

درس «اصول محاسبات شیمی صنعتی» (۳ واحد)

رشته: شیمی کاربردی

بر اساس کتاب «اصول محاسبات مهندسی شیمی»

تألیف «ھیمل بلاو» ترجمه «دکتر مرتضی سهرابی»

نشر جهاد دانشگاهی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ۱۳۷۹



Chemistryforfuture

www.ShimiPedia.ir

فصل ۱

تبدیل واحدها



Chemistryforfuture

www.ShimiPedia.ir

مثال: ابعاد و واحدها

1ft + 3Secs

زمان طول

دارای معنی نیست

1hp + 300watts

ابعاد (انرژی در واحد زمان) یکسان، واحدها متفاوت

وات ۱۰۴۶ = وات ۳۰۰ + وات ۷۴۶

مثال: تبدیل واحدها

اگر هواپیمایی با سرعت دو برابر سرعت صوت پرواز کند (100 ft/sec): سرعت صوت)، سرعت آن را بر حسب مایل در ساعت به دست آورید.

$$2 \times \frac{1100 \text{ ft}}{\text{sec}} \times \frac{1 \text{ mi}}{5280 \text{ ft}} \times \frac{3600 \text{ sec}}{\text{ساعت}} = 150 \cdot \frac{\text{mi}}{\text{hr}}$$

مثال: ابعاد و واحدها

کمیت $\frac{in.^3}{روز}$ را به $\frac{cm.^3}{min}$ تبدیل کنید

$$400 \frac{in.^3}{روز} \times \frac{روز}{24 \times 60} \times \left(\frac{2/54 cm}{1 in} \right)^3 = 4/56 \frac{cm.^3}{min}$$

سیستمهای واحدها

ملاحظات دما انرژی نیرو جرم زمان طول

سیستم (cgs)
مطلق

cm s g دین کالری - ارگ

انگلیسی
مطلق
FPS

ft s پاوند-پاوند ft °F, °R

علمی سابق

m s kg N J °C, K

ft s Slug* پاوندیرو Btu °F,°R

ft s,hr lb_m lb_f Btu °F,°R

المللى بين علمى و عمومى

مہندسی شیمی و نفت

$$F = \frac{\text{جرم}}{\text{شتات}} \times \text{kg} \times \frac{\text{م}}{\text{s}^2} = \text{N}$$

در سیستم مهندسی امریکایی: واحد نیرو

$$F = lb_m \times \frac{g_{ft}}{s^2} \times \left(\frac{1}{g_c}\right) = lb_f$$

$$g = 32/17 \frac{ft}{s^2} \Rightarrow g_c = 32/2 \frac{(ft)(lb_m)}{(s^2)(lb_f)}$$

مثال: استفاده از g_c

یک صد پاوند آب در لوله‌ای با سرعت $10 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$ جریان دارد انرژی جنبشی آن را برحسب $lb_f \cdot ft$ به دست آورید.

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

جرم 100 lb

$$K = \frac{1}{2} (100 \cdot lb) \times \left(\frac{10/\cdot ft}{s} \right)^2 \times \frac{lb_f}{\frac{32/174}{lbm \cdot ft}} = 155 lb_f \cdot ft$$

مثال: استفاده از g_0

انرژی پتانسیل یک بشکه ۱۰ پاوندی را که در ارتفاع ۱۰ فوت از سطح زمین قرار دارد بر حسب lbf.ft تعیین کنید. سطح مقایسه سطح زمین است.

$$E_p = mgh$$

$$P = (1 \cdot lb_m)(32/2 \frac{ft}{s^2})(1 \cdot ft) \times \frac{1lb_f}{32/2 \frac{lb_m \cdot ft}{s^2}} = 1 \cdot lb_f \cdot ft$$

مثال: وزن

تفاوت وزن یک موشک ۱۰۰ کیلوگرمی را بر حسب نیوتن وقتی در ارتفاع ۱۰ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد ($g=7.6/9$) با حالتی که در سطح زمین ($g=8.0/9$) واقع شده حساب کنید.

= وزن موشک در زمین

$$(100 \text{ kg}) \left(9.8 \cdot \frac{m}{s^2} \right) \times \frac{N}{kgm} = \dots \dots N$$

= وزن موشک در ارتفاع

$$(100 \text{ kg}) \left(9.8 \cdot \frac{m}{s^2} \right) \times \frac{N}{kgm} = \dots \dots N$$

تفاضل

تبديل واحدها

$$12\text{in} = 1\text{ft}$$

$$3\text{ft} = 1\text{yd}$$

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

$$1\text{ft}^2 = 3.8 \times 10^{-6}\text{ gal}$$

$$1\text{ft}^2\text{H}_2\text{O} = 62.4\text{ lb}_m$$

$$1\text{ton}_m = 2000\text{ lb}_m$$

$$1\text{hr} = 60\text{ min} = 60 \times 60\text{ s}$$

$$10\text{mm} = 1\text{Cm}$$

$$1000\text{ cm} = 1\text{m}$$

$$1000\text{ cm}^3 = 1\text{L}$$

$$1\text{cm}^3\text{H}_2\text{O} = 1\text{g}$$

$$1\text{m}^3\text{H}_2\text{O} = 1000\text{ kg}$$

$$1000\text{ g} = 1\text{ Kg}$$

$$1\text{Btu} = 1055\text{ Cal}$$

$$1\text{in} = 2.54\text{ cm}$$

$$2.83\text{ ft} = 1\text{ m}$$

$$31.7\text{ ft}^2 = 1\text{ m}^2$$

$$1\text{lb}_m = 0.4536\text{ kg}$$

مثال: کاربرد ابعاد

معادله ساده شده انتقال حرارت از یک لوله به صورت زیر است:

$$h = \frac{Btu}{(hr)(ft^4)(^{\circ}F)}$$

= ضریب انتقال حرارت

$$\frac{lb_m}{(hr)(ft^4)} = \text{شدت جریان جرمی } G$$

ft = قطر خارجی بر حسب D

بیان کنیم، ثابت عددی به جای ۰.۲۶/۰ چند است؟

$$\frac{Cal}{(min)(cm^4)(^{\circ}C)} = \text{اگر بخواهیم } h \text{ را بر حسب}$$

$$h = \frac{0.26G^{1/4}}{D^{1/4}} \frac{Btu}{(hr)(ft^4)(^{\circ}F)} \times \frac{254cal}{1Btu} \times \frac{1h}{60\text{ min}} \times \left(\frac{1in.}{2.54cm}\right)^4 \times \left(\frac{1ft}{12in.}\right)^4 \left(\frac{1/10^6 F}{1^{\circ}C}\right)$$

$$= 2/11 \times 10^{-4} \frac{G^{1/4}}{D^{1/4}} \frac{cal}{(cm^4)(^{\circ}C)(\text{min})}$$

www.ShimiPedia.ir

واحد مولی

$$1\text{mol} = 6.023 \times 10^{23} \text{ مولکول} \quad (1.0^3 \text{ gmol} = 1 \text{ kgmol})$$

$$\text{مولکول} = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol} \quad (\text{lbmol} = 1 \text{ lbmol})$$

در سیستم امریکایی

$$\text{gmol} = \frac{\text{جرم بر حسب g}}{\text{وزن مولکولی}}$$

مثال: استفاده از وزن اتمی

اگر در ظرفی دو پاوند NaOH (وزن مولکولی = ۴۰) موجود باشد تعیین کنید:

الف) چند پاوند مول NaOH در ظرف موجود است.

ب) چند گرم مول NaOH در ظرف وجود دارد.

مبنای $\text{NaOH} = \text{دوپاند}$

$$2 / . lb \text{NaOH} \times \frac{1 \text{bmolNaOH}}{40 / . lb \text{NaOH}} = . / . 5 \text{.lb mol}$$

$$2 / . lb \text{NaOH} \times \frac{1 \text{gmol}}{40 / . g} \times \frac{454 \text{g}}{1 \text{lb}} = 22 / \sqrt{v} \text{ gmol}$$

مثال: استفاده از وزن اتمی

چند پاوند NaOH در ۵/۷ گرم مول NaOH در وجود دارد؟

مبنای سود = ۵/۷ gmol

$$۵/۷ \text{ gmol} \times \frac{۴۰ \text{ g}}{\text{gmol}} \times \frac{۱ \text{ lb}}{۴۵۴ \text{ g}} = ۰/۶۶ \text{ lb}$$

چگالی

چگالی

$$sp\ gr = \frac{(\cancel{lb}/\cancel{ft}^3)A}{(\cancel{lb}/\cancel{ft}^3)ref}$$

چگالی

$$sp\ gr = 0/73 \frac{20^\circ C}{4^\circ C}$$

$$spgr \frac{60^\circ}{60^\circ} = \frac{141/5}{^o API + 131/5} \quad \text{مثلًاً}$$

در این سیستم: چگالی $= 1000 / 1 g/cm^3$ = جرم ویژه آب در SI
در سیستم آمریکایی: چگالی $\neq 4 / 62 lb/ft^3$ = جرم ویژه آب در سیستم امریکایی

$$^o API = \frac{141/5}{spgr \frac{60^\circ}{60^\circ}} - 131/5$$

حجم ویژه = عکس جرم ویژه یعنی حجم به ازاء واحد جرم

$$\frac{\text{ft}^3}{\text{lbmol}} \quad \text{یا} \quad \frac{\text{ft}^3}{\text{lb}_m}$$

جزء مولی و جزء وزنی

$$\text{مولهای A} = \frac{\text{کسر مولی A}}{\text{کل مولها}}$$

تجزیه اورسات: (گازها) بر مبنای خشک / به مبنای حجمی یا مولی

تجزیه مایعات و جامدات: بر حسب درصد وزنی یا درصد مولی

مثال: کسر یا جزء مولی و کسر یا جزء وزنی

یک محلول تمیز کننده مجاری فاضلاب حاوی ۵ kg آب و ۵ سود است کسر مولی و کسر وزنی هر یک را تعیین کنید.

مبنای ۱۰۰ kg محلول

سازنده	kg	کسر وزنی	وزن مولکولی	Kg mol	کسر مولی
H ₂ O	۹۵/۰	۵۰۰/۰	۱/۱۸	۲۷۸/۰	۶۹۹/۰
NaOH	۵/۰	۵۰۰/۰	۴۰/۰	۱۲۵/۰	۳۱۱/۰
	۱۰۰/۱۰	۱۰۰/۱		۴۰۳/۰	

مثال: جرم ویژه و چگالی

اگر دی برموپتنان دارای چگالی ۱۵۷ باشد، دانسیته بر حسب kg/m^3 و lb_m/ft^3 ، g/cm^3 و

جسم مقایسه: آب

$$\begin{aligned}\text{157} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{157 \text{ gB/cm}^3}{\text{157 g/cm}^3} &= 157 \frac{\text{gB}}{\text{cm}^3} \\ \frac{157 \text{ lbB/ft}^3}{\text{157 lb/ft}^3} \times 62.4 \frac{\text{lb}_m}{\text{ft}^3} &= 97.9 \frac{\text{lb}_m \text{B}}{\text{ft}^3} \\ 157 \frac{\text{gB}}{\text{cm}^3} \times \left(\frac{100 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}}\right) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}}\right) &= 157 \times 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\end{aligned}$$

مثال: وزن مولکولی متوسط هوا

N_2 0/79 %
 O_2 0/21 %

متتشکل از ۱۰۰ lb mol مینا = هوا

سازنده	mol = درصد	وزن مولکولی	lb	% وزن
O_2	۰/۲۱	۳۲	۶۷۲	۱۷/۲۳
N_2	۰/۷۹	۲/۲۸	۲۲۲۸	۸۳/۷۶
کل	۰/۱۰۰		۲۹۰۰	۱۰۰/۱۰۰

= وزن مولکولی متوسط هوا

$$\frac{۲۹۰ .lb}{۱۰ .lb mol} ۲۹ / . . mol^{-1}$$

غلظت:

g/L یا وزن به ازای واحد حجم یا lb_m/ft^3 و
مول به ازای واحد حجم محلول یا واحدهای دیگر Mg/m^3 یا ppm

مبنا:

عبارت از مرجعی است که برای انجام محاسبات انتخاب می‌شود

مثال: انتخاب مبنا

هیدروکربنهای معطر بین ۱۵ تا ۳۰ درصد بنزین سرب دار و ۴٪ بنزین فاقد سرب را تشکیل می‌دهند. نسبت اتمهای کربن به هیدروژن عاملی در تشخیص سازنده‌های سوخت محسوب می‌شود. اگر سوختی متشکل از ۸۰٪ وزنی کربن و ۲۰٪ وزنی هیدروژن باشد، نسبت اتمهای H/C در این سوخت چند است؟

مبنا: ۱۰۰ پاوند یا kg سوخت

سازنده	kg	وزن مولکولی	درصد = Kg mol
C	۸۰	۱۲/۰	۶۷/۶
H	۲۰	۱/۰۸۰	۸۴/۱۹
کل	۱۰۰		

$$\frac{C}{H} = \frac{67/6}{84/19} = 0.33$$

مثال: انتخاب مبنا

اگر در گازگیری (تبدیل زغال سنگ به هیدروژن یا گاز سنتز)، ۵۰ kg گاز حاصل از یک واحد آزمایشی به طور متوسط متشكل از سازنده مطلوب است تعیین وزن مولکولی متوسط گاز.

سازنده	H _r	CH _₄	CO	CO _₂
درصد	۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۲۰

مبتدا: ۱۰۰ kg mol

سازنده	kg mol = درصد	وزن مولکولی	Kg
CO _₂	۰/۲۰	۰/۴۴	۸۸۰
CO	۰/۳۰	۰/۲۸	۸۴۰
CH _₄	۰/۴۰	۰/۶/۱۶	۶۴۲
H _r	۰/۱۰	۰/۲/۲	۲۰
	۰/۱۰۰		۲۳۸۲

جرم مولکولی

$$=\frac{2382 \text{ kg}}{100 \text{ kgmol}}=23.8 \text{ kg/kgmol}$$

مثال: تغییر مبنا

نمونه‌ای از زغال سنگ نرم متوسط دارای مواد سازنده زیر است:

مواد	گوگرد	اژت	خاکستر	اکسیژن	آب
درصد	۲	۱	۱۱	۶	۳

باقیمانده کربن و هیدروژن با نسبت اتمی $H/C = 9$ است. مطلوب است ترکیب درصد مواد متشکله بدن احتساب خاکستر و آب.

مبنا: ۱۰۰kg زغال سنگ

$$S + N + O + H = 2 + 1 + 6 + 11 + 3 = 23 \text{ Kg}$$

$$C + H = 100 - 23 = 77 \text{ Kg}$$

مبنای تازه: (برای تعیین kg کربن و هیدروژن)

سازنده	کسر مولی	Kg mol	وزن مولکولی	kg	
H	$\frac{9}{1+9} = 0.90$	90	0.08/1	7/90	$77 \times \frac{90/7}{210/7} = 33/15 kgH$
C	$\frac{1}{10} = 0.10$	10	12	120	
کل		100		7/210	$77 \times \frac{120}{210/7} = 43/85 kgC$

سازنده	kg	کسر وزنی
C	85/43	51/0
H	15/33	39/0
S	2	0.2/0
N	1	0.1/0
O	6	0.7/0
کل	100	100/0

:دما

$$T_{o_R} = T_{o_F} \times \left(\frac{\Delta^{\circ} R}{\Delta^{\circ} F} \right) + \epsilon_8.$$
$$T_K = T_{o_C} \times \left(\frac{\Delta^{\circ} R}{\Delta^{\circ} C} \right) + \epsilon_{11}$$
$$T_{o_F} - \epsilon_2 = T_{o_C} \left(\frac{\Delta^{\circ} F}{\Delta^{\circ} C} \right)$$
$$T_{o_F} = (T_{o_C} + \epsilon_9) \left(\frac{\Delta^{\circ} F}{\Delta^{\circ} C} \right) - \epsilon_9.$$

مثال: تبدیل دما

۱۰۰°C را به K، °F و °R تبدیل کنید

$$(100 + 273)^\circ C \times \left(\frac{1\Delta K}{1\Delta^\circ C} \right) = 273K$$
$$100^\circ C \times \left(\frac{1/1\Delta^\circ F}{1\Delta^\circ C} \right) + 32^\circ F = 212^\circ F$$
$$(212 + 460)^\circ F \times \left(\frac{1\Delta^\circ R}{1\Delta^\circ F} \right) = 672^\circ R$$

مثال: تبدیل دما

ظرفیت حرارتی اسید سولفوریک

با رابطه زیر داده شده است:

$$\frac{Cal}{(gmol)(^{\circ}C)}$$

$$= 25/33 + 727/3 \times 10^{-2} T$$

$$\frac{Btu}{(lbmol)(^{\circ}R)}$$

در این رابطه T بر حسب ${}^{\circ}C$ است. معادله را به صورتی بنویسید که ظرفیت حرارتی بر حسب ${}^{\circ}R$ باشد.

ظرفیت حرارتی

$$= 33/25 + 3/727 \times 10^{-4} \left[\underbrace{(T_{o_R} - 460 - 32)}_{j/T \text{ واحد}} \times \underbrace{\frac{{}^{\circ}C}{{}^{\circ}F}}_{{}^{\circ}C \text{ به } {}^{\circ}R} \right]$$
$$\frac{Cal}{(gmol)(\Delta{}^{\circ}C)} \times \frac{1 Btu}{252 Cal} \times \frac{454 gmol}{1 lbmol} \times \frac{1 \Delta{}^{\circ}C}{1/8 \Delta{}^{\circ}R} = 23/0.6 + 2/0.71 \times 10^{-4} T_{o_R}$$

فشار: فشار واردہ از طرف ستونی از جیوه به ارتفاع ۵۰cm را بر حسب lb/ft² و N/m² ارا حساب کنید

ستون جیوه جرم ویژه جیوه

$$\frac{13/55g}{cm^3} \times 50cm \times 1cm^2 \times \frac{98cm}{s^2} \times \frac{1kg}{1000g} \times \frac{1N}{1kgm} = 6/64 N$$

$$P = 6/64 \frac{N}{cm^3} \times \left(\frac{100cm}{1m}\right)^2 = 6/64 \times 1.0^4 \frac{N}{m^2}$$

جرم ویژه جیوه = ۸۴۶lb_m/ft³

$$50cmHg \times \frac{846lb_m}{ft^3} \times \left(\frac{1ft}{12in.}\right) \left(\frac{1in.}{2/54cm}\right) \left(\frac{32/2ft}{s^2}\right) \times \left(\frac{1lb_f}{32/174 lb_m \cdot ft}\right) = 1387 \frac{lb_f}{ft^3}$$

مثال تبدیل فشار

$$psia = \frac{lb}{in^2}$$

مطلق

$$psig = \frac{lb}{in^2}$$

نسبی

۳۵ را به اینچ جیوه تبدیل کنید.

$$psia = psig +$$

$$35 psia = \text{مبدأ}$$

$$35 psia \times \frac{29.92 in.Hg}{14.7 psia} = 71.25 in.Hg$$

مثال: تبدیل فشار

جرم ویژه هوا را با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. اگر فشار 340 mmHg باشد، چند $\text{in.H}_2\text{O}$ و چند KPa است؟

$$340 \text{ mmHg} = \text{مبدأ}$$

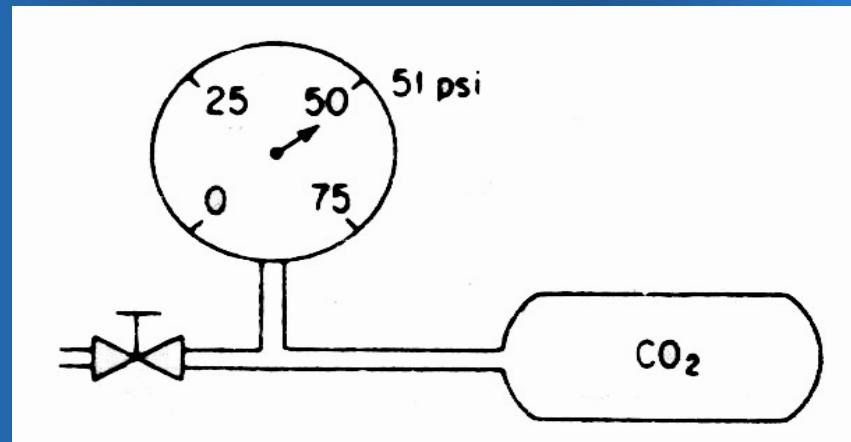
$$340 \text{ mmHg} \times \frac{33/91 \text{ ft H}_2\text{O}}{760 \text{ mmHg}} \times \frac{12 \text{ in}}{1 \text{ f}} = 182 \text{ in.H}_2\text{O}$$

$$340 \text{ mmHg} \times \frac{1/0.13 \times 10^5 \text{ N/m}^2}{760/0 \text{ mmHg}} \times \frac{1 \text{ KN}}{1000 \text{ N}} = 45/4 \text{ KPa}$$

مثال: تبدیل فشار

فشار سنج نصب شده بر یک مخزن CO_2 برای دادن گاز به بطریهای نوشابه $0/51 \text{ psi}$ را نشان می‌دهد. در همان حال از بارومتر $0/28 \text{ in.Hg}$ خوانده می‌شود. فشار مطلق گاز در مخزن چند psia است؟

$$\text{مبدا} = \text{فشار اتمسفری} = 0/28 \text{ in.Hg}$$



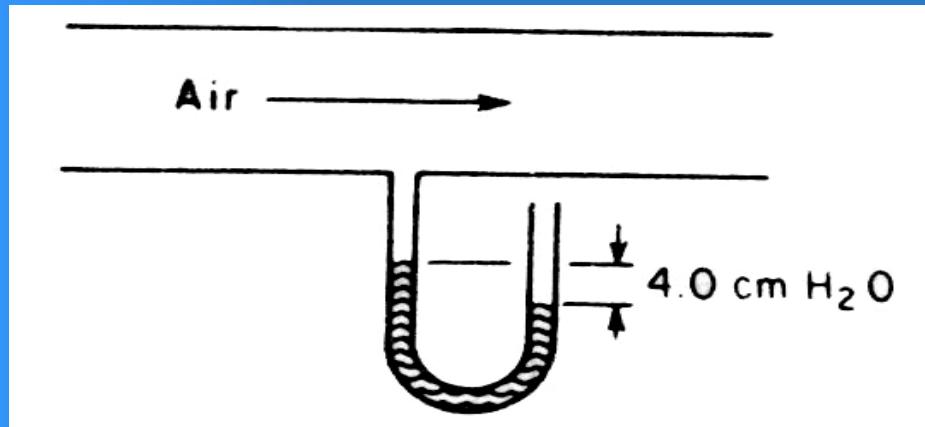
= فشار اتمسفری

$$0/28 \text{ in.Hg} \times \frac{14.7 \text{ Psia}}{29.92 \text{ in.Hg}} = 13.78 \text{ Psia}$$

$$\text{Psia} = 0/51 + 13.78 = 13.78 + 14.7 = 28.48 \text{ psia}$$

مثال: تبدیل فشار

هوای در داخل یک مجرّا تحت مکش معادل $4 \text{ cm.H}_2\text{O}$ جریان دارد. بارومتر، فشار اتمسفر را برابر 730 mmHg نشان می‌دهد. فشار مطلق گاز بر حسب in.Hg چند است؟



$$730 \text{ mmHg} = \text{مبنی}$$

= فشار اتمسفری

$$730 \text{ mmHg} \times \frac{29/92 \text{ in.Hg}}{76 \text{ mmHg}} = 28/9 \text{ in.Hg}$$

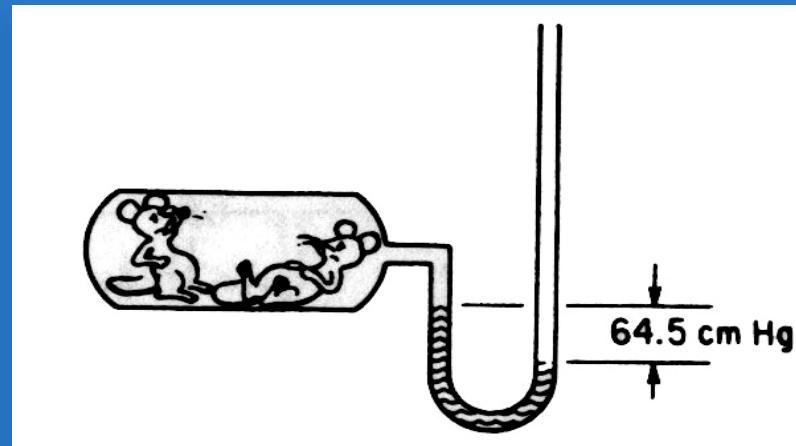
$$\text{مبنی} = 4 \text{ cm.H}_2\text{O} \text{ مکش}$$

$$4 / .cmH_2O \times \frac{1 \text{ in.}}{2 / 54 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in.}} \times \frac{29 / 92 \text{ inHg}}{33 / 91 \text{ ftH}_2O} = . / 12 \text{ inHg}$$

$$\text{هوای} = 9 / 28 - 12 / 0 = 8 / 28 \text{ in.Hg} \text{ فشار مطلق}$$

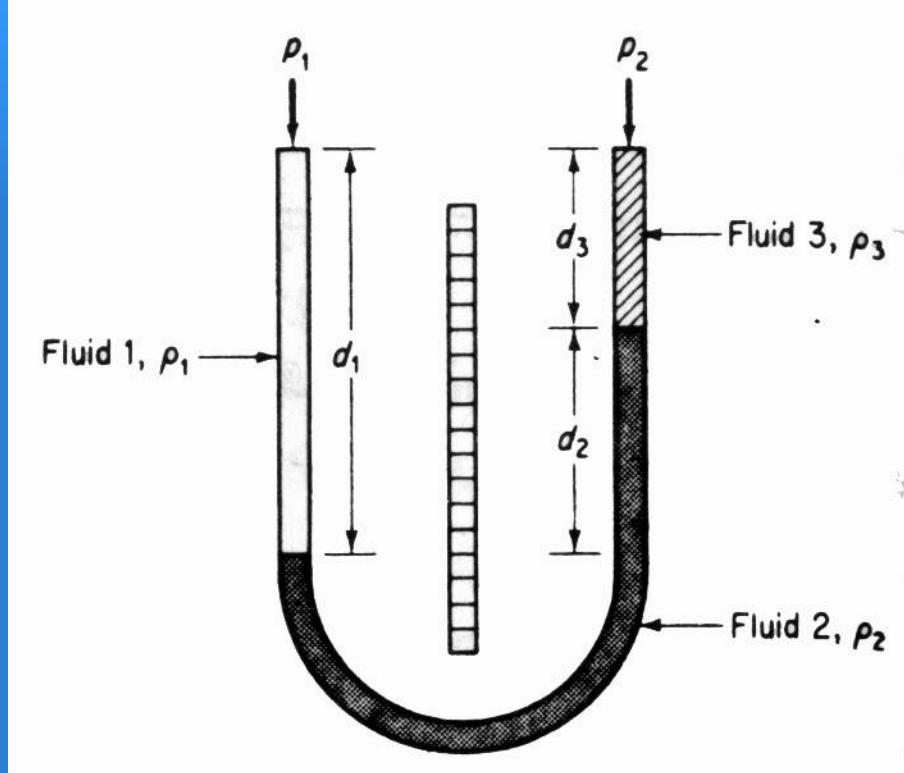
مثال: قرائت فشار خلاء

در یک آزمایش فشار سنج نصب شده بر یک مخزن $5/64 \text{ cm.Hg}$ را نشان می‌دهد. از بارومتر فشار 100 KPa قرائت می‌شود. آیا موشها (آستانه 20 KPa) جان سالم به دار می‌برند؟



$$64/5 \text{ cmHg} \times \frac{101/3 \text{ KPa}}{76/0 \text{ cmHg}} = 86 \text{ KPa}$$

موشها زنده نخواهند ماند
 $100 - 86 = 14 \text{ KPa}$



$$P_1 + \rho_1 d_1 g = P_r + \rho_r d_r g + \rho_r d_r g$$

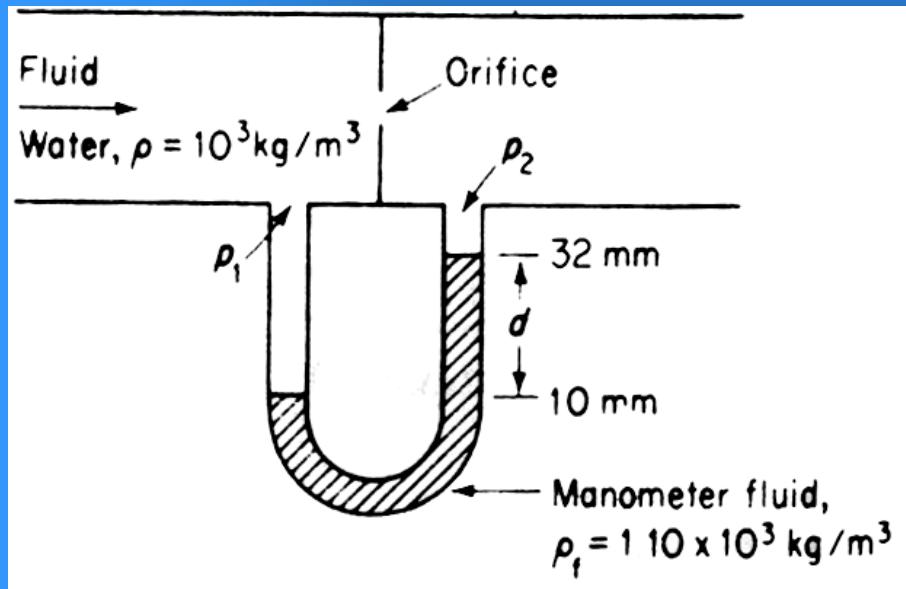
$$\rho_1 = \rho_r = \rho$$

$$P_1 - P_r = (\rho_r - \rho) d_r g$$

مثال: محاسبه اختلاف فشار

در اندازه‌گیری شدت جریان سیال در لوله‌ها با فشار سنج تفاضلی، اختلاف فشار را در اطراف صفحه سوراخ دار orifice تعیین می‌شود. شدت جریان را می‌توان بر حسب افت فشار تعیین کرد. افت فشار

$P_1 - P_2$ را بر حسب پاسکال حساب کنید؟

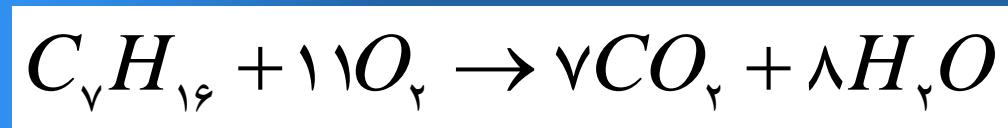


$$P_1 - P_2 = (\rho_f - \rho) g \cdot d$$
$$= \frac{(1/10 - 1/100) \times 10^3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{9.81 \text{ m}}{\text{s}^2} \times (22 \times 10^{-3}) \times \frac{1 \text{ N}}{\text{kg m}} = 21.6 \text{ Pa}$$

مثال: استوکیومتری

در احتراق هپتان، CO_2 تولید می‌شود. اگر بخواهیم ۵۰۰ kg/hr یخ خشک تولید کنیم و ۵۰٪ از گاز CO_2 حاصل قابل تبدیل به یخ خشک باشد، چند kg/hr هپتان باید سوزانده شود؟

مبنی = یخ خشک ۵۰۰ kg (یا یک ساعت انجام فرآیند) = وزن مولکولی هپتان



۱g mol	۱۱g mol	۷g mol	۸g mol
۱(۱۰۰)g	۱۱(۳۲)g	۷(۴۴)g	۸(۱۸)g
۱۰۰	۳۵۲	۳۰۸	۱۴۴
۴۵۲g		۴۵۲g	

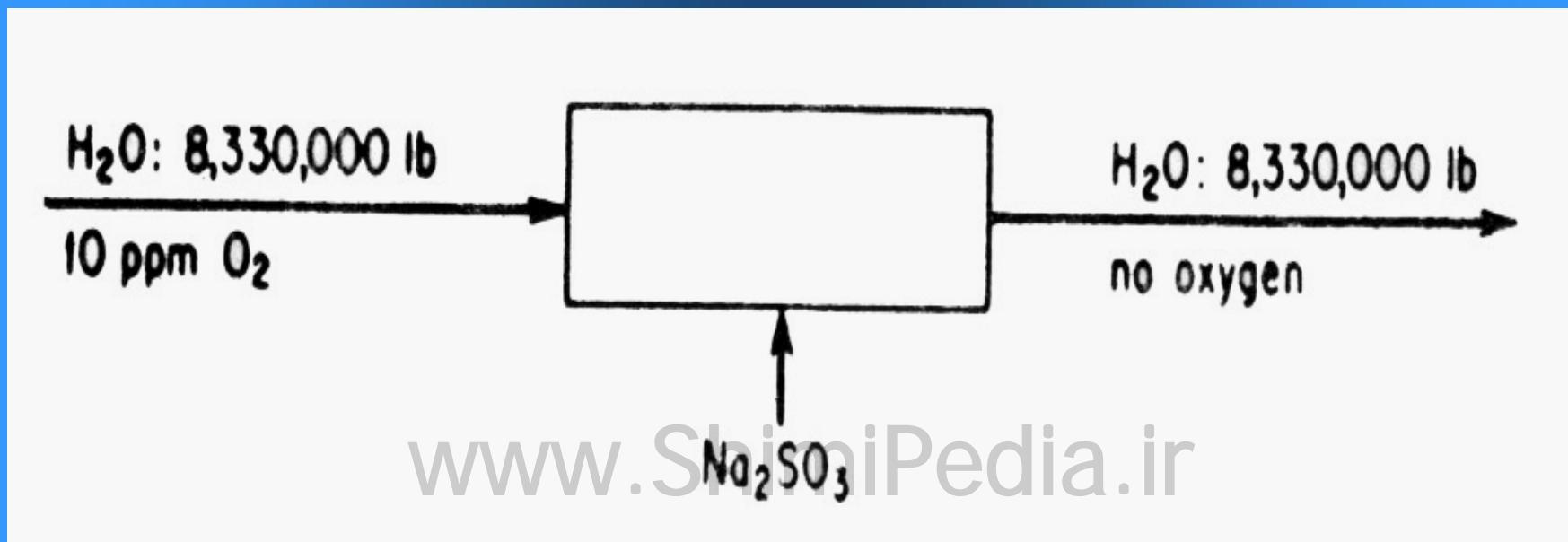
$$500 \text{ kg} \text{ یخ خشک} \times \frac{1 \text{ kg CO}_2}{0.5} \times \frac{1 \text{ kg mol CO}_2}{44 \text{ kg CO}_2} \times \frac{1 \text{ kg mol C}_7\text{H}_{16}}{7 \text{ kg mol CO}_2} \times \frac{100 \text{ kg}}{1 \text{ kg mol C}_7\text{H}_{16}} = 325 \text{ kg}$$

مثال: استوکیومتری

خوردگی لوله‌های دیگ بخار در اثر اکسیژن را می‌توان با استفاده از سولفیت سدیم کاهش داد
سولفیت سدیم اکسیژن را حذف می‌کند.



