

درس «اصول محاسبات شیمی صنعتی» (۳واحد)

رشته: شیمی کاربردی

بر اساس کتاب «اصول محاسبات مهندسی شیمی»

تألیف «هیمل بلاو» ترجمه «دکتر مرتضی سهرابی»

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

تهیه CD آموزشی (ارائه بصورت پاورپوینت)

توسط: **علی لطفیانی**. دانشگاه پیام نور، ارومیه، ۱۳۸۵

# فصل ۱

## تبدیل واحدها

مثال: ابعاد و واحدها

۱ft + ۳Secs

زمان طول

دارای معنی نیست

۱hp + ۳۰۰watts

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 (۱۰۰ft/sec: سرعت صوت)، سرعت آن را بر حسب مایل در ساعت به دست آورید.

$$2 \times \frac{1100 \text{ ft}}{\text{sec}} \times \frac{1 \text{ mi}}{5280 \text{ ft}} \times \frac{3600 \text{ sec}}{1 \text{ ساعت}} = 1500 \frac{\text{mi}}{\text{hr}}$$

## مثال: ابعاد و واحدها

کمیت  $400 \frac{in.^3}{روز}$  را به  $\frac{cm^3}{min}$  تبدیل کنید

$$400 \frac{in.^3}{روز} \times \frac{روز}{24 \times 60 \text{ دقیقه}} \times \left( \frac{2.54 \text{ cm}}{1 \text{ in}} \right)^3 = 4.56 \frac{cm^3}{min}$$

## سیستمهای واحدها

ملاحظات	دما	انرژی	نیرو	جرم	زمان	طول
علمی سابق	$^{\circ}C, ^{\circ}K$	ارگ - کالری	دین	g	s	cm
	$^{\circ}F, ^{\circ}R$	پاوندال-ft	پاوندال	پاوند	s	ft
						مطلق انگلیسی FPS
						(cgs) سیستم مطلق

ملاحظات	دما	انرژی	نیرو	جرم	زمان	طول
بین المللی علمی و معمولی	°C, K	J	N	kg	s	m
سیستم گرانشی مهندسی انگلیسی	°F, °R	Btu	پاوندنیرو	Slug*	s	ft
مهندسی شیمی و نفت	°F, °R	Btu	lb <sub>f</sub>	lb <sub>m</sub>	s, hr	ft
SI						

مثال: در سیستم SI نیرو واحد فرعی است و از رابطه نیوتن به دست می آید:

$$F = \frac{1N}{\frac{kgm}{s^2}} \times \overset{\text{جرم}}{1kg} \times \frac{\overset{\text{شتاب}}{1m}}{s^2} = 1N$$

در سیستم مهندسی امریکایی: واحد نیرو

$$F = 1 \text{ lb}_m \times \frac{g \text{ ft}}{s^2} \times \left( \frac{1}{g_c} \right) = 1 \text{ lb}_f$$

$$g = 32.17 \frac{\text{ft}}{s^2} \Rightarrow g_c = 32.17 \frac{(\text{ft})(\text{lb}_m)}{(s^2)(\text{lb}_f)}$$

مثال: استفاده از  $g_c$

یکصد پوند آب در لوله‌ای با سرعت  $10 \frac{\text{ft}}{\text{s}}$  جریان دارد انرژی جنبشی آن را بر حسب  $\text{lb}_f \cdot \text{ft}$  به دست آورید.

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

جرم  $100 \text{ lb}$

$$K = \frac{1}{2} (100 \cdot \text{lb}) \times \left( \frac{10 \cdot \text{ft}}{\text{s}} \right)^2 \times \frac{1 \text{ lb}_f}{32.174 \frac{\text{lb}_m \cdot \text{ft}}{s^2}} = 155 \text{ lb}_f \cdot \text{ft}$$

## مثال: استفاده از $g_c$

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

$$P = mgh = \text{انرژی پتانسیل}$$

$$P = (10 \cdot lb_m) \left( 32.2 \frac{ft}{s^2} \right) (10 \cdot ft) \times \frac{1 lb_f}{32.2 \frac{lb_m \cdot ft}{s^2}} = 1000 \cdot lb_f \cdot ft$$

## مثال: وزن

تفاوت وزن یک موشک ۱۰۰ کیلوگرمی را بر حسب نیوتن وقتی در ارتفاع ۱۰ کیلومتری از سطح زمین

قرار دارد (  $g=۷۶/۹ \frac{m}{s^2}$  ) با حالتی که در سطح زمین (  $g=۸۰/۹ \frac{m}{s^2}$  ) واقع شده حساب کنید.

= وزن موشک در زمین

$$(۱۰۰ \cdot kg) \left( ۹ / ۸۰ \cdot \frac{m}{s^2} \right) \times \frac{۱N}{\frac{kgm}{s^2}} = \dots\dots N$$

= وزن موشک در ارتفاع

$$(۱۰۰ \cdot kg) \left( ۹ / ۷۶ \cdot \frac{m}{s^2} \right) \times \frac{۱N}{\frac{kgm}{s^2}} = \dots\dots N$$

تفاضل



# تبدیل واحدها

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

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

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

$$1 \text{ ft}^3 = 7.48 \text{ gal}$$

$$1 \text{ ft}^3 \text{H}_2\text{O} = 62.4 \text{ lb}_m$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$1 \text{ Btu} = 252 \text{ Cal}$$

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

$$3.28 \text{ ft} = 1 \text{ m}$$

$$35.3 \text{ ft}^3 = 1 \text{ m}^3$$

$$1 \text{ lb}_m = 0.454 \text{ Kg}$$

## مثال: کاربرد ابعاد

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

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

$$\frac{Btu}{(hr)(ft^2)(^{\circ}F)}$$

$h$  = ضریب انتقال حرارت

$$\frac{lb_m}{(hr)(ft^2)}$$

$G$  = شدت جریان جرمی

$D$  = قطر خارجی بر حسب ft

بیان کنیم، ثابت عددی به جای  $0.026$  چند است؟

$$\frac{Cal}{(min)(cm^2)(^{\circ}C)}$$

اگر بخواهیم  $h$  را بر حسب

$$h = \frac{0.026G^{0.6}}{D^{0.4}} \frac{Btu}{(hr)(ft^2)(^{\circ}F)} \times \frac{254cal}{1Btu} \times \frac{1h}{60min} \times \left(\frac{1in.}{2.54cm}\right)^2 \times \left(\frac{1ft}{12in.}\right)^2 \left(\frac{1/1.8^{\circ}F}{1^{\circ}C}\right)$$

$$= 2/11 \times 10^{-4} \frac{G^{0.6}}{D^{0.4}} \frac{cal}{(cm^2)(^{\circ}C)(min)}$$

# واحد مولی

$$1 \text{ mol} = 0.23/6 \times 10^{23} \text{ مولکول} = 1 \text{ gmol} \quad (10^3 \text{ gmol} = 1 \text{ kgmol})$$

$$\text{SI در mole} = 1 \text{ lbmol} = 0.23/6 \times 10^{23} \text{ مولکول}$$

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.

مبنا = دوپاند NaOH

$$2/0 \cdot lb NaOH \times \frac{1 lb mol NaOH}{40/0 \cdot lb NaOH} = 0/05 \cdot lb mol$$

$$2/0 \cdot lb NaOH \times \frac{1 gmol}{40/0 \cdot g} \times \frac{454 g}{1 lb} = 22/7 gmol$$

## مثال: استفاده از وزن اتمی

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

میثا = سود  $5/7 \text{ gmol}$

$$5/7 \text{ gmol} \times \frac{40 \text{ g}}{\text{gmol}} \times \frac{1 \text{ lb}}{454 \text{ g}} = 0/66 \text{ lb}$$

## چگالی

چگالی

$$sp\ gr = \frac{(\text{lb}/\text{ft}^3)_A}{(\text{lb}/\text{ft}^3)_{ref}}$$

چگالی

$$sp\ gr = 0.73 \frac{20^\circ C}{4^\circ C}$$

$$spgr \frac{60^\circ}{60^\circ} = \frac{141.5}{^\circ API + 131.5}$$

مثلاً

در این سیستم: چگالی =  $1\text{ g/cm}^3$  = جرم ویژه آب در SI

در سیستم آمریکایی: چگالی  $\neq 62.4\text{ lb/ft}^3$  = جرم ویژه آب در سیستم آمریکایی

$$^\circ API = \frac{141.5}{spgr \frac{60^\circ}{60^\circ}} - 131.5$$

$$\frac{\text{ft}^3}{\text{lbmol}}$$

یا

$$\frac{\text{ft}^3}{\text{lb}_m}$$

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

جزء مولی و جزء وزنی

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

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 kg سود است کسر مولی و کسر وزنی هر یک را تعیین کنید.

مبنا: ۱۰۰ kg محلول

سازنده	kg	کسر وزنی	وزن مولکولی	Kg mol	کسر مولی
H <sub>2</sub> O	۰۰/۵	۵۰۰/۰	۰/۱۸	۲۷۸/۰	۶۹۹/۰
NaOH	۰۰/۵	۵۰۰/۰	۰/۴۰	۱۲۵/۰	۳۱۱/۰
	۰۰/۱۰	۰۰/۱		۴۰۳/۰	



## مثال: جرم ویژه و چگالی

اگر دی برموپنتان دارای چگالی ۵۷/۱ باشد، دانسیته بر حسب  $g/cm^3$ ،  $lb_m/ft^3$  و  $kg/m^3$

جسم مقایسه: آب

$$\frac{1/00 \frac{g}{cm^3}}{1/00 \frac{g}{cm^3}} \times \frac{1/57 \frac{gB}{cm^3}}{1/00 \frac{g}{cm^3}} = 1/57 \frac{gB}{cm^3}$$

$$\frac{1/57 \frac{lbB}{ft^3}}{1/00 \frac{lb}{ft^3}} \times \frac{62/4 \frac{lb_m \text{ آب}}{ft^3}}{1/00 \frac{lb}{ft^3}} = 97/9 \frac{lb_m B}{ft^3}$$

$$1/57 \frac{gB}{cm^3} \times \left( \frac{100 \text{ cm}^3}{1 \text{ m}} \right) \times \left( \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \right) = 1/57 \times 10^3 \frac{kg}{m^3}$$

## مثال: وزن مولکولی متوسط هوا

$N_2$  ۰/۷۹ % } متشکل از  
 $O_2$  ۰/۲۱ % }  
 مبنا = هوا ۱۰۰ lb mol

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

وزن مولکولی متوسط هوا =

$$\frac{2900 \text{ lb}}{100 \text{ lb mol}} = 29.0 \text{ mol}^{-1}$$

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 می شود

## مثال: انتخاب مبنا

هیدروکربنهای معطر بین ۱۵ تا ۳۰ درصد بنزین سرب دار و ۴۰٪ بنزین فاقد سرب را تشکیل می دهند. نسبت اتمهای کربن به هیدروژن عاملی در تشخیص سازندهای سوخت محسوب می شود. اگر سوختی متشکل از ۸۰٪ وزنی کربن و ۲۰٪ وزنی هیدروژن باشد، نسبت اتمهای C/H در این سوخت چند است؟

مبنا: ۱۰۰ پاوند یا kg سوخت

سازنده	درصد = kg	وزن مولکولی	Kg mol
C	۸۰	۰/۱۲	۶۷/۶
H	۲۰	۰۰۸/۱	۸۴/۱۹
کل	۱۰۰		

$$\frac{C}{H} = \frac{۶/۶۷}{۱۹/۸۴} = ۰/۳۳$$

## مثال: انتخاب مینا

اگر در گازگیری (تبدیل زغال سنگ به هیدروژن یا گاز سنتز)، ۵۰ kg گاز حاصل از یک واحد آزمایشی به طور متوسط متشکل از متوسط گاز.

سازنده	H <sub>۲</sub>	CH <sub>۴</sub>	CO	CO <sub>۲</sub>
درصد	۰/۱۰	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۲۰

مینا: ۱۰۰ kg mol

سازنده	درصد = kg mol	وزن مولکولی	Kg
CO <sub>۲</sub>	۰/۲۰	۰/۴۴	۸۸۰
CO	۰/۳۰	۰/۲۸	۸۴۰
CH <sub>۴</sub>	۰/۴۰	۰/۱۶	۶۴۲
H <sub>۲</sub>	۰/۱۰	۰/۲/۲	۲۰
	۰/۱۰۰		۲۳۸۲

$$\text{جرم مولکولی} = \frac{۲۳۸۲ \text{ kg}}{۱۰۰ \text{ kgmol}} = ۲۳ / ۸ \text{ kg / kgmol}$$

## مثال: تغییر مبنا

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

مواد	گوگرد	ازت	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:  $100\text{ kg}$  زغال سنگ

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

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

# مبنای تازه: (برای تعیین kg کربن و هیدروژن)

سازنده	کسر مولی	Kg mol	وزن مولکولی	kg	
H	$\frac{9}{1+9} = 0.90$	90	0.8/1	7/90	$77 \times \frac{90/7}{210/7} = 33/15 \text{ kgH}$
C	$\frac{1}{10} = 0.10$	10	12	120	$77 \times \frac{120}{210/7} = 43/85 \text{ kgC}$
کل	$\frac{1}{10} = 1/10$	100		7/210	

سازنده	kg	کسر وزنی
C	85/43	0.10
H	15/33	0.39
S	2	0.20
N	1	0.10
O	6	0.70
کل	0.86	0.01

دما:

$$T_{OR} = T_{OF} \times \left( \frac{1 \Delta^{\circ} R}{1 \Delta^{\circ} F} \right) + 44.$$

$$T_K = T_{OC} \times \left( \frac{1 \Delta^{\circ} R}{1 \Delta^{\circ} C} \right) + 273$$

$$T_{OF} - 32 = T_{OC} \left( \frac{1 / 1 \Delta^{\circ} F}{1 \Delta^{\circ} C} \right)$$

$$T_{OF} = (T_{OC} + 40) \left( \frac{1 / 1 \Delta^{\circ} F}{1 \Delta^{\circ} C} \right) - 40.$$



## مثال: تبدیل دما

۱۰۰°C را به K، °F و °R تبدیل کنید

$$(100 + 273)^\circ C \times \left( \frac{1\Delta K}{1\Delta^\circ C} \right) = 273 K$$

$$100^\circ C \times \left( \frac{1/8\Delta^\circ F}{1\Delta^\circ C} \right) + 32^\circ F = 212^\circ F$$

$$(212 + 460)^\circ F \times \left( \frac{1\Delta^\circ R}{1\Delta^\circ F} \right) = 672^\circ R$$

## مثال: تبدیل دما

ظرفیت حرارتی اسید سولفوریک

با رابطه زیر داده شده است:

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

$$T = 10^{-2} \times \frac{727}{3} + \frac{25}{33} = \text{ظرفیت حرارتی}$$

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

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

ظرفیت حرارتی

$$= 33/25 + 3/727 \times 10^{-2} \left[ \underbrace{(T_{OR} - 460 - 32)^{\circ}\text{F}}_{\text{و } T} \times \frac{1^{\circ}\text{C}}{1/1.8^{\circ}\text{F}} \right]$$
$$\frac{\text{Cal}}{(\text{gmol})(\Delta^{\circ}\text{C})} \times \frac{1\text{Btu}}{252\text{Cal}} \times \frac{454\text{gmol}}{1\text{lbmol}} \times \frac{1\Delta^{\circ}\text{C}}{1/1.8\Delta^{\circ}\text{R}} = 23/0.6 + 2/0.71 \times 10^{-2} T_{OR}$$

**فشار:** فشار وارده از طرف ستونی از جیوه به ارتفاع ۵۰cm را بر حسب  $N/m^2$  و  $lb_f/ft^2$  را حساب کنید

کنید

ستون جیوه      جرم ویژه جیوه

$$\frac{13/55g}{cm^3} \times 50cm \times 1cm^2 \times \frac{980cm}{s^2} \times \frac{1kg}{1000g} \times \frac{1N}{1\frac{kgm}{s^2}} = 6/64N$$

$$P = 6/64 \frac{N}{cm^3} \times \left(\frac{100cm}{1m}\right)^3 = 6/64 \times 10^6 \frac{N}{m^2}$$

جرم ویژه جیوه =  $846lb_m/ft^3$

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

## مثال تبدیل فشار

$$psia = \frac{lb}{in^2} \quad \text{مطلق}$$

$$psig = \frac{lb}{in^2} \quad \text{نسبی}$$

۳۵ psia را به اینچ جیوه تبدیل کنید.

$$psia = psig + \text{فشار جو}$$

$$35 \text{ psia} = \text{مبنا}$$

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

## مثال: تبدیل فشار

جرم ویژه هوا را با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد. اگر فشار ۳۴۰ mmHg باشد، چند in.H<sub>2</sub>O و چند KPa است؟

$$۳۴۰ \text{ mmHg} = \text{مبنا}$$

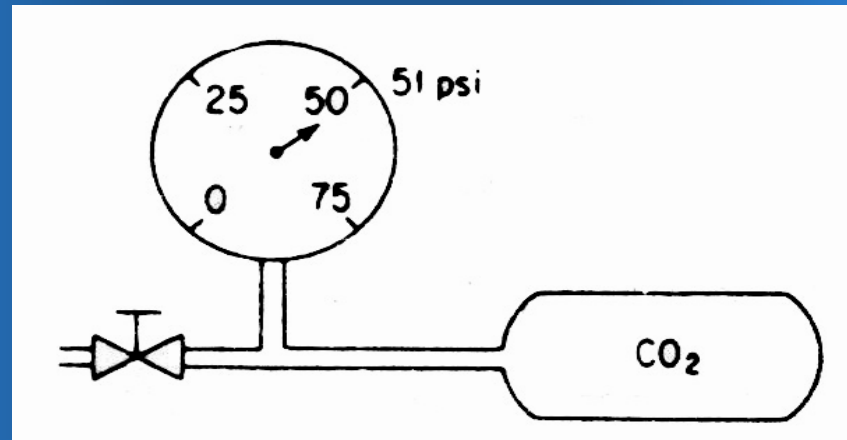
$$۳۴۰ \text{ mmHg} \times \frac{۳۳ / ۹۱ \text{ ftH}_2\text{O}}{۷۶۰ \text{ mmHg}} \times \frac{۱۲ \text{ in}}{۱ \text{ f}} = ۱۸۲ \text{ in.H}_2\text{O}$$

$$۳۴۰ \text{ mmHg} \times \frac{۱ / ۰.۱۳ \times ۱۰^۵ \text{ N / m}^2}{۷۶۰ / ۰ \text{ mmHg}} \times \frac{۱ \text{ KN}}{۱۰۰۰ \text{ N}} = ۴۵ / ۴ \text{ KPa}$$

## مثال: تبدیل فشار

فشار سنج نصب شده بر یک مخزن CO<sub>2</sub> برای دادن گاز به بطریهای نوشابه ۰/۵۱ psi را نشان می دهد. در همان حال از بارومتر ۰/۲۸ in.Hg خوانده می شود. فشار مطلق گاز در مخزن چند psia است؟

مبنا = فشار اتمسفری = ۲۸/۰ in.Hg



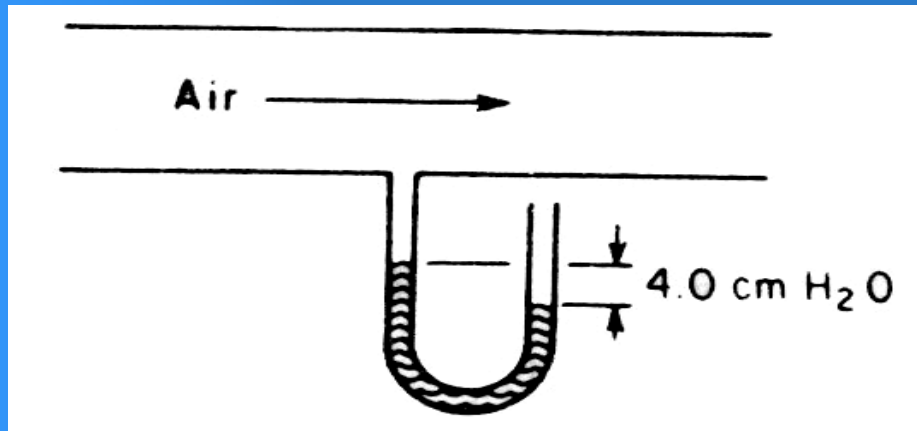
فشار اتمسفری =

$$۲۸/۰ \text{ in.Hg} \times \frac{۱۴/۷ \text{ Psia}}{۲۹/۹۲ \text{ in.Hg}} = ۱۳/۷۸ \text{ Psia}$$

$$\text{Psia فشار مطلق} = ۰/۵۱ + ۲۸/۱۳ = ۲۸/۶۴ \text{ psia}$$

## مثال: تبدیل فشار

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



مبنا =  $730 \text{ mmHg}$

$$\text{فشار اتمسفری} = 730 \text{ mmHg} \times \frac{29/92 \text{ in.Hg}}{760 \text{ mmHg}} = 28/9 \text{ in.Hg}$$

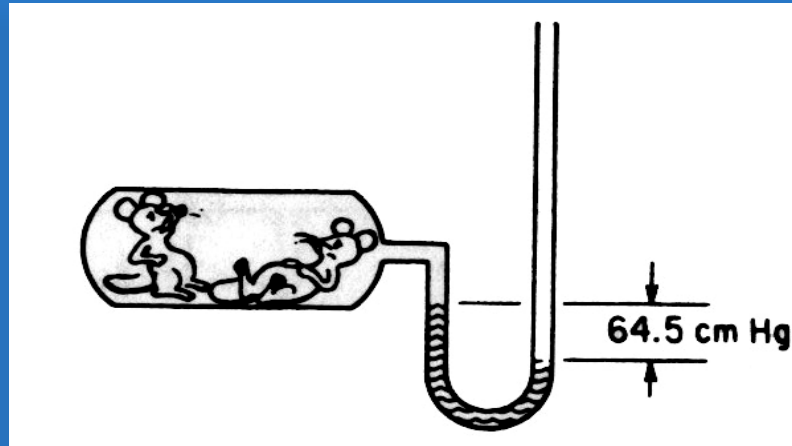
مبنا =  $4 \text{ cm.H}_2\text{O}$  مکش

$$4/0 \text{ cmH}_2\text{O} \times \frac{1 \text{ in.}}{2/54 \text{ cm}} \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in.}} \times \frac{29/92 \text{ inHg}}{33/91 \text{ ftH}_2\text{O}} = 0/12 \text{ inHg}$$

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

## 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  $100 \text{ KPa}$  قرائت می‌شود. آیا موشها (آستانه  $20 \text{ KPa}$ ) جان سالم به در می‌برند؟

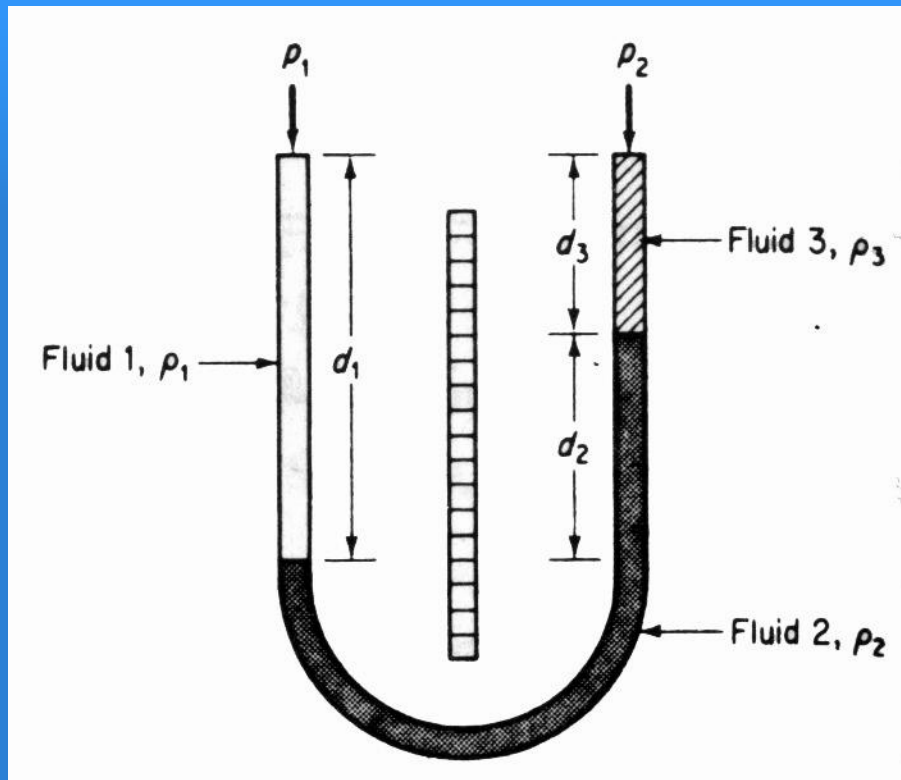


$$64/5 \text{ cmHg} \times \frac{101/3 \text{ KPa}}{76/0 \text{ cmHg}} = 86 \text{ KPa}$$

$$100 - 86 = 14 \text{ KPa}$$

موشها زنده نخواهند ماند





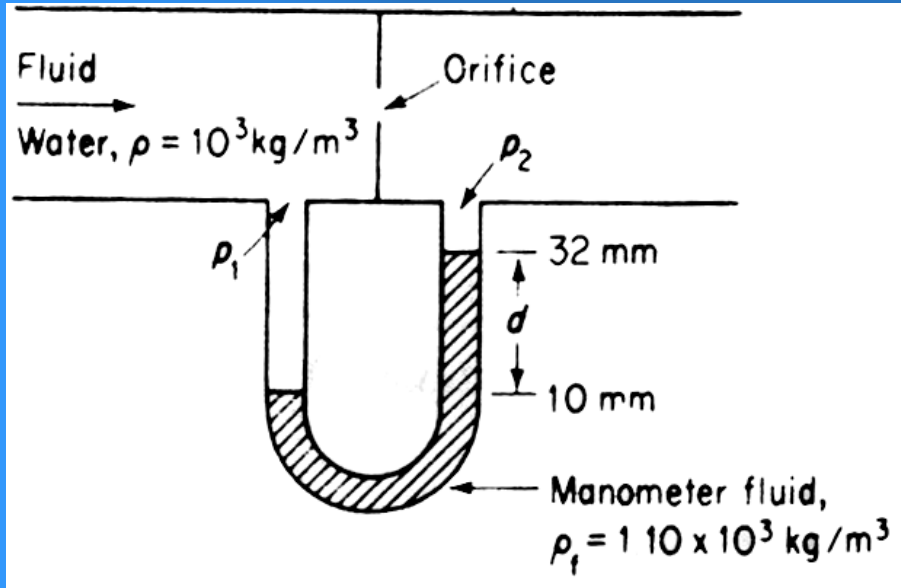
$$P_1 + \rho_1 d_1 g = P_2 + \rho_2 d_2 g + \rho_3 d_3 g$$

$$\rho_1 = \rho_2 = \rho$$

$$P_1 - P_2 = (\rho_3 - \rho) d_3 g$$

## مثال: محاسبه اختلاف فشار

در اندازه‌گیری شدت جریان سیال در لوله‌ها با فشار سنج تفاضلی، اختلاف فشار را در اطراف صفحه سوراخ‌دار **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؟

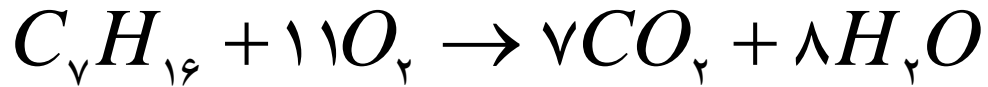


$$P_1 - P_2 = (\rho_f - \rho) g \cdot d$$
$$= \frac{(1.10 - 1.00) \times 10^3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \times \frac{9.80665 \text{ m}}{\text{s}^2} \times (0.032 \text{ m}) = 21.6 \text{ Pa}$$

## مثال: استوکیومتری

در احتراق هپتان،  $CO_2$  تولید می‌شود. اگر بخواهیم  $500 \text{ kg/hr}$  یخ خشک تولید کنیم و  $50\%$  از گاز  $CO_2$  حاصل قابل تبدیل به یخ خشک باشد، چند  $kg/hr$  هپتان باید سوزانده شود؟

مبنا = یخ خشک  $500 \text{ kg}$  (یا یکساعت انجام فرآیند)  $100 =$  وزن مولکولی هپتان



1 gmol

11 gmol

7 gmol

8 gmol

1(100)g

11(32)g

7(44)g

8(18)g

100

352

308

144

452g

452g

یخ خشک  $500 \text{ kg}$

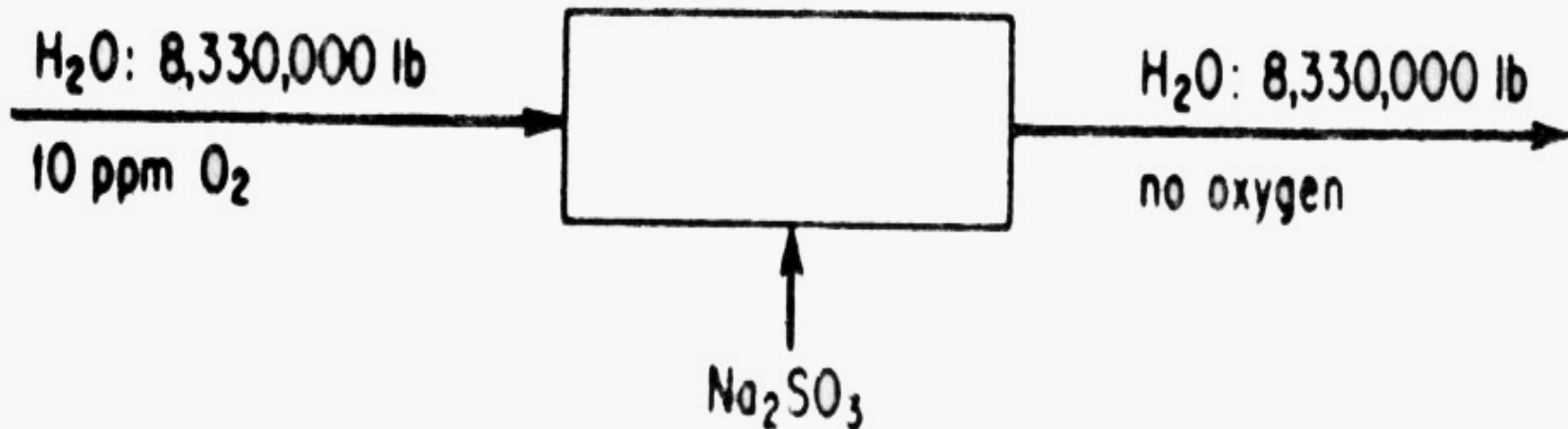
$$\times \frac{1 \text{ kg } CO_2}{0.5} \times \frac{1 \text{ gmol } CO_2}{44 \text{ kg } CO_2} \times \frac{1 \text{ gmol } C_7H_{16}}{7 \text{ gmol } CO_2} \times \frac{100 \text{ kg}}{1 \text{ gmol } C_7H_{16}} = 325 \text{ kg}$$

## 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 پوند سولفیت برای حذف اکسیژن موجود در  $8330000 \text{ lb}$  ( $10^6$  گالن) آب لازم است، در  
صورتی که غلظت اکسیژن محلول  $10 \text{ ppm}$  بوده و  $35\%$  سولفیت اضافی در آب داشته باشیم؟



m.w سولفیت = ۱۲۶

مبنا: ۸۳۳۰۰۰۰ lb آب حاوی ۱۰ ppm اکسیژن

$$۸۳۳۰۰۰۰ \text{ lb } H_2O \times \frac{۱ \text{ lb } O_2}{(۱۰۰۰۰۰۰ - ۱۰) \text{ lb } H_2O} = ۸۳ / ۳ \text{ lb } O_2$$

$$۸۳۳۰۰۰۰ \text{ lb } H_2O \times \frac{۱ \text{ lb } O_2}{۱۰ \text{ lb } H_2O} \times \frac{۱ \text{ lbmol } O_2}{۳۲ \text{ lb } O_2} \times \frac{۲ \text{ lbmol}}{۱ \text{ lbmol } O_2} \times \frac{۱۲۶ \text{ lb}}{۱ \text{ lbmol}} \times \frac{۱ / ۳۵}{۱}$$
$$= ۸۸۵ \text{ lb } Na_2SO_3$$

## مثال: استوکیومتری

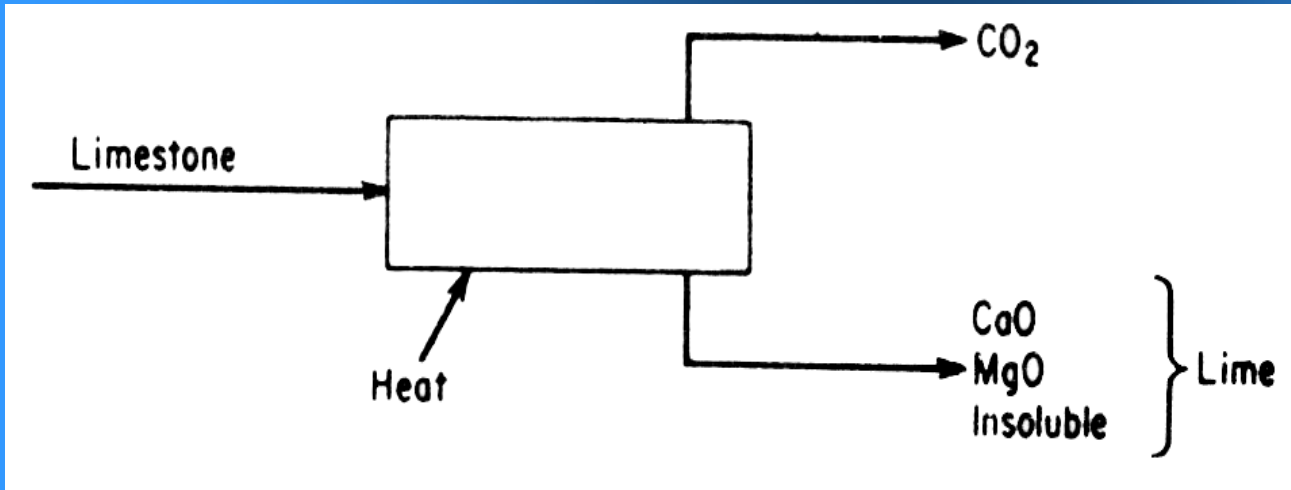
تجزیه سنگ آهک به قرار زیر است

مواد نامحلول	MgCO <sub>3</sub>	CaCO <sub>3</sub>
۷۰/۱	۴۱/۵	۸۹/۹۲

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

ب) از هر پاوند سنگ آهک چند lb CO<sub>2</sub> به دست می آید؟

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



	M.W
CaCO <sub>3</sub>	۱۰۰
MgCO <sub>3</sub>	۸۴/۳
CaO	۵۶/۰
MgO	۴۰/۳
CO <sub>2</sub>	۴۴

مبنا = ۱۰۰ پاوند سنگ آهک

سازنده	درصد=lb	Lbmol	سازنده	lb	CO <sub>2</sub> (lb)
CaCO <sub>3</sub>	۸۹/۹۲	۹۲۸۹/۰	CaO	۰/۵۲	۹/۴۰
MgCO <sub>3</sub>	۴۱/۵	۰۶۴۱/۰	MgO	۵۹/۲	۸۲/۲
نامحلول	۲۰/۱		نامحلول	۲۰/۱	
	۰۰/۱۰۰	۹۹۳۰/۰		۳/۵۶	۷/۴۳

تولید شده CaO = ۰/۵۲lbCaO = ۵۲/۰lbCaO ×  $\frac{۱}{۱۰۰lb}$  ×  $\frac{۲۰۰lb}{۱ton}$  × ۵ton = ۵۲۰lbCaO

CO<sub>2</sub> بازیابی شده =  $\frac{۴۳/۷lbCO_2}{۱۰lb} = ۰/۴۳۷lb$

سنگ آهک مورد نیاز = ۱ton ×  $\frac{۲۰۰lb}{۱ton}$  ×  $\frac{۱۰lb}{۵۶/۳lb} = ۳۵۶lb$

جسمی که کمترین مقدار استوکیومتری را دارد = ترکیب شونده محدود کننده

جسمی است که مازاد بر ترکیب شونده محدود کننده = ترکیب شونده اضافی

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

میزان تبدیل:

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

درجه کامل شدن واکنش:

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

گزینندگی:

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

**Yield بازده:**

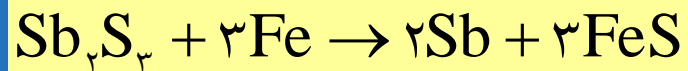
در مورد ترکیب شونده یا محصول عبارت است از جرم یا تعداد مول محصول نهایی تقسیم بر

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 می شود.



