مقدمه‌ای بر اصول محاسبات شیمی صنعتی

۱-۱ واحدها و ابعاد
۱-۲ واحد مولی
۱-۳ قواعد موجود در روشهای تجزیه و تحلیل و اندازه‌گیری
۱-٤ مبناء
۱-۵ دما
۱-٦ فشار
۱-۷ خواص فیزیکی و شیمیائی ترکیبات و مخلوطها
۱-۸ فن حل مسایل
۱-۹ روابط شیمیائی و استوکیومتری[1]
۱-۱۰ تمرینات حل شده
۱-۱۱ تمرینات حل نشده

به منظور اتخاذ تصمیمات مناسب در زمینه‌های تکنولوژی شیمیائی و محیط زیست انجام محاسبات لازم شیمیائی جهت دستیابی به موازنه جرم و انرژی از ضرورت‌ها محسوب می‌گردد. در این فصل نگرشی بر بعضی اطلاعات و مفاهیم اساسی شیمیائی و فیزیکی به عمل خواهد آمد. این نگرش از نظر آشنائی مجدد و افزایش کارآیی در کاربرد این اطلاعات و مفاهیم در حل مسائل صنعتی ضرورت دارد. محتوای این فصل با وجودیکه خود آسان است ولی کاربرد آن در موارد غیر آشنا و جدید چندان ساده نیست.

۱-۱ واحدها[2] و ابعاد[3]

ابعاد، اساسی‌ترین مفهوم برای اندازه‌گیری‌هایی نظیر طول، زمان، جرم، دما و غیره می‌باشند. واحدها وسیله بیان ابعادی نظیر فوت[4] و سانتی‌متر برای طول، یا ساعت و ثانیه برای زمان هستند. باید توجه داشت که در محاسبات صنعتی برای کلیه ارقام به غیر مواردی که اصولا فاقد بعد هستند ذکر ابعاد ضرورت دارد. رعایت این اصل می‌تواند موجب سهولت قابل

1. Stoichiometry
2. Units
3. Dimensions
4. Feet

توجهی در حل مسائل صنعتی شده و از بروز بعضی اشتباهات جلوگیری نماید. اعمال جمع و تفریق فقط در مورد ارقامی ممکن است که دارای ابعاد یکسان باشند. در اعمال ضرب و تقسیم نیز هرگز نباید بعد جدید رقم حاصل را از نظر دور داشت. واحدها را به کمک ضرایب مربوط می‌توان به همدیگر تبدیل نمود.

مثال ۱-۱) یک هواپیما با سرعت دو برابر صوت پرواز می‌کند با وصف اینکه سرعت صدا در هوا (sec)/(ft) ۱۱۰۰ می‌باشد سرعت این هواپیما را برحسب مایل در ساعت محاسبه نمائید.

حل:

مثال ۱-۲) رقم $(in.)^3/(day)$ ٤۰۰ را به $(cm)^3/(min)$ تغییر دهید.

حل:

روابط مذکور در بالا دارای بعد هستند و از اینرو "روابط بعددار"[1] نامیده می‌شوند. از گذشته واحدهای مختلفی برای اندازه‌گیریها در کشورهای مختلف و حتی شهرهای مختلف معمول است که مهمترین آنها سیستمهای اندازه‌گیری انگلیسی و فرانسوی می‌باشند. اختلاف در ابعاد، از جهات مختلف در امور علمی و فنی منبع اشکالات متعددی است و از این رو در نهایت

1. Dimensional equations

براساس تصمیمات اتخاذ شده در یازدهمین کنفرانس عمومی اوزان و اندازه‌گیری، کلیهٔ کشورها و ارگانها مکلف هستند خود را با سیستم بین‌المللی[1] (SI) مطابقت دهند (1960).
در جداول (۱-۱) و (۱-۲) معمولترین سیستم های ابعادی که در امور صنعتی کاربرد دارند قید شده است. قانون نیوتن[2] را با توجه به ضرایب تبدیل واحدها در حالت عمومی به ترتیب زیر می‌توان نوشت:

$$F=C.m.a \qquad (۱-۱)$$

در این رابطه:

F= نیرو، a= شتاب، m=جرم و C، ثابتی است که مقدار عددی و واحد آن بستگی به واحدهای F ، m و a دارد.

جدول ۱-۱

	Length	Time	Mass	Force	Energy	Temperature	Remarks
Absolute (Dynamic) Systems							
Cgs	centi-meter	second	gram	dyne*	erg, joule, or calorie	°K, °C	Formerly common scientific
Fps (ft-lb-sec or English absolute)	foot	second	pound	poundal*	ft poundal	°R, °F	
SI	meter	second	kilogram	newton*	joule*	K, °C	Internationally adopted units for ordinary and scientific use
Gravitational Systems							
British engineering	foot	second	slug*	pound weight	Btu (ft)(lb) (ft)(lb_f)	°R, °F	
American engineering	foot	second, hour	pound mass (lb_m)	pound force (lb_f)	Btu or (hp)(hr)	°R, °F	Used by chemical and petroleum engineers in the United States

*Unit derived from basic units; all energy units are derived.