چند پاؤند سولفیت برای حذف اکسیژن موجود در ۱۰۶ lb (۸۳۳,۰۰۰ گالن) آب لازم است، در صورتی که خلشت اکسیژن محلول ۱۰ ppm بوده و ۳۵٪ سولفیت اضافی در آب داشته باشیم؟



m.w = سولفیت ۱۲۶

مبنای lb آب حاوی ۱۰ ppm اکسیژن

$$\begin{aligned} & \text{لیتر} \times \frac{1 \text{ لیتر}}{(1000 \text{ لیتر})} = 10^{-3} \text{ لیتر} \\ & 10^{-3} \text{ لیتر} \times \frac{1 \text{ لیتر}}{1 \text{ لیتر}} \times \frac{1 \text{ لیتر}}{32 \text{ لیتر}} \times \frac{2 \text{ لیتر}}{1 \text{ لیتر}} \times \frac{126 \text{ گرم}}{1 \text{ لیتر}} \times \frac{1}{35} \\ & = 885 \text{ گرم Na}_2\text{SO}_4 \end{aligned}$$

مثال: استوکیومتری

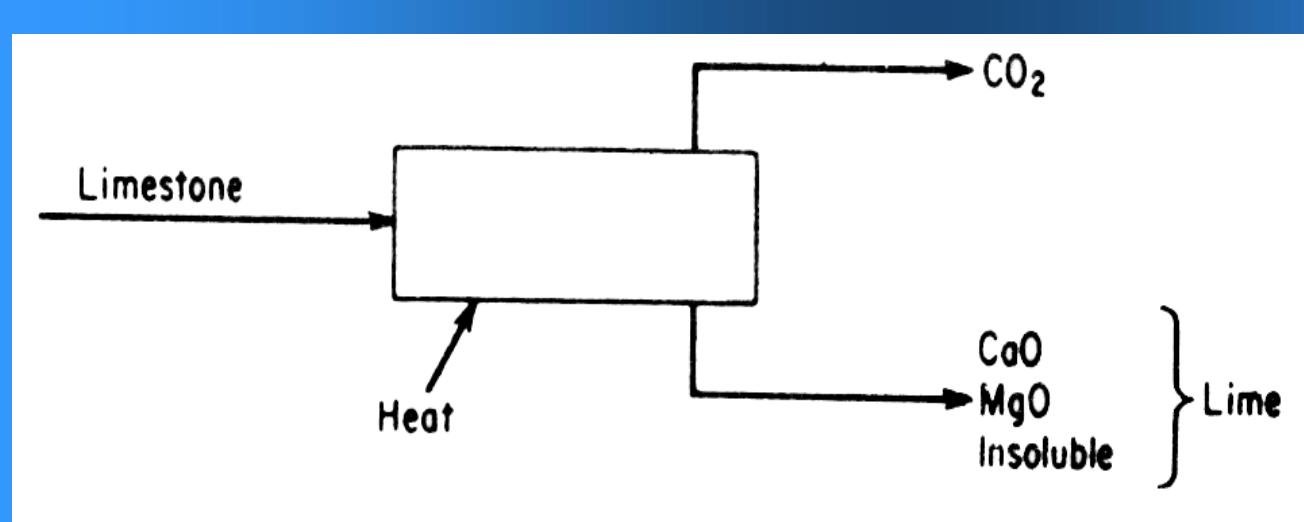
تجزیه سنگ آهک به قرار زیر است

CaCO_3	MgCO_3	مواد نامحلول
۸۹/۹۲	۴۱/۵	۷۰/۱

الف) از ۵ تن سنگ آهک چند lb اکسید کلسیم حاصل می‌شود؟

ب) از هر پاوند سنگ آهک چند CO_2 lb به دست می‌آید؟

ج) برای تهیه یک تن آهک زنده، چند پاوند سنگ آهک مورد نیاز است؟



	M.W
CaCO_3	۱۰۰
MgCO_3	۸۴/۳
CaO	۵۶/۰
MgO	۴۰/۳
CO_2	۴۴

سازنده	lb=درصد	Lbmol	سازنده	lb	CO ₂ (lb)
CaCO ₃	۸۹/۹۲	۹۲۸۹/۰	CaO	۰/۵۲	۹/۴۰
MgCO ₃	۴۱/۵	۰۶۴۱/۰	MgO	۰۹/۲	۸۲/۲
فامحلول	۷۰/۱		فامحلول	۷۰/۱	
	۰۰/۱۰۰	۹۹۳۰/۰		۳/۵۶	۷/۴۳

CaO = ۰/۵۲ lb CaO تولید شده

$$= ۵۲ / \cdot lb CaO \times \frac{۱}{۱ \cdot lb} \times \frac{۲ \cdot \cdot \cdot lb}{۱ ton} \times ۵ton = ۵۲ \cdot \cdot lb CaO$$

CO₂ بازیابی شده

$$= \frac{۴۳ / \sqrt{lb} CO_2}{۱ \cdot \cdot lb} = \cdot / ۴۳ \sqrt{lb}$$

سنگ آهک موردنیاز

$$= \frac{ton \times ۲ \cdot \cdot \cdot lb}{ton} \times \frac{۱ \cdot \cdot lb}{۵۶ / ۳ lb} = ۳۵۶ \cdot lb$$

جسمی که کمترین مقدار استوکیومتری را دارد

جسمی است که مازاد بر ترکیب شونده محدود کننده

$$\text{مولهای اضافی} \times 100 = \frac{\text{مولهای لازم برای ترکیب با محدود کننده}}{\text{درصد اضافی}}$$

میزان تبدیل:

جزئی از خوراک یا یک ماده موجود در خوراک که به محصول تبدیل می‌شود

درجه کامل شدن واکنش:

درصد یا جزئی از ترکیب شونده محدود کننده است که به محصول تبدیل می‌شود

گزینندگی:

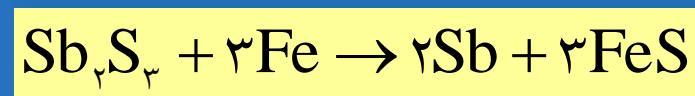
نسبت تعداد مولهای یک محصول به تعداد مولهای یک فرآورده دیگر (نامطلوب)

Yield بازده:

در مورد ترکیب شونده یا محصول عبارت است از جرم یا تعداد مول محصول نهایی تقسیم بر جرم یا تعداد مول ترکیب شونده اولیه (P پاوند محصول A به R پاوند از ترکیب شونده B)

مثال: ترکیب شونده محدود کننده در واکنش کامل نشده

فلز sb در اثر حرارت گرد نرم سولفید آنتیموان با آهن قراضه تهیه و به صورت مذاب از ظرف واکنش خارج می‌شود.



فرض می‌کنیم ۶٪ سولفید با ۲۵٪ آهن حرارت داده شود و sb ۲٪ kg تهیه شود،
مطلوب است:

الف) ترکیب شونده محدود کننده

ب) درصد ترکیب شونده اضافی

www.ShimiPedia.ir

ج) درجه کامل شدن

سازنده	Kg	وزن مولکولی	g mol	
Sb ₂ S ₃	۶۰۰/۰	۷/۳۹	۷۷/۱	۴۸/۴ (۱/۴)=۴۹/۱
Fe	۲۵۰/۰	۸/۰۵	۴۸/۴	۳(۷۷/۱)=۲۱/۵
Sb	۲۰۰/۰	۸/۱۲۱	۶۴/۱	۴۸/۴ کمترین مقدار استیوکیومتری
FeS		۹/۸۷		محدود کننده آهن

درصد ترکیب شونده اضافی

$$=\frac{۱/۷۷-۱/۴۹}{۱/۴۹} \times 100 = ۱۸/۸\%$$

درصد Sb₂S₃ اضافی

مقدار آهن ترکیب شده با استفاده از ۶۴/۱ g mol آنتیموان بدست آمد:

$$\frac{۱/۶۴ g mol Sb \times \frac{۳ g mol Fe}{۲ g mol Sb}}{۲/۴۶ g mol Fe}$$

اگر مقصود از درجه کامل شدن، جزئی از آهن باشد که به FeS تبدیل می‌شود:

$$\frac{۲/۴۶}{۴/۴۸} = ۰/۵۵$$

= درجه کامل شدن

درجه تبدیل مثلاً براساس : Sb_2S_3

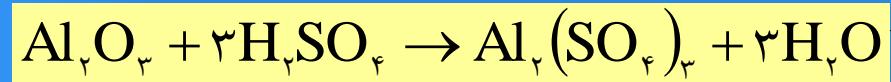
$$Sb \text{ به } Sb_2S_3 = \frac{۱/۶۴ \text{ g mol Sb} \times ۱ \text{ g mol } Sb_2S_3}{۲ \text{ g mol Sb}} = ۰/۸۲ \frac{\text{g mol Sb}}{۱ \text{ g mol } Sb_2S_3}$$

= درصد تبدیل Sb به Sb_2S_3 ٪.۸۲

بازده: به صورت Sb kg حاصل شده از هر kg Sb_2S_3

$$yield \text{ بازده} = \frac{۰/۲۰۰ \text{ kg Sb}}{۰/۶۰۰ \text{ kg } Sb_2S_3} = \frac{۱}{۳}$$

مثال: ترکیب شونده محدود کننده در واکنشهای کامل نشد و سولفات آلومینیوم از بوکسیت با اسید سولفوریک تهیه می‌شود:



سنگ معدن بوکسیت ۴/۵۵٪ وزنی Al_2O_3 دارد و بقیه آن فاصله ای است.

اسید سولفوریک مصرفی ۷۷٪ H_2SO_4 دارو و بقیه آن فاصله ای آب است.

برای تهیه سولفات فاصله که دارای ۱۷۹۸ lb سولفات خالص باشد، ۱۰۸۰ پاوند بوکسیت و ۲۵۱۰ پاوند محلول اسید به مصرف می‌رسند.

الف) ترکیب شونده اضافی کدام است؟

ب) چه درصدی از ترکیب شونده اضافی مصرف شده است؟

ج) درجه کامل شدن واکنش چند است؟

$$1798 \text{ lb سولفات} \times \frac{1 \text{ lb mol سولفات}}{342/1 \text{ lb سولفات}} = 5/26 \text{ lb mol Al}_2(\text{SO}_4)_3$$

$$108.0 \text{ lb بوکسیت} \times \frac{0.554 \text{ lb Al}_2\text{O}_3}{1 \text{ lb بوکسیت}} \times \frac{1 \text{ lb mol Al}_2\text{O}_3}{101/1 \text{ lb mol Al}_2\text{O}_3} = 5/87 \text{ lb mol Al}_2\text{O}_3$$

$$251.0 \text{ lb اسید} \times \frac{0.777 \text{ lb H}_2\text{SO}_4}{1 \text{ lb اسید}} \times \frac{1 \text{ lb mol H}_2\text{SO}_4}{98/1 \text{ lb H}_2\text{SO}_4} = 19/88 \text{ lb mol H}_2\text{SO}_4$$

اگر Al_2O_3 محدود کننده باشد، $61/12 \text{ lb} = 3(87/5) = 19/12 \text{ lb}$ اسید لازم خواهد بود، و اسید از این مقدار بیشتر است. پس H_2SO_4 ترکیب شونده اضافی است.

$$5/26 \text{ lb mol سولفات} \times \frac{2 \text{ lb mol H}_2\text{SO}_4}{1 \text{ lb mol سولفات}} = 15/78 \text{ lb mol H}_2\text{SO}_4 \quad \text{صرف شده}$$

$$\frac{5/26}{5/87} = 0.90$$

درجه کامل شدن واکنش

مثال: گزینندگی و بازده

در هیدروژن گیری از اتان دو واکنش زیر انجام می‌شود:



با دانستن توزیع محصولات (گازی) به شرح زیر:

سازنده	C_2H_6	C_2H_4	H_2	CH_4	کل
درصد (حجمی یا مولی)	۳۵	۳۰	۲۸	۷	۱۰۰

مطلوبست: الف) گزینندگی C_2H_4 نسبت به CH_4

www.ShimiPedia.ir

ب) بازده C_2H_4 بر حسب kg mol اتیلن به کیلوگرم مول اتان

مبنا = ۱۰۰ kg mol محصولات

حل: الف)

$$\text{گزینندگی} = \frac{۳۰ \text{ kg mol } C_2H_4}{۷ \text{ kg mol } CH_4} = ۴/۲۹$$

ب) تعداد مولهای C_2H_6 وارد شده در واکنش از تعداد مولهای اتیلن و اتان بدست می‌آید:

$$\begin{aligned} & ۳۰ \text{ kg mol } C_2H_4 \times \frac{۱ \text{ kg mol } C_2H_6}{۳۰ \text{ kg mol } C_2H_4} = ۳۰ \text{ kg mol} && \text{اتان} \\ & ۷ \text{ kg mol } CH_4 \times \frac{۱ \text{ kg mol } C_2H_6}{۷ \text{ kg mol } CH_4} = ۱/۵ \text{ kg mol} && \text{اتان} \\ & \hline & & \text{کل اتان} \\ & & & ۳۳/۵ \text{ kg mol} \end{aligned}$$

$$\text{بازده} = \frac{۳۰}{۳۳/۵} = ./۹.$$

فصل ۲

موازنہ مواد



Chemistryforfuture

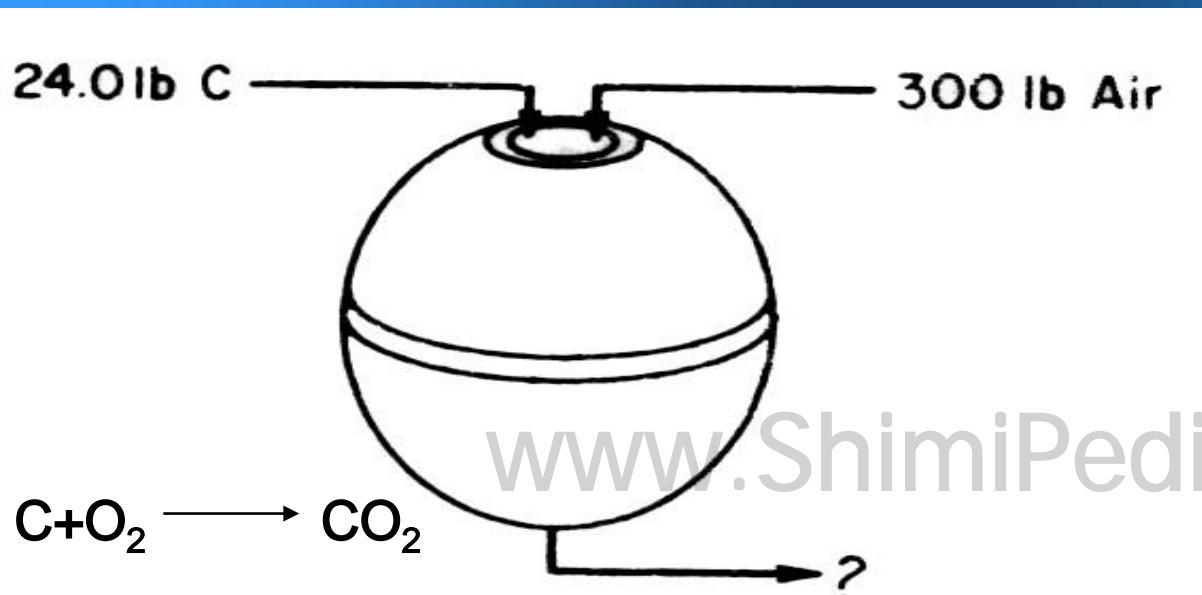
www.ShimiPedia.ir

موازنہ مواد

$$\{\text{مواد مصرف شده}\} - \{\text{تولید شده}\} + \{\text{خروجی}\} - \{\text{ورودی}\} = \{\text{جرم تجمع یافته در سیستم}\}$$

مثال:

اگر ۳۰۰ پاؤند هوا و ۲۴ پاؤند کربن را در دمای 600°F در راکتوری قرار داده و پس از احتراق کامل هیچ ماده‌ای در راکتور باقی نماند، چند پاؤند کربن خارج شده است؟ چند پاؤند اکسیژن؟ کل مواد خروجی چند پاؤند بوده است؟ (ب) چند مول کربن و اکسیژن وارد شده است؟ چند مول از راکتور خارج شده است؟ کل مولهای ورودی و خروجی چند مول بوده است؟



$$300 + 0 / 24 = 324 \text{ lb}$$

تجمع وجود ندارد

کل مواد خروجی از واکنشگاه

مبنا: ۳۰۰ lb هوای ورودی

۳۰۰ lb هوای	۱ lb mol هوای	۰/۲۱ lb mol O ₂	= 18/2 lb mol O ₂
۰/۲۹ lb هوای		۱۰۰ lb mol	

۲۴ lb C	۱ lb mol		
	۰/۱۲ lb		= 0/2 lb mol C

از راکتور خارج می شود O₂ = ۱۸/۰ lb mol O₂ مصرف نشده = (۱۸/۰)(۳۲) = ۷۶/۵ lb O₂

CO₂ خارج شده از راکتور = ۰/۸۸ lb CO₂ = (۰/۰/۲)(۰/۴۴)

N₂ خارج شده

۱۸/۲ lb mol O ₂	۰/۷۹ N ₂	۰/۲۸ lb N ₂	= 230 lb N ₂
۰/۲۱ O ₂		۱ lb mol N ₂	

جمع کل جریانهای ورودی و خروجی

ورودی	Ib	Ib mol	خروجی	Ib	Ib mol
O ₂	۲۰	۱۸/۲	O ₂	۷۶/۵	۱۸/۰
N ₂	۲۳۰	۲۰/۸	N ₂	۲۲۰	۲۰/۸
C	۲۴	۰۰/۲	CO ₂	۸۸	۰۰/۲
کل	۳۲۴	۳۸/۱۲	کل	۳۲۴	۳۸/۱۰

مولهای اجزاء سازنده خروجی مولهای اجزاء سازنده خروجی

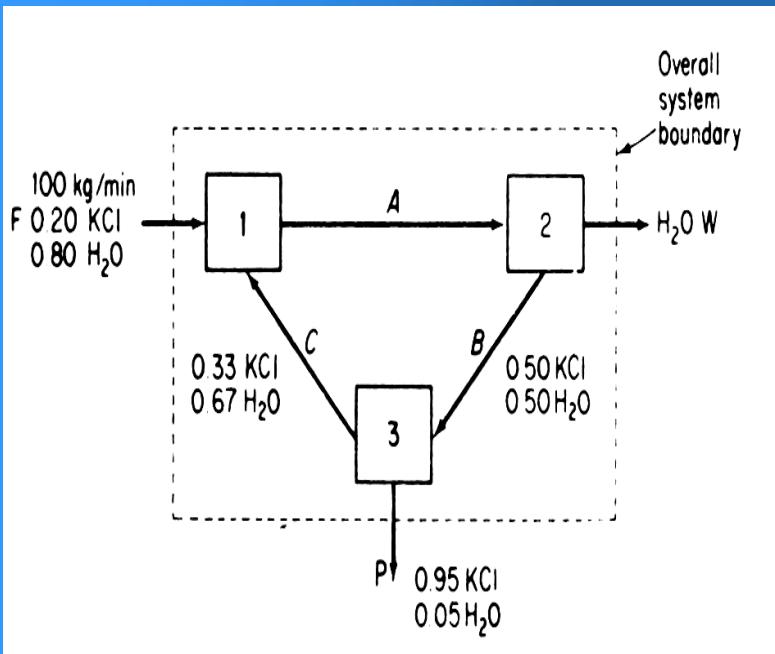
O ₂	۱۸/۲	O ₂	۱۸/۰
—	—	بصورت CO ₂ در	۰۰/۲
کل	—	کل	۱۸/۲
N ₂	۲۰/۸	N ₂	۲۰/۸
C	۰۰/۲	بصورت CO ₂ در	۰۰/۲

$$W_F \cdot F = W_P \cdot P + W_W \cdot W$$

$$W_A + W_B + W_C + \dots = 1$$

مجموع اجزاء جرمی در هر جریان برابر یک است.

تشکیل دستگاه معادلات:



واحد ۱ - موازنۀ کلی

$$KCl_1 - 1: (20/100)(100) + (33/100)(C) = (W_{KCl})(A)$$

واحد ۲ - موازنۀ کلی

$$KCl_2 - 2: (W_{KCl,A})(A) = (50/100)(B)$$

موازنۀ کلی سیستم

$$F = W + P$$

موازنۀ KCl در کل سیستم

$$(20/100)F = (95/100)P$$

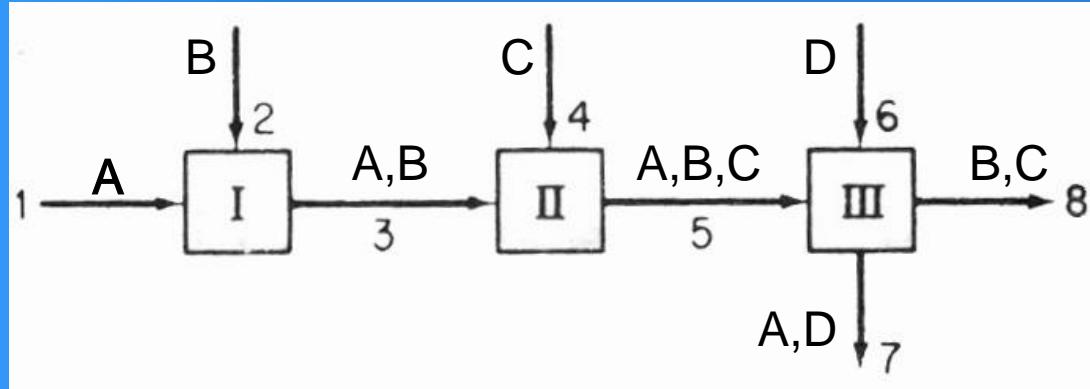
$$\sum W_i = 1$$

$$W_{KCl,A} + W_{H_2O,A} = 1$$

$$W_{KCl,A} + W_{H_2O,A} = 1$$

مثال:

برای حل این مسئله چند مواده مستقل وجود دارد؟



تعداد موازنها

۲

در واحد I، دو سازنده موجود است

۳

در واحد II، سه سازنده موجود است

۴

در واحد III، چهار سازنده موجود است

۹

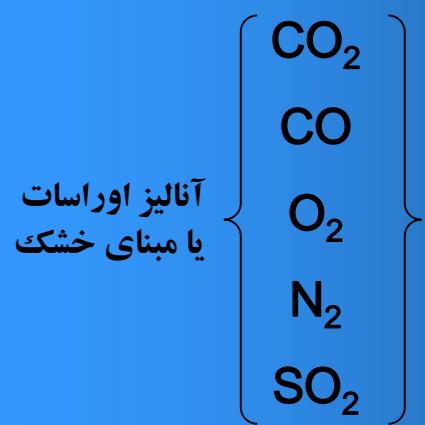
تعداد کل موازنها

تعاریف:



بنای مرطوب، تجزیه اورسات بنای خشک گازهای حاصل از تجزیه

$$= 100 \times \frac{\text{هوای اضافی}}{\text{هوای مورد نیاز}} = 100 \times \frac{\text{O}_2 : 21/0}{\text{O}_2 : 21/0}$$



$$= 100 \times \frac{\text{مورد نیاز - O}_2 \text{ ورودی به فرآیند}}{\text{مورد نیاز O}_2}$$

$$= 100 \times \frac{\text{اضافی O}_2}{\text{اضافی O}_2 - \text{ورودی O}_2}$$

$$\text{اضافی O}_2 + \text{O}_2 \text{ لازم برای احتراق} = \text{ورودی O}_2$$

مثال: هوای اضافی

در سالهای اخیر موادی غیر از بنزین جهت سوخت وسائط نقلیه موتوری مورد توجه قرار گرفته است. مثلاً اتیلن تحت فشار بعنوان منبع اقتصادی تولید نیرو پیشنهاد شده است. فرض کنیم در یک آزمایش ۲۰ پاوند C_2H_6 با ۴۰۰ پاوند هوا سوخته و تولید ۴۴ پاوند CO_2 و ۱۲ پاوند CO کرده است. درصد هوای اضافی چند است؟



C_2H_4 مبنای: ۲۰ پاؤند

O_2 مورد نیاز برای احتراق کامل:

$$\frac{20 \text{ lb } C_2H_4}{0.28 \text{ lb}} \times \frac{2 \text{ lb mol } O_2}{1 \text{ lb mol } C_2H_4} = 14/2 \text{ lb mol } O_2$$

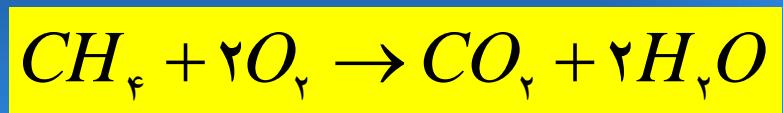
O_2 ورودی:

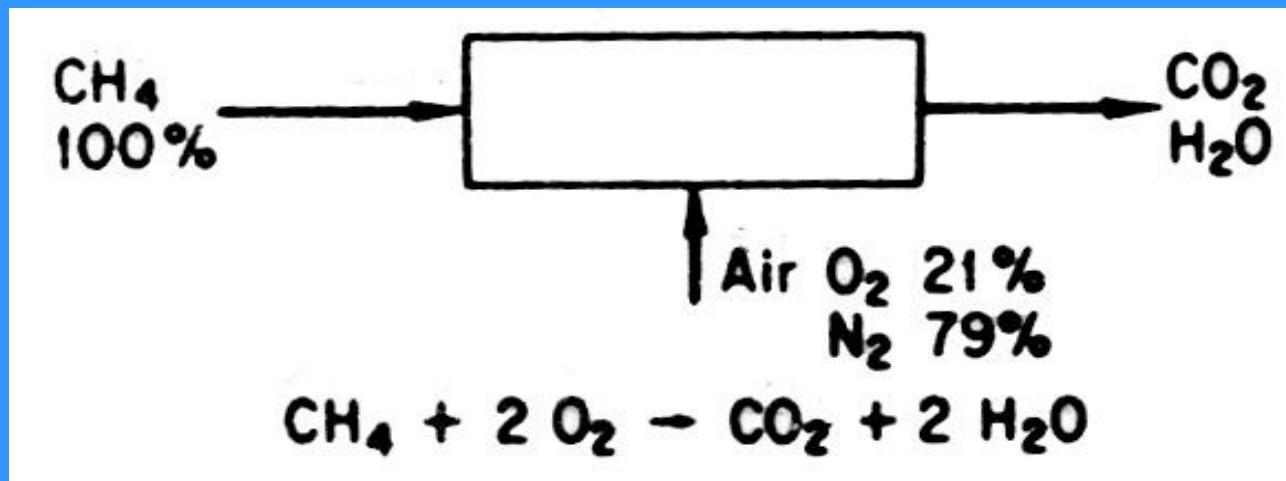
$$\frac{400 \text{ lb هوای}}{0.29 \text{ lb هوای}} \times \frac{0.21 \text{ lb mol } O_2}{1.00 \text{ lb mol}} = 90/2 \text{ lb mol } O_2$$

$$درصد هوای اضافی = 100 \times \frac{\frac{O_2 \text{ اضافی}}{O_2 \text{ مورد نیاز}} - \frac{O_2 \text{ لازم}}{O_2 \text{ لازم}}}{\frac{O_2 \text{ لازم}}{O_2 \text{ لازم}}} = 100 \times \frac{\frac{90/2 - 14/2}{14/2}}{\frac{14/2}{14/2}} = 5/35 \%$$

مثال: هوای اضافی

یک بازاریاب پیشنهادی تحت عنوان بررسی پوسیدگی دودکش، می کند. می گوید اگر CO_2 موجود در گازهای خروجی از دودکش از ۱۵٪ تجاوز کند، سلامتی افراد را به خطر می اندازد و سبب پوسیدگی دودکش می شود. در بررسی گازهای دودکش متوجه شد که CO_2 ۳۰٪ است سوخت مورد استفاده گاز طبیعی است (CH_4 خالص). هوای ورودی ۱۳۰٪ اضافی است آیا به این شخص نیاز دارد؟





$$\frac{1 \text{ mol O}_2}{21/0 \text{ mol O}_2} = 0.0476 \text{ mol Air} \quad \left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ mol O}_2 \\ 7/0 \text{ mol N}_2 \end{array} \right\}$$

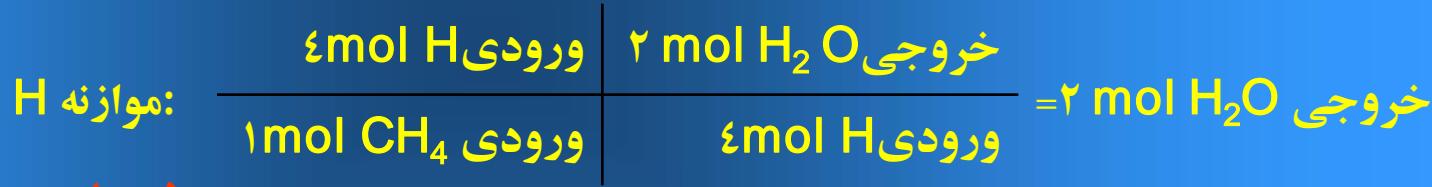
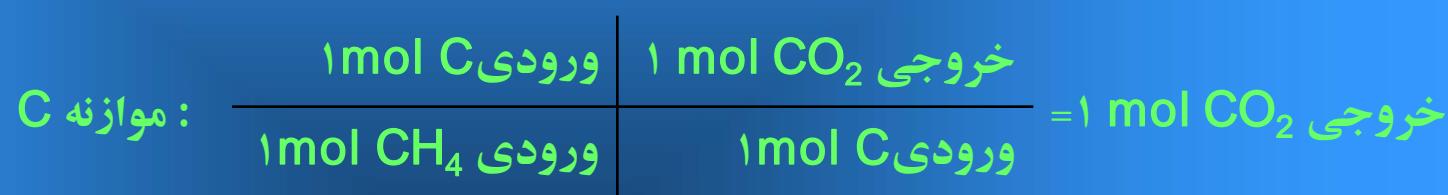
مولهای هوای لازم:

$$0.0476 \times 30/1 = 1.42 \text{ mol} \quad \left\{ \begin{array}{l} 2.6 \text{ mol O}_2 \\ 9.80 \text{ mol N}_2 \end{array} \right\}$$

هوای ورودی:

چهار موازنہ عنصری C, H₂, O₂, N₂ برقرار می کنیم و یک رابطہ بین مجموع اجزاء.

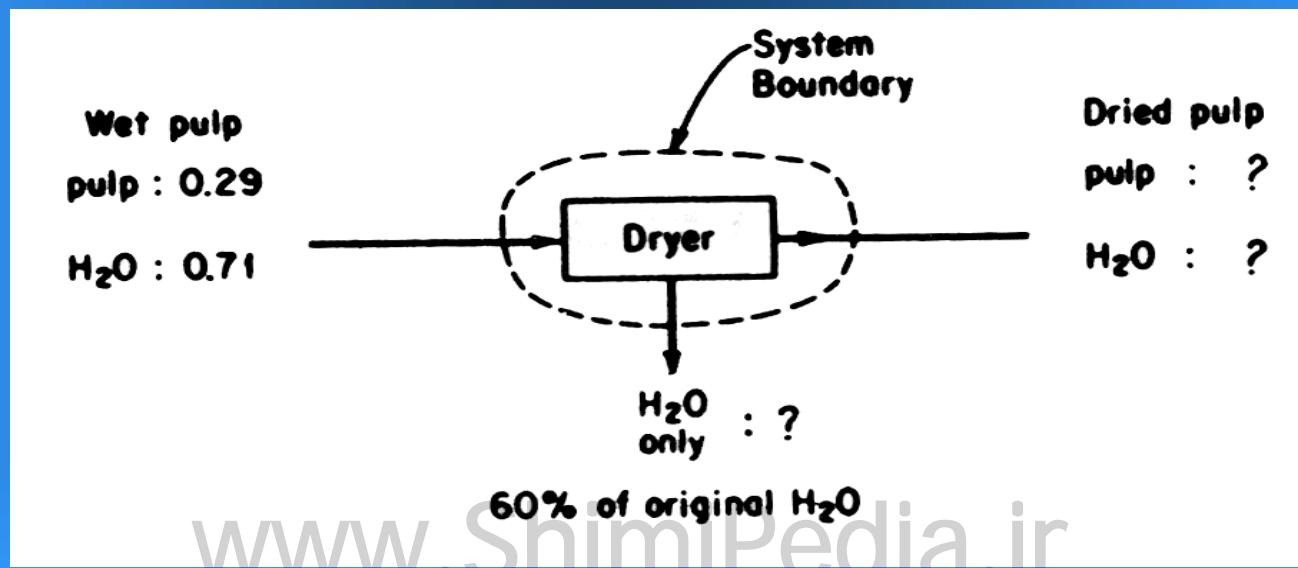
	هوای لازم	O ₂	N ₂
اضافی	۵۲/۶	۰۰/۲	۵۴/۷
مجموع	۹/۲۱	۶۰/۴	۳/۱۷



سازنده	مول	درصد
CH ₄	•	•
CO ₂	۰۰/۱	۴/۴
H ₂ O	۰۰/۲	۷/۸
O ₂	۶۰/۲	۳/۱۱
N ₂	{ ۵۴/۷ ۸۰/۹	۶/۲۵
	۹/۲۲	۰/۱۰۰

مثال: خشک کردن

یک خمیر کاغذ محتوی ۱۲٪ آب است. پس از خشک کردن خمیر، معلوم می‌شود که ۶۰٪ آب اولیه خارج شده است. کمیتهای زیر را حساب کنید. (الف) درصد وزنی ترکیب نسبی خمیر خشک خروجی (ب) جرم آب خروجی به ازای هر کیلوگرم از خمیر مرطوب



دو موازنہ خمیر و H_2O و یک معادله مجموع اجزاء جرمی برای خمیر خشک می توان تشکیل داد.

مبنا: یک کیلوگرم خمیر مرطوب

$$H_2O = (60/0)(71/0) = 426/0 \text{ Kg}$$

$$H_2O = 71/0 - 426/0 = 284/0 \text{ Kg}$$

$$\text{موازنہ خمیر} : (باقیمانده) 29/0 = (ورودی) 29/0$$

ترکیب خمیر خشک:

درصد	kg	سازنده
5/0	29/0	H_2O
5/49	248/0	خمیر
0/100	574/0	کل

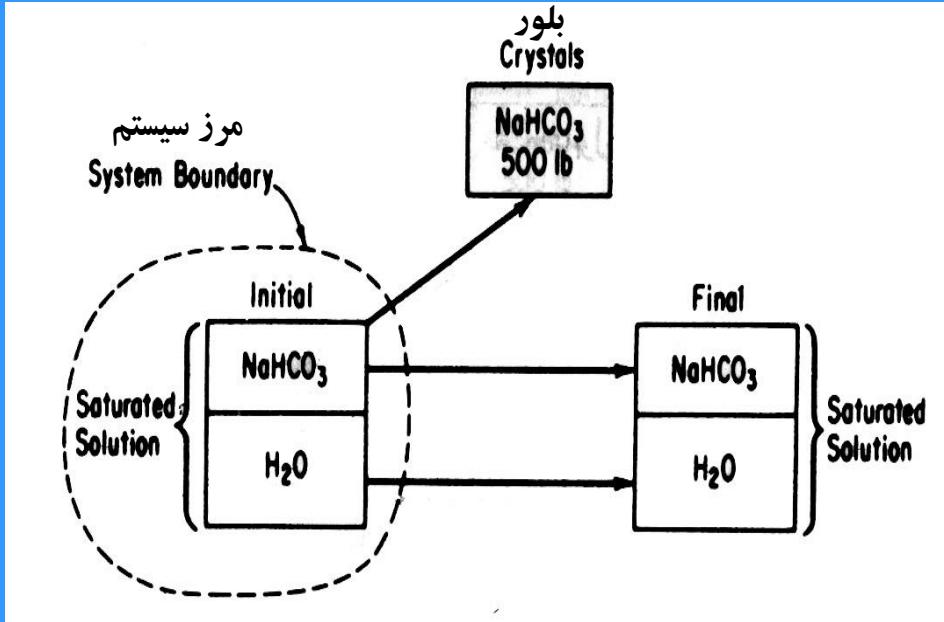
امتحان: $\text{ الخمیر خشک} + \text{ آب} = \text{ الخمیر مرطوب}$

$$426/0 + 574/0 = 100/0$$

مثال: تبلور

در مخزنی ۱۰۰۰ کیلوگرم محلول اشباع NaHCO_3 در 60°C وجود دارد. می خواهیم 500 kg متبلور از محلول تهیه کنیم. محلول را تا چه دمایی سرد کنیم.