فرض می کنیم ۶/۰ kg سولفید با ۲۵۰/۰ kg آهن حرارت داده شود و ۲/۰ kg sb تهیه شود،  
مطلوب است:

الف) ترکیب شونده محدود کننده

ب) درصد ترکیب شونده اضافی

ج) درجه کامل شدن

سازنده	Kg	وزن مولکولی	g mol	
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub>	۶۰۰/۰	۷/۳۹	۷۷/۱	$۴۸/۴(\frac{۱}{۳})=۴۹/۱$
Fe	۲۵۰/۰	۸/۵۵	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  $Sb_2S_3$  اضافی

$$= \frac{۱/۷۷ - ۱/۴۹}{۱/۴۹} \times ۱۰۰ = ۱۸/۸\%$$

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

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

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

$$\text{درجه کامل شدن} = \frac{2/46}{4/48} = 0/55$$

درجه تبدیل مثلاً براساس  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ :

$$\text{Sb به } \text{Sb}_2\text{S}_3 \text{ تبدیل درجه} = \frac{1/64 \text{ g mol Sb} \times 1 \text{ g mol Sb}_2\text{S}_3}{2 \text{ g mol Sb}} = 0/82 \frac{\text{g mol Sb}}{1 \text{ g mol Sb}_2\text{S}_3}$$

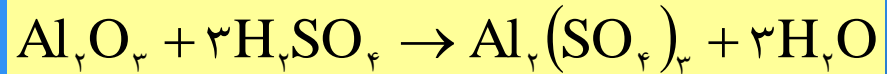
$\text{Sb}$  به  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  تبدیل درصد = ۸۲٪

بازده: به صورت kg Sb حاصل شده از هر kg  $\text{Sb}_2\text{S}_3$

$$\text{yield بازده} = \frac{0/200 \text{ kg Sb}}{0/600 \text{ kg Sb}_2\text{S}_3} = \frac{1}{3}$$

## مثال: ترکیب شونده محدود کننده در واکنشهای کامل نشده

سولفات آلومینیوم از بوکسیت با اسید سولفوریک تهیه می‌شود:



سنگ معدن بوکسیت ۴/۵۵٪ وزنی  $\text{Al}_2\text{O}_3$  دارد و بقیه آن ناخالصی است.

اسید سولفوریک مصرفی ۷/۷۷٪  $\text{H}_2\text{SO}_4$  دارد و بقیه آن ناخالصی آب است.

برای تهیه سولفات ناخالص 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؟

$$۱۷۹۸ \text{ lb سولفات} \times \frac{۱ \text{ lb mol سولفات}}{۳۴۲/۱ \text{ lb سولفات}} = ۵/۲۶ \text{ lb mol } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$$

$$۱۰۸۰ \text{ lb بوکسیت} \times \frac{۰/۵۵۴ \text{ lb } \text{Al}_2\text{O}_3}{1 \text{ lb بوکسیت}} \times \frac{۱ \text{ lb mol } \text{Al}_2\text{O}_3}{۱۰۱/۹ \text{ lb mol } \text{Al}_2\text{O}_3} = ۵/۸۷ \text{ lb mol } \text{Al}_2\text{O}_3$$

$$۲۵۱۰ \text{ lb اسید} \times \frac{۰/۷۷۷ \text{ lb } \text{H}_2\text{SO}_4}{1 \text{ lb اسید}} \times \frac{۱ \text{ lb mol } \text{H}_2\text{SO}_4}{۹۸/۱ \text{ lb } \text{H}_2\text{SO}_4} = ۱۹/۸۸ \text{ lb mol } \text{H}_2\text{SO}_4$$

اگر  $\text{Al}_2\text{O}_3$  محدود کننده باشد،  $۶۱/۱۷ \text{ lb} = ۳(۸۷/۵)$  اسید لازم خواهد بود، و اسید از این مقدار بیشتر است. پس  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ترکیب شونده اضافی است.

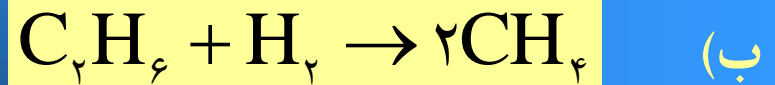
$$۵/۲۶ \text{ lb mol سولفات} \times \frac{۳ \text{ lb mol } \text{H}_2\text{SO}_4}{۱ \text{ lb mol سولفات}} = ۱۵/۷۸ \text{ lb mol } \text{H}_2\text{SO}_4$$

مصرف شده

$$\frac{۵/۲۶}{۵/۸۷} = ۰/۹۰ \text{ درجه کامل شدن واکنش}$$

## مثال: گزینندگی و بازده

در هیدروژن گیری از اتان دو واکنش زیر انجام می شود:



با دانستن توزیع محصولات (گازی) به شرح زیر:

سازنده	$\text{C}_2\text{H}_6$	$\text{C}_2\text{H}_4$	$\text{H}_2$	$\text{CH}_4$	کل
درصد (حجمی یا مولی)	۳۵	۳۰	۲۸	۷	۱۰۰

مطلوبست: الف) گزینندگی  $\text{C}_2\text{H}_4$  نسبت به  $\text{CH}_4$

ب) بازده  $\text{C}_2\text{H}_4$  بر حسب  $\text{kg mol}$  اتیلن به کیلوگرم مول اتان

مبنا = 100 kg mol محصولات

$$\text{گزینندگی} = \frac{30 \text{ kg mol } C_2H_6}{7 \text{ kg mol } CH_4} = 4/29$$

(حل: الف)

ب) تعداد مولهای  $C_2H_6$  وارد شده در واکنش از تعداد مولهای اتیلن و اتان بدست می آید:

$$30 \text{ kg mol } C_2H_6 \times \frac{1 \text{ kg mol } C_2H_6}{30 \text{ kg mol } C_2H_6} = 30 \text{ kg mol}$$

اتان

$$7 \text{ kg mol } CH_4 \times \frac{1 \text{ kg mol } C_2H_6}{2 \text{ kg mol } CH_4} = 3/5 \text{ kg mol}$$

اتان

---

$$33/5 \text{ kg mol}$$

کل اتان

$$\text{بازده} = \frac{30}{33/5} = 0/90$$

# فصل ۲

## موازنه مواد

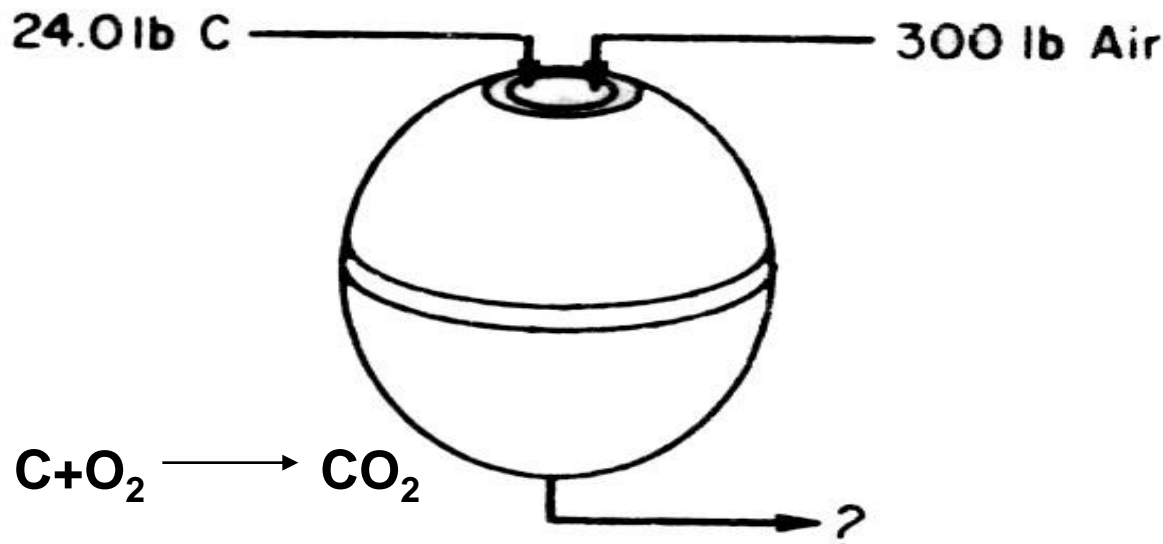


# موازنه مواد

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

مثال:

اگر ۳۰۰ پاوند هوا و ۲۴ پاوند کربن را در دمای ۶۰۰°F در راکتوری قرار داده و پس از احتراق کامل هیچ ماده‌ای در راکتور باقی نماند، چند پاوند کربن خارج شده است؟ چند پاوند اکسیژن؟ کل مواد خروجی چند پاوند 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؟



تجمع وجود ندارد

کل مواد خروجی از واکنشگاه

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

## مبنا: ۳۰۰ lb هوای ورودی

۳۰۰ lb هوا	۱ lb mol هوا	۰/۲۱ lb mol O <sub>2</sub>	= ۱۸/۲ lb mol O <sub>2</sub>
	۰/۲۹ lb هوا	۱۰۰ lb mol	

۲۴ lb C	۱ lb mol	= ۰/۲ lb mol C
	۰/۱۲ lb	

از راکتور خارج می شود  $18/2 - 0.0/2 = 18/0 \text{ lb mol O}_2$   $(18/0)(32) = 76/5 \text{ lb O}_2$  = مصرف نشده

$$(0.0/2)(0/44) = 0/88 \text{ lb CO}_2$$

CO<sub>2</sub> خارج شده از راکتور

N<sub>2</sub> خارج شده

۱۸/۲ lb mol O <sub>2</sub>	۰/۷۹ N <sub>2</sub>	۰/۲۸ lb N <sub>2</sub>	= ۲۳۰ lb N <sub>2</sub>
	۰/۲۱ O <sub>2</sub>	۱ lb mol N <sub>2</sub>	

# جمع کل جریانهای ورودی و خروجی

ورودی	lb	lb mol	خروجی	lb	lb mol
O <sub>2</sub>	۷۰	۱۸/۲	O <sub>2</sub>	۷۶/۵	۱۸/۰
N <sub>2</sub>	۲۳۰	۲۰/۸	N <sub>2</sub>	۲۳۰	۲۰/۸
C	۲۴	۰۰/۲	CO <sub>2</sub>	۸۸	۰۰/۲
کل	۳۲۴	۳۸/۱۲	کل	۳۲۴	۳۸/۱۰

مولهای اجزاء سازنده خروجی		مولهای اجزاء سازنده خروجی	
O <sub>2</sub>	۱۸/۲	O <sub>2</sub>	۱۸/۰
—	—	بصورت CO <sub>2</sub> در O <sub>2</sub>	۰۰/۲
کل	—	کل	۱۸/۲
N <sub>2</sub>	۲۰/۸	N <sub>2</sub>	۲۰/۸
C	۰۰/۲	بصورت CO <sub>2</sub> در C	۰۰/۲

$W_i$  جزء جرمی سازنده‌ها

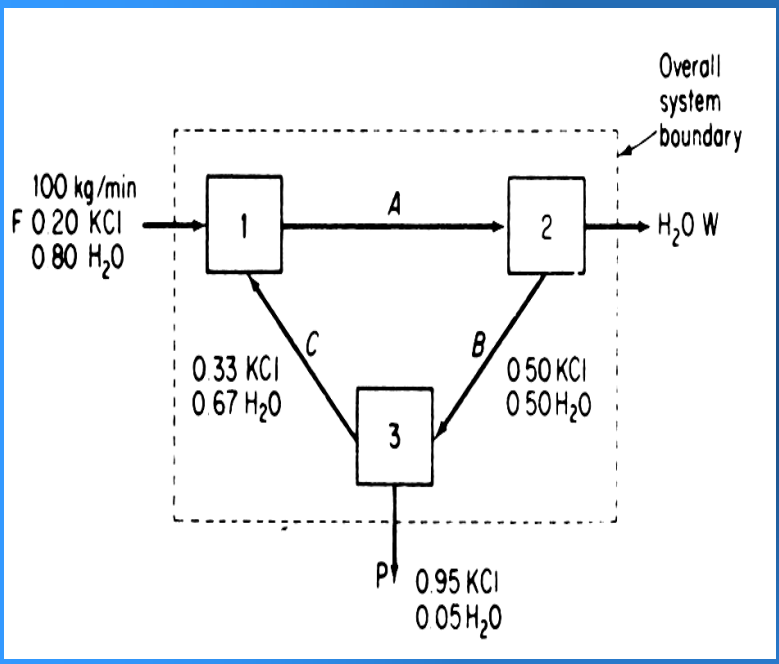
$W$ ،  $F$  و  $P$  جریانها

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

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

مجموع اجزاء جرمی در هر جریان برابر یک است.

تشکیل دستگاه معادلات:



واحد ۱ - موازنه کلی

$$100 + C = A$$

$$\text{واحد ۱-KCl} \quad (20/100)(100) + (33/100)(C) = (W_{KCl})(A)$$

واحد ۲ - موازنه کلی

$$A = W + B$$

واحد ۲-KCl

$$(W_{KCl,A})(A) = (50/100)(B)$$

موازنه کلی سیستم

$$F = W + P$$

موازنه KCl در کل سیستم

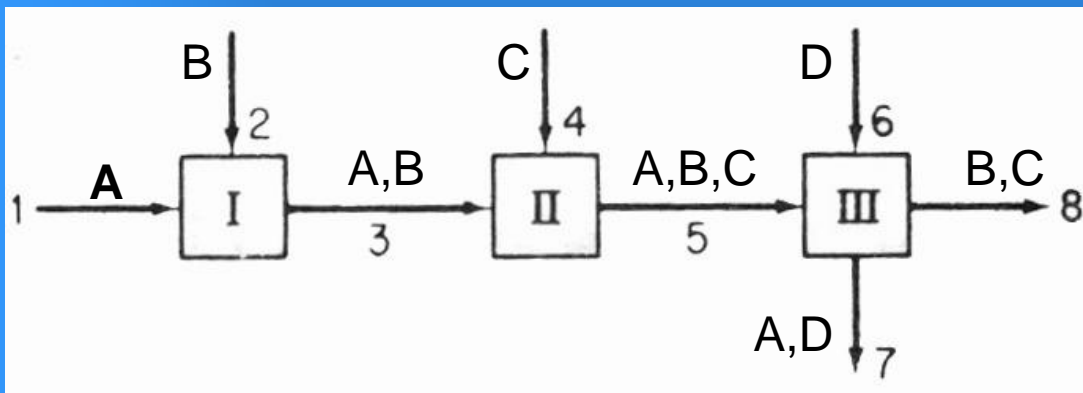
$$(20/100) F = (95/100) P$$

$$\sum W_i = 1$$

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

# مثال:

برای حل این مسئله چند موانه مستقل وجود دارد؟



## تعداد موازنه‌ها

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

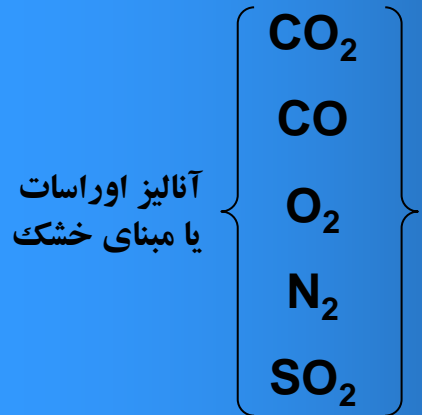
تعداد کل موازنه‌ها

## تعاریف:

مبنای مرطوب، تجزیه اورسات مبنای خشک گازهای حاصل از تجزیه



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



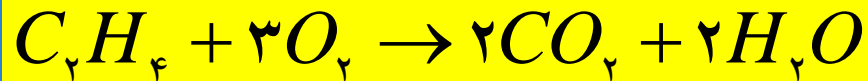
$$= 100 \times \frac{\text{O}_2 \text{ مورد نیاز} - \text{O}_2 \text{ ورودی به فرآیند}}{\text{O}_2 \text{ مورد نیاز}}$$

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

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

## 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  $C_2H_4$  با ۴۰۰ پاوند هوا سوخته و تولید ۴۴ پاوند  $CO_2$  و ۱۲ پاوند  $CO$  کرده است. درصد هوای اضافی چند است؟



## مبنا: ۲۰ پاوند $C_2H_4$

$O_2$  مورد نیاز برای احتراق کامل:

۲۰ lb $C_2H_4$	۱ lb mol	۳ lb mol $O_2$	$= ۱۴/۲$ lb mol $O_2$
	۰/۲۸ lb	۱ lb mol $C_2H_4$	

$O_2$  ورودی:

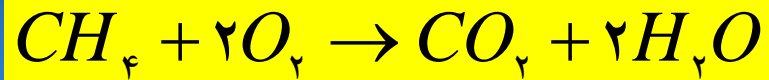
هوا ۴۰۰ lb	۱ lb mol	۰/۲۱ lb mol $O_2$	$= ۹۰/۲$ lb mol $O_2$
	هوا ۰/۲۹ lb	۱۰۰ lb mol	

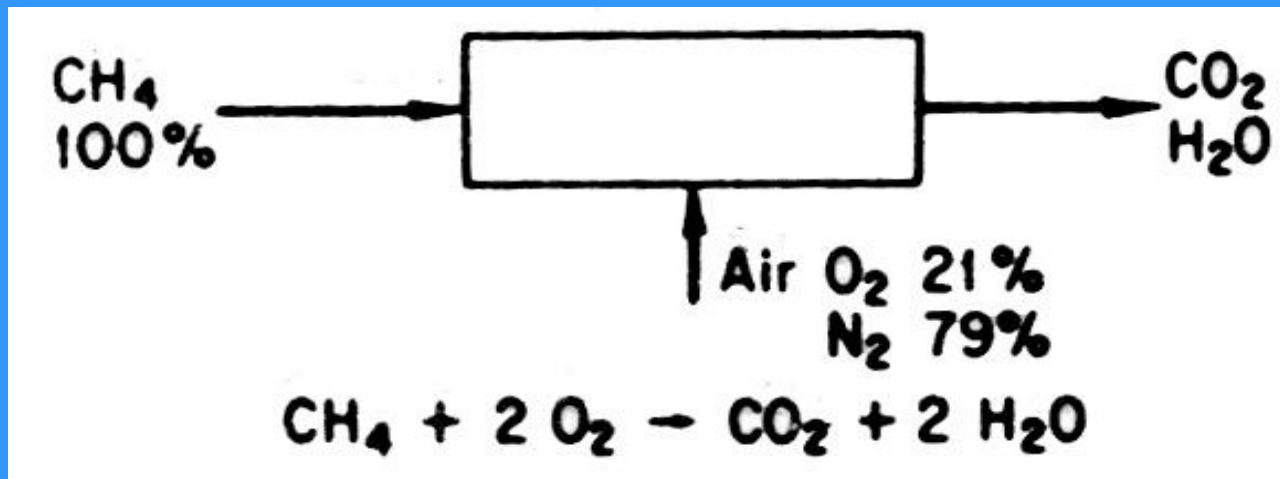
$$\text{درصد هوای اضافی} = ۱۰۰ \times \frac{\text{اضافی } O_2}{\text{مورد نیاز } O_2} = ۱۰۰ \times \frac{\text{لازم } O_2 - \text{ورودی } O_2}{\text{لازم } O_2} = ۱۰۰ \times \frac{۹۰/۲ - ۱۴/۲}{۱۴/۲} = ۵/۳۵ \%$$



## مثال: هوای اضافی

یک بازاریاب پیشنهادی تحت عنوان بررسی پوشیدگی 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 پوشیدگی دودکش می شود. در بررسی گازهای دودکش متوجه شد که ۳۰٪  $CO_2$  است سوخت مورد استفاده گاز طبیعی است ( $CH_4$  خالص). هوای ورودی ۱۳۰٪ اضافی است آیا به این شخص نیاز دارید؟





با فرض احتراق کامل

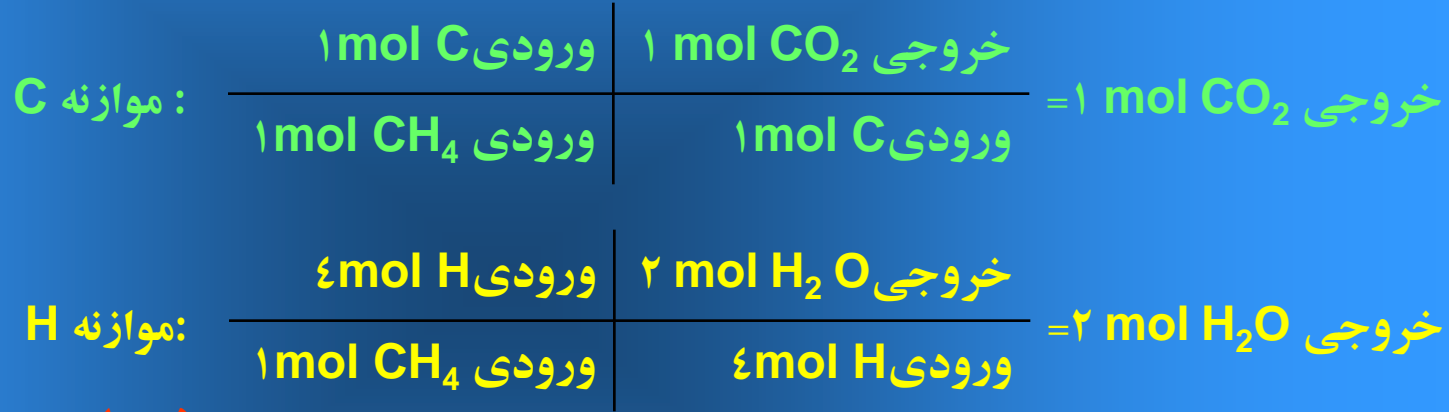
مبنا: یک مول  $\text{CH}_4$

$2 \text{ mol O}_2$	$30/1 \text{ mol هوا}$	$= 52/9 \text{ mol هوا}$	$\left\{ \begin{array}{l} 2 \text{ mol O}_2 \\ 7/5 \text{ mol N}_2 \end{array} \right\}$	مولهای هوای لازم:
	$21/0 \text{ mol O}_2$			

$52/9 \times 30/1 = 172/9 \text{ mol}$	$\left\{ \begin{array}{l} 2.6 \text{ mol O}_2 \\ 9.8 \text{ mol N}_2 \end{array} \right\}$	هوای ورودی:
--	--	-------------

چهار موازنه عنصری  $C$  ,  $H_2$  ,  $O_2$  ,  $N_2$  برقرار می کنیم و یک رابطه بین مجموع اجزاء.

	هوا	O2	N2
لازم	۵۲/۹	۰۰/۲	۵۴/۷
اضافی	۴/۱۲	۶۰/۲	۸/۹
مجموع	۹/۲۱	۶۰/۴	۳/۱۷

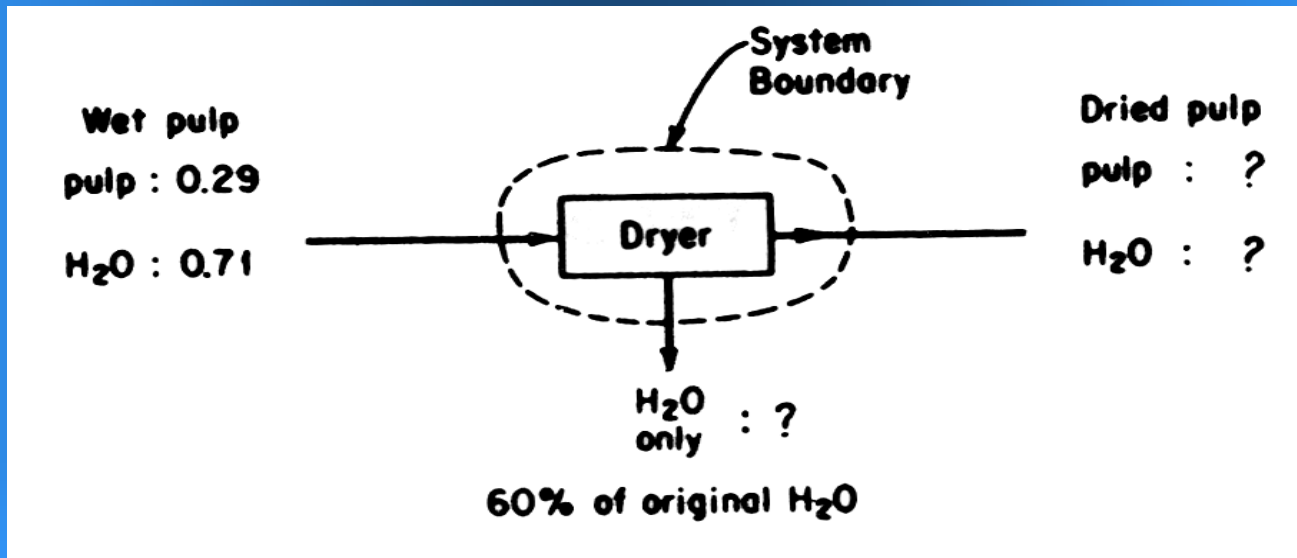


سازنده	مول	درصد
CH <sub>4</sub>	۰	۰
CO <sub>2</sub>	۰۰/۱	۴/۴
H <sub>2</sub> O	۰۰/۲	۷/۸
O <sub>2</sub>	۶۰/۲	۳/۱۱
N <sub>2</sub>	$\left\{ \begin{array}{l} ۵۴/۷ \\ ۸۰/۹ \end{array} \right.$	۶/۷۵

پس فروشنده متقلب است

## مثال: خشک کردن

یک خمیر کاغذ محتوی ۱۷٪ 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 موازنه خمیر و  $H_2O$  و یک معادله مجموع اجزاء جرمی برای خمیر خشک می توان تشکیل داد.

مبنا: یک کیلوگرم خمیر مرطوب

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

موازنه آب :  $H_2O$  در خمیر =  $71/0 - 426/0 = 284/0 \text{ Kg}$

موازنه خمیر :  $29/0$  (باقیمانده) =  $29/0$  (ورودی)

ترکیب خمیر خشک:

سازنده	kg	درصد
$H_2O$	29/0	5/50
خمیر	248/0	5/49
کل	574/0	0/100

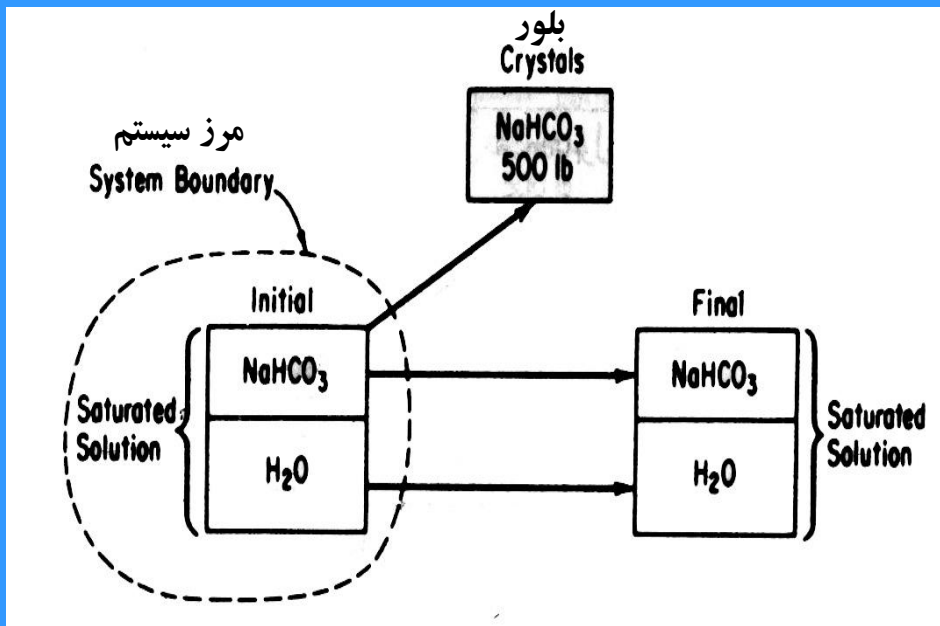
امتحان: خمیر خشک + آب = خمیر مرطوب

$$426/0 + 574/0 = 00/1$$

## مثال: تبلور

در مخزنی ۱۰۰۰۰ کیلوگرم محلول اشباع  $\text{NaHCO}_3$  در  $60^\circ\text{C}$  وجود دارد. می خواهیم  $500 \text{ kg NaHCO}_3$  متبلوراز محلول تهیه کنیم. محلول را تا چه دمایی سرد کنیم.