در سیستم cgs واحد نیرو، دین تعریف شده و از اینرو اگر مقدار C برابر $\frac{1(dyn)}{(g).(cm).(sec)^{-2}}$ انتخاب شود بر اثر این نیرو یک گرم جسم شتاب $1cm/s^2$ کسب می‌نماید:

$$F=\frac{1(dyn)}{\frac{(g)(cm)}{(sec)^2}}\times 1(g)\times\frac{1(cm)}{(sec)^2}=1(dyn)$$

به همین ترتیب در سیستم SI وقتی واحد نیرو، نیوتون (N) است اگر C برابر با $1\frac{(N).(s)^2}{(kg).(m)}$ انتخاب شود یک نیوتن قادر به دادن شتاب $۱\,m/s^2$ بر یک کیلوگرم جسم خواهد بود.

2. System International
3. Newton's law

$$F = \frac{1(N)}{\frac{(kg)(cm)}{(s)^2}} \times 1(kg) \times \frac{1(m)}{(s)^2} = 1(N)$$

در بکارگیری کلمهٔ وزن[1] باید توجه کافی داشت چون در واقع وزن عبارت از «نیـروی ثقلـی»[2] مؤثر بر یک جسم می‌باشد، ولی در اصطلاح این کلمه بجای جرم[3] استفاده می‌شود. وقتی گفته می‌شود یک جسم به وزن ۵ کیلوگرم موجود است در واقع منظـور جسـمی بـه جـرم دقیـق ۵ کیلوگرم است که به آن نیرویی معادل $٤٩(kg)(m)(S)^{-2}$ (نیوتن) از طرف زمین تأثیر می‌کند.

$$F=C.m.g \qquad (۲-۱)$$

F= نیروی ثقلی، g= شتاب ثقل، m= جرم و C= ۱ (در دستگاه متریک) می‌باشد.

$$C = 1\frac{N}{(kg)(m)(s)^{-2}}$$

با توجه به اینکه مقدار شتاب ثقل در سیستم متریک برابر $۹/۸۰\ m/S^2$ است محاسـبات زیـر را می‌توان انجام داد.

$$5\,(kg) \times 9.80\,(m/s^2) = 49(kg)(m)(s^{-2})$$

$$F = C.m.g = 1\,\frac{N}{(kg)(m)(s^{-2})} \times 49(kg)(m)(s^{-2}) = 49(N)$$

در دستگاه مهندسی امریکائی مقادیر عددی پوند جرمی[4] (Ib_m) و پونـد نیـرو[5] (Ib_f) بـویژه در سطح زمین برابرند. براساس این تعریف اگر به جسمی با جرم یک پوند، نیرویـی معـادل یـک پوند نیرو تأثیر نماید شتابی برابر $٣٢/١٧٤\ ft/sec^2$ کسب خواهد نمود. یادآور می‌شود که مقدار مذکور برابر شتاب ثقل[6] زمین (g) در این سیستم است. به کمک رابطهٔ (۱-۲) بـه ترتیـب زیـر می‌توان نوشت:

$$F = C \times (lbm) \times \frac{32.17(ft)}{(sec^2)} = (lb_f)$$

$$C = \frac{1}{32.174}\,\frac{(lb_f)(sec)^2}{(lb_m)(ft)}$$

عکس مقدار C با نماد ویژه g_C نشان داده می‌شود و مقدار آن به شکل زیر است:

1. Weight
2. Force of Gravity
3. Mass
4. Pound mass
5. Pound force
6. Acceleration of gravity

$$g_c = \frac{1}{C} = 32.174 \frac{(lb_m)(ft)}{(lb_f)(sec^2)}$$

با توجه به مطلب بالا در سیستم مهندسی امریکائی رابطه (۱-۲) بصورت زیر در می‌آید:

$$F = m\frac{g}{g_c} \qquad (۱-۳)$$

جدول ۱-۲

Basic SI Units

Physical Quantity	Name of Unit	Symbol for Unit*
Length	metre, meter	m
Mass	kilogramme, kilogram	kg
Time	second	s
Thermodynamic temperature	degree kelvin	K
Amount of substance	mole	mol

Derived SI Units

Physical Quantity	Name of Unit	Symbol for Unit*	Definition of Unit
Energy	joule	J	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$
Force	newton	N	$kg \cdot m \cdot s^{-2} \Leftrightarrow J \cdot m^{-1}$
Power	watt	W	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \Leftrightarrow J \cdot s^{-1}$
Frequency	hertz	Hz	cycle/s
Area	square meter		m^2
Volume	cubic meter		m^3
Density	kilogram per cubic meter		$kg \cdot m^{-3}$
Velocity	meter per second		$m \cdot s^{-1}$
Angular velocity	radian per second		$rad \cdot s^{-1}$
Acceleration	meter per second squared		$m \cdot s^{-2}$
Pressure	newton per square meter, pascal		$N \cdot m^{-2}$, Pa
Specific heat	joule per (kilogram·kelvin)		$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$

Alternate Units

Physical Quantity	Allowable Unit	Symbol for Unit*
Time	minute	min
	hour	h
	day	d
	year	a
Temperature	degree Celsius	°C
Volume	litre, liter (dm^3)	L
Mass	tonne, ton (Mg)	t
	gram	g
Pressure	bar (10^5 Pa)	bar

*Symbols for units do not take a plural form, but plural forms are used for the unabbreviated names.

