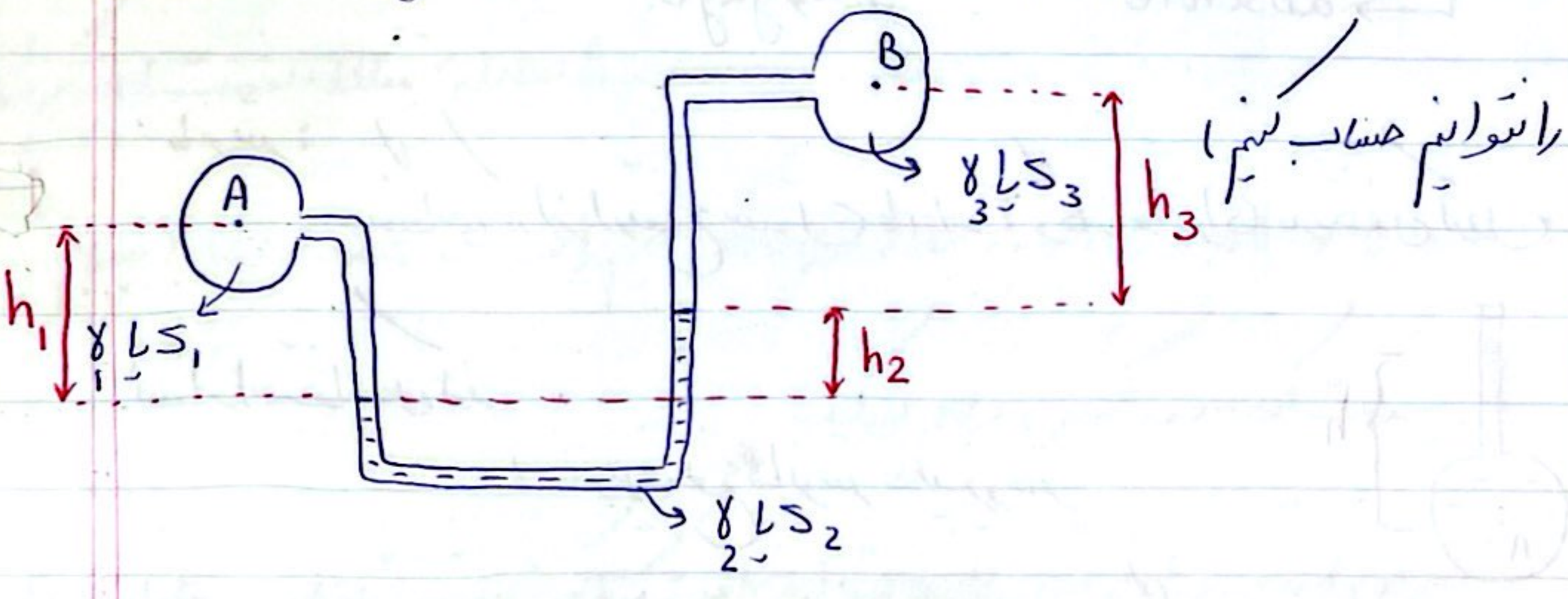
$$h_A + h_2 S_1 - h_1 S_2 = 0$$

۱۰/۵

یک نقطه مبدأ در نظر می‌گیریم : فشار A را داریم اگر خلاف جهت محور y ها باشد جمع می‌کنیم (پایین می‌آید) اگر در جهت محور y ها بالا می‌رود کم می‌کنیم.

مانومتر دیفرانسیلی :

برای بدست آوردن اختلاف فشار (زمانیکه فشار دقیق هر دو نقطه را نتوانیم حساب کنیم)



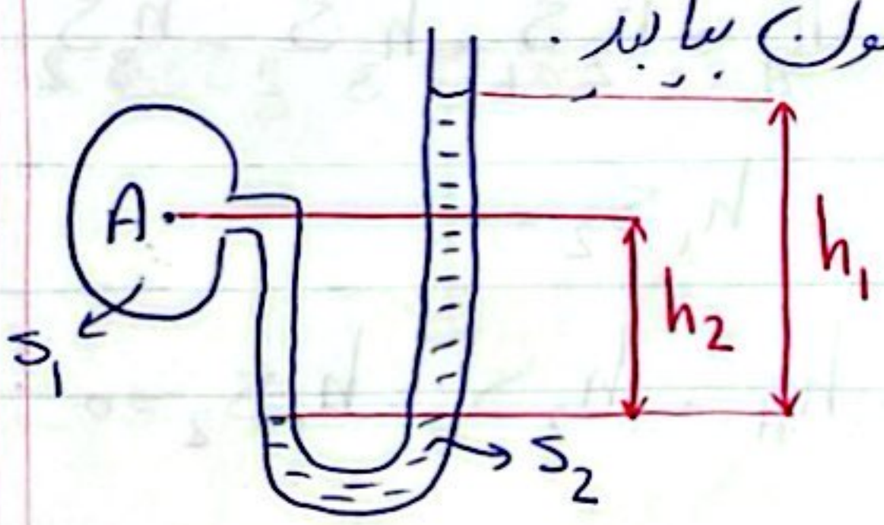
$$P_A + h_1\gamma_1 - h_2\gamma_2 - h_3\gamma_3 = P_B$$

$$P_A - P_B = -h_1\gamma_1 + h_2\gamma_2 + h_3\gamma_3$$

برحسب طول ستون آب

$$h_A - h_B = -h_1 S_1 + h_2 S_2 + h_3 S_3$$

مثال) اگر در شکل $h_1 = 150\,mm$ و $h_2 = 90\,mm$ و $S_1 = 0.86$ ، $S_2 = 1$ باشد، فشار نسبی P_A را برحسب میلیمتر جیوه پیدا کنید. وقتی بارومتر 720 mmHg را نشان دهد، فشار مطلق را برحسب متر آب ستون بیابید.



$$h_A + h_2 S_1 - h_1 S_2 = 0$$

$$h_A = -h_2 S_1 + h_1 S_2$$

11

$$h_A = 150 \times 1 - 90 \times 0.86 = 72.6 \text{ mm} = 0.0726 \text{ m}H_2O$$

$$h_A = 0.0726 \text{ m}H_2O + \frac{720 \text{ mm Hg}}{760 \text{ mm Hg}} \left| \frac{10.34 \text{ m}H_2O}{} \right. = 9.868 \text{ m}H_2O$$

ادامه ۱۱

معادله شیمیایی و استوکیومتری :

نسبت بین ضرایب معادله شیمیایی، نسبت استوکیومتری نامیده می‌شود و امکان می‌دهد تعداد مول‌های یک جسم را نسبت به تعداد مول‌های اجسام دیگر شرکت کننده در واکنش فراهم می‌کند.

فرض اساسی در این قبیل محاسبات این است که واکنش دقیقاً طبق معادله شیمیایی صورت گرفته و تا ۱۰۰٪ تکمیل می‌شود.

مثال) تجزیه یک سنگ آهک با درصد زیر است :

$CaCO_3$	92.89 %
$MgCO_3$	5.41 %
مواد نامحلول	1.7 %

تعیین کنید از ۵ تن (1 ton = 2000 Ib) سنگ آهک فوق چند Ib اکسید کلسیم بدست می‌آید؟ ($M_w CaO = 56.08$) ($M_w CaCO_3 = 100$)

$$CaCO_3 \longrightarrow CaO + CO_2$$

$CaCO_3$ 92.89 Ib ← در ۱۰۰ Ib سنگ آهک = ؟

$$x \text{ Ib mol } CaCO_3 = \frac{92.89 \text{ Ib } CaCO_3}{100 \text{ Ib } CaCO_3} \left| \frac{1 \text{ Ib mol } CaCO_3}{} \right. = 0.9289 \text{ Ib mol } CaCO_3$$

$$0.9289\ \text{Ib mol } CaCO_3 \left|\frac{1\ \text{Ib mol } CaO}{1\ \text{Ib mol } CaCO_3}\right.\left|\frac{56.08\ \text{Ib } CaO}{1\ \text{Ib mol } CaO}\right.$$

$$= 52.1\ \text{Ib } CaO$$

$$\frac{52.1\ \text{Ib } CaO}{100\ \text{Ib سنگ آهک}}\left|\frac{2000\ \text{Ib}}{1\ \text{ton}}\right|\frac{5\ \text{ton}}{} = 5210\ \text{Ib } CaO$$

مثال) چند پاوند اکسیژن برای سوزاندن 10 Ib بنزن (C_6H_6) و تبدیل آن به کاربن دی اکسید و بخار آب لازم است؟

	C_2H_6	O_2	CO_2	H_2O
M_w	78	32	44	18

$$C_6H_6 + 7.5\ O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + 3\ H_2O$$

$$x\ \text{Ib } O_2 = \frac{10\ \text{Ib Bz}}{78\ \text{Ib Bz}}\left|\frac{1\ \text{Ibmol Bz}}{1\ \text{Ibmol Bz}}\right|\frac{7.5\ \text{Ibmol } O_2}{1\ \text{Ibmol } O_2}\left|\frac{32\ \text{Ib } O_2}{}\right. = 30.8\ \text{Ib } O_2$$

در واکنش‌های صنعتی کمتر معلست مقادیر استوکیومتری مواد مورد استفاده قرار گیرند برای انجام یک واکنش مطلوب با صنعتی معمولاً همیشه ترکیب شونده های اضافی بکار برده می شوند. مواد اضافی بصورت ترکیب شونده های مصرف نشده همراه با محصولات اصلی و جانبی بدست می آیند.

کا ترکیب شونده محدود کننده، جسمی است که کمترین مقدار استوکیومتری را دارد.

کا ترکیب شونده اضافی، جسمی است که از مقدار در ترکیب شونده محدود کننده.

$$\text{٪ اضافی} = \frac{\text{مول های اضافی}}{\text{مول های لازم برای ترکیب با ترکیب شونده محدود کننده}} \times 100$$

هوای اضافی:

در واکنش‌های احتراق به کاری رود یعنی مقدار هوای موجود نه مازاد بر مقدار هوای تئوری لازم جهت احتراق کامل مواد قابل سوختن وارد شده است. (حتی اگر قسمتی از ترکیب شونده محدود کننده وارد فعل و انفعال شود، مقادیر لازم و اضافی را به مبنای کل مقدار ترکیب شونده محدود کننده محاسبه می کنند)

میزان تبدیل: conversion

جزئی از خوراک یا جزئی از یک ماده موجود در خوراک که به محصول تبدیل می شود.

تولید انتخابی: Selectivity

نسبت تعداد مول های یک محصول معین (محصول مطلوب) به تعداد مول های یک محصول دیگر (یا مطلوب) که در یک دسته واکنش ایجاد می شود.

بازده: Yield.

جرم یا تعداد مول های محصول های تقسیم بر جرم یا تعداد مول های ترکیب شونده اولیه

$A \longrightarrow B \longrightarrow C$

$A \longrightarrow C$

B مطلوب

C نامطلوب

$$\text{بازده} = \frac{B}{A} \qquad \text{تولید انتخابی} = \frac{B}{C}$$

۱۱)

مثال)

$$Sb_2S_3 + 3Fe \longrightarrow 2Sb + 3FeS$$

MW 339.7 55.8 121.8 87.9

فرض می کنیم 0.6 kg سولفور انتیموان را با 0.25 kg آهن حرارت داده و 0.2 kg فلز انتیموان بدست آورده اند. مطلوبست: الف) ترکیب شونده محدود کننده

$$x\ mol\ Sb_2S_3 = \frac{0.6\ kg\ Sb_2S_3 \mid 1\ kgmol\ Sb_2S_3}{339.7\ kg\ Sb_2S_3} = 0.00176\ kgmol\ Sb_2S_3$$

$$x\ mol\ Fe = \frac{0.25\ kg\ Fe \mid 1\ kgmol\ Fe}{55.8\ kg\ Fe} = 0.00448\ kgmol\ Fe$$

$$1\ mol\ Sb_2S_3 \sim 3\ mol\ Fe$$

$$0.00176\ mol\ Sb_2S_3 \sim 0.00528\ mol\ Fe$$

$0.00528 > 0.00448$ (۳٫۸ موجود)

پس Fe ترکیب شونده محدود کننده است.

ب) درصد ترکیب شونده اضافی برای مصرف کل Fe چه مقدار Sb_2S_3 لازم است؟

$$\frac{0.00448\ kgmol\ Fe \mid 1\ kgmol\ Sb_2S_3}{3\ kgmol\ Fe} = 0.00149\ kgmol\ Sb_2S_3$$

$$\frac{0.00176 - 0.00149}{0.00149}(100) = 18.12\%$$

تمرین) $CO + Cl_2 \longrightarrow COCl_2$ فرض کنید محصولات واکنش حاصل از یک راکتور را تجزیه کرده و دریافته اید که شامل ۳ kgmol کلر، 10 kgmol فسژن و

$V\ Kg\ mol$ گاز CO لوده است. مطلوبست:

الف) درصد ترکیب شونده اضافی ب) درصد تبدیل ترکیب شونده محدود کننده

ج) فشار تولید شده بر حسب کیلوپاسکال پس از حل ترکیب

شونده‌های ورودی به راکتور.

$1\ Kgmol\ CO \sim 1\ Kgmol\ Cl_2 \rightarrow 1\ Kg\ COCl_2$

$3\ Kg\ mol\ Cl_2 \sim 4\ Kgmol\ CO \Longrightarrow 3\ Kgmol\ COCl_2$

پس CO ماده اضافی است

در ابتدای واکنش:

$$CO + Cl_2 \longrightarrow COCl_2$$

$$10 \quad 10$$

$$+\ V \quad +\ 3$$

$$17 \quad 13$$

CO مورد نیاز برای تکمیل واکنش $13\ kgmol$ از Cl_2

درصد CO اضافی $\frac{17-13}{13} \times 100 = 31$ از

ب) محدود کننده Cl_2 است و مقدار $10\ kgmol$ از آن تبدیل شده:

درصد تبدیل $\frac{10}{13} \times 100 = 77$ از

ج)

$$\frac{10\ kg\ mol\ COCl_2}{(17+13)\ kg\ mol\ \text{مواد ورودی}} = 0/33\ \frac{kgmol\ COCl_2}{kg\ mol\ \text{کل}}$$

موازنه مواد:

قانون بقای جرم: جرم نه بوجود می آید و نه معدوم می شود - جرم جهان مقداری ثابت است. جرم هر سیستم مجزا ثابت است.

سیستم: قسمتی دلخواه یا کل ماده که مورد بحث و تحلیل قرار می گیرد.

مرز سیستم: خطی فرضی که سیستم را از بقیه فضای اطراف جدا می سازد.

محیط: هر چیزی که در سیستم قرار نگیرد.

سیستم { باز = ماده از مرزهای آن عبور می کند
بسته = انتقال ماده از مرز سیستم در مدت زمان بررسی سیستم انجام نمی گیرد.

مصرف ماده − تولید ماده + جرم خروجی − جرم ورودی = جرم تجمع یافته در
در داخل واحد در داخل واحد از محدوده سیستم داخل محدوده سیستم یک سیستم

اگر واکنش شیمیایی صورت نگیرد

خروجی − ورودی = تجمع

در صورتیکه تجمع وجود نداشته باشد

خروجی = ورودی

در حالت پایدار (تغییرات نسبت به زمان نداریم $\frac{\partial}{\partial t}=0$) تجمع نداریم.

سیستم باز در حالت پایدار، بدون واکنش شیمیایی: خروجی = ورودی

در سیستم بسته: مصرف − تولید = تجمع

نکته: موازنه مواد براساس جرم برقرار می‌شود نه حجم یا مول.

مثال) فرض کنید ۱۲۰۰ کیلوگرم ذغال‌سنگ در ساعت (متشکل از ٪۸۰ C، ٪۱۰ H و ٪۱۰ مواد بی‌اثر فرض می‌شود) از قسمت بالای یک رآکتور داخل آن ریخته شود. تمام ذغال‌سنگ، خاکستر و یا گاز در واحد وجود ندارد.

الف) چند کیلوگرم ذغال‌سنگ در ساعت از رآکتور خارج می‌شود؟

ب) اگر ۱۵۰۰۰ کیلوگرم هوا در ساعت به داخل رآکتور دمیده شود، چند کیلوگرم هوا در ساعت از رآکتور خارج خواهد شد؟

ج) اگر ۲۰۰۰ کیلوگرم در ساعت بخار آب نیز به آن اضافه شود، چند کیلوگرم در ساعت گازهای حاصل از احتراق و سوخت جامد از رآکتور خارج خواهد شد؟

تحول پایدار و یکنواخت است خروجی − ورودی = تجمع

الف) ۱۲۰۰ Kg در ساعت خارج خواهد شد.

ب) ۱۵۰۰۰ kg هوا باید از رآکتور خارج شود.