دما	حالات $\text{NaHCO}_3/100\text{g H}_2\text{O}$
۶۰	۴/۱۶
۵۰	۴۵/۱۴
۴۰	۷۰/۱۲
۳۰	۱/۱۱
۲۰	۶/۹
۱۰	۱۵/۸



می توان ترکیب نسبی محلول اولیه را حساب کرد.

$$60^{\circ}C : \frac{16/4 g NaHCO_3}{(16/4 + 100)g} = ./. 141 \quad \text{یا}$$

$$\frac{1/14 \% NaHCO_3}{9/85 \% H_2O}$$

محلول اولیه

مبنای ۱۰۰۰ کیلوگرم محلول اشباع NaHCO_3 در 60°C

NaHCO_3 موازن:

$$0.141(1000) - 500 = 91 \text{ kg}$$

H_2O موازن:

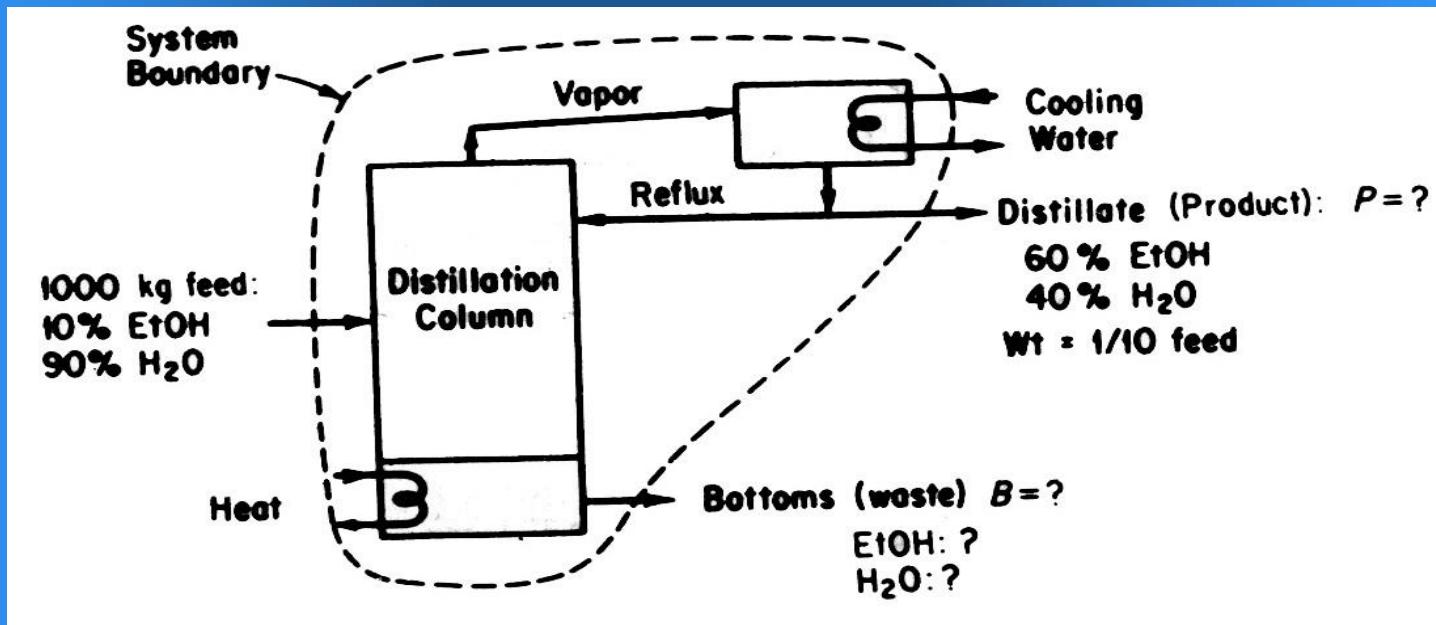
$$\frac{0.1859(1000) - 0}{950 \text{ kg}} = \frac{91}{859} = \frac{?}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$$
$$? = 10/6 \text{ NaHCO}_3$$

دروزیابی

$$30 - \frac{11/1 - 10/6}{11/1 - 9/6} (10/0) = 27^\circ\text{C}$$

مثال: تقطیر

یک تولید کننده تاہ کار الکل مشکلاتی با برج تقطیر خود دارد. نحوه کار دستگاه در شکل دیده می‌شود. تولید کننده دریافتہ است که محصول ته برج (پساب) مقدار زیادی الکل دارد. ترکیب نسبی پساب و وزن الکل موجود در آن را حساب کنید.



مبنای ۱۰۰۰ kg خوراک ورودی

ترکیب نسبی پساب

$$P = 1/0(1000) = 100 \text{ Kg}$$

ته مانده خروجی kg = قطر خروجی - خوراک ورودی

۴/۴

۶/۹۵

۱۰۰

EtOH :

$$1/10(1000) - 1/6(100) = 40$$

H₂O :

$$1/90(1000) - 1/40(100) = 860$$

900 kg

$$900 \text{ kgB} + 100 \text{ kgP} = 1000 \text{ kgF}$$

مثال: احتراق

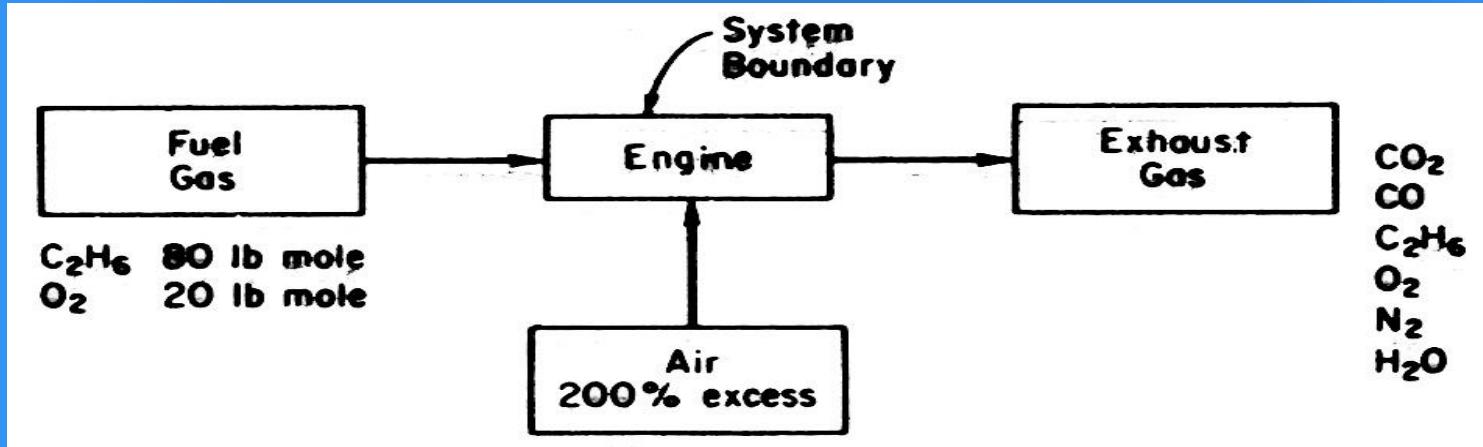
ابتدا اتان را با اکسیژن مخلوط کرده و گازی متشکل از ۸۰٪ اتان و ۲۰٪ اکسیژن به دست می‌آورند. گاز حاصل را با ۲۰۰٪ هوای اضافی می‌سوزانند. هشتاد درصد اتان به CO_2 و ۱۰٪ آن به CO تبدیل شده و بقیه بدون تغییر باقی می‌ماند. ترکیب نسبی گاهای خروجی را به مبنای مرطوب حساب کنید.

مبدا: ۱ مول سوخت

کل O_2 ورودی سه برابر O_2 لازم است.



مقدار O_2 لازم :



لازم O_2 :

$$\frac{80 \text{ Lb mol } C_2H_6}{1 \text{ Lb mol } C_2H_6} \times \frac{3.5 \text{ Lb mol } O_2}{1 \text{ Lb mol } C_2H_6} = 280 \text{ Lb mol } O_2$$

$$280 - 20 = 260 \text{ Lb mol } O_2$$

هوا O_2 : $3.00(260 \text{ Lb mol } O_2) = 780 \text{ Lb mol } O_2$

ورودی همراه N_2 :

780Lb mol O_2	79Lb mol N_2	$=2930 \text{Lb mol N}_2$
	21Lb mol O_2	

با استفاده از استوکیومتری واکنش

$80 \text{Lb mol C}_2\text{H}_6$	2Lb mol CO_2	0.80	$=280 \text{Lb mol CO}_2$
	$1 \text{Lb mol C}_2\text{H}_6$	$00/1$	

$80 \text{Lb mol C}_2\text{H}_6$	$3 \text{Lb mol H}_2\text{O}$	$80/0$	$=192 \text{Lb mol H}_2\text{O}$
	$1 \text{Lb mol C}_2\text{H}_6$	$00/1$	

$80 \text{Lb mol C}_2\text{H}_6$	2Lb mol CO	$10/0$	$=16 \text{Lb mol CO}$
	$1 \text{Lb mol C}_2\text{H}_6$	$00/1$	

$80 \text{Lb mol C}_2\text{H}_6$	$3 \text{Lb mol H}_2\text{O}$	$10/0$	$=24 \text{Lb mol H}_2\text{O}$
	$1 \text{Lb mol C}_2\text{H}_6$	$00/1$	

برای محاسبه O_2 باقی‌مانده در گازهای خروجی باید تعیین کنیم از اکسیژن موجود چه مقدار در ترکیب با C و H است.

$80 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$\frac{5/3 \text{ Lb mol } O_2}{1 \text{ Lb mol } C_2H_6}$	$\frac{80/0}{00/1} = 224 \text{ Lb mol } O_2$
-----------------------------	--	---

$80 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$\frac{5/2 \text{ Lb mol } O_2}{1 \text{ Lb mol } C_2H_6}$	$\frac{10/0}{00/1} = 20 \text{ Lb mol } O_2$
-----------------------------	--	--

کل O_2 مصرف شده: $244 \text{ Lb mol } O_2$

$$\text{O}_2 = 780 + 20 - 244 = 556 \text{ Lb mol O}_2$$

$$\text{H}_2\text{O} = 192 + 24 = 216 \text{ Lb mol H}_2\text{O}$$

خلاصه محاسبات :

سازنده	هوای ورودی	سوخت ورودی	گاز دودکش	درصد گاز دودکش
C ₂ H ₆	80	-	8	21/0
O ₂	20	780	556	42/14
N ₂	-	2930	2930	01/76
CO ₂	-	-	128	32/3
CO	-	-	16	42/0
H ₂ O	-	-	216	62/5
<hr/>		100	3710	100/100
<hr/>			3854	

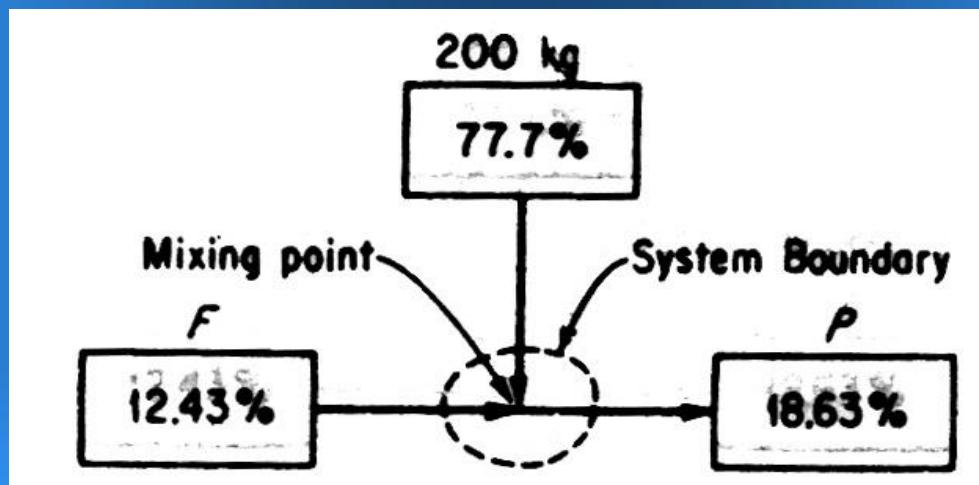
تجزیه گازها به مبنای خشک (بخار آب حذف می‌شود):

سازنده	Lb mol	درصد
C ₂ H ₆	۸	۲۳/۰
O ₂	۵۵۶	۲۹/۱۵
N ₂	۲۹۳۰	۵۲/۸۰
CO ₂	۱۲۸	۵۲/۳
CO	۱۶	۴۴/۰
کل	۳۶۳۸	۰۰/۱۰۰

موازنۀ مواد با استفاده از روش‌های جبری

مثال: مخلوط کردن

در یک تعمیرگاه، اسید سولفوریک رقیق را باید به باطری‌های شارژ شده خشک اضافه کرد. از شما خواسته شده مقداری اسید قازه تهیه کنید. مخزنی حاوی محلول اسید باطری‌های کهنه در دست است که دارای ۱۲٪ ۴۳/ اسید می‌باشد. اگر ۲۰۰ kg محلول ۷۷/۷٪ اسید به مخزن اضافه شود و محلول نهایی دارای ۱۸٪ ۶۳/ اسید باشد، چند کیلوگرم اسید باطری تولید شده است.



مبنی: ۷۷/۷٪ اسید ۲۰۰ kg از اسید ۱۲٪ ۴۳/

www.ShimiPedia.ir

$$F + 200 = P$$

موازنہ سازندها

$$H_2SO_4: \quad F(1243/.) + 200(777/.) = P(1863/.)$$

$$H_2O: \quad F(8757/.) + 200(223/.) = P(1837/.)$$

روش حل جبری:

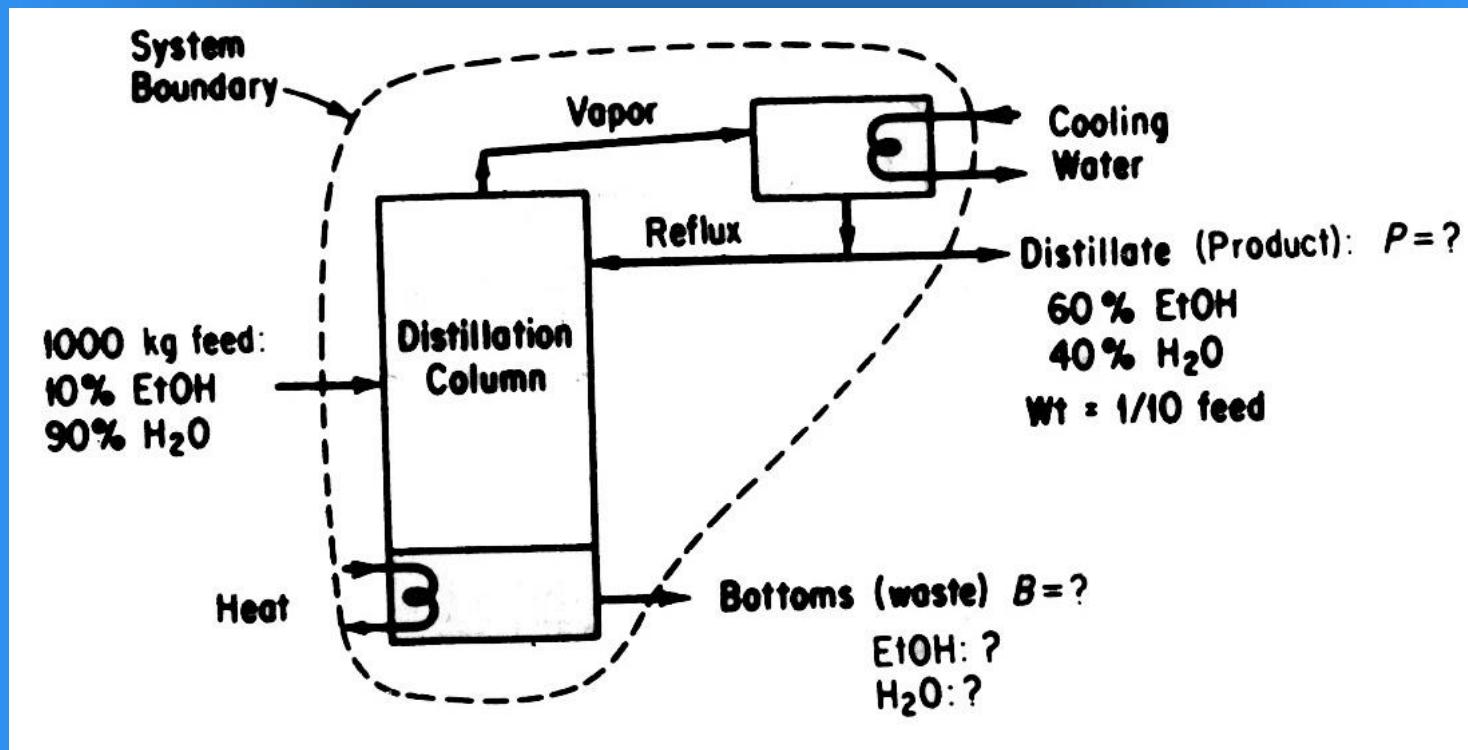
$$(P - 200)(1243/.) + 200(777/.) = P(1863/.)$$

$$P = 2110 \text{ kg}$$

$$F = 1910 \text{ kg}$$

مثال: تقطیر

یک نمونه برج تقطیر با اطلاعات موجود در مورد هر جریان داده شده است. مطلوب است وزن محصول مقطر (kg) به ازای هر کیلوگرم خوراک و هر کیلوگرم از پساب ؟



نوع موازن

: کل مواد

EtOH:

$$100/1(35/0) = D(85/0) + W(05/0)$$

H2O:

$$100/1(65/0) = D(15/0) + W(95/0)$$

اولی و دومی

$$100/1(35/0) = (1 - D)(05/0) + D(85/0)$$

حل جبری لازم است

وزن محصول مقطر به ازای هر کیلوگرم خوراک $D = 375/0 \text{ kg}$

$$W = 625/0$$

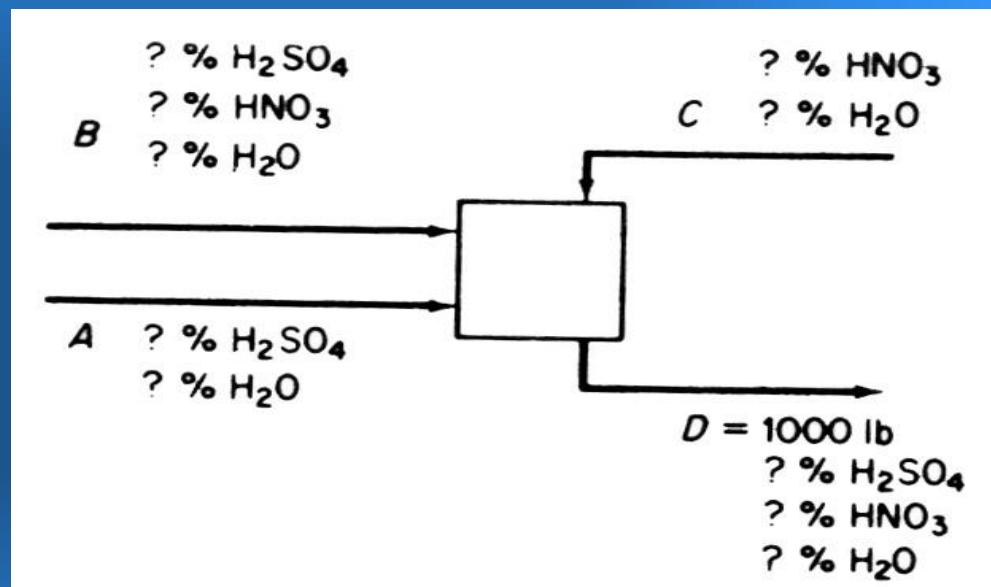
وزن مقطر به ازای هر کیلوگرم از پساب

$$\frac{D}{W} = \frac{0/375}{0/625} = 0.6 \text{ kg/kg}$$

مثال:

یک نمودار ساده جریان مواد در زیر نشان داده شده است. تنها مقدار D معلوم است. حداقل تعداد اندازه‌گیریهای لازم که جهت تعیین سایر جریانها و ترکیب نسبی آنها ضروری است چند است.

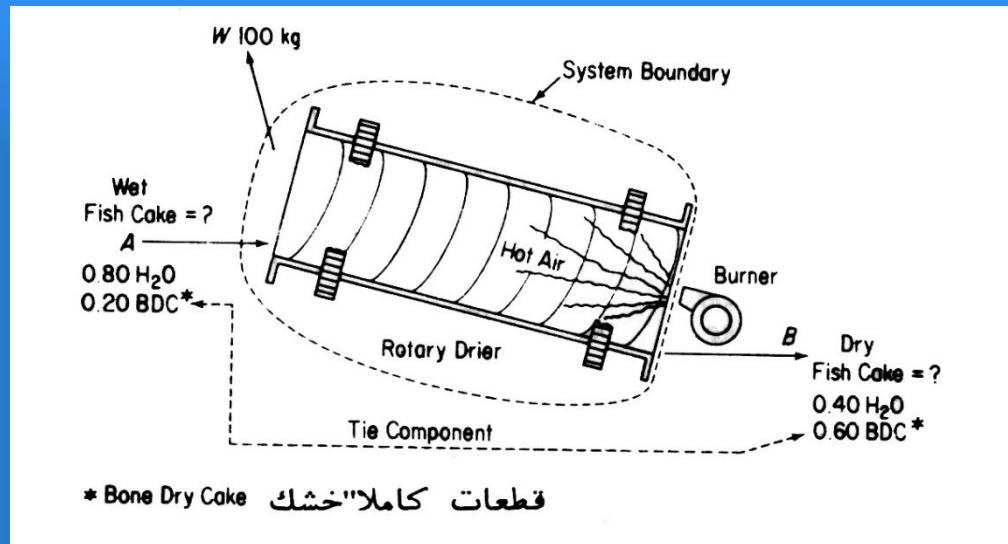
جریان	درجه آزادی
A	۲
B	۳
C	۲
D	۲
جمع	۹



در کل فقط سه موازنہ می توان برقرار کرد یعنی $6 - 3 = 3$ ترکیب نسبی و جریان را باید مشخص کرد. سه مقدار با معادلات موازنہ قابل محاسبه اند

مثال: خشک کردن

ماهی صید شده را می‌توان به غذا تبدیل کرد. استفاده مستقیم از گوشت ماهی بهره‌وری زنجیره غذایی را بالا می‌برد. در عمل آماده سازی، پس از استخراج روغن از ماهی، قطعات باقی‌مانده را در خشک‌کن‌های دوار کاملاً خشک کرده و آسیاب و بسته‌بندی می‌کنند. محصول نهایی حاوی ۶۵٪ پروتئین است. از یک توده ماهی قادر روغن که دارای ۸۰٪ آب است (۲۰٪ دیگر وزن باقی‌مانده خشک ماهی‌ها BDC است) ۱۰۰ کیلوگرم آب خارج شده و محصول بجا مانده ۴۰٪ آب دارد. مطلوب است وزن قطعات ماهی ورودی به خشک کن.



جریان A , B مجهول دو معادله مستقل می توان برقرار کرد

ترکیب نسبی اجزاء معلوم مبنی: ۱۰۰ kg آب تبخیر شده

نوع موازنہ

: موازنہ کلی مواد

: موازنہ BDC

خروجی = ورودی

$$A = B + W = B + 100$$

$$20 / .0 A = 7 / .0 B \Rightarrow B = \frac{.0 / 2A}{.0 / 6} = \frac{1}{3} A$$

کیک اولیہ

$$A = \frac{1}{3} A + 100 \quad \frac{2}{3} A = 100$$

$$A = 150 \text{ kg}$$

حل بہ طریق جسم رابط:

مبنی: ۱۰۰kg قطعات ماهی

مادہ نهایی = مادہ از دست رفتہ - مادہ اولیہ

سازندها	Kg	کیک اولیه	Kg	درصد
H ₂ O	۸۰	100	?	۴۰
BDC	۲۰	جسم رابط	۲۰	۶۰
کل	100		?	100

$60/0 \times = 20$

$$60/0 B = 20$$

$$B = 3/33 \text{ kg} / \text{کیک نهایی}$$

کیک اولیه 100 kg / تبخیر شده H₂O = 7/66 kg - کیک نهایی 3/33 kg / موازنہ کلی

استفاده از موازنۀ آب

$$\frac{20 \text{ Kg BDC}}{100 \text{ kg}} \left| \begin{array}{c} 40 \text{ kg H}_2\text{O}_{\text{نهایی}} \\ \text{در کیک} \end{array} \right. \frac{= 3/13 \text{ kg H}_2\text{O}}{\text{در کیک خشک BDC}} \text{ تبخیر شده کیک اولیه } 100 \text{ kg}$$

به $100 \text{ kg H}_2\text{O}$ تغییر مبنای دهیم

$$\frac{100 \text{ kg}}{2/66 \text{ H}_2\text{O}_{\text{تبخیر شده}}} \left| \begin{array}{c} \text{تبخیر شده } 100 \text{ kg H}_2\text{O} \\ \text{کیک اولیه} \end{array} \right. = \text{کیک اولیه } 150 \text{ kg}$$

مبنای = یک کیلوگرم BDC

نهایی = ازدست رفته - اولیه

سازنده	جزء	Kg	کسر
H ₂ O	۸۰٪	۱۰۰	۴۰٪
BDC	۲۰٪		۶۰٪
کل	۱۰۰٪		۱۰۰٪

$$\frac{۰/۸\text{ kgH}_۲\text{O}}{۰/۲\text{ kgBDC}} - \frac{۰/۴\text{ kgH}_۲\text{O}}{۰/۶\text{ kgBDC}} = ۴/۰ - ۰/۶۷ = ۳/۳۳ \text{ kgH}_۲\text{O} / \text{kgBDC}$$

موازنہ آب:

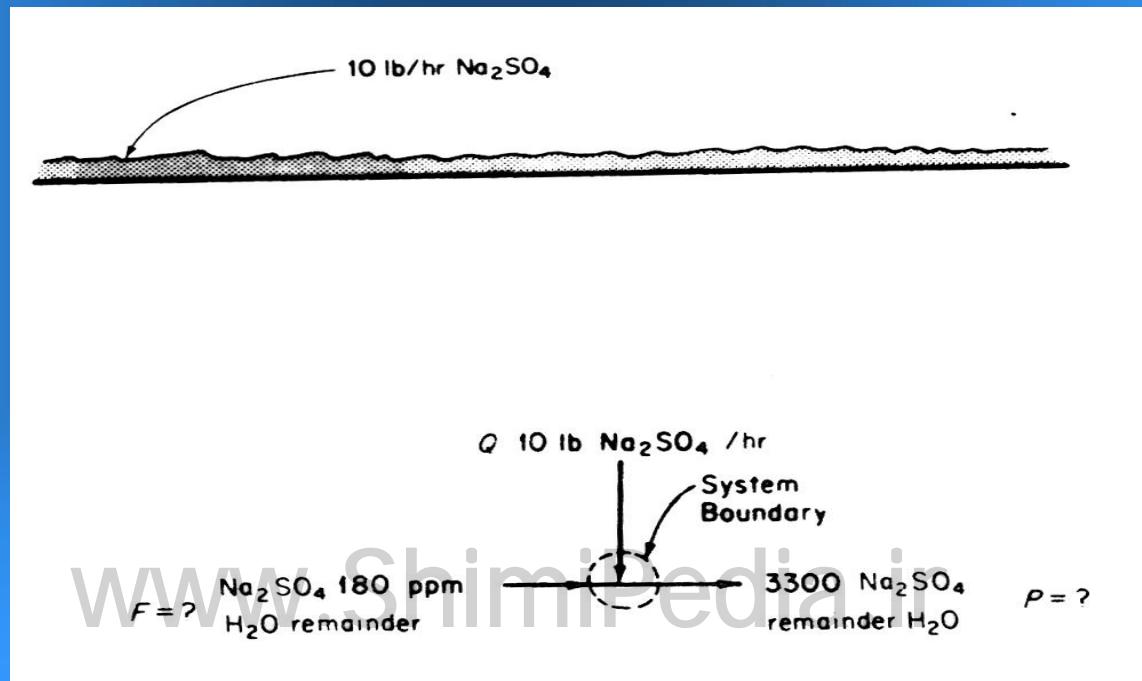
$$\frac{۱\text{ kg BDC}}{\frac{۳۳}{۳}\text{ Kg H}_۲\text{O}} \mid \text{تبخیر شده} \mid \frac{۰/۱\text{ kg}}{۲/۰\text{ kg BDC}} = ۱۵\text{ kg}$$

کیک اولیہ

مثال: رقیق کردن

برای اندازه‌گیری شدت جریان سیال در خطوط لوله واحدهای تولیدی از مواد کم مقدار ردیاب استفاده می‌کنند. فرض کنید تجزیه آب رودخانه وجود Na_2SO_4 ۱۸۰ ppm را نشان می‌دهد. اگر ۱۰ lb ۳۳۰۰ ppm سدیم را به تدریج و به طور یکنواخت در یک ساعت به آب بیفزاییم و تجزیه آب در پایین دست

چند است.



حل به طریق جسم رابط:

مبنای محلول اولیه ۱۰۰ lb (آب + سولفات اولیه)

سازنده‌ها	اولیه درصد lb	نهایی
H ₂ O	۹۸۲/۹۹	۶۷۰/۹۹
Na ₂ SO ₄	۰۱۸/۰	۳۳۰/۰
کل	۱۰۰/۱۰۰	۱۰۰/۱۰۰

موازنہ آب:

$$\frac{۳۳/۰ lb Na_2SO_4}{۶۷۰/۹۹ lb H_2O} \quad \left| \begin{array}{l} \text{اولیه} \\ \text{محلول اولیه} \end{array} \right. \quad = \frac{۹۸۲/۹۹ lb H_2O}{100 lb Na_2SO_4} = ۳۳۱/۰ lb Na_2SO_4 / 100 lb H_2O$$

برقراری موازنہ : Na_2SO_4

محلول اولیہ 100 lb / اضافہ شدہ 100 lb = $313/0 \text{ lb} - 100 \text{ lb} = 213/0$

$$\frac{\begin{array}{c} \text{اولیہ } 100 \text{ lb} \\ \hline \text{اضافہ شدہ } 100 \text{ lb} \end{array}}{213/0 \text{ lb}} \times \frac{1 \text{ hr}}{1 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ Gal}}{\frac{35}{8} \text{ Lb}} = 383 \text{ Gal/hr}$$

کل موازنہ : $F + 10 = P$

حل جبری:

موازنہ آب

$$0.99982F = 0.9967 \cdot P \Rightarrow P = \frac{0.99982}{0.9967} F$$

دقت حل مسئلہ

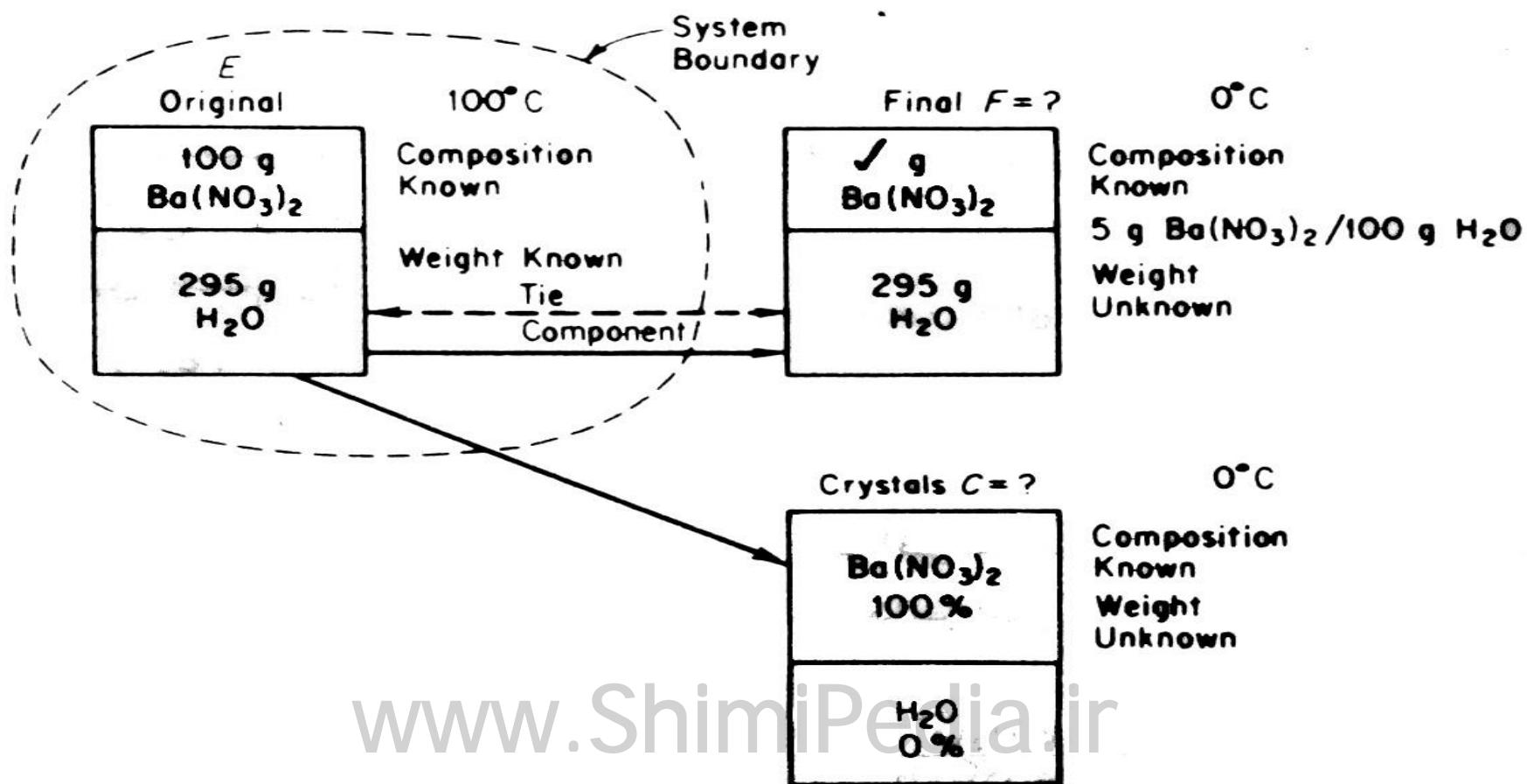
$$F + 10 = \frac{0.99982}{0.9967} F \Rightarrow F = 320.5 \text{ lb/h} = 384 \text{ gal/hr}$$

مثال: تبلور

حلالیت نیترات باریم در 100°C برابر $100\text{g H}_2\text{O}/100\text{g}$ است و در 50°C برابر $50\text{g H}_2\text{O}/100\text{g}$ است. اگر بخواهیم 100g باریم نیترات خالص را بصورت یک محلول اشباع در 100°C درآوریم، چه مقدار آب مورد نیاز است؟ اگر قا صفر درجه سرد کنیم چه مقدار نیترات متبولور از محلول خارج می‌شود؟

مبنا: ۱۰۰ g نیترات

$$\frac{100 \text{ g H}_2\text{O}}{34 \text{ g نیترات}} = 100 \text{ g نیترات} = 295 \text{ g H}_2\text{O}$$



$$\frac{295 \text{ g H}_2\text{O}}{\left| \begin{array}{c} \text{نیترات} \\ 5 \text{ g} \\ \hline 100 \text{ g H}_2\text{O} \end{array} \right.} = \frac{7/14 \text{ g}}{\text{نیترات در محلول نهایی}} = 7/14 \text{ g}$$

نیترات کربن رسوپ کرده $g = \frac{3}{85} \times 7/14 \text{ g} = 0.05 \text{ g}$ – نیترات 100 g

حل جبری:

: موازنہ آب

$$295 = F \left(\frac{100}{100+5} \right) \frac{g}{g}$$

آب
محلول نهایی

: موازنہ کلی

$$395 = C + F \quad F = 295 \left(\frac{105}{100} \right) = 310$$

$$C = 395 - F = 85 \text{ g}$$

بلورات نیترات

مثال: احتراق

مزیت عمدی انهدام گازهای متعفن و مواد مضر با احتراق کاتالیزوری نسبت به احتراق مستقیم در هزینه کمتر می‌باشد. احتراق کاتالیزوری در دمای پایینتر (500°C تا 900°C) در مقایسه با احتراق مستقیم (1100°C تا 1500°C) انجام می‌گیرد و مصرف سوخت کمتر است. به واسطه دمای پایین، هزینه ساخت و نصب دستگاهها کاهش می‌یابد.