در غالب موارد مقدار نسبت g/g_c برابر یک است، ولی این همیشه صحیح نیست. به عنوان مثال به ماهواره‌ای که دارای جرمی برابر یک پوند جرم است در سطح زمین نیرویی معادل یک

پوند نیرو تأثیر می‌کند ولی در ارتفاع ۵۰ مایلی از سطح زمین جرم ماهواره کماکان یک پوند جرم ولی نیروی مؤثر بر آن یک پوند نیرو نخواهد بود.

مثال ۱-۳) انرژی پتانسیل یک مخزن به جرم ۱۰۰ پوند را که در ارتفاع ۱۰ فوت از سطح زمین قرار دارد، برحسب $(ft)(Ib_f)$ محاسبه نمائید:

حل:

مثال ۱-٤) یکصد پوند آب در درون لوله‌ای با سرعت ft/sec ۱۰ در جریان است. انرژی سینتیک این آب را برحسب $ft \times lb_f$ محاسبه نمائید.

حل:

مثال ۱–۵) اختلاف وزن یک راکت صد کیلوگرمی را بین سطح زمین و ارتفاع ده کیلـومتری از سطح آن برحسب نیوتن محاسبه نمائید. یادآور می‌شود کـه شـتاب ثقـل در ارتفـاع مـذکور و سطح زمین به ترتیب برابر با $9/76\ m/s^2$ و ۹/۸۰ است.

حل:

به منظور کمک به تبدیل واحدها از سیستم SI به سیستم مهندسی امریکـائی ضـرائب اساسـی لازم در جدول ۱–۳ آمده است. نمادهای اختصاری در حالت مفـرد و جمـع، مگـر در بعضـی موارد استثنائی، یکی است.

جدول ۱–۳) ضرایب تبدیل اساسی

Dimension	***American Engineering***	***SI***	***Conversion: American Engineering to SI***
Length	12 in. = 1 ft 3 ft = 1 yd 5280 ft = 1 mi	10 mm* = 1 cm* 100 cm = 1 m	1 in. = 2.54 cm 3.28 ft = 1 m
Volume	1 ft^3 = 7.48 gal	1000 cm^3* = 1 L*	35.31 ft^3 = 1.00 m^3
Density	1 ft^3 H_2O = 62.4 lb_m	1 cm^3 H_2O = 1 g 1 m^3 H_2O = 1000 kg	-
Mass	1 ton_m = 2000 lb_m	1000 g = 1 kg	1 lb_m = 0.454 kg
Time	1 min = 60 sec 1 hr = 60 min	1 min* = 60 s 1 h* = 60 min	

* An acceptable but not preferred unit in the SI system.

Note: Some conversion factors in this table are approximate but have sufficient precision for engineering calculation.

USA : 1 (ton) = 2000 (lb_m) = 907.184 (kg)

UK : 1 (ton) = 2240 (lb_m) = 1016.0469 (kg)

سیستم متریک: 1 (ton) = 2204.62 (lb_m) = 1000 (kg)

یکی از محاسن سیستم SI داشتن پیشوندهای مناسب برای بیان آحاد و اعشار هر یک از واحدهاست که در جدول ۱-٤ این پیشوندها قید شده‌اند. ثابت غالب روابط براساس سیستم اندازه‌گیری مربوط بیان می‌شود که در صورت تغییر سیستم اندازه گیری مقدار عدد ثابت مذکور نیز تغییر خواهد کرد. جهت محاسبه این مقدار ثابت در سیستم جدید باید از تسلط کافی به موضوع تبدیل واحدها به یکدیگر برخوردار بود.

جدول ۱-٤) پیشوندها

Factor	Prefix	Symbol	Factor	Prefix	Symbol
10^{18}	exa	E	10^{-1}	deci*	d
10^{15}	penta	P	10^{-2}	centi*	c
10^{12}	tera	T	10^{-3}	milli	m
10^{9}	giga	G	10^{-6}	micro	μ
10^{6}	mega	M	10^{-9}	nano	n
10^{3}	kilo	k	10^{-12}	pico	p
10^{2}	hecto*	h	10^{-15}	femto	f
10^{1}	deka*	da	10^{-18}	atto	a

*Avoid except for areas and volumes.

۱-۲ واحد مولی

یک مول عبارت است از تعداد معینی از مولکولها، اتمها، الکترونها و یا انواع دیگر ذرات. این تعداد معین برابر تعداد اتمهای کربن دوازده موجود در ۰/۰۱۲kg از این عنصر می‌باشد که آن هم برابر رقم $٦/٠٢٣\times١٠^{٢٣}$ (عدد آووگادرو) است. یک مول شامل $٦/٠٢٣\times١٠^{٢٣}$ ذره است که در اصطلاح گرم مول[1] (نماد g mole) نامیده می‌شود. یادآور می‌شود که تعداد ذرات موجود در یک مول سیستم مهندسی امریکائی که پوند مول[2] (نماد 1b mole) نامیده می‌شود برابر $٦/٠٢٣\times١٠^{٢٣}\times٤٥٤$ است.