ج) تمام مواد موجود در ذغال‌سنگ به غیر از مواد جامد بی‌اثر بصورت گاز از رآکتور خارج می‌شوند

$$\frac{1200\ kg\ coal}{100\ kg\ coal} \left| \frac{10\ kg\ inert}{} \right. = 120\ kg\ inert$$

۱۴۰۵

		kg
ورودی ها	coal	۱۲۰۰
	Air	۱۵۰۰۰
	بخار	۲۰۰۰
	ظ	۱۸۲۰۰ − ۱۲۰ = ۱۸۰۸۰ kg/hr gases

مثال) اگر ۳۰۰ پاوند هوا و ۲۴ پاوند کربن را در دمای ۶۰۰ F در راکتوری قرار داده و پس از احتراق کامل هیچ ماده ای در راکتور باقی نماند، چند پاوند کربن خارج شده است؟ چند پاوند اکسیژن؟ کل مواد خروجی چند پاوند بوده است؟ مول های ورودی و خروجی کربن و اکسیژن چقدر بوده است؟

$$300\ Ib\ Air \longrightarrow \begin{cases} 21\%\ O_2 \\ 79\%\ N_2 \end{cases} \quad \text{در حد تئوری}$$

$$24\ Ib\ C$$

$$\frac{300\ Ib\ Air}{} \left| \frac{1\ Ibmol\ Air}{29\ Ib\ Air} \right| \frac{0.21\ Ibmol\ O_2}{1\ Ibmol\ Air} = 2.18\ Ibmol\ O_2$$

$$\frac{300\ Ib\ Air}{} \left| \frac{1\ Ibmol\ Air}{29\ Ib\ Air} \right| \frac{0.79\ Ibmol\ N_2}{1\ Ibmol\ Air} = 8.2\ Ibmol\ N_2$$

$$\frac{24\ Ib\ C}{} \left| \frac{1\ Ibmol\ C}{12\ Ib\ C} \right. = 2\ Ibmol\ C$$

input	Ibmol	M.W	Ib
O_2	2.18	32	70
N_2	8.2	28	230
C	2	12	24
total	12.38		324

$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$ واکنش کامل

$$2\,mol\,C \sim 2\,mol\,O_2$$

O_2 اضافی $= 2.18 - 2 = 0.18\ Ibmol\ O_2$ اضافی

output	Ibmol	M.W	Ib
O_2	0.18	32	5.76
N_2	8.2	28	230
CO_2	2	44	88
total	10.38		324

تجزیه و تحلیل مسائل موازنه:

در دو دسته از اطلاعات بنیانی که در تجزیه و تحلیل مسائل موازنه مواد مورد نیاز ما است

در نظر می گیریم:

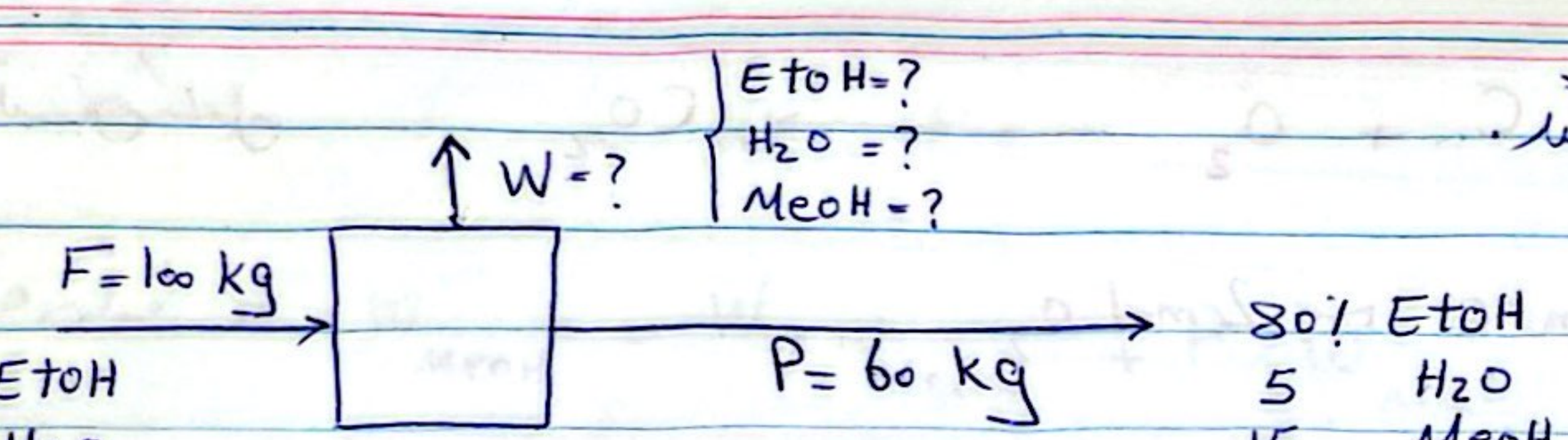
الف) جرم (وزن) کل جریانهای ورودی و خروجی سیستم

ب) ترکیب نسبی جریانهای ورودی و خروجی سیستم

فرض می کنیم فرآیند مورد مطالعه بصورت مداوم و پایدار (یعنی تجمع یا انفصال مواد در داخل سیستم وجود ندارد) انجام گیرد.

در بررسی مسائل موازنه مواد همواره باید اطمینان حاصل کرد که تعداد معادلات مستقل با تعداد مجهولاتی که مقادیر آنها باید با حل معادلات تعیین شود برابر است.

۱۵,۵



برای من باشد.

موازنه کلی $F = W + P$

$100 = W + 60 \longrightarrow W = 40\ kg$

موازنه جزء به جزء $F w_{EtoH} = W w_{EtoH} + P w_{EtoH}$

$100\ (0.15) = 40\ (w_{EtoH}) + 60\ (0.8)$

$\rightsquigarrow w_{EtoH} = 0.05$

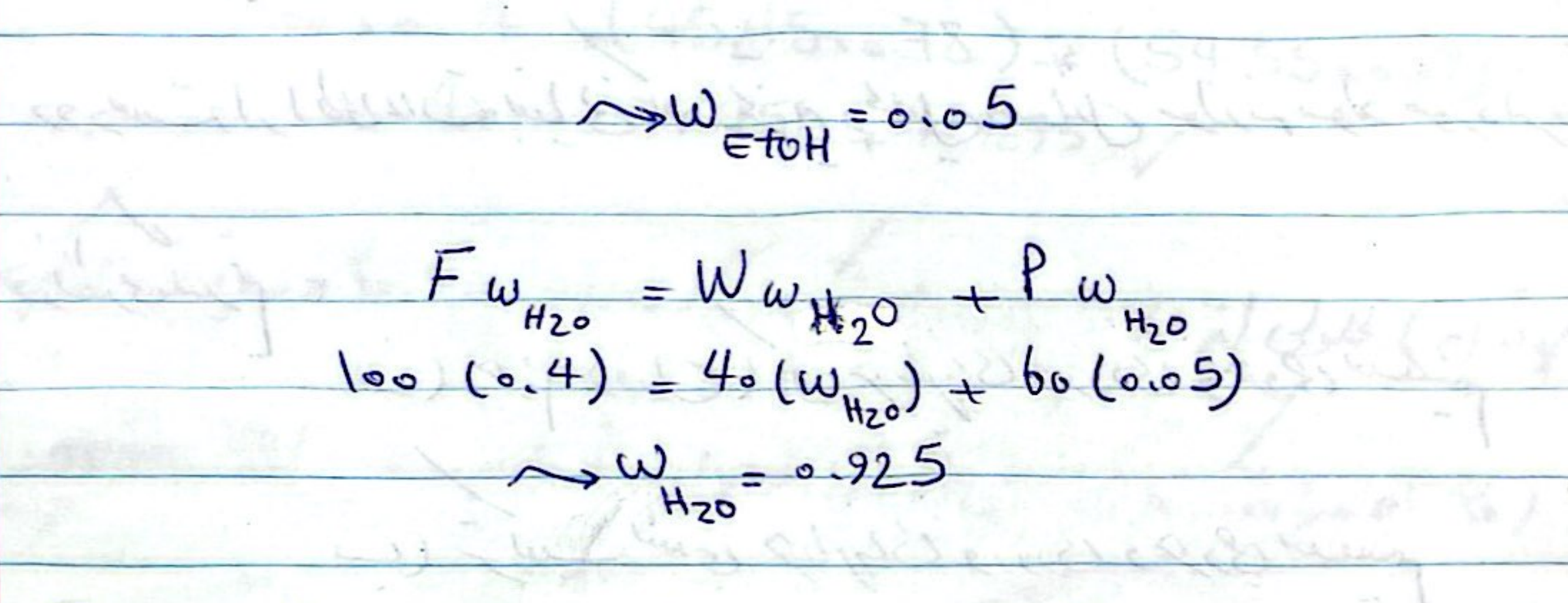
$F w_{H_2O} = W w_{H_2O} + P w_{H_2O}$

$100\ (0.4) = 40\ (w_{H_2O}) + 60\ (0.05)$

$\rightsquigarrow w_{H_2O} = 0.925$

$\Sigma w_w = 1 \qquad w_{H_2O} + w_{EtoH} + w_{MeoH} = 1$

$w_{MeoH} = (1 - 0.925 - 0.05) = 0.025$



موازنه کلی $F = W + P$

موازنه جزئی $F \times W_{MeOH} = W \times W_{MeOH} + P \times W_{MeOH}$

$100 \times 0.1 = W \times 0.22 + 0$

$\rightsquigarrow W = 45.45 \text{ kg}$

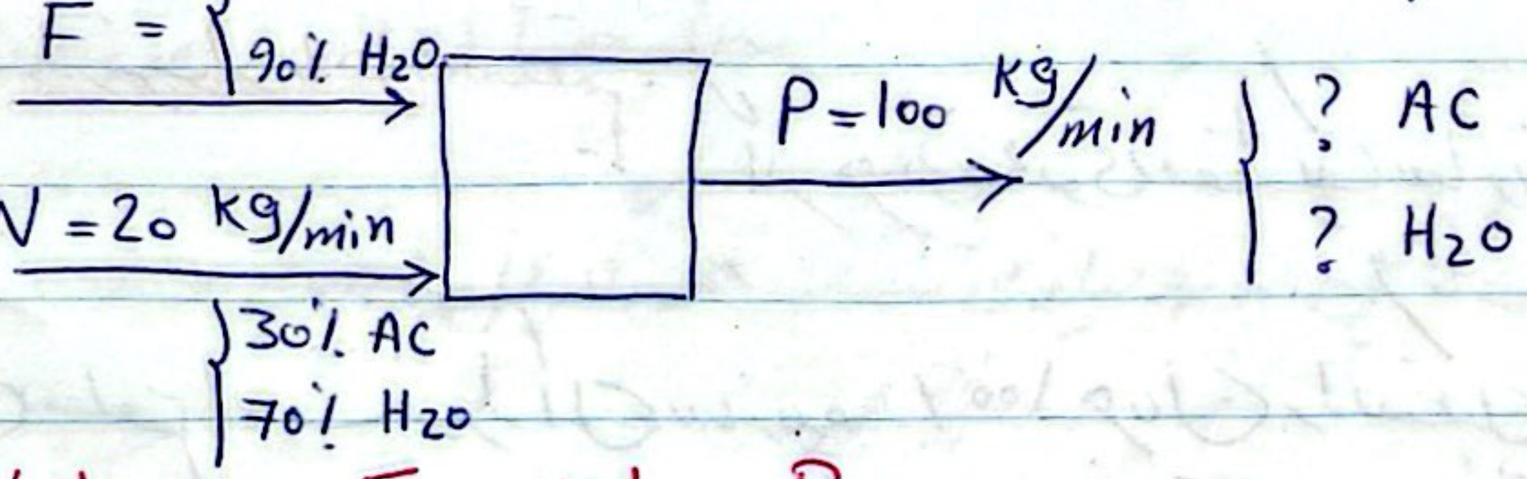
$\Rightarrow P = 100 - 45.45 = 54.55 \text{ kg}$

موازنه جزئی H_2O $F \times W_{H_2O} = W \times W_{H_2O} + P \times W_{H_2O}$

$100 \times 0.4 = (45.45 \times 0.78) + (54.55 \times 0.09)$

$40 = 35.451 + 4.9095$ ✓

مثال) محلولی از ٪۱۰ اسید استیک در آب را با ۲۰ kg در دقیقه از یک محلول ٪۳۰ اسید استیک در آب بی افزایید. محصول P با شدت 100 kg/min خارج می شود ترکیب نسبی P چیست؟



موازنه کلی $F + W = P$

$F + 20 = 100 \rightsquigarrow F = 80 \text{ kg/min}$

موازنه جزئی AC

$$F \times w_{AC} + W \times w_{AC} = P \times w_{AC}$$

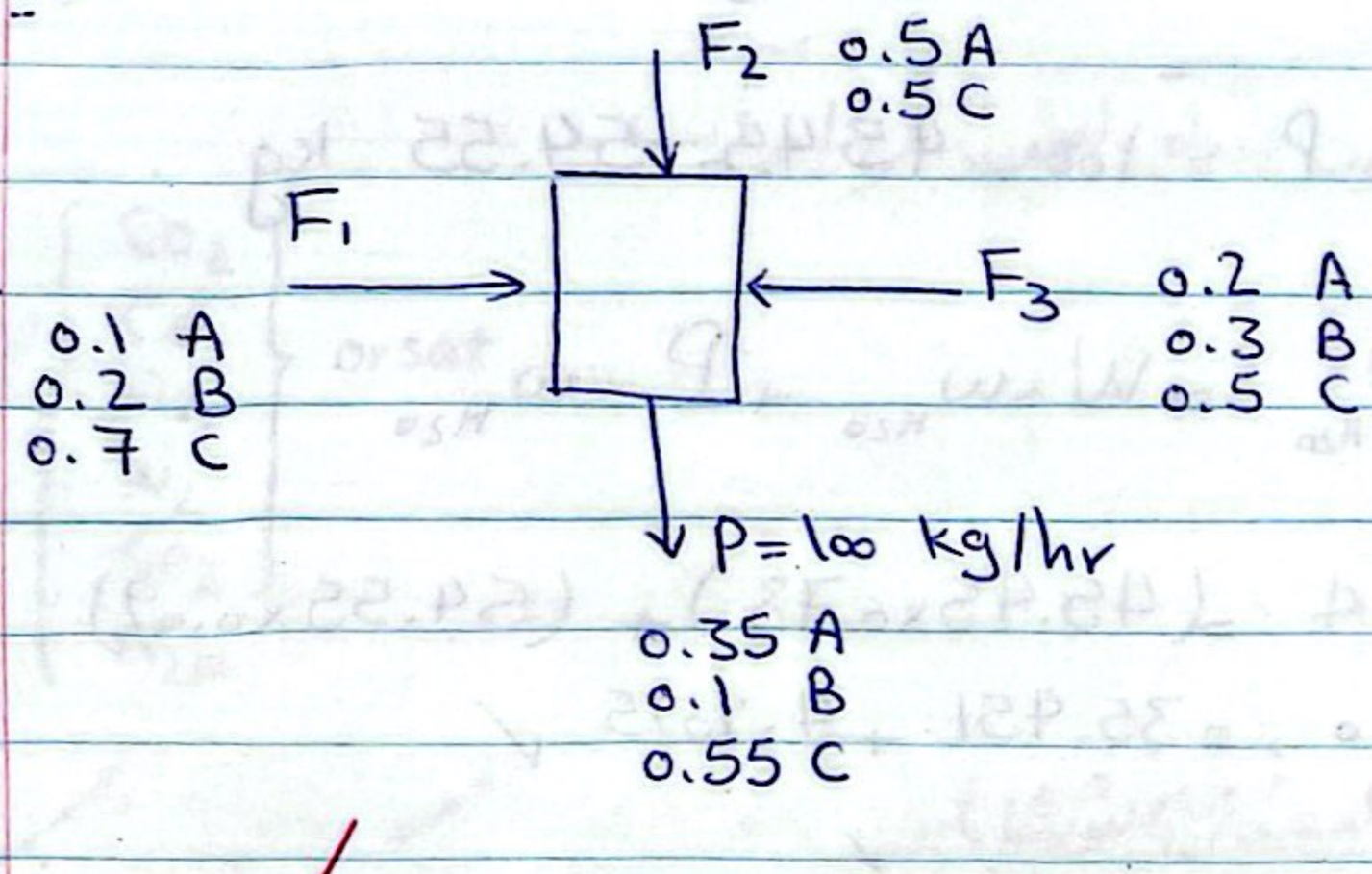
$$80 \times 0.1 + 20 \times 0.3 = 100 \times w_{AC}$$

$$\rightsquigarrow w_{AC} = 0.14$$

$$w_{AC} + w_{H_2O} = 1 \quad \rightsquigarrow w_{H_2O} = 1 - 0.14 = 0.86$$

تمرین:

مثال) برای فرایند نشان داده شده، حداکثر تعداد موازنه‌های مستقل مواد را تعیین کنید، آنها را بنویسید.



موازنه کل $F_1 + F_2 + F_4 = P$

موازنه‌های جزئی

$$0.1F_1 + 0.5F_2 + 0.2F_3 = 0.35 \times 100$$

$$0.2F_1 + 0F_2 + 0.3F_3 = 0.1 \times 100$$

$$0.7F_1 + 0.5F_2 + 0.5F_3 = 0.55 \times 100$$

مسائل موازنه مواد با حل مستقیم:

اگر جریانی محتوی فقط یک سازنده باشد، ترکیب نسبی آن معلوم است زیرا آن سازنده ۱۰۰٪ جریان را تشکیل می‌دهد.

مسائل اختلاط:

- گاز دودکش یا توده گاز Flue or Stack gas

تمام گازهای حاصل از احتراق با در نظر گرفتن بخار آب موجود در آنها را، برخی اوقات تمام مبنای مرطوب می خوانند.

- تجزیه ارسات یا مبنای خشک Orsat analysis or dry basis

تمام گازهای حاصل از احتراق است بجز بخار آب.

گاز دودکش { CO_2, CO, O_2, N_2, SO_2, H_2O } orsat

- هوای تئوری (یا اکسیژن تئوری):

مقدار هوائی (یا اکسیژنی) است که برای احتراق کامل با بیشتری وارد تحول شود. (هوای مورد نیاز)

- هوای اضافی (یا اکسیژن اضافی):

مقدار هوا (یا اکسیژن) مازاد بر آنچه جهت احتراق کامل مورد نیازی باشد. حتی اگر تکمیل احتراق بطور ناقص انجام شود، مثلاً کربن به CO و CO_2 تبدیل گردد، هوای (اکسیژن) اضافی مانند حالتی نه فقط CO_2 در واکنش حاصل شود می تواند شد.