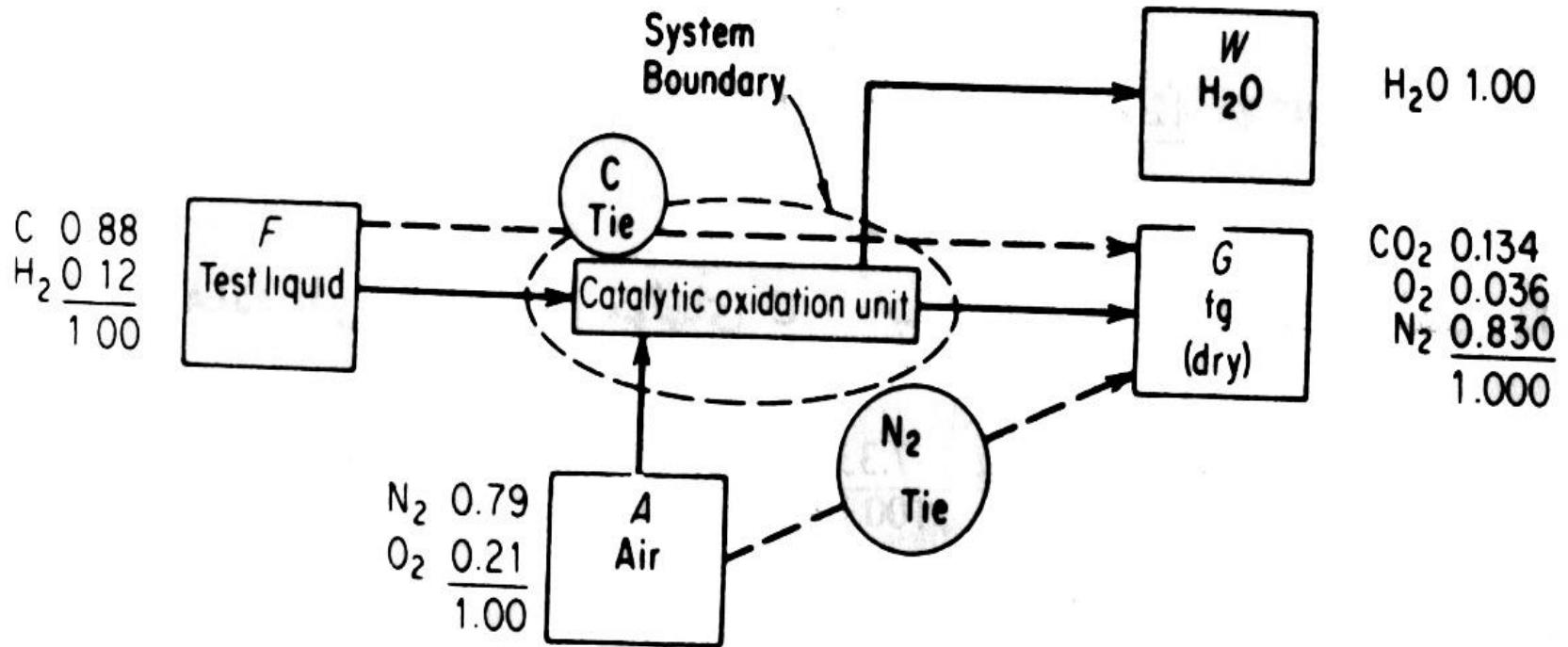
در یک آزمایش، مایعی هتشکل از C ۸۰٪ و H_2 ۱۲٪ را تبخیر کرده می‌سوزانند. گازهای حاصل از احتراق (گازودکش) ترکیب درصد زیر را دارد:

برای محاسبه حجم دستگاه احتراق، تعیین کنید

به ازای هر ۱۰۰ kg خوراک مایع، چند پاوند

مول گاز دودکش حاصل می‌شود. درصد هوای اضافی چند است؟

CO_2	۴/۱۳٪.
O_2	۶/۳٪.
N_2	۰/۸۳٪.
کل	۱۰۰/۱۰۰



واکنش شیمیایی انجام می‌گیرد.

W و F و A و G مجهول

ترکیبیهای نسبی معلوم

چهارموزانه سازنده برقرار می‌شود

C جسم رابط :

مبنا : ۱۰۰ مول از گاز دودکش خشک

کیلوگرم C خروجی = کیلوگرم C ورودی

خروجی C kg mol = kg mol C ورودی

مبنی : ۱۰۰ kg سیال مورد آزمایش

$$\frac{88 \text{ Kg C}}{12 \text{ Kg C}} \times \frac{1 \text{ Kg mol C}}{1 \text{ Kg mol C}} = 7.33 \text{ Kg mol C}$$

$$\frac{12 \text{ Kg H}_2}{2 \text{ Kg H}_2} \times \frac{1 \text{ Kg mol}}{1 \text{ Kg mol}} = 6 \text{ Kg mol H}_2$$

$$\frac{100 \text{ kgmol}}{\frac{4}{12} \text{ kgmolC}} \times \frac{7.33 \text{ Kg molC}}{100 \text{ Kg}} = 1.83 \text{ Kg mol}$$

مابع آزمایش / گاز خشک / گاز خشک / مایع آزمایش

N_2 جسم رابط :

ارتباط هوا با گاز خشک

میباشد 100 kg mol

$$\frac{1/83 \text{ Kg mol } N_2}{1/79 \text{ Kg mol } N_2} = \frac{1/105 \text{ Kg mol } N_2}{1/100 \text{ Kg mol } N_2}$$

$$(1/105)(21/1) = O_2 = 1/22 \text{ Kg mol } O_2$$

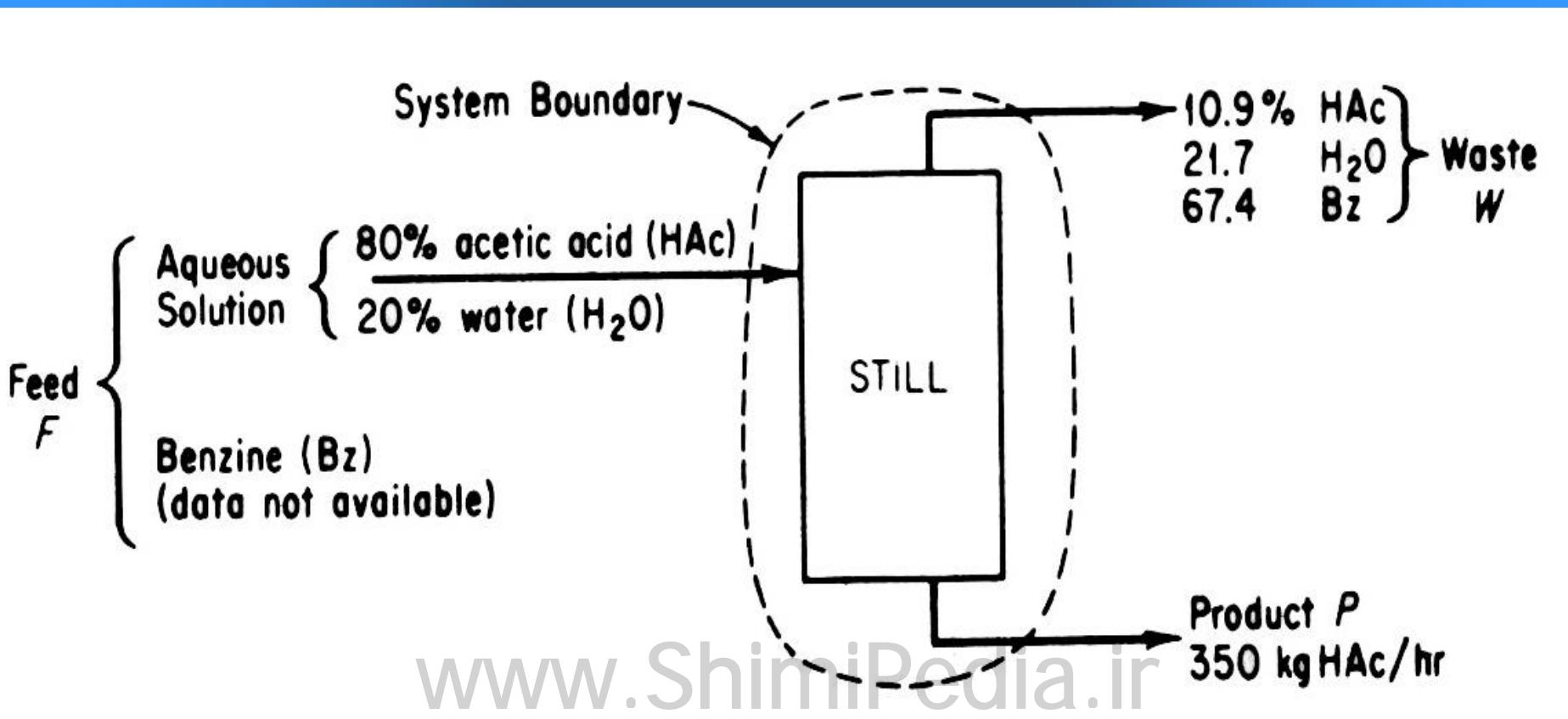
$$\frac{0.82 \text{ Kg mol N}_2}{1.22 \text{ Kg mol O}_2} = \frac{21/0 \text{ Kg mol O}_2}{79/0 \text{ Kg mol N}_2} \Rightarrow \text{گاز خشک دودکش} / \text{ورودی} = 100 \text{ kg}$$

$$= 100 \times \frac{\text{هوای اضافی}}{\text{اضافی - ورودی}} = 100 \times \frac{3/6}{22/1 - 3/6} = 19.4\%$$

تجزیه گازهای خشک خروجی خیلی دقیق نیست

مثال: تقطیر

از یک برج تقطیر برای جداسازی اسید استیک، آب و بنزن از یکدیگر استفاده می‌شود. نتایج آزمایش در شکل دیده می‌شوند. ارائه نتایج مربوط به بنزن میسر نبوده است. شدت جریان بنزن در ساعت چند است؟



مبنای 100 kg پساب

$$x = F \text{ بتنز در } \text{kg} / 100\text{ kgF}$$

مواد	kg خوراک	پساب درصد = Kg	محصول درصد
HA	$80/0(100-x)$	$9/10$	$0/100$
H_2O	$20/0(100-x)$	$7/21$	$0/0$
B	X	$4/62$	$0/0$
کل	100	100	100

آب جسم رابط:

$$\frac{7/21 \text{ g H}_2\text{O}}{100 \text{ kg}} \quad \left| \begin{array}{c} 80/0 \text{ Kg HA} \\ 20/0 \text{ Kg H}_2\text{O} \end{array} \right. = 8/86 \text{ kg HA} \quad 100 \text{ Kg خوراک در هوا}$$

موازنہ HA خوراک = HA پساب - پساب محسول

$$8/86 - 9/10 = 9/70$$

مبنای جدید: (350 kg HA/hr) یک ساعت

$$\frac{4/62 \text{ kg B}}{9/70 \text{ HA}} \quad \left| \begin{array}{c} \text{در خوراک} \\ \text{در محصول} \end{array} \right. \frac{\text{محصول HA}}{\text{hr}} = 311 \text{ Kg B/hr}$$

حل جبری:

مجهولات W و F و x

سه معادله؟

مینا: یک ساعت کار یا محصول HA 350 kg

موازنہ کل:

$$F = W + 350$$

$$F \left[\frac{\cdot / 20(100 - x)}{100} \right] = w(\cdot / 21\%)$$

$$F \left[\frac{\cdot / 80(100 - x)}{100} \right] = W(\cdot / 10\%) + 350(1/10)$$

$$F \left(\frac{x}{100} \right) = W(\cdot / 87\%)$$

H_2O : موازنہ

HA : موازنہ

B : موازنہ

سه معادله را انتخاب و حل می کنیم. یکی برای کنترل باقی می ماند (طولانی است).

$$\frac{0/2(100-x)}{x} = \frac{0/217}{0/674} \quad \frac{100-x}{x} = 1/61$$
$$\Rightarrow x = 38/3 \Rightarrow 100-x = 61/7$$

$$12/34F = 21/7W \Rightarrow W = 0/569$$
$$0/431F = 350 \Rightarrow F = 811/4$$
$$B = 311 kg/hr$$

مثال: اقتصاد

در کارخانه، زغالسنگ را بر اساس رطوبت و خاکستر خریداری می‌کنند. فرض کنید اولین وظیفه محول شده مأموریت خرید زغالسنگ باشد. بازاریاب شرکت قرارداد زغالسنگی (ماه/بار ۰۱) با رطوبت $\frac{2}{3}\%$ و خاکستر $\frac{3}{5}\%$ به بھای هر تن $\frac{4}{85}$ دلار پیشنهاد می‌کند (تحویل). شما می‌پذیرید. میزان رطوبت در گزارش آزمایشگاه $\frac{4}{5}\%$ و خاکستر $\frac{6}{5}\%$ است. در صورتحساب (تن/دلار $\frac{4}{85}$) نوشته شده است. بھای واقعی هر تن زغالسنگ چند دلار است؟

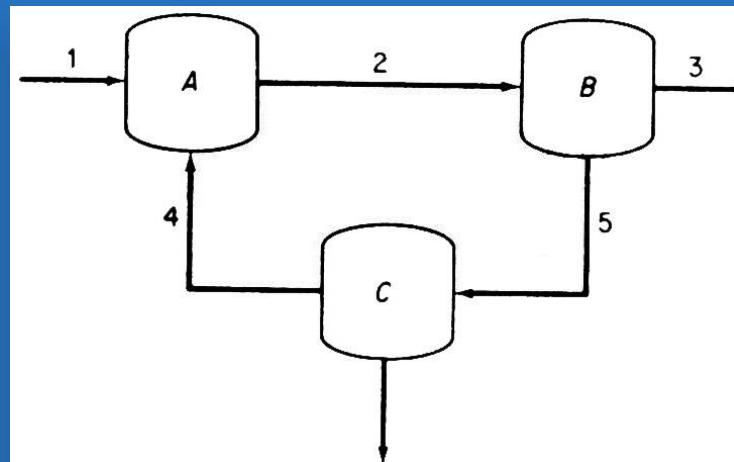
مبنا: يك تن زغالسنگ تحويل شده

مواد	قرارداد	تحويل شده (آزمایشگاه)
قابل احتراق	۸۹۹/۰	۹۱۵/۰
خاکستر+آب	۱۰۱/۰	۰۸۵/۰
کل	۱	۱

$$\begin{array}{c}
 \text{تن تحويل داده شده / دلار } 4/85 = 76 \\
 \hline
 \text{دلار } 4/85 \quad | \quad \text{قرارداد 1 ton} \quad | \quad \text{قابل احتراق 1 ton} \\
 \hline
 1 \text{ ton} \quad | \quad \text{قابل احتراق 1 ton} \quad | \quad \text{تحويل داده شده 1 ton}
 \end{array}$$

جريان برگشتی بدون واکنش شیمیایی

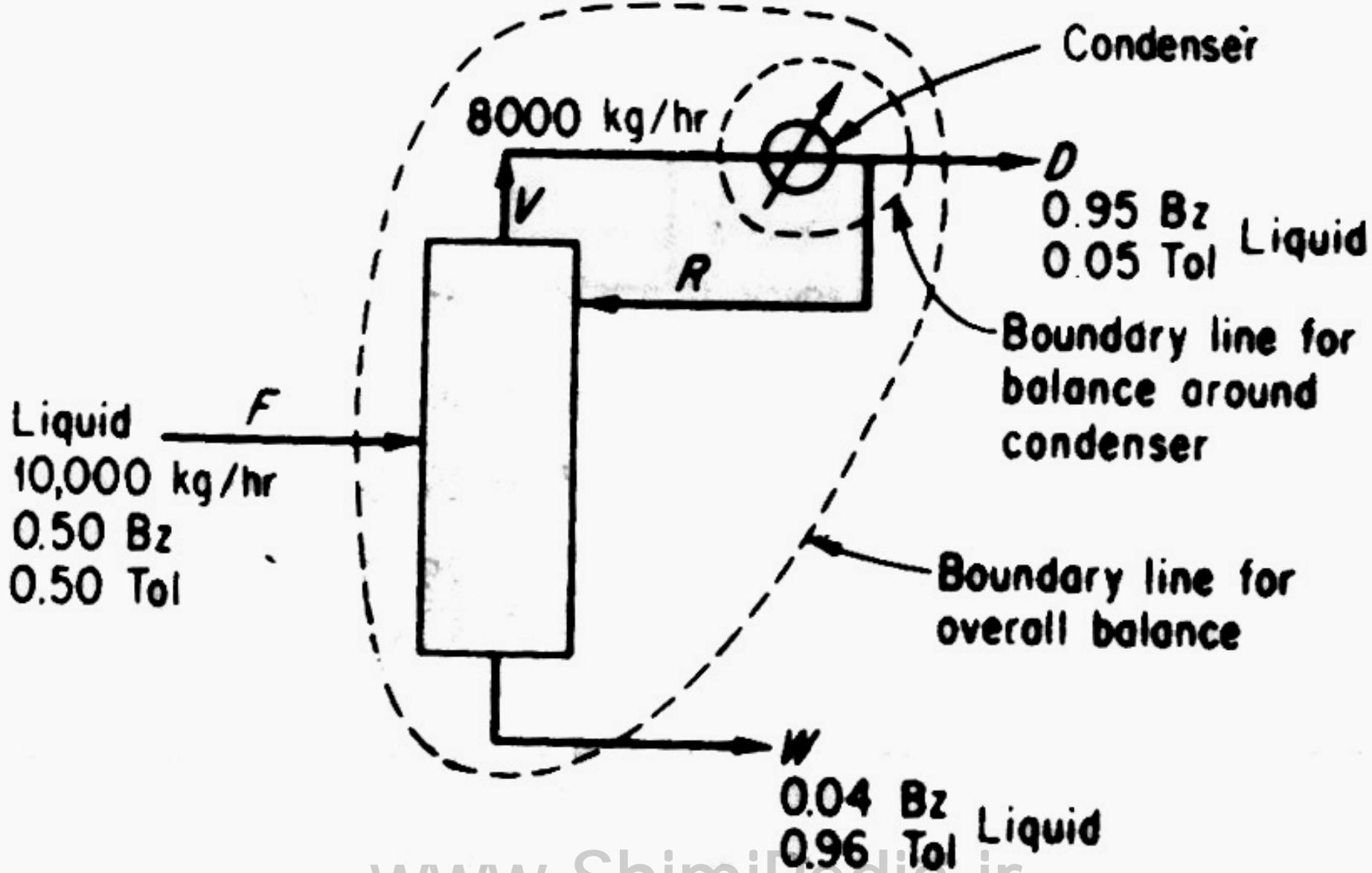
نمودار زیر را بررسی کنید. حداکثر تعداد مواده مستقل که در این سیستم می‌توان برقرار کرد چندتاست. هر جريان متشکل از سه سازنده اتanol، استون و متانول است.



در هر واحد A و B و C سه مواده مستقل می‌توان برقرار کرد: مجموعاً ۹ معادله حداکثر تعداد مواده‌های مستقل از مجموع سازنده‌ها در هر واحد پس از افزودن واحدها به یکدیگر تعیین می‌شوند.

مثال: جریان برگشتی بدون واکنش شیمیایی

در یک ستون تقطیر $kg / hr 10000$ مخلوطی متشکل از ۵۰٪ بنزن و ۵۰٪ تولوئن تفکیک می‌شود. محصول فوقاری پس از عبور از چگالنده حاوی ۹۵٪ بنزن مواد خروجی از قسمت تحتانی برج دارای ۹۶٪ تولوئن است. شدت جریان بخار ورودی به چگالنده از بالای ستون $kg / hr 8000$ است. جزئی از این محصول را به صورت جریان برگشتی به برج برمی‌گردانند. و بقیه جهت مصارف دیگر خارج می‌شود. با فرض اینکه جریان فوقاری برج V ، محصول خروجی D ، جریان برگشتی R دارای ترکیب نسبی یکسان باشند مطلوبست نسبت R به D .



مبنای: ۱۰۰۰ kgF

موازنه اختیاری است.

ابتدا از موازنه برای D و W برای تعیین R موازنه در اطراف چگالنده برقرار می‌کنیم. برای D جسم رابط وجود ندارد. روش حل جبری ضروری است. پس از R را از طریق تفاضل حساب می‌کنیم.

$$F = D + W$$

$$1000 = D + W$$

موازنه کل:

$$F \cdot W_F = D \cdot W_D + W \cdot W_W$$

موازنه سازنده (بنزن):

$$1000 \cdot (0/50) = D(0/95) + W(0/04)$$

$$500 = \cdot / 95(1000 - W) + \cdot / 0.4W$$

$$W = 495 \cdot kg / hr$$

$$D = 5.5 \cdot kg / hr$$

موازنہ در اطراف چگالندہ:

$$V = R + D$$

$$800 = R + 5.5 \cdot$$

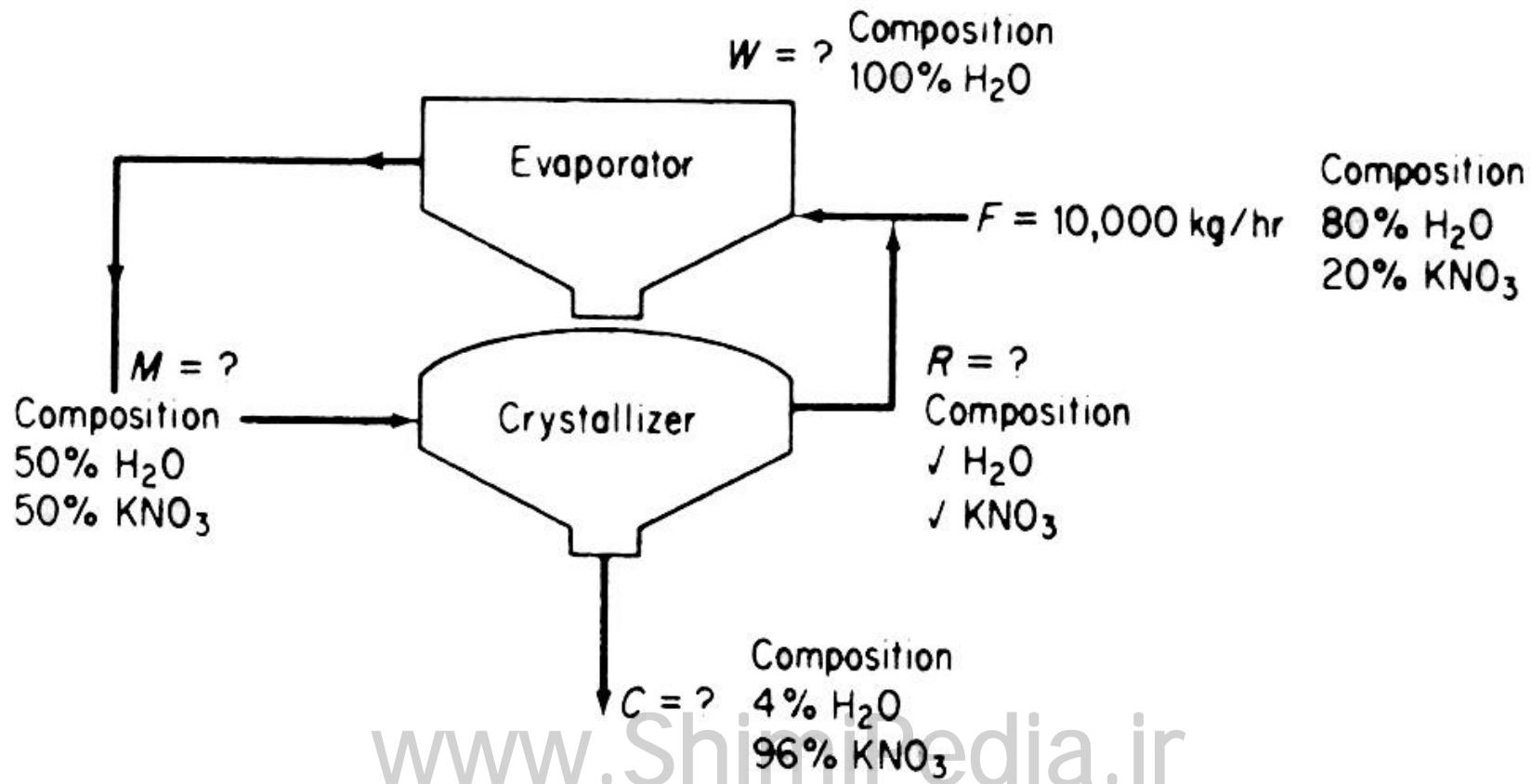
$$R = 295 \cdot kg / hr$$

$$\frac{R}{D} = \frac{295 \cdot}{5.5 \cdot} = \cdot / 53.4$$

مثال: جریان برگشتی بدون واکنش شیمیایی

نتایج مربوط به یک تبخیر کننده در شکل دیده می‌شود.

مطلوبست شدت جریان برگشتی (kg / hr)



C و W و M و R چهار مجھول داریم. موانه‌های مربوط به دو سازنده در هر واحد.

جواب خواهیم داشت. R درصد H_2O و KNO_3 را به دست می‌آوریم. جریان برگشتی اشباع است.

$$\underline{\text{مبنا} = ۱ \text{ آب}}$$

$$۰/۱ \text{ kg آب} + ۶/۰ \text{ kg } \text{KNO}_3 = ۶/۱ \text{ Kg}$$

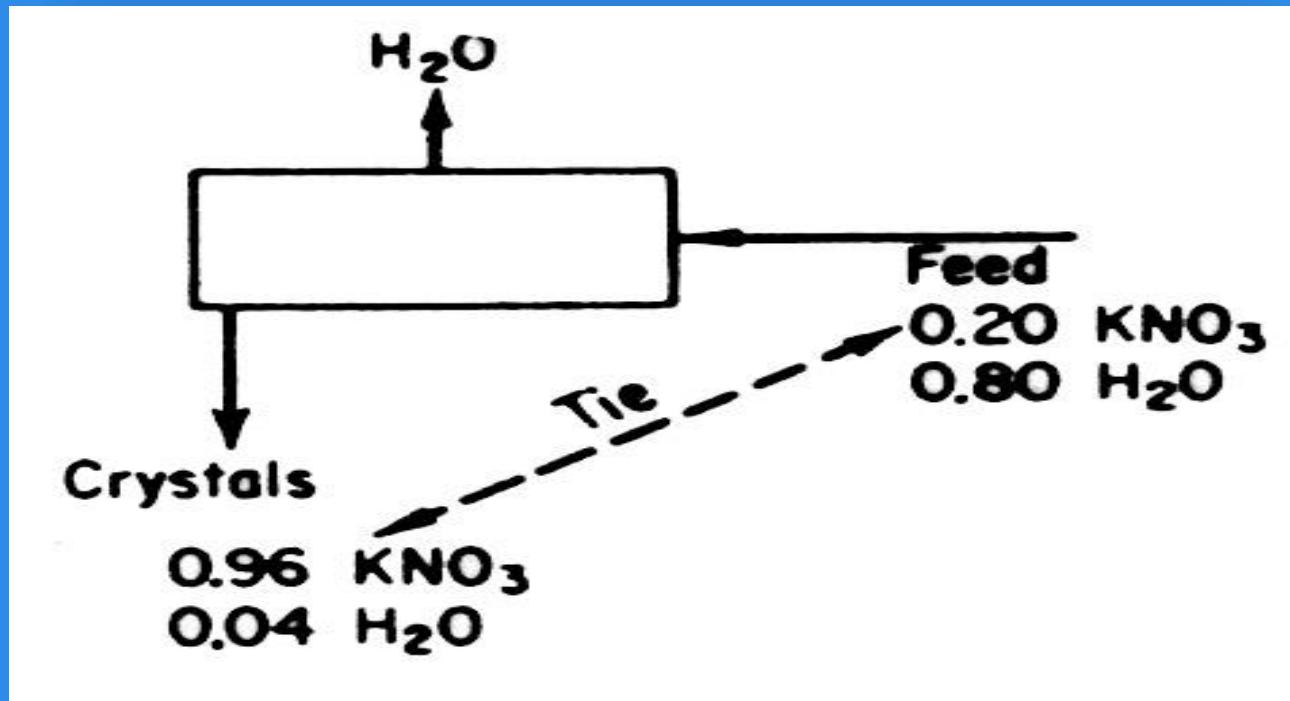
$$\frac{۶/۰ \text{ KNO}_3}{۱ \text{ Kg H}_2\text{O}} \left| \begin{array}{c} ۱ \text{ Kg آب} \\ \hline ۶/۱ \text{ Kg} \end{array} \right. = ۳۷۵/۰ \text{ kg KNO}_3 / \text{kg}$$

محلول برگشتی

$$\begin{cases} ۵/۳۷ \% \text{ KNO}_3 \\ ۵/۶۲ \% \text{ H}_2\text{O} \end{cases}$$

جسم رابط: KNO_3 است در کل فرآیند:

مبنای = یک ساعت یا 1000 kg اخواراک



1000 kg خواراک	$20/0 \text{ kg}$ نیترات	1 kg بلوار	$C = 2083 \text{ kg / hr}$ بلوار
0	1 Kg F	$96/0$ نیترات	

موازنہ در اطراف متبلور کنندہ

$$M = R + C$$

$$M = R + 2083$$

$$\text{سازندہ} Mw_M = R.w_R + Cw_c$$

$$5/0M = 96/0 C + 375/0 R$$

$$5/0 (2083 + R) = 375/0R + 2000$$

$$R = 7670 \text{Kg / hr}$$

مثال: جریان برگشتی همراه با واکنش شیمیایی

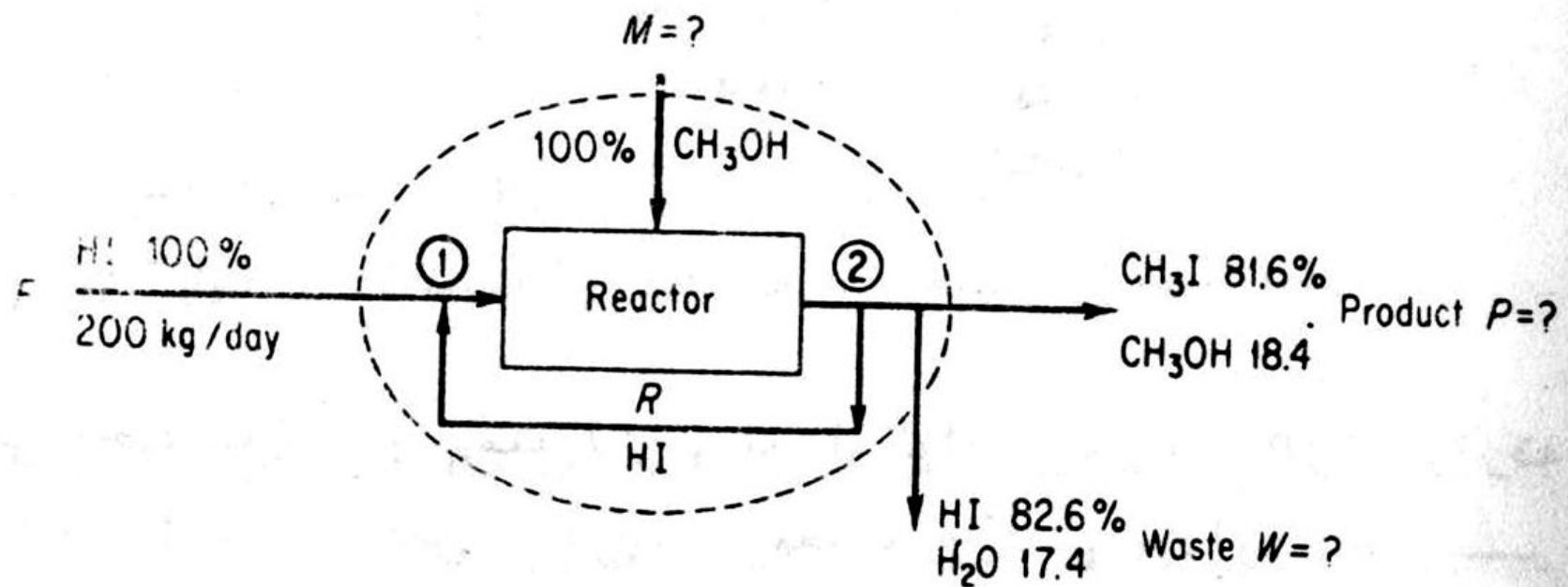
در تولید متیل یدید، روز/ kg ۲۰۰ اسید H_2I به مтанول اضافه می‌شود:



اگر محصول شامل $6/81\%$ متیل یدید بهمراه مтанول ترکیب نشده و پساب متشکل از $6/82\%$ اسید H_2I و $17/4\%$ آب فرض شود و درجه کامل شدن واکنش در واکنشگاه 40% باشد مطلوبست:

الف) وزن مтанول اضافه شده در روز

ب) مقدار H_2I در جریان برگشتی



مجهولات M و P و W و R

برقراری موازنہ کل برای M کافی است و در آن R وجود ندارد. با برقراری موازنہ عناصر O, H, I, C و جواب خواهیم داشت. برای R موازنہ در اطراف یک نقطہ را انتخاب می کنیم.