ذیلاً از دیدگاه دیگری به واحد مولی می‌نگریم. به منظور تبدیل تعداد مولها به جرم از جرم مولکولی استفاده می‌شود.

$$\text{g mol} = \frac{\text{جرم برحسب گرم}}{\text{جرم مولکولی}} \qquad (١-٤)$$

$$\text{lb mol} = \frac{\text{جرم برحسب پوند}}{\text{جرم مولکولی}} \qquad (١-٥)$$

1. gram mole
2. Pound mole

(۱-٦) جرم برحسب گرم =(mol.wt.) (g mol)

(۱-۷) جرم برحسب پوند =(mol.wt.) (1b mol)

مثال ۱-٦) در یک ظرف ۲/۰۰ پوند NaOH به جرم مولکولی ٤۰/۰ ریخته شده مطلوب است:

الف) تعداد پوند مولهای NaOH موجود.

ب) تعداد گرم مولهای NaOH موجود.

حل:

مثال ۱-۷ در ۷/۵۰ گرم مول NaOH چند پوند NaOH موجود است؟

حل:

مبناء:

۱-۳ مفاهیم موجود در روشهای تحلیل و اندازه‌گیری

آشنایی کافی با این قواعد و مفاهیم می‌تواند از بروز اشتباهات فاحش در حل مسائل صنعتی جلوگیری نماید.

۱-۳-۱ چگالی[1]

چگالی عبارت از جرم یک جسم به ازاء واحد حجم آن است و واحد آن می‌تواند kg/m^3 یا lb_m/ft^3 باشد. چگالی لزوماً دارای مقدار عددی و همچنین واحد است. جهت محاسبه چگالی یک جسم باید حجم و جرم یا حجم و وزن آن معلوم باشد. چگالی جامدات و مایعات با تغییرات فشار چندان تغییری نمی‌کنند ولی این تغییرات در مورد گازها بارز است. تاثیر تغییرات دما بر چگالی در تمام موارد می‌تواند قابل توجه باشد و به کمک اندازه‌گیری چگالی یک محلول دوتایی مایع در مایع می‌توان ترکیب درصد آن را پیش بینی نمود.

۱-۳-۲ چگالی نسبی[2]

چگالی نسبی یک نسبت بدون بعد است و در واقع نسبت چگالی ترکیب مورد نظر مانند A به چگالی ترکیب مرجع می‌باشد.

$$\text{SPgr} = \text{Specific gravity} = \frac{\left(lb_m/ft^3\right)_A}{\left(lb_m/ft^3\right)_{ref}} = \frac{\left(g/cm^3\right)_A}{\left(g/cm^3\right)_{ref}} = \frac{\left(kg/m^3\right)_A}{\left(kg/m^3\right)_{ref}}$$

معمولاً ترکیب مرجع برای مایعات و جامدات، آب است ولی در مورد گازها این ترکیب مرجع، غالباً هوا انتخاب می‌شود. ولی ممکن است در موارد خاص از گازهای دیگر نیز به این عنوان استفاده گردد. در فصول دیگر این مطلب با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت چگالی نسبی مایعات تقریباً مستقل از تغییرات فشار می‌باشد ولی در مورد دما چنین نیست و از این رو حتماً باید ضمن بیان چگالی نسبی, دمای ترکیب مورد نظر و دمای ترکیب مرجع نیز قید گردد. و از این نظر چگالی نسبی ترکیبی مانند A، به ترتیب زیر نوشته می‌شود:

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

1. Density
1.Specific Gravity

تفسیر آن بدین صورت است که وقتی محلول مورد نظر در دمای ۲۰ ^{o}C و ترکیب مرجع (آب) در ٤^{o}C قرار دارد چگالی نسبی ترکیب مورد نظر ۰/۷۳ می‌باشد. با وصف اینکه در سیستم SI چگالی آب در ٤ ^{o}C بسیار نزدیک به ۱/۰۰۰۰ g/cm^3 است لذا مقدار عددی چگالی و چگالی نسبی در این سیستم برابرند. ولی در سیستم مهندسی امریکائی چگالی برحسب lb/ft^3 بیان می‌گردد، که چگالی آب در شرایط مذکور ٦۲/٤ lb/ft^3 است. از اینرو آشکار است که در سیستم مورد بحث مقادیر چگالی و چگالی نسبی با یکدیگر برابر نخواهد بود.

در صنعت نفت چگالی نسبی فرآورده‌های نفتی معمولاً برحسب مقیاس هیدرومتر[1] موسوم به ^{o}API بیان می‌گردد. رابطه مربوط به ^{o}API بترتیب زیر است:

$$^{o}\text{API} = \frac{141.5}{\text{SP gr}\,\frac{60^{o}\text{F}}{60^{o}\text{F}}} - 131.5 \qquad (۸-۱)$$

و یا:

$$\text{sp gr}\,\frac{60^{o}\text{F}}{60^{o}\text{F}} = \frac{141.5}{^{o}\text{API} + 131.5} \qquad (۹-۱)$$

حجم فرآورده‌های نفتی تابعی از تغییرات دما است، از اینرو دمای استاندارد برای تعیین ^{o}API، ٦۰ ^{o}F قبول شده است. یادآور می‌شود ^{o}API خارج از واحدهای مورد قبول برای چگالی در سیستم SI است.