۱۷,۵

درصد هوای اضافی و درصد O_2 اضافی یکسان هستند.

$$\frac{O_2 \text{ اضافی}}{O_2 \text{ مورد نیاز}} \times 100 = \frac{\text{هوای اضافی}}{\text{هوای مورد نیاز}} \times 100 = \%\text{هوای اضافی}$$

$$\%\text{هوای اضافی} = \frac{O_2 \text{ ورودی به فرایند} - O_2 \text{ مورد نیاز}}{O_2 \text{ مورد نیاز}} \times 100$$

O_2 اضافی + O_2 لازم برای احتراق کامل = O_2 ورودی به فرایند

مثال) در یک آزمایش ۲۰ پاوند C_2H_4 با ۴۰۰ پاوند هوا سوخته و تولید 44 پاوند CO_2 و 12 پاوند CO کرده است. درصد هوای اضافی چه بوده است؟

درصد هوای اضافی بر مبنای احتراق کامل C_2H_4 و تبدیل آن به CO_2 و H_2O در نظر گرفته می‌شود.

$$C_2H_4 + 3O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O$$

$$\frac{20 \text{ Ib } C_2H_4}{28 \text{ Ib } C_2H_4} \left| \frac{1 \text{ Ibmol } C_2H_4}{1 \text{ Ibmol } C_2H_4} \right| \frac{3 \text{ Ibmol } O_2}{1 \text{ Ibmol } C_2H_4} = 2.14 \text{ Ibmol } O_2$$

لازم برای احتراق کامل

$$\frac{400 \text{ Ib @ir}}{29 \text{ Ib air}} \left| \frac{1 \text{ Ibmol air}}{1 \text{ Ibmol air}} \right| \frac{0.21 \text{ Ibmol } O_2}{1 \text{ Ibmol air}} = 2.9 \text{ Ibmol } O_2$$

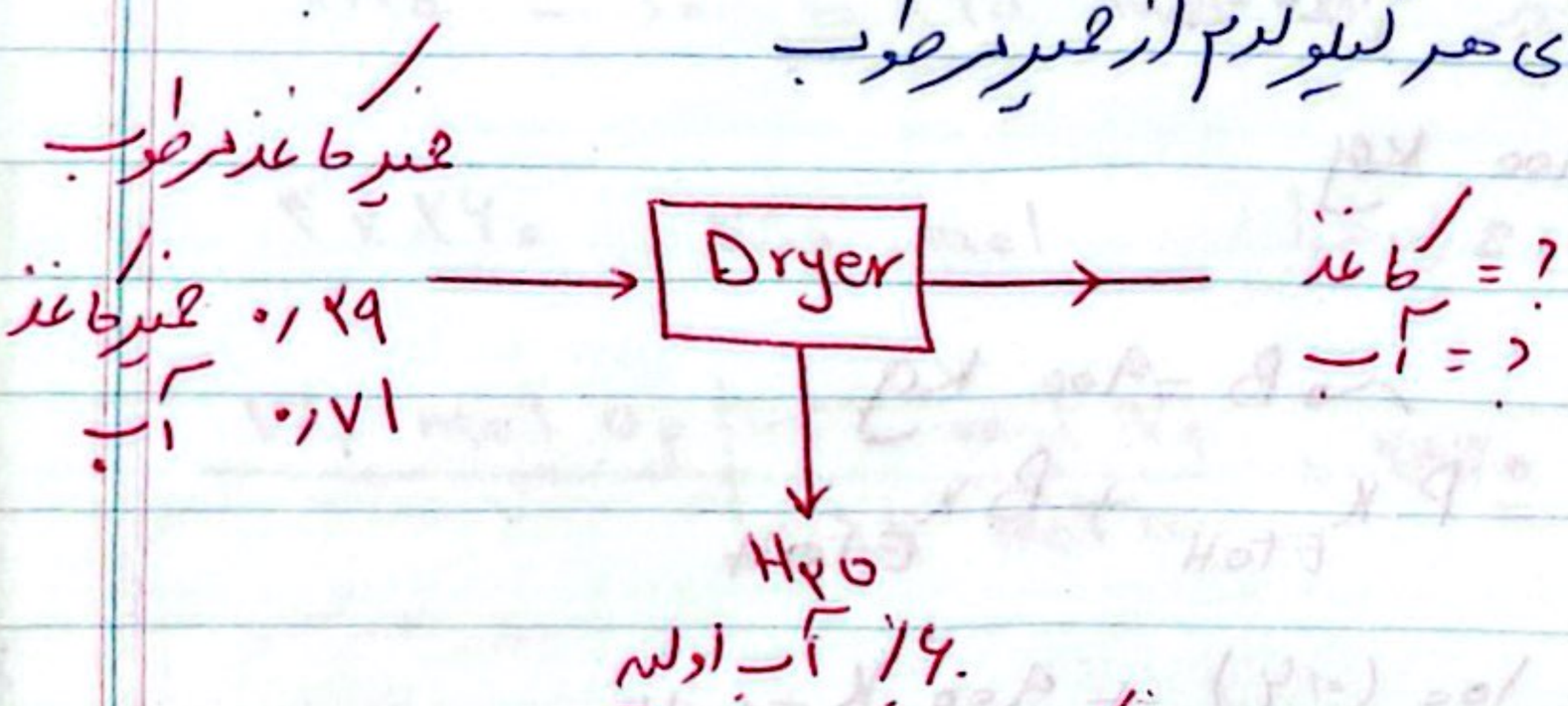
ورودی با هوا

$$\text{درصد هوای اضافی} = \frac{2.9 - 2.14}{2.14} \times 100 = 35.5\ \%$$

مثال) یک خمیرکاغذ مرطوب محتوی ۷۱٪ آب است. پس از خشک کردن خمیر، معلوم می‌شود ۶۰٪ آب اولیه خارج شده است. طبیت های زیر را محاسبه کنید؟

الف) ترکیب نسبی خمیر خشک

ب) جرم آب خروجی، ازای هر کیلوگرم از خمیر مرطوب



مبنا = کیلوگرم از خمیر مرطوب $\begin{cases} 0/29\ kg & \text{کاغذ} \\ 0/71\ kg & \text{آب} \end{cases}$

آب خارج شده $0/71 \times 0/6 = 0/426\ kg$

آب باقی مانده $0/71 - 0/426 = 0/284\ kg$

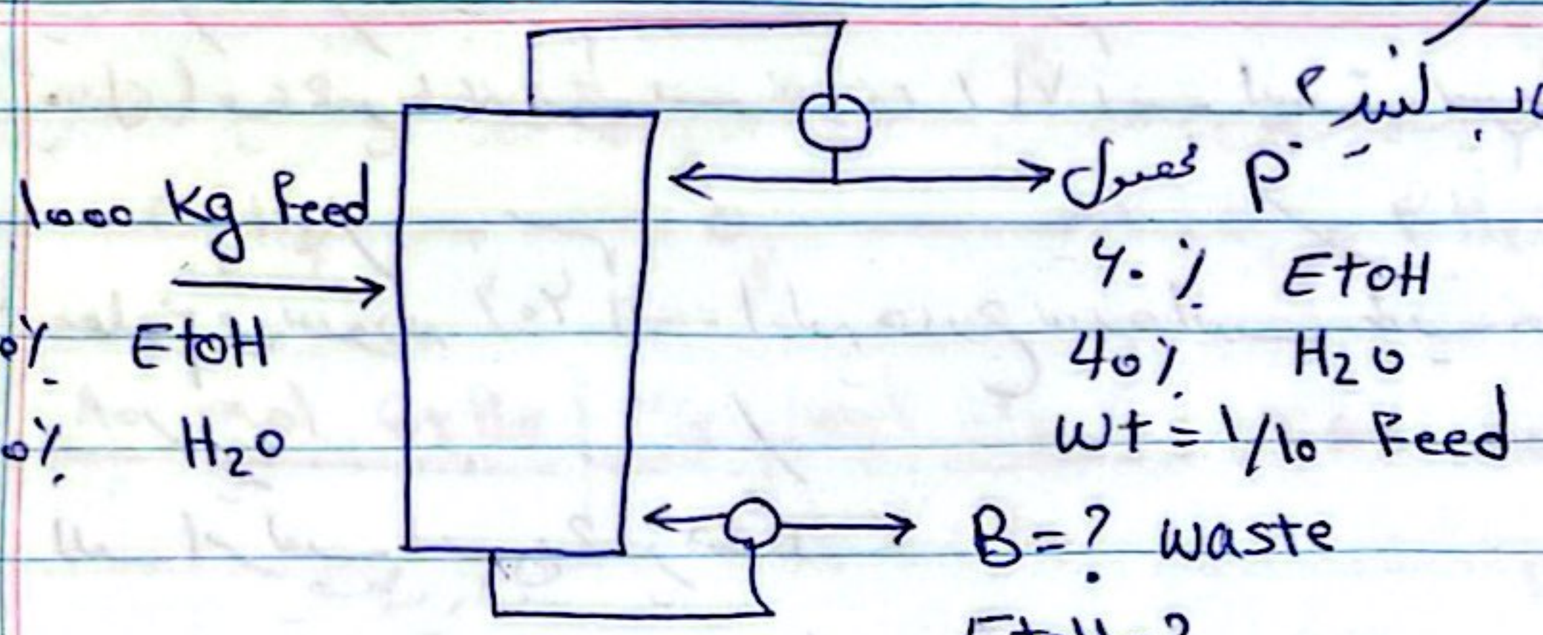
موازنه خمیرکاغذ ... ۱۰

ورودی $0/29\ kg$ = خروجی $0/29\ kg$

$$\text{خروجی} = \begin{cases} 0/29\ kg & \text{کاغذ} \\ 0/284\ kg & \text{آب} \end{cases}$$

مثال) نحوه عملکرد برج تقطیری نشان داده شده. ترکیب نسبی بنزن و وزن کل

۱۸/۵



مقدار آن را حساب کنید؟

$P = 0.1(1000) = 100$ kg

$F = P + B$

$1000 = 100 + B \rightsquigarrow B = 900$ kg

موازنه EtoH $\rightarrow$ $F x_{EtoH} = P x_{EtoH} + B x_{EtoH}$

$1000(0.1) = 100(0.4) + 900\, x_{EtoH}$

$\hookrightarrow$ ٪۰۴۴ = ۴۴٪

$\sum x_i = 1 \rightsquigarrow 1 - 0.044 = 0.956 = x_{H_2O} = 95.6\%$

مثال) ابتدا اتان را با اکسیژن مخلوط کرده و گازی متشکل از ٪۸۰ C_2H_6 و ٪۲۰ O_2 بدست می آورند سپس گاز حاصل را با ٪۲۰۰ هوای اضافی می سوزانند هیدروژن درصد اتان به CO_2 و ٪۱۰ آن به CO تبدیل شده و بقیه بدون تغییر باقی می ماند. ترکیب شیمیایی گازهای خروجی را بر مبنای مرطوب حساب کنید؟

سبضا = ۱۰۰ mol گاز ورودی { ۸۰ mol اتان / ۲۰ mol اکسیژن

O_2 ورودی ۳ برابر O_2 لازم است (٪۱۰۰ مورد نیاز + ٪۲۰۰ اضافی)

برای محاسبه O_2 لازم به فرض احتراق کامل انجام می‌شود.

$$C_2H_6 + 3.5\,O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 3H_2O$$

$$\frac{80\ mol\ C_2H_6 \mid 3.5\ mol\ O_2}{1\ mol\ C_2H_6} = 280\ mol\ O_2$$

O_2 لازم برای احتراق کامل

از سوخت ورودی همراه آب

O_2 که همراه هوا باید وارد شود $= 280 - 20 = 260\ mol\ O_2$

O_2 ورودی همراه هوا $= 3 \times 260 = 780\ mol$

ورودی همراه هوا N_2

$$\frac{780\ mol\ O_2 \mid 0.79\ mol\ N_2}{0.21\ mol\ O_2} = 2930\ mol\ N_2$$

$$\frac{0.8 \times 80\ mol\ C_2H_6 \mid 2\ mol\ CO_2}{1\ mol\ C_2H_6} = 128\ mol\ CO_2$$

$$\frac{0.8 \times 80\ mol\ C_2H_6 \mid 3\ mol\ H_2O}{1\ mol\ C_2H_6} = 192\ mol\ H_2O$$

$$C_2H_6 + 2.5\,O_2 \longrightarrow 2CO + 3H_2O$$

$$\frac{0.1 \times 80\ mol\ C_2H_6 \mid 2\ mol\ CO}{1\ mol\ C_2H_6} = 16\ mol\ CO$$

$$\frac{0.1 \times 80\ mol\ C_2H_6 \mid 3\ mol\ H_2O}{1\ mol\ C_2H_6} = 24\ mol\ H_2O$$

آب $= 24 + 192 = 216\ mol\ H_2O$

O_2 لازم برای تولید CO_2

$$\frac{0.8 \times 80\ mol\ C_2H_6 \mid 3.5\ mol\ O_2}{1\ mol\ C_2H_6} = 224\ mol\ O_2$$

O_2 ۲،۵ برای تولید CO

$$\frac{0{,}1\times 80\ mol\ C_2H_6}{1\ mol\ C_2H_6} \left| \frac{2{,}5\ mol\ O_2}{} \right. = 20\ mol\ O_2$$

ورودی O_2 = ۷۸۰ + ۲۰

مصرفی O_2 = ۲۲۴ + ۲۰

خروجی O_2 = ۷۸۰ + ۲۰ − ۲۲۴ − ۲۰ = ۵۵۶ mol O_2

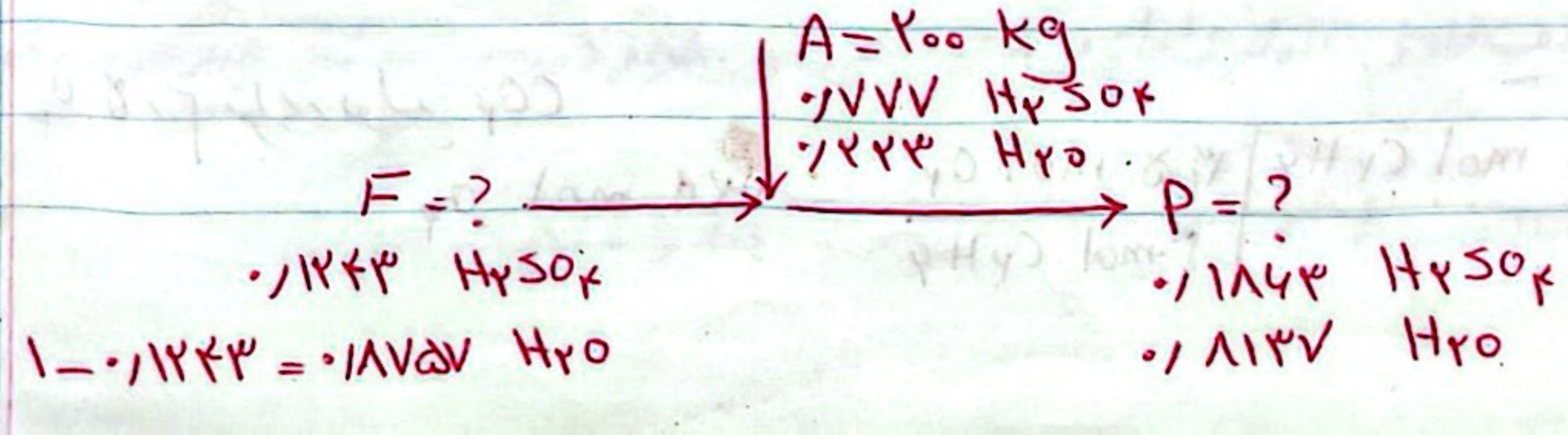
خروجی	mol	ورودی	mol
C_2H_6	۸	C_2H_6	۸۰
O_2	۵۵۶	O_2	۲۰
N_2	۲۹۴۰	O_2	۷۸۰ (هوا)
CO_2	۱۲۸	N_2	۲۹۴۰ (هوا)
CO	۱۴		
H_2O	۲۱۶		

نقطه اختلاط = محل تقاطع سه و یا تعداد بیشتری از جریان‌هاست و می‌تواند دقیقاً مشابه با یک دستگاه مورد بررسی قرار گیرد.



مثال) مخزنی محتوی ٪ ۱۲،۴۳ H_2SO_4 می‌باشد، بقیه آب خالص است.

اگر ۲۰۰ kg محلول ٪ ۷۷،۱۷ H_2SO_4 به مخزن اضافه شود و محلول زیر حاصل شود، دارای ٪ ۱۸،۶۳ H_2SO_4 باشد، چند کیلوگرم اسید تولید شده است؟



۲۰

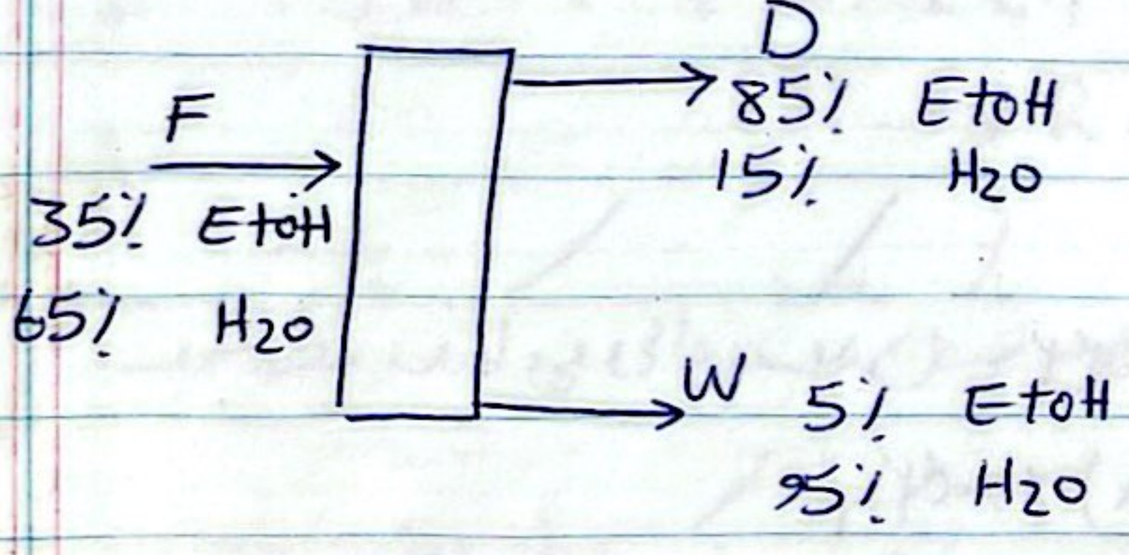
$$F + ۲۰۰ = P \quad \rightsquigarrow F = P - ۲۰۰$$

H_2SO_4 موازنه $\quad F(۰/۱۲۴۴) + ۲۰۰(۰/۷۷۷) = P(۰/۱۸۶۳)$

$$(P - ۲۰۰)(۰/۱۲۴۴) + ۲۰۰(۰/۷۷۷) = P(۰/۱۸۶۳)$$

$$\rightsquigarrow P = ۲۱۱۰ \text{ kg} \quad \& \quad F = ۱۹۱۰ \text{ kg}$$

مثال) با توجه به شکل وزن محصول مقطر را بر حسب kg به ازای هر kg از خوراک و هر kg از پس آب تعیین کنید.