برای برقراری موازنہ عناصر ترکیب نسبی را بر حسب کمیت مولی بیان می کنیم.

www.ShimiPedia.ir

میباشد ۱۰۰ kg = پساب

	جزء	Kg درصد =	وزن مولکولی	Kg mol
W:	HI	۶/۸۲	۱۲۸	۶۴۶/۰
	H ₂ O	۴/۱۷	۱۸	۹۶۸/۰
	کل	۰/۱۰۰		

میباشد ۱۰۰ kg = محصول

سازنده	Kg درصد =	MW	kgmol	معادل از kgmol
CH ₃ I	۶/۸۱	۱۴۲	۵۷۵/۰	۵۷۵/۰
CH ₃ OH	۴/۱۸	۳۲	۵۷۵/۰	۵۷۵/۰
				۱۰۰/۱

عنصر رابط وجود ندارد. برای ارتباط M به P می‌توان از موازنه CH_3 و نیز از نسبت استوکیومتری استفاده کرد.

$$\frac{\text{کیلومول آب}}{100 \text{ Kg W}} \times \frac{1 \text{ Kg HI}}{1 \text{ kg آب}} \times \frac{128}{1 \text{ Kg mol HI}} = 0.124 \text{ kg HI} / 100 \text{ Kg W}$$

مبنای ۱۰۰ kg پساب

کیلومول آب ۹۶۸/۰

۱ Kg mol W

(واکنش داده و نداده) کل CH_3OH

۱۰۰ Kg W

۱kg mol آب

۵۷۵/۰ Kg mol CH_3OH

$$\times \frac{۳۲\text{kg} \text{CH}_3\text{OH}}{\text{۱kg} \text{CH}_3\text{OH}} = ۶۱/۹\text{kg} \text{CH}_3\text{OH} / ۱۰۰\text{kg} W$$

$$\text{کل HI} = F = ۱۲۴ + ۷/۸۲ = ۷/۲۰۷ \text{kg HI} / ۱۰۰ \text{kgW}$$

مبنا = یک روز

۱۶۸ Kg HI	۱۰۰ KgW	$\frac{۹/۶۱ \text{ kg CH}_3\text{OH}}{۱۰۰ \text{ Kg W}} = ۵۹۹ \text{ kg CH}_3\text{OH} / \text{روز}$:M
۱ day	۶/۲۰۶ kg HI		

۲۰۰ Kg HI	۱۰۰ KgW	$\frac{۹/۶۸ \text{ kg W}}{۶/۲۰۶ \text{ kg HI}} = ۹۶۸ \text{ kg W} / \text{روز}$:W
۱ day	۶/۲۰۶ kg HI		

$$۲۰۰۰ + ۵۰۹ = ۰/۹۶۸ + P$$

$$P = ۱۶۳۱ \text{ kg / روز}$$

برای تعیین R: در اطراف نقطه ۱
خوراک راکتور = $۲۰۰۰ + R$ مغاید نیست

در اطراف نقطه ۲
 $R + P + W = \text{کل محصول}$ مغاید نیست

میزان کامل شدن در هر گذر از راکتور 40% است، در نتیجه 60% از کل خوراک ورودی تبدیل نمی‌شود

موازنۀ **HI** در اطراف راکتور:

$$(2000 + R) (60/0) = R + 968(826/0)$$

$$400 = 40/0 R$$

$$R = 100 \text{ Kg/hr}$$

فصل ۳

گاز - مایع - بخار - جامد



Chemistryforfuture

www.ShimiPedia.ir

مثال: کاربرد شرایط متعارفی

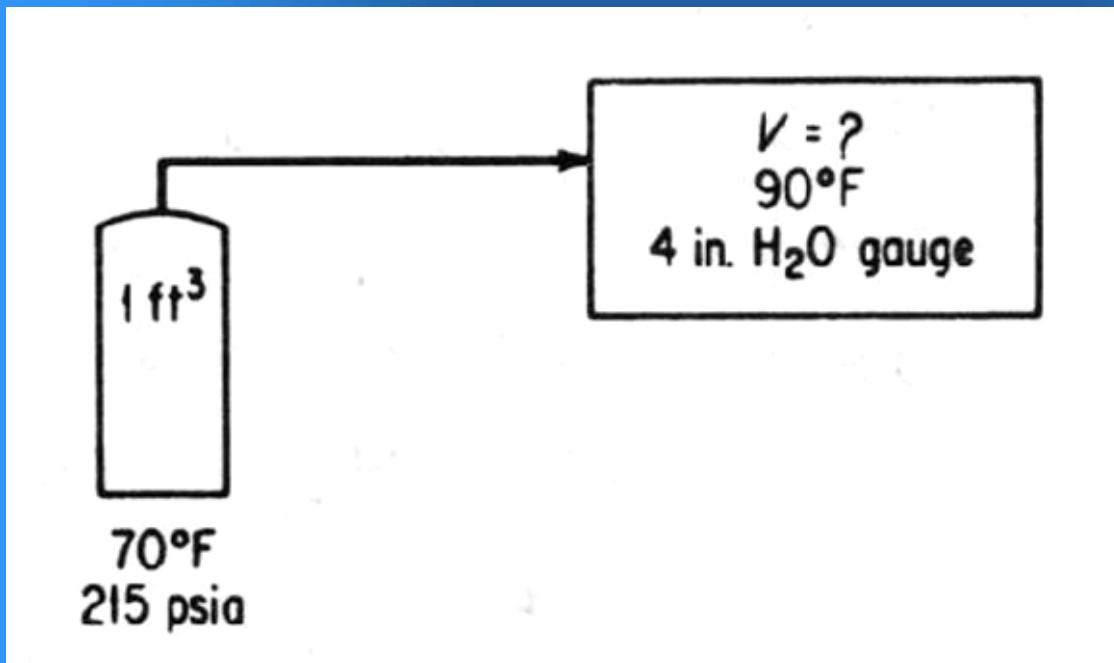
حجمی را که به توسط kg ۴۰ از CO_2 در شرایط متعارفی اشغال می‌شود بر حسب m^3 به دست آورید.

$$\underline{CO_2 \text{ از } 40 \text{ kg} = \text{مینا}}$$

$$40 \text{ kg } CO_2 \times \frac{1 \text{ kgmol } CO_2}{44 \text{ kg } CO_2} \times \frac{22 / 44 \text{ mol } CO_2}{1 \text{ kgmol } CO_2} = 20 / 44 \text{ mol } CO_2$$
$$\frac{PV}{T} = \frac{PV}{T} \quad PV = nRT \quad PV = \frac{m}{M} RT$$

مثال: قانون گاز کامل

یک سیلندر حاوی اکسیژن دارای 1 ft^3 از O_2 در 70°F و 215 psia است. حجم این گاز در یک مخزن خشک در 90°F و فشار $4\text{ in.H}_2\text{O}$ بالاتر از جو چند است. هوا سنج فشار $14/29\text{ in.Hg}$ را نشان می‌دهد.



$$460 + 70 = 530^\circ\text{R}$$

$$460 + 90 = 550^\circ\text{R}$$

فشار اولیه $(200 + 7/14) \text{ psia}$ $\times \frac{29/92 \text{ in.Hg}}{14/7 \text{ psia}} = 437 \text{ in.Hg}$

= فشار نهایی

$$29/92 \text{ in.Hg} + \frac{4 \text{ in.Hg}}{12 \frac{\text{in.Hg}}{\text{ftHg}}} \times \frac{29/92 \text{ in.Hg}}{33/91 \text{ ftHg}} = 29/92 + 0/29 = 30/21 \text{ in.Hg}$$

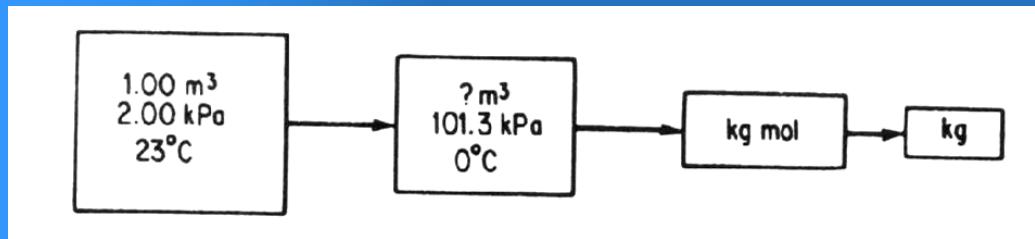
مبدأ: یک ft^3 از اکسیژن در 70°F و 0 psig

حجم نهایی

$$V_f = V_i \left(\frac{P_f}{P_i} \right) \left(\frac{T_f}{T_i} \right) \Rightarrow 1/\dots \text{ ft}^3 \times \frac{55^{\circ}\text{R}}{530^{\circ}\text{R}} \times \frac{437 \text{ in.Hg}}{30/21 \text{ in.Hg}} = 15 \text{ ft}^3$$

مثال: قانون گاز کامل

جرم یک متر مکعب از بخار آب را در 23°C و 2kPa به دست آورید. فرض کنید تحت این شرایط بخار آب یک گاز کامل باشد.

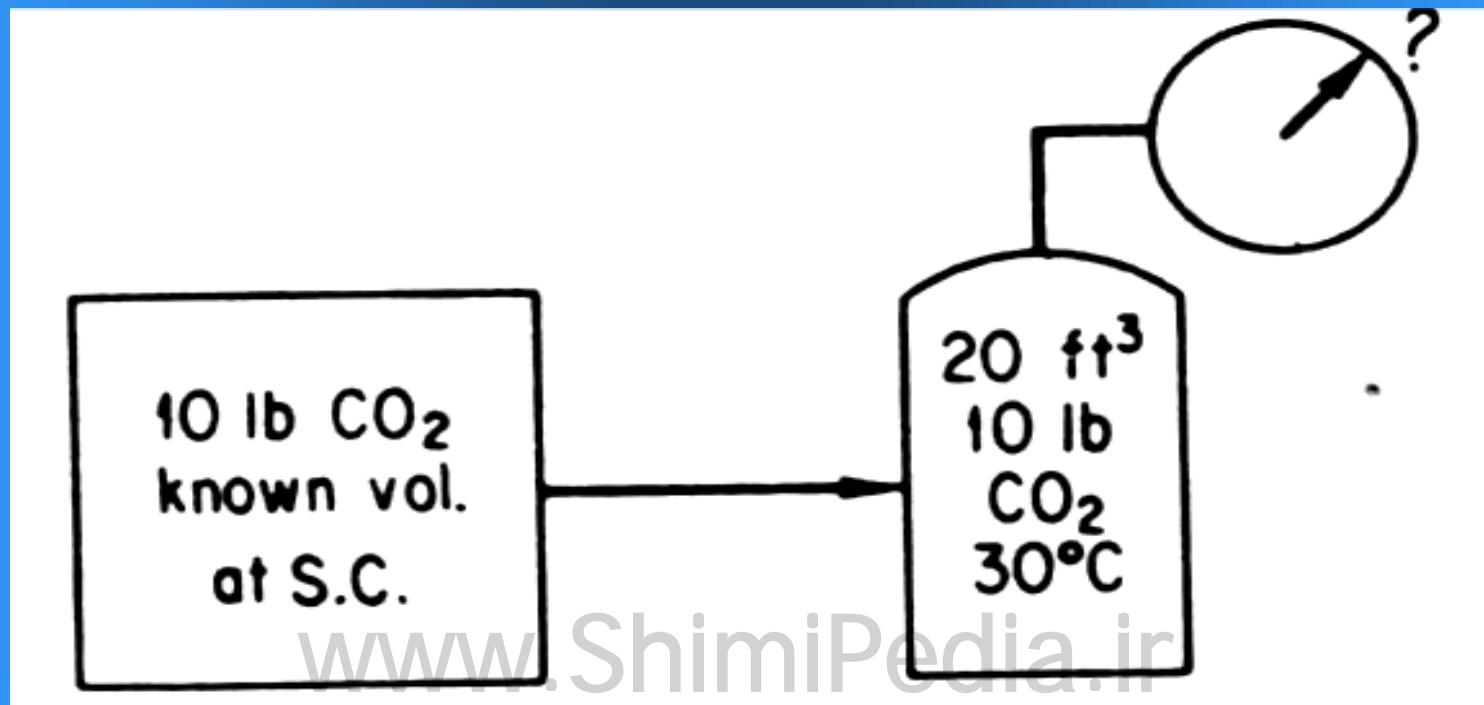


مبنای یک m^3 بخار آب اولیه

$$1/ \cdot \cdot m^3 \times \frac{2/ \cdot \cdot \text{kPa}}{101/ 3 \text{kPa}} \times \frac{273 \text{K}}{300 \text{K}} \times \frac{1 \text{kgmol}}{22/ 4 \text{m}^3} \times \frac{18 \text{kg}}{1 \text{kgmol}} = 1/ 46 \times 10^{-3} \text{ kgH}_2\text{O}$$

مثال: قانون گاز کامل

مقدار 10 lb CO_2 در یک مخزن آتش نشانی به حجم 20 ft^3 و دمای 30°C موجود است. با فرض صادق بودن قانون گاز کامل تعیین کنید اگر برای اطمینان از پر بودن مخزن امتحانی به عمل آورند فشار سنج چه فشاری را نشان می‌دهد؟



S.C. = یک پاوند مول گاز کامل در شرایط

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

$$14/1 psia \times 1 lbCO_2 \times \frac{1 lbmol}{44 lbCO_2} \times \frac{359 ft^3}{1 lbmol} \times \frac{1}{2.3 ft^3} \times \frac{30.3}{273} = 66 psia$$

مثال: محاسبه R

مقدار R را بر حسب واحدهای مختلف بدست آورید.

$$P = 14 / 7 psia$$

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

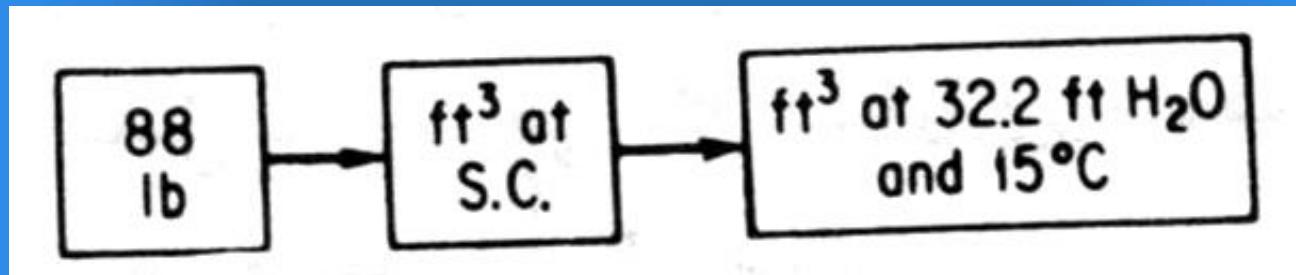
$$T = 492^\circ R = (460 + 32)$$

$$R = \frac{PV}{T} = \frac{14 / 7 psia (359 ft^3 / lbmol)}{492^\circ R} = 1.0 / 73 \frac{(psia)(ft^3)}{(\circ R)(lbmol)}$$

$$= 82 / 16 \frac{atm.cm^3}{K(gmol)} = 8 / 31 \frac{kJ}{K(kgmol)}$$

مثال: کاربرد قانون گاز کامل

جسمی که توسط مقدار ۸۸ lb از CO_2 در فشار $2/32 \text{ ft H}_2\text{O}$ و دمای 15°C اشغال می‌شود چند است.



CO₂ از ۸۸ lb = مینا

$$P = 33/91 \text{ ft.H}_2\text{O} \quad \text{در S.C.}$$

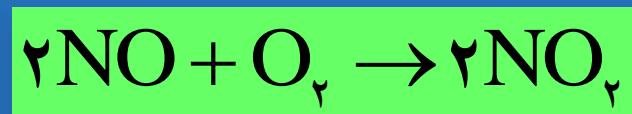
$$V = 359 \text{ ft}^3$$

$$T = 273 K$$

$$88 \text{ lb CO}_2 \times \frac{1 \text{ lb mol}}{44 \text{ lb CO}_2} \times \frac{359 \text{ ft}^3}{1 \text{ lb mol}} \times \frac{288^\circ\text{C}}{273^\circ\text{C}} \times \frac{33/91 \text{ ft}^3}{32/2 \text{ ft}^3} = 798 \text{ ft}^3$$

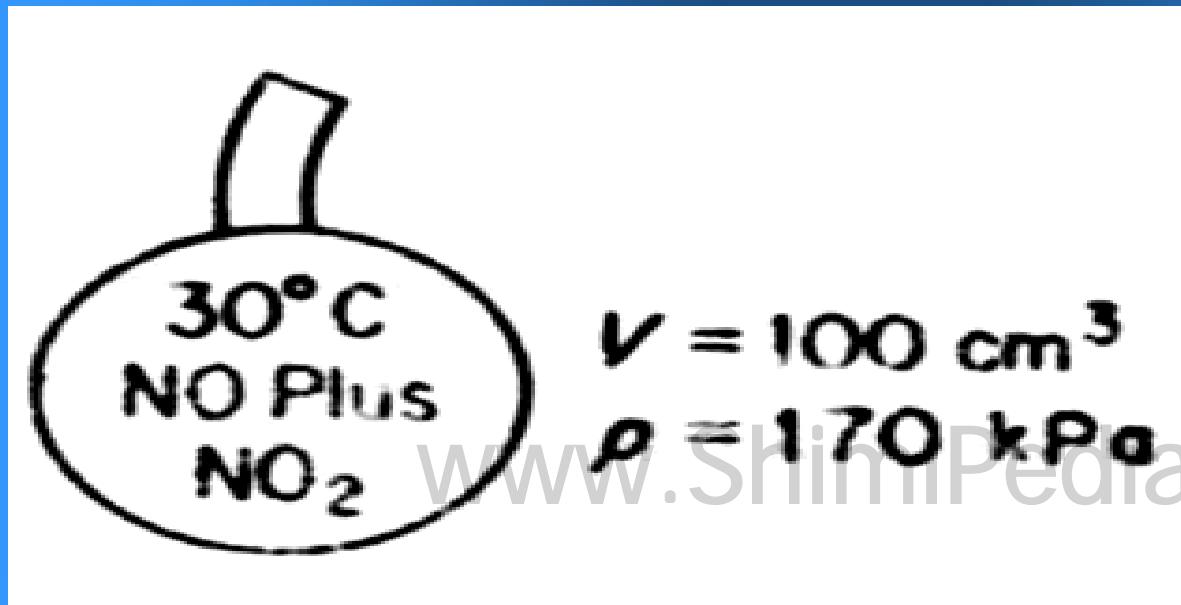
مثال: کاربرد قانون گاز کامل

فرض کنید یک نمونه مخلوط NO-NO_2 را در یک ظرف استاندارد به حجم 100 cm^3 و دمای 30°C جمع‌آوری کرده‌اید. در ضمن جمع‌آوری مقداری از NO_2 به NO تبدیل می‌شود.



بنابراین اندازه‌گیری NO به تنها برای سبب اشتباه می‌شود. اگر ظرف استاندارد حاوی 0.0191 g مخلوط بوده و فشار ظرف 170 kPa باشد، چند درصد از مخلوط را گاز NO_2 تشکیل می‌دهد.

گاز را کامل فرض کنید.



تعداد کل مولهای موجود در ظرف: ← ترکیب نسبی

$$R = \frac{100/3kp(22/4l)}{273(1\text{gmol})} \times \frac{(100\text{cm}^3)}{(1l)} = 8/31 \times 10^3 \frac{kPa \cdot cm^3}{K \cdot (gmol)}$$

مبنای ۱۰۰ گاز اولیه

تعداد کل مولهای موجود در ظرف

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{17 \cdot kPa}{8/31 \times 10^3} \times \frac{1 \cdot cm^3}{303 K} = 0.00675 \text{gmol}$$

جرم $x \text{ g} = \text{NO}$

جرم $(29/10 - x) \text{ g} = \text{NO}_2$

www.ShimiPedia.ir

مبنای ۲۹۱/۰ گرم گاز

NO	MW ۳۰
	=
NO ₂	MW ۴۶
	=

$$x \text{ g NO} \times \frac{1 \text{ g mol}}{30 \text{ g}} + (0.291 - x) \times \frac{1 \text{ g mol NO}_2}{46 \text{ g}} = 0.0675$$

$$x = 0.036 \text{ g}$$

$$\frac{0.036}{0.291} \times 100 = 12\%$$

درصد وزنی NO

$$\frac{0.036}{0.0675} \times \frac{1 \text{ g mol}}{30 \text{ g}} \times 100 = 18\%$$

درصد مولی NO

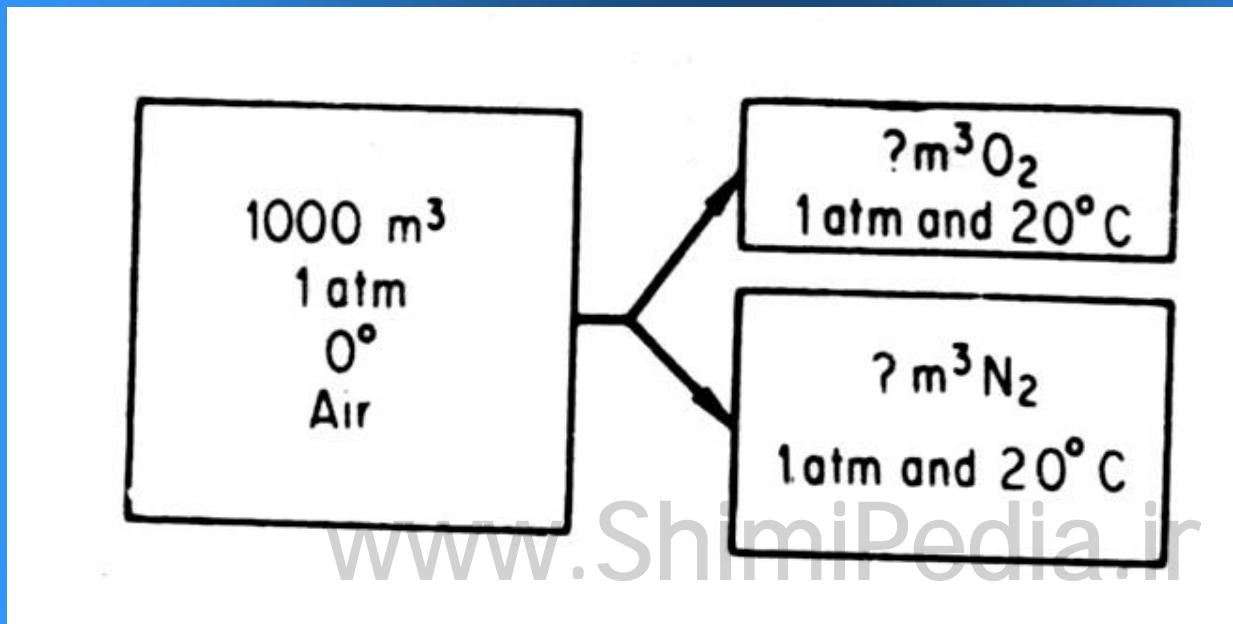
مخلوط گازهای کامل: قانون دالتون، فشار جزئی، کسر مولی، کسر حجمی

مثال: فشار و حجم جزئی

اتاقی بدون منفذ دارای حجم 1000 m^3 است. محتوای هوا متشکل از ۲۱٪ اکسیژن و ۷۹٪ ازت در 20°C است

الف) حجم جزئی O_2 در اتاق چند است؟

ب) فشار جزئی O_2 در اتاق چند است؟



حجم جزئی اکسیژن

$$\begin{aligned}V_{O_2} &= (\cdot / 21)(1000) = 210 \text{ m}^3 O_2 \\V_{N_2} &= 790 \text{ m}^3 N_2 \\&1000 \text{ m}^3 \text{ در } 20^\circ C\end{aligned}$$

$$P_{O_2} = 21/0 \text{ atm} = 21/0 \text{ atm}$$

مثال: محاسبه فشار جزئی با استفاده از تجزیه گاز

تجزیه یک گاز دودکش به قرار زیر است

N_2	O_2	CO_2
80	6	14%

این گازها در شرایط $400^\circ F$ و 765 mmHg هستند. فشارهای جزئی سازنده‌ها را حساب کنید.

مبنا = حجم ۱ kg گاز دودکش یا ۱ mol

سازنده	kgmol	P(mmHg)
CO ₂	۱۴۰/۰	۱۴/۰ (۲۶۵)=۱/۱۰۷
O ₂	۰۶/۰	۹/۴۵
N ₂	۸۰/۰	۶۱۲
	۰۰/۱ حجم	۰/۷۶۵

فشار کل \times (جزء مولی هر سازه y) = فشار جزئی

فشار بخار

مثال: مشخصات بخار مرطوب

مشخصات مخلوط بخار و مایع در حالت تعادل را می‌توان با استفاده از مشخصات بخار اشباع و مایع اشباع محاسبه کرد. آب را به عنوان مثال انتخاب می‌کنیم، زیرا بدست آوردن مشخصات و مقادیر حجمی مورد نیاز از جدول بخار به سادگی میسر است. در $K = 400$ و $P = 245 \text{ kPa}$ حجم ویژه بخار مرطوب برابر $\rho = 505 \text{ kg/m}^3$ است. کیفیت بخار چیست؟

با توجه به جدول: مشخصات مایع و بخار به دست می‌آید

مثال: تغییر فشار بخار با دما

رسم مقادیر $\log P^*$ بر حسب $1/T$ در فواصل کم خطی است.

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

معادله آنتوان

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

معادله کلاوزیوس کلایپرون

و نمودار کاکس برای تعیین فشار بخار در دماهای مختلف، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تغییرات فشار بخار با فشار کل در دمای ثابت

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

برون یابی فشار بخار:

فشار بخار کلروبنزن در 110°C برابر 400 mmHg و در 20°C برابر 0 atm است. فشار بخار آن را در 245°C و در نقطه بحرانی 359°C تخمین بزنید.

فشار بخار را می‌توان با استفاده از نمودار CO_X پیش‌بینی کرد.

(psia) $P^*\text{H}_2\text{O}$	۹۵/۰	۷۲/۳	۵/۱۱	۸/۲۹	۶۷	۲۴۷	۶۸۰	۱۵۴۳	۳۰۹۴
T ($^{\circ}\text{F}$)	۱۰۰	۱۰۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰

سپس فشار بخار کلروبزن را به psia تبدیل می کنیم :

$$40.0 \text{ mmHg} \times \frac{14 / 7 \text{ psia}}{76.0 \text{ mmHg}} = 7 / 74 \text{ psia} \Big| \quad 23.0^\circ F$$

$$5 \text{ atm} \times \frac{14 / 7 \text{ psia}}{1 \text{ atm}} = 73 / 5 \text{ psia} \Big| \quad 40.1^\circ F$$

دو نقطه را روی شکل مشخص می کنیم :

471 °F

778°F

پیش‌بینی شده

15.0 Psia

7.0 Psia

تجربی

147 Psia

666 Psia

فشار بخار در سایر دماها را می‌توان با استفاده از نمودار و یا با بروونیابی به دست آورد.

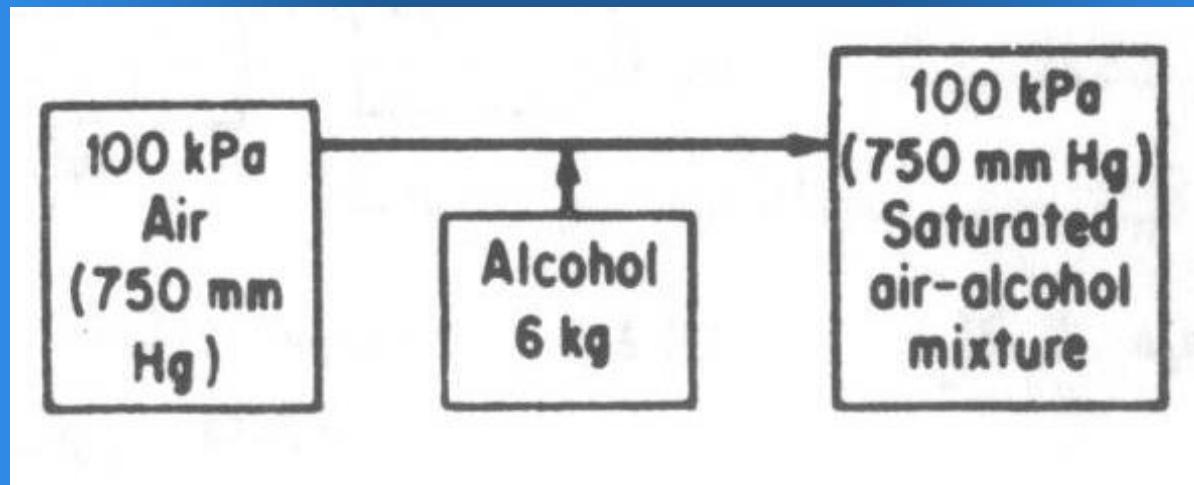
روش دیگر: با استفاده از روش اتمو

www.ShimiPedia.ir

مایعات اشباع از بخار:

مثال: اشباع

حداقل حجم هوای خشک بر حسب m^3 در $20^\circ C$ و 100 kPa را که برای تبخیر 6 kg الکل لازم است بدست آورید. فشار ثابت و برابر 100 kPa باقی می‌ماند.



$$P^*(20^\circ C) = 93.5 \text{ kPa}$$

$$\text{مبنای} = \underline{6\text{ kg}} \text{ الکل}$$

$$\frac{P_{\text{اکل}}}{P_{\text{هوای}}} = \frac{n_{\text{اکل}}}{n_{\text{هوای}}}$$

نسبت فشارهای جزئی = نسبت مول اکل به هوا

$$P_{\text{هوای}} = P_{\text{اکل}} - P_{\text{هوای}}$$

$$P_{\text{هوای}} = 100 - 93/5 \text{ kPa}$$

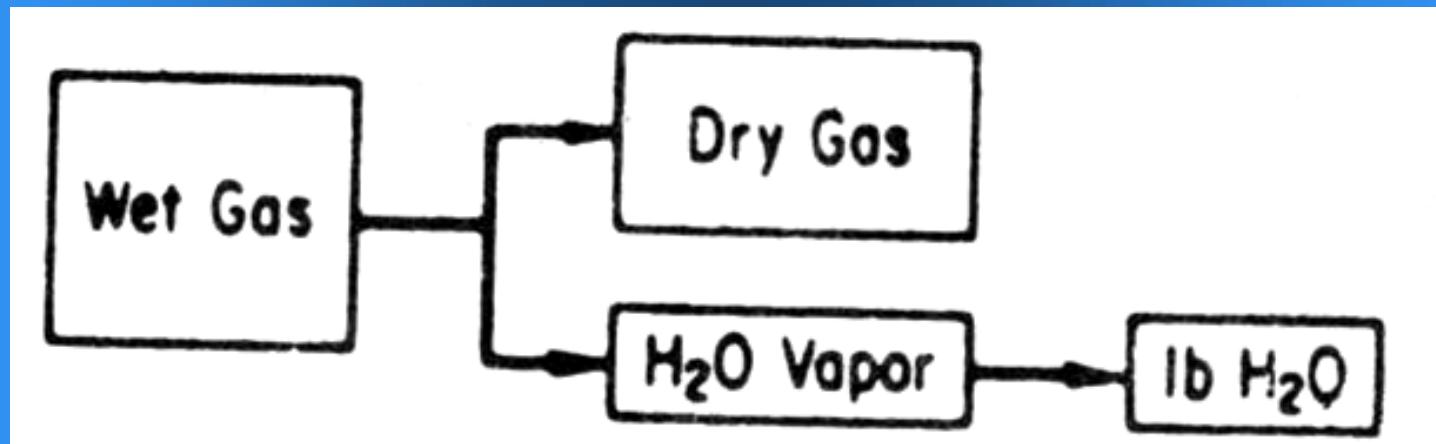
$$P_{\text{هوای}} = (100 - 93/5) \text{ kPa} = 1/94 \text{ kPa}$$

: هوا :

$$6 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ kgmol}}{46 \text{ kg}} \times \frac{94/1 \text{ kgmol}}{5/93 \text{ kgmol}} \times \frac{22/4 \text{ m}^3}{1 \text{ kgmol}} \times \frac{293 \text{ K}}{273 \text{ K}} \times \frac{101/3 \text{ kPa}}{101 \text{ kPa}} = 50/4 \text{ m}^3$$

مثال : اشباع

یک مخزن گاز تلسکوپی حاوی 1000 ft^3 گاز اشباع در 80°F و فشار $1 \text{ in.H}_2\text{O}$ بالاتر از جو است. بارومتر $28/4$ اینچ جیوه را نشان می‌دهد. وزن بخار آب موجود در گاز را به دست آورید.



$$6 \text{ in.Hg} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in.}} \times \frac{29/92 \text{ in.Hg}}{33/9 \text{ ftHg}} = 0.44 \text{ in.Hg}$$

فشار هوای سنج = ۴۶/۲۸ in.Hg

P کل = ۹۰/۲۸ in.Hg

P آب (80°F) بخار = 03/1 in.Hg

$$P_t = P_g + P_w$$

$$90/28 = 87/27 + 03/1$$

۱۰۰۰۰ ft³ گاز مرطوب و ۸۰ °F و ۹۰/۲۸ in.Hg

10000 ft³ گاز خشک و ۸۰ °F و 87/27 in.Hg

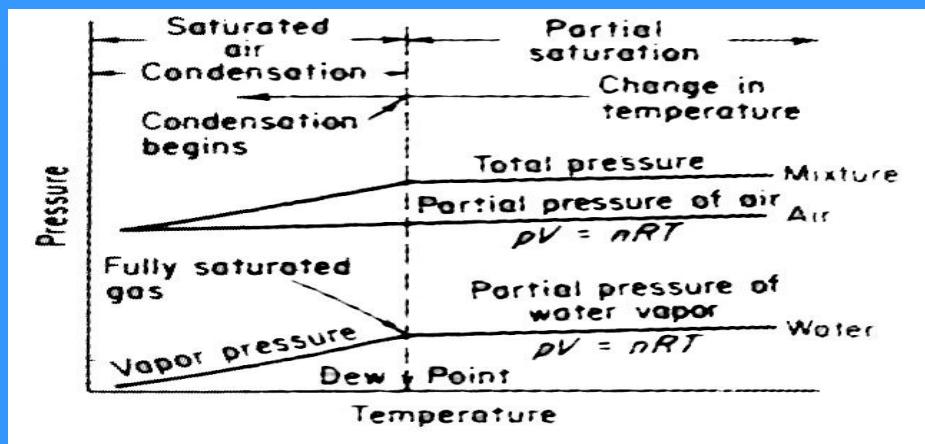
10000 ft³ بخار آب و ۸۰ °F و 03/1 in.Hg

°R = 540 °F

مینا = ۱ بخار آب و ۰۳/۱ in.Hg و ۸۰ °F

$$10000 \text{ ft}^3 \times \frac{492^\circ R}{540^\circ R} \times \frac{1/0.3 \text{ in.Hg}}{29/92 \text{ in.Hg}} \times \frac{1 \text{ lbmol}}{359 \text{ ft}^3} \times \frac{18 \text{ lbH}_2\text{O}}{1 \text{ lbmolH}_2\text{O}} = 15/7 \text{ lbH}_2\text{O}$$

اشباع جزئی و رطوبت



$$RS = \frac{P_{\text{بخار}}}{P_{\text{اشباع}}} = \frac{P_{\text{بخار}}}{P_{\text{اشباع}}}$$

بخار P = فشار جزئی بخار در مخلوط گاز

اشباع P = فشار جزئی بخار در مخلوط هر گاه گاز در این دما از بخار اشباع باشد.