علاوه بر درجه ^{o}API درجات مختلف دیگری در صنایع شیمیائی معمول است که مهمترین آنها را بترتیب زیر می‌توان یادکرد که برای مایعات سنگین‌تر از آب قابل استفاده است:

$$\text{Twaddell } (^{o}\text{TW}) = 200(G-1) \qquad (۱۰-۱)$$
$$(G = \text{sp gr})$$

در صنعت شکر درجه خاصی بنام درجهٔ Brix بکار برده می‌شود. این درجه برای سنجش غلظت محلولهای شکر وآب مورد استفاده است.

$$\text{Brix} = 400 - \frac{400}{G} \qquad (۱۱-۱)$$

و درجات دیگر:

$$\text{Baume}'(\text{Be}) = 145 - \frac{145}{G} \quad \text{سنگین‌تر از آب} \qquad (۱۲-۱)$$

$$\text{Baume}'(\text{Be}) = \frac{140\cdot}{G} - 130 \quad \text{سبک‌تر از آب}$$

2. Hydrometer scale

G= sp gr (۱۵/۵ ^{o}C /۱۵/۵ ^{o}C و یا ۶۰ ^{o}F / ۶۰ ^{o}F)

۱-۳-۳ حجم ویژه[1]

حجم ویژه هر ترکیب عبارت از عکس چگالی آن است که در واقع حجم واحد جرمی می‌باشد واحدهای حجم ویژه ممکن است برابر ft^3/lb_m، $ft^3/lb\ mol$، cm^3/g، $bb1/lb_m$ [2] و غیره باشد.

۱-۳-٤ کسر مولی[3] و کسر وزنی[4]

کسر مولی عبارتست از نسبت تعداد مولهای یک ترکیب خاص به تعداد کل مولهای موجود. این تعریف در مورد گازها، مایعات وجامدات می‌تواند مورد استفاده باشد. به همین ترتیب کسر وزنی عبارتست از نسبت وزن یک ترکیب خاص به وزن کل مواد موجود.

* quart واحد حجم است و بر دو نوع انگلیسی و آمریکایی می‌باشد. در نوع انگلیسی جامدات و مایعات تفاوتی ندارند ولی در نوع امریکائی مایع و جامد متفاوت است.

۱ quart (Eng)=۱/۱۳۶۵۲×۱۰$^{-۳}$ m^3

۱ quart (USA) مایعات =۲ pints= $\frac{1}{4}$ gallon=۹/٤٦×۱۰$^{-٤}$ m^3

۱ quart (USA) جامدات= ۱/۱۰×۱۰$^{-۳}$ m^3

تعاریف بالا را به ترتیب زیر می‌توان به بیان ریاضی تبدیل نمود.

$$\text{کسر مولی ترکیب A} = \frac{\text{تعداد مولهای A}}{\text{تعداد کل مولها}} \qquad (۱-۱۳)$$

$$\text{کسر وزنی A} = \frac{\text{وزن سازنده A}}{\text{وزن کل}} \qquad (۱-۱٤)$$

کسر مولی و یا کسر وزنی را اگر به رقم صد ضرب کنیم درصد مولی و درصد وزنی بدست خواهد آمد.

---

1. Specific volume

۲- bbl=barrel مخفف بشکه، 1 bbl=42 gal=158 Lit در صنعت نفت و 1 bbl=31.5 gal=119 Lit در صنایع غیرنفتی

3.Mole fraction

4.Weight fraction

۱-۳-۵ تجزیه و تحلیل‌ها

تجزیه گازها نظیر هوا و فرآورده‌های احتراق و غیره، معمولاً پس از حذف فشار جزئی بخار آب بصورت خشک بیان می‌گردند. یک چنین تجزیه‌ای، تجزیه اورسات[3] نامیده می‌شود. ترکیب تقریبی هوا بصورت زیر در نظر گرفته می‌شود.

اکسیژن	٪ ۲۱
ازت	٪ ۷۹
کل	٪ ۱۰۰

یادآور می‌شود که ترکیب گازها برحسب کسر یا درصد حجمی بیان می‌گردند که با قبول خطای ناشی از قوانین گازهای ایده‌آل این ارقام با کسر یا درصد مولی برابر می‌شود.
ترکیب جامدات ومایعات غالباً براساس درصد وزنی بیان می‌گردد مگر در بعضی مواقع خاص که بصورت درصد مولی عنوان می‌شود.

مثال ۱-۸)یک محلول صنعتی تمیز کننده فاضلاب قوی شامل ۵/۰۰ kg آب و kg NaOH۵/۰۰ می‌باشد. مطلوب است محاسبه کسر وزنی و کسر مولی هر یک از سازنده‌ها در محلول مورد نظر.

حل:

3. Orsat

مثال ۱-۹) چگالی نسبی دی برموپنتان ۱/۵۷ می‌باشد. مطلوبست محاسبه چگالی آن برحسب
الف) g/cm^3 ب) lb_m/ft^3 ج) kg/m^3

حل: با وصف اینکه دما و نوع ماده مرجع برای چگالی نسبی در مساله قید نشده این ماده آب با جرم مخصوص $1/00 \times 10^3 \ kg/m^3$ فرض می‌شود:

مثال ۱-۱۰) وزن ملکولی متوسط هوا و در صد وزنی آنرا براساس ۲۱٪ اکسیژن و ۷۹٪ ازت (درصد مولی)، محاسبه نمایید.