مبنا = ۱ kg خوراک

$$F = D + W$$
$$۱ = D + W$$

موازنه EtoH $\quad ۱ \times ۰/۳۵ = D(۰/۸۵) + W(۰/۱۵)$

موازنه H_2O $\quad ۱ \times ۰/۶۵ = D(۰/۱۵) + W(۰/۹۵)$

$$W = ۱ - D$$

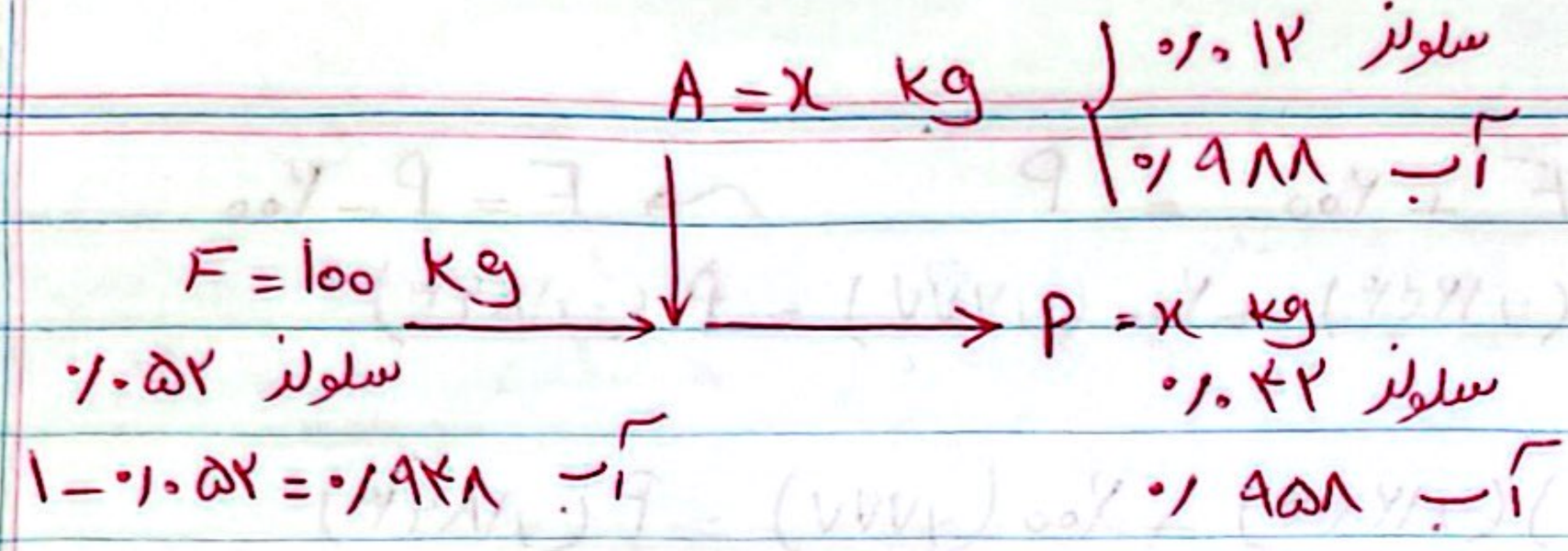
$$D = ۰/۳۷۵ \text{ kg / kg Feed}$$

$$W = ۱ - ۰/۳۷۵ = ۰/۶۲۵ \text{ kg}$$

$$\frac{D}{W} = \frac{۰/۳۷۵}{۰/۶۲۵}$$

تمرین) یک محلول سلولز دارای ۵/۲٪ وزنی سلولز در آب است. چند کیلوگرم محلول ۱/۲٪ را نیست تا ۱۰۰ کیلوگرم از محلول ۵/۲٪ را تا ۴/۲٪ رقیق کند؟

۲۰/۵



$$F + A = P$$

$$100 + A = P$$

$$100 \times \%05.2 = A \times \%01.2 + P \times \%04.2$$

$$5.2 = (-100 + P) \times \%01.2 + \%04.2\, P$$

$$F + A = P$$

$$100 + A = P$$

$$100 \times \%05.2 + A \times \%01.2 = P \times \%04.2$$

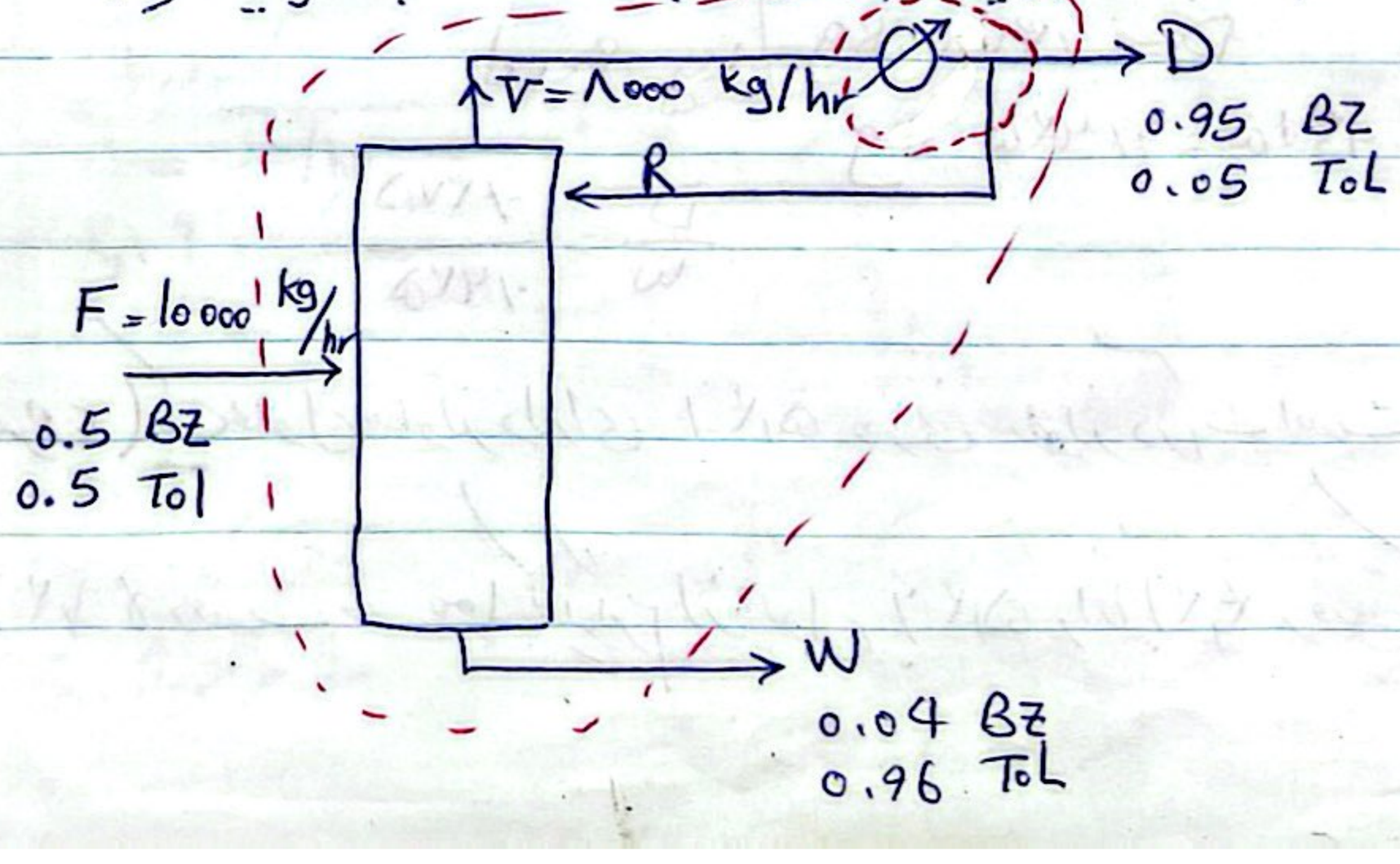
$$5.2 + A \times \%01.2 = (100 + A) \times \%04.2$$

$$5.2 + \%01.2A = 4.2 + \%04.2A$$

$$1 = \%03A \quad \begin{cases} A = 33.33 \\ P = 133.33 \end{cases}$$

جریان برگشتی بدون واکنش شیمیایی:

با توجه به شکل نسبت مقدار جریان برگشتی را به محصول خروجی تعیین کنید؟



$$M x_{KNO_3} = C x_{KNO_3} + R x_{KNO_3}$$

$$\%\Delta \quad M = 2083 \times 0.96 + R \, x_{KNO_3}$$

$R \longrightarrow 1\ kg\ H_2O + 0.6\ kg\ KNO_3 = 1.4\ kg$ محلول

$$\frac{0.4\ kg\ KNO_3}{1\ kg\ H_2O} \Big| \frac{1\ kg\ H_2O}{1.4\ kg\ \text{محلول}} = 0.375\ kg\ KNO_3/kg\ \text{محلول}$$

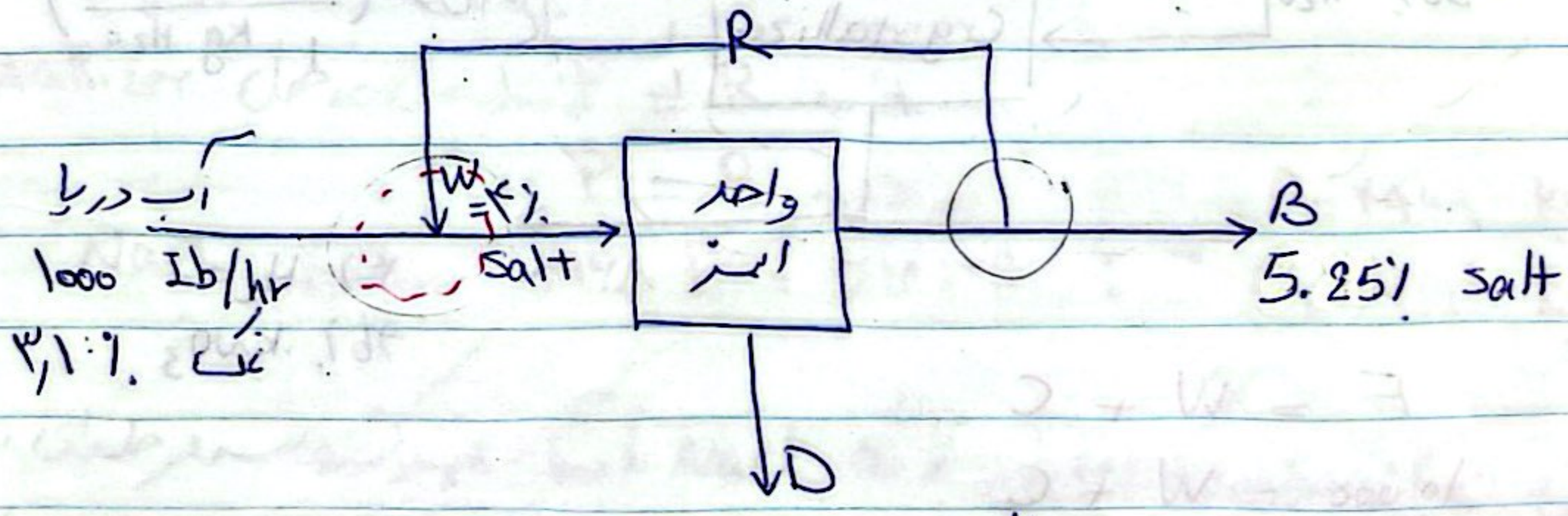
$$0.15\ M = 2083 \times 0.96 + R \times 0.375$$

$$\longrightarrow R = 7470\ kg/hr$$

مثال) آب دریا را به روش اسمز معکوس مطابق شکل نمک زدایی می کنند. مطلوبست:

الف) شدت جریان پساب شور ب) شدت جریان آب نمک زدایی شده

ج) جزئی از آب شور خروجی از واحد اسمز به برگردانده می شود.



موازنه کلی جرم $1000 = B + D$

موازنه کلی نمک $1000 \times \%0.31 = \%0.525 \times B + 5 \times 10^{-4} D$

$$\longrightarrow B = 514\ lb/hr \qquad D = 414\ lb/hr$$

$$F = W + D$$

$$10000 = W + D$$

$$F \times x_{Bz} = W \times x_{Bz} + D \times x_{Bz}$$

$$1000 \times \%\Delta = W \times \%\mathcal{C} + D \times .19\Delta \longrightarrow W = 6\Delta\Delta\circ \text{ kg/hr}$$

$$D = 3\circ 3\circ \text{ kg/hr}$$

$$V = R + D$$

$$1000 = R + 5\circ 5\circ \longrightarrow R = 2950 \text{ kg/hr}$$

$$\frac{R}{D} = \frac{2950}{5\circ 5\circ} = \circ/5\Lambda\mathcal{F}$$

(۳) مثال) نتایج مربوط به یک تبخیر کننده در شکل مشاهده می شود. مطلوبست سرعت جریان برگشتی بر حسب کیلوگرم در ساعت.

$$F = W + C \quad {}^{0.25}$$

$$10000 = W + C$$

$$F x_{KNO_3} = W x_{KNO_3} + C x_{KNO_3} \quad {}^{0.25}$$

$$10000 \times 0.2 = 0 + C \times .96 \quad {}^{0.25} \longrightarrow C = 2083 \text{ kg/hr}$$

$$\Rightarrow W = 7917 \text{ kg/hr}$$

$$M = R + C \quad {}^{0.25}$$

$$M = R + 2083$$

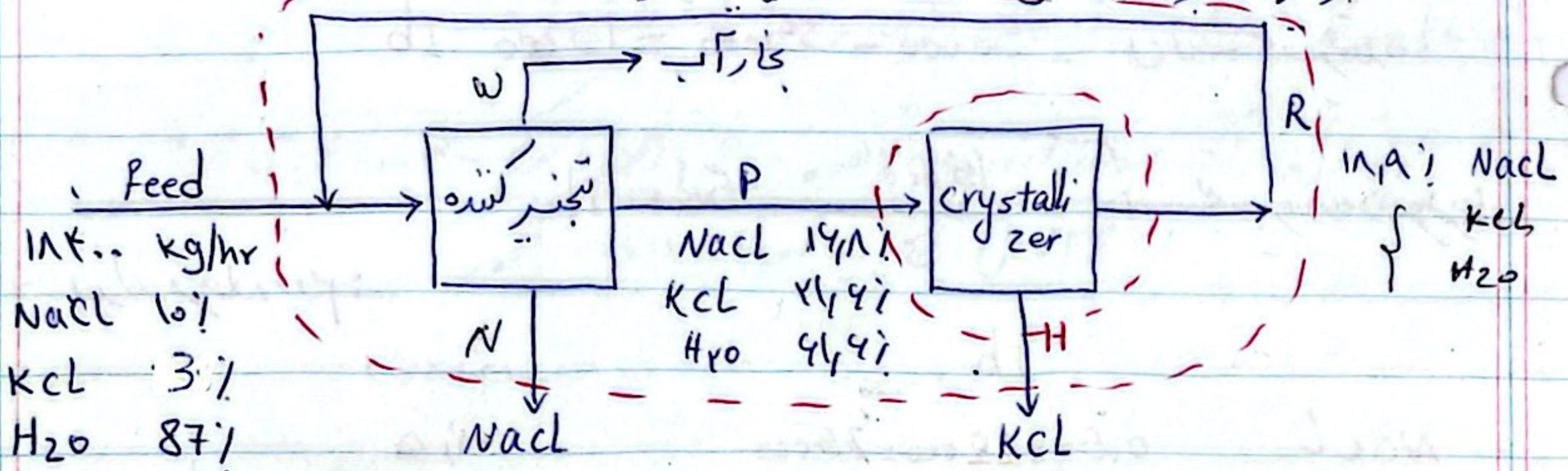
موازنه جزیی اطراف نقطه اختلاط: $1000 + R = W$

موازنه جزیی حول نقطه اختلاط: $1000 \times 0/031 + 0/0525 R = 0/04 W$

$\longrightarrow R = 720 \ lb/hr$

مثال) محلولی متشکل از NaCl، KCl و آب وارد فرآیندی مطابق شکل زیر می‌شود.

شدت جریان را بر حسب kg در ساعت تعیین کنید.



موازنه طی اطراف KCl آبنده: $18400 \times 0/03 = 552 \ kg/hr = H$

موازنه حول Crystallizer: $P = R + H$

$P = R + 552$

موازنه NaCl: $0/168 P = 0/189 R$

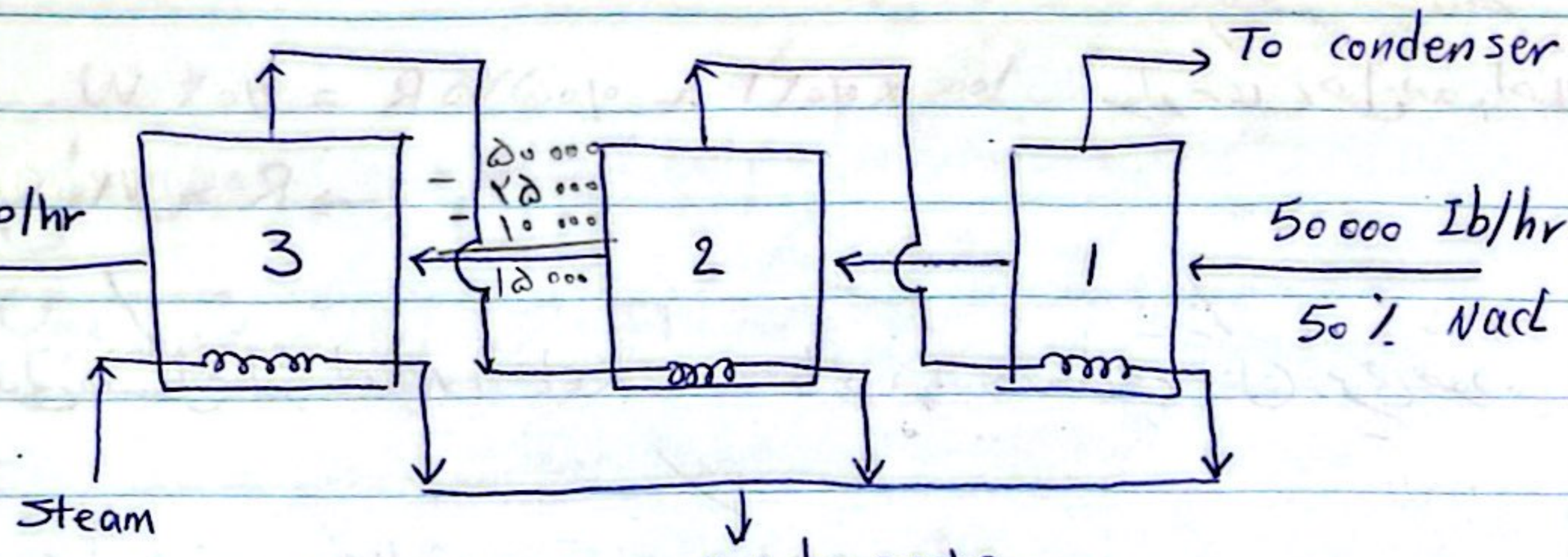
$\longrightarrow P = 4948 \ kg/hr$

$R = 4414 \ kg/hr$

مثال) می‌خواهند یک محلول 5٪ NaCl را در یک تبخیر کننده سه مرحله‌ای مطابق شکل تغلیظ کنند. مقدار آب تبخیر شده در هر مرحله باید یکسان باشد. مطلوبست ترکیب نسبی جریان خروجی از مرحله دوم در صورتیکه محتویات این تبخیر کننده بطور یکنواخت