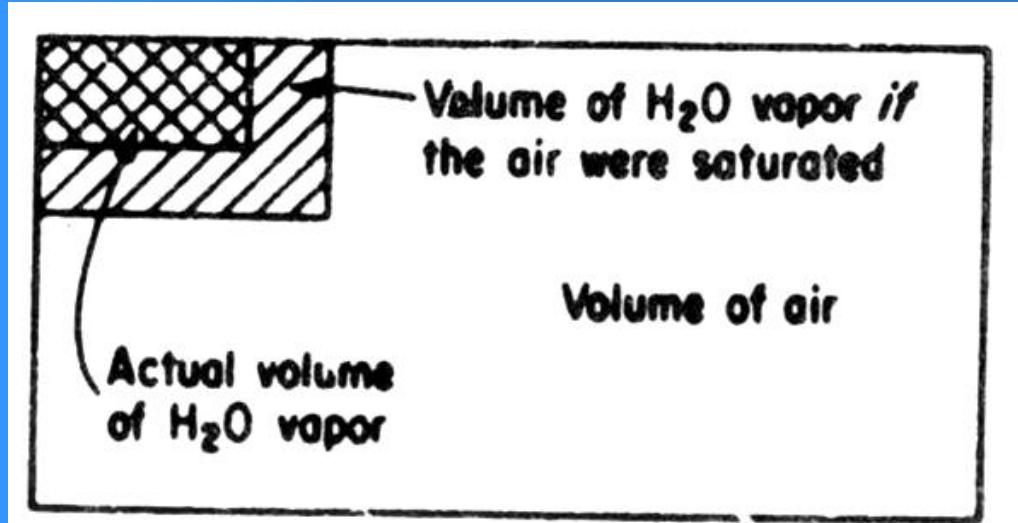
$$RS = \frac{P_1}{P_1^*} = \frac{\cancel{P_1}/P_t}{\cancel{P_1^*}/P_t} = \frac{\cancel{V_1}/V_t}{\cancel{V_{\text{اشباع}}}/V_t} = \frac{n_1}{n_{\text{اشباع}}} = \frac{\text{حجم ۱}}{\text{حجم اشباع}}$$

اشباع نسبی نشان دهنده میزان نزدیکی به اشباع کامل است.

رطوبت هوا ۶۰٪ است.

اشباع نسبی

$$\frac{P_{H_2O}}{P_{H_2O}^*} \times 100 = \% RH$$



گاز نیمه اشباع بصورت جدا

۲۰°C در P^*H_2O و PH_2O

مثال : رطوبت نسبی

گوینده وضع هوا اعلام کرد که دمای بعد از ظهر به $94^{\circ}F$ و رطوبت نسبی به ۴۳٪ خواهد رسید. فشار جو $29/27 \text{ in.Hg}$. آسمان نیمه ابری. وزش باد از جهت جنوب و جنوب شرقی 8 mi/hr . تعیین کنید در هر مایل مکعب هوای بعد از ظهر چند پاوند بخار آب وجود خواهد داشت. نقطه شبنم هوا چند است.

$94^{\circ}F = 61/1 \text{ in.Hg}$ فشار بخار آب در

فشار جزئی بخار آب در هوا با استفاده از درصد رطوبت نسبی تعیین می شود.

$$P_w = (61/1 \text{ in.Hg}) (43/100) = 61/10 \text{ in.Hg}$$

$$P_{\text{هوا}} = P_t - P_w = 67/29 - 61/10 = 68/28 \text{ in.Hg}$$

مقدار بخار آب 1 mi^3 در $69/10^\circ \text{F}$ و 94°F میباشد

$$\frac{mi^3}{mi} \times \left(\frac{5280 \cdot ft}{mi} \right)^2 \times \frac{492^\circ R}{554^\circ R} \times \frac{10/69 \text{ in.Hg}}{29/94 \text{ in.Hg}} \times \frac{1lbmol}{359 \cdot ft} \times \frac{18lbH_2O}{1lbmol}$$

$$= 0.1/1 \times 10^4 \text{ lb H}_2\text{O}$$

نقطه شبنم دمایی است که در آن بخار آب موجود در هوا در صورت سرد کردن مخلوط در فشار کل و ترکیب نسبی ثابت شروع به میان می کند.

در ضمن سرد کردن درصد رطوبت نسبی افزایش می یابد زیرا فشار جزئی بخار آب ثابت است در حالی که فشار بخار آب با دما کاهش می یابد. هنگامی که درصد رطوبت نسبی به ۱۰۰٪ برسد.

$$100 \times \frac{P_1}{P_1^*} = 100 \Rightarrow P_1 = P_1^*$$

بخار آب شروع به میان خواهد کرد. یعنی فشار بخار آب در نقطه شبنم برابر $69/0\text{ inHg}$ خواهد شد. دمای متناظر با این فشار بخار نقطه شبنم است.

مثال : اشباع مولی

روش دیگر بیان غلظت بخار در یک گاز، استفاده از نسبت مولهای بخار به مولهای گاز عاری از بخار است.

$$\frac{n_{\text{بخار}}}{n_{\text{آب}}}$$

$$1 = \text{بخار}$$

$$2 = \text{گاز خشک}$$

$$P_{\text{v}} + P_{\text{t}} = P_t$$

$$n_{\text{v}} + n_t = n_t$$

$$\frac{n_{\text{v}}}{n_t} = \frac{P_{\text{v}}}{P_t} = \frac{V_{\text{v}}}{V_t} = \frac{n_{\text{v}}}{n_t - n_{\text{v}}} = \frac{P_{\text{v}}}{P_t - P_{\text{v}}} = \frac{V_{\text{v}}}{V_t - V_{\text{v}}}$$

از ضرب وزن مولکولی در تعداد مول هی توان جرم بخار آب موجود به ازای واحد جرم گاز خشک را به دست آورده.

$$\frac{n_{\text{بخار}} \times MW_{\text{بخار}}}{n_{\text{گاز}} \times MW_{\text{گاز}}} = \frac{\text{جرم بخار}}{\text{جرم گاز خشک}}$$

اشباع مطلق:

نسبت مولهای بخار به ازای هر مول گاز عاری از بخار در مخلوط مورد نظر به مولهای بخار به ازای واحد مول گاز عاری از بخار در مخلوط اشباع است.

$$aS = \frac{\left(\frac{\text{مول بخار}}{\text{مول گاز عاری از بخار}} \right) \text{واقعی}}{\left(\frac{\text{مول گاز عاری از بخار}}{\text{مول بخار}} \right) \text{اشباع}}$$

$$= \frac{\left(\frac{n_1}{n_2} \right)_{\text{واقعی}} \times 100}{\left(\frac{n_1}{n_2} \right)_{\text{اشباع}}} = \frac{\left(\frac{P_1}{P_2} \right)_{\text{واقعی}}}{\left(\frac{P_1}{P_2} \right)_{\text{اشباع}}}$$

$$P_t = P_1 + P_2 \quad P_{\text{اشباع}} = P_1^*$$

= درصد اشباع مطلق

$$\left(\frac{P_i}{P_t - P_i} \right) \times 100 = \frac{P_i}{P_i^*} \left(\frac{P_t - P_i^*}{P_t - P_i} \right) \times 100$$

$$\begin{aligned} & \times (\text{اشباع نسبی}) = \text{درصد اشباع مطلق} \\ & = \frac{P_i}{P_i^*} \end{aligned}$$

مثال: اشباع جزئی

گاز هلیوم محتوی ۱۲٪ حجمی اتیل استات است. مطلوبست:

الف) درصد اشباع نسبی

ب) درصد اشباع مطلق در دمای 30°C و فشار ۹۸kPa

اطلاعات اضافی: $P^*(30^{\circ}\text{C}) = 91.15\text{kPa} (119\text{mmHg})$ اتیل استات

با استفاده از قانون دالتون:

$$P = P_t y = P_t \left(\frac{n}{n_t} \right) = P_t \left(\frac{V}{V_t} \right)$$

$$= (98)(0.12) = 11.76$$

$$P_{He} = P_t - P = 98 - 11.76 = 86.2\text{kpa}$$

در ${}^{\circ}\text{C}$: ۳۰

الف) درصد اشباع نسبی:

$$100 \times \frac{P}{P^*} = 100 \times \frac{11/76}{15/9} = 74/0\%$$

ب) درصد اشباع مطلق:

$$\frac{11/76}{\frac{98 - 11/76}{15/9}} = 70\%$$

مثال: اشباع جزئی

مخلوطی از هوا و بخار اتیل استات در 30°C و فشار کل 740 mmHg دارای اشباع نسبی 50% است. مطلوب است:

الف) تجزیه بخار

ب) اشباع مولی

$$P^*(30^{\circ}\text{C}) = 119\text{ mmHg}$$

$$\frac{P}{P^*} \times 100 = \frac{50}{119} \times 100 = 42.3\%$$

$$P = 50 \times 119 = 595\text{ mmHg}$$

$$\frac{n}{n_t} = \frac{P}{P^*} = \frac{595}{740} = 0.805$$

الف) تجزیه بخار

$95/91\%$ هوا

$$\frac{n}{n_{\text{هوا}}} = \frac{P}{P_{\text{هوا}}} = \frac{P}{P_t - P} = \frac{595}{740 - 595} = 0.876$$

مول اتیل استات
مول هوا

ب) اشباع مولی

www.ShimiPedia.ir

مثال: اشباع جزئی

رطوبت مطلق هوا در 86°F و فشار کل 750 mmHg ، 20% است. مطلوب است درصد رطوبت نسبی و فشار جزئی بخار آب در هوا.

نقطه شبنم هوا چند است؟

$$P_{\text{H}_2\text{O}}^*(86^{\circ}\text{F}) = 8/31 \text{ mmHg}$$

برای تعیین رطوبت نسبی $\frac{P_{\text{H}_2\text{O}}}{P_{\text{H}_2\text{O}}^*}$ باید فشار بخار آب را در هوا به دست آورد.

(الف)

$$aH = ٢٠ = \frac{\frac{P_{H_2O}}{P_t - P_{H_2O}}}{\frac{P_{H_2O}^*}{P_t - P_{H_2O}^*}} \times ١٠٠ = \frac{\frac{x}{٧٥٠ - x}}{\frac{٣١/٨}{٧٥٠ - ٣١/٨}} \times ١٠٠$$

$$\Rightarrow x = ٦ / ٧ mmHg$$

(ب)

$$RH = ١٠٠ \times \frac{٦ / ٧}{٣١/٨} = ٢١/١\%$$

(ج) نقطه شبنم دمایی است که در آن بخار آب موجود در هوا شروع به میعان می‌کند. این عمل در $٦/٧ mmHg$ یا در حدود $٤١^{\circ}F$ انجام می‌گیرد.

مبنا = هوای مرطوب یا هر مبنای دیگر

۷۳۸ lbmol هوای مرطوب صبح

مولها = فشار جزئی

سازنده	(روز) مخلوط نهایی = فشارهای جزئی lbmol	(شب) مخلوط نهایی = فشارهای جزئی lbmol
هوای	۱/۷۰۹	۵/۷۲۷
H_2O	۹/۲۸	۵/۱۷
	۰/۷۳۸	۰/۷۴۵

مقدار آب موجود در هوای شب:

موازنہ هوای

$$\frac{17/5 \text{ lbmolH}_2\text{O}}{727/5 \text{ lbmol}} \times 70.9/1 \text{ lbmol} = 17/1 \text{ lbmolH}_2\text{O}$$

موازنہ آب:

$$28/9 - 17/1 = 11/8 \text{ lbmolH}_2\text{O}$$

$$100 \times \frac{11/8}{28/9} = 41\% \quad \text{آب}$$

به صورت شبیم درمی‌آید

در هوای روز به صورت شبیم درآمدہ

مبنا = یک پاوند مول هوای کاملاً خشک

تغییرات - نهایی - اولیه

$$\frac{28/\text{lbmol}H_2O}{70.9/\text{lbmol}} - \frac{17/5}{727/5\text{lbmol}} = \text{تغییر}$$

$$0.0406 - 0.0241 = 0.0165 \frac{\text{lbmol}H_2O}{\text{lbmol}}$$

هوای خشک

$$\frac{0.0165}{0.0406} \times 100 = 41\%$$

بخار آب به صورت شبیه درآمد

فصل ۴

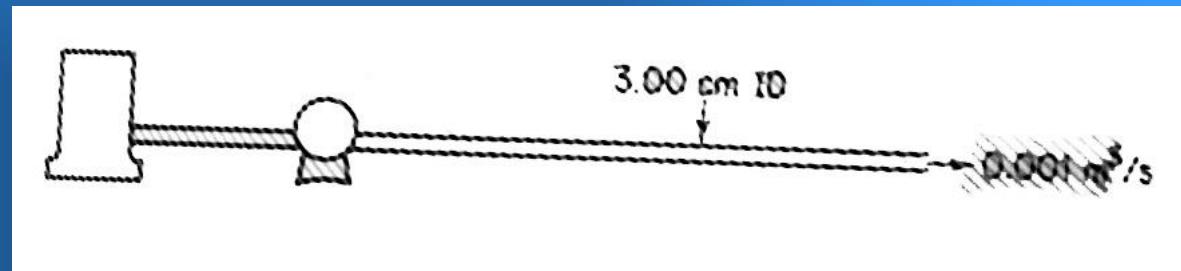
موازنۀ انرژی

۴-۱ محاسبه انرژی جنبشی

آب را از یک مخزن باشدت جریان $1.00 \text{ m}^3/\text{s}$ به داخل لوله‌ای به قطر داخلی 3cm تلمبه می‌کنند. انرژی جنبشی واحد جرم آب را به دست آورید.

$$\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$r = \frac{1}{2}(3/10) = 1.5 \text{ cm}$$



$$V = \frac{1.00 \text{ m}^3}{\text{s}} \quad \left| \frac{\pi(0.1)^2 \text{ cm}^2}{\text{s}} \right| \quad \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 410 \text{ m/s}$$

$$\hat{K} = \frac{1}{2} \nu^2 = \frac{1}{2} (410)^2 = 8.4 \text{ J/kg}$$

۴-۲ محاسبه انرژی پتانسیل

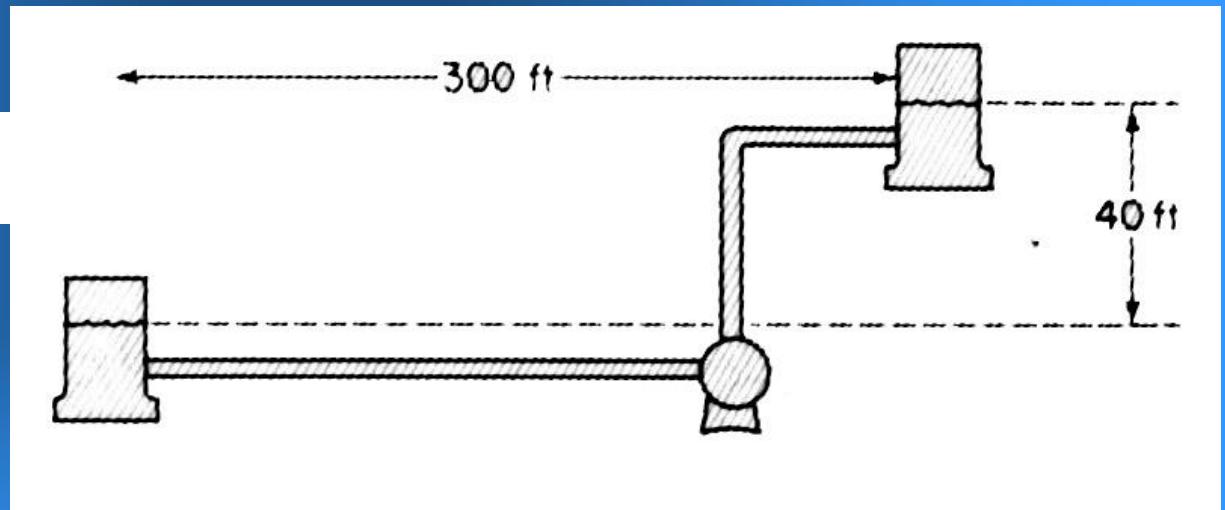
آب را از یک مخزن به مخزن دیگر در فاصله ۱۰۰ فوتی پمپ می‌کنند. سطح آب در مخزن دوم ۴۰ فوت بالاتر از سطح آب در مخزن اول است. افزایش انرژی پتانسیل واحد جرم آب را بر حسب به دست But/lb_m بدست آورید.

$$g = 2/32 \text{ ft/s}^2 \quad \text{و} \quad \text{But} = 2/778 \text{ lb}_f \cdot \text{ft}$$

$$1\text{lb}_f = 2/32 \text{ lb}_m \cdot \text{ft/s}^2$$

$$h = \epsilon \cdot \text{ft}$$

$$\hat{P} = gh$$



$$P = \frac{2/32 \text{ ft}}{\text{s}^2} \left| \frac{\epsilon \cdot \text{ft}}{2/32 \text{ lb}_m \cdot \text{ft/s}^2} \right| \frac{1\text{lb}_f}{2/778 \text{ lb}_f \cdot \text{ft}} = 0.014 \cdot \text{But/lb}_m$$

انرژی داخلی - آنتالپی

انرژی داخلی بصورت قابعی از دما و حجم ویژه

$$\hat{U} = \hat{U}(T, \hat{V})$$

$$d\hat{u} = \left(\frac{\partial \hat{u}}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial \hat{u}}{\partial \hat{V}} \right)_T d\hat{V}$$

C_v

در عمل بسیار کوچک

تغییرات انرژی داخلی

$$\Delta \hat{u} = \hat{u}_f - \hat{u}_i = \int_{T_i}^{T_f} C_v dT$$

با انتگرال گیری

آنالپی بصورت تابعی از دما و فشار

$$\hat{H} = \hat{H}(T, P)$$

$$d\hat{H} = \left(\frac{\partial \hat{H}}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial \hat{H}}{\partial P} \right)_T dP$$

$$\downarrow C_P$$

در عمل بسیار کوچک

$$\Delta \hat{H} = \hat{H}_{\text{نها}} - \hat{H}_{\text{اولیه}} = \int_{T_{\text{اولیه}}}^{T_{\text{نهایی}}} C_P dT$$

$$\oint d\hat{H} = .$$

در یک فرآیند چرخه‌ای

متغیرهای حالت‌اند.

H, P, \hat{U} , T, \hat{V}

تغییر یک قاع نقطه‌ای را می‌توان از تفاضل حالت نهایی و اولیه بدون توجه به مسیر تحول محاسبه کرد.

ظرفیت حرارتی

ظرفیت حرارتی بخار آب را در 10 kPa در 45°C تعیین کنید. تغییر آنتالپی در فشار ثابت را از جدول بخار بدست آورید.

$$H_{47^{\circ}\text{C}} - H_{43^{\circ}\text{C}} = (1/2588 - 1/2581)\text{kJ/kg} = 0.007\text{ kJ/kg}$$

فرض می‌شود C_p در فاصله دمایی کوچک ثابت باشد.

$$C_p \cong \frac{\Delta H}{\Delta t} = \left| \frac{0.007\text{ kJ}}{9/3\Delta^{\circ}\text{C}} \right| = 79/1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \Delta^{\circ}\text{C}} = \frac{\text{انرژی}}{(\text{تفاوت دما})(\text{جرم یامول})}$$

$$\frac{1Btu}{lb^{\circ}F} = \frac{4/184J}{gK}$$

ظرفیت حرارتی آب

$$4184 \frac{J}{(kg)(K)}$$

$$C_p = a + bT$$

$$C_p = a + bT + cT^{\gamma}$$

$$C_p = a + bT + cT^{-\frac{1}{\gamma}}$$

$$C_p = a + bT - cT^{-\gamma}$$

رابطه C_p با دما :

$$\text{ظرفیت حرارتی یک ماده} = \frac{\text{گرمای ویژه}}{\text{ظرفیت حرارتی جسم مقایسه}}$$

معادله ظرفیت حرارتی

معادله ظرفیت حرارتی گاز CO_2 عبارت است از :

$$C_p = \frac{393}{T} + 100/T \times 10^{-3} - 405/T^2 \times 10^{-6}$$

C_p بر حسب $\text{cal}/(\text{gmol})(\text{K})$ است. معادله فوق را به صورتی در آورید که ظرفیت حرارتی را در تمام فواصل دمایی برحسب واحدهای زیر به دست دهد:

$\text{cal}/(\text{gmole})(^\circ\text{C})$ و $(^\circ\text{C})/\Delta T$ (Δ $^\circ\text{C}$) (الف)

$$C_P = \frac{cal}{(gmol)(\Delta^{\circ}C)} = \text{?} / \text{?}$$

Cal	$1 \Delta K$
$(gmol)(\Delta K)$	$1 \Delta^{\circ}C$

$$+ 1 / 1 \times 1^{-3}$$

Cal	$1 \Delta K$	$(^{\circ}C + 273)K$
$(gmol)(\Delta K)(K)$	$1 \Delta^{\circ}C$	$^{\circ}C$

$$- 3 / 393 \times 1^{-6}$$

Cal	$1 \Delta K$	$(^{\circ}C + 273)^2 K^2$
$(gmol)(\Delta K)(K)^2$	$1 \Delta^{\circ}C$	$(^{\circ}C)^2$

$$= \lambda / 196 + \lambda / 240 \times 10^{-3} T_{(^{\circ}C)} - 3 / 4.5 \times 10^{-6} T_{(^{\circ}C)}^2$$

ظرفیت حرارتی گاز کامل

$$C_P = C_V + \hat{R} \quad \text{نشان که برای گازهای کامل یک اتمی رابطه}$$

صادق است.

$$C_V = \left(\frac{\partial \hat{U}}{\partial T} \right)_V$$

$$C_P = \left(\frac{\partial \hat{H}}{\partial T} \right)_P = \left[\frac{\partial \hat{U} + \partial(p\hat{V})}{\partial T} \right]_P = \left[\frac{\partial \hat{U} + p(\partial \hat{V})}{\partial T} \right]_P = \left(\frac{\partial \hat{U}}{\partial T} \right)_P + P \left(\frac{\partial \hat{V}}{\partial T} \right)_P$$

در گازهای کامل نظر به اینکه U فقط تابع دماست

$$\left(\frac{\partial \hat{U}}{\partial T} \right)_P = \left(\frac{\partial \hat{U}}{\partial T} \right)_{\hat{V}} = C_V \quad p\hat{V} = \hat{R}T$$

$$\left(\frac{\partial \hat{V}}{\partial T} \right)_P = \frac{\hat{R}}{P}$$

$$C_P = C_V + P \left(\frac{\hat{R}}{P} \right) = C_V + \hat{R}$$

کاربرد قانون کپ (تخمین ظرفیت حرارتی)

ظرفیت حرارتی $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ را در دمای معمولی بدست آورید.

Na	S	O	H
$\frac{\text{cal}}{(\text{gmol})(^\circ\text{C})}$	۲/۶	۴/۵	۰/۴

مбنا $1 \text{ g mol Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O} =$

$$Na : 2 \times 6 / 2 = 12 / 4$$

$$S : 1 \times 5 / 4 = 5 / 4$$

$$O : 14 \times 4 / 0 = 56 / 0$$

$$H : 20 \times 2 / 3 = 40 / 3$$

$$\frac{119 / 8}{(\text{gmol})(^\circ\text{C})} \text{ cal}$$

۱۴۱ است . پس نتیجه قانون کپ تقریبی است.

$$\frac{\text{cal}}{(\text{gmol})(^\circ\text{C})}$$
 مقدار تجربی

ظرفیت حرارتی مایعات و گازها

در مورد محاسبه ظرفیت حرارتی هیدروکربنهاي مایع نفتی فالن و واتسون Cp را به صورت زیر توصیه می کنند:

$$C_p = \left[\left(0.355 + 0.128 \times 10^{-2} {}^{\circ}\text{API} \right) + \left(0.503 + 0.117 \times 10^{-2} {}^{\circ}\text{API} \right) \times 10^{-3} t \right] (0.5K + 0.41)$$
$${}^{\circ}\text{API} = \frac{141/5}{spgr(60^{\circ}\text{F}/60^{\circ}\text{F})} - 131/5$$

${}^{\circ}\text{F} = t$

K = ضریب تشخیص عمومی محصولات نفتی. یک مشخصه اساسی نیست (بین ۱/۱۰ تا ۱۳ بوده، در پیوست موجود است)

بر حسب Cp

$$\frac{Btu}{(lb)({}^{\circ}\text{F})}$$

www.ShimiPedia.ir

$$C_p = kM^a$$

ثابت →
ثابت جدول ←
وزن مولکولی ←

در مایعات آلی: رابطه دقیق زیر وجود دارد

$$C_p = \frac{(4/0 - S)(T + 670)}{6450}$$

در گازها و بخارات نفتی

نسبت به هواست

$$\frac{60^{\circ}F}{60^{\circ}F}$$

چگالی

$$C_p = a + b \log T$$

معادله کوتاری:

ظرفیت حرارتی متوسط گازهای احتراق

[J/(G MOLE)(K)]†

°C	N ₂	O ₂	Air	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
0	29.116	29.241	29.062	28.610	29.120	35.961	33.476
18	29.120	29.279	29.074	28.693	29.124	36.425	33.509
25	29.120	29.296	29.074	28.718	29.129	36.467	33.522
100	29.141	29.526	29.141	28.978	29.175	38.166	33.727
200	29.225	29.932	29.292	29.099	29.497	40.124	34.099
300	29.384	30.438	29.513	29.149	29.526	41.852	34.543
400	29.601	30.877	29.781	29.216	29.790	43.346	35.049
500	29.865	31.333	30.082	29.279	30.108	44.685	35.593
600	30.154	31.760	30.400	29.350	30.430	45.877	36.166
700	30.446	32.149	30.710	29.438	30.756	46.948	36.756
800	30.752	32.501	31.020	29.547	31.078	47.910	37.354
900	31.045	32.823	31.317	29.677	31.384	48.869	37.948
1000	31.304	33.120	31.585	29.823	31.672	49.580	38.534
1100	31.593	33.388	31.865	29.978	31.944	50.291	39.112
1200	31.840	33.635	32.108	30.145	32.166	50.919	39.672
1300	32.070	33.865	32.338	30.237	32.434	51.546	40.220
1400	32.292	34.082	32.555	30.375	32.656	52.048	40.752
1500	32.505	34.275	32.760	30.526	32.865	52.551	41.264

ظرفیت حرارتی متوسط گازهای احتراق

[Btu/lb mol)(°F)]

°F	N ₂	O ₂	Air	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ O
32	6.959	6.989	6.946	6.838	6.960	8.595	8.001
60	6.960	6.996	6.948	6.855	6.961	8.682	8.008
77	6.960	7.002	6.949	6.864	6.962	8.715	8.012
100	6.961	7.010	6.952	6.876	6.964	8.793	8.019
200	6.964	7.052	6.963	6.921	6.972	9.091	8.055
300	6.970	7.102	6.978	6.936	6.987	9.362	8.101
400	6.984	7.159	7.001	6.942	7.007	9.612	8.154
500	7.002	7.220	7.028	6.961	7.033	9.844	8.210
600	7.026	7.283	7.060	6.964	7.065	10.060	8.274
700	7.055	7.347	7.096	6.978	7.101	10.262	8.341
800	7.087	7.409	7.134	6.981	7.140	10.450	8.411
900	7.122	7.470	7.174	6.984	7.182	10.626	8.484
1000	7.158	7.529	7.214	6.989	7.224	10.792	8.558
1100	7.197	7.584	7.256	6.993	7.268	10.948	8.634
1200	7.236	7.637	7.298	7.004	7.312	11.094	8.712
1300	7.277	7.688	7.341	7.013	7.355	11.232	8.790
1400	7.317	7.736	7.382	7.032	7.398	11.362	8.870
1500	7.356	7.781	7.422	7.054	7.439	11.484	8.950
1600	7.395	7.824	7.461	7.061	7.480	11.60	9.029
1700	7.433	7.865	7.500	7.073	7.519	11.71	9.107
1800	7.471	7.904	7.537	7.081	7.558	11.81	9.185
1900	7.507	7.941	7.573	7.093	7.595	11.91	9.263
2000	7.542	7.976	7.608	7.114	7.631	12.01	9.339

محاسبه تغییرات آنتالپی

$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT = a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3}(T_2^3 - T_1^3)$$

$$Cp_m = \frac{\hat{H}_2 - \hat{H}_1}{T_2 - T_1}$$

یا با استفاده از ظرفیت حرارتی متوسط

$$\Delta \hat{H} = Cp_m \Delta T = Cp_m (T_2 - T_1)$$

اگر ظرفیت حرارتی به صورت چند جمله‌ای توانی $Cp = a + bT + CT^2$ ارائه شود، Cp_m خواهد شد:

$$Cp_m = \frac{\int_{T_1}^{T_2} Cp dT}{\int_{T_1}^{T_2} dT} = \frac{a(T_2 - T_1) + \frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2) + \frac{c}{3}(T_2^3 - T_1^3)}{T_2 - T_1}$$

محاسبه ΔH با استفاده از ظرفیت حرارتی متوسط

مطلوبست تغییرات آنتالپی یک کیلو مول ازت (N_2) که در فشار ثابت 100 kPa از 18°C تا 1100°C حرارت داده شود.

$$\frac{J}{(gmol)(K)} = . / 239 \frac{\text{cal}}{(gmol)(K)}$$

مقادیر مربوط به ظرفیت حرارتی متوسط در شرایط مبنای ${}^\circ\text{C}$ از جدول:

$$C_{p_m} = 093/31 \quad \boxed{\frac{kJ}{(kgmol)({}^\circ\text{C})}} \quad \text{در } 1100 {}^\circ\text{C}$$

$$C_{p_m} = 120/29 \quad \boxed{\frac{kJ}{(kgmol)({}^\circ\text{C})}} \quad \text{در } 180 {}^\circ\text{C}$$

$$\Delta\hat{H}_{v...l} = \Delta\hat{H}_{v...} - \Delta\hat{H}_{l}$$

مبنا = یک کیلو مول N₂

$$= \frac{592/31 \text{ kJ}}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})} \left|_{110^\circ\text{C}} \right. - \frac{120/29 \text{ kJ}}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})} \left|_{18^\circ\text{C}} \right. = 228/34 \frac{\text{kJ}}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})}$$

$$\Delta\hat{H} = Cp_{m...}(T_{...} - T_{ref}) - Cp_{ml}(T_l - T_{ref})$$

مثال : محاسبه ΔH با استفاده از معادله ظرفیت حرارتی

تبديل زباله‌های جامد به گازهای بی‌ضرر در زباله سوزها با تأیید سازمان‌های حفظ محیط اندام می‌گیرد. اما گازهای داغ خروجی را باید سرد یا با هوا رقیق کرد. بررسی‌های اقتصادی نشان داده است که از احتراق زباله‌های جامد شهری، مخلوط گازی با ترکیب نسبی زیر (برمبنای خشک) می‌تواند حاصل شود.

CO_2	۲/۹٪.
CO	۵/۱٪.
O_2	۳/۷٪.
N_2	۰/۸۲٪.
	۰/۱۰۰٪.

تغییر آنتالپی این گاز را بین ابتدا و انتهای دودکش بدست آورید. دمای انتهای دودکش 550°F و دمای سر دودکش 200°F است. از بخار آب موجود در مخلوط صرف نظر کنید. گازها کامل فرض می‌شوند. می‌توان از تبادل هر گونه انرژی در اثر اختلاط سازنده‌های گازی چشم‌پوشی کرد.

$$CpN_2 = 6/895 + 0/7624 \times 10^{-3}T - 0/7009 \times 10^{-7}T^2$$

$$CpO_2 = 7/104 + 0/7851 \times 10^{-3}T - 0/5528 \times 10^{-7}T^2$$

$$Cp(CO_2) = 8/448 + 5/757 \times 10^{-3}T - 21/59 \times 10^{-7}T^2 + 3/049 \times 10^{-11}T^3$$

$$Cp(CO) = 6/865 + \cdot / 8.24 \times 10^{-3} T - \cdot / 7367 \times 10^{-7} T^2$$

مینا = یک lb mol مخلوط گاز:

$$N_2 = \cdot / 82(6 / 895 + \dots)$$

$$O_2 = \cdot / 0.73(7 / 104 + \dots)$$

$$CO_2 = \cdot / 0.92(8 / 448 + \dots)$$

$$CO = \cdot / 0.15(6 / 865 + \dots)$$

$$Cp = (V / 0.52 + 1 / 2243 \times 10^{-3} T - 2 / 6124 \times 10^{-7} T^2 + \cdot / 2814 \times 10^{-11} T^3) dT$$

$$\Delta \hat{H} = \int_{55}^{70} Cp dT = \int_{55}^{70} (V / 0.52 + \dots) dT = -2616 \frac{Btu}{(lbmol)} gas$$

مثال : محاسبه تغییرات آنتالپی با استفاده از جدول

مطلوبست تغییر آنتالپی یک کیلو مول ازت (N_2) که در فشار ثابت 100 kPa از 18°C تا 1100°C حرارت داده شود.

از روی جدول (دماهی مبنا 273 K)

$$1100^\circ\text{C} \text{ میانی } 1373\text{ K} : \Delta\hat{H} = 34715 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}} \quad (\text{بابرونیابی})$$

$$18^\circ\text{C} \text{ میانی } 291\text{ K} : \Delta\hat{H} = 524 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

مبنا = یک کیلو مول ازت (N_2)

$$\hat{H} = 34715 - 524 = 34191 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$$

مثال: کاربرد جدول بخار

تغییر آنتالپی یک گالن آب را وقتی از دمای 60°F به 115°F و 240 psig بررسد بر حسب Btu به دست آورید.

مبنا = ۱ پاوند آب در 60°F (دمای مبنا 320°F)

$$\hat{H} = 28 / .07 \text{ Btu/lb}$$

60°F

$$\hat{H} = 160.4 / 5 \text{ Btu/lb}$$

115°F 240 psig ($254 / 7 \text{ psia}$)

$$\Delta\hat{H} = (160.4 / 5 - 28 / .07) = 1576 / 4 \text{ Btu/lb}$$

$$\Delta H = 1576(8 / 345) = 1315 \text{ Btu/gal}$$

تغییر آنتالپی در تبدیل فاز

گرمای ذوب:

گرمای ذوب مولی

$$\frac{\Delta \hat{H}_f}{T_f} = \text{ثابت}$$

نقطه ذوب

عنصر:	۲-۳
مواد معدنی:	۵-۷
مواد آلی:	۹-۱۱

گرمای تبخیر:

معادله کلاوزیوس - کلابیرون : این معادله ، رابطه بین شیب منحنی فشار بخار و گرمای تبخیر مولی است.