حل:

* ازت مذکور موسوم به ازت اتمسفری است که شامل Ar، CO_2 ، Kr، Ne و Xe می‌باشد. در جدول ۱-۵ ترکیب هوا به دقت درج شده است.

هرگز سعی نکنید چگالی و یا چگالی نسبی مخلوط جامدات و یا مایعات را بطور متوسط بطریق ضرب کسر مولی هر یک از سازنده‌ها در چگالی و یا چگالی نسبی و جمع نمودن آنها محاسبه نمائید.

جدول ۱-۵ ترکیب هوای کاملاً خشک نزدیک سطح دریا

Component	Percent by Volume = Mole Percent
Nitrogen	78.084
Oxygen	20.9476
Argon	0.934
Carbon dioxide	0.0314
Neon	0.001818
Helium	0.000524
Methane	0.0002
Krypton	0.000114
Nitrous oxide	0.00005
Hydrogen	0.00005
Xenon	0.0000087
Ozone	
Summer	0–0.000007
Winter	0–0.000002
Ammonia	0–trace
Carbon monoxide	0–trace
Iodine	0–0.000001
Nitrogen dioxide	0–0.000002
Sulfur dioxide	0–0.0001

۱-۳-۶ غلظت‌ها

غلظت[1] عبارت از مقدار مادهٔ حل شده بازاء مقدار معین حلال و یا محلول در یک مخلوط حاوی یک یا چند سازنده است، بعنوان مثال:

الف) جرم به ازاء واحد حجم محلول $\left(\frac{lb_m}{bbl}, \frac{g}{L}, \frac{lb_m}{ft^3}\right)$

ب) قسمت در میلیون [2] (قدم)، قسمت در بیلیون (ppb) و غیره که روشی است جهت بیان غلظتهای بسیار کم.

ج) روشهای دیگر بیان غلظتها:

مولاریته[3] $\left(\frac{\text{mol}}{\text{liter}}\right)$، نرمالیته[1] $\left(\frac{equivalents}{liter}\right)$ و مولالیته[2] $\left(\frac{\text{mole}}{\text{kg}}\right)$

1.Concentration
2. Parts per million (ppm)
3. Molarity

لازم به ذکر است که برای محلول آب- اتانول، مقیاس پروف[3] در واقع دو برابر درصد حجمی الکل در محلول است. درصد حجمی الکل در اصطلاح درجهٔ الکل نامیده می‌شود.

4. Normality
5. Molality
6. Proof

۱-٤ مبناء[1]

بطوریکه در حل مسائل قبل مشاهده نمودید کلمهٔ «مبناء» در آغاز محاسبات قید شده است. این مفهوم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و انتخاب بجای آن حل مسائل را از جهات مختلف ساده‌تر می‌کند. مبناء می‌تواند در واحدهای گوناگون از قبیل زمان، جرم، حجم و غیره باشد. ضمن تعیین مبناء باید پاسخ سؤالات زیر روشن گردد.

الف) باید با چه شروع کرد؟

ب) پیدا نمودن چه چیزی مورد نظر است؟

ج) مناسب‌ترین مبناء قابل استفاده کدام است؟

براساس سؤالات بالا و پاسخ آنها می‌توان مناسبترین مبناء را انتخاب نمود. در مورد جامدات و مایعات بهتر است واحد وزنی و یا ضرائب آن بعنوان مبناء قبول شوند ولی در مورد گازها واحد مولی یا ضرائب آن مناسب‌تر است.

مثال ۱-۱۱) در سوختها مقدار نسبت مولی کربن به هیدروژن به تعیین کیفیت آن کمک می‌کند. در یک سوخت اگر درصد وزنی کربن و هیدروژن به ترتیب ۸۰٪ و ۲۰٪ باشد مطلوب است محاسبه نسبت مولی C/H.

حل:

1. Basis

مثال ۱-۱۲) مخلوط گازی به وزن ۵۰/۰ kg و درصد مولی H_2 ۱۰/۰٪، CH_4 ۴۰/۰٪، CO ۳۰/۰٪ و CO_2 ۲۰/۰٪ در دست می‌باشد. مطلوب است محاسبهٔ وزن مولکولی متوسط گاز مذکور.

حل:

مثال ۱-۱۳) تجزیه یک نمونه بیتوفینوس از نوع متوسط به ترتیب زیر گزارش شده است:

سازنده	S	N	O	خاکستر	آب
درصد وزنی	۲	۱	٦	۱۱	۳

و در باقیمانده نسبت مولی H/C برابر ۹ می‌باشد. مطلوب است محاسبه ترکیب وزنی زغال بدون در نظر گرفتن آب و خاکستر.

حل:

۱-۵ دما[1]

مفهوم دما از نزدیک در رابطه با احساسات فیزیکی گرما و سرما است. دما در واقع کیفیت گرما و سرما را براساس مقادیر بیان می‌کند، و به این منظور از دماسنج استفاده می‌شود. در آزمایشگاهها معمولاً دو نوع دماسنج الکلی و جیوه‌ای کاربرد وسیع دارند. ولی در کنار این روشها، فنون دیگری نیز برای اندازه‌گیری دما معمول است که ذیلاً به چند مورد از آنها اشاره می‌گردد.