۲۲٫۵

مخلوط شود نحوی که ترکیب نهایی جریان خروجی با محتویات تبخیر کننده یکسان باشد



کل آب تبخیر شده = 50000 − 35000 = 15000 Ib

آب تبخیر شده در هر مرحله = 15000 / 3 = 5000 Ib

بعد از مرحله دوم:

	Ib	درصد وزنی
NacL	0,50 × 50000 = 25000	۴۲٫۵
H_2O	15000	۳۷٫۵
کل	40 000	100

فصل سوم: گاز، بخار، مایع و جامد

تفاوتین گاز کامل: گاز ایده آل:

۱- انرژی جاذبه و دافعه بین مولکول ها ناچیز است

۲- حجم مولکول ها نسبت به حجم کل سیستم بسیار ناچیز است (به صفر میل می کند)

۲۲,۶

جریان برگشتی همراه با واکنش شیمیایی :

اگر تبدیل در یک راکتور انجام گیرد، دو نوع مقدار تبدیل مطرح خواهد شد:

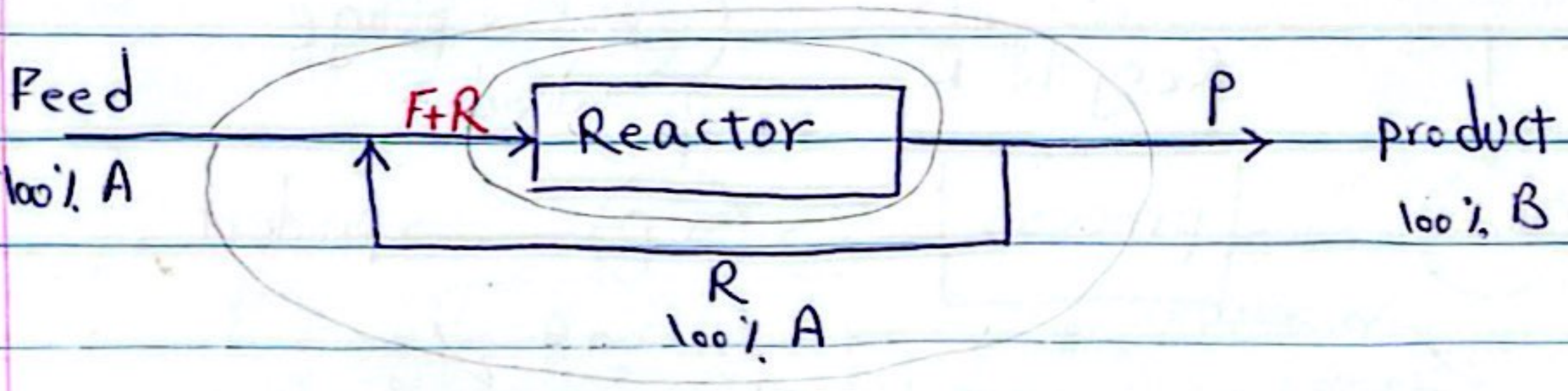
جزء (مول) ترکیب شونده در جوراک تازه - جزء (مول) ترکیب شونده در جریان خروجی از راکتور = مقدار تبدیل طی یک بار عبور

جزء (مول) ترکیب شونده در جوراک تازه

ب) مقدار تبدیل در یک بار (یکبار عبور از راکتور) :

جزء (مول) ترکیب شونده ورودی به راکتور - جزء (مول) ترکیب شونده خروجی از راکتور

جزء (مول) ترکیب شونده ورودی به راکتور



$A \longrightarrow B$

٪۳۰ از A در یک بار عبور از راکتور به B تبدیل می شود.

مقدار جریان برگشتی به مبنای ۱۰۰ مول از جوراک تازه F = ؟

تعداد مول های A ورودی به راکتور $(F + R)$

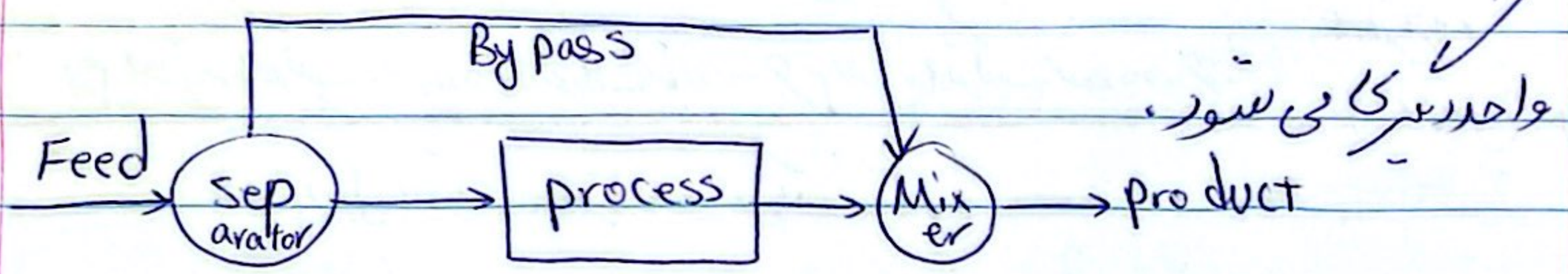
R = مول A خروجی از راکتور = مول A تبدیل نشده = $0.7(F + R)$

۲۲,۷

۲۲

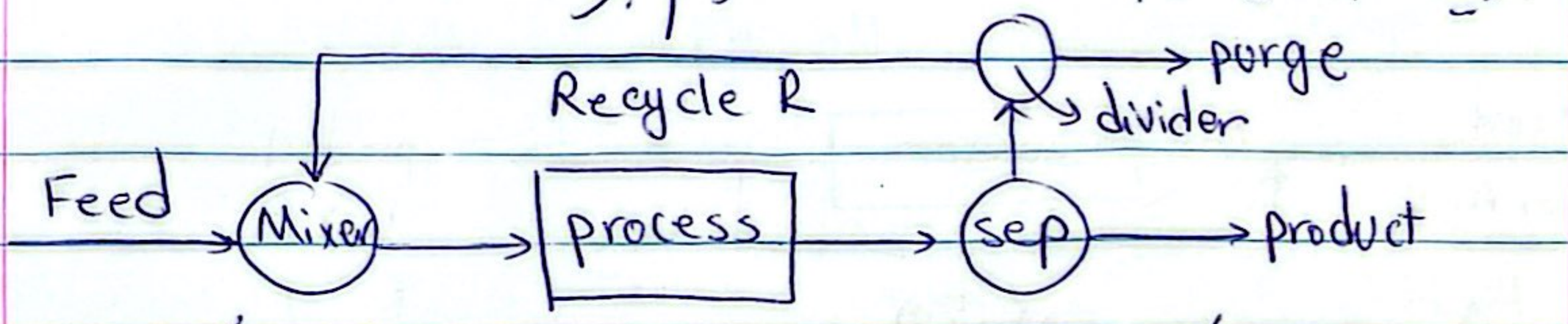
جریان کنارگذر: Bypass Stream

یعنی جریانی که به تعداد بیشتری از واحدها را کنار گذارده و مستقیماً وارد واحد دیگری می شود.

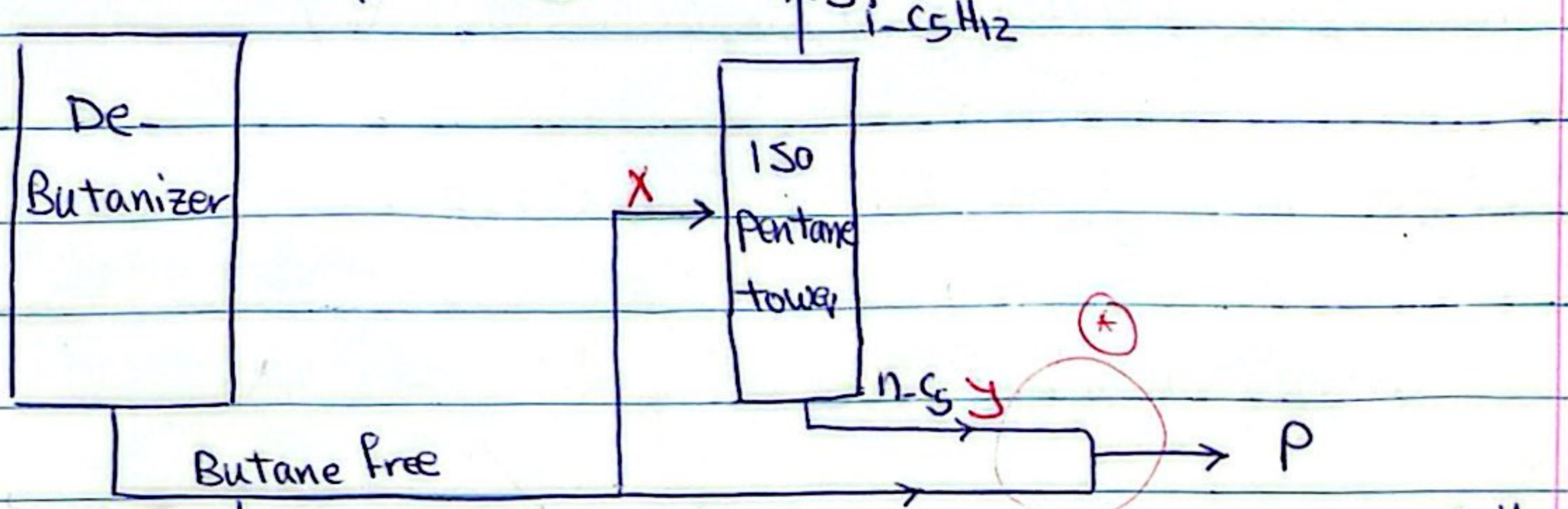


زداسب: Purge Stream

جریانی که به منظور حذف تجمع مواد بی اثر و یا نامطلوب که در اثر دوران جریان برگشتی ایجاد خواهد شد، از سیستم خارج می شود.



مثال) چه جزئی از کاتالیست فلزی پلاتین از برج ایزومریزاسیون گذر می کند؟



$F = S + P \qquad 100 = S + P$

$n-C_5 \rightarrow F(x_{nC_5}) = S(x_{nC_5}) + P(x-nC_5)$

$100(0.8) \quad S(0) \quad P(0.9)$

$\longrightarrow P = 89\ kg \Rightarrow S = 11\ kg$

اگر ۱۰ mol خوراک وارد برج اتیلن شود چند

سوال: حول ⊛ $(100 - X) + y = P$

$i\text{-}C_5 \longrightarrow (100 - X)(x_{i\text{-}C_5}) + y(x_{i\text{-}C_5}) = P(x_{i\text{-}C_5})$

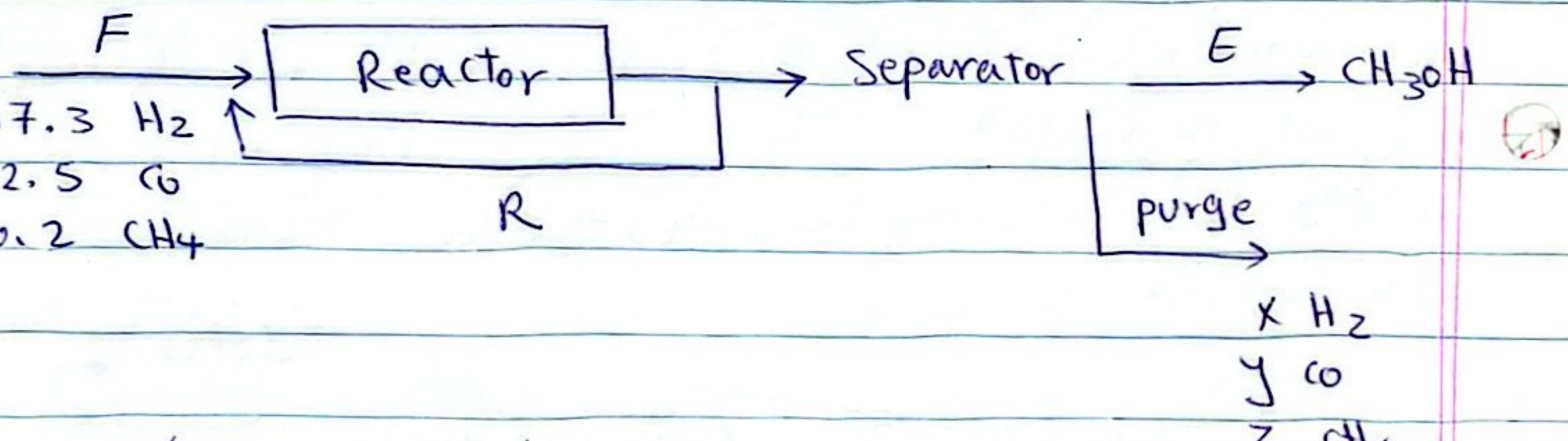
$(100 - X)(0.2) + y(0) = P(0.1)$

$20 - 0.2X = 8.9$

$\longrightarrow X = 55\ kg$

مثال)

$CO + 2H_2 \longrightarrow CH_3OH$



مقداری CH_4 وارد واحد تولید شده ولی در واکنش شرکت نمی کند

با استفاده از برج جداسازی غشاء CH_4 خروجی از جدا کننده را درمی کند

از ۳,۲ مولی که می دارد. مقدار بدست CO درصد آن ۱۸ است.

۲۲,۹

⇒

$$\frac{z}{x+y+z} = \%۳۲$$

$$H_۲) \rightarrow ۶۷,۳ + ۰,۲(۲) = ۲E + x + ۲z$$

$$C) \rightarrow ۳۲,۵ + \%۲ = E + y + z$$

$$O) \rightarrow ۳۲,۵ = E + y$$

مول

$$\rightarrow z = ۰,۲ \quad CH_۴ \qquad x = ۴,۸ \quad H_۲$$

$$y = ۱,۲۵ \quad CO \qquad E = ۳۱,۲۵ \quad CH_۳OH$$

خروجی CO در R مول

$$\frac{۱,۲۵}{۹۸ + ۱,۵ + ۰,۰۲} = \%۱$$

$$(۱ - ۰,۱۸)(۳۲,۵ + ۰,۲R) = ۱,۲۵ + ۰,۲R$$

$$\rightarrow R = ۷۰۵ \text{ mol}$$

گازها ۱ | ۱- انرژی جاذبه و دافعه بین مولکول‌ها ناچیز.
۲- حجم مولکول‌ها نسبت به حجم کل سیستم به حساب نمی‌آید.

شرایط متعارفی متداول در مورد گاز کامل (این جدول برای این است که بتوان مشخصات حجمی گازهای مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد)

system	T	P	$\hat{V}$
SI	273.15 k	101.325 Pa	22.41 m^3/Kg mol
Universal Scientific	0°C	760 mmHg	22.41 lit/gr mol
Natural gas industry	60°F (15°C)	14.696 psia (101.325 Kpa)	379.4 ft^3/lbmol
American Engineering	32°F	1 atm	359 ft^3/lbmol

V = حجم کل $\hat{V}$ = حجم واحد مول یا واحد جرم

کاربرد شرایط متعارفی:

مثال) حجمی را که توسط 40 kg از CO_2 در شرایط متعارفی اشغال می‌شود بر حسب متر مکعب بدست آورید.

$$\frac{40\ kg\ CO_2}{44\ kg\ CO_2} \left| \frac{1\ kg\ mol\ CO_2}{1\ kg\ mol\ CO_2} \right| \frac{22.41\ m^3\ CO_2}{1\ kg\ mol\ CO_2} = 20.4\ m^3\ CO_2\ at\ S.C$$

شرایط متعارفی

$T = cte$
$V \propto 1/P$

بویل دریافت که حجم یک گاز در دمای ثابت متناسب با معکوس فشار مطلق است. یعنی با کاهش فشار وارد بر گاز حجم آن افزایش می‌یابد.

قانون گاز کامل $PV = nRT$

چارلز: حجم جرم معینی از یک گاز بطور مستقیم با دمای مطلق تغییر می‌کند $V \propto T$

دما باید حتماً مطلق باشد

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right)\left(\frac{V_1}{V_2}\right) = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)\left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

دمای مطلق

مثال) یک استوانه محتوی گاز O_2 در شرایط متعارفی دارای $1\ ft^3$ است. حجم این گاز در یک مخزن جدید در دمای $90°F$ و فشار $200\ psig$ چقدر است؟

۲۳,۵

4 in.H_2O بالاتر از فشار جو می خواهد بود؟ هوا سنج فشار 29.92 in.Hg را نشان می دهد. چون $n_1 = n_2$

$460 + 70 = 530°R$

$460 + 90 = 550°R$

$$P_{atm} = 29.92\ in.Hg = 14.7\ psia$$

$$P_1 = \frac{200\ psi + 14.7\ psi}{14.7\ psi} \left| \frac{29.92\ in.Hg}{} \right. = 437\ in.Hg$$

$$P_2 = 29.92\ in.Hg + \frac{4\ in.H_2O}{12\ in} \left| \frac{1\ Ft.}{} \right| \frac{29.92\ inHg}{33.91\ Ft\,H_2O} = 30.21\ in.Hg$$

$$V_2 = V_1 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$V_2 = 1\ Ft^3 \left(\frac{437}{30.21}\right)\left(\frac{550}{530}\right) = 15\ Ft^3$$

جایگزینی ← R:

مخلوط طازهای کامل:

✓ فشار جزئی عبارت از فشاری است که اگر از طرف هر کدام از گازهای ایجاد خواهد شد

قانون دالتون: مجموع فشارهای جزئی سازنده های یک مخلوط گاز برابر با فشار همان جرم از سازنده را به تنهایی در حجم کل در صورتیکه کل می باشد $P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n = P_t$ مخلوط و دمای مخلوط در نظر بگیریم:

✓ در حجم و دمای ثابت، فشار فقط تابعی از تعداد مولکول های گاز موجود می باشد

$$P_1V_1 = n_1RT_1 \quad \xrightarrow{\substack{V_1=V_2 \\ T_1=T_2}} \quad \frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$P_2V_2 = n_2RT_2$$

محاسبهٔ R :

مثال ۳-۵- مقدار ثابت کمولی گازها "R" را در ترکیب واحدهای زیر بدست آورید:

الف) 1 Ibmol از گاز کامل در صورتی که فشار بر حسب psia، حجم بر حسب $ft^3/Ibmol$ و دما بر حسب °R بیان شود.

at S.C

$P = 14.7$ psia

$\hat{V} = 359$ $ft^3/Ibmol$

$T = 492$ °R

$$R = \frac{P\hat{V}}{T} = \frac{14.7\ psia \mid 359\ ft^3/Ibmol}{492\ R} = 10.73\ \frac{psia.ft^3}{Ibmol.R}$$

ب) 1 gmol از گاز کامل در صورتیکه فشار بر حسب اتمسفر، حجم بر حسب cm^3 و دما بر حسب K بیان شود.