دما	$\text{g NaHCO}_3 / 100 \text{ g H}_2\text{O}$ حلالیت
60	4/16
50	45/14
40	70/12
30	1/11
20	6/9
10	15/8



می توان ترکیب نسبی محلول اولیه را حساب کرد.

$$۶۰^{\circ}C : \frac{۱۶/۴gNaHCO_3}{(۱۶/۴+۱۰۰)g} = ۰/۱۴۱$$

یا

$$\frac{۱/۱۴ \% NaHCO_3}{۹/۸۵ \% H_2O}$$

محلول اولیه

مبنا: ۱۰۰۰۰ کیلوگرم محلول اشباع  $\text{NaHCO}_3$  در  $60^\circ\text{C}$

موازنه  $\text{NaHCO}_3$ :

$$0.141(10000) - 500 = 910 \text{ kg}$$

موازنه  $\text{H}_2\text{O}$ :

$$0.859(10000) - 0 = 8590 \text{ kg}$$

$$\frac{910}{8590} = \frac{?}{100 \text{ g H}_2\text{O}}$$

$$9500 \text{ kg}$$

$$? = 10/6 \text{ NaHCO}_3$$

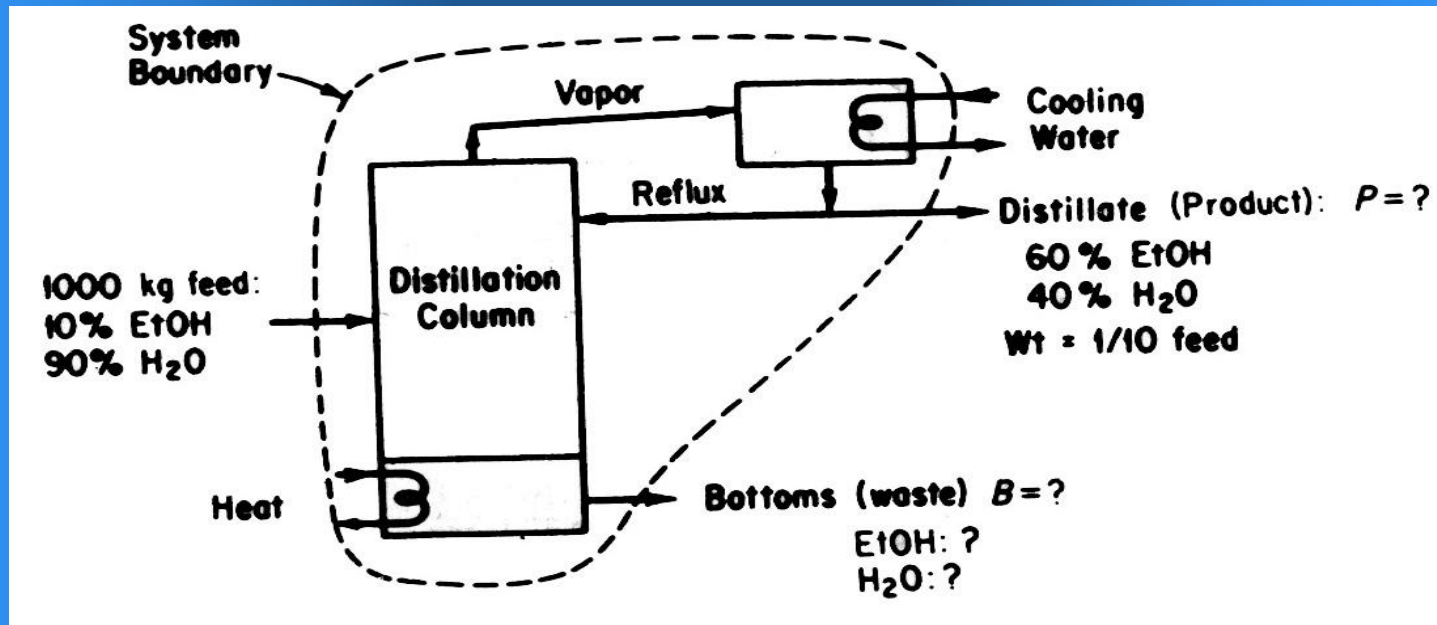
درونیابی

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



## مثال: تقطیر

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



مبنا: ۱۰۰۰ kg خوراک ورودی

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

ته مانده خروجی kg = مقطر خروجی kg - خوراک ورودی kg

ترکیب نسبی پساب

۴/۴

۶/۹۵

---

۱۰۰

موازنه EtOH :

$$0/10(1000) - 0/6(100) = 40$$

موازنه H<sub>2</sub>O :

$$0/90(1000) - 0/40(100) = 860$$

---

۹۰۰ kg

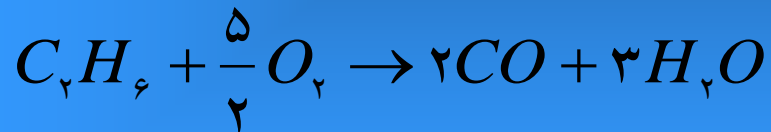
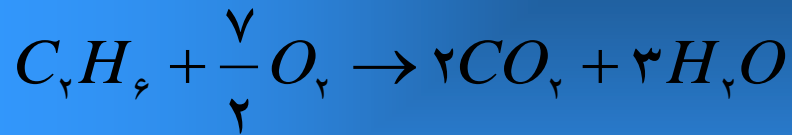
$$\text{امتحان: } 900 \text{ kgB} + 100 \text{ kgP} = 1000 \text{ kgF}$$

## مثال: احتراق

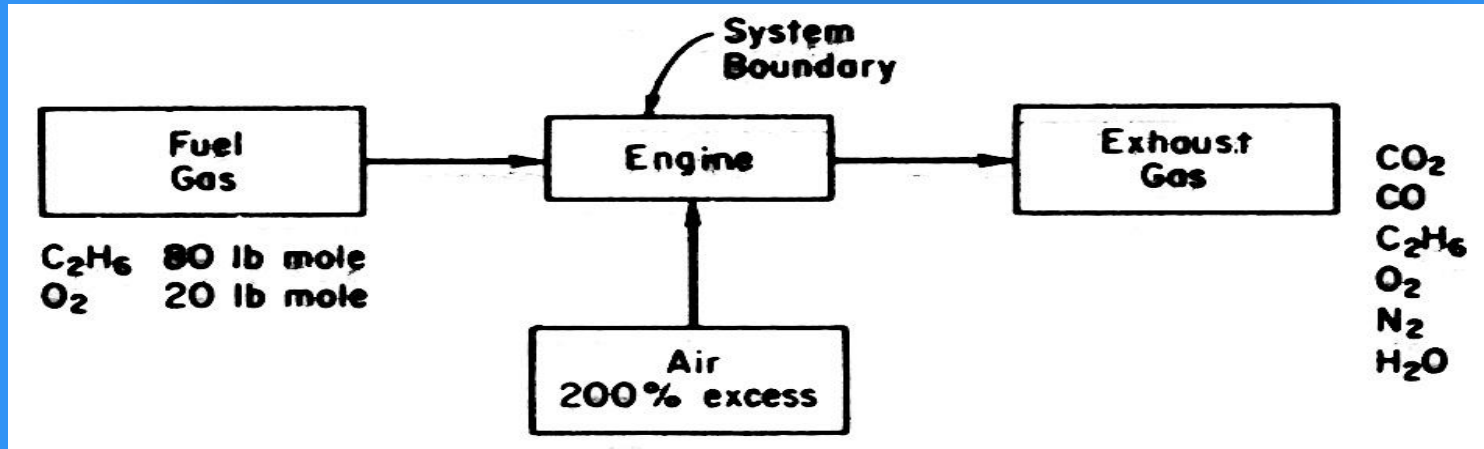
ابتدا اتان را با اکسیژن مخلوط کرده و گازی متشکل از ۸۰٪ اتان و ۲۰٪ اکسیژن به دست می آورند. گاز حاصل را با ۲۰۰٪ هوای اضافی می سوزانند. هشتاد درصد اتان به  $CO_2$  و ۱۰٪ آن به  $CO$  تبدیل شده و بقیه بدون تغییر باقی می ماند. ترکیب نسبی گاهای خروجی را به مبنای مرطوب حساب کنید.

مبنا: ۱۰۰ مول سوخت

کل  $O_2$  ورودی سه برابر  $O_2$  لازم است.



مقدار  $O_2$  لازم :



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

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

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

$N_2$  ورودی همراه هوا:

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

با استفاده از استوکیومتری واکنش

$80 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$2 \text{ Lb mol } CO_2$	$0.80$	$= 280 \text{ Lb mol } CO_2$
	$1 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$0.01$	

$80 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$3 \text{ Lb mol } H_2O$	$80.01$	$= 192 \text{ Lb mol } H_2O$
	$1 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$0.01$	

$80 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$2 \text{ Lb mol } CO$	$10.01$	$= 16 \text{ Lb mol } CO$
	$1 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$0.01$	

$80 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$3 \text{ Lb mol } H_2O$	$10.01$	$= 24 \text{ Lb mol } H_2O$
	$1 \text{ Lb mol } C_2H_6$	$0.01$	

برای محاسبه  $O_2$  باقی مانده در گازهای خروجی باید تعیین کنیم از اکسیژن موجود (۷۸۰ lb mol) چه مقدار در ترکیب با C و H است.

۸۰ Lb mol $C_2H_6$	$\frac{5}{2}$ Lb mol $O_2$	$\frac{80}{1}$	$= 224 \text{ Lb mol } O_2$
	۱ Lb mol $C_2H_6$	$\frac{0}{1}$	

۸۰ Lb mol $C_2H_6$	$\frac{5}{2}$ Lb mol $O_2$	$\frac{80}{1}$	$= 20 \text{ Lb mol } O_2$
	۱ Lb mol $C_2H_6$	$\frac{0}{1}$	

کل  $O_2$  مصرف شده: ۲۴۴ lb mol  $O_2$

$$\text{خروجی } O_2 = 780 + 20 - 244 = 556 \text{ Lb mol } O_2$$

$$\text{خروجی } H_2O = 192 + 24 = 216 \text{ Lb mol } H_2O$$

خلاصه محاسبات :

سازنده	سوخت ورودی	هوای ورودی	گاز دودکش	درصد گاز دودکش
$C_2H_6$	۸۰	-	۸	۲۱/۰
$O_2$	۲۰	۷۸۰	۵۵۶	۴۲/۱۴
$N_2$	-	۲۹۳۰	۲۹۳۰	۰۱/۷۶
$CO_2$	-	-	۱۲۸	۳۲/۳
$CO$	-	-	۱۶	۴۲/۰
$H_2O$	-	-	۲۱۶	۶۲/۵
	۱۰۰	۳۷۱۰	۳۸۵۴	۰۰/۱۰۰

تجزیه گازها به مبنای خشک (بخار آب حذف می شود):

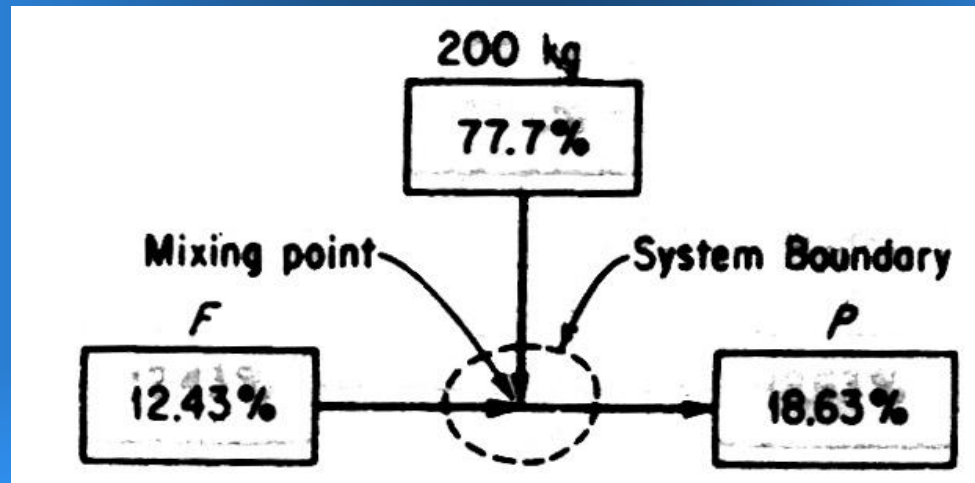
سازنده	Lb mol	درصد
$C_2H_6$	۸	۲۳/۰
$O_2$	۵۵۶	۲۹/۱۵
$N_2$	۲۹۳۰	۵۲/۸۰
$CO_2$	۱۲۸	۵۲/۳
$CO$	۱۶	۴۴/۰
کل	۳۶۳۸	۱۰۰/۱۰۰



## موازنه 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 تازه تهیه کنید. مخزنی حاوی محلول اسید باطری‌های کهنه در دست است که دارای  $43/12\%$  اسید می‌باشد. اگر  $200\text{ kg}$  محلول  $77/77\%$  اسید به مخزن اضافه شود و محلول نهایی دارای  $63/18\%$  اسید باشد، چند کیلوگرم اسید باطری تولید شده است.



مبنا:  $200\text{ kg}$  محلول از اسید  $77/77\%$

$$F + 200 = P$$

موازنه سازنده‌ها

$$\text{H}_2\text{SO}_4: \quad F(1243/0) + 200(777/0) = P(1863/0)$$

$$\text{H}_2\text{O}: \quad F(8757/0) + 200(223/0) = P(1837/0)$$

روش حل جبری:

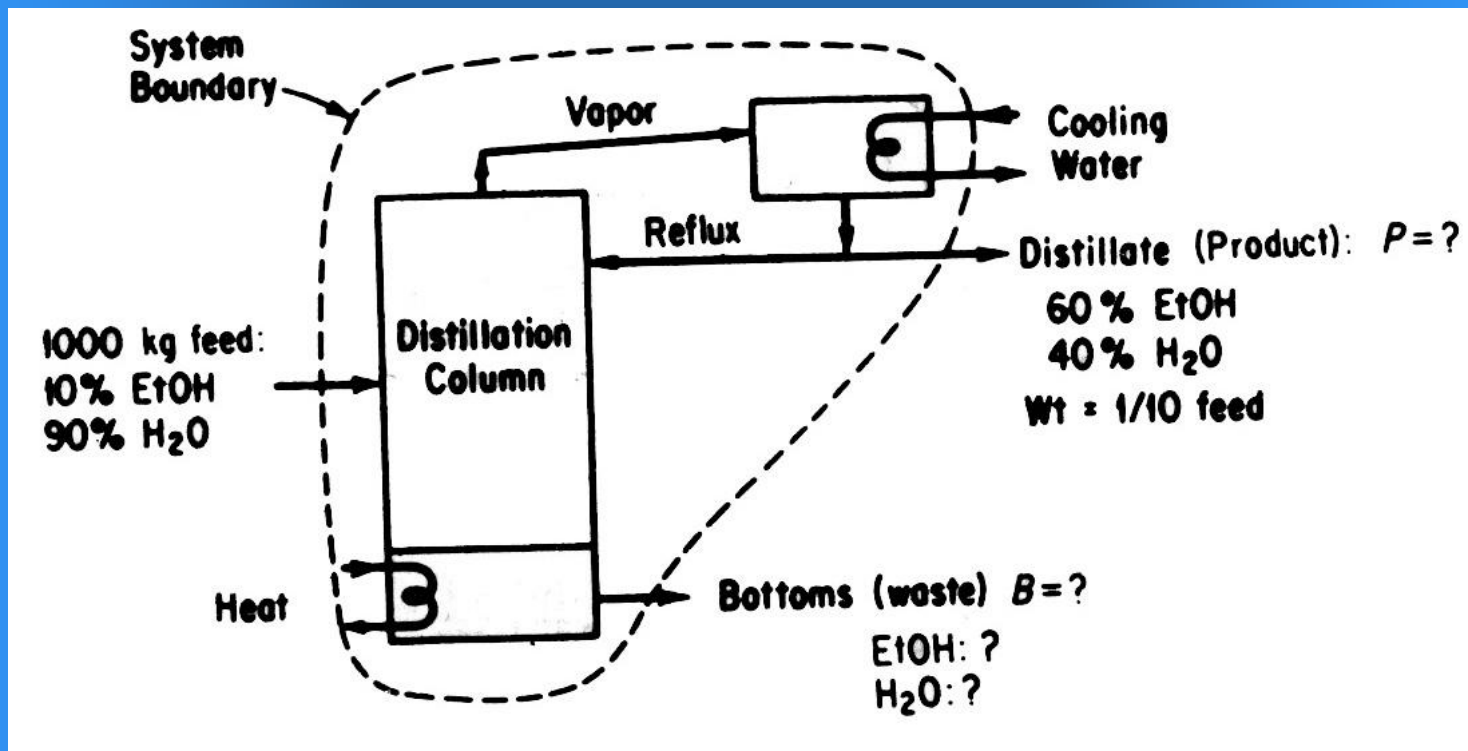
$$(P - 200)(1243/0) + 200(777/0) = P(1863/0)$$

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

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

## 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؟



مینا: یک کیلوگرم خوراک

نوع موازنه

خروجی = ورودی

کل مواد :

$$0.1 = D + W$$

EtOH:

$$0.1(35) = D(85) + W(5)$$

H2O:

$$0.1(65) = D(15) + W(95)$$

اولی و دومی

$$0.1(35) = (1 - D)(5) + D(85)$$

حل جبری لازم است

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

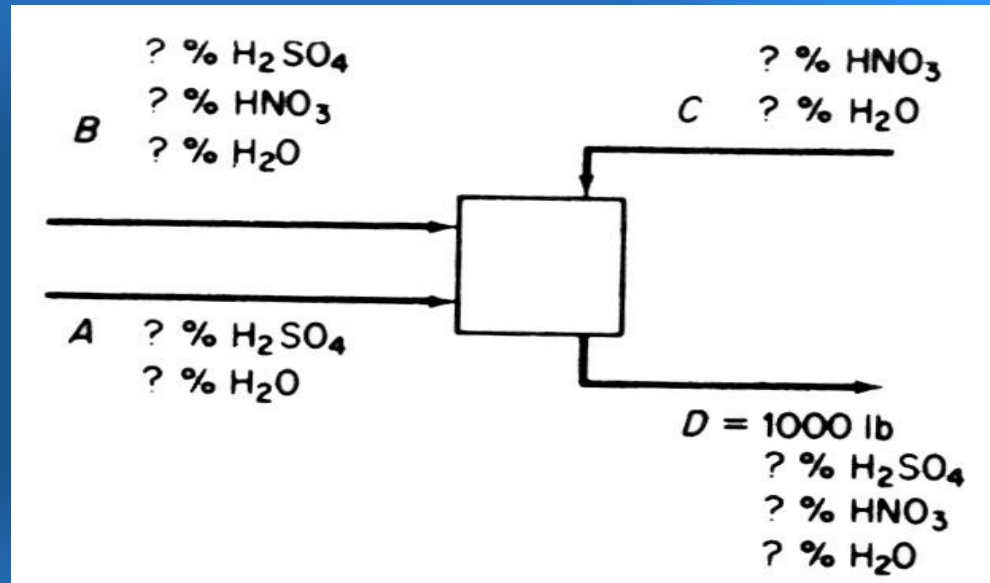
$$W = 625/0$$

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 اندازه گیریهای لازم که جهت تعیین سایر جریانها و ترکیب نسبی آنها ضروری است چند است.

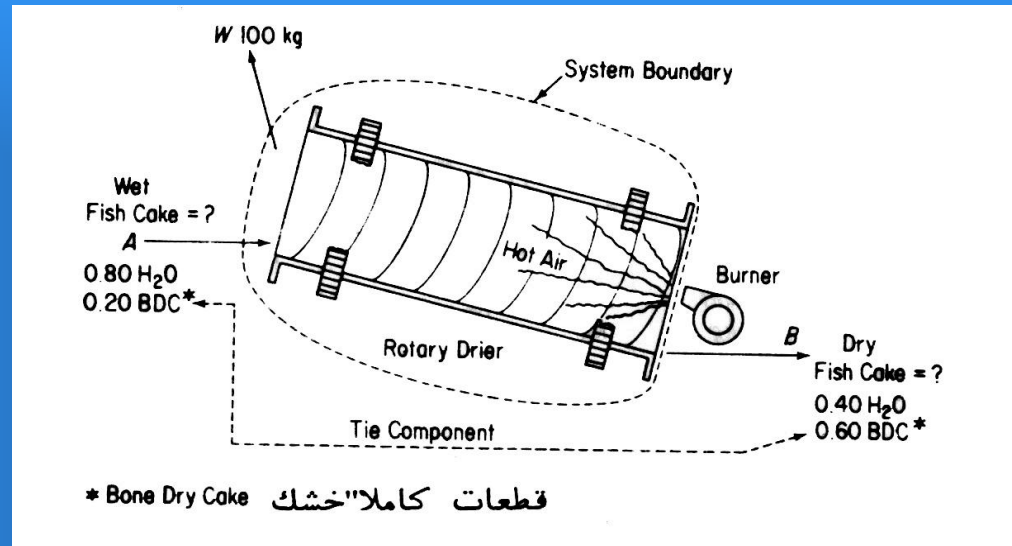


جریان	درجه آزادی
A	۲
B	۳
C	۲
D	۲
جمع	۹

در کل فقط سه موازنه می توان بر قرار کرد یعنی  $6 = 9 - 3$  ترکیب نسبی و جریان را باید مشخص کرد. سه مقدار با معادلات موازنه قابل محاسبه اند

## مثال: خشک کردن

ماهی صید شده را می توان به غذا تبدیل کرد. استفاده مستقیم از گوشت ماهی بهره وری زنجیره غذایی را بالا می برد. در عمل آماده سازی، پس از استخراج روغن از ماهی، قطعات باقی مانده را در خشک کن های دوار کاملاً خشک کرده و آسیاب و بسته بندی می کنند. محصول نهایی حاوی ۶۵٪ پروتئین است. از یک توده ماهی فاقد روغن که دارای ۸۰٪ آب است (۲۰٪ دیگر وزن باقی مانده خشک ماهی ها BDC است) ۱۰۰ کیلوگرم آب خارج شده و محصول بجا مانده ۴۰٪ آب دارد. مطلوب است وزن قطعات ماهی ورودی به خشک کن.



دو معادله مستقل می توان برقرار کرد

جریان A , B مجهول

مبنا: 100 kg آب تبخیر شده

ترکیب نسبی اجزاء معلوم

خروجی = ورودی

نوع موازنه

: موازنه کلی مواد

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

: موازنه BDC

$$20\%A = 6\%B \Rightarrow B = \frac{0.2A}{0.06} = \frac{1}{3}A$$

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

$$\frac{2}{3}A = 100$$

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

کیک اولیه

حل به طریق جسم رابط:

مبنا:  $100 \text{ kg}$  قطعات ماهی

ماده نهایی = ماده از دست رفته - ماده اولیه



سازنده‌ها	Kg درصد	کیک اولیه kg	Kg	درصد
H <sub>2</sub> O	۸۰	100	?	۴۰
BDC	۲۰	← جسم رابط →	۲۰	۶۰
کل	۱۰۰		?	۱۰۰

$60/100 \times X = 20$

$$60/100 B = 20$$

$$B = 3/33 \text{ kg} \text{ / کیک نهایی } 100 \text{ kg}$$

کیک اولیه ۱۰۰ kg / تبخیر شده H<sub>2</sub>O ۷/۶۶ kg = کیک نهایی ۳/۳۳ kg - کیک اولیه ۱۰۰ kg : موازنه کلی

استفاده از موازنه آب

۲۰ Kg BDC	در کیک نهایی ۴۰kg H <sub>2</sub> O
کیک اولیه ۱۰۰ kg	در کیک خشک ۶۰ kg BDC

کیک اولیه ۱۰۰kg / تبخیر شده ۳/۱۳kg H<sub>2</sub>O =

به ۱۰۰kg H<sub>2</sub>O تغییر مبنا می دهیم

کیک اولیه ۱۰۰ kg	تبخیر شده ۱۰۰kg H <sub>2</sub> O
تبخیر شده ۷/۶۶ H <sub>2</sub> O	کیک اولیه ۱۵۰kg =

مبنا = یک کیلوگرم BDC

نهایی = از دست رفته - اولیه

سازنده	جزء	Kg	كسر
H <sub>2</sub> O	۸۰/۰	۱۰۰	۴۰/۰
BDC	۲۰/۰		۶۰/۰
كل	۰۰/۱		۰۰/۱

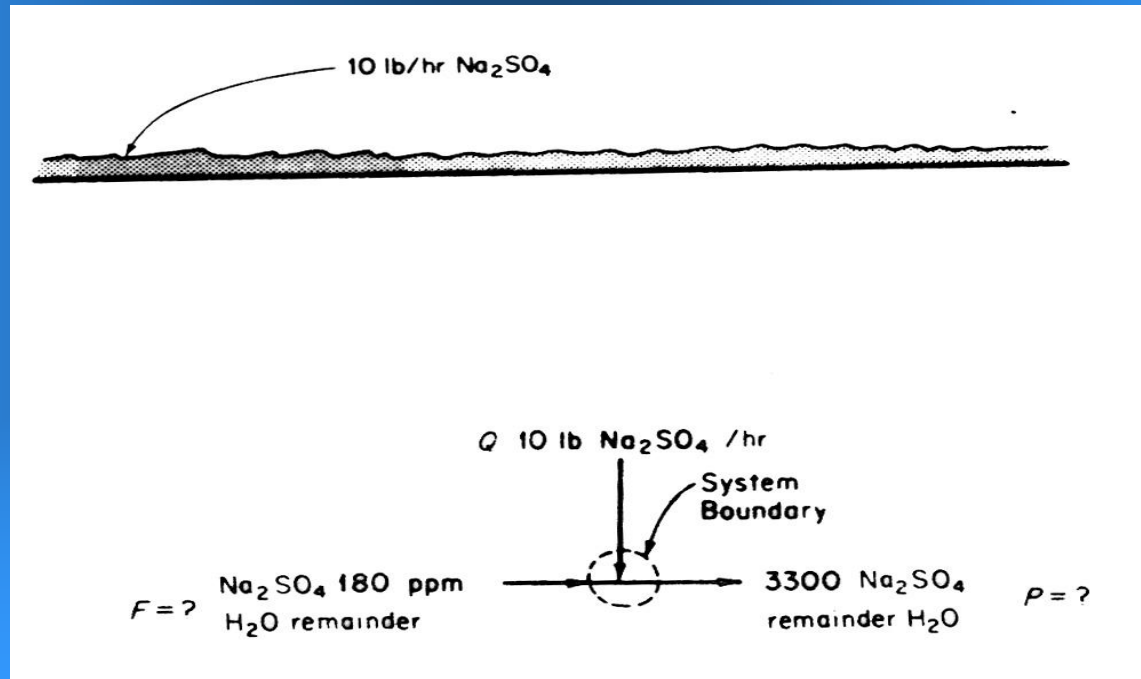
$$\frac{۰/۸۰ \text{ kgH}_2\text{O}}{۰/۲۰ \text{ kgBDC}} - \frac{۰/۴۰ \text{ kgH}_2\text{O}}{۰/۶۰ \text{ kgBDC}} = ۴/۰ - ۰/۶۷ = ۳/۳۳ \text{ kgH}_2\text{O} / \text{kgBDC}$$

موازنه آب:

۱ kg BDC	تبخیر شده ۱۰۰ kg H <sub>2</sub> O	کیک اولیه ۰/۱ kg	= ۱۵۰ kg کیک اولیه
۳۳/۳ Kg H <sub>2</sub> O		۲/۰ kg BDC	

## 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  $180 \text{ ppm Na}_2\text{SO}_4$  را نشان می‌دهد. اگر  $10 \text{ lb}$  سولفات سدیم را به تدریج و به طور یکنواخت در یک ساعت به آب بیفزاییم و تجزیه آب در پایین دست  $3300 \text{ ppm}$  سولفات سدیم را نشان دهد، شدت جریان بر حسب  $\frac{\text{gal}}{\text{hr}}$  چند است.