الف) اگر دمای محل تلاقی و اتصال دو هادی از دو نوع مختلف تغییر نماید، اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد شده در دو سر دیگر هادی‌ها متناسب با شدت دما تغییر می‌کند. (دستگاه ترموکوپل[2])

ب) تغییرات مقاومت الکتریکی هادیها با دما، پایه و اساس دستگاه اندازه‌گیری دمایی است که موسوم به «ترمیستور[3]» می‌باشد.

ج) دو نوار نازک فلزی متصل به هم در اثر تغییرات دما با سرعت متفاوتی انبساط و انقباض می‌یابند. همین اصل امکان می‌دهد که جریان سیلاب درون لوله‌ها با تغییرات دمای آنها کنترل شود. به عنوان یک مثال مشخص، می‌توان از کار ترمواستات را دیاتور اتومبیل‌ها و یا سیستم تهویه هوا یاد کرد.

د) دماهای بالا توسط دستگاه «پیرومتر[4]» اندازه‌گیری می‌شود که نشان دهنده انرژی نشری موجود در سطوح اجسام گرم است.

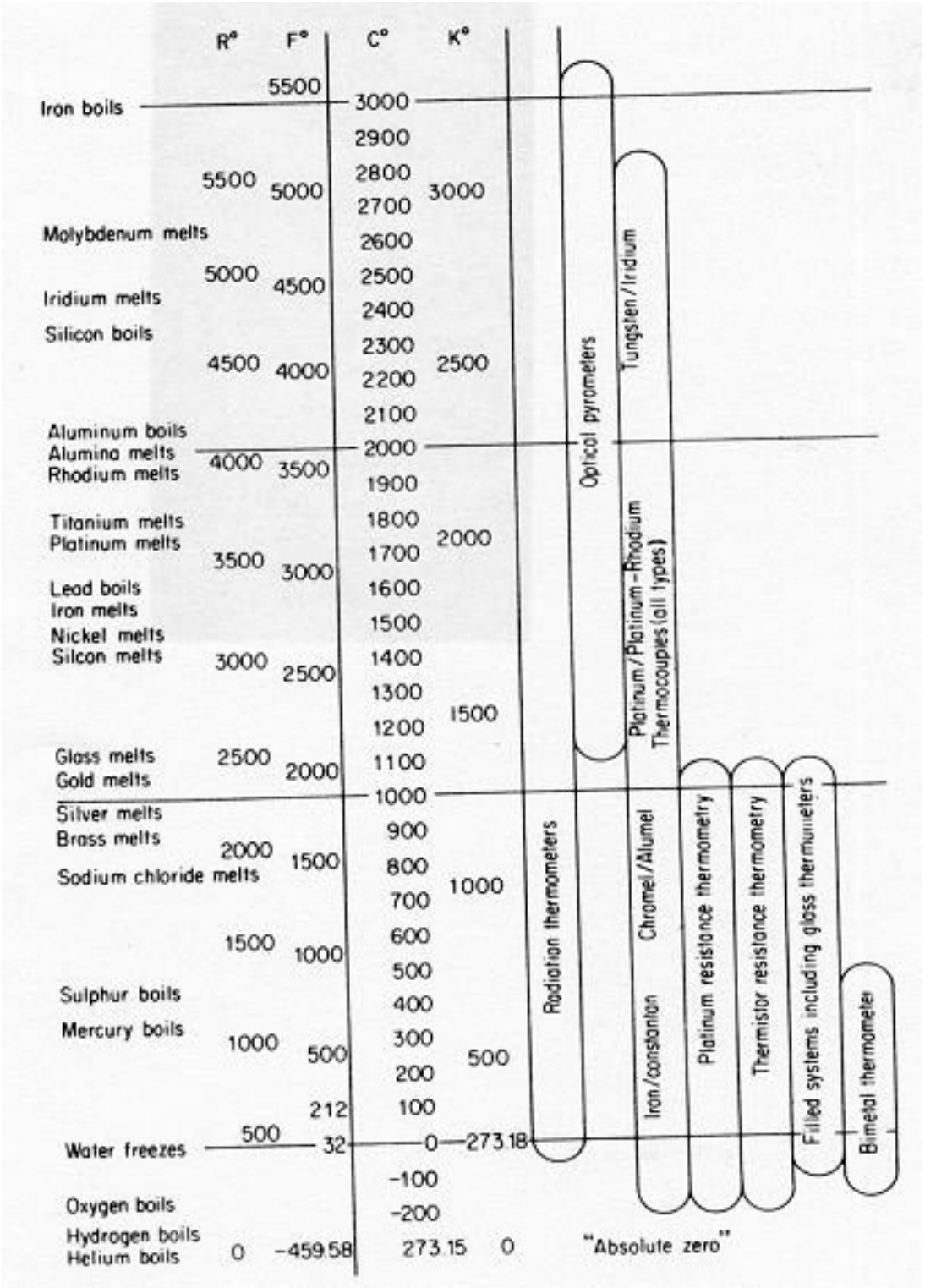
در شکل ۱-۱ دستگاههایی که در محدوده‌های دمایی مختلف برای اندازه‌گیری دما مورد استفاده قرار می‌گیرند نشان داده شده است.