$P = 1$ atm

$\hat{V} = 22400$ $cm^3/gmol$

$T = 273$ K

$$R = \frac{P\hat{V}}{T} = \frac{1\ atm \mid 22400\ cm^3/gmol}{273\ K} = 82.06\ \frac{atm.cm^3}{gmol.K}$$

ج) 1 Kgmol از گاز کامل در صورتیکه فشار بر حسب Kpa، حجم بر حسب $m^3/Kgmol$ و دما بر حسب K بیان شود.

$P = 101.3$ Kpa

$\hat{V} = 22.4$ $m^3/Kgmol$

$T = 273$ K

$$R = \frac{P\hat{V}}{T} = \frac{101.3\ Kpa \mid 22.4\ m^3/Kgmol}{273\ K} = 8.31\ \frac{Kpa.m^3}{Kgmol.K}$$

مثال ۳-۶) مخزنی به حجم 88 lbmol از CO_2 در فشار 32.2 Pt آب و دمای 15°C

اشغال می شود را محاسبه کنید.

$P = 33.91$ Pt H_2O

$T = 273$ K

$\hat{V} = 359$ $Pt^3/lbmol$

$$R = \frac{P\hat{V}}{T} = \frac{33.91 \mid 359}{273} = 44.6 \frac{(Pt\ H_2O) \cdot Pt^3}{(lbmol) \cdot K}$$

$$P\tilde{V} = nRT$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{88\ lb\ CO_2}{\frac{44\ lb\ CO_2}{1\ lbmol\ CO_2}} \mid \frac{44.6\ (Pt\ H_2O)(Pt^3) \mid 273+15\ K}{(lbmol)(K) \mid 32.2\ Pt\ H_2O}$$

$$V = 798\ Pt^3\ CO_2$$

مثال ۳-۷) فرض کنید یک نمونه از مخلوط $NO-NO_2$ را در یک ظرف ۱۰۰ cm^3 و دمای 30°C جمع آوری کرده اید. در ضمن جمع آوری مقداری از NO به NO_2 تبدیل می شود:

$$2NO + O_2 \longrightarrow 2NO_2$$

اگر ظرف استاندارد محتوی ۰/۲۹۱ گرم از مخلوط NO و NO_2 بوده و فشار ظرف 170 kpa باشد، چند درصد از مخلوط را گاز NO تشکیل می دهد؟

$$R = \frac{P\hat{V}}{T} = \frac{101.3\ kpa \mid ۴۴۶۰۰\ cm^3 \mid}{g\ mol \mid ۲۷۳\ K} = ۸,۳۱ \times 10^{۳} \frac{kpa \cdot cm^3}{g\ mol \cdot K}$$

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{۱۷۰\ kpa \times 100\ cm^3}{۸,۳۱ \times 10^{۳} \frac{kpa \cdot cm^3}{g\ mol \cdot K} \times (۲۷۳+۲۰)K} = \underbrace{۰/۰۰۶۷۵\ g\ mol}_{g\ mol\ NO + (1-y)\ mol\ NO_2}$$

$$\frac{x\ gr\ NO \mid 1\ grmol\ NO}{۳۰\ gr\ NO} + \frac{(۰/۲۹۱ - x)\ gr\ NO_2 \mid 1\ grmol\ NO_2}{۴۶\ gr\ NO_2} = ۰/۰۰۶۷۵ \frac{gr\ mol}{gr\ mol}$$

$x = ۰/۰۳۴۰\ gr$ NO درصد وزنی $= \frac{۰/۰۳۴}{(100)} = ۱۲\%$

جرم ویژه و چگالی:

جرم ویژه یک گاز را بصورت جرم واحد حجم آن تعریف می کنند. $\frac{kg}{m^3}$ / $\frac{lb}{ft^3}$

جرم موجود در واحد حجم یک گاز بستگی به دما و فشار آن دارد. اگر این ۲ کمیت مشخص نشده باشند، جرم ویژه داده شده در شرایط متعارفی فرض می شود.

مثال ۳-۸) جرم ویژه N_2 را در 27 °C و 100 kpa بر حسب سیستم SI بدست آورید؟

N_2
$P_1 = 100$ kpa
$T_1 = 273 + 27 = 300$ k
$V_1 = 1$ m^3

SI
$P_2 = 101.3$ kpa
$T_2 = 273$ K

$$\frac{P_1}{P_2} \times \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \rightsquigarrow V_2 = \frac{P_1}{P_2} \left| V_1 \right| \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{1\ m^3 \mid 100\ kpa \mid 273\ K \mid 1\ kgmol \mid 28\ kg\ N_2}{\mid 101.3\ kpa \mid 300\ K \mid 22.4\ m^3 \mid 1\ kgmol\ N_2} = 1.123\ kg$$

$1.123\ kg/m^3$ of N_2

چگالی یک گاز را بصورت نسبت جرم ویژه آن گاز در دما و فشار دلخواه به جرم ویژه هوا (یا هر گاز مبنای دیگر) در دما و فشار معین تعریف می کنند.

مثال ۳-۹) چگالی N_2 در 80 °F و 745 mmHg در مقایسه با گازهای زیر چه می باشد؟ الف) هوا در شرایط متعارفی (32 °F و 760 mmHg)
ب) هوا در 80 °F و 745 mmHg

۲۵/۵

ابتدا با نسبتی جرم ویژه N_2 و هوا را در دما و فشار مورد نظر تعیین کرده بعد نسبت آنها را بدست آورده

N_2 S.C

$V_1 = 1\ Ft^3$

$T_1 = 80 + 460 = 540\ R$ $T_2 = 32 + 460 = 492\ R$

$P_1 = 745\ mmHg$ $P_2 = 760\ mmHg$

$$\frac{1\ Ft^3 \mid 492\ R \mid 745\ mmHg \mid 1\ Ib\ mol \mid 28\ Ib\ N_2}{540\ R \mid 760\ mmHg \mid 359\ Ft^3 \mid 1\ Ib\ mol\ N_2} = 0.0697\ Ib\ N_2/Ft^3$$

Air S.C

$V_1 = 1\ Ft^3$

$T_1 = 32 + 460 = 492\ R$ $T_2 = 492\ R$

$P_1 = 760\ mmHg$ $P_2 = 760\ mmHg$

$$\frac{1\ Ft^3 \mid 492\ R \mid 760\ mmHg \mid 1\ Ibmol \mid 29\ Ib\ Air}{492\ R \mid 760\ mmHg \mid 359\ Ft^3 \mid 1\ Ibmd\ Air} = 0.862\ Ib\ Air/Ft^3$$

$$Sp.gr = \frac{0.0697}{0.862} = 0.862$$

ب)

$$\text{هوای خشک} \rightarrow \frac{1 \mid 492 \mid 745 \mid \quad \mid 29}{540 \mid 760 \mid 359 \mid} = 0.0721\ Ib/Ft^3$$

$$Sp.gr = \frac{0.0697}{0.0721} = 0.967$$

وزن مولکولی N_2 / وزن مولکولی Air $= \frac{28}{29} = 0.966$

وقتی گاز مورد نظر و گاز مرجع در دما و فشار یکسان باشند، حجمهای برابر با نسبت وزنهای مولکولی گازها خواهد بود. این مطلب فقط در مورد گازهای کامل صادق است.

جرم ویژه و چگالی:

جرم ویژه یک گاز را بصورت جرم واحد حجم آن تعریف می کنند. $\frac{kg}{m^3}$ / $\frac{lb}{ft^3}$

جرم موجود در واحد حجم یک گاز بستگی به دما و فشار آن دارد. اگر این ۲ کمیت مشخص نشده باشند، جرم ویژه داده شده در شرایط متعارفی فرض می شود.

مثال ۳-۸) حجم ویژه N_2 را در 27 °C و 100 kpa بر حسب سیستم SI بدست آورید

N_2
$P_1 = 100$ kpa
$T_1 = 273 + 27 = 300$ K
$V_1 = 1$ m³

SI
$P_2 = 101.3$ kpa
$T_2 = 273$ K

$$\frac{P_1}{P_2} \times \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2} \rightarrow V_2 = \frac{P_1}{P_2} \left| \frac{V_1}{} \right| \frac{T_2}{T_1}$$

$$\frac{1\ m^3}{} \left| \frac{100\ kpa}{101.3\ kpa} \right| \frac{273\ K}{300\ K} \left| \frac{1\ kgmol}{22.4\ m^3} \right| \frac{28\ kg\ N_2}{1\ kgmol\ N_2} = 1.123\ kg$$

$1.123\ kg/m^3$ of N_2

چگالی یک گاز را بصورت نسبت جرم ویژه آن گاز در دما و فشار دلخواه به جرم ویژه هوا (یا هر گاز مبنای دیگر) در دما و فشار معین تعریف می کنند.

مثال ۳-۹) چگالی N_2 در 80 °F و 745 mmHg در مقایسه با گازهای زیر چه می باشد؟ الف) هوا در شرایط متعارفی (32 °F و 760 mmHg)
ب) هوا در 80 °F و 745 mmHg

۲۵/۵

ابتدا با بیستی جرم ویژه N_2 و هوا را در دما و فشار مورد نظر تعیین کرده سپس نسبت آنها را بدست آورده

N_2 S.C

$V_1 = 1\ Ft^3$

$T_1 = 80 + 460 = 540\ R$ $T_2 = 32 + 460 = 492\ R$

$P_1 = 745\ mmHg$ $P_2 = 760\ mmHg$

$$\frac{1\ Ft^3}{540\ R}\ \frac{745\ mmHg}{760\ mmHg}\ \frac{1\ Ib\ mol}{359\ Ft^3}\ \frac{28\ Ib\ N_2}{1\ Ib\ mol\ N_2} = 0.0697\ Ib\ N_2/Ft^3$$

(492)

Air S.C

$V_1 = 1\ Ft^3$

$T_1 = 32 + 460 = 492\ R$ $T_2 = 492\ R$

$P_1 = 760\ mmHg$ $P_2 = 760\ mmHg$

$$\frac{1\ Ft^3}{492\ R}\ \frac{760\ mmHg}{760\ mmHg}\ \frac{1\ Ibmol}{359\ Ft^3}\ \frac{29\ Ib\ Air}{1\ Ibmd\ Air} = 0.862\ Ib\ Air/Ft^3$$

$$Sp.gr = \frac{0.0697}{0.862} = 0.862$$

ب)

هوای گاز $\rightarrow$ $\frac{1}{540}\ \frac{745}{760}\ \frac{}{359}\ \frac{29}{} = 0.0721\ Ib/Ft^3$

$$Sp.gr = \frac{0.0697}{0.0721} = 0.967$$

وزن مولکولی N_2 / وزن مولکولی Air $= \frac{28}{29} = 0.966$

وقتی گازهای مورد نظر و گاز مرجع در دما و فشار یکسان باشند، خیلی برابر با نسبت وزنهای مولکولی گازها خواهد بود. این مطلب فقط در مورد گازهای کامل صادق است.

نسبت فشار جزئی یک سازنده به فشار کل ← جزء مولی = y_1 = $\frac{P_1}{P_t} = \frac{n_1}{n_t}$

مخلوط از نظر عددی برابر با نسبت تعداد مول‌های جزء سازنده به تعداد مول‌های کل مخلوط است.

$P_i = y_i P_t$ ← هر سازنده دلخواه

قانون آماگات: حجم کل یک مخلوط گازی برابر با مجموع حجم‌های سازنده‌گان آن مخلوط است در صورتیکه هر سازنده در دما و فشار کل مخلوط فرض شود.

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = V_t$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{V_1}{V_t} = \frac{n_1}{n_t} = y_1 \quad \text{mole fraction}$$

در مورد گازهای کامل y_i = جزء مولی = جزء حجمی

مثال) اطاقی بدون منفذ دارای حجم $1000\ m^3$ است. اطاق مذکور محتوی هوا (متشکل از 21٪ O_2 و 79٪ N_2) است در $20^\circ C$ و فشار کل یک اتمسفر.

الف) حجم جزئی O_2 در اطاق چیست؟

$$V_{O_2} = 0.21 \times 1000 = 210\ m^3\ O_2$$

ب) حجم جزئی N_2 در اطاق چیست؟

$$V_{N_2} = 0.79 \times 1000 = 790\ m^3\ N_2$$

ج) فشار جزئی O_2 در اطاق چیست؟

$$P_{O_2} = 0.21 \times 1\ atm = 0.21\ atm$$

د) فشار جزئی N_2 در اطاق چیست؟

$$P_{N_2} = 0.79 \times 1\ atm = 0.79\ atm$$

مثال) تجزیه یک طرز دودکش تقریباً 14٪ CO_2، 6٪ O_2 و 80٪ N_2 است.

این گاز در دمای 400°F و فشار 765 mmHg می‌باشد. فشارهای جزئی سازنده‌ها را تعیین کنید. مبنا 1 Kgmol از گاز دودکش

سازنده‌ها	Kgmol	P(mm Hg)	
CO_2	0.14	107.1	$P_i = y_i P_t$
O_2	0.06	45.9	
N_2	0.8	612	
کل	1	765	

برای انجام محاسبات مربوط به گازهای حقیقی ۴ روش موجود است: ۱- معادلات حالت ۲- منحنی‌های تراکم‌پذیری ۳- تخمین خواص ۴- نتایج تجربی.

معادلات حالت:

معادلات حالت مشخصات T-V-P یک جسم خالص (یا مخلوط) را توسط روابط نیمه تئوری و یا تجربی به یکدیگر ارتباط می‌دهد. منظور از مشخصه خاصیت قابل اندازه‌گیری جسم مثل فشار، حجم، دما و یا هر خاصیت قابل محاسبه دیگر است.

معادله ون‌دروالس (تم مربوط به اثر نیروهای جاذبه بین مولکولی)

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

حجمی که بوسیله مولکول‌های گاز اشغال می‌شود با کاستن یک جمله از حجم گاز در معادله گاز کامل توجیه کند.

n = تعداد مول‌ها V = حجم a = ثابت عددی برای گازهای مختلف

محاسبه فشار گاز در هنگام استفاده از معادله وان‌دروالس:

$$P = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{n^2 a}{V^2}$$

محاسبه حجم گاز در هنگام استفاده از معادله وان‌دروالس:

$$V^3 - \left(nb + \frac{nRT}{P}\right)V^2 + \frac{n^2aV}{P} - \frac{n^3ab}{P} = 0$$

برای تعیین حجم باید از روش حدس و خطا استفاده کرد ($V = \frac{RT}{P}$ ... حدس اول)

مثال) مخزنی به حجم $5\ ft^3$ محتوی $50\ lb$ پروپان (C_3H_8) را در آسایشگاهی قرار داده‌اند. فشارسنج، فشار $665\ psig$ را نشان می‌دهد. دمای پروپان داخل مخزن چیست؟ از معادله وان در والس استفاده کنید.

$a = 3.27 \times 10^4\ psia\left(\frac{ft^3}{lbmol}\right)^2$

$b = 1.35\ ft^3/lbmol$

$P = 665\ psig + 14.7 = 679.7\ psia$

$P = 14.7\ psia \qquad T = 60^\circ F + 460 = 520\ R \qquad V = 379.4\ ft^3$

$$R = \frac{PV}{T} \xrightarrow{S.C} \frac{14.7 \times 359}{492} = 10.73$$

$$n = \frac{50\ lb \mid 1\ lbmol}{\mid 44\ lb} = 1.137\ lbmol$$

یا روش

~~$P = 665\ psig$~~

$$\left(P + \frac{n^2a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$$

$$\left(679.7 + \frac{(1.137)^2 \times 3.27 \times 10^4}{5^2}\right)\left(5 - 1.137(1.35)\right) = 1.137 \times 10.73 \times T$$

$$\rightarrow T = 673^\circ R = 213^\circ F$$

حالت تجربی، کمیت های تقصانی و مدل های نوعی: تلاش های فراوان به منظور تعیین قانون واقعی گازها در فشار بالا منجر به بیان حالت تطابق یافت. قانون حالت تطابق مبین آنست که در نقطه تجربی تمام مواد رفتار یکسانی نسبت به یکدیگر از خود نشان می دهند.

حالت تجربی، واسطه ای از حالت گاز - مایع و عبارت از شرایط فیزیکی خاصی است که در آن خصوصیت گاز و مایع یکسان می شود. این حالت با دمای بحرانی T_c و فشار بحرانی P_c مشخص می شود.

شرایط تقصانی = شرایط تقصیر شده ای که در آن دما، فشار و حجم بوده فکر استفاده از متغیرهای تقصانی جهت ارتباط با مشخصات $P-V-T$ گازها از آنجا ناشی شده که تمام مواد در حالتهای تقصانی به طور یکسان رفتار می کنند.

$$T_r = \frac{T}{T_c} \qquad P_r = \frac{P}{P_c} \qquad V_r = \frac{V}{V_c}$$

معادله حالت گاز کامل $PV = nRT$

گاز واقعی $PV = ZnRT$ ← یک روش مناسب و دقیق برای ارتباط حالت تقابلی و قانون گاز کامل.

مقداری از تفاوت گاز واقعی با گاز کامل ← ضریب تراکم پذیری $= Z$

$$Z = f(T_r, P_r)$$

(مثال) در تحت فشار ۷۸۰ mmHg گاز اکسیژن محبوس در سیلندر با $200\ cm^3$ را استعمال می کند. در دمای ثابت حجم نسبی را با بیان ایده آل برد با حجم

۲۶

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \qquad T_1 = T_2$$

$$P_1V_1 = P_2V_2 \qquad P_2 = \frac{P_1V_1}{V_2} = \frac{۷۸۰\ mmHg \times ۲۰\ cm^3}{۴۰\ cm^3} = ۳۹۰\ mmHg$$

مثال ۲۳. گازی در ۱۵°C و ۱۰۵ kpa در یک مخزن غیرمنعطف جای گرفته است. برای تعیین سرعت جریان گاز، CO_2 را به آن تزریق می‌کنند. مقدار O_2 موجود در هوا قبل از تزریق CO_2 تازه ۱٫۲ و پس از اضافه کردن آن ۳٫۴ حجمی است. مخزن O_2 ریه را تزریق می‌کند و پس از ۱۰ دقیقه ۲٫۲۷ kg از آن خارج می‌شود. سرعت جریان گاز ورودی را بر حسب $\frac{ft^3}{min}$ بدست آورید.