## حل به طریق جسم رابط:

مبنا: محلول اولیه ۱۰۰ lb (آب + سولفات اولیه)

سازنده‌ها	اولیه درصد lb	جسم رابط	نهایی
H <sub>2</sub> O	۹۸۲/۹۹	↔	۶۷۰/۹۹
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	۰۱۸/۰		۳۳۰/۰
کل	۱۰۰/۱۰۰		۱۰۰/۱۰۰

موازنه آب:

$$\begin{array}{|l}
 ۳۳/۰ \text{ lb Na}_2\text{SO}_4 \\
 ۶۷۰/۹۹ \text{ lb H}_2\text{O} \text{ نهایی}
 \end{array}
 \left| \begin{array}{l}
 ۹۸۲/۹۹ \text{ lb H}_2\text{O} \text{ اولیه} \\
 ۱۰۰ \text{ lb محلول اولیه}
 \end{array} \right. = ۳۳۱/۰ \text{ lb Na}_2\text{SO}_4 / ۱۰۰ \text{ lb محلول اولیه}$$

برقراری موازنه  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

محلول اولیه  $100 \text{ lb}$  / اضافه شده  $313/0 \text{ lb}$  =  $0.180/0 - 0.331/0$

اولیه $100 \text{ lb}$	اضافه شده $10 \text{ lb}$	$1 \text{ Gal}$	$= 383 \text{ Gal/hr}$
اضافه شده $313/0 \text{ lb}$	$1 \text{ hr}$	$35/8 \text{ Lb}$	

موازنه کل:  $F + 10 = P$

حل جبری:

موازنه آب

$$0.99982F = 0.99670P \Rightarrow P = \frac{0.99982}{0.99670} F$$

دقت حل مسئله

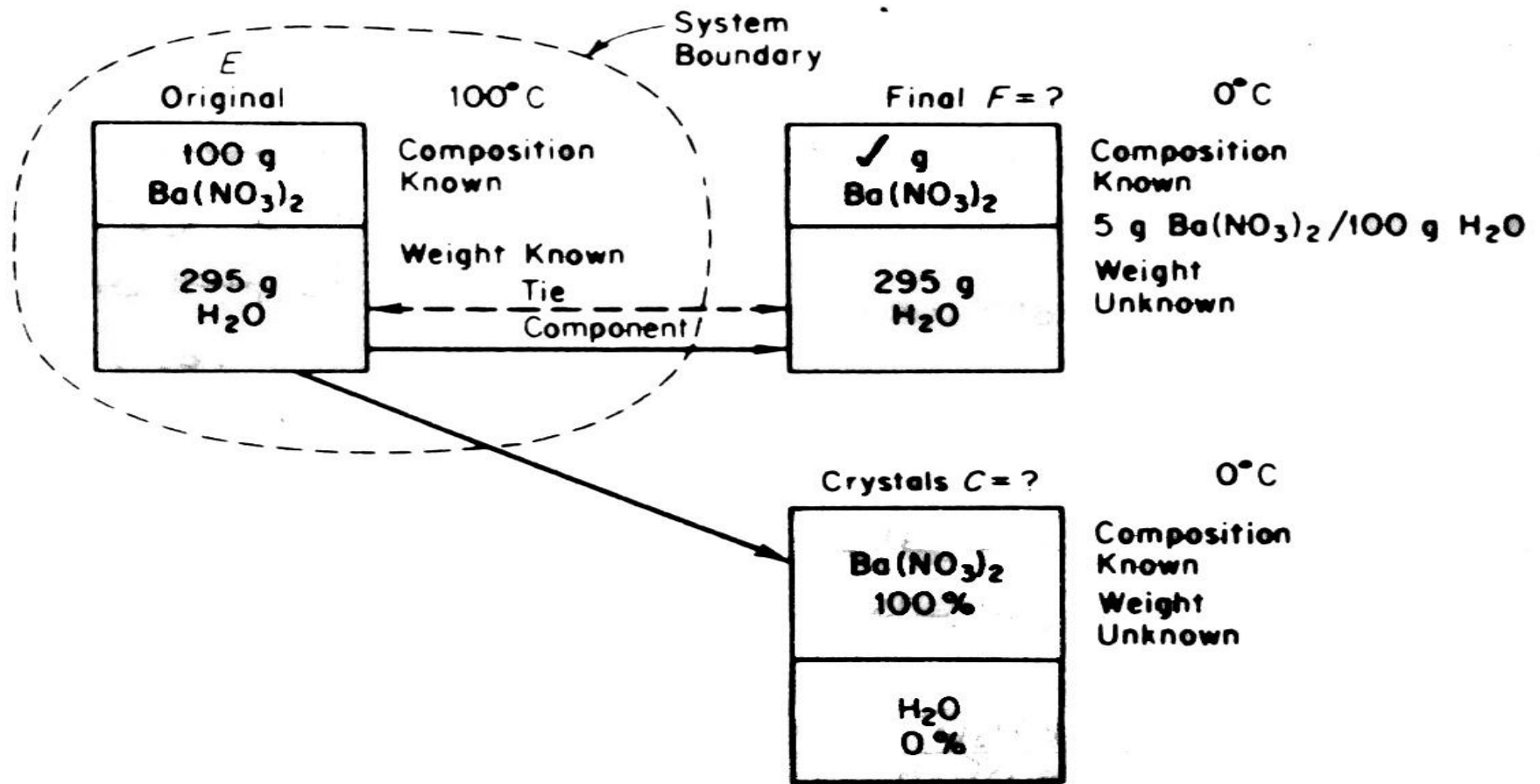
$$F + 10 = \frac{0.99982}{0.99670} F \Rightarrow F = 32.05 \text{ lb/h} = 384 \text{ gal/hr}$$

## مثال: تبلور

حلالیت نیترات باریوم در  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  برابر  $100\text{ g H}_2\text{O}$   $34\text{ g}$  است و در  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  برابر  $100\text{ g H}_2\text{O}$   $0.5\text{ g}$  است. اگر بخواهیم  $100\text{ g}$  باریوم نیترات خالص را بصورت یک محلول اشباع در  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  در آوریم، چه مقدار آب مورد نیاز است؟ اگر تا صفر درجه سرد کنیم چه مقدار نیترات متبلور از محلول خارج می شود؟

مبنا: ۱۰۰g نیترات

۱۰۰ g H <sub>2</sub> O	۱۰۰g نیترات	= ۲۹۵ g H <sub>2</sub> O
۳۴ g نیترات		





۲۹۵ g H <sub>2</sub> O	نیترات ۵g	نیترات در محلول نهایی = ۷/۱۴ g
	۱۰۰ g H <sub>2</sub> O	

نیترات کربن رسوب کرده ۳/۸۵ g = نیترات نهایی ۷/۱۴ g - نیترات ۱۰۰ g

حل جبری:

موازنه آب:

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

آب

محلول نهایی

موازنه کلی:

$$395 = C + F$$

$$F = 295 \left( \frac{105}{100} \right) = 310$$

$$C = 395 - F = 85g$$

بلورات نیترات

## مثال: احتراق

مزیت عمده انهدام گازهای متعفن و مواد مضر با احتراق کاتالیزوری نسبت به احتراق مستقیم در هزینه کمتر می باشد. احتراق کاتالیزوری در دمای پایینتر ( $500^{\circ}\text{C}$  تا  $900$ ) در مقایسه با احتراق مستقیم ( $1100^{\circ}\text{C}$  تا  $1500$ ) انجام می گیرد و مصرف سوخت کمتر است. به واسطه دمای پایین، هزینه ساخت و نصب دستگاهها کاهش می یابد.

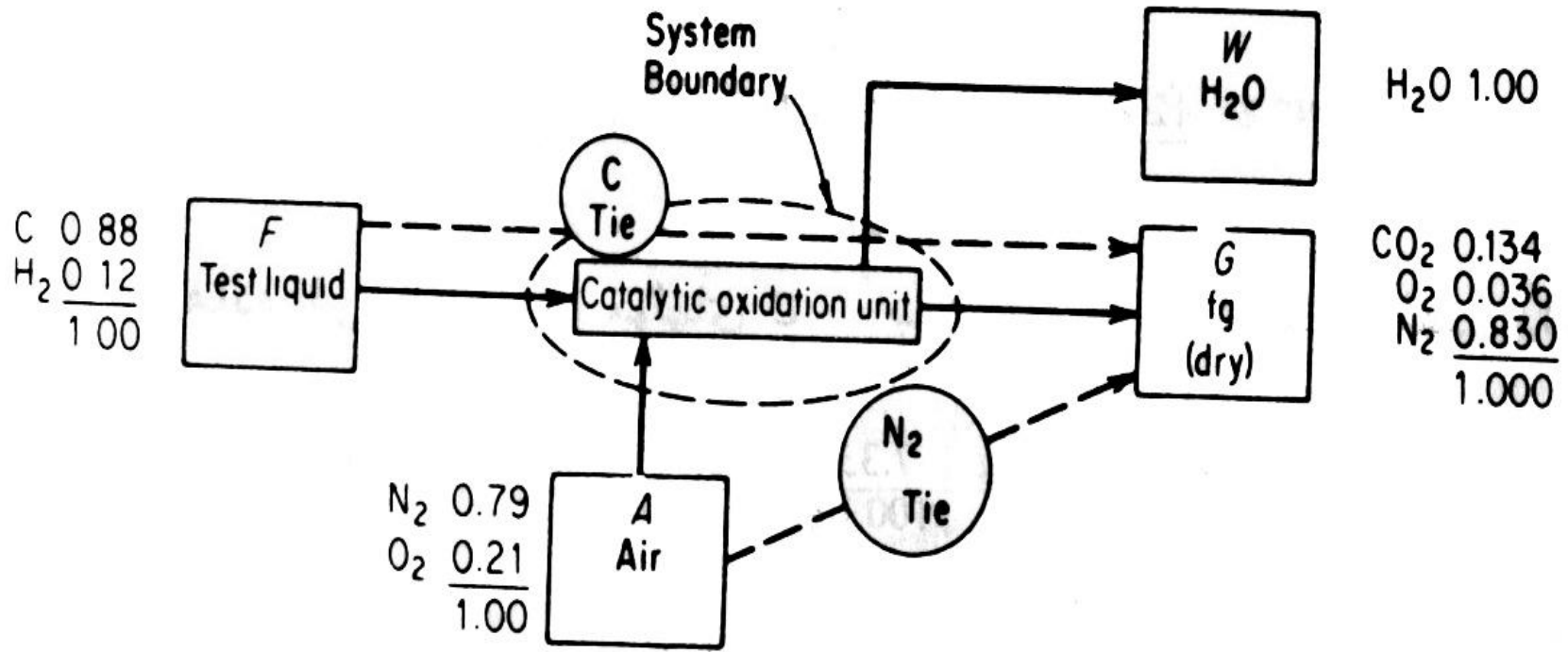
در یک آزمایش، مایعی متشکل از ۸۰٪ C و ۱۲٪  $H_2$  را تبخیر کرده می‌سوزانند. گازهای حاصل احتراق (گازودکش) ترکیب درصد زیر را دارد:

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	۰۰/۱۰۰



واکنش شیمیایی انجام می گیرد.

W و A و F و G مجهول

ترکیبهای نسبی معلوم

چهارموزانه سازنده برقرار می شود

C جسم رابط :

مبنا : ۱۰۰ مول از گاز دودکش خشک

کیلوگرم C خروجی = کیلوگرم C ورودی

خروجی C kg mol = kg mol C ورودی

مبنا : ۱۰۰kg سیال مورد آزمایش

$$\frac{۸۸\text{Kg C}}{۱\text{ Kg mol C}} = \frac{۱۲\text{Kg C}}{۳۳/۷\text{ Kg mol C}}$$

$$\frac{۱۲\text{Kg H}_2}{۱\text{ Kg mol}} = \frac{۲\text{Kg H}_2}{۰.۰۰/۶\text{ Kg mol H}_2}$$

$$\frac{۱۰۰\text{kgmol گاز خشک}}{۴/۱۳\text{ kgmolC}} = \frac{۳۳/۷\text{Kg molC}}{۱۰۰\text{Kg مایع آزمایش}} = ۶/۵۴\text{Kg mol گاز خشک / ۱۰۰kg مایع آزمایش}$$

$N_2$  جسم رابط :

ارتباط هوا با گاز خشک

میبا :  $100 \text{ kg mol}$  از گاز خشک دود کش

$0.82 \text{ Kg mol } N_2$	$0.1 \text{ Kg mol}$ هوا	$= 0.105 \text{ Kg mol}$ هوا / $100 \text{ kg}$ گاز خشک دود کش
	$79.0 \text{ Kg mol } N_2$	

$$(0.105)(21/0) = O_2 \text{ ورودی} = 1/22 \text{ Kg mol } O_2$$

$0.83 \text{ Kg mol N}_2$

در هوا  $21.0 \text{ Kg mol O}_2$

در هوا  $79.0 \text{ Kg mol N}_2$

گاز خشک دود کش  $100 \text{ kg}$  / ورودی  $1.22 \text{ Kg mol O}_2$

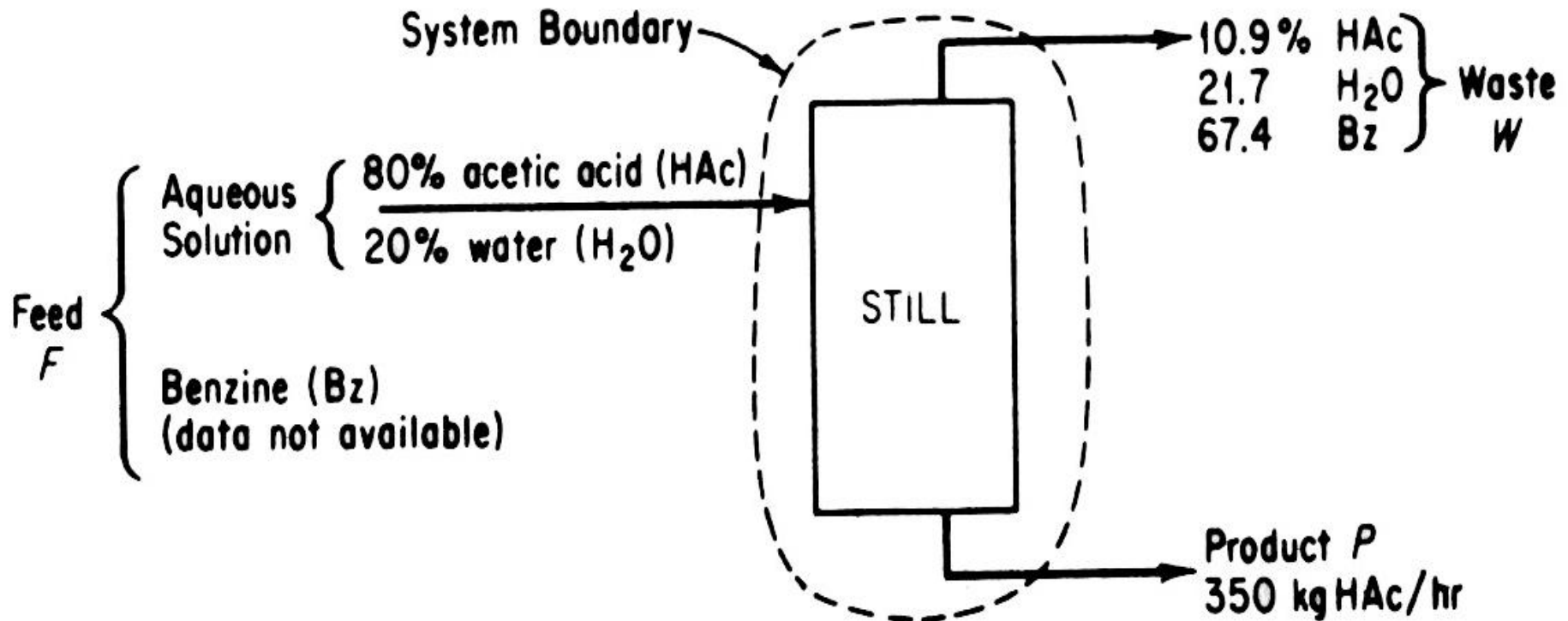
$$\text{درصد هوای اضافی} = 100 \times \frac{\text{هوای اضافی}}{\text{اضافی - ورودی}} = 100 \times \frac{3/6}{22/1 - 3/6} = 19.4\%$$

تجزیه گازهای خشک خروجی خیلی دقیق نیست



## مثال: تقطیر

از یک برج تقطیر برای جداسازی اسیداستیک، 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؟



مبنا : ۱۰۰ kg پساب

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

مواد	خوراک $\text{kg}$	پساب Kg = درصد	محصول درصد
HA	$80/10(100-x)$	۹/۱۰	۰/۱۰۰
H <sub>2</sub> O	$20/10(100-x)$	۷/۲۱	۰/۰
B	X	۴/۶۷	۰/۰
کل	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

آب جسم رابط:

$7/21g H_2O$	$80/0Kg HA$
پساب $100kg$	در هوا $20/0Kg H_2O$

$= 8/86kg HA$  در خوراک  $100Kg$  پساب

HA محصول = HA پساب - HA خوراک

$$8/86 - 9/10 = 9/75$$

موازنه HA:

مبنای جدید: ( $350 kg HA/hr$ ) یکساعت

$4/62 kg B$ در خوراک	محصول $350 kg HA$
در محصول $9/75 HA$	$hr$

$= 311Kg B/hr$

میبا: یک ساعت کار یا محصول ۳۵۰ kg HA

موازنه کل:

$$F = W + 350$$

موازنه H<sub>2</sub>O:

$$F \left[ \frac{0.20(100 - x)}{100} \right] = W(0.217)$$

موازنه HA:

$$F \left[ \frac{0.80(100 - x)}{100} \right] = W(0.109) + 350(1/0)$$

موازنه B:

$$F \left( \frac{x}{100} \right) = W(0.674)$$

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

$$\frac{0.2(100-x)}{x} = \frac{0.217}{0.674} \quad \frac{100-x}{x} = 1/61$$
$$\Rightarrow x = 38/3 \Rightarrow 100-x = 61/7$$

$$12/34F = 21/7W \Rightarrow W = 0.569$$

$$0.431F = 350 \Rightarrow F = 811/4$$

$$B = 311 \text{ kg/hr}$$

## مثال: اقتصاد

در کارخانه، زغالسنگ را بر اساس رطوبت و خاکستر خریداری می کنند. فرض کنید اولین وظیفه محول شده مأموریت خرید زغالسنگ باشد. بازاریاب شرکت قرارداد زغالسنگی (ماه/بار ۱۰) با رطوبت ۲/۳٪ و خاکستر ۳/۵٪ به بهای هر تن ۸۵/۴ دلار پیشنهاد می کند (تحویل). شما می پذیرید. میزان رطوبت در گزارش آزمایشگاه ۵/۴٪ و خاکستر ۶/۵٪ است. در صورت حساب (تن/دلار ۸۵/۴) نوشته شده است. بهای واقعی هر تن زغالسنگ چند دلار است؟

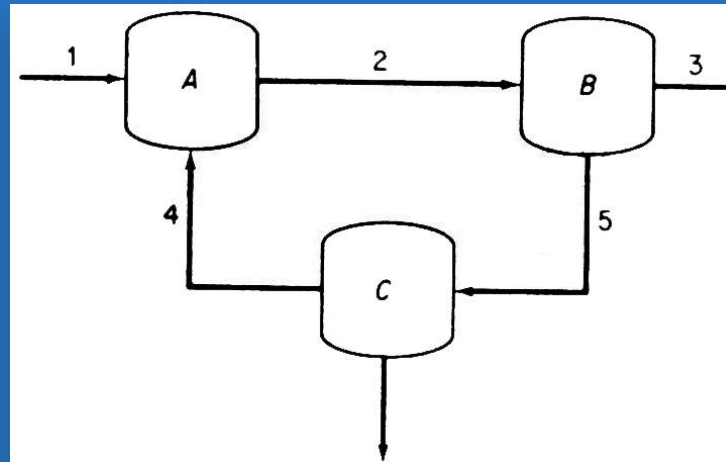
## مبنا: یک تن زغالسنگ تحویل شده

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

دولار ۸۵/۴	قرارداد ۱ ton	قابل احتراق ۸۹۹/۰ ton	تن تحویل داده شده / دلار ۷۶/۴ =
قرارداد ۱ ton	قابل احتراق ۹۱۵/۰ ton	تحویل داده شده ۱ ton	

## جریان برگشتی بدون واکنش شیمیایی

نمودار زیر را بررسی کنید. حداکثر تعداد موازنه مستقل که در این سیستم می توان برقرار کرد چندتاست. هر جریان متشکل از سه سازنده اتانول، استون و متانول است.



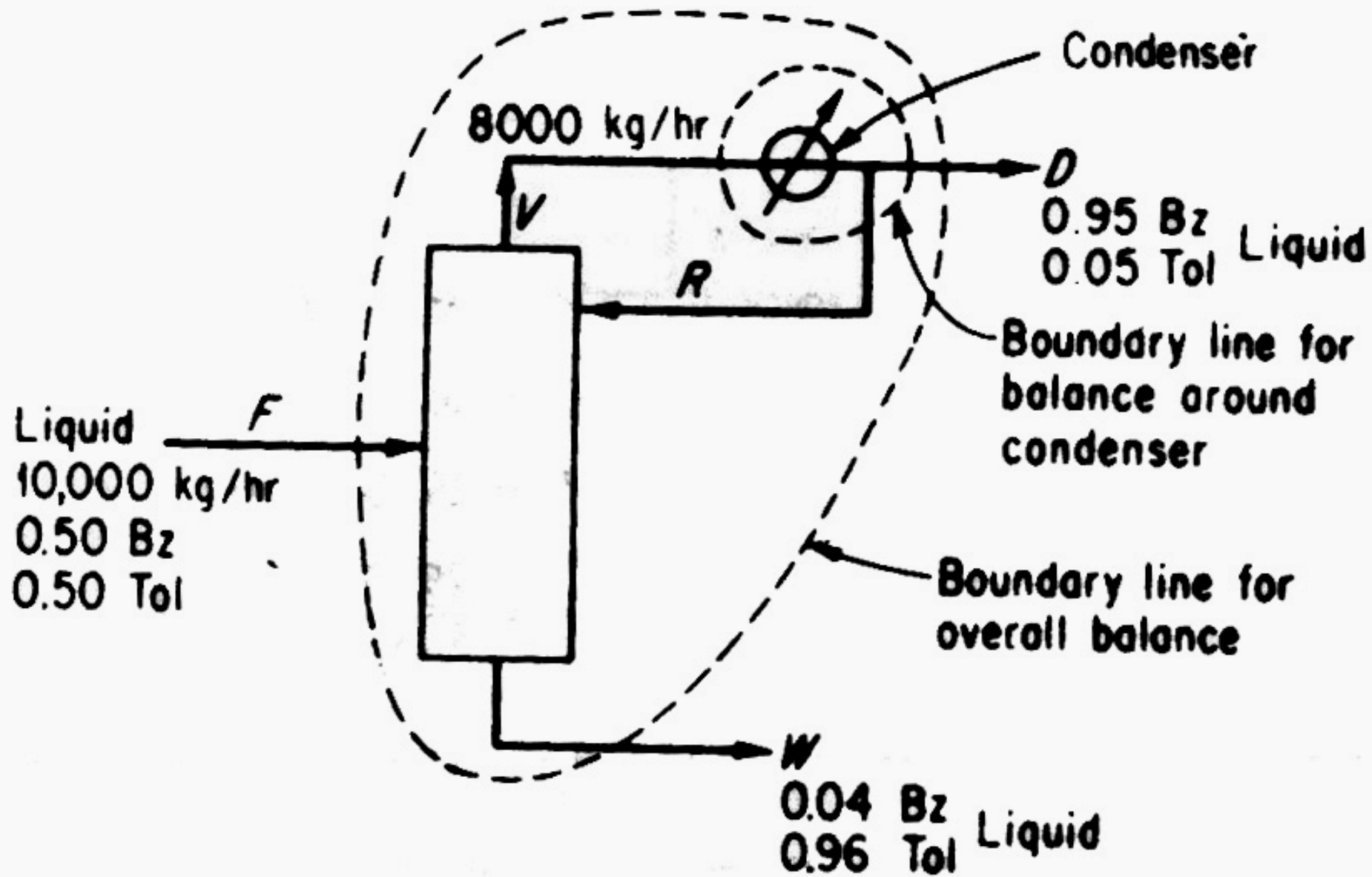
در هر واحد A و B و C سه موازنه مستقل می توان برقرار کرد: مجموعاً ۹ معادله

حداکثر تعداد موازنه های مستقل از مجموع سازنده ها در هر واحد پس از افزودن واحدها به یکدیگر تعیین می شوند.



## مثال: جریان برگشتی بدون واکنش شیمیایی

در یک ستون تقطیر  $10000 \text{ kg / hr}$  مخلوطی متشکل از ۵۰٪ بنزن و ۵۰٪ تولوئن تفکیک می‌شود. محصول فوقانی 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  $8000 \text{ kg / hr}$  است. جزئی از این محصول را به صورت جریان برگشتی به برج برمی‌گردانند. و بقیه جهت مصارف دیگر خارج می‌شود. با فرض اینکه جریان فوقانی برج  $V$ ، محصول خروجی  $D$ ، جریان برگشتی  $R$  دارای ترکیب نسبی یکسان باشند مطلوبست نسبت  $R$  به  $D$ .



میبا: ۱۰۰۰۰ kgF

R موازنه اختیاری است.

ابتدا از موازنه برای D (W<sub>r</sub>) و سپس برای تعیین R موازنه در اطراف چگالنده برقرار می کنیم. برای D جسم رابط وجود ندارد. روش حل جبری ضروری است. پس از D، R را از طریق تفاضل حساب می کنیم.

$$F = D + W$$

موازنه کل:

$$۱۰۰۰۰ = D + W$$

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

موازنه سازنده (بنزن):

$$۱۰۰۰۰ \cdot (۰/۵۰) = D(۰/۹۵) + W(۰/۰۴)$$

$$5000 = 0.95(10000 - W) + 0.4W$$

$$W = 4950 \text{ kg/hr}$$

$$D = 5050 \text{ kg/hr}$$

موازنه در اطراف چگالنده:

$$V = R + D$$

$$8000 = R + 5050$$

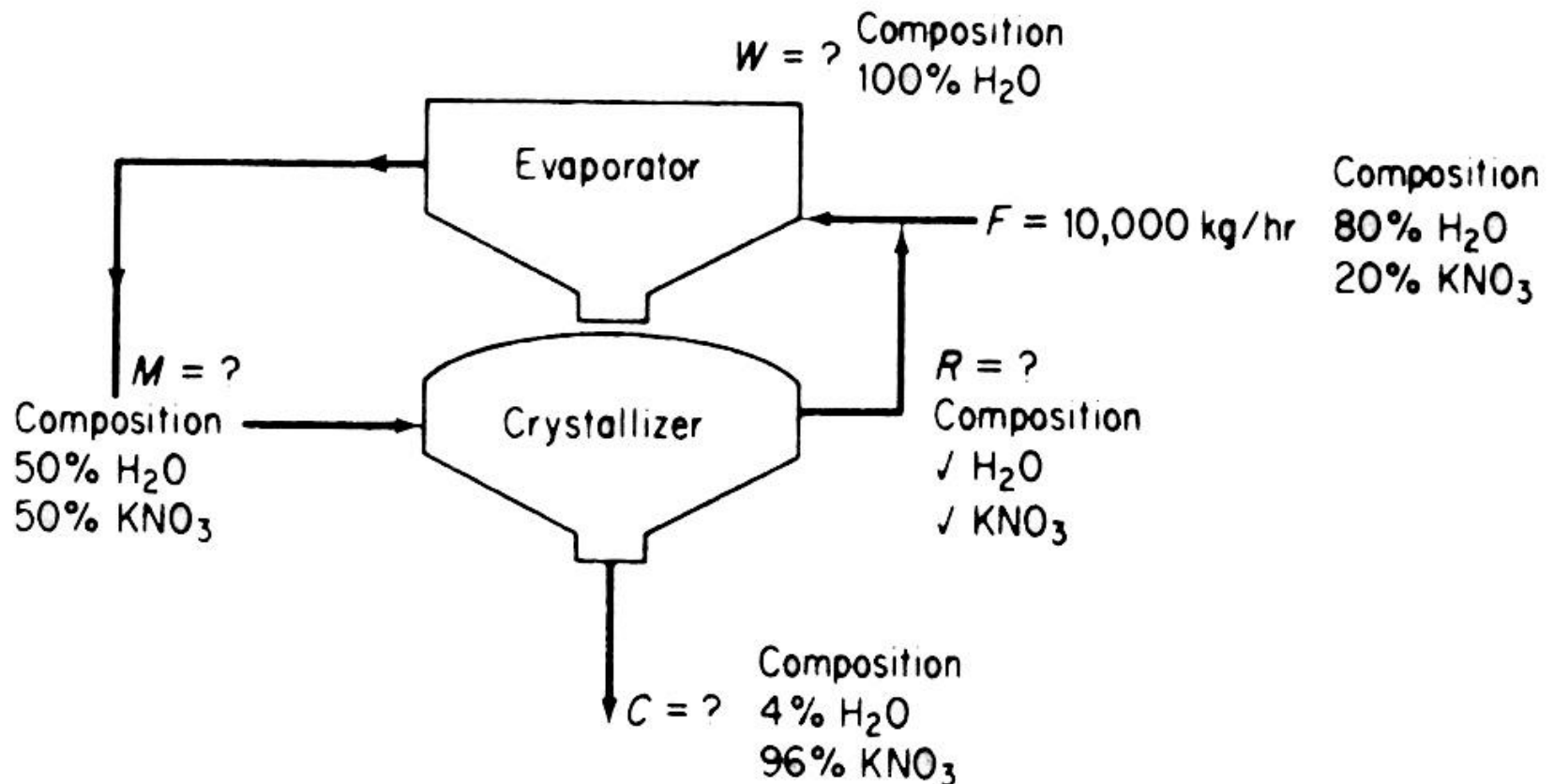
$$R = 2950 \text{ kg/hr}$$

$$\frac{R}{D} = \frac{2950}{5050} = 0.584$$

# مثال: جریان برگشتی بدون واکنش شیمیایی

نتایج مربوط به یک تبخیر کننده در شکل دیده می شود.

مطلوبست شدت جریان برگشتی ( $\text{kg / hr}$ ).



C و W و M و R چهار مجهول 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.

مبنا = ۱ kg آب

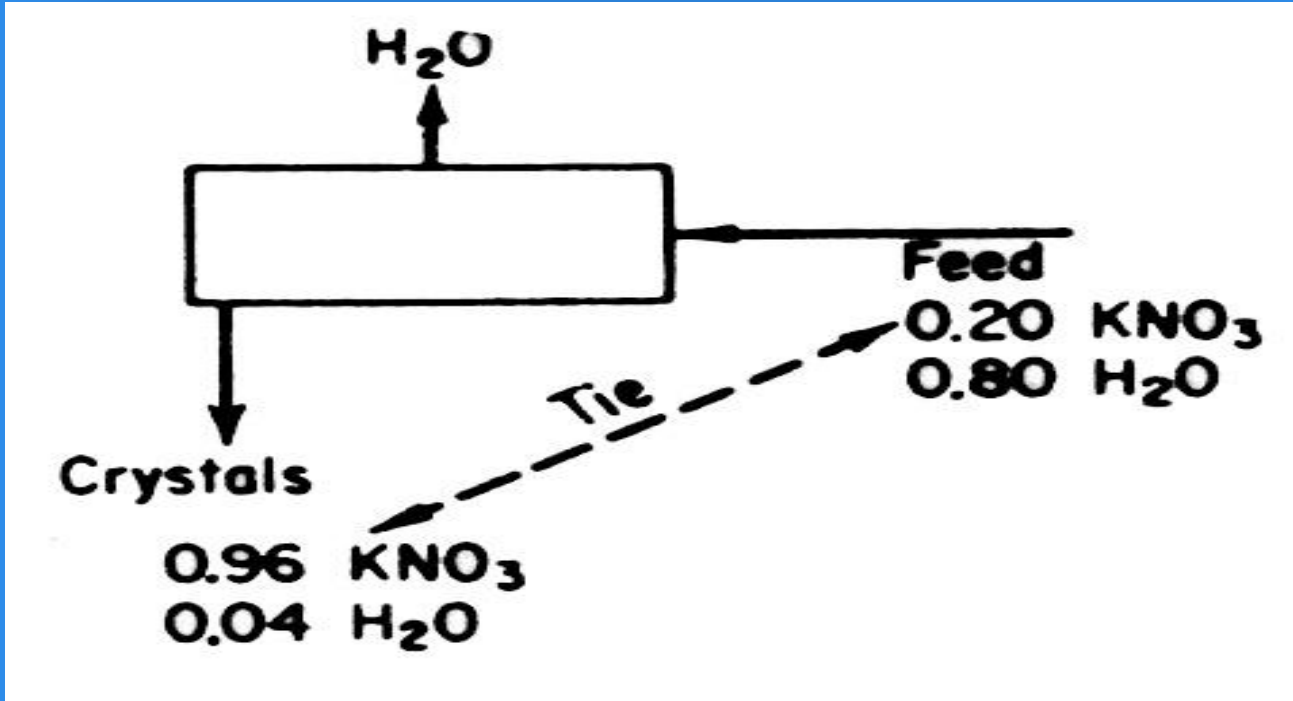
$$0.1 \text{ kg} + 0.6 \text{ kg } KNO_3 = 0.7 \text{ Kg}$$

$0.6 KNO_3$	آب ۱ Kg	محلول برگشتی $0.7 \text{ kg } KNO_3 / \text{kg}$ =
۱ Kg $H_2O$	محلول ۰.۷ Kg	

$$\left\{ \begin{array}{l} 0.37\% KNO_3 \\ 0.62\% H_2O \end{array} \right.$$

جسم رابط:  $KNO_3$  است در کل فرآیند:

مبنا = یک ساعت یا  $1000 \text{ kg}$  خوراک



خوراک $10000 \text{ kg}$	نیترات $2010 \text{ kg}$	بلور $1 \text{ kg}$	$C = 2083 \text{ kg / hr}$ بلور
$1 \text{ hr}$	$1 \text{ Kg F}$	نیترات $9910 \text{ kg}$	

## موازنه در اطراف متبلور کننده

$$M = R + C$$

$$M = R + 2083$$

$$Mw_M = R.w_R + Cw_c$$

سازنده‌ها

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

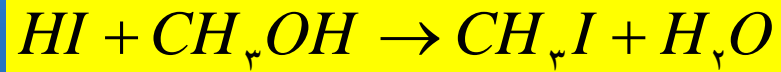
$$5/0 (2083 + R) = 375/0 R + 20000$$

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



مثال: جریان برگشتی همراه با واکنش شیمیایی

در تولید متیل یدید، روز/۲۰۰ kg اسید HI به متانول اضافه می شود:

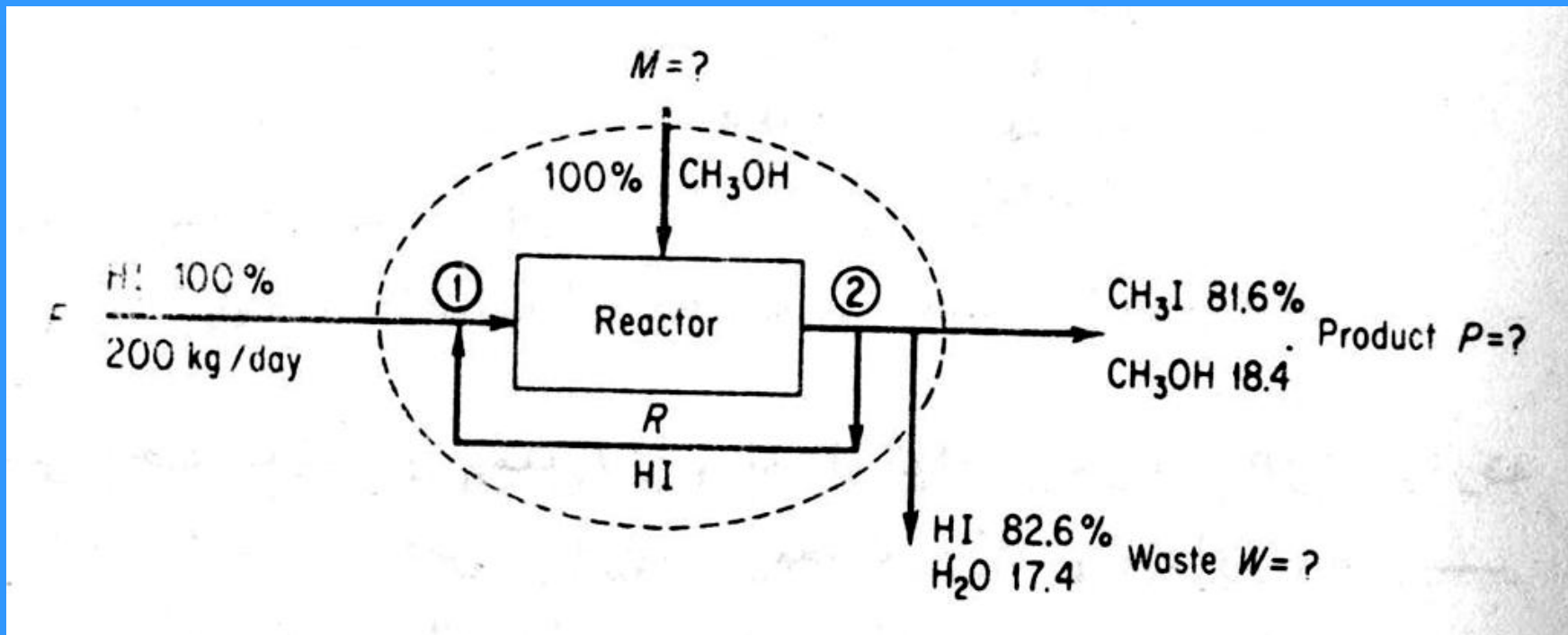


اگر محصول شامل ۶/۸۱٪ متیل یدید به همراه متانول ترکیب نشده و پساب متشکل از ۶/۸۲٪ اسید

HI و ۴/۱۲٪ آب فرض شود و درجه کامل شدن واکنش در واکنشگاه ۴۰٪ باشد مطلوبست:

الف) وزن متانول اضافه شده در روز

ب) مقدار HI در جریان برگشتی



## مجهولات M و W و P و R

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

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

مبنا = 100 kg پساب

جزء	درصد = Kg	وزن مولکولی	Kg mol
HI	6/82	128	646/0
H2O	4/17	18	968/0
کل	0/100		

مبنا = 100 kg محصول

سازنده	درصد = Kg	MW	kgmol	معادل CH <sub>3</sub> OH از kgmol
CH <sub>3</sub> I	6/81	142	575/0	575/0
CH <sub>3</sub> OH	4/18	32	575/0	575/0
				150/1

عنصر رابط وجود ندارد. برای ارتباط M به P می توان از موازنه  $\text{CH}_3$  و نیز از نسبت استوکیومتری ۱ استفاده کرد.

$$\frac{\text{کیلومول آب } ۹۶۸/۰}{۱۰۰ \text{ Kg W}} \left| \frac{۱ \text{ Kg HI}}{۱ \text{ kg آب}} \right| \frac{۱۲۸}{۱ \text{ Kg mol HI}} = ۰,۰۱۲۴ \text{ kg HI} / ۱۰۰ \text{ Kg W}$$

مبنا = ۱۰۰ kg پساب

کیلو مول آب ۹۶۸/۰	۱ Kgmol W	(واکنش داده و نداده) کل ۱۵/۱ kg mol CH <sub>3</sub> OH
۱۰۰ Kg W	۱ kg mol آب	واکنش داده ۵۷۵/۰ Kg mol CH <sub>3</sub>

$$\times \frac{۳۲ \text{ kg } CH_3OH}{۱ \text{ kg } CH_3OH} = ۶۱/۹ \text{ kg } CH_3OH / ۱۰۰ \text{ kg } W$$

$$\text{کل HI ورودی} = F = ۱۲۴ + ۶/۸۲ = ۶/۲۰۶ \text{ kg HI} / ۱۰۰ \text{ kg } W$$

مبنا = یک روز

$968/0 \text{ Kg HI}$	$100 \text{ Kg W}$	$9/61 \text{ kg CH}_3\text{OH}$	$= 599 \text{ kg CH}_3\text{OH} / \text{روز}$	:M
1 day	$6/206 \text{ kg HI}$	$100 \text{ Kg W}$		
	$2000 \text{ Kg HI}$	$100 \text{ Kg W}$	$= 968 \text{ kg W} / \text{روز}$	:W
	1 day	$6/206 \text{ kg HI}$		

$$2000 + 559 = 0/968 + P$$

$$P = 1631 \text{ kg} / \text{روز}$$

$2000 + R =$  خوراک راکتور =

مفید نیست

برای تعیین R: در اطراف نقطه ۱

$R + P + W =$  کل محصول

مفید نیست

در اطراف نقطه ۲

میزان کامل شدن در هر گذر از راکتور ۴۰٪ است، در نتیجه ۶۰٪ از کل خوراک ورودی تبدیل نمی شود

موازنه HI در اطراف راکتور:

$R + \text{خوراک تازه} = \text{ورودی به راکتور}$

$$(2000 + R) (60/100) = R + 968(826/100)$$

$$4001 = 40/100 R$$

$$R = 1000 \text{ Kg/hr}$$

# فصل ۳

گاز - مایع - بخار - جامد



## مثال: کاربرد شرایط متعارفی

حجمی را که به توسط 40 kg از CO<sub>2</sub> در شرایط متعارفی اشغال می شود بر حسب m<sup>3</sup> به دست آورید.

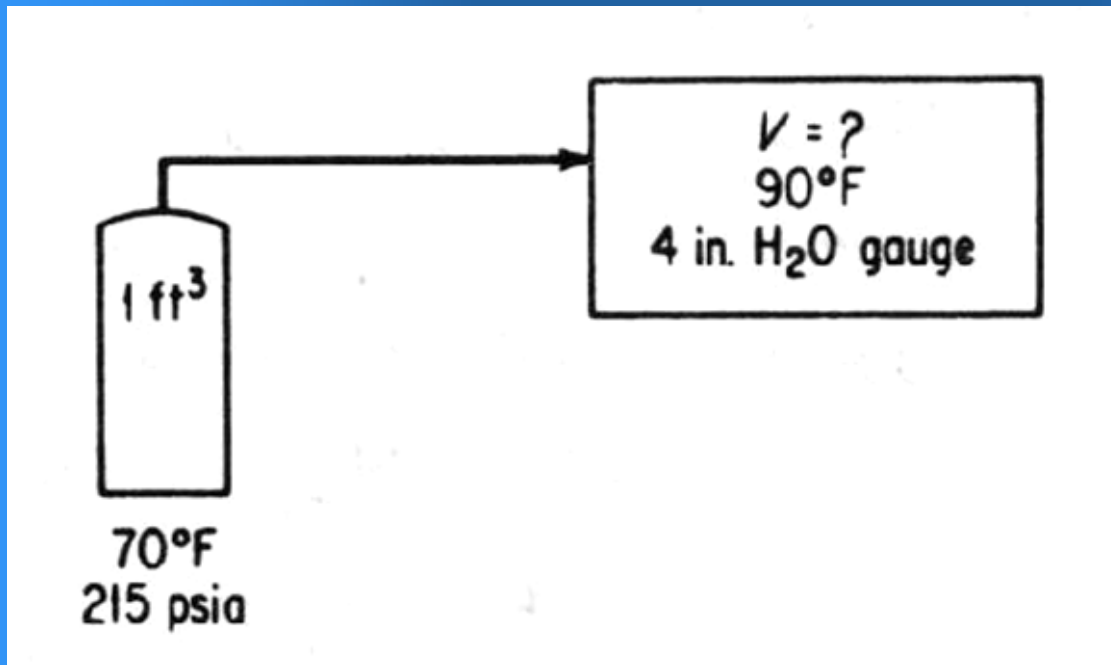
مبنا = 40 kg از CO<sub>2</sub>

$$40 \text{ kg CO}_2 \times \frac{1 \text{ kmol CO}_2}{44 \text{ kg CO}_2} \times \frac{22.4 \text{ m}^3 \text{ CO}_2}{1 \text{ kmol CO}_2} = 20.45 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad PV = nRT \quad PV = \frac{m}{M} RT$$

## مثال: قانون گاز کامل

یک سیلندر حاوی اکسیژن دارای  $1\text{ft}^3$  از  $\text{O}_2$  در  $70^\circ\text{F}$  و  $200\text{ psig}$  است. حجم این گاز در یک مخزن خشک در  $90^\circ\text{F}$  و فشار  $4\text{ in. H}_2\text{O}$  بالاتر از جو چند است. هوا سنج فشار  $9/29\text{ in.Hg}$  را نشان می‌دهد.



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

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

$$\text{فشار یک اتمسفر} = 92/29\text{ in.Hg} = 7/14 = 91/33\text{ ftH}_2\text{O}$$

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

فشار نهایی =

$$29/92 \text{ in.Hg} + \frac{4 \text{ in.H}_2\text{O}}{12 \frac{\text{in.H}_2\text{O}}{\text{ftH}_2\text{O}}} \times \frac{29/92 \text{ in.Hg}}{33/91 \text{ ftH}_2\text{O}} = 29/92 + 0/29 = 30/21 \text{ in.Hg}$$

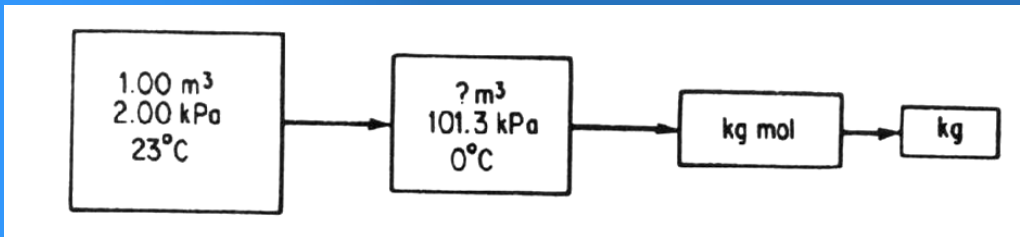
مبنای یک  $\text{ft}^3$  از اکسیژن در  $70^\circ\text{F}$  و  $200 \text{ psig}$

حجم نهایی

$$V_2 = V_1 \left( \frac{P_1}{P_2} \right) \left( \frac{T_2}{T_1} \right) \Rightarrow 1/00 \text{ ft}^3 \times \frac{55^\circ \text{ R}}{53^\circ \text{ R}} \times \frac{437 \text{ in.Hg}}{30/21 \text{ in.Hg}} = 15 \text{ ft}^3$$

## مثال: قانون گاز کامل

جرم یک متر مکعب از بخار آب را در ۲kPa و ۲۳°C به دست آورید. فرض کنید تحت این شرایط بخار آب یک گاز کامل باشد.

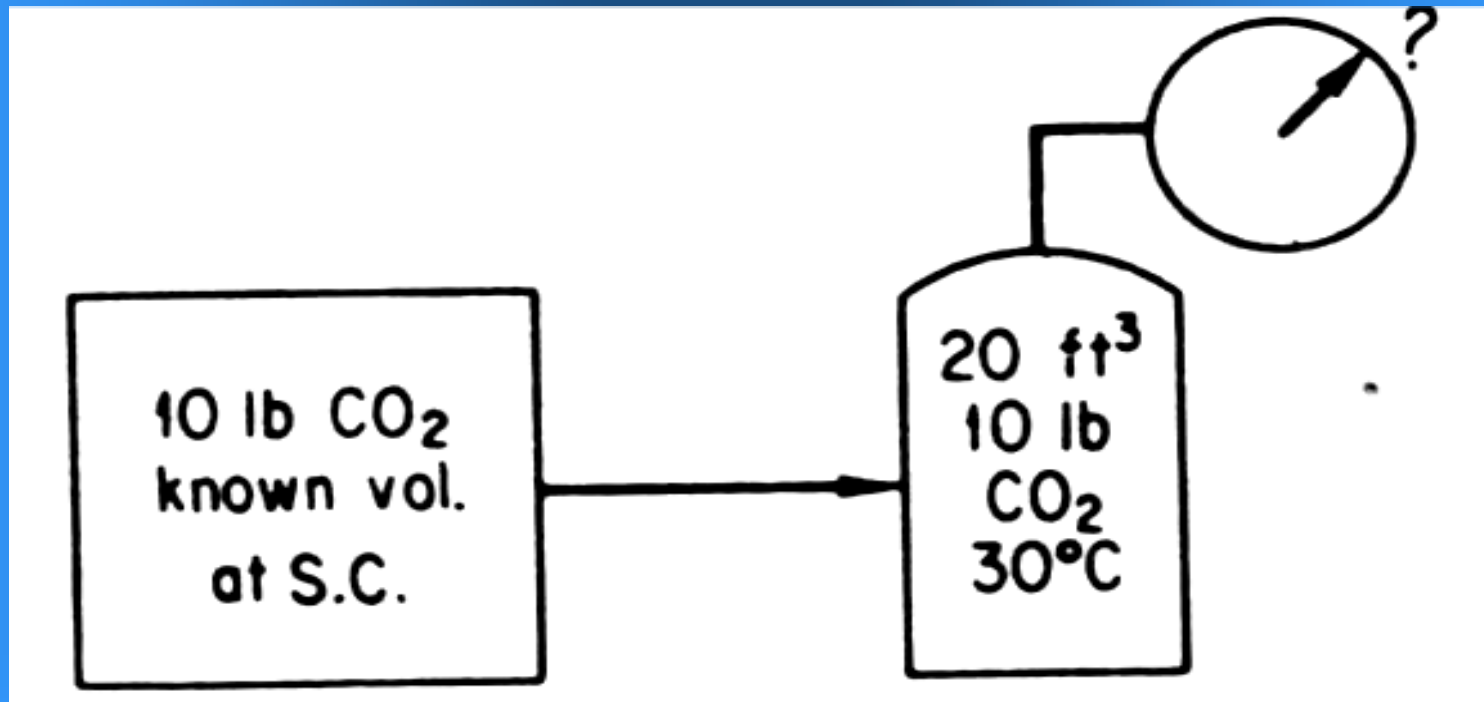


مبنا: یک  $m^3$  بخار آب اولیه

$$1/00m^3 \times \frac{2/00kPa}{101/3kPa} \times \frac{273K}{300K} \times \frac{1kgmol}{22/4m^3} \times \frac{18kg}{1kgmol} = 1/46 \times 10^{-2} kgH_2O$$

## مثال: قانون گاز کامل

مقدار  $10 \text{ lb CO}_2$  در یک مخزن آتش نشانی به حجم  $20 \text{ ft}^3$  و دمای  $30^\circ \text{C}$  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 می دهد؟



S.C. = 359 ft<sup>3</sup> = یک پوند مول گاز کامل در شرایط S.C.

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

$$14.7 \text{ psia} \times 1 \text{ lb CO}_2 \times \frac{1 \text{ lbmol}}{44 \text{ lb CO}_2} \times \frac{359 \text{ ft}^3}{1 \text{ lbmol}} \times \frac{1}{20 \text{ ft}^3} \times \frac{30.3}{273} = 66 \text{ psia}$$

## مثال: محاسبه R

مقدار R را بر حسب واحدهای مختلف بدست آورید.

$$P = ۱۴/۷ \text{ psia}$$

$$V = ۳۵۹ \text{ ft}^3 / \text{lbmol}$$

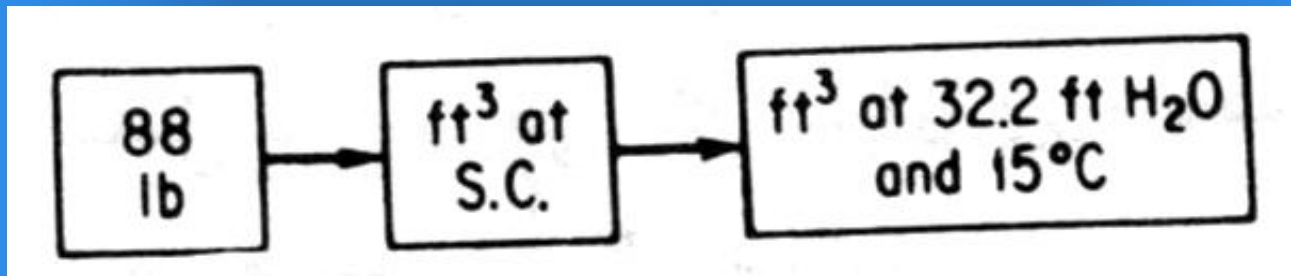
$$T = ۴۹۲^\circ \text{ R} = (۴۶۰ + ۳۲)$$

$$R = \frac{PV}{T} = \frac{۱۴/۷ \text{ psia}(۳۵۹ \text{ ft}^3 / \text{lbmol})}{۴۹۲^\circ \text{ R}} = ۱۰/۷۳ \frac{(\text{psia})(\text{ft}^3)}{(\text{ }^\circ \text{ R})(\text{lbmol})}$$

$$= ۸۲/۱۶ \frac{\text{atm.cm}^3}{\text{K}(\text{gmol})} = ۸/۳۱ \frac{\text{kJ}}{\text{K}(\text{kgmol})}$$

## مثال: کاربرد قانون گاز کامل

جسمی که توسط مقدار ۸۸ lb از  $CO_2$  در فشار  $2/32 \text{ ft H}_2O$  و دمای  $15^\circ C$  اشغال می‌شود چند است.



مینا = ۸۸ lb از  $CO_2$

$$P = 33/91 \text{ ft.H}_2O \quad \text{در S.C.}$$

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

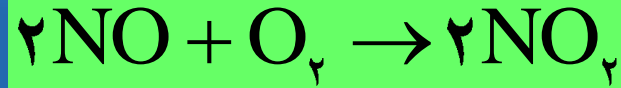
$$T = 273 \text{ K}$$

$$88 \text{ lb } CO_2 \times \frac{1 \text{ lbmol}}{44 \text{ lb } CO_2} \times \frac{359 \text{ ft}^3}{1 \text{ lbmol}} \times \frac{288^\circ C}{273^\circ C} \times \frac{33/91 \text{ ft}^3}{32/2 \text{ ft}^3} = 798 \text{ ft}^3$$



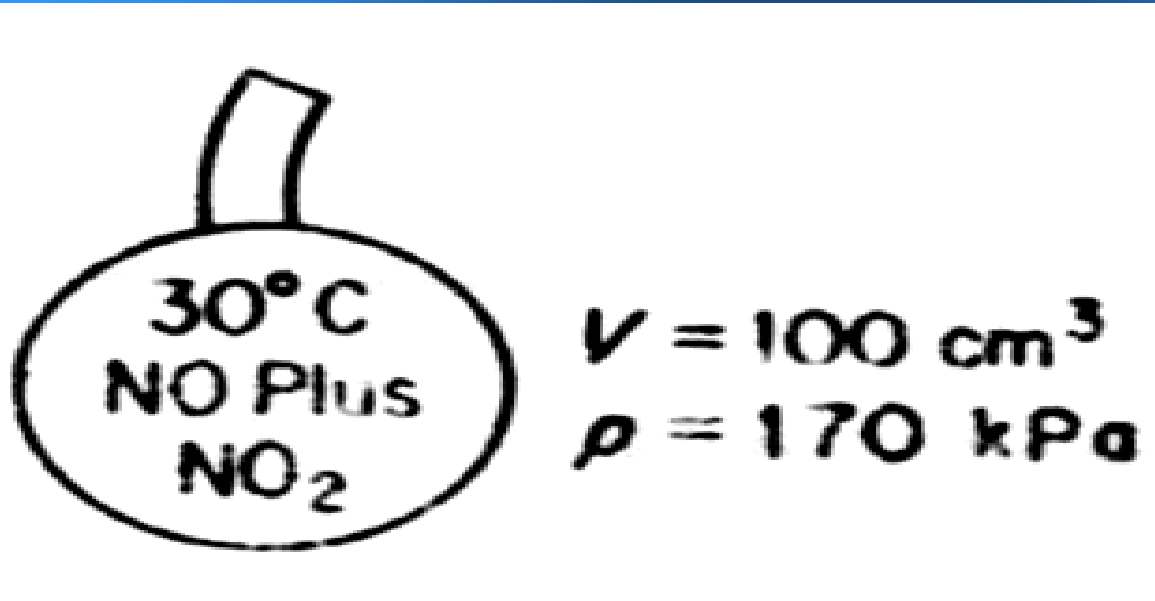
## مثال: کاربرد قانون گاز کامل

فرض کنید یک نمونه مخلوط  $\text{NO-NO}_2$  را در یک ظرف استاندارد به حجم  $100 \text{ cm}^3$  و دمای  $30^\circ\text{C}$  جمع آوری کرده‌اید. در ضمن جمع آوری مقداری از  $\text{NO}$  به  $\text{NO}_2$  تبدیل می‌شود.



بنابراین اندازه‌گیری  $\text{NO}$  به تنهایی سبب اشتباه می‌شود. اگر ظرف استاندارد حاوی  $291/0 \text{ g}$  مخلوط بوده و فشار ظرف  $170 \text{ kPa}$  باشد، چند درصد از مخلوط را گاز  $\text{NO}$  تشکیل می‌دهد.

گاز را کامل فرض کنید.



تعداد کل مولهای موجود در ظرف: ← ترکیب نسبی

$$R = \frac{۱۰۱/۳ \text{kp}(۲۲/۴ \text{l})}{۲۷۳(۱ \text{gmol})} \times \frac{(۱۰۰۰ \text{cm}^۳)}{(۱ \text{l})} = ۸/۳۱ \times ۱۰^۳ \frac{\text{kPa.cm}^۳}{\text{K.(gmol)}}$$

مبنا = ۱۰۰ cm<sup>3</sup> گاز اولیه

تعداد کل مولهای موجود در ظرف

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{۱۷۰ \text{kPa}}{۸/۳۱ \times ۱۰^۳} \times \frac{۱۰ \text{cm}^۳}{۳۰۳ \text{K}} = ۰/۰۰۶۷۵ \text{gmol}$$

x g = NO جرم

(۲۹۱/۰ - x) g = NO<sub>2</sub> جرم

مبنا = ۲۹۱/۰ گرم گاز

NO	MW = ۳۰
NO <sub>۲</sub>	MW = ۴۶

$$xgNO \times \frac{1gmol}{30g} + (0.291 - x) \times \frac{1gmolNO_2}{46g} = 0.0675$$

$$x = 0.036g$$

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

درصد وزنی NO:

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

درصد مولی NO:

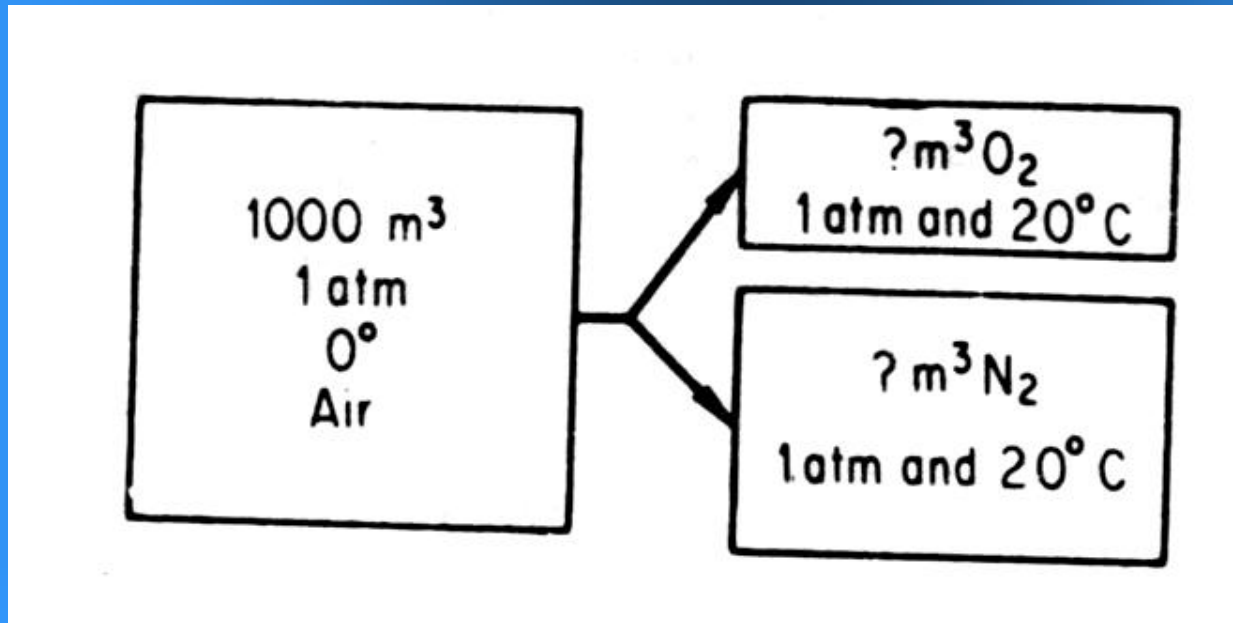
# مخلوط گازهای کامل: قانون دالتن، فشار جزئی، کسر مولی، کسر حجمی

## مثال: فشار و حجم جزئی

اتاقی بدون منفذ دارای حجم  $1000\text{ m}^3$  است. محتوای هوا متشکل از ۲۱٪ اکسیژن و ۷۹٪ نیتروژن در  $20^\circ\text{C}$  است

الف) حجم جزئی  $\text{O}_2$  در اتاق چند است؟

ب) فشار جزئی  $\text{O}_2$  در اتاق چند است؟



## حجم جزئی اکسیژن

$$V_{O_2} = (0/21)(1000) = 210 \text{ m}^3 O_2$$

$$V_{N_2} = 790 \text{ m}^3 N_2$$

۱۰۰۰ m<sup>۳</sup> در ۲۰° C

$$P_{O_2} = 21/0(0/1 \text{ atm}) = 21/0 \text{ atm}$$

مثال: محاسبه فشار جزئی با استفاده از تجزیه گاز

تجزیه یک گاز دودکش به قرار زیر است

N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
۸۰	۶	۱۴٪

این گازها در شرایط ۴۰۰°F و ۷۶۵mmHg هستند. فشارهای جزئی سازنده‌ها را حساب کنید.

مبنا = حجم ۱ kg گاز دود کش یا kgmol

سازنده	kgmol	P(mmHg)
CO2	۱۴/۰	۱۴/۰(۷۶۵)=۱/۱۰۷
O2	۰۶/۰	۹/۴۵
N2	۸۰/۰	۶۱۲
	حجم ۱/۰۰	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 می توان با استفاده از مشخصات بخار اشباع و مایع اشباع محاسبه کرد. آب را به عنوان مثال انتخاب می کنیم، زیرا بدست آوردن مشخصات و مقادیر حجمی مورد نیاز از جدول بخار به سادگی میسر است. در  $400\text{ K}$  و  $6/245\text{ Kpa}$  حجم ویژه بخار مرطوب برابر  $0.505\text{ m}^3/\text{kg}$  است. کیفیت بخار چیست؟

با توجه به جدول : مشخصات مایع و بخار به دست می آید

مبنا = بخار مرطوب 1 kg

x = کسر جرمی بخار

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

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

$$\frac{0.001067 m^3}{kg} \times \left| (1-x)kg + \frac{0.7308 m^3}{1kg} \right| \times xkg = 0.505$$

$$0.001067 - 0.001067x + 0.7308x = 0.505$$

$$x = 0.69$$



## 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 کلاپیرون

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

## 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  $110^{\circ}\text{C}$  برابر  $400\text{mmHg}$  و در  $205^{\circ}\text{C}$  برابر  $5\text{atm}$  است. فشار بخار آن را در  $245^{\circ}\text{C}$  و در نقطه بحرانی  $359^{\circ}\text{C}$  تخمین بزنید.

فشار بخار را می توان با استفاده از نمودار COX پیش بینی 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	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰

سپس فشار بخار کلروبنزن را به psia تبدیل می کنیم :

$$40.0 \text{ mmHg} \times \frac{14.7 \text{ psia}}{760 \text{ mmHg}} = 7.5 \text{ psia} \quad | \quad 23.0^\circ \text{ F}$$

$$5 \text{ atm} \times \frac{14.7 \text{ psia}}{1 \text{ atm}} = 73.5 \text{ psia} \quad | \quad 40.1^\circ \text{ F}$$

دو نقطه را روی شکل مشخص می کنیم :

	۴۷۱ °F	۶۷۸°F
پیش بینی شده	۱۵۰ Psia	۷۰۰ Psia
تجربی	۱۴۷ Psia	۶۶۶ Psia

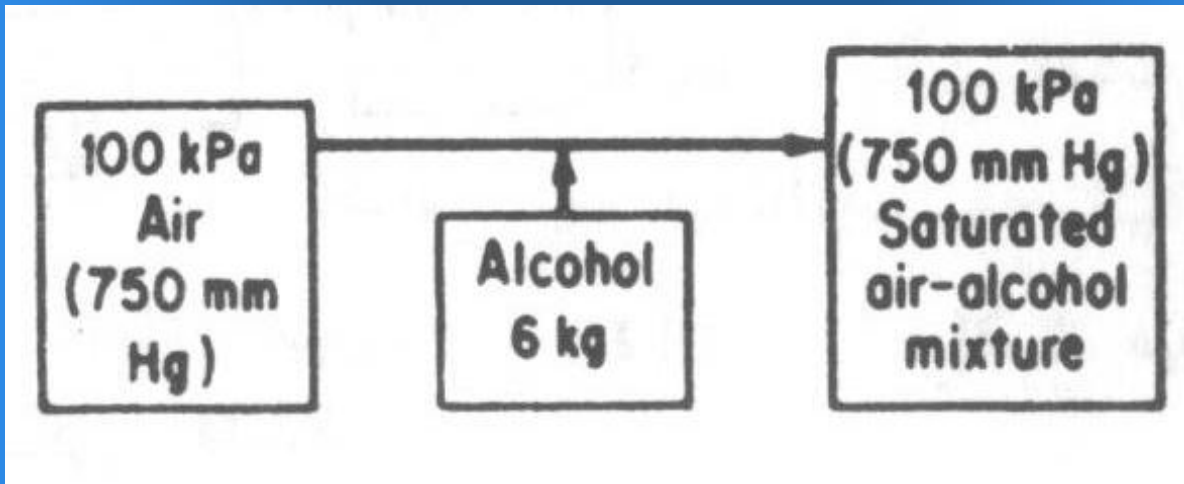
فشار بخار در سایر دماها را می توان با استفاده از نمودار و یا با برونیابی به دست آورد.