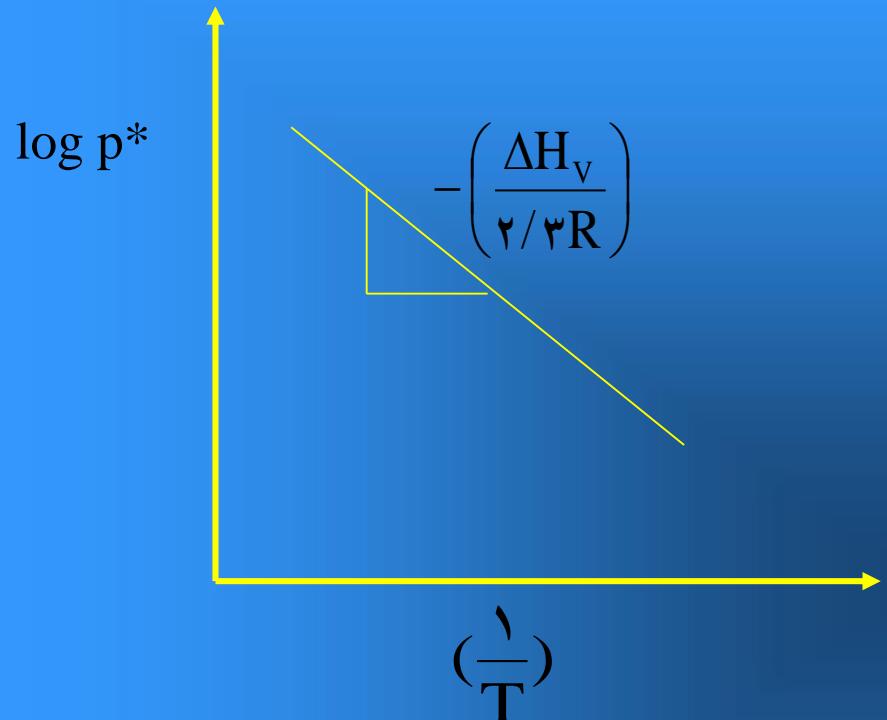
$$\frac{dp^*}{dT} = \frac{\Delta\hat{H}_V}{T(\hat{V}_g - \hat{V}_l)}$$

= حجم مولی \hat{V}

در مورد یک گاز حقیقی:

$$\frac{dp^*}{dT} = -\frac{\Delta\hat{H}_V}{z(RT^* / p^*)} \quad V_l \ll V_g$$

$\Downarrow \quad \frac{dp^*}{p^*} = \frac{\Delta\hat{H}_V dT}{RT^*} \quad \Downarrow \quad \frac{d \ln p^*}{d(\frac{1}{T})} = \frac{1/z d \log p^*}{d(\frac{1}{T})} = -\frac{\Delta H_V}{R}$



با فرض اینکه ΔH_v در فاصله دمایی ثابت باشد

$$\log P^* = -\frac{\Delta H_v}{2/3 RT} + B$$

$$\log P^* = -\frac{\Delta H_v}{2/3 R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

مثال: گرمای تبخیر از معادله کلاوزیوس - کلپرون

گرمای تبخیر ایزو بوتریک اسید را در 200°C تخمین بزنید.

فشار بخار	دما ($^{\circ}\text{C}$)
۲	۸/۱۷۹
۵	۲۱۷
۱۰	۲۵۰

با استفاده از Perry:

مثنا: یک گرم مول اسید ایزو بوتریک

چون در فواصل کوچک دمایی ΔH_v ثابت است،

$179/8^{\circ}\text{C}$ یا $452/8\text{K}$ 273° یا 490K

$$\log \frac{2}{5} = \frac{-\Delta \hat{H}_v}{(2/30)(8/314)} \left(\frac{1}{490} - \frac{1}{452/8} \right)$$

$$\Delta \hat{H}_v = 45440 \frac{\text{J}}{\text{gmol}} = 19555 \frac{\text{But}}{\text{lbmol}}$$

شکل نقصانی معادله کلاوزیوس - کلزپیرون (بر حسب دما و فشار نقصانی)

$$d \ln p^* = -\frac{\Delta \hat{H}_v}{ZRT_c} d\left(\frac{1}{T_r}\right)$$

$$\frac{\Delta \hat{H}_v}{ZRT_c} = -\frac{d \ln p^*}{d\left(\frac{1}{T_r}\right)}$$

$$\frac{\Delta \hat{H}_v}{ZRT_c} = \frac{B}{T_c} \left[\frac{T_r}{T_r + \left(C/T_c \right)} \right]$$

تخمین گرمای تبخیر با استفاده از آنتالپی تبخیر در دمای جوش نرمال:

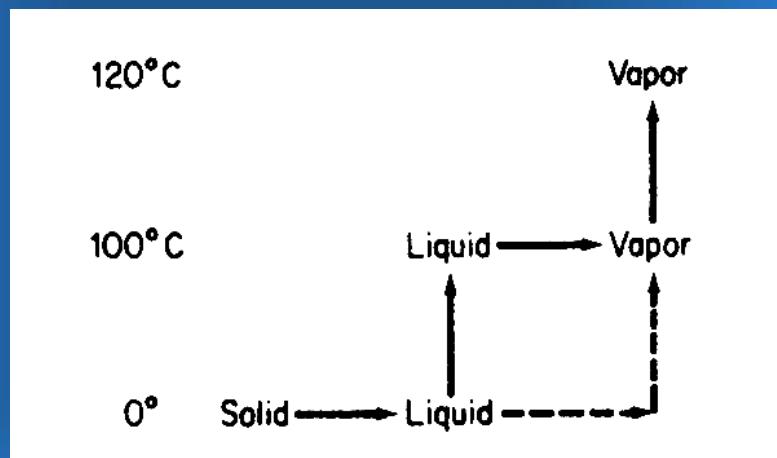
: T_1, T_2 آنتالپی تبخیر مایع خالص در دماهای $\Delta \hat{H}_{V_1}, \Delta \hat{H}_{V_2}$

$$\frac{\Delta \hat{H}_{V_1}}{\Delta \hat{H}_{V_2}} = \left(\frac{1-T_2}{1-T_1} \right)^{1/38}$$

محاسبه تغییر آنتالپی شامل تبدیل فاز

تغییر آنتالپی یک کیلوگرم آب را از حالت یخی در صفر درجه سانتیگراد به بخار در 120°C و 100 kPa حساب کنید.

برای محاسبه آنتالپی مسیر زیر را انتخاب می‌کنیم.



در

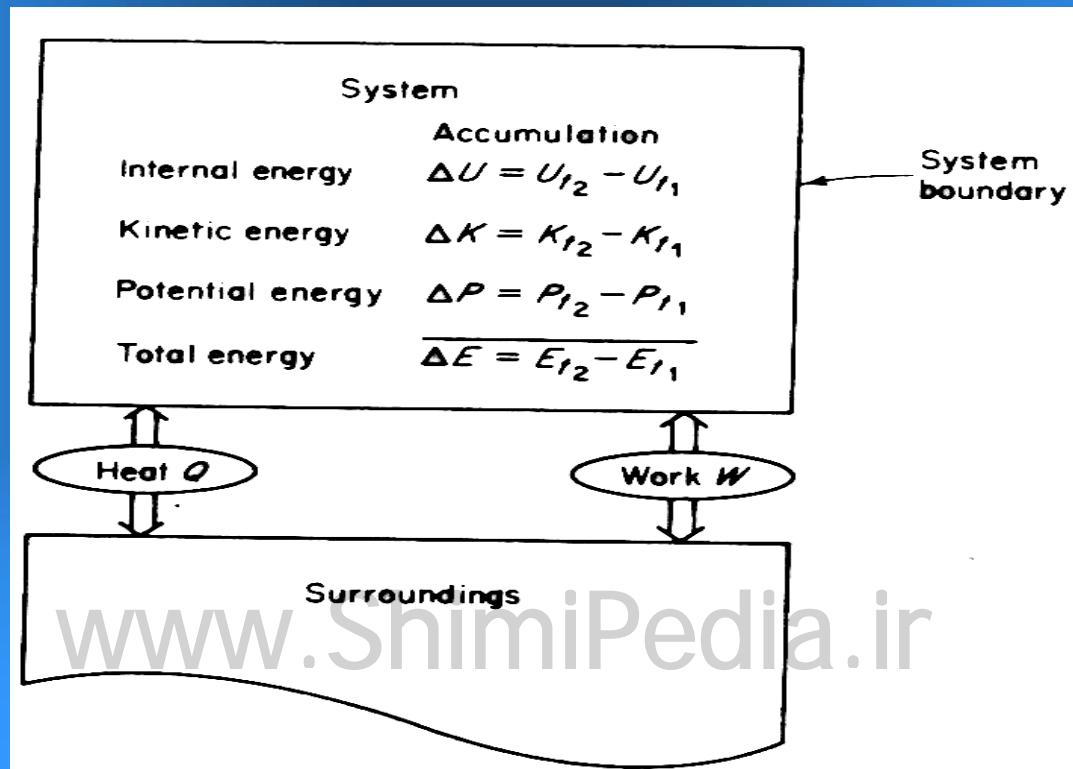
$$\Delta H_f = 334 \text{ kJ/kg} \quad \Delta \hat{H}_v = 2255 \text{ kJ/kg} \quad 100^\circ C$$

از ظرفیت گرمایی متوسط استفاده می‌کنیم

$$C_p = 4 / 18 J/(g)(^\circ C) \quad Cp = 1 / 18 J/(g)(^\circ C)$$
$$\Delta \hat{H} = \Delta \hat{H}_{f(^\circ C)} + \Delta \hat{H}_{(-100)} + \Delta \hat{H}_{V(100)} + \Delta \hat{H}_{V(100-200)}$$
$$= 334 + 4 / 18 (100) + 2255 + 1 / 18 (20) = 3045 J/g$$

موازنۀ انرژی

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{تجمیع انرژی} \\ \text{در داخل} \\ \text{سیستم} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{انتقال انرژی} \\ \text{به سیستم از} \\ \text{طریق مرز} \\ \text{سیستم} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{انتقال انرژی به} \\ \text{خارج از طریق} \\ \text{مرز سیستم} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \text{تولید انرژی} \\ \text{در داخل} \\ \text{سیستم} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{صرف انرژی} \\ \text{در داخل} \\ \text{سیستم} \end{array} \right\}$$



موازنۀ انرژی در سیستم بسته:

- انرژی داخلی
- انرژی جنبشی
- انرژی پتانسیل
- کل انرژی سیستم

$$\begin{aligned} &= \Delta U = U_{t_2} - U_{t_1} \\ &= \Delta K = K_2 - K_1 \\ &= \Delta P = P_2 - P_1 \\ &= \Delta E = E_2 - E_1 \end{aligned}$$

محیط

کار انجام شده توسط سیستم $\xrightarrow{\hspace{1cm}} W$

$\xleftarrow{\hspace{1cm}} \text{گرمای جذب شده توسط سیستم } Q$

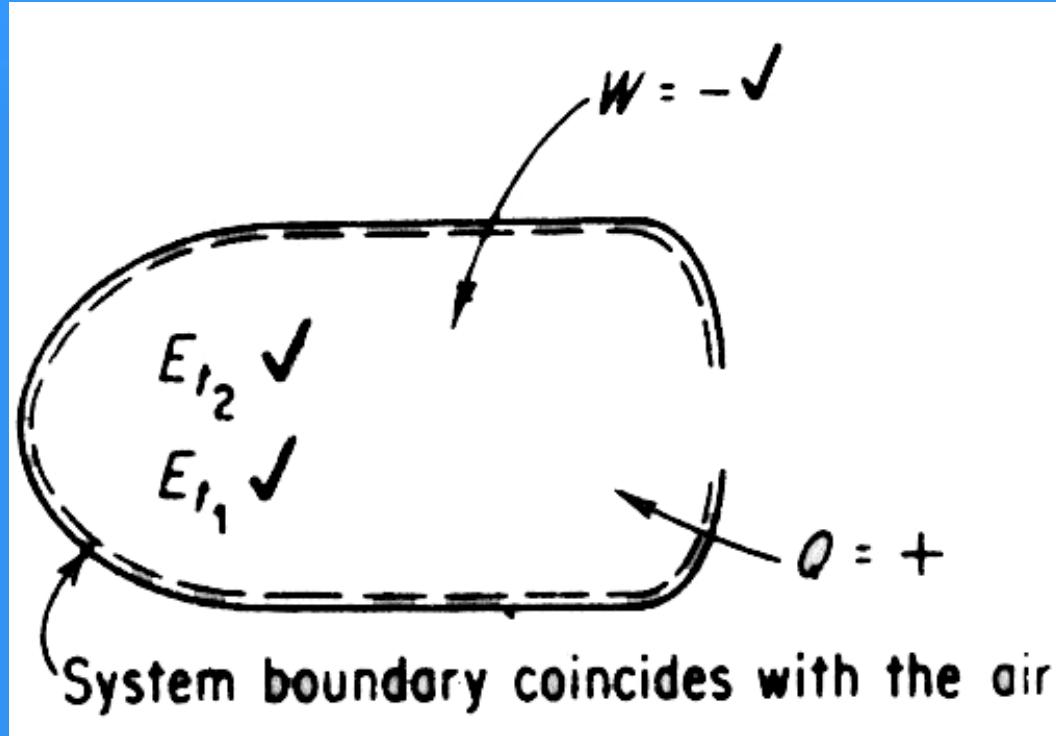
مثال : کاربرد موزانه انرژی

تغییرات ناگهانی در گرمای ورودی به سفینه‌های فضایی تهدیدی برای سرنشیتان و دستگاههای علمی موجود در سفینه‌ها است.

هنگام عبور سفینه از سایه زمین، شار گرمایی دریافتی 10% مقداری است که در نور مستقیم خورشید به دست می‌آید. سفینه‌ای از سایه عبور کرده و شروع به گرم شدن می‌نماید. هوای موجود در سفینه را به عنوان سیستم در نظر بگیرید مقدار هوای 4 کیلوگرم در دمای 20°C فرض می‌شود. (انرژی داخلی هوا نسبت به سطح مبنا $8 \times 10^5 \text{ J/kg}$ است) انرژی تشعشعی خورشید به صورت گرما به هوا منتقل می‌شود تا انرژی داخلی آن به $4 \times 10^5 \text{ J/kg}$ برسد.

الف) چه مقدار گرما به هوا منتقل می‌شود؟

ب) اگر در همان فاصله زمانی، ماشینی در داخل سفینه مقداری کار برابر $11 \times 10^6 \text{ J}$ روی هوا انجام دهد چه تغییری در پاسخ (الف) حاصل خواهد شد؟



سیستم بسته است.

الف) $W = 0$

$Q=?$ مینا = یک کیلوگرم از هوا

$$\Delta \hat{U} = \hat{U}_f - \hat{U}_i = \hat{Q} - \hat{W} \Rightarrow \Delta \hat{U} = \hat{Q} - .$$

$$Q = (1 / 0.4 \times 10^5 - 8 / 0 \times 10^5) = 2 / 0.4 \times 10^5 J/kg$$

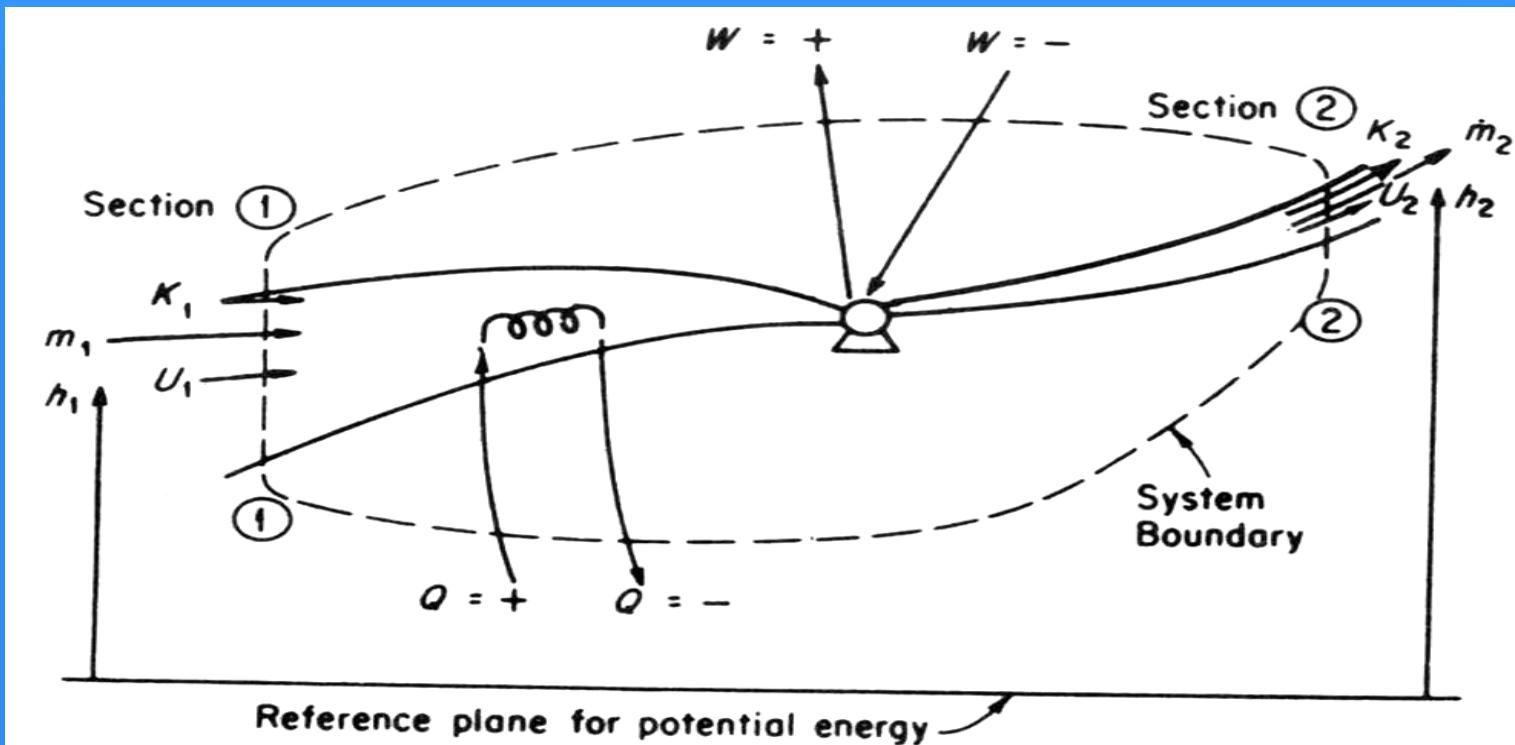
علامت + نشان می‌دهد که گرمای وارد سیستم می‌شود.

$$Q = \frac{+4/2 \times 10^5 J}{kg} \quad | \quad -0/4 Kg = 16/8 \times 10^5 J = \Delta U$$

ب) کار انجام شده توسط سیستم: $W = -110/0 \times 10^5 J$

$$\begin{aligned}\Delta \hat{U} &= \hat{Q} - \hat{W} \quad 8/16 \times 10^5 = \hat{Q} - (-0/11 \times 10^5) \\ \hat{Q} &= 8/0.5 \times 10^5 J\end{aligned}$$

موازنۀ انرژی در سیستمهای باز (بدون واکنش شیمیایی)



جمع

$$m_1(\hat{U} + \hat{K} + \hat{P})_1 - m_1(\hat{U} + \hat{K} + \hat{P})_1 \\ = (\hat{U}_1 + \hat{K}_1 + \hat{P}_1)m_1 - (\hat{U}_1 + \hat{K}_1 + \hat{P}_1)m_1 + Q - W + P_1\hat{V}_1m_1 - P_1\hat{V}_1m_1$$

ورود انرژی به سیستم
با جریان جرمی

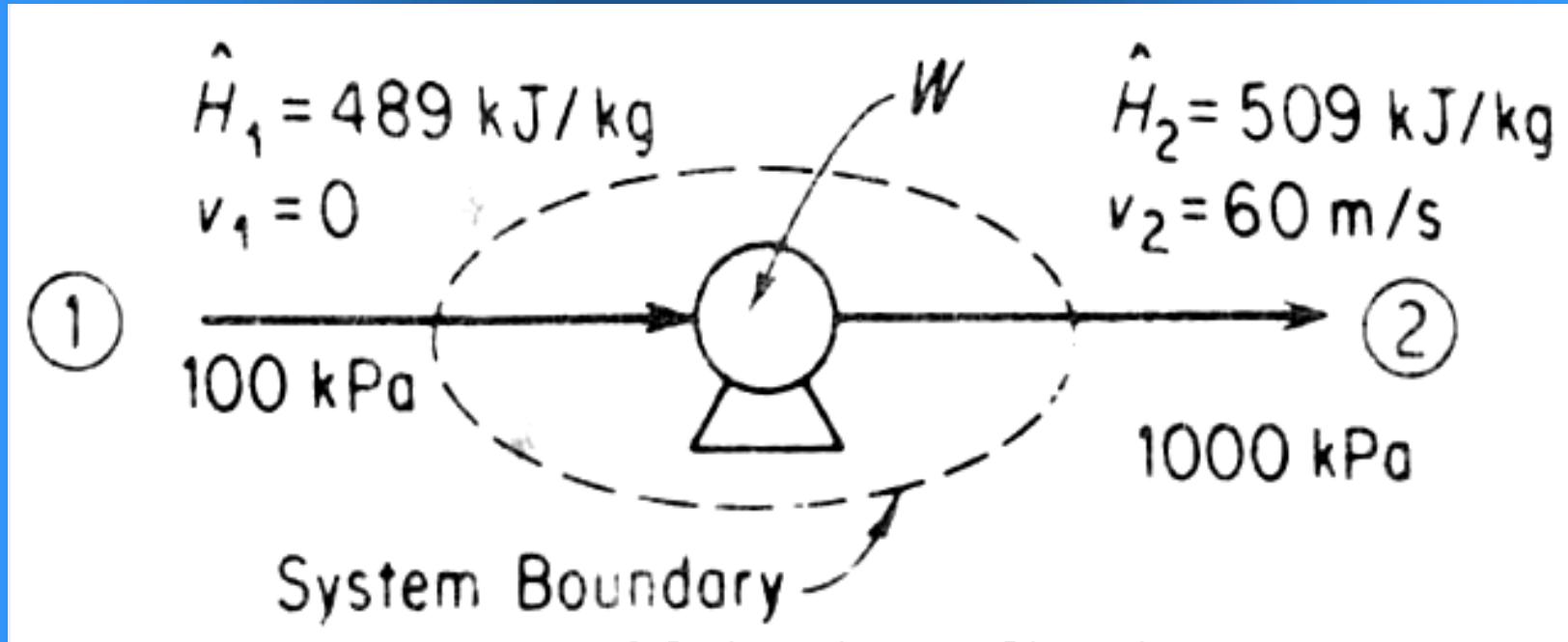
انتقال انرژی به خارج
با جریان جرمی

انتقال انرژی با کار

www.ShimiPedia.ir

کاربرد موازنۀ انرژی

هوای را متراکم کرده و از 100 kPa ، 100 K ، 498 kJ/kg (آنالپی) به 250 K ، 100 kPa (آنالپی) 278 K (آنالپی) می‌رسانیم. سرعت هوای خروجی از کمپرسور 60 m/s است. توان لازم کمپرسور را بر حسب kW در صورتی که بار آن 100 kg/hr هوا باشد به دست آورید.



$$\Delta E = -\Delta [(\hat{H} + \hat{K} + \hat{P})m] + Q - W$$

تجمع هوا در کمپرسور وجود ندارد $\Delta E = 0$
 با استفاده از سرعتها قابل محاسبه اند
 $m_1 = m_2$
 $Q = 0$
 تبادل گرمای وجود ندارد
 مبنایک کیلوگرم هوا

را می توان به طور مستقیم محاسبه کرد:

$$\Delta(\hat{H} + \hat{K}) = -W$$

$$\Delta \hat{K} = \frac{1}{2} (\Delta V)^2 = \frac{1}{2}$$

$(\gamma \cdot m)^2$	1 kJ
S^2	$1 \text{ ... } \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2}$

$$= 10 / 1 \text{ kJ/kg}$$

$$(20 + 1/80) = -\hat{W} \Rightarrow \hat{W} = -21/\Delta kJ/kg$$

(علامت منفی نشان می‌دهد که کار روی هوا انجام گرفته است).

برای تبدیل کار به توان:

مبنای 1000 کیلوگرم در ساعت هوا

$$kW = \frac{\text{kJ}/21}{\text{kg}} \times \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \times \frac{\text{kW}}{\text{kJ/s}} \times \frac{\text{h}}{\text{s}^3600} \quad kW = 61/0$$

کاربرد موازنۀ انرژی

آب را بوسیله تلمبه از چاهی به عمق ۱۵ فوت با شدت 200 gal/hr خارج کرده و وارد یک مخزن ذخیره سرباز می‌نمایند به طوری که سطح آب در مخزن، 165 فوت بالاتر از سطح زمین قرار می‌گیرد. در زمستان با گرم کن 30000 Btu/hr گرما به آب منتقل می‌کنند. گرما با شدت 25000 Btu/hr از کل سیستم خارج می‌شود. دمای آب در چاه 35°F است. دمای آب در ورود به مخزن چند است. از تلمبه به قدرت 2 اسب بخار استفاده می‌شود. 55% توان مصرفی صرف تلمبه کردن شده و باقیمانده به صورت گرما وارد محیط می‌شود.

تحول جاری است

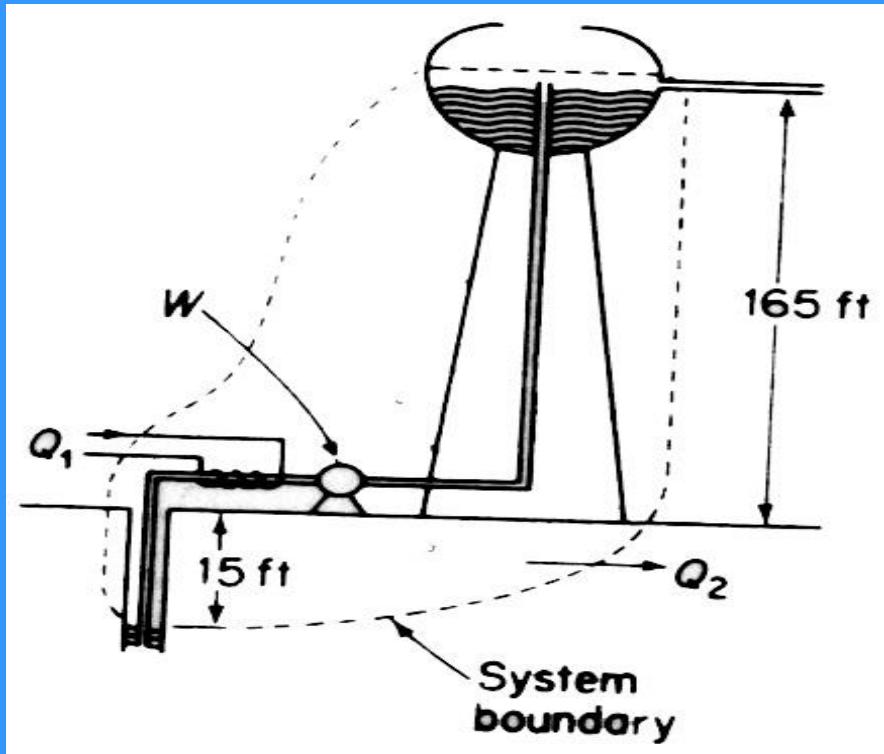
ΔP معلوم

Q معلوم

W معلوم

دمايی مخزن ثابت

تجمع جرم و انرژی وجود ندارد



$$\Delta E + \Delta [(\hat{H} + \hat{K} + \hat{P})m] = Q - W$$

سرعت جریان آب در چاه و مخزن صفر است $\Delta K = 0$

مبنای یک ساعت کار سیستم

$$\frac{200 \text{ gal}}{\text{hr}} \times \frac{32/8 \text{ lb}}{1 \text{ gal}} = 1666 \text{ lb}_m/\text{hr}$$

مقدار کل آب تلمبه شده

$$lb_f \cdot ft/\text{hr} = \frac{1666 \text{ lb}_m}{\text{hr}} \times \frac{2/32 \text{ ft}}{s^2} \times \frac{18 \cdot ft}{\frac{32/8 \text{ lb}_m \cdot ft}{s \cdot lb_f}}$$

$$\Delta P = m \Delta P = mg \Delta h =$$

$$\text{نیز} \dots \frac{(lb_f)(ft)/hr}{\gamma \gamma \gamma (ft)(lb_f)/Btu} = 386 Btu/hr$$

انرژی اضافه شده به سیستم $Q = 3000 - 2500 = 500 \text{ Btu/hr}$

$W = -2$ کار انجام شده	hp	$55/0$	$33000(lb_f)(ft)$	$1 \cdot min$	Btu
			$(min)(hp)$	hr	$\gamma \gamma \gamma (lbf)(ft)$

$= -2800 \text{ Btu/hr}$

$$\Delta H + 386 = 5000 - (-2800)$$

$$\Delta H = 7414 \text{ Btu/hr} \times \frac{1}{1696 \text{ lb/hr}} = 45 \text{ Btu/lb}$$

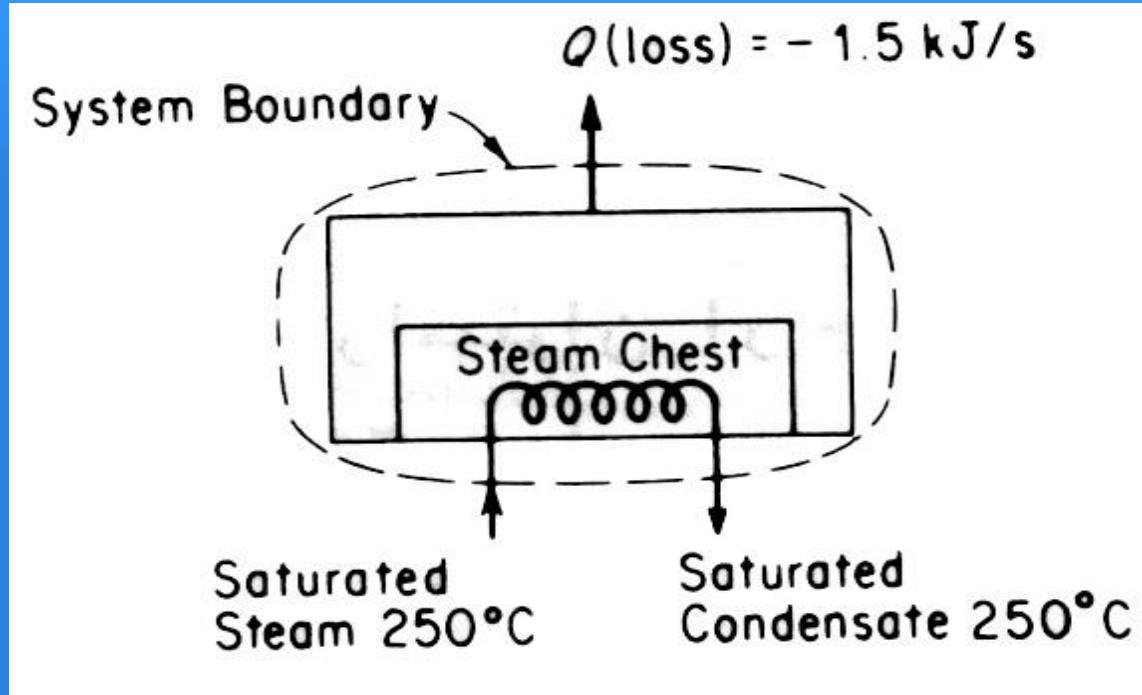
$$\Delta H = \int_{T_i}^{T_f} Cp dT \quad Cp = \text{قيمة} = 1/\cdot \frac{\text{Btu}}{(\text{lb})(^{\circ}\text{F})}$$

$$\Delta \hat{H} = Cp \Delta T = (1/\cdot) \Delta T \Rightarrow \Delta T = 45^{\circ}\text{F}$$

$$T_f = 39/5^{\circ}\text{F}$$

مثال: موازنۀ انرژی

بخار آب اشباع در 25°C وارد محفظه جداگانه بخار یک واکنشگاه ناپیوسته شده و مایع می‌شود. در واکنشگاه 23000 kJ/kg گرمای جذب می‌شود. گرمای خروجی از محفظه بخار به بیرون $5/\text{kJ/s}$ است. واکنش دهنده‌ها در 20°C وارد و تا 100°C ۱۰۰ گرم می‌شوند. ظرفیت گرمایی مواد $C_p = \frac{26}{3} \text{ J/(gK)}$ و ظرفیت واکنشگاه 150 kg است. بخار لازم برای هر کیلوگرم ماده را حساب کنید. مدت اقامت مواد در واکنشگاه یک ساعت است.