مبنا = ۱۰۰ مول هوا قبل از تزریق

ترکیب	مول اولیه	مول ثانویه
CO_2	۱٫۲	۳٫۴
غیره	۹۸٫۸	۹۶٫۶
کل	۱۰۰	۱۰۰

$$\text{مول } CO_2 \text{ بعد از تزریق} = \frac{۹۸٫۸}{۹۶٫۶} \Big| \frac{۳٫۴}{} = ۳٫۴۸\ mol$$

$$CO_2 \text{ تزریق شده} = ۳٫۴۸ - ۱٫۲ = ۲٫۲۸\ mol$$

$$۲٫۲۷\ kg\ CO_2 \text{ ورودی در ۱۰ دقیقه}$$

$$\frac{۲٫۲۷\ kg\ CO_2}{۱۰\ min} \Big| \frac{۱\ kg\ mol\ CO_2}{۴۴\ kg\ CO_2} \Big| \frac{۱۰۰\ kg\ mol \text{ هوای خشک}}{۲٫۲۸\ kg\ mol\ CO_2} = ۰٫۲۲۴\ \frac{kg\ mol \text{ هوای خشک}}{\text{در دقیقه}}$$

$$\frac{0.224\ kg\ mol}{1\ kg\ mol} \left| \frac{22.4\ m^3}{101.3\ kPa} \right| \frac{101.3\ kPa}{100\ kPa} \left| \frac{288\ K}{273\ K} \right| = 0.14\ \frac{m^3}{min}$$

ظرفیت گازی

مثال) مخزنی به حجم $120\ Ft^3$ داریم. فرض کنید دستگاه توزین وزن اتوبوس به همراه گاز درون مخزن را برابر $125\ lb$ نشان می‌دهد. فشار گاز $292\ psig$ است و چون مخزن در آفتاب قرار داشته دمای آن به $125^\circ F$ رسیده است.

فرض می‌کنیم اطلاعات محاسبات او حجم ویژه گاز برابر $1.2\ Ft^3/lb$ و در نتیجه فقط $100\ lb$ اتیلن در مخزن باقی است. آیا او درست می‌گوید؟ (۴۸٪)

فرض گاز کامل

$$P = 14.7\ psi \qquad T = 60 + 460 = 520\ R$$

$$V = 379.4\ ft^3$$

$$\longrightarrow R = 10.73\ \frac{psi\ (Ft^3)}{(lb\ mol)(^\circ R)}$$

$$T = 120 + 460 = 580\ ^\circ R$$

$$P = 292 + 14.7 = 307\ psi$$

$$n = \frac{1\ lb}{17\ lb/lb\ mol} \Rightarrow V = \frac{nRT}{P} = \frac{\frac{1}{17} \times 10.73 \times 580}{307}$$

$$V = 1.2\ Ft^3/lb$$

حجم ویژه حقیقی

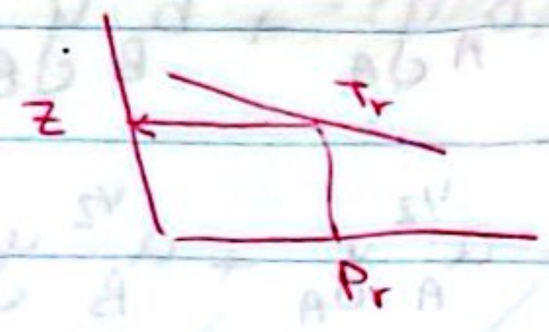
$$PV = ZnRT$$

$$T_c = 405.5\ K \cong 729^\circ R \qquad P_c = 111.3\ atm \cong 1640\ psia$$

۱۹

$$T_r = \frac{T}{T_c} = \frac{۵۱۵\ R}{۷۲۹\ R} = ۰/۸۰۳$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} = \frac{۳۰۷}{۱۷۶۰} = ۰/۱۸۷$$



$Z = ۰/۸۶۵$

$$V = \frac{Z\,nRT}{P} = \frac{۰/۸۶۵ \times ۱/۱۷ \times ۱۰ \frac{lb}{ft^3} \times ۵۱۵}{۳۰۷} = ۱/۰۱\ ft^3/lb\ NH_3$$

$$\frac{۱\ lb\ NH_3}{۱/۰۱\ ft^3} \Big| \frac{۱۲۰\ ft^3}{} = ۱۱۹\ lb\ NH_3$$

مخلوط گازها:

مناسب‌ترین روش برای محاسبهٔ P-V-T مخلوط‌ها

معادلات حالت: بعنوان مثال معادله وان در والس

(فشار جزئی هر سازنده را محاسبه کرده و سپس جهت تعیین P_t، فشارهای جزئی را به یکدیگر بیافزاییم)

سازنده A $$P_A = \frac{n_A RT}{V - n_A b_A} - \frac{n_A^2 a_A}{V^2}$$

سازنده B $$P_B = \frac{n_B RT}{V - n_B b_B} - \frac{n_B^2 a_B}{V^2}$$

$$\Rightarrow P_T = RT\left(\frac{n_A}{V - n_A b_A} + \frac{n_B}{V - n_B b_B} + \dots\right) - \frac{1}{V^2}\left(n_A^2 a_A + n_B^2 a_B + \dots\right)$$

این روش برای محاسبه P_t آسان اما برای محاسبه V یا n دشوار است.

متوسط ثابت ها:

$$b_{mix} = b_A y_A + b_B y_B + \cdots$$

$$a_{mix}^{1/2} = a_A^{1/2} y_A + a_B^{1/2} y_B + \cdots$$

متوسط ثابت ها راحت‌تر است از ثابت‌های شبه بحرانی هم محاسبه کرد.

$$a = \frac{27}{64}\frac{R^2 T_c^2}{P_c} \qquad b = \frac{RT_c}{8P_c}$$

متوسط ضریب تراکم پذیری:

$$PV = Z_m . nRT$$

$$Z_m = Z_A y_A + Z_B y_B + \cdots$$

با قانون دالتون:

برای هر سازنده خالص، Z را در T_r و فشار حدی بحرانی تعیین آن محاسبه می‌کنیم.

$$P_{r_A} = \frac{P_A}{P_{C_A}} = \frac{(P_T)\, y_A}{P_{C_A}}$$

با قانون آماگات:

در مورد مخلوط‌های سازنده‌های خالص را صادق فرض می‌کنیم. برای هر سازنده Z را در T_r و فشار بحرانی مخلوط محاسبه می‌نمائیم.

مشخصات شبه بحرانی: روش کی Kay

مشخصات شبه بحرانی مخلوط طبق این فرض محاسبه می‌شود که هر سازنده سهمی به نسبت تعداد مول‌های آن، در مقادیر شبه بحرانی مخلوط دارا باشد.

$$P'_C = P_{C_A} \cdot y_A + P_{C_B} \cdot y_B + \cdots$$

$$T'_C = T_{C_A} \cdot y_A + T_{C_B} \cdot y_B + \cdots$$

P'_C: فشار شبه بحرانی T'_C: دمای شبه بحرانی

معادلات تبدیل تعمیمی:

$$P_r' = \frac{P}{P_c'}$$

$$T_r' = \frac{T}{T_c'}$$

مثال ۳-۱۶) ترکیب نسبی یک مخلوط گازی (بر حسب درصد مولی) بقرار زیر است:

CH_4	۲۰
C_2H_4	۳۰
N_2	۵۰

مخلوط در فشار ۹۰ atm و دمای ۱۰۰ °C است. حجم مولی مخلوط را با استفاده از روشهای زیر محاسبه کنید؟

الف) قانون گاز کامل:

$$R = \frac{PV}{T} = \frac{1\ atm}{273\ K} \Big| \frac{22400\ cm^3}{grmol} = 82.06\ \frac{cm^3 . atm}{K . grmol}$$

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{1 \times 82.06 \times 373}{90} = 340\ cm^3\ at\ 90\ atm$$

ب) معادله وان در والس به اضافه قانون دالتون

$$P_T = RT \left(\frac{n_{CH_4}}{V - n_{CH_4} b_{CH_4}} + \frac{n_{C_2H_4}}{V - n_{C_2H_4} b_{C_2H_4}} + \frac{n_{N_2}}{V - n_{N_2} b_{N_2}} \right) - \frac{1}{V^2}$$

$$\left(n^2_{CH_4} a_{CH_4} + n^2_{C_2H_4} a_{C_2H_4} + n^2_{N_2} a_{N_2} \right)$$

$$90 = 82{,}06\ (373) \left(\frac{0{,}2}{V - 8{,}56} + \frac{0{,}3}{V - 12{,}1} + \frac{0{,}5}{V - 19{,}3} \right) - \frac{1}{V^2}$$

$$(9 \times 10^4 + 40{,}15 \times 10^4 + 33{,}8 \times 10^4)$$

از طریق حدس و خطا $V = 332\ cm^3$

ج) ضریب متوسط تراکم پذیری و قانون دالتون

اجزاء	P_c (atm)	T_c (K)	y	$(90)y=P$	$P_r=\frac{P}{P_c}$	$T_r=\frac{372}{T_c}$	z
CH_4	45,8	191	0,2	18	0,394	1,95	0,99
C_2H_4	50,9	283	0,3	27	0,535	1,32	0,93
N_2	33,5	126	0,5	45	1,34	2,95	1

z (y)
0,198
0,279
0,5
$Z_{mean}=0,977$

$$V=\frac{Z_{mean}RT}{P}=\frac{0,977(82,06)(373)}{90}=332\ cm^3$$

ب) روش مقادیر شبه بحرانی (روش کی Kay):

CH_4 C_2H_4 N_2

$$P'_c=P_{c_A}\cdot y_A+P_{c_B}\cdot y_B+P_{c_C}y_C=(45,8)(0,2)+(50,9)(0,3)+(33,5)(0,5)$$

$$=41,2\ atm$$

$$T'_c=T_{c_A}\cdot y_A+T_{c_B}\cdot y_B+T_{c_C}\cdot y_C=(191)(0,2)+(283)(0,3)+(126)(0,5)=$$

$$186\ K$$

$$P'_r=\frac{P}{P'_c}=\frac{90}{41,2}=2,18 \qquad T'_r=\frac{T}{T'_c}=\frac{373}{186}=2$$

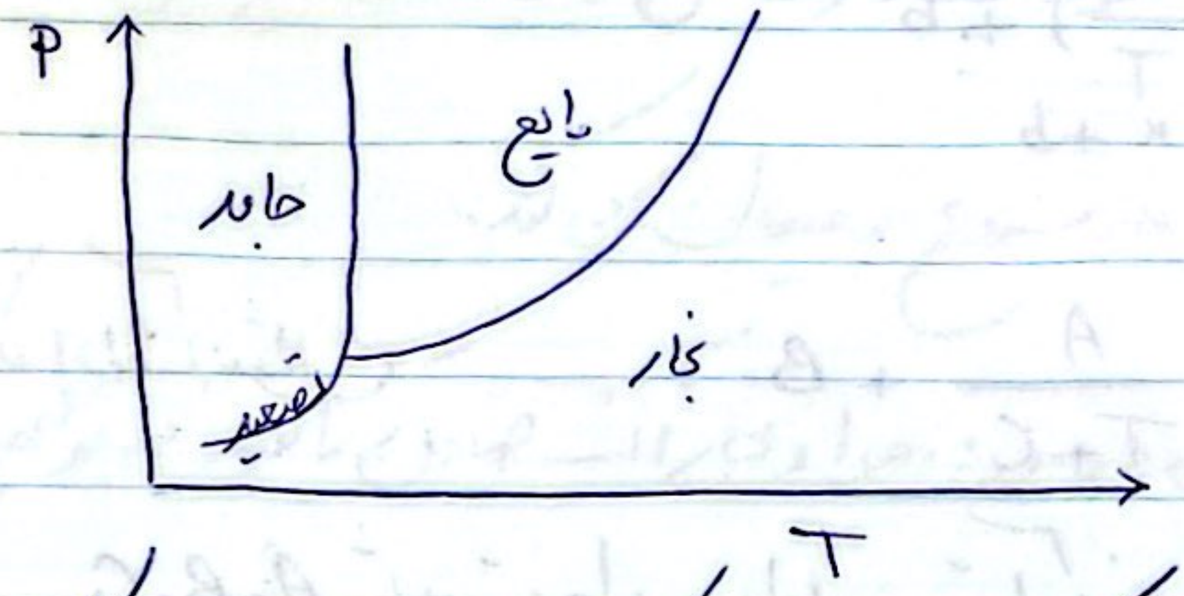
با استفاده از شکل ۳-۸ ص

$Z=0,945$

$$V=\frac{ZRT}{P}=\frac{0,945(82,06)(373)}{90}=328\ cm^3$$

نشار بخار:

بخاری که دمای آن پایین‌تر از دمای بحرانی باشد، معمولاً بخار اطلاق می‌شود.



نقطه شبنم = اگر گازی سرد شود، میعان کند، پس از تشکیل اولین قطره مایع، گاز اشباع نامیده می‌شود.

نقطه حباب = اگر مایعی آغاز به تبخیر نماید، مایع اشباع نامیده می‌شود.

بخار مرطوب متشکل از بخار اشباع و مایع اشباع در حال تعادل با یکدیگر می‌باشد.

- جزء جرمی بخار، کیفیت نامیده می‌شود.

مثال) در ۴۰۰ K و ۲۴۵٫۶ kpa حجم ویژه یک بخار مرطوب برابر $0.505\ m^3/kg$ است. کیفیت بخار چیست؟

از جدول بخار

مبنا = ۱ kg از بخار مرطوب

$\hat{V}_L = 0.001067\ m^3/kg$

$\hat{V}_g = 0.7308\ m^3/kg$

x جزء جرمی بخار

$$x V_g + (1-x) V_L = V$$

$$(0.7308 \times x) + (1-x)(0.00106) = 0.505\ m^3$$

$$x = 0.69$$

تغییرات فشار بخار با دما:

تغییرات فشار بخار (P^*) یک جسم با دما بسط خط مستقیم نیست بلکه بصورت منحنی است:

$$\underbrace{\log(P^*)}_{y} = \underbrace{m\left(\frac{1}{T}\right)+b}_{mx+b}$$

معادلهٔ آنتوان

$$\log(P^*) = -\frac{A}{T+C} + B$$

A, B, C ثابت های معادله و مقدار آن به جسم بستگی دارد.

T = دما بر حسب کلوین

تغییرات فشار بخار با فشار

$$\left(\frac{\partial(P^*)}{\partial P_T}\right)_T = \frac{\hat{V}_L}{\hat{V}_g}$$

$\hat{V}$ = حجم مولی مایع یا گاز اشباع

P_T = فشار کل سیستم

اشباع:

وقتی که یک گاز خالص (یا یک مخلوط گاز) در تماس با یک مایع قرار گیرد، مقداری از مایع وارد فاز گاز خواهد شد. اگر تماس و زمان طولانی ادامه یابد، حالت تعادل برقرار خواهد گردید که در آن فشار جزئی بخار با فشار بخار مایع در دمای سیستم مورد نظر برابر خواهد شد. بعد از برقراری تعادل، حتی در صورت ادامه تماس هم مایع بیشتری تبخیر و وارد فاز گاز نخواهد گردید. در این حالت می گوییم که گاز از بخار خاصی در

دمای معینی اشباع شده است. همچنین می‌توان گفت که مخلوط هوا و بخار در نقطه شبنم قرار دارد.

نقطه شبنم در مورد مخلوط یک بخار خالص با یک گاز غیرقابل میعان عبارت از دمایی است که در آن بخار شروع به میعان می‌کند.

با فرض اینکه قانون گاز کامل در مورد هوا و بخار آب صدق می‌کند می‌توانیم بنویسیم که روابط زیر در حالت اشباع برقرار می‌باشد:

در دمای ثابت

$$\frac{P_{air}}{P_{H_2O}} = \frac{n_{air}}{n_{H_2O}}$$

$$\frac{V_{air}}{V_{H_2O}} = \frac{n_{air}}{n_{H_2O}}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{P_{air}}{P_{H_2O}} = \frac{P_{air}}{P_{total} - P_{air}} = \frac{V_{air}}{V_{total} - V_{air}}$$

مثال ۳-۲۰)

حداقل حجم هوای خشک برحسب m^3 در $20^\circ C$ و 100 kpa (750 mmHg) را که برای تبخیر 6 کیلوگرم الکل لازم است بدست آورید در صورتیکه فشار کل بر این مخلوط 100 kpa باقی بماند.

$P^*_{alcohol}$ at $20^\circ C$ ($68^\circ F$) = 5,93 kpa

$$P_{\text{کل}} = P_{air} + P_{\text{الکل}}$$

$$100 = P_{air} + ۵,۹۳ \rightarrow P_{\text{هوا}} = ۹۴,۱ \text{ kpa}$$

$$\frac{P_{air}}{P_{\text{الکل}}} = \frac{n_{air}}{n_{\text{الکل}}} = \frac{۹۴,۱}{۵,۹۳}$$

۶ kg الکل	۱ kg mol الکل	۹۴,۱ kg mol air	۲۲,۴ m^3	۲۹۳ K	۱۰۱,۳
	۴۶ kg الکل	۵,۹۳ kg mol الکل	۱ kg mol	۲۷۳ K	100 kpa

$$= ۵۰,۴ \ m^3 \text{ air at } ۲۰^{\circ}C \text{ و } 100 \text{ kpa}$$

تعادل گاز - مایع در سیستم‌های چندسازنده‌ای:

قانون رائولت = در مورد سازنده‌ای به کار می‌رود که جزء مولی آن نزدیک به واحد باشد و یا برای محلول‌هایی که از نظر شیمیایی کاملاً مشابه‌اند مثل هیدروکربن‌های راست زنجیر.

$P_i = P_i^* \times x_i$ فشار جزئی سازنده، i در فاز گاز

P_i^* ← جزء مولی سازنده در فاز گاز

$K_i = \frac{y_i}{x_i} = \frac{P_i^*}{P_i}$ ثابت تعادل

← جزء مولی سازنده در فاز مایع

قانون هنری =

در مورد سازنده‌ای به کار می‌رود که جزء مولی آن نزدیک به صفر باشد.

فشار گاز رقیقی که در یک مایع حل شده.