روش دیگر: با استفاده از روش اتمر

## مایعات اشباع از بخار:

### مثال: اشباع

حداقل حجم هوای خشک برحسب  $m^3$  در  $20^\circ C$  و  $100\text{ kPa}$  را که برای تبخیر  $6\text{ kg}$  الکل لازم است بدست آورید. فشار ثابت و برابر  $100\text{ kPa}$  باقی می ماند.



$$P^*_{\text{الکل}}(20^\circ C) = 93/5\text{ kPa}$$

مبنا =  $6\text{ kg}$  الکل

نسبت فشارهای جزئی = نسبت مول اکل به هوا

$$P_{\text{هوا}} = P_{\text{کل}} - P_{\text{اکل}}$$

$$P_{\text{اکل}} = 93/5 \text{ kPa}$$

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

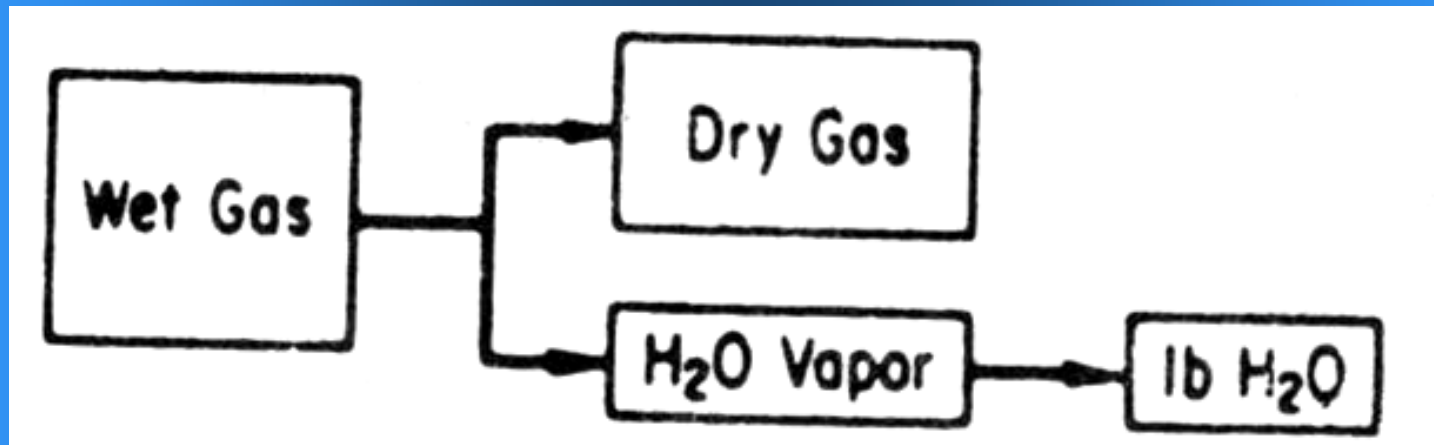
$$\frac{P_{\text{اکل}}}{P_{\text{هوا}}} = \frac{n_{\text{اکل}}}{n_{\text{هوا}}}$$

هوا:

$$6 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ kgmol}}{44 \text{ kg}} \times \frac{94/1 \text{ kgmol}}{5/93 \text{ kgmol}} \times \frac{22/4 \text{ m}^3}{1 \text{ kgmol}} \times \frac{293 \text{ K}}{273 \text{ K}} \times \frac{101/3 \text{ kpa}}{100 \text{ kpa}} = 50/4 \text{ m}^3$$

## مثال : اشباع

یک مخزن گاز تلسکوپی حاوی  $10000 \text{ ft}^3$  گاز اشباع در  $80^\circ\text{F}$  و فشار  $6 \text{ in.H}_2\text{O}$  بالاتر از جو است. بارومتر  $28/46$  اینچ جیوه را نشان می‌دهد. وزن بخار آب موجود در گاز را به دست آورید.



$$6 \text{ in. } H_2O \times \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in.}} \times \frac{2.9 / 92 \text{ in. } H_2O}{33 / 9 \text{ ft } H_2O} = 0.144 \text{ in. } Hg$$

$$P_{\text{هو اسنج}} = \text{فشار هوا} = 46.28 \text{ in. } Hg$$

$$P_{\text{کل}} = 90.28 \text{ in. } Hg$$

$$P_{\text{بخار آب}} (80^\circ F) = 0.31 \text{ In. } Hg$$

$$P_t = P_g + P_w$$

$$90.28 = 87.27 + 0.31$$

۱۰۰۰۰ ft<sup>3</sup> گاز مرطوب ۹۰/۲۸ in.Hg و ۸۰ °F

۱۰۰۰۰ ft<sup>3</sup> گاز خشک ۸۷/۲۷ in.Hg و ۸۰ °F

۱۰۰۰۰ ft<sup>3</sup> بخار آب ۰۳/۱ in.Hg و ۸۰ °F

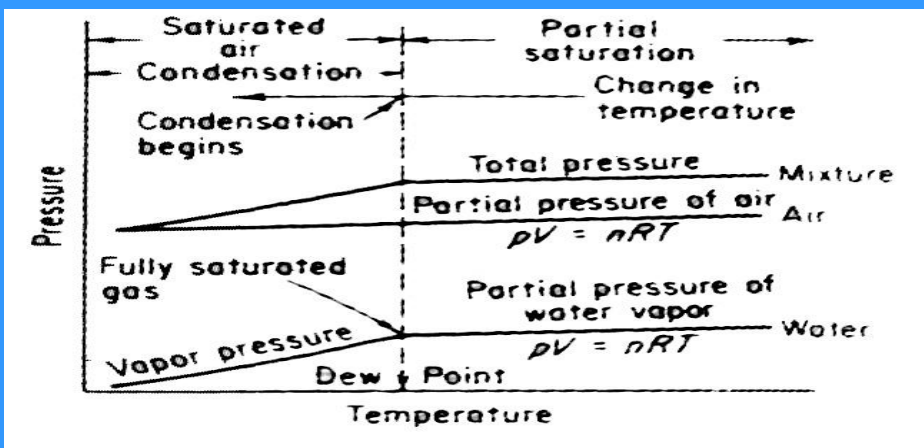
$$^{\circ}R = 540 \text{ } ^{\circ}F$$

مبنا = ۱۰۰۰۰ ft<sup>3</sup> بخار آب 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



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

$P_{\text{بخار}}$  = فشار جزئی بخار در مخلوط گاز

$P_{\text{اشباع}}$  = فشار جزئی بخار در مخلوط هر گاه در این دما از بخار اشباع باشد.

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

اشباع نسبی نشان دهنده میزان نزدیکی به اشباع کامل است.

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

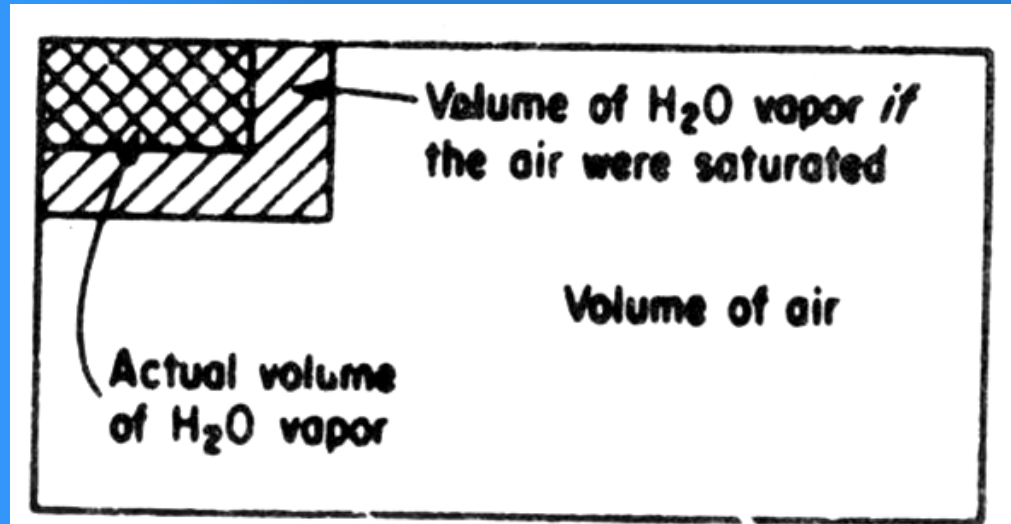
رطوبت هوا ۶۰٪ است.

اشباع نسبی

گاز نیمه اشباع بصورت جدا

$P_{H_2O}$  و  $P_{H_2O}^*$  هر دو در  $20^\circ C$

مثال: رطوبت نسبی



گوینده وضع هوا اعلام کرده است که دمای بعدازظهر به  $94^\circ F$  و رطوبت نسبی به ۴۳٪ خواهد رسید. فشار جو  $29/67$  in.Hg. آسمان نیمه ابری. وزش باد از جهت جنوب و جنوب شرقی  $8$  mi / hr. تعیین کنید در هر مایل مکعب هوای بعدازظهر چند پاوند بخار آب وجود خواهد داشت. نقطه شبنم هوا چند است.

$94^\circ F$  در  $29/67$  in.Hg = فشاربخار آب

فشار جزئي بخار آب در هوا با استفاده از درصد رطوبت نسبي تعيين مي شود.

$$P_w = (61/1 \text{ in.Hg}) (43/100) = 26.43 \text{ in.Hg}$$

$$P_{\text{هوا}} = P_t - P_w = 67/29 - 26.43 = 40.57 \text{ in.Hg}$$

مبنا = 1 mi<sup>3</sup> بخار آب 94 °F و 26.43 in.Hg

$$1 \text{ mi}^3 \times \left( \frac{5280 \text{ ft}}{1 \text{ mi}} \right)^3 \times \frac{492^\circ R}{554^\circ R} \times \frac{0.469 \text{ in.Hg}}{29.92 \text{ in.Hg}} \times \frac{1 \text{ lb mol}}{359 \text{ ft}^3} \times \frac{18 \text{ lb H}_2\text{O}}{1 \text{ lb mol}}$$

$$= 0.11 \times 10^6 \text{ lb H}_2\text{O}$$

**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 میعان 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 میعان خواهد کرد. یعنی فشار بخار آب در نقطه شبنم برابر ۶۹/۰ 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.

$$\frac{n_{\text{بخار}}}{n} = \text{اشباع مولی}$$

$$n_{\text{گاز عاری از بخار}}$$

$$1 = \text{بخار}$$

$$2 = \text{گاز خشک}$$

$$P_1 + P_2 = P_t$$

$$n_1 + n_2 = n_t$$

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

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

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

## 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 .

$$aS = \text{اشباع مطلق} = \frac{\left( \frac{\text{مول بخار}}{\text{مول گازی از بخار}} \right) \text{واقعی}}{\left( \frac{\text{بخار mol}}{\text{مول گازی از بخار}} \right) \text{اشباع}}$$

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

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

درصد اشباع مطلق =

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

درصد اشباع مطلق = (اشباع نسبی) ×

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

رطوبت نسبی =

$$\frac{P_v}{P_v^*}$$



## مثال: اشباع جزئی

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

الف) درصد اشباع نسبی

ب) درصد اشباع مطلق در دمای ۳۰ °C و فشار ۹۸kPa

اطلاعات اضافی: (۱۱۹mmHg) = ۹/۱۵kPa (۳۰°C) اتیل استات  $P^*$

با استفاده از قانون دالتون:

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

$$= (98)(0/12) = 11/76$$

$$P_{He} = P_t - P = 98 - 11/76 = 86/76 \text{ kpa}$$

در ۳۰ °C:

الف) درصد اشباع نسبی:

$$100 \times \frac{P}{P^*} = 100 \times \frac{11/76}{15/9} = 74.0\%$$

ب) درصد اشباع مطلق:

$$100 \times \frac{\frac{11/76}{98 - 11/76}}{15/9} = 70\%$$

## مثال: اشباع جزئی

مخلوطی از هوا و بخار اتیل استات در  $30^{\circ}\text{C}$  و فشار کل  $740\text{ mmHg}$  دارای اشباع نسبی  $50\%$  است. مطلوب است:

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

$$\text{درصد اشباع نسبی} = 0/50 = \frac{P}{P^*} \times 100$$

$$P = 50(119) = 59/5\text{ mmHg}$$

$$\frac{n}{n_t} = \frac{P}{P_t} = \frac{59/5}{740} = 0/0805$$

الف) تجزیه بخار

ب) اشباع مولی

الف) تجزیه بخار  $05/8\%$  اتیل استات

$95/91\%$  هوا

ب) اشباع مولی

$$\frac{n}{n_{\text{هوا}}} = \frac{P}{P_{\text{هوا}}} = \frac{P}{P_t - P} = \frac{59/5}{740 - 59/5} = 0/0876$$

مول اتیل استات  
مول هوا

## مثال: اشباع جزئی

رطوبت مطلق هوا در  $86^{\circ}\text{F}$  و فشار کل  $750\text{ mmHg}$ ،  $20\%$  است. مطلوب است درصد رطوبت نسبی و فشار جزئی بخار آب در هوا.

نقطه شبنم هوا چند است؟

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

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)

$$aH = 20 = \frac{\frac{P_{H_2O}}{P_t - P_{H_2O}} \times 100}{\frac{P_{H_2O}^*}{P_t - P_{H_2O}^*}} = \frac{\frac{x}{750 - x} \times 100}{\frac{31/8}{750 - 31/8}}$$
$$\Rightarrow x = 6/7 \text{ mmHg}$$

$$RH = 100 \times \frac{6/7}{31/8} = 21/1\%$$

(ب)

(ج) نقطه شبنم دمایی است که در آن بخار آب موجود در هوا شروع به میعان می کند. این عمل در  $7/6 \text{ mmHg}$  یا در حدود  $41^\circ \text{F}$  انجام می گیرد.

مبنا = هوای مرطوب یا هر مبنای دیگر

۷۳۸ lbmol هوای مرطوب صبح

مولها = فشار جزئی

سازنده	(روز) مخلوط فشارهای جزئی = lbmol	(شب) مخلوط نهایی فشارهای جزئی = lbmol
هوا	۱/۷۰۹	۵/۷۲۷
H <sub>2</sub> O	۹/۲۸	۵/۱۷
	۰/۷۳۸	۰/۷۴۵

مقدار آب موجود در هوای شب:

موازنه هوا:

$$\frac{17/5 \text{ lbmol } H_2O}{727/5 \text{ lbmol}} \times 70.9/1 \text{ lbmol} = 17/1 \text{ lbmol } H_2O$$

موازنه آب:

$$28/9 - 17/1 = 11/8 \text{ lbmol } H_2O$$
$$100 \times \frac{11/8}{28/9} = 41\% \quad \text{آب}$$

به صورت شبنم درمی آید

در هوای روز به صورت شبنم درآمده

مبنا = یک پوند مول هوای کاملاً خشک

تغییرات = نهایی - اولیه

$$\frac{28/1 \text{ lbmol } H_2O}{70.9/2 \text{ lbmol}} - \frac{17/5}{727/5 \text{ lbmol}} =$$

تغییر

$$0./0.406 - 0./0.241 = 0./0.165 \frac{\text{lbmol } H_2O}{\text{lbmol}}$$

هوای خشک

$$\frac{0./0.165}{0./0.406} \times 100 = 41\%$$

بخار آب به صورت شبنم درآمده



# فصل ۴

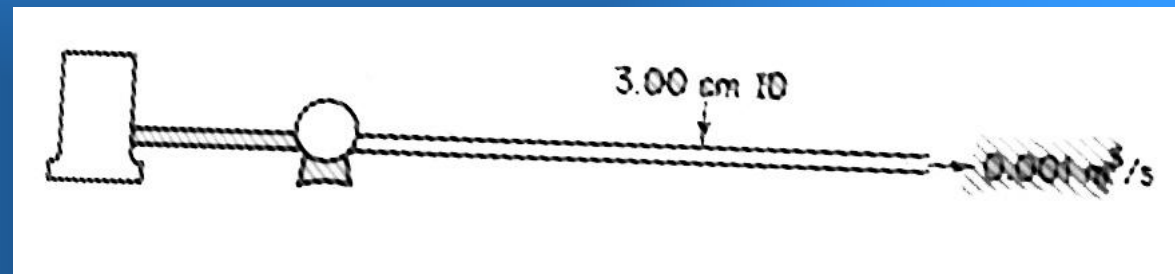
## موازنه انرژی

## ۴-۱ محاسبه انرژی جنبشی

آب را از یک مخزن با شدت جریان  $0.010 \text{ m}^3/\text{s}$  به داخل لوله‌ای به قطر داخلی  $3 \text{ cm}$  تلمبه می‌کنند. انرژی جنبشی واحد جرم آب را به دست آورید.

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

$$r = \frac{1}{2} (3/0.01) = 1/5 \text{ cm}$$



$$V = \frac{0.010 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi (0.015 \text{ cm})^2} \times \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} = 415/1 \text{ m/s}$$

$$\hat{K} = \frac{1}{2} v^2 = \frac{1}{2} (415)^2 = 1/0.0 \text{ J/kg}$$

## ۴-۲ محاسبه انرژی پتانسیل

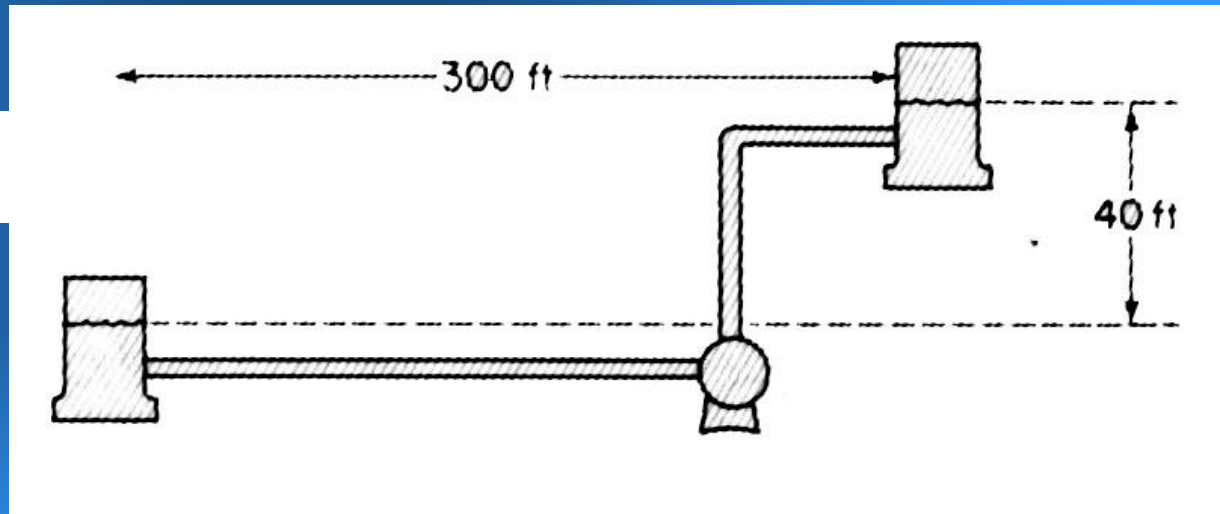
آب را از یک مخزن به مخزن دیگر در فاصله ۱۰۰ فوتی پمپ می کنند. سطح آب در مخزن دوم ۴۰ فوت بالاتر از سطح آب در مخزن اول است. افزایش انرژی پتانسیل واحد جرم آب را بر حسب  $\text{But}/\text{lb}_m$  به دست آورید.

$$g = 2/32 \text{ ft/s}^2 \text{ و } 1 \text{ But} = 2/778 \text{ lb}_f \cdot \text{ft}$$

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

$$h = 40 \text{ ft}$$

$$\hat{P} = gh$$



$$P = \frac{2/32 \text{ ft}}{\text{s}^2} \cdot 40 \text{ ft} \cdot \frac{1 \text{ lb}_f}{2/32 \text{ lb}_m \cdot \text{ft/s}^2} \cdot \frac{1 \text{ But}}{2/778 \text{ lb}_f \cdot \text{ft}} = 0.514 \text{ But}/\text{lb}_m$$

## انرژی داخلی - آنتالپی

انرژی داخلی بصورت تابعی 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

$$\Delta \hat{u} = \hat{u}_r - \hat{u}_1 = \int_{T_1}^{T_r} C_v dT$$

تغییرات انرژی داخلی

با انتگرال گیری

آنتالپی بصورت تابعی از دما و فشار

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

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

↙  
 $C_P$

↘  
در عمل بسیار کوچک

$$\Delta \hat{H} = \hat{H}_2 - \hat{H}_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_P dT$$

$$\oint d\hat{H} = 0$$

در یک فرآیند چرخه‌ای

متغیرهای حالت اند.  $H, P, \hat{U}, T, \hat{V}$

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

## ظرفیت حرارتی

ظرفیت حرارتی بخار آب را در  $10 \text{ kPa}$  ( $8/45 \text{ }^\circ\text{C}$ ) تعیین کنید. تغییر آنتالپی در فشار ثابت را از جدول بخار بدست آورید.

$$H_{7/47^\circ\text{C}} - H_{8/43^\circ\text{C}} = (1/2588 - 1/2581) \text{ kJ/kg} = 0.0/7 \text{ kJ/kg}$$

فرض می شود  $C_p$  در فاصله دمایی کوچک ثابت باشد.

$$C_p \cong \frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{0.0/7 \text{ kJ}}{\text{kg}} \bigg| \frac{9/3 \Delta \text{ }^\circ\text{C}}{\Delta \text{ }^\circ\text{C}} = 79/1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg } \Delta \text{ }^\circ\text{C}} = \frac{\text{انرژی}}{\text{(تفاوت دما)(جرم یا مول)}}$$

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

ظرفیت حرارتی آب =

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

$$C_p = a + bT$$

$$C_p = a + bT + cT^2$$

$$C_p = a + bT + cT^{-\frac{1}{2}}$$

$$C_p = a + bT - cT^{-2}$$

رابطه  $C_p$  با دما:

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

## معادله ظرفیت حرارتی

معادله ظرفیت حرارتی گاز CO<sub>2</sub> عبارت است از:

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

C<sub>p</sub> بر حسب cal/(gmol)(K) است. معادله فوق را به صورتی در آورید که ظرفیت حرارتی را در تمام فواصل دمایی بر حسب واحدهای زیر به دست دهد:

(الف)  $\Delta T$  ( $\Delta$  °C) و  $T$  (°C) با (°C) با cal/(gmole)(°C)



$$C_P = \frac{\text{cal}}{(\text{gmol})(\Delta^\circ\text{C})} = 6/393$$

Cal	1 ΔK
(gmol)(ΔK)	1 Δ°C

$$+10./100 \times 10^{-3}$$

Cal	1 ΔK	(°C+273)K
(gmol)(ΔK)(K)	1 Δ°C	°C

$$-3/393 \times 10^{-6}$$

Cal	1 ΔK	(°C+273) <sup>2</sup> K <sup>2</sup>
(gmol)(ΔK)(K) <sup>2</sup>	1 Δ°C	(°C) <sup>2</sup>

$$= 8/196 + 8/240 \times 10^{-3} T_{(^\circ\text{C})} - 3/405 \times 10^{-6} T_{(^\circ\text{C})}^2$$

## ظرفیت حرارتی گاز کامل

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

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
cal	۲/۶	۴/۵	۰/۴	۳/۲
(gmol)(°C)				

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

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

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

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

$$H : 20 \times 2 / 3 = 46 / 0$$

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

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 هیدروکربنهای مایع نفتی فالن و واتسون  $C_p$  را به صورت زیر توصیه می کنند:

$$C_p = \left[ \left( 0.355 + 0.128 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{API} \right) + \left( 0.503 + 0.117 \times 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{API} \right) \times 10^{-3} t \right] \left( 0.5K + 0.41 \right)$$
$$^\circ\text{API} = \frac{141.5}{\text{spgr}(60^\circ\text{F} / 60^\circ\text{F})} - 131.5$$

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

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

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

$C_p$  بر حسب

$$C_p = kM^a$$

ثابت

وزن مولکولی

ثابت جدول

در مایعات آلی: رابطه دقیق زیر وجود دارد

$$C_p = \frac{(470 - S)(T + 670)}{6450}$$

در گازها و بخارات نفتی

نسبت به هواست

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

S چگالی

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

معادله کوتاری:

## ظرفیت حرارتی متوسط گازهای احتراق

[J/(G MOL)(K)]†

°C	N <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Air	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Air	H <sub>2</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> 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 $\Delta H$ با استفاده از ظرفیت حرارتی متوسط

مطلوبست تغییرات آنتالپی یک کیلو مول ازت ( $N_2$ ) که در فشار ثابت  $100\text{ kPa}$  از  $18^\circ\text{C}$  تا  $1100^\circ\text{C}$  حرارت داده شود.

$$1 \frac{J}{(\text{gmol})(K)} = 0.239 \frac{\text{cal}}{(\text{gmol})(K)}$$

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

$$C_{p_m} = 0.93/31$$

$$\frac{\text{kJ}}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})}$$

در  $1100^\circ\text{C}$

$$C_{p_m} = 0.120/29$$

$$\frac{\text{kJ}}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})}$$

در  $18^\circ\text{C}$

$$\Delta \hat{H}_{11\dots18} = \Delta \hat{H}_{11\dots} - \Delta \hat{H}_{18}$$

مبنا = یک کیلو مول  $N_2$

$$= \frac{0.93/31 \text{ kJ}}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})} \bigg| \frac{1100 - 0 (^\circ\text{C})}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})} - \frac{120/29 \text{ kJ}}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})} \bigg| \frac{18 - 0 (^\circ\text{C})}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})} = 228/34 \frac{\text{kJ}}{(\text{kgmol})(^\circ\text{C})}$$

$$\Delta \hat{H} = C_{p_{m_{11\dots}}} (T_{11\dots} - T_{ref}) - C_{p_{m_{18}}} (T_{18} - T_{ref})$$

## مثال : محاسبه $\Delta H$ با استفاده از معادله ظرفیت حرارتی

تبدیل زباله‌های جامد به گازهای بی‌ضرر در زباله سوزها با تأیید سازمان‌های حفظ محیط انجام 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 (بر مبنای خشک) می‌تواند حاصل شود.

$\text{CO}_2$	۲/۹٪
$\text{CO}$	۵/۱٪
$\text{O}_2$	۳/۷٪
$\text{N}_2$	۰/۸۲٪
	۰/۱۰۰٪

تغییر آنتالپی این گاز را بین ابتدا و انتهای دودکش بدست آورید. دمای انتهای دودکش  $550^{\circ}\text{F}$  و دمای سر دودکش  $200^{\circ}\text{F}$  است. از بخار آب موجود در مخلوط صرف نظر کنید. گازها کامل فرض می شوند. می توان از تبادل هر گونه انرژی در اثر اختلاط سازندهای گازی چشم پوشی کرد.

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

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

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

$$C_p(CO) = 6 / 1865 + 0.1 / 180.24 \times 10^{-3} T - 0.1 / 7367 \times 10^{-7} T^2$$

مبنا = يك lb mol مخلوط گاز:

$$N_v = 0.182(6 / 1865 + \dots)$$

$$O_v = 0.073(7 / 104 + \dots)$$

$$CO_v = 0.092(8 / 448 + \dots)$$

$$CO = 0.15(6 / 1865 + \dots)$$

$$C_p = (7 / 0.52 + 1 / 2243 \times 10^{-3} T - 2 / 6124 \times 10^{-7} T^2 + 0.1 / 2814 \times 10^{-11} T^3) dT$$

$$\Delta \hat{H} = \int_{\Delta\Delta}^{\gamma\gamma} C_p dT = \int_{\Delta\Delta}^{\gamma\gamma} (7 / 0.52 + \dots) dT = -2616 \frac{Btu}{(lbmol)} gas$$

## مثال : محاسبه تغییرات آنتالپی با استفاده از جدول

مطلوبست تغییر آنتالپی یک کیلو مول ازت ( $N_2$ ) که در فشار ثابت  $100\text{ kPa}$  از  $18^\circ\text{C}$  تا  $1100^\circ\text{C}$  احرازت داده شود.

از روی جدول (دمای مبنا  $273\text{K}$ )

$$1100^\circ\text{C} \text{ يي } 1373\text{K} : \Delta\hat{H} = 34715\text{ kJ/kmol}$$

(بابرونیابی)

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

مبنا = یک کیلو مول ازت ( $N_2$ )

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

## مثال: کاربرد جدول بخار

تغییر آنالپی یک گالن آب را وقتی از دمای  $60^{\circ}\text{F}$  به  $1150^{\circ}\text{F}$  و  $240\text{ psig}$  برسد بر حسب Btu به دست آورید.

مبنا = ۱ پاوند آب در  $60^{\circ}\text{F}$  (دمای مبنا  $32^{\circ}\text{F}$ )

$$\hat{H} = 28/07 \text{ Btu} / \text{lb} \quad 60^{\circ}\text{F}$$

$$\hat{H} = 160.4/5 \text{ Btu} / \text{lb} \quad 1150^{\circ}\text{F} \quad 240 \text{ psig} \quad (254/7 \text{ psia})$$

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

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

ذکر فشار اولیه آب بسیار لازم نیست (تغییر با فشار کم)

## تغییر آنتالپی در تبدیل فاز

گرمای ذوب:

گرمای ذوب مولی

$$\frac{\Delta \hat{H}_f}{T_f}$$

= ثابت

نقطه ذوب

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

گرمای تبخیر:

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



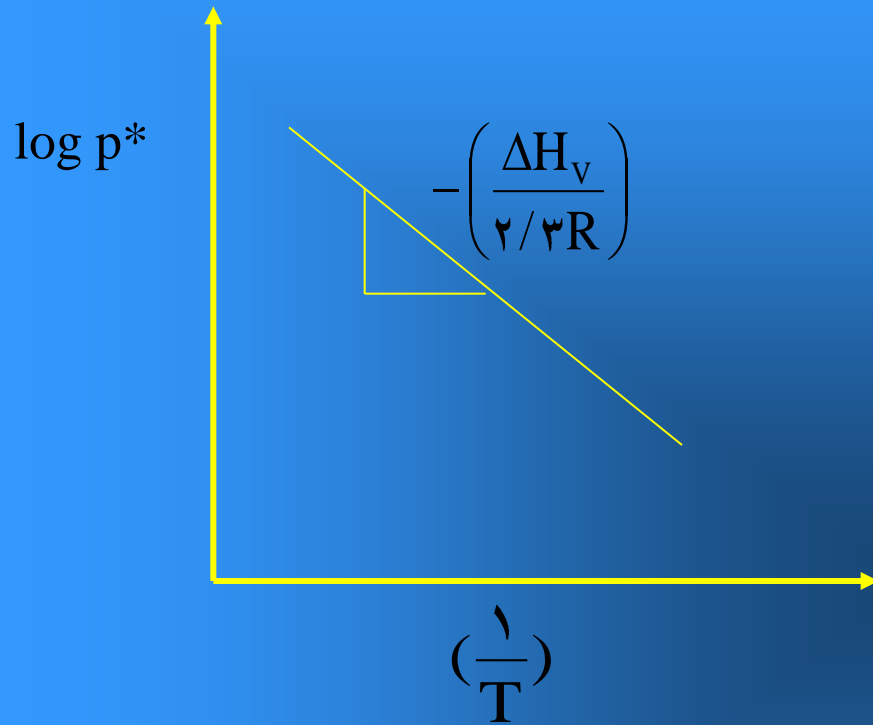
$$\frac{dp^*}{dT} = \frac{\Delta\hat{H}_V}{T(\hat{V}_g - \hat{V}_l)}$$

حجم مولی =  $\hat{V}$

در مورد یک گاز حقیقی:

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

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



با فرض اینکه  $\Delta H_v$  در فاصله دمایی ثابت باشد

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

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

## مثال: گرمای تبخیر از معادله کلاوزیوس - کلاپیرون

گرمای تبخیر ایزوبوتریک اسید را در  $200^\circ\text{C}$  تخمین بزنید.