مواد باقی می‌مانند (تجمیع ماده داریم)

بخار جریان دارد (تجمیع انرژی نداریم)

$$\Delta E + \Delta [(\hat{H} + \hat{K} + \hat{P})m] = Q - W$$

$$(\hat{U}_2 - \hat{U}_1) + \Delta \hat{H}_{\text{بخار}} = Q$$

$$[(\hat{H}_2 - \hat{H}_1) - (P_2 \hat{V}_2 - P_1 \hat{V}_1)]_{\text{مواد}} m + \Delta \hat{H}_{\text{بخار}} = Q$$

$$[\hat{H}_2 - \hat{H}_1]_{\text{مواد}} m + \Delta \hat{H}_{\text{بخار}} = Q$$

مبنا = یک ساعت کار سیستم

گرمای تلف شده در محیط : $Q = -50/1 \text{ kJ/s}$

25°C $\Delta H_v = 170.1 \text{ kJ/kg}$ بخار

$$\frac{-50/1 \text{ kJ}}{\text{s}} \times \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} = -5400 \text{ kJ/hr}$$

تغییر آنتالپی واحد جرم بخار از جدول:

واکنش دهندگان

$$\Delta H_v = m \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = 0$$

مبنا آنتالپی صفر برای مواد 20°C :

فراورده‌ها

$$\Delta H_v = m \int_{T_1}^{T_2} C_p dT = mC_p(100 - 20)$$

آنتالپی واکنش دهندگان
و فراورده‌ها

$$\frac{100\text{Kg}}{\text{g}(\text{°C})} \quad \frac{26/2\text{J}}{1\text{kg}} \quad \frac{100\text{g}}{(100-20)} = 39120\text{kJ}$$

$$\Delta H_{\text{مواد}} = 39120\text{kJ}$$

گرمای جذب شده توسط مواد (تلف شده)

$$\frac{-2300\text{kJ}}{\text{kg}} \quad \frac{100\text{kg}}{} = -23000\text{kJ}$$

$$39120 + \Delta H_{\text{بخار}} = -23000 - 5400$$

$$\Delta H_{\text{بخار}} = 38920$$

$$\left(170 \frac{1}{\text{kJ}} \right) S_{kg} = 38920 \text{kJ} \quad S = 229\text{kg}$$

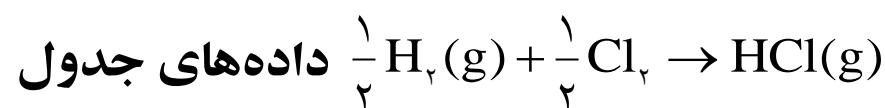
گرمای استاندارد تشکیل

$$\Delta \hat{H}_A = \Delta \hat{H}_{fA}^\circ + \int_{T_{ref}}^T Cp A dT$$

$$\Delta H_{\text{مخلوط}} = \sum n_i \Delta \hat{H}_{fA}^\circ + \sum \int_{T_{ref}}^T n_i C p_i dT$$

مثال: محاسبه گرمای تشکیل با استفاده از داده‌های مبدأ

گرمای تشکیل $HCl(g)$ چند است؟



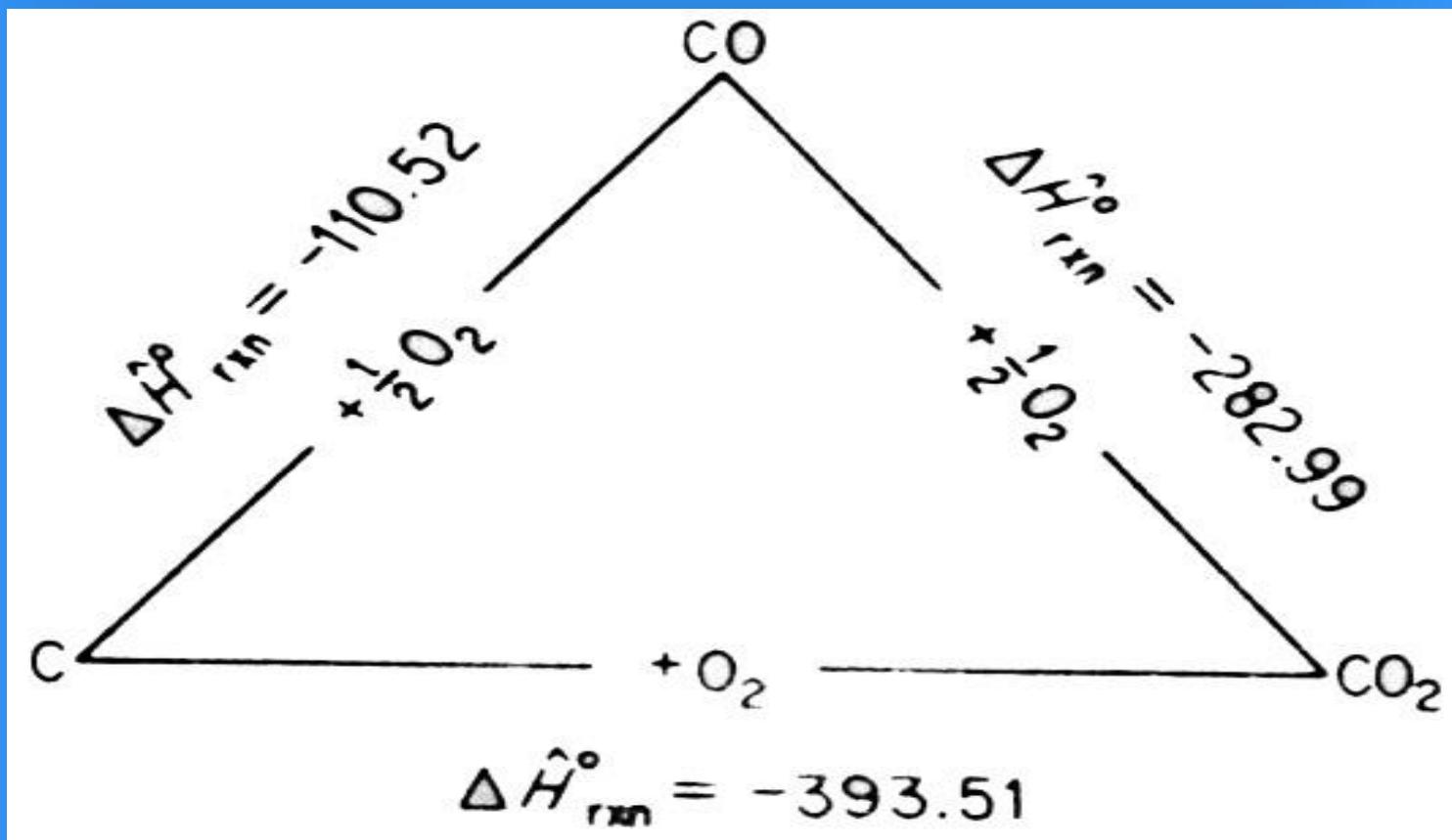
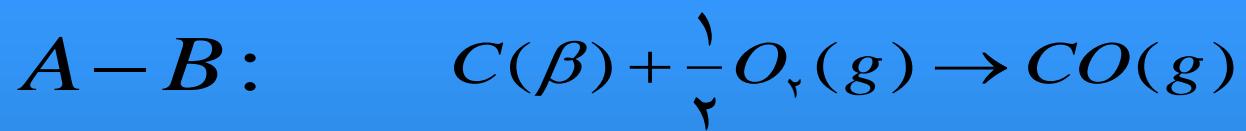
$$\Delta H_f^\circ \left(\frac{J}{gmol} \right) \quad . \quad . \quad -92312$$

$$(-92312) - \left(\frac{1}{2}(.) + -\frac{1}{2}(.) \right) = -92312 \frac{J}{gmol}$$

مثال : تعیین گرمای تشکیل Co با استفاده از نتایج تجربی (واکنشهای A و B)

CO از مبنای 1 g mol

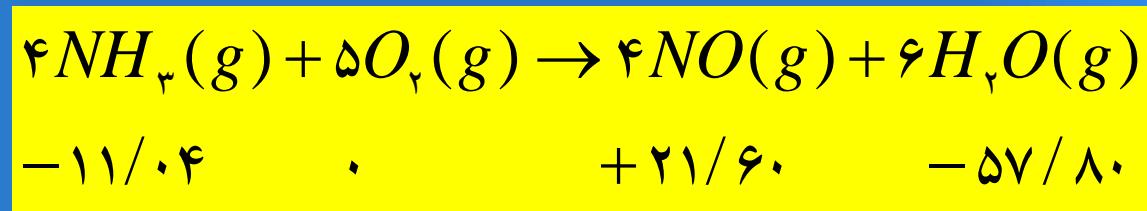
		ΔH_f° (تجربی)
A :	$C(\beta) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$	$-393/51 \frac{\text{kJ}}{\text{g mol}}$
B :	$C(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g)$	$-282/99 \frac{\text{kJ}}{\text{g mol}}$
$A - B :$	$\Delta H_{A-B}^\circ = (-393/51) - (-282/99) = \Delta H_f^\circ = -110/52 \frac{\text{kJ}}{\text{g mol}}$	



مثال: محاسبه گرمای واکنش با استفاده از گرمای استاندارد تشکیل

مقدار واکنش $\Delta\hat{H}^\circ$ را برای ۴ گمول آمونیاک به دست آورید.

$$\begin{aligned}\Delta H_f^\circ & \\ 25^\circ_c, latm & \\ kcal/gmol &\end{aligned}$$



مبنای ۴ گمول آمونیاک

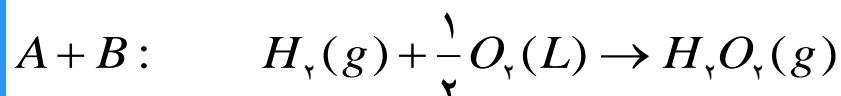
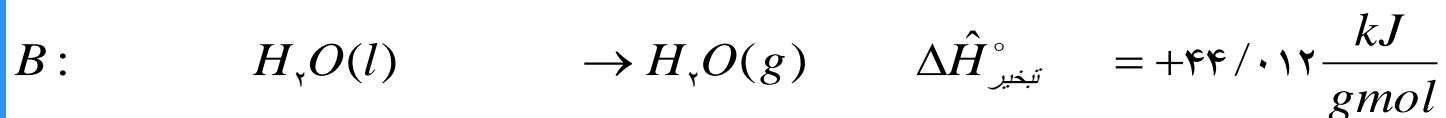
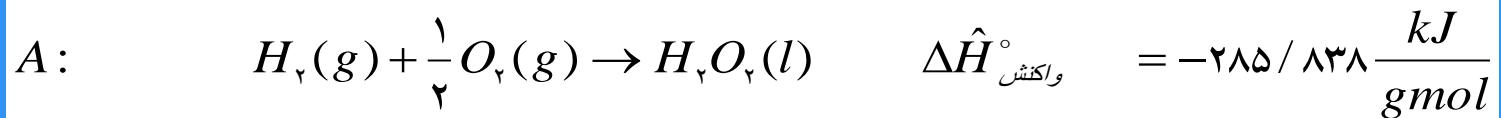
$$\Delta H_{\text{واکنش}}^\circ = [4(21/60) + 6(-57/80)] - [5(0) + 4(-11/04)] = -216/24 \frac{\text{kcal}}{4\text{gmolNH}_3}$$

$$\Delta H_{\text{واکنش}}^\circ = -54/\cdot \frac{\text{kcal}}{\text{gmolNH}_3}$$

مثال: گرمای تشکیل شامل تغییر فاز

اگر گرمای تشکیل استاندارد (l) H_2O برابر 285 kJ/gmol - 838 / است و گرمای تبخیر آب در 25°C و یک اتمسفر 44 kJ/gmol - 12 / باشد، گرمای استاندارد تشکیل $H_2O(g)$ چند است؟

مینا: H_2O از ۱ g mol



$$\Delta H_{f[H_2O(g)]}^\circ = -285 / 838 + 44 / 12 = -241 / 826 \frac{\text{kJ}}{\text{gmol}}$$

مثال: [گرمای احتراق] ارزش حرارتی ذغالسنگ

به کارگیری ذغالسنگ عبارت است از تبدیل ذغال جامد به گاز است. ارزش حرارتی ذغالسنگ ها متفاوت است. ذغالسنگ زیر به صورتی که دریافت شده دارای ارزش حرارتی 29770 kJ/kg بوده است. با فرض اینکه ارزش حرارتی ناخالص ذغالسنگ مقدار فوق باشد،

ارزش حرارتی خالص آن چند است؟

ترکیب	درصد
C	0/71
H ₂	6/5
N ₂	6/1
گوگرد خالص	7/2
خاکستر	1/6
O ₂	0/13
	0/100

مثلا: ۱۰۰ کیلوگرم ذغالسنگ دریافتی

$$\frac{6/5 \text{ kgH}_2}{0.2/2 \text{ kgH}_2} = 5.0 \text{ kgH}_2$$

$$\frac{1 \text{ Kmol}}{1 \text{ KmolH}_2} = 1 \text{ KmolH}_2$$

$$\frac{1 \text{ kgmolH}_2\text{O}}{1 \text{ KmolH}_2} = 18 \text{ kgH}_2\text{O}$$

$$\frac{18 \text{ kgH}_2\text{O}}{1 \text{ kgmolH}_2\text{O}} = 0.0 \text{ kgH}_2\text{O}$$

$$\frac{0.0 \text{ kgmolH}_2\text{O}}{1.0 \text{ kgH}_2\text{O}} = 1185 \text{ kJ/kg}$$

$$\frac{2370 \text{ kJ}}{\text{تبخیرH}_2\text{O}} = 2370 \text{ kJ}$$

در نتیجه ارزش حرارتی خالص ذغالستگ:

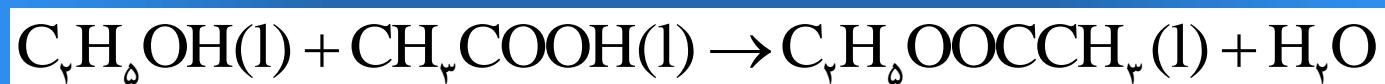
$$29770 - 1185 = 28595 \text{ kJ/kg}$$

توجه ۲۴۴۰ = گرمای نهان تبخیر آب

(تبدیل ارزش حرارتی در حجم ثابت به فشار ثابت) ۲۴۴۰ - ۷۰ = ۲۳۷۰

مثال : محاسبه گرمای واکنش با استفاده از گرمای احتراق

گرمای واکنش زیر را با استفاده از گرمای احتراق بدست آورید.



مبنا: یک گرم مول $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

داده‌های جدولی	اتیل الکل	اسید	استر	آب
$\Delta H_c^\circ (\text{kJ/gmol})$	-18/759	-14/484	-94/1251	.

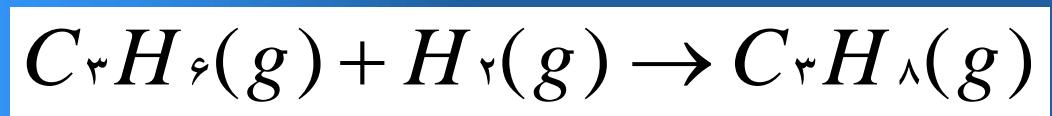
$$\Delta H_c^\circ_{\text{واکنش}} = \sum n \Delta H_c^\circ_{\text{مواد اولیه}} - \sum n \Delta H_c^\circ_{\text{محصولات}}$$

$$= [(-759/18) + (-484/14)] - [(-1251/94) + (0)]$$

$$= 8/62 \text{ kJ/gmol}$$

مثال : ترکیب گرمایی واکنش

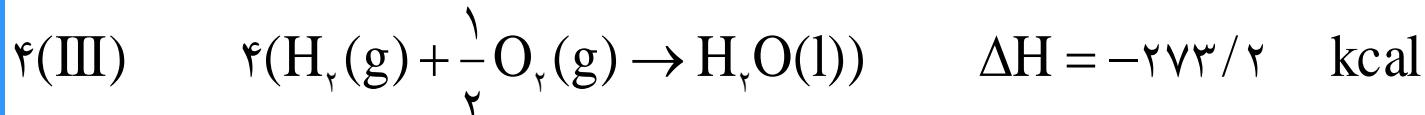
گرمای واکنش زیر را از طریق تجربی در 25°C و حالت استاندارد ترموشیمیایی به دست آورده‌اند.



- ۶/۲۹ : $\Delta H_{reaction}^o(kJ/gmol)$

گرمای استاندارد تشکیل پروپیلن چند است؟ از ترکیب گرمایی واکنشهای زیر استفاده کنید.

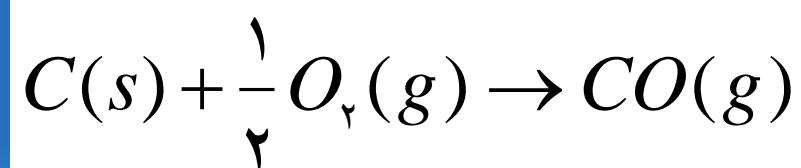
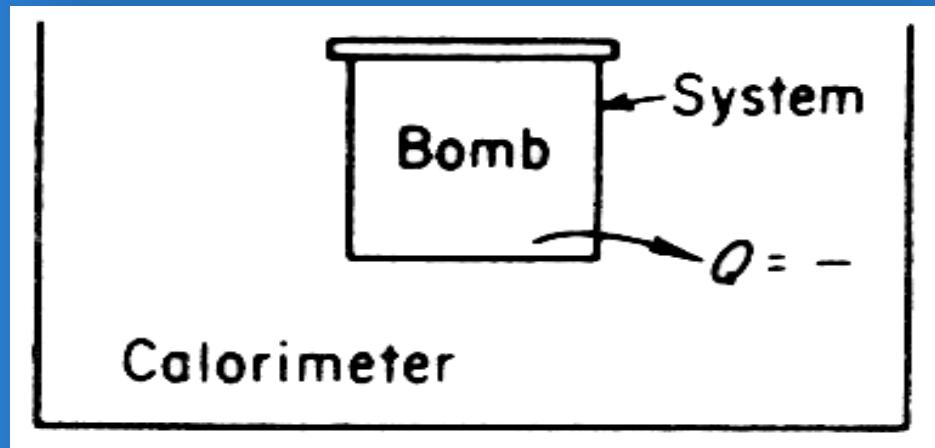
مبنای: 25°C , 1atm , $\text{C}(\beta)$, $\text{H}_2(g)$ گرافیت و $\text{H}_2(g)$ گرمای تشکیل صفر دارند.



$$\Delta H_{\text{واکنش}}^\circ = 4/6 \text{ kcal}$$

مثال: گرمای واکنش در فشار ثابت و در حجم ثابت

تفاوت بین گرمای واکنش در فشار و در حجم ثابت را برای واکنش زیر در 250°C به دست آورید.



$$Q_p - Q_v = \Delta(pv) = \Delta nRT$$

مبنایک گرم مول (C(s)

$$Q_p - Q_v = \frac{1}{2}RT = \cdot / 5 \left[(8/31 J/gmol(K)) \right] (298K) = 1238 J/gmol$$

هرگاه خروجی Q_v از کالریمتر ۱۱۱۷۵۹J اندازه‌گیری شده باشد

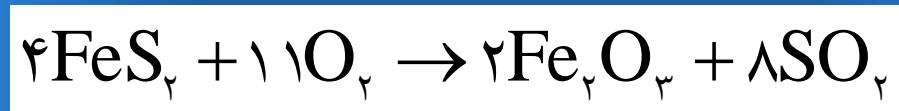
$$Q_p = Q_v + 1238 = -111759 + 1238 = -110521 J$$

$$\text{گرمای واکنش در حجم ثابت} = \frac{Q_v}{n} = \frac{-111759}{1} \frac{J}{gmolC(s)}$$

$$\Delta \hat{H}_{\text{واکنش}}(p) = \frac{Q_p}{n} = \frac{-110521}{1} \frac{J}{gmolC(s)}$$

مثال: واکنش‌های کامل نشده

یک نوع کانی پیریت آن متشکل از FeS_2 ۸۵٪ و ۱۵٪ ناخالصی (مواد بی‌اثر سنگ و غیره) را با ۲۰۰٪ هوای اضافی به مبنای واکنش زیر بر شته می‌کنند تا SO_2 حاصل شود.



تمام ناخالصی‌ها به انصمام Fe_2O_3 در پسماند جامد (خاکستر) باقی می‌مانند که حاوی FeS_2 ۴٪ است. گرمای استاندارد واکنش را برای هر کیلوگرم از کانی به دست آورید.

مبنای ۱۰۰ kg از کانی

اجزاء کانی	kgmol	درصد	وزن مولی
------------	-------	------	----------

FeS_2	۷۰.۸	۱۲۰	۸۵
---------	------	-----	----

مواد بی‌اثر

کل	۱۰۰
----	-----

www.ShimiPedia.ir

$$\mu_{\text{O}_2} = \frac{20.8/\cdot \text{kgmol FeS}_2}{\left| \frac{11 \text{ kgmol O}_2}{20.8/\cdot \text{kgmol FeS}_2} \right|} = 95/1 \quad \text{Kg mol O}_2$$

$$\text{ورودی O}_2 = (1+2)(95/1) = 184/5 \quad \text{kgmol O}_2$$

ورودی $N_r = 5 / 84 \left(\frac{79}{21} \right) = 22 / \cdot \text{kgmol N}_r$

محترق نشده اجزاء خاکستر kg

FeS ₂	x
موادبی اثر	10

$$Fe_3O_4 : \frac{(85-x)kgFeS_2}{120 \cdot \frac{kgFeS_2}{kgmolFeS_2}} \text{ سوخته}$$

۲mol Fe ₂ O ₃	۱۶·kgFe ₂ O ₃
۴mol FeS ₂	kgmolFe ₂ O ₃

$$= \frac{2}{4} (85 - x)$$

$$\therefore \frac{x}{x + 15 + \frac{2}{3}(85 - x)} = \frac{2}{4} \Rightarrow \frac{2}{3}(85 - x) = 54 / 7 kgFe_3O_4 \Rightarrow x = 2 / 9 kgFeS_2$$

	وزن مولی kg	درصد اجزاء کافی	kgmol
FeS ₂	91/2	120	0.242/0
Fe ₂ O ₃	7/54	160	342/0
موادبی اثر	15		

مقداری از FeS₂ که اکسید می شود

$$\frac{(85/0 - 91/2) \text{ kg FeS}_2}{120 \text{ kg FeS}_2} = 0.84 / \text{kg mol FeS}_2$$

فاشی از اکسایش FeS_2

$$\frac{64/0 \text{ kg FeS}_2}{\epsilon \text{FeS}_2} = 37/1 \text{ kg mol SO}_2 \quad \text{تولید شده}$$

$$\frac{64/0 \text{ kg FeS}_2}{\epsilon \text{FeS}_2} = 88/1 \text{ kg mol O}_2 \quad \text{صرف شده}$$

اجزاء	$\text{FeS}_2(\text{c})$	$\text{O}_2(\text{g})$	$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{c})$	$\text{SO}_2(\text{g})$
ΔH_f°	-520/42	.	-500/196	-960/20 (kcal/mol)

$$\Delta H_f^\circ = [(1/37)(-70/960) + (1/342)(-196/50) - (1/684)(-42/520)] \times 1000 \\ = -135292 \text{ kcal}$$

$$\Delta H_f^\circ = -135292 \text{ kcal/kg}$$

مثال: محاسبه گرمایی واکنش در دمائی متفاوت با شرایط استاندارد

مخترعی تصور می کند کاتالیزور جدیدی ابداع کرده است که واکنش ذیر را با میزان تبدیل ۱۰۰٪ پیش می برد.

گازها در 500°C وارد و در همین دما خارج می شوند. مقدار گرمایی که مبادله می شود چند است؟

مبنایک گرم مول $\text{CO}_2(\text{g})$

دادهای جدولی	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$		
$\Delta H_f^{\circ} (\text{J/gmol})$	-۳۹۳۵۱۳	۰	-۲۴۱۸۲۷

$$\begin{aligned}\Delta H_f^{\circ} &= [(-74848) + 2(-241827)] - [4(0) + (-393513)] \\ &= -164989 (\text{J/gmol CO}_2)\end{aligned}$$

$$-\Delta(Cp_{(CO_2)}) = 6/393 + 10/100 \times 10^{-3}T - 3/405 \times 10^{-6}T^2$$

$$-\Delta(Cp_{(H_2)}) = 6/424 + \dots$$

$$-\Delta(Cp_{(H_2O)}) = 6/970 + \dots$$

$$\Delta(Cp_{(CH_4)}) = 3/204 + \dots$$

$$\Delta Cp = -14/945 + 11/0.82 \times 10^{-3}T - 1/729 \times 10^{-6}T^2$$

$$\Delta\alpha$$

$$\Delta\beta$$

$$\Delta\gamma$$

$$\Delta H_{\text{واکنش}} = \Delta H_0 + \Delta\alpha T + \frac{\Delta\beta}{2} T^2 + \frac{\Delta\gamma}{3} T^3$$

ابتدا واکش $\Delta H(298)$ و $\Delta\alpha$ و $\Delta\beta$ و $\Delta\gamma$ قرار می‌دهیم و ΔH_0 را می‌یابیم و سپس

واکنش ΔH را پیدا می‌کنیم

$$-16989 = \Delta H_c + 4/184(-14/954)(298) + 4/184 \left(\frac{11/0.8 \times 10^{-3}}{2} \right) (298)^3$$

$$+ 4/184 \left(\frac{-1/729 \times 10^{-6}}{2} \right) (298)^6 \quad \Delta H_o = -14835 \cdot (j/gmol)$$

$$\Delta H_{(vw)} = \Delta H_c + \Delta \alpha T + \frac{\Delta \beta}{2} T^2 + \frac{\Delta \beta}{3} T^3$$

$$-14835 \cdot + (4/184)(-14/954)(773)$$

$$+ \frac{(4/184)(11/0.82)10^{-3}}{2} (773)^2 + (4/184) \left(\frac{-1/729 \times 10^{-6}}{2} \right) (773)^6$$

$$= -14835 \cdot - 48365 + 13853 - 1671 - 1114 = -18397 \cdot \frac{J}{g mol Co}$$

محاسبه گرمای واکنش در دمایی متفاوت با شرایط استاندارد

$$\Delta H_{\text{واکنش}} = -164989 \text{ kJ/kgmol}$$

مثال قبل: جدول ΔH بر حسب kJ/kgmol نسبت به 298 K

دما مبنی: ${}^{\circ}\text{C}$

${}^{\circ}\text{C}$ دما	CO_2	H_2	H_2O	CH_4
25	912	718	837	879
500	22342	14640	17799	23974

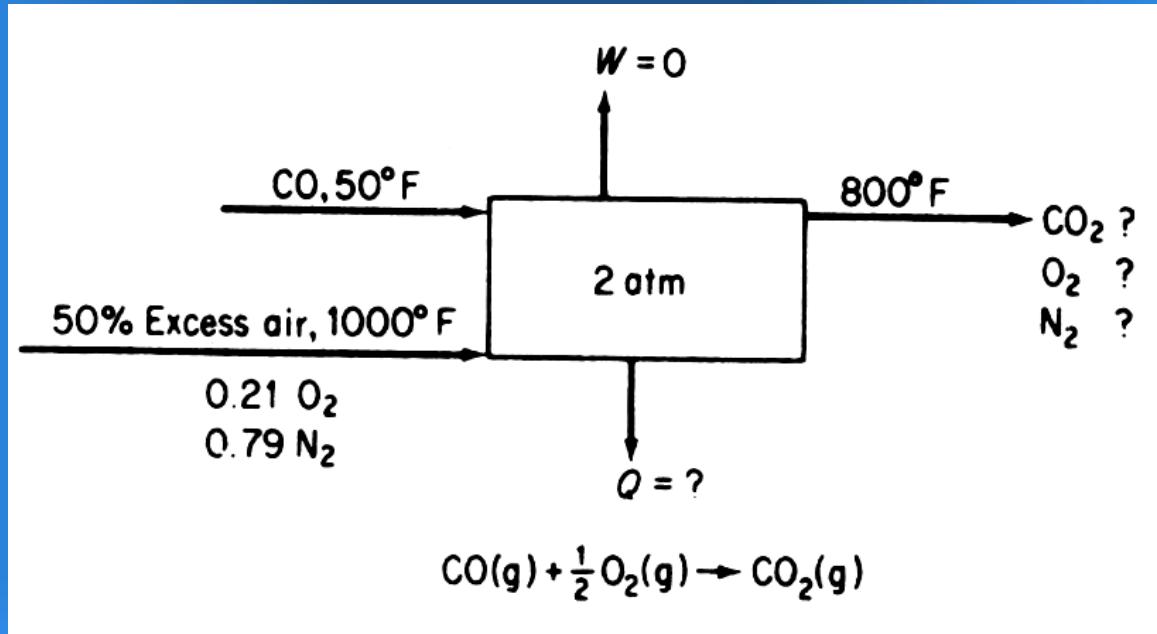
$$\Delta H_{\text{واکنش}} = \Delta H_{273\text{K}} + \Delta H_{\text{فرآوردها}} - \Delta H_{\text{واکنش دهنده ها}}$$

$$= -164989 + [(1)(23974 - 879) + (2)(17799 - 837)] \\ - [(1)(22342 - 912) + (2)(14640 - 718)]$$

$$= -185.88 \frac{\text{kJ}}{\text{kgmolCO}_2}$$

مثال : کاربرد مواده انرژی در تحول همراه با واکنش

مونوکسید کربن را در 50°C را با 50% هوای اضافی در دمای 1000°F و در فشار 2 atm به طور کامل می‌سوزانند. فراوردهای احتراق در دمای 800°F از کوره خارج می‌شوند. مطلوب است گرمای خروجی از لحظه احتراق بر حسب Btu به ازای هر پاوند CO ورودی.



مینا یک پاؤند مول CO

lb mol CO	۵/۰ lbmol O ₂ لازم	۵/۱ lbmol O ₂ مصرف شده	۱ lb mol هوا	= ۵۷/۳ lbmol هوا
	lb mol CO	۰/۱ lbmol O ₂ لازم	۲۱/۰ lbmol O ₂	

مقدار O₂ ترکیب نشده خروجی:

$$21/0 \times (57/3) - 5/0 = 25/0 \text{ lb mol O}_2$$

مقدار N₂ ترکیب نشده خروجی:

$$79/0 \times (57/3) = 82/2 \text{ lb mol N}_2$$

مقدار CO₂ خروجی:

$$1 \text{ lbmol CO}_2$$

$$\Delta E + \Delta[(\hat{H} + \hat{P} + \hat{K})m] = Q - W \Rightarrow \Delta H = Q$$

(°F) دما	CO	هوای	O ₂	N ₂	CO ₂
۰	۱۲۵	—	—	—	—
۷۷	۳/۳۱۳	۷/۳۱۲	۱/۳۱۵	۲/۳۱۳	۲/۳۹۲
۸۰	—	—	۵۶۹۰	۵۴۴۳	۸۰۲۶
۱۰۰	—	۶۹۸۴	—	—	—

$$Q = \Delta H_{\text{هندسه ها}} - \Delta H_{\text{فراورده ها}} + \Delta H_{77^\circ F} - \Delta H_{80^\circ F}$$

$$\Delta H_{\text{فراورده ها}} = \Delta H_{80^\circ F} - \Delta H_{77^\circ F}$$

$$= (1)(8026 - 2/392) + (82/2)(5443 - 2/313) + (25/0)(5690 - 1/315) = 23447 \text{ Btu/lbmol}$$

$$\Delta H_{\text{واکنش}}^{\circ F} = -121745 \text{ Btu/lbmol}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{ها}} &= \Delta H_{100^\circ F} - \Delta H_{77^\circ F} + \Delta H_{50^\circ F} - \Delta H_{77^\circ F} \\ &= (57/3)(6984 - 7/312) + (1)(2/125 - 2/313) = 33629 \text{ Btu/lbmol}\end{aligned}$$

$$Q = -121745 + 33629 = -121127 \text{ Btu/lbmol}$$

$$\frac{-121127}{1 \text{ lb mol CO}} \left| \frac{1 \text{ lb mol CO}}{28 \text{ lb CO}} \right. = -4300 \text{ Btu/lb CO}$$

فصل ۵

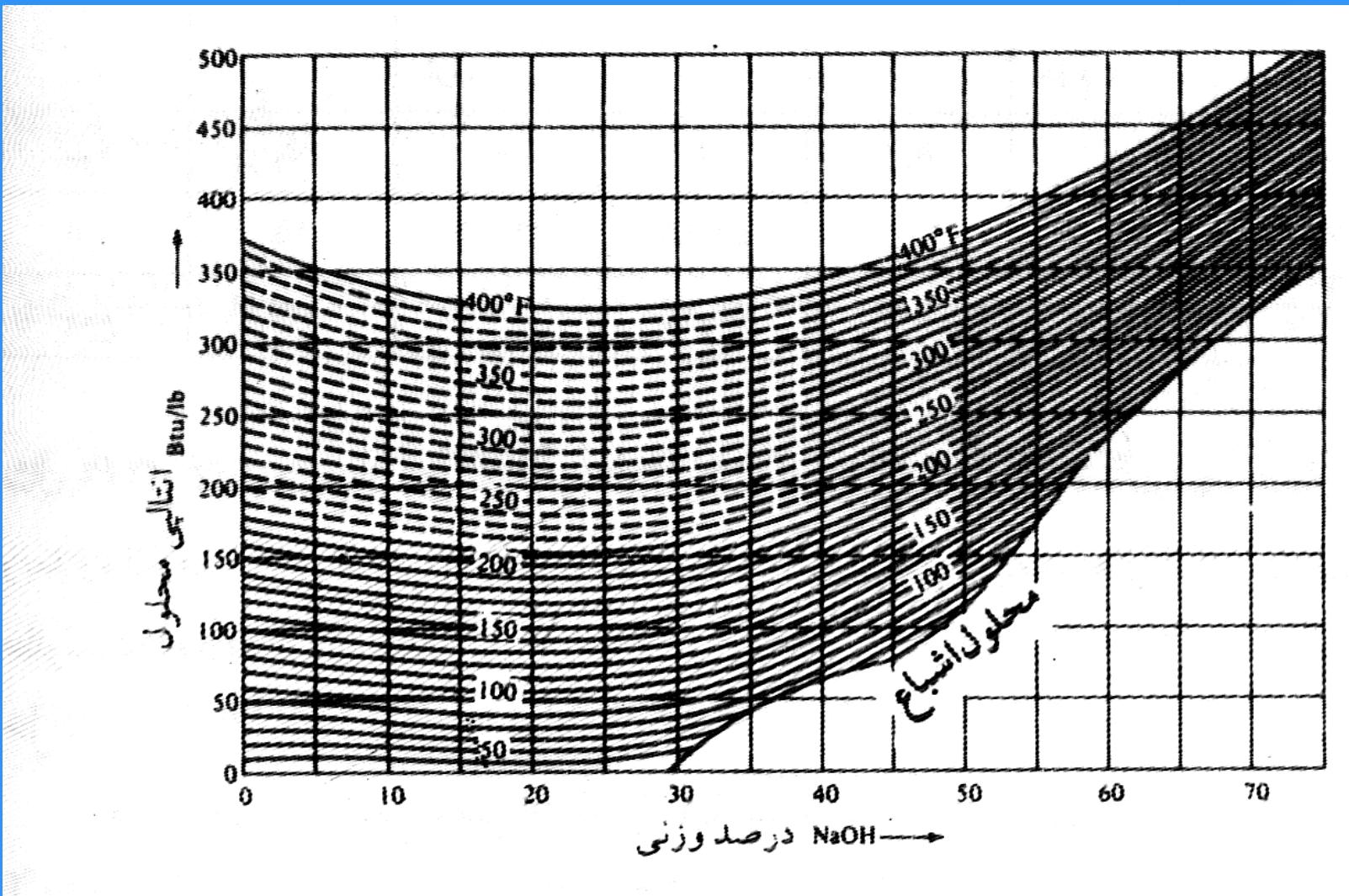
کاربرد موازنہ مشترک مواد و انرژی

منحنی‌های آنتالپی - غلظت

منحنی آنتالپی غلظت، روش ترسیمی مناسبی جهت نمایش آنتالپی مخلوطهای دو تایی محسوب می‌شود.

ابتدا یک مبنا که در مورد مخلوط، یک پاوند یا پاوند مول است و در مورد دما ، دمایی است که در آن $\Delta H=0$ فرض می‌شود اختیار می‌شود. سپس موازنۀ انرژی در مورد محلولهایی با ترکیب‌های نسبی مختلف بر قرار می‌شود و منحنی آنتالپی غلظت رسم می‌گردد.

منحنی آنتالپی - غلظت محلول NaOH



مثال: کاربرد منحنی‌های آنتالپی - غلظت

یک صد پاؤند محلول NaOH ۷۳ درصد در ۳۵۰ درجه فارنهایت را رقیق کرده به محلول ۱۰ درصد در ۸۰ درجه فارنهایت تبدیل می‌کنند. چند پاؤند آب ۸۰ درجه و یخ ۳۲ درجه فارنهایت لازم است؟ از جدول و منحنی آنتالپی غلظت داریم:

آنالپی آب خالص در ۸۰ درجه فارنهایت ۴ بی‌تی‌یو بر پاؤند و یخ خالص در ۳۲ درجه فارنهایت ۱۴۳ - بی‌تی‌یو بر پاؤند است.

آنالپی محلول سود ۷۳ درصد در ۳۵۰ درجه فارنهایت برابر ۶۸ و محلول ۱۰ درصد در ۸۰ درجه فارنهایت برابر ۴۲ بی‌تی‌یو بر پاؤند است.

مبنای ۱۰۰ lb محلول ۷۳ درصد سود در ۳۵۰ درجه فارنهایت

$$\frac{73 \text{ lb NaOH}}{73 + 100 \text{ lb NaOH} / \text{lb}} = 73 \text{ lb} \quad \text{محصول}$$

۷۳۰ lb H₂O = (خواراک) ۱۰۰ - (محصول) (آب و یخ افزوده شده)

آب $x \text{ lb}$ و یخ $(730 - x) \text{ lb}$

موازنہ انرژی:

$$\Delta H_{\text{خرجی}} = \Delta H_{\text{(ورودی)}}$$

$$10 \cdot lb(468 \frac{Btu}{lb}) + (630 - x)(48 \frac{Btu}{lb}) + xlb(-143 \frac{Btu}{lb}) = 73 \cdot lb(42 \frac{Btu}{lb})$$

$$46800 + 30240 - 143x = 30660$$

$$x = 243lb(32^\circ F)$$

پس

$$630 - x = 387lb(8^\circ F)$$

آب



Chemistryforfuture

www.ShimiPedia.ir