$P_i = H_i x_i$

← ثابت قانون هنری

مثال ۳-۲۳) می خواهیم مخلوطی از نرمال هگزان و نرمال اکتان در فاز مایع را تبخیر کنیم. ترکیب نسبی بخار اولیه حاصل را تعیین کنید در صورتیکه فشار کل اتمسفر باشد، فرض قانون رائول صادق است.

$$\log p^* = A - \frac{B}{C+t}$$

	A	B	C
$n-C_6$	۶,۸۷۷۷۶	۱۱۷۱,۵۳	۲۲۶,۳۶۶
$n-C_8$	۶,۹۲۳۷۶	۱۳۵۳,۱۲۶	۲۰۹,۵۱۷

$$P_{C_6} + P_{C_8} = P_t \qquad x_{C_6} + x_{C_8} = 1 \qquad y_{C_6} + y_{C_8} = 1$$

$$P_t\, y_{C_6} = P_{C_6} = P^*_{C_6}\, x_{C_6} \qquad P_t y_{C_8} = P_{C_8} = P^*_{C_8}\, x_{C_8}$$

$$y_{C_8} = \frac{P^*_{C_8}}{P_t} \times x_{C_8} \qquad (a)$$

$$\frac{P_t - P^*_{C_6}}{P^*_{C_8} - P^*_{C_6}} = x_{C_8} \qquad (b)$$

انتخاب می‌دهد $121^\circ C$ به کاسبر C_6 از محاله و x_{C_8} از معادله (b)

$$P_t = P_{C_6} + P_{C_8}$$

$$P_t = P^*_{C_6} \times x_{C_6} + P^*_{C_8} \times x_{C_8} \qquad x_{C_6} = 1 - x_{C_8}$$

$$P_t = P^*_{C_6} \times (1 - x_{C_8}) + P^*_{C_8} \times x_{C_8}$$

$$= P^*_{C_6} - P^*_{C_6} \times x_{C_8} + P^*_{C_8} x_{C_8}$$

$$P_t = P^*_{C_6} + (P^*_{C_8} - P^*_{C_6})\, x_{C_8} \longrightarrow x_{C_8} = \frac{P_t - P^*_{C_6}}{P^*_{C_8} - P^*_{C_6}}$$

اشباع جزئی و رطوبت:

غالباً زمان لازم است تا بین فاز و مایع به منظور برقراری حالت تعادل (یا اشباع) بسیار طولانی است و فاز بطور کامل از بخار اشباع نخواهد شد. در این صورت بخار در حال تعادل با فاز مایع نبوده و فشار جزئی بخار کمتر از فشار بخار مایع در همان دماست. این شرایط را اشباع جزئی می نامند.

وقتی بخار، بخار آب و فاز، هوا باشد از کلمه ویژه "رطوبت" استفاده می کنیم.

اشباع نسبی:

$$RS = \frac{P_{vapor}}{P_{satd}} = \frac{\text{فشار جزئی بخار}}{\text{اشباع نسبی}}$$

$$\delta = \frac{P_1}{P_1^*} = \frac{P_1/P_t}{P_1^*/P_t} = \frac{V_1/V_t}{V_{satd}/V_t} = \frac{n_1}{n_{sat}} = \frac{mass_1}{mass_{sat}}$$

بخار

وقتی می گوییم رطوبت هوا ٪۹۰ است یعنی $\frac{P_{H_2O}}{P^*_{H_2O}}(100) = ٪۹۰$

مثال ۳-۲۴) گوینده وضع هوا اعلام کرد دمای بعدازظهر ۹۴°F و رطوبت نسبی هوا ٪۴۳ خواهد رسید، فشار جو 29,67 in.Hg، آسمان نیمه ابری، وزش باد از جهت جنوب با سرعت ۸ مایل در ساعت خواهد بود. تعیین کنید در هر مایل مکعب از هوای بعدازظهر چند lb بخار آب وجود خواهد داشت؟ نقطه شبنم

۳۴

هوای مورد نظر چیست؟

at $94^\circ F$ $\quad P^*_{H_2O} = 1,41$ in.Hg

رطوبت نسبی $= \dfrac{P_{H_2O}}{P^*_{H_2O}} = \dfrac{P_{H_2O}}{1,41} = \%43$

$\longrightarrow P_{H_2O} = (1,41)(\%43) = 0,49$ in.Hg

$P_t = P_{H_2O} + P_{air}$ $\quad 29,47 = 0,49 + P_{air}$

$\longrightarrow 28,98$ in.Hg

معنا = اما این مکعب از بخار آب در دمای $94^\circ F$ و فشار $0,49$ in.Hg و

S.C $\rightarrow T = 492^\circ R$

$P = 29.92$ in.Hg

$V = 359$ $ft^3/lbmol$

$1\ mi^3$	$\left(\frac{5280\ ft}{1\ mi}\right)^3$	$492^\circ R$	0.69 inHg	1 lbmol	18 lb_{H_2O}
		$554^\circ R$	29.92 inHg	$359\ ft^3$	1 lbmol

$= 1.51 \times 10^8$ $lb\ H_2O$

نقطه شبنم دمایی است که در آن بخار آب موجود در هوا در صورت سرد کردن مخلوط شروع به متراکم می کند.

$100\dfrac{P_1}{P_1^*} = 100\%$ $\quad P_1 = P_1^*$

فشار بخار آب در نقطه شبنم برابر $0,49$ in.Hg است.

اشباع مولی: روش دیگر بیان غلظت بخار در یک گاز، استفاده از نسبت مولهای بخار به مولهای گاز عاری از بخار می باشد.

$$\frac{n_{vapor}}{n_{vapor-free\ gass}} = \text{molal saturation}$$

۱ ⟶ بخار
۲ ⟶ گاز خشک

$$P_1 + P_2 = P_t$$
$$n_1 + n_2 = n_t$$

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{n_1}{n_t - n_1} = \frac{P_1}{P_t - P_1} = \frac{V_1}{V_t - V_1}$$

$$\frac{(n_{vapor})(mol.wt_{vapor})}{(n_{dry\ gas})(mol.wt_{dry\ gas})} = \frac{mass_{vapor}}{mass_{dry\ gass}}$$

رطوبت = $\frac{\text{جرم گاز و بخار آب}}{\text{جرم گاز خشک}}$

اشباع مطلق:

اشباع مطلق = $\frac{\left(\frac{\text{mole vapor}}{\text{moles vapor-free gas}}\right)_{actual}}{\left(\frac{\text{mole vapor}}{\text{moles vapor-free gas}}\right)_{saturated}}$ ← نسبت مولهای بخار آبی از گاز

← نسبت مولهای مورد نظر

در مخلوطی که در دما و فشار کل موجود حالت اشباع باشد.

۱ ⟶ بخار
۲ ⟶ گاز عاری از بخار

درصد اشباع مطلق = $\frac{\left(\frac{n_1}{n_2}\right)_{actual}}{\left(\frac{n_1}{n_2}\right)_{sat}}(100) = \frac{\left(\frac{P_1}{P_2}\right)_{act}}{\left(\frac{P_1}{P_2}\right)_{sat}}(100)$

$P_t = P_1 + P_2$ & P_1 اشباع $= P_1^*$ ← از آنجا که

درصد اشباع مطلق $= 100\ \frac{\frac{P_1}{P_t - P_1}}{\frac{P_1^*}{P_t - P_1^*}} = \frac{P_1}{P_1^*}\left(\frac{P_t - P_1^*}{P_t - P_1}\right)100$

۴- ۵- ۶- ۱۰- ۱۱- ۱۶- ۱۹- ۲۰- ۲۱- ۲۶- ۱۷- ۱۸- ۱۹- ۵۰- ۵۹- ۶۰- ۶۱- ۶۴- ۷۰
۹۳- ۹۴- ۹۶- ۹۷- ۹۸ ۹۹

۳۵

رطوبت نسبی = P_1 / P_1^*

درصد اشباع مطلق ← $\left(\frac{P_t - P_1^*}{P_t - P_1}\right) 100$ (اشباع نسبی) =

✓✓ درصد اشباع مطلق همواره کمتر از اشباع نسبی است مگر در شرایط اشباع (یا اشباع صفر درصد)

✓ مثال ۳-۲۵) ظرفی حاوی هلیوم محتوی ۱۲ مولی اتیل استات است. مطلوبست الف) درصد اشباع نسبی و ب) درصد اشباع مطلق مخلوط در دمای ۳۰°C و فشار

P^*_{Etac} at ۳۰°C = ۱۵,۹ kpa ، ۹۸ kpa

$$P_{Etac} = P_t \times y_{Etac} = P_t \times \left(\frac{n_{Etac}}{n_t}\right) = P_t \times \left(\frac{V_{Etac}}{V_t}\right)$$

$$= ۹۸ \times (۰,۱۲) = ۱۱,۷۶ \text{ kpa}$$

$$P_t = P_{Etac} + P_{He}$$
$$۹۸ = ۱۱,۷۶ + P_{He} \qquad P_{He} = ۸۶,۲ \text{ kpa}$$

درصد اشباع نسبی $= 100 \dfrac{P_{EAC}}{P^*_{Etac}} = 100 \dfrac{۱۱,۷۶}{۱۵,۹} = ۷۴\%$

درصد اشباع مطلق $= 100 \dfrac{\frac{P_{Etac}}{P_t - P_{Etac}}}{\frac{P^*_{Etac}}{P_t - P^*_{Etac}}} = \dfrac{\frac{۱۱,۷۶}{۹۸ - ۱۱,۷۶}}{\frac{۱۵,۹}{۹۸ - ۱۵,۹}} \times 100 = ۷۵\%$

مثال) مخلوطی از هوا و بخار اتیل استات در $30^\circ C$ و فشار کل $740\ mmHg$ دارای اشباع نسبی ۵۰ است. مطلوبست (الف) کسر بخار و ب) اشباع مولی

$$P^*_{Etac} \text{ at } 30^\circ C = 119\ mmHg$$

$$\text{اشباع نسبی} = 50 = \frac{P_{Etac}}{P^*_{Etac}} \Rightarrow P_{Etac} = \%50 \times (119) = 59,5\ mmHg$$

$$\frac{n_{Etac}}{n_t} = \frac{P_{Etac}}{P_t} = \frac{59,5}{740} = 0,0805$$

هوا 91,95٪ / Etac 8,05٪

$$\frac{n_{Etac}}{n_{air}} = \frac{P_{Etac}}{P_{air}} = \frac{P_{Etac}}{P_t - P_{Etac}} = \frac{59,5}{740 - 59,5} = 0,0874\ \frac{mol\ Etac}{mol\ air}$$

موازنه مواد سیال میعال و تبخیر:

مسئله ۲۶ ـ فصل ۳) چوب درخت کاج عنصل از C ٪50.31، H_2 ٪6.2، O_2 ٪43.08 و ٪41 خاکستر است. الف) حجم هوای لازم برای احتراق کامل هر پاوند از چوب را در ۷۶°F و 29.6 in.Hg برحسب ft^3 برست آورید.

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow H_2O$$
$$C + O_2 \longrightarrow CO_2$$

O_2 موجود در چوب $= O_2$ لازم برای $C + O_2$ لازم برای $H_2 = O_2$ لازم

مبنا = 100 lb چوب

C	۵۰٫۳۱ lb
H_2	۶٫۲ lb
O_2	۴۳٫۰۸ lb

$$O_2 \text{ لازم برای } C = \frac{50.31\ lb\ C}{1} \left| \frac{1\ lb\ mol\ C}{12\ lb\ C} \right| \frac{1\ lbmol\ O_2}{1\ lbmol\ C} = 4.192$$

$$O_2 \text{ لازم برای } H_2 = \frac{6.2\ lb\ H_2}{1} \left| \frac{1\ lbmol\ H_2}{2\ lb\ H_2} \right| \frac{1/2\ lbmol\ O_2}{1\ lbmol\ H_2} = 1.55$$

$$O_2 \text{ موجود در چوب} = \frac{43.08\ lb\ O_2}{1} \left| \frac{1\ lbmol\ O_2}{32\ lb\ O_2} \right. = 1.346$$

$$O_2 \text{ لازم} = (4.192 + 1.55 - 1.346) = 4.396\ lbmol\ O_2$$

همراه هوا وارد می‌شود.

$$\text{هوای لازم} = 4.396\ lbmol\ O_2 \times \frac{1\ lbmol\ Air}{0.21\ lbmol\ O_2} = 20.93\ lbmol\ Air$$

$$P = 29.6\ in.Hg$$
$$T = 76^\circ F + 460 = 536^\circ R$$
$$n = 20.93\ lbmol$$

S.C

$P = 29.92$

$T = 32 + 460 = 492$

$V = 359$

$$R = \frac{PV}{T} = 21.85$$

$$V = \frac{nRT}{P} = 8275.4\ ft^3\ Air / 100\ lb \text{ چوب} = 82.754 \frac{ft^3\ Air}{lb \text{ چوب}}$$

ب) اگر ۳۵٪ هوای اضافی مصرف شود، حجم گاز خشک حاصل از هر lb مول چوب را بر حسب ft^3 در $600^\circ F$ و 29,4 in.Hg محاسبه کنید.

O_2 اضافی $= 0,3 \times 4,396 = 1,318$

O_2 کل ورودی $= 4,396 + 1,318 = 5,714$

N_2 موجود $= 5,714\ lbmol\ O_2 \times \frac{0,79\ N_2}{0,21\ O_2} = 21,49\ lbmol\ N_2$

CO_2 تولیدی $\rightarrow 50,31\ lb\ C \times \frac{1\ lbmol\ C}{12\ lb\ C} \times \frac{1\ lbmol\ CO_2}{1\ lbmol\ C} = 4,19\ lbmol\ CO_2$

H_2O تولیدی $\rightarrow 7,2\ lb\ H_2 \times \frac{1\ lbmol\ H_2}{2\ lb\ H_2} \times \frac{1\ lbmol\ H_2O}{1\ lbmol\ H_2} = 3,1\ lb\ mol\ H_2O$

ترکیب	lbmol تولیدی
O_2	1,318
N_2	21,49
CO_2	4,19
	29,99 lbmol

$T = 600^\circ F$

$P = 29,6\ in.Hg$

$V = \frac{nRT}{P}$ ← $T \rightarrow 600 + 460$, $P \rightarrow 29,6$

۲۸) مقدار m^3/min ۲۰,۷ در $30^\circ C$ و 250 kpa در خط لوله‌ای جریان دارد. برای کنترل صحت مقدار جریان، lb He را در $25^\circ C$ و 200 kpa به خط لوله تزریق می‌کنند. در صورتی که حداقل غلظت قابل تشخیص He در نمونه

جریان ppm ۱۰ باید، تعیین کنید چند سانتیمتر مکعب در دقیقه از He را باید به لوله اضافه کرد.

$\rightarrow V_1$ $\rightarrow T_2$ $\rightarrow P_1$

۲۰,۷ m^3 متان | ۲۵+۲۷۳ | ۲۵۰ kpa $= 14,9V\ m^3$

۲۷۳+۳۰ K | ۳۰۰ kpa $\rightarrow P_2$

$\rightarrow T_1$

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \rightarrow V_2 = \frac{P_1V_1}{T_1} \times \frac{T_2}{P_2}$$

$$\frac{14,9V\ m^3\ CH_4}{1\ min} \Big| \frac{10^{-5}\ m^3\ \text{هلیم}}{1\ m^3\ CH_4} = 1,49V \times 10^{-4}\ m^3 = 1,49V \times 10^{2}\ cm^3$$

۵۷) یم فوت ملعب طز CO_2 را در فشار ثابت ۳۴۹۰ kpa حرارت داده و از ۱۶°C به ۷۷°C می رسانیم. حجم طز را پس از خاتمه حرارت در ۲ مورد زیر محاسبه و با یکدیگر مقایسه کنید؟ الف) طز غیر ایده‌آل ب) طز ایده‌آل

CO_2 $T_C = 304,2\ K$

$P_C = 72,9\ atm$

$T_1 = 16°C + 273 = 289\ K$

$T_2 = 77°C + 273 = 350\ K$

$$P = \frac{3490\ kpa}{101,3\ kpa} \Big| \frac{1\ atm}{} = 34,4\ atm$$

$$P_r = \frac{34,4}{72,9} = 0,5 \qquad T_{r_1} = \frac{289}{304,2} = 0,95 \rightarrow Z_1 = 0,76$$

$$T_{r_2} = \frac{350}{304,2} = 1,15 \rightarrow Z_2 = 0,9$$

$$\frac{P_1V_1}{Z_1T_1} = \frac{P_2V_2}{Z_2T_2} \qquad Z_2 = \frac{P_1}{0,76 \times 289} = \frac{P_2\ V_2}{0,9 \times 350} \rightarrow V_2 = 0,72\ m^3$$

ب) طز ایده‌آل

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} \qquad \frac{0,5}{289} = \frac{V_2}{350} \qquad V_2 = 0,61\ m^3$$

۶۲) یک اتیلن را از اتیلن توسط تراکم فرایند فشار بالا تهیه می‌کنند. تراکم اتیلن توسط کمپرسورهای پیستونی انجام می‌گیرد. اتیلن در فشار 1000 psia وارد و تا 20 000 psia متراکم می‌شود. دمای ثابت در این مرحله 25°C می‌باشد. الف) نسبت تراکم $\frac{V_1}{V_2}$ ب) حجم ویژه اتیلن در فشار بالا

اتیلن $T_c = 283,1\ K$ $P_c = 50,5\ atm$

$$P_{r_1} = \frac{1000}{50,5 \times 14,7} = 1,35 \qquad T_r = \frac{298}{283,1} = 1,05 \rightarrow Z_1 = 0,38$$

$$P_{r_2} = \frac{20\,000}{50,5 \times 14,7} = 27 \rightarrow Z_2 = 2,84$$

$$P_1 V_1 = Z_1 R T_1 n \qquad \frac{V_1}{V_2} = \frac{P_2}{P_1} \times \frac{Z_1}{Z_2} = \frac{20000}{1000} \times \frac{0,38}{2,84} = 2,68$$

$$P_2 V_2 = Z_2 R T_2 n$$

$$\frac{V_2}{n} = \frac{Z_2 R T_2}{P_2} = \frac{2,84 \times 10,73 \times 298 \times 144}{20\,000} = 0,32 \ \frac{ft^3}{lbmol}$$

$$\frac{1\ lbmol \mid 28\ lb}{0,32\ ft^3 \mid 1\ lbmol} = 87,2\ lb/ft^3$$

۹۳) (۷۰

$$P_e^* = 291,7\ mmHg$$

$$\text{اشباع سنجی} = \frac{P_e}{P_e^*} \times 100 = \frac{150}{291,7} \times 100 = 51,4\%$$

ب) $\frac{150}{715 - 150} = \frac{150}{565} = 0,2655$ ج) $\frac{150}{565} \times \frac{74}{44} = 9,72$

د)

درصد اشباع $\left(\frac{150}{715-150}\right)\left(\frac{715-291,7}{291,7}\right)100 = 38,5\%$

هـ)

درصد مولی اتر = درصد وزنی اتر $= \frac{150}{715} \times 100 = 21\%$