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

با استفاده از Perry:

مبنا: یک گرم مول اسید ایزوبوتریک

چون در فواصل کوچک دمایی  $\Delta H_v$  ثابت است،

$$۱۷۹/۸^\circ\text{C} \quad ۴۵۲/۸\text{K} \quad ۲۷۳^\circ \quad \text{یا} \quad ۴۹۰\text{K}$$

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

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

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

$$d \ln p^* = -\frac{\Delta \hat{H}_v}{ZRT_c} d\left(\frac{1}{T_r}\right)$$
$$\frac{\Delta \hat{H}_v}{ZRT_c} = -\frac{d \ln p^*}{d\left(\frac{1}{T_r}\right)}$$
$$\frac{\Delta \hat{H}_v}{ZRT_c} = \frac{B}{T_c} \left[ \frac{T_r}{T_r + \left(\frac{C}{T_c}\right)} \right]^2$$

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

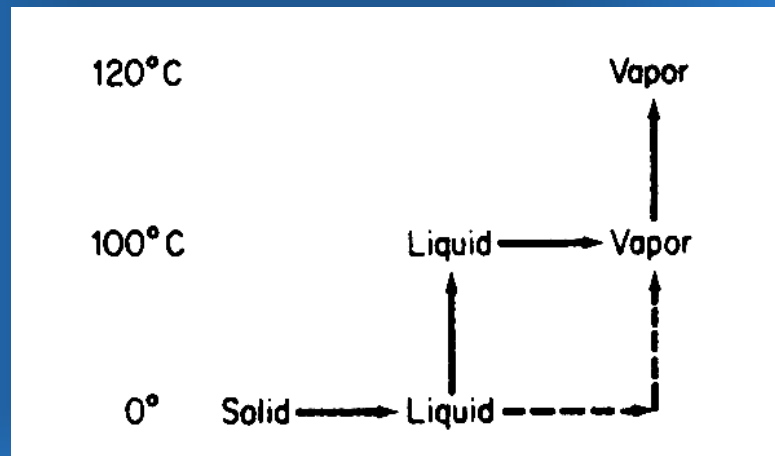
آنتالپی تبخیر مایع خالص در دماهای  $T_1$  ,  $T_2$ :  $\Delta \hat{H}_{v_1}$ ,  $\Delta \hat{H}_{v_2}$

$$\frac{\Delta \hat{H}_{v_2}}{\Delta \hat{H}_{v_1}} = \left( \frac{1 - T_{r_2}}{1 - T_{r_1}} \right)^{0.38}$$

## محاسبه تغییر آنتالپی شامل تبدیل فاز

تغییر آنتالپی یک کیلوگرم آب را از حالت یخی در صفر درجه سانتیگراد به بخار در  $120^{\circ}\text{C}$  و  $100\text{ kPa}$  حساب کنید.

برای محاسبه آنتالپی مسیر زیر را انتخاب می کنیم.



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

از ظرفیت گرمایی متوسط استفاده می کنیم

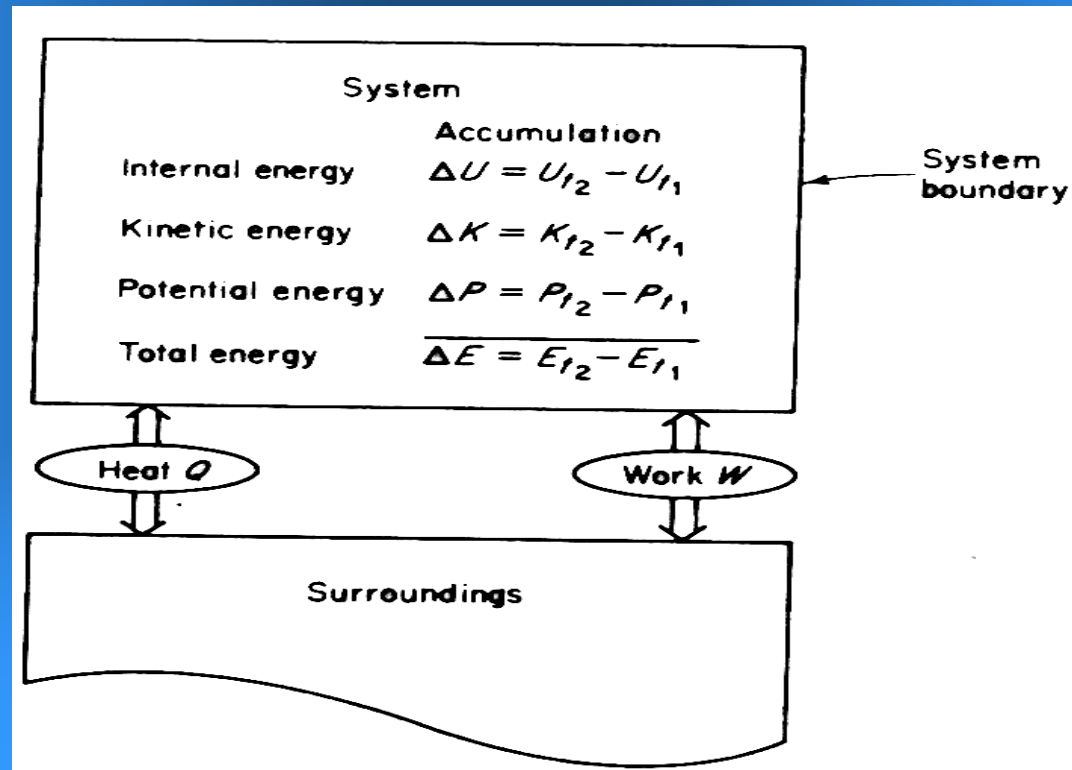
$$C_p = 4 / 18 \text{ J / (g)(}^\circ \text{C)} \quad C_p = 1 / 18 \text{ J / (g)(}^\circ \text{C)}$$

$$\Delta \hat{H} = \Delta \hat{H}_{f(100^\circ \text{C})} + \Delta \hat{H}_{(100-100)} + \Delta \hat{H}_{V(100)} + \Delta \hat{H}_{V(100-200)}$$

$$= 334 + 4 / 18(100) + 2255 + 1 / 18(200) = 3045 \text{ J / g}$$

# موازنه انرژی

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



## موازنه 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

$W$  کار انجام شده توسط سیستم



$Q$  گرمای جذب شده توسط سیستم



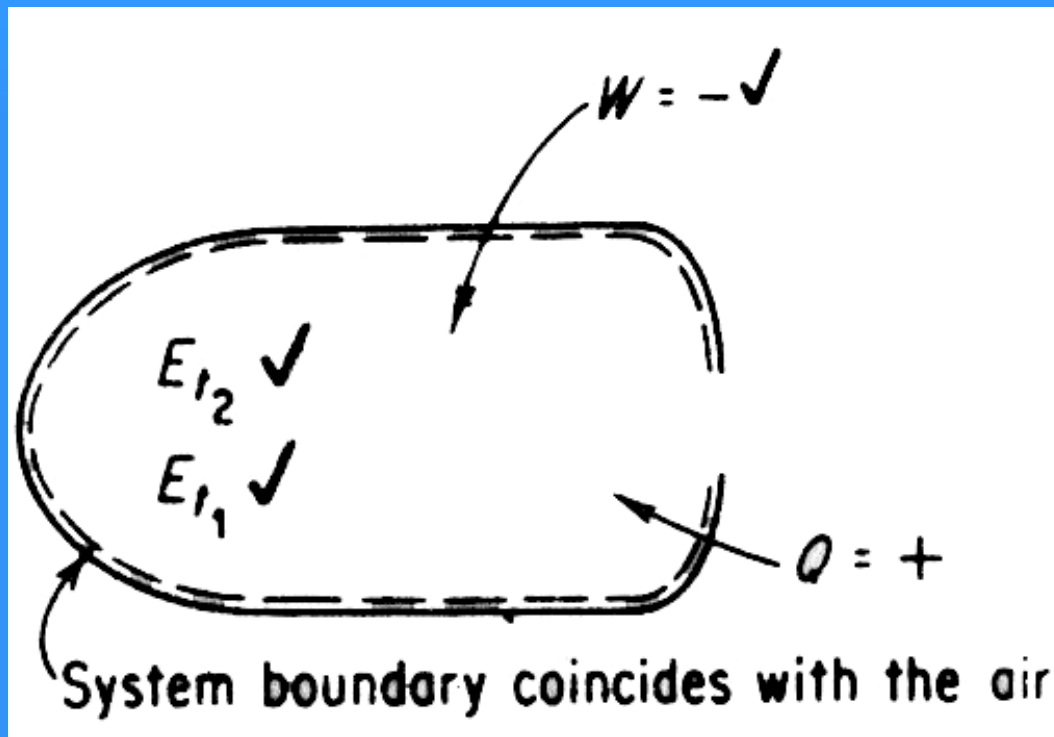
## مثال : کاربرد موزانه انرژی

تغییرات ناگهانی در گرمای ورودی به سفینه‌های فضایی تهدیدی برای سرنشینان 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 هوا  $4$  کیلوگرم در دمای  $20^\circ\text{C}$  فرض می‌شود. (انرژی داخلی هوا نسبت به سطح مبنا  $10^6 \text{ J/kg}$  است) انرژی تشعشعی خورشید به صورت گرما به هوا منتقل می‌شود تا انرژی داخلی آن به  $10^6 \text{ J/kg}$  برسد.

الف) چه مقدار گرما به هوا منتقل می‌شود؟

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



سیستم بسته است .

الف)  $W = 0$

مبنا = یک کیلوگرم از هوا  $Q = ?$

$$\Delta \hat{U} = \hat{U}_2 - \hat{U}_1 = \hat{Q} - \hat{W} \Rightarrow \Delta \hat{U} = \hat{Q} -$$

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

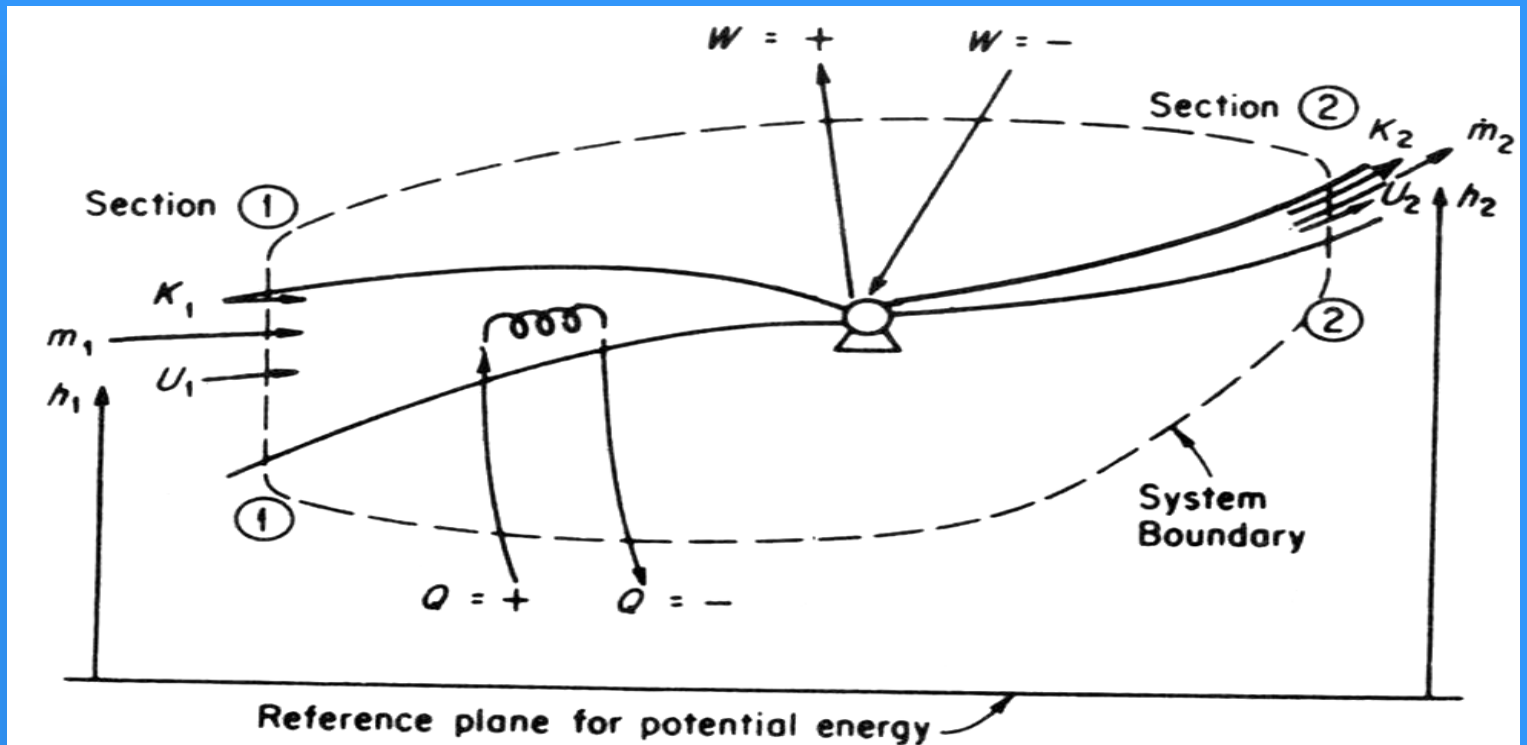
علامت + نشان می‌دهد که گرما وارد سیستم می‌شود.

$$Q = \frac{0.4/2 \times 10^5 \text{ J}}{\text{kg}} \times 0.0/4 \text{ Kg} = 16/8 \times 10^5 \text{ J} = \Delta U$$

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

$$\Delta \hat{U} = \hat{Q} - \hat{W} \quad 8/16 \times 10^5 = \hat{Q} - (-0/11 \times 10^5)$$
$$\hat{Q} = 8/05 \times 10^5 \text{ J}$$

# موازنه انرژی در سیستمهای باز (بدون واکنش شیمیایی)



تجمع

$$m_2(\hat{U} + \hat{K} + \hat{P})_2 - m_1(\hat{U} + \hat{K} + \hat{P})_1$$

$$= (\hat{U}_1 + \hat{K}_1 + \hat{P}_1)m_1 - (\hat{U}_2 + \hat{K}_2 + \hat{P}_2)m_2 + Q - W + P_1\hat{V}_1m_1 - P_2\hat{V}_2m_2$$

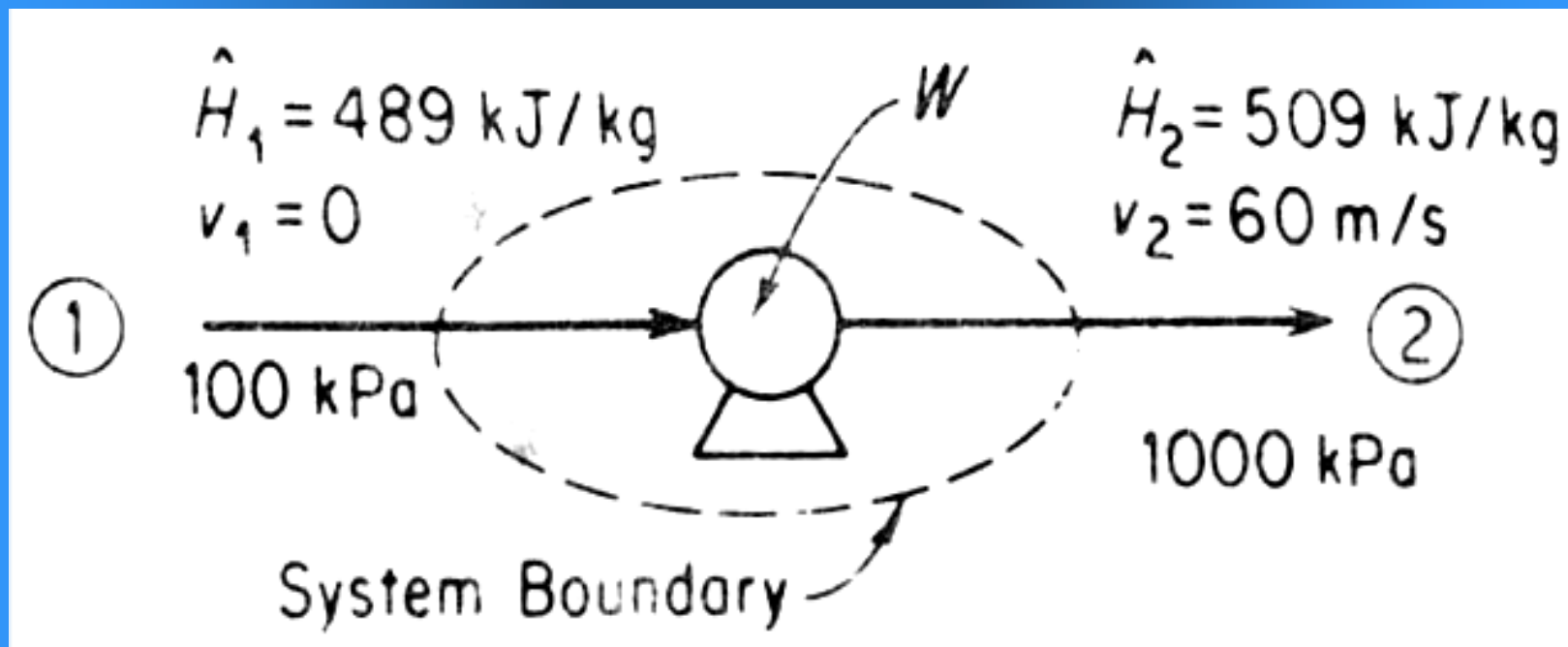
ورود انرژی به سیستم  
با جریان جرمی

انتقال انرژی به خارج  
با جریان جرمی

انتقال انرژی با کار

## کاربرد موازنه انرژی

هوا را متراکم کرده و از  $100 \text{ kPa}$ ،  $250 \text{ K}$  (آنتالپی  $489 \text{ kJ/kg}$ ) به  $1000 \text{ kPa}$ ،  $278 \text{ K}$  (آنتالپی  $509 \text{ kJ/kg}$ ) می‌رسانیم. سرعت هوای خروجی از کمپرسور  $60 \text{ m/s}$  است. توان لازم کمپرسور را بر حسب  $\text{kW}$  در صورتی که بار آن  $100 \text{ kg/hr}$  هوا باشد به دست آورید.



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

تجمع هوا در کمپرسور وجود ندارد  $\Delta E = 0$

تبادل گرما وجود ندارد  $Q = 0$

تبدل انرژی مکانیکی  $m_1 = m_2$  با استفاده از سرعتها قابل محاسبه اند

مبنای یک کیلوگرم هوا

$W$  را می توان به طور مستقیم محاسبه کرد:

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

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

$(60 \text{ m})^2$	1 kJ
$\text{S}^2$	$1000 \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2}$

$$= 80/1 \text{ kJ/kg}$$

$$(20 + 1/80) = -\hat{W} \Rightarrow \hat{W} = -21/8 \text{ kJ/kg}$$

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

برای تبدیل کار به توان:

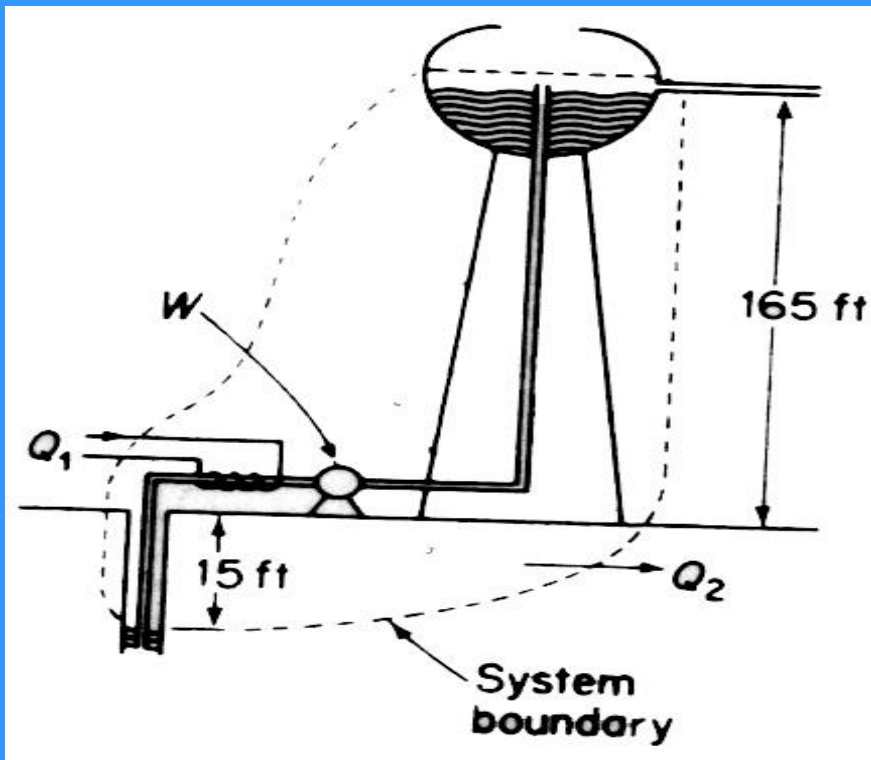
مینا = ۱۰۰۰ کیلوگرم در ساعت هوا

$$\text{kW} = \frac{\text{kJ}_{21/8}}{\text{kg}} \times \frac{\text{Ky}_{100}}{\text{h}} \times \frac{\text{kW}_1}{\text{kJ/s}_1} \times \frac{\text{h}_1}{\text{s}_{3600}} \quad \text{kW} = 61/0$$

## کاربرد موازنه انرژی

آب را بوسیله تلمبه از چاهی به عمق ۱۵ فوت با شدت ۲۰۰ gal/hr خارج کرده و وارد یک مخزن ذخیره سرباز می‌نمایند به طوری که سطح آب در مخزن ، ۱۶۵ فوت بالاتر از سطح زمین قرار می‌گیرد. در زمستان با گرم کن  $30000 \text{ Btu/hr}$  گرما به آب منتقل می‌کنند. گرما با شدت  $25000 \text{ Btu/hr}$  از کل سیستم خارج می‌شود. دمای آب در چاه  $35^{\circ}\text{F}$  است. دمای آب در ورود به مخزن چند است. از تلمبه به قدرت ۲ اسب بخار استفاده می‌شود. ۵۵٪ توان مصرفی صرف تلمبه کردن شده و باقیمانده به صورت گرما وارد محیط می‌شود.





تحول جاری است

$\Delta \hat{P}$  معلوم

$Q$  معلوم

$W$  معلوم

دمایی مخزن ثابت

تجمع جرم و انرژی وجود ندارد

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

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

مینا: یک ساعت کار سیستم

$$\frac{200 \text{ gal}}{\text{hr}} \times \frac{8.33 \text{ lb}}{1 \text{ gal}} = 1666 \text{ lb}_m/\text{hr}$$

مقدار کل آب تلمبه شده

$$\text{lb}_f \cdot \text{ft}/\text{hr} = 3000000$$

$1666 \text{ lb}_m$	$2/32 \text{ ft}$	$180 \text{ ft}$
$\text{hr}$	$\text{s}^2$	$\frac{32/2 \text{ lb}_m \cdot \text{ft}}{\text{s}^2 \cdot \text{lb}_f}$

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

$$30000 \frac{(lb_f)(ft) / hr}{778(ft)(lb_f) / Btu} = 386 Btu / hr$$

انرژی اضافه شده به سیستم  $Q = 30000 - 25000 = 5000 Btu/hr$

کار انجام شده  $W = -2$

hp	55/0	33000 (lb <sub>f</sub> )(ft)	60 min	Btu
		(min)(hp)	hr	778(lbf)(ft)

$= -2800 Btu/hr$

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

$$\Delta H = 7414 \text{ Btu/hr} \times \frac{1}{1666 \text{ lb/hr}} = 4/45 \text{ Btu/lb}$$

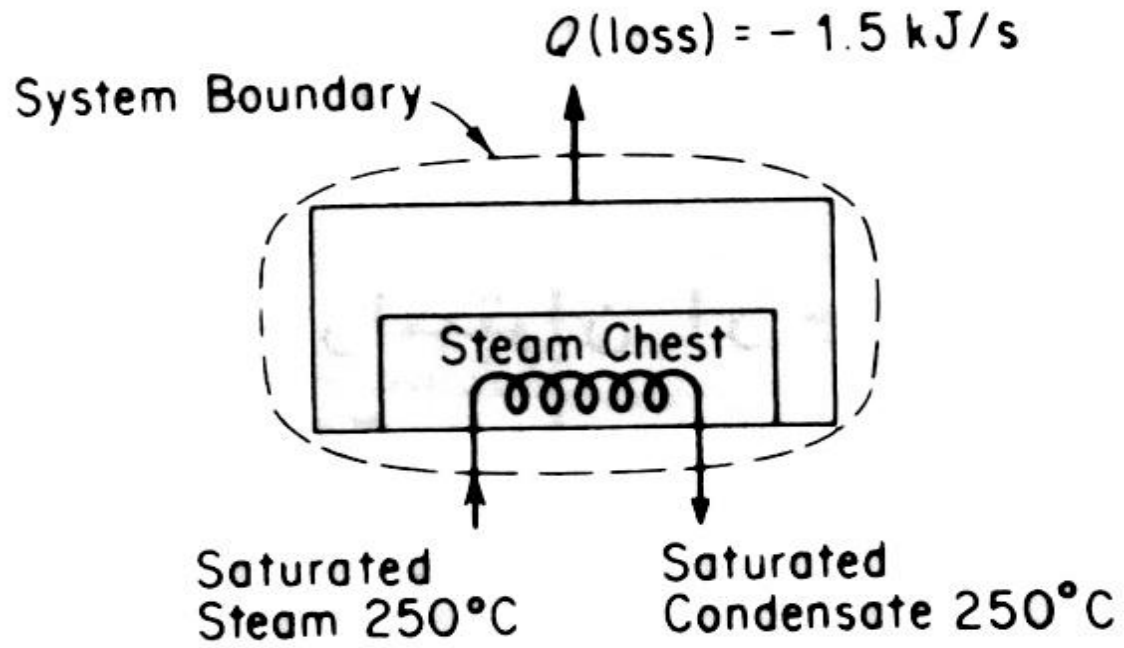
$$\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \quad C_p = \text{ثابت} = 1/0 \frac{\text{Btu}}{(\text{lb})(^\circ F)}$$

$$\Delta \hat{H} = C_p \Delta T = (1/0) \Delta T \Rightarrow \Delta T = 4/45^\circ F$$

$$T_2 = 39/5^\circ F$$

## مثال: موازنه انرژی

بخار آب اشباع در  $250^{\circ}\text{C}$  وارد محفظه جداگانه بخار یک واکنشگاه ناپیوسته شده و مایع می‌شود. در واکنشگاه  $23000\text{kJ/kg}$  گرما جذب می‌شود. گرمای خروجی از محفظه بخار به بیرون  $5/1\text{kJ/s}$  است. واکنش دهنده‌ها در  $20^{\circ}\text{C}$  وارد و تا  $100^{\circ}\text{C}$  گرم می‌شوند. ظرفیت گرمایی مواد  $C_p = 26/3\text{J/(g)(K)}$  و ظرفیت واکنشگاه  $150\text{kg}$  است. بخار لازم برای هر کیلوگرم ماده را حساب کنید. مدت اقامت مواد در واکنشگاه یک ساعت است.



مواد باقی می ماند (تجمع ماده داریم)  
بخار جریان دارد (تجمع انرژی نداریم)

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

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

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

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

مبنا = یک ساعت کار سیستم

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

$250^\circ\text{C}$        $\Delta H_{\text{بخار}} = 170.1 \text{ kJ/kg}$

$$\frac{-50/1 \text{ kJ}}{\text{s}} \left| \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ hr}} \right. = -540.0 \text{ kJ/hr}$$

**تغییر آنتالپی واحد جرم بخار از جدول:**

واکنش دهنده‌ها

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

مبنای آنتالپی صفر برای مواد  $20^\circ\text{C}$ :

فراورده‌ها

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

آنتالپی واکنش دهنده‌ها

و فراورده‌ها



$$\frac{150 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} \times \frac{26/3 \text{ J}}{\text{g}(\text{°C})} \times \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \times (100 - 20) = 39120 \text{ kJ}$$

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

گرمای جذب شده توسط مواد (تلف شده)

$$\frac{-2300 \text{ kJ}}{\text{kg}} \times 150 \text{ kg} = -345000 \text{ kJ}$$

$$39120 + \Delta H_{\text{بخار}} = -345000 - 5400$$

$$\Delta H_{\text{بخار}} = 38920$$

$$\left( 170.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) s_{\text{kg}} = 389500 \text{ kJ} \quad s = 229 \text{ kg}$$

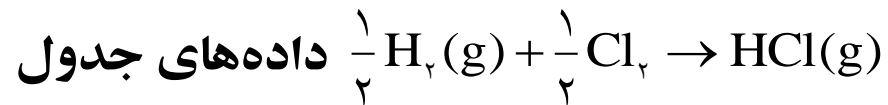
## گرمای استاندارد تشکیل

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

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

مثال: محاسبه گرمای تشکیل با استفاده از داده‌های مینا

گرمای تشکیل  $HCl(g)$  چند است؟

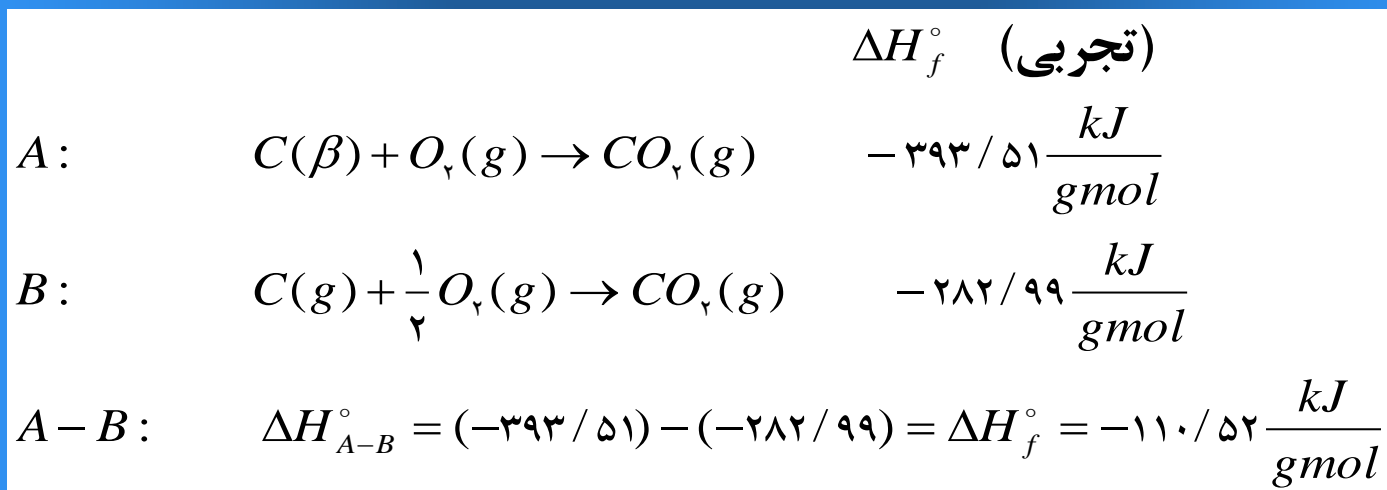


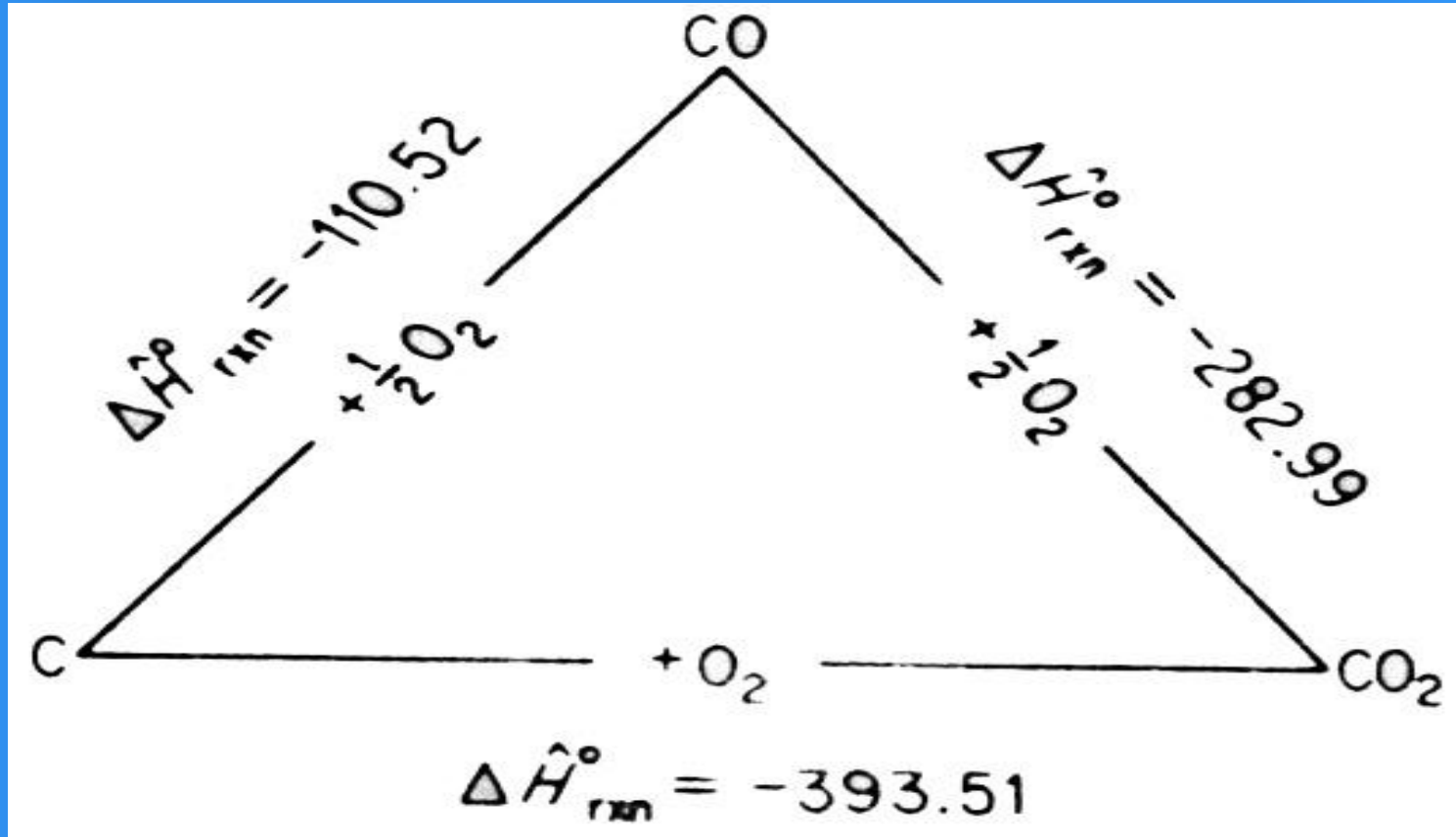
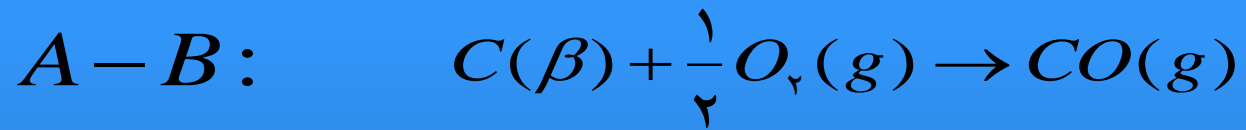
$$\Delta H_f^\circ \left( \frac{J}{\text{gmol}} \right) \quad \cdot \quad \cdot \quad -92312$$

$$\text{گرمای تشکیل} = (-92312) - \left( \frac{1}{2} (\cdot) + -\frac{1}{2} (\cdot) \right) = -92312 \frac{J}{\text{gmol}}$$

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

میثا = 1 gmol از CO

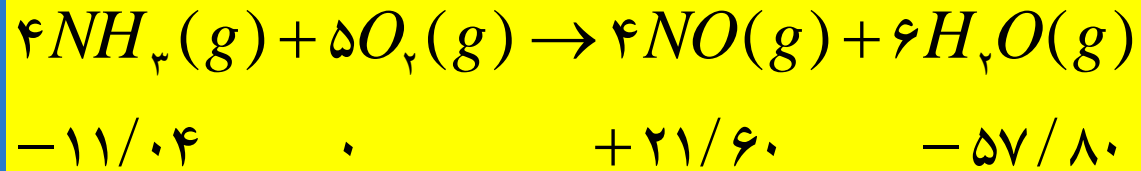




مثال: محاسبه گرمای واکنش با استفاده از گرمای استاندارد تشکیل

مقدار واکنش  $\Delta\hat{H}^\circ$  را برای  $4\text{gmol}$  آمونیاک به دست آورید.

$\Delta H_f^\circ$   
 $25^\circ, \text{latm}$   
 $\text{kcal/gmol}$



مبنا:  $4\text{gmol}$  آمونیاک

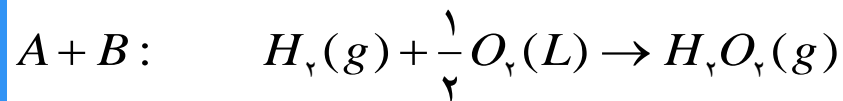
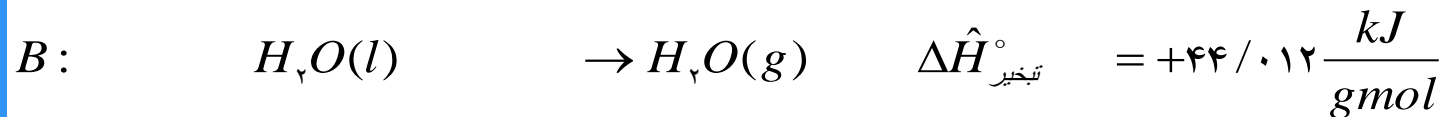
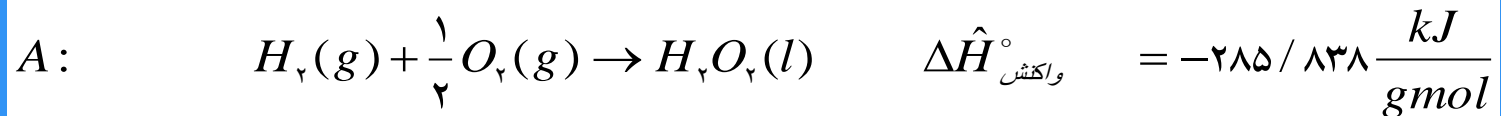
$$\Delta H_{\text{واکنش}}^\circ = [4(21/6.0) + 6(-57/8.0)] - [5(0) + 4(-11/0.4)] = -216/24 \frac{\text{kcal}}{4\text{gmolNH}_3}$$

$$\Delta H_{\text{واکنش}}^\circ = -54/0. \frac{\text{kcal}}{\text{gmolNH}_3}$$

## مثال: گرمای تشکیل شامل تغییر فاز

اگر گرمای تشکیل استاندارد  $H_2O(l)$  برابر  $-۸۳۸/۲۸۵ \text{ kJ/gmol}$  و گرمای تبخیر آب در  $۲۵^\circ\text{C}$  و یک اتمسفر  $+۰۱۲/۴۴ \text{ kJ/gmol}$  باشد، گرمای استاندارد تشکیل  $H_2O(g)$  چند است؟

مینا:  $۱ \text{ mol}$  از  $H_2O$



$$\Delta H^{\circ}_{f[H_2O(g)]} = -۲۸۵/۸۳۸ + ۴۴/۰۱۲ = -۲۴۱/۸۲۶ \frac{\text{kJ}}{\text{gmol}}$$

## 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  $29770 \text{ kJ/kg}$  بوده است. با فرض اینکه ارزش حرارتی ناخالص ذغالسنگ مقدار فوق باشد، ارزش حرارتی خالص آن چند است؟

ترکیب	درصد
C	۰/۷۱
H <sub>2</sub>	۶/۵
N <sub>2</sub>	۶/۱
گوگرد خالص	۷/۲
خاکستر	۱/۶
O <sub>2</sub>	۰/۱۳
	۰/۱۰۰

مبنا: ۱۰۰ کیلوگرم ذغالسنگ دریافتی

$$\frac{6/5 \text{ kgH}_2}{1 \text{ Kgmol}} \times \frac{1 \text{ Kgmol}}{0.2/2 \text{ kgH}_2} \times \frac{1 \text{ kgmolH}_2\text{O}}{1 \text{ kgmolH}_2} \times \frac{18 \text{ kgH}_2\text{O}}{1 \text{ kgmolH}_2} = 50 \text{ kgH}_2\text{O}$$

$$\frac{50 \text{ kgmolH}_2\text{O}}{100 \text{ kg ذغال}} \times \frac{2370 \text{ kJ}}{1 \text{ kgH}_2\text{O تبخیر}} = 1185 \text{ kJ/kg ذغال}$$

در نتیجه ارزش حرارتی خالص ذغالسنگ:

$$29770 - 1185 = 28585 \text{ kJ/kg}$$

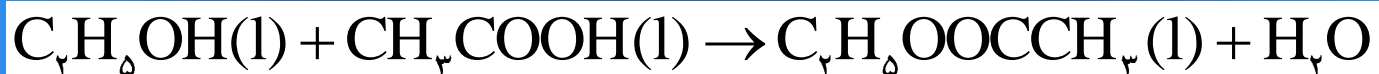
توجه = ۲۴۴۰ گرمای نهان تبخیر آب

(تبدیل ارزش حرارتی در حجم ثابت به فشار ثابت)  $2370 = 2440 - 70$



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
احتراق $\Delta H_c^\circ (\text{kJ/gmol})$	-۱۸/۷۵۹	-۱۴/۴۸۴	-۹۴/۱۲۵۱	۰

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{واکنش}}^\circ &= \sum n\Delta H_c^\circ (\text{مواد اولیه}) - \sum n\Delta H_c^\circ (\text{محصولات}) \\ &= [(-۷۵۹/۱۸) + (-۴۸۴/۱۴)] - [(-۱۲۵۱/۹۴) + (۰)] \\ &= ۸/۶۲ \quad \text{kJ/gmol}\end{aligned}$$

## مثال : ترکیب گرماهای واکنش

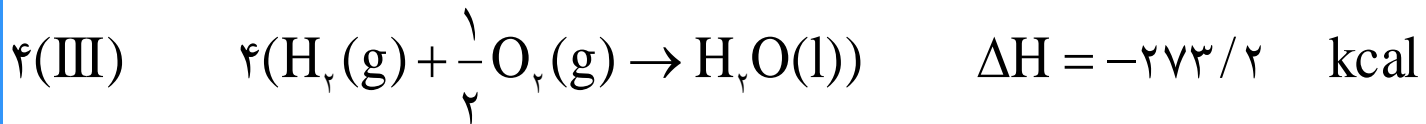
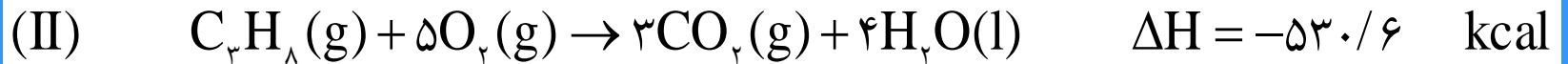
گرمای واکنش زیر را از طریق تجربی در  $25^{\circ}\text{C}$  و حالت استاندارد ترموشیمیایی به دست آورده‌اند.



$$-6/29 : \Delta H_{\text{reaction}}^{\circ} (\text{kJ}/\text{gmol})$$

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

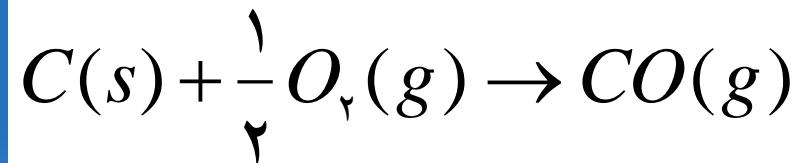
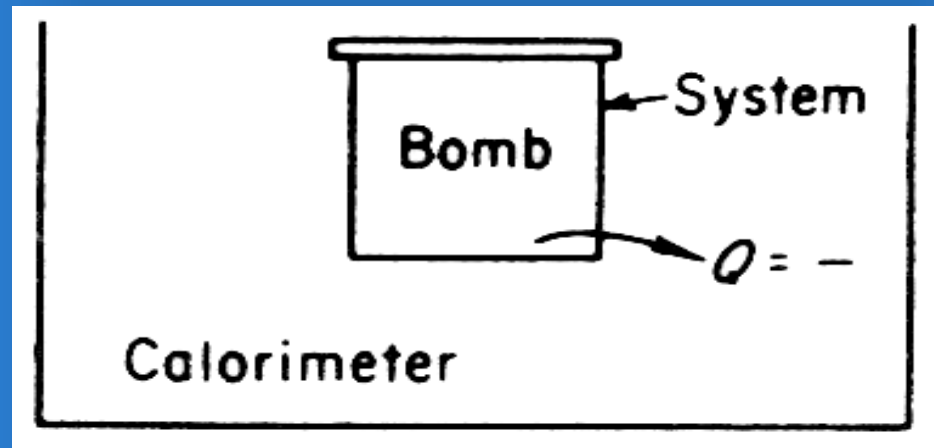
مبنا:  $25^{\circ}\text{C}$  ،  $1\text{atm}$  ،  $\text{C}(\beta)$  گرافیت و  $\text{H}_2(\text{g})$  گرمای تشکیل صفر دارند.



$$\Delta H_{\text{واكش}}^\circ = 4/8 \text{ kcal}$$

## 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  $250^{\circ}\text{C}$  به دست آورید.



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

مبنا: یک گرم مول C(s)

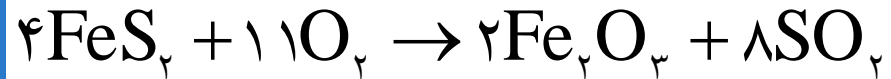
$$Q_P - Q_V = \frac{1}{2} RT = 0.5 \left[ (8.31 \text{ J/gmol(K)}) \right] (298 \text{ K}) = 1238 \text{ J/gmol}$$

هرگاه خروجی  $Q_V$  از کالریمتر  $111759 \text{ J}$  اندازه گیری شده باشد

$$Q_P = Q_V + 1238 = -111759 + 1238 = -110521 \text{ J}$$
$$\text{گرمای واکنش در حجم ثابت} = \frac{Q_V}{n} = \frac{-111759}{1} \frac{\text{J}}{\text{gmolC(s)}}$$
$$\Delta \hat{H}_{\text{واکنش}}(p) = \frac{Q_P}{n} = \frac{-110521}{1} \frac{\text{J}}{\text{gmolC(s)}}$$

## مثال: واکنش‌های کامل نشده

یک نوع کانی پیریت آن متشکل از ۸۵٪  $\text{FeS}_2$  و ۱۵٪ ناخالصی (مواد بی اثر سنگ و غیره) را با ۲۰۰٪ هوای اضافی به مبنای واکنش زیر برشته می‌کنند تا  $\text{SO}_2$  حاصل شود.



تمام ناخالصی‌ها به انضمام  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  در پس‌ماند جامد (خاکستر) باقی می‌مانند که حاوی ۴٪  $\text{FeS}_2$  است. گرمای استاندارد واکنش را برای هر کیلوگرم از کانی به دست آورید.

مبنا: ۱۰۰ kg از کانی

اجزاء کانی	درصد kg	وزن مولی	kgmol
$\text{FeS}_2$	۸۵	۱۲۰	۷۰۸/۰
مواد بی اثر	۱۵		
کل	۱۰۰		

$$\text{لازم } O_2 = \frac{۷۰.۸/۰ \cdot \text{kgmolFeS}_2}{۷۰.۸/۰ \cdot \text{kgmolFeS}_2} \cdot ۱۱ \text{ kgmol } O_2 = ۹۵/۱ \text{ Kg mol } O_2$$

$$\text{ورودی } O_2 = (۱+۲)(۹۵/۱) = ۸۴/۵ \text{ kgmol } O_2$$

ورودی

$$N_۲ = ۵/۸۴ \left( \frac{۷۹}{۲۱} \right) = ۲۲/۰ \cdot \text{kgmol} N_۲$$

kgمحترق نشده اجزاء خاکستر

FeS<sub>2</sub> x

مواد بی اثر ۱۵

$$Fe_r O_r : \frac{\text{سوخته } (۸۵ - x) kg FeS_r}{120 \frac{kg FeS_r}{kg mol FeS_r}}$$

$۲ mol Fe_2O_3$	$۱۶۰ kg Fe_2O_3$	$= \frac{۲}{۳} (۸۵ - x)$
$۴ mol FeS_2$	$kg mol Fe_2O_3$	

$$. / . ۴ = \frac{x}{x + ۱۵ + \frac{۲}{۳} (۸۵ - x)} \Rightarrow \frac{۲}{۳} (۸۵ - x) = ۵۴ / ۷ kg Fe_r O_r \Rightarrow x = ۲ / ۹۱ kg FeS_r$$

اجزاء کانی	درصد kg	وزن مولی	kg mol
FeS <sub>2</sub>	۹۱/۲	۱۲۰	۰.۲۴۲/۰
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۷/۵۴	۱۶۰	۳۴۲/۰
مواد بی اثر	۱۵		

مقداری از FeS<sub>2</sub> که اکسید می شود



$$\frac{(85/0 - 91/2) \text{ kg FeS}_2}{1 \text{ kgmol FeS}_2} = 684/0 \text{ kg mol FeS}_2$$

$$\frac{1 \text{ kgmol FeS}_2}{120 \text{ kg FeS}_2}$$

FeS<sub>2</sub> ناشی از اکسایش  $\frac{684/0 \text{ kg FeS}_2}{8 \text{ SO}_2} = 37/1 \text{ kg mol SO}_2$  تولید شده

$$\frac{684/0 \text{ kg FeS}_2}{4 \text{ FeS}_2}$$

$\frac{684/0 \text{ kg FeS}_2}{11 \text{ kg mol O}_2} = 88/1 \text{ kg mol O}_2$  مصرف شده

$$\frac{684/0 \text{ kg FeS}_2}{4 \text{ FeS}_2}$$

اجزاء	FeS <sub>2</sub> (c)	O <sub>2</sub> (g)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (c)	SO <sub>2</sub> (g)
$\Delta H_f^\circ$	-520/42	0	-500/196	-960/70 (kcal/mol)

$$\Delta H_f^\circ = [(1/37)(-70/960) + (0/342)(-196/500) - (0/684)(-42/520)] 1000$$

$$= -135292 \text{ kcal}$$

$$\Delta H_f^\circ = -1/353 \text{ kcal/kg}$$

## مثال: محاسبه گرمای واکنش در دمائی متفاوت با شرایط استاندارد

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

گازها در  $500^{\circ}\text{C}$  وارد و در همین دما خارج می شوند. مقدار گرمایی که مبادله می شود چند است؟

مبنا: یک گرم مول  $\text{CO}_2(\text{g})$

داده های جدولی	$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CH}_4$			
$\Delta H_f^{\circ} (\text{J} / \text{gmol})$	-۳۹۳۵۱۳	۰	-۲۴۱۸۲۷	-۷۴۸۴۸

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

$$-1(\text{Cp}_{(\text{CO}_2)}) = 6/393 + 1.0/100 \times 10^{-3} T - 3/40.5 \times 10^{-6} T^2$$

$$-4(\text{Cp}_{(\text{H}_2)}) = 6/424 + \dots$$

$$-2(\text{Cp}_{(\text{H}_2\text{O})}) = 6/970 + \dots$$

$$1(\text{Cp}_{(\text{CH}_4)}) = 3/204 + \dots$$

$$\Delta\text{Cp} = \underbrace{-14/945}_{\Delta\alpha} + \underbrace{11/0.82 \times 10^{-3} T}_{\Delta\beta} - \underbrace{1/729 \times 10^{-6} T^2}_{\Delta\gamma}$$

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

ابتدا واکنش  $\Delta H(298)$  و  $\Delta\alpha$  و  $\Delta\beta$  و  $\Delta\gamma$  قرار می دهیم و  $\Delta H_0$  را می یابیم و سپس

واکنش  $\Delta H$  را پیدا می کنیم

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

$$+ 4/184\left(\frac{-1/729 \times 10^{-6}}{3}\right)(298)^3 \quad \Delta H_o = -14835.0 (J/gmol)$$

$$\Delta H_{(773)} = \Delta H_f + \Delta\alpha T + \frac{\Delta\beta}{2} T^2 + \frac{\Delta\beta}{3} T^3$$

$$-14835.0 + (4/184)(-14/954)(773)$$

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

$$= -14835.0 - 48365 + 13853 - 1671 - 1114 = -18397. \frac{J}{gmolCo_2}$$

## محاسبه گرمای واکنش در دمائی متفاوت با شرایط استاندارد

$$\Delta H_{\text{واکنش} 298} = -164989 \text{ kJ/kgmol}$$

مثال قبل: جدول  $\Delta H$  بر حسب kJ/kgmol نسبت به  $298 \text{ K}$ :

دمای مبنا:  $^{\circ}\text{C}$ .

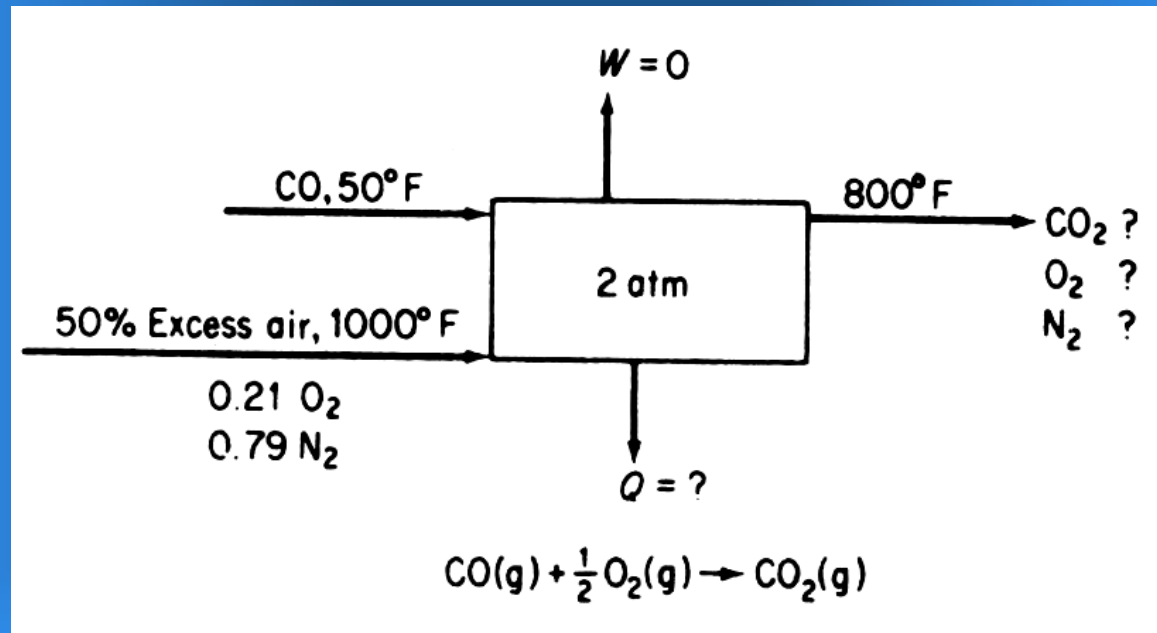
دما $^{\circ}\text{C}$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{CH}_4$
25	912	718	837	879
500	22342	14640	17799	23974

$$\Delta H_{\text{واکنش} 773\text{K}} = \Delta H_{\text{واکنش} 298} + \Delta H_{\text{فراورده‌ها}} - \Delta H_{\text{واکنش دهنده‌ها}}$$

$$\begin{aligned}
 &= -164989 + [(1)(23974 - 879) + (2)(17799 - 837)] \\
 &\quad - [(1)(22342 - 912) + (4)(14640 - 718)] \\
 &= -185088 \frac{\text{kJ}}{\text{kgmolCO}_r}
 \end{aligned}$$

## مثال : کاربرد موانه انرژی در تحول همراه با واکنش

مونوکسید کربن را در  $50^{\circ}\text{C}$  را با  $50\%$  هوای اضافی در دمای  $1000^{\circ}\text{F}$  و در فشار  $2\text{ atm}$  به طور کامل می‌سوزانند. فراورده‌های احتراق در دمای  $800^{\circ}\text{F}$  از کوره خارج می‌شوند. مطلوب است گرمای خروجی از لحظه احتراق بر حسب  $\text{Btu}$  به ازای هر پوند  $\text{CO}$  ورودی.



## مبنا یک پوند مول CO

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

مقدار O<sub>2</sub> ترکیب نشده خروجی:

$$۲۱/۰(۵۷/۳) - ۵/۰ = ۲۵/۰ \text{ lb mol O}_2$$

مقدار N<sub>2</sub> ترکیب نشده خروجی:

$$۷۹/۰(۵۷/۳) = ۸۲/۲ \text{ lb mol N}_2$$

مقدار CO<sub>2</sub> خروجی:

$$۱ \text{ lbmol CO}_2$$

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

دما (°F)	CO	هوا	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
۵۰	۱۲۵	—	—	—	—
۷۷	۳/۳۱۳	۷/۳۱۲	۱/۳۱۵	۲/۳۱۳	۲/۳۹۲
۸۰۰	—	—	۵۶۹۰	۵۴۴۳	۸۰۲۶
۱۰۰۰	—	۶۹۸۴	—	—	—

$$Q = \Delta H_{\text{واکنش } 77^{\circ}\text{F}} + \Delta H_{\text{فراورده‌ها}} - \Delta H_{\text{واکنش دهنده‌ها}}$$

$$\Delta H_{\text{فراورده‌ها}} = \Delta H_{800^{\circ}\text{F}} - \Delta H_{77^{\circ}\text{F}}$$

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



$$\Delta H_{\text{واکنش } 77^\circ\text{F}} = -121740 \text{ Btu/lbmol}$$

$$\Delta H_{\text{واکنش دهنده ها}} = \Delta H_{1000^\circ\text{F}} - \Delta H_{77^\circ\text{F}} + \Delta H_{50^\circ\text{F}} - \Delta H_{77^\circ\text{F}}$$

$$= (0.7/3)(6984 - 7/312) + (1)(2/120 - 3/312) = 23629 \text{ Btu/lbmol}$$

$$Q = -121740 + 23629 = -98111 \text{ Btu/lbmol}$$

-98111	1 lb mol CO	=	-98111 Btu/lb CO
1 lb mol CO	28 lb CO		

# فصل ۵

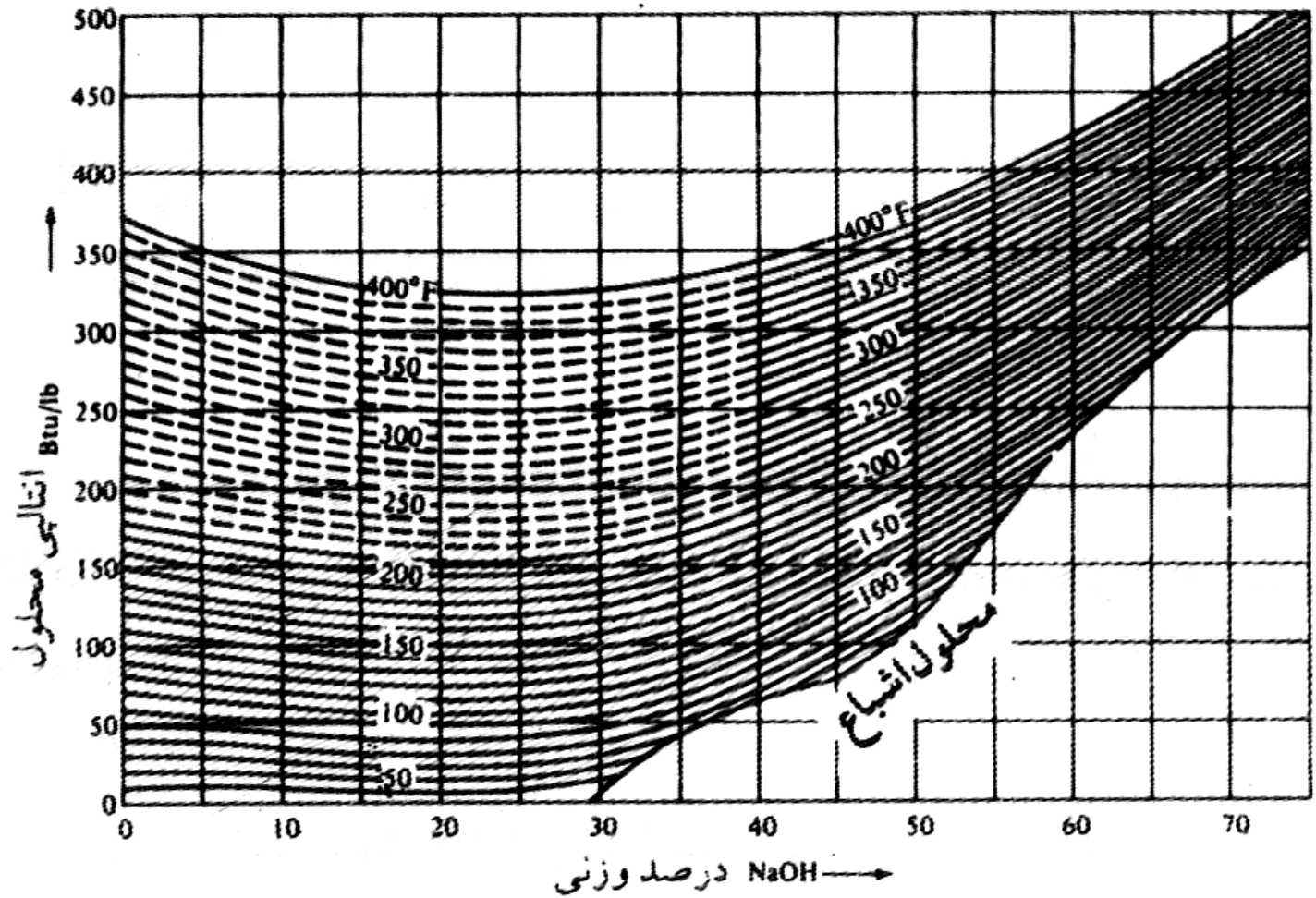
کاربرد موازنه مشترک  
مواد و انرژی

## منحنی های آنتالپی - غلظت

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

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 می شود اختیار می شود. سپس موازنه انرژی در مورد محلولهایی با ترکیبهای نسبی مختلف بر قرار می شود و منحنی آنتالپی غلظت رسم می گردد.

# منحنی آنتالپی - غلظت محلول NaOH



## مثال: کاربرد منحنی‌های آنتالپی - غلظت

یک صد پاوند محلول  $\text{NaOH}$  ۷۳ درصد در  $350^\circ\text{F}$  درجه فارنهایت را رقیق کرده به محلول ۱۰ درصد در  $80^\circ\text{F}$  درجه فارنهایت تبدیل می‌کنند. چند پاوند آب  $80^\circ\text{F}$  درجه و یخ  $32^\circ\text{F}$  درجه فارنهایت لازم است؟ از جدول و منحنی آنتالپی غلظت داریم:

آنتالپی آب خالص در  $80^\circ\text{F}$  درجه فارنهایت  $48$  بی‌تی‌یو بر پاوند و یخ خالص در  $32^\circ\text{F}$  درجه فارنهایت  $143$  - بی‌تی‌یو بر پاوند است.

آنتالپی محلول سود ۷۳ درصد در  $350^\circ\text{F}$  درجه فارنهایت برابر  $468$  و محلول ۱۰ درصد در  $80^\circ\text{F}$  درجه فارنهایت برابر  $42$  بی‌تی‌یو بر پاوند است.

مبنا: ۱۰۰ lb محلول ۷۳ درصد سود در ۳۵۰ درجه فارنهایت

$$\frac{73 \text{ lb NaOH}}{0.78 \text{ lb NaOH / lb}} = 73 \cdot \text{lb} \quad \text{محصول}$$

$$730 \text{ (محصول)} - 100 \text{ (خوراک)} = 630 \text{ lb H}_2\text{O} \quad \text{(آب و یخ افزوده شده)}$$

آب  $(630 - x)$  lb و یخ  $x$  lb

## موازنه انرژی:

$$\Delta H (\text{ورودی}) = \Delta H (\text{خروجی})$$

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

$$46800 + 30240 - 191x = 30660$$

$$x = 243 lb (32^\circ F) \quad \text{یخ}$$

$$630 - x = 387 lb (80^\circ F) \quad \text{آب}$$