بطوریکه می‌دانید دما عبارتست از اندازه انرژی حرارتی حاصل از جنبش مولکولهای یک جسم در جهات مختلف و در شرایط تعادل حرارتی. دما معمولاً برحسب فارنهایت[5] یا سلسیوس[6] (سانتیگراد) اندازه‌گیری می‌شود. مقیاس معمول در علوم برای اندازه‌گیری دما سلسیوس است که نقطه انجماد آب در فشار یک اتمسفر برابر با صفر و نقطه جوش آن در همان فشار برابر با صد درجه سلسیوس قبول شده است. در سیستم امریکائی و انگلیسی مقیاس اندازه‌گیری دما

1. Temperature
2. Thermocouple
3. Thermistor
4. Pyrometer
5. Fahrenheit
6. Celsius

فارنهایت و در سیستم استاندارد بین‌المللی (SI) واحد مذکور کلوین می‌باشد که به افتخار لرد کلوین[1] نامگذاری شده است. مقیاسهای فارنهایت و سلسیوس نسبی هستند. مقیاس مطلق برای درجه سلسیوس، کلوین و برای درجه فارنهایت، رانکین[2] می‌باشد. روابط ما بین انواع مقیاسها در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.

1. Lord Kelvin
2. Rankin



شکل ۱-۱ دستگاههایی که در محدودهٔ دماهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند

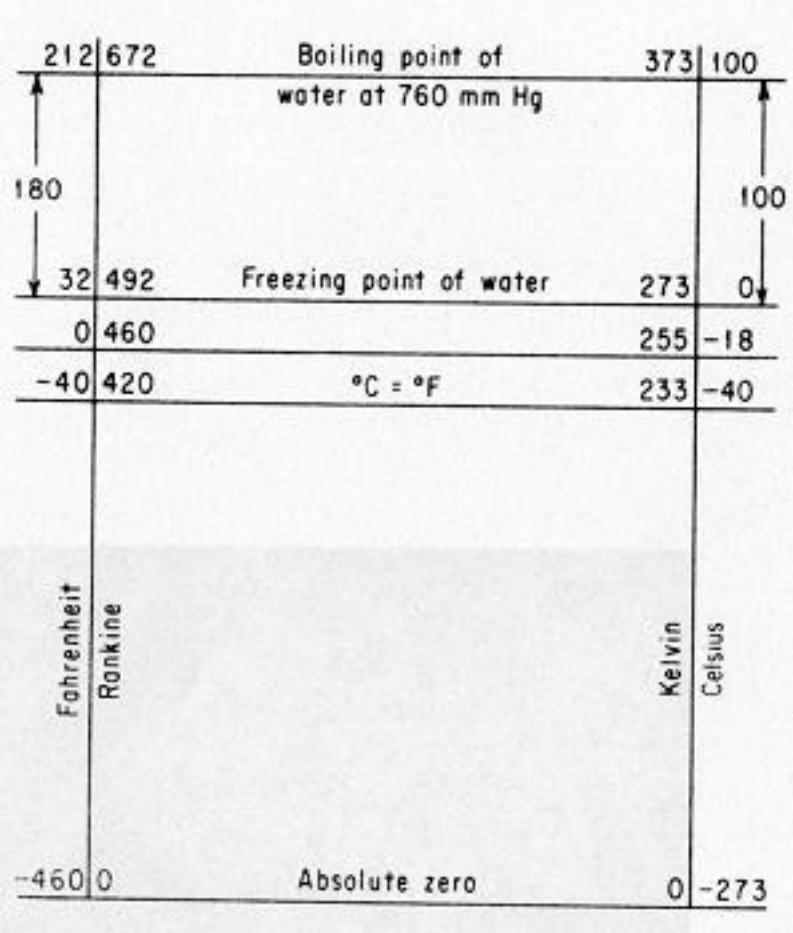
با قبول خطا، صفر مطلق رانکین به جای ^{o}F ۴۵۹/۵۸- ، برابر با ^{o}F ۴۶۰- و صفر مطلق کلوین به جای ^{o}C ۲۷۳/۱۵-، برابر با ^{o}C ۲۷۳- فرض می‌شود. با توجه به اینکه نسبت طول مقیاس ما بین دو درجه متوالی سانتیگراد و فارنهایت ۱/۸ است، لذا می‌توان از روابط زیر استفاده نمود.

$$\Delta°F = \Delta°R \qquad (۱٤-۱)$$

$$\Delta°C = \Delta K \qquad (۱٥-۱)$$

$$\Delta°C = 1.8\,\Delta°F \qquad (۱٦-۱)$$

$$\Delta K = 1.8\,\Delta°R \qquad (۱۷-۱)$$



شکل ۱-۲ روابط مابین مقیاسهای دما

$$T_{°R} = T_{°F}\left(\frac{1\Delta°R}{1\Delta°F}\right) + 460 \qquad (۱۸-۱)$$

$$T_K = T_{°C}\left(\frac{1\Delta K}{1\Delta°C}\right) + 273 \qquad (۱۹-۱)$$

$$T_{°F} - 32 = T_{°C}\left(\frac{1.8\Delta°F}{1\Delta°C}\right) \qquad (۲۰-۱)$$

با وصف اینکه نقطه مربوط به دمای -40^{o} در هر دو مقیاس فارنهایت و سانتیگراد ، یکسان است از اینرو روابط زیر را می‌توان نوشت:

$$T_{\circ F} = (T_{\circ C} + 40)\left(\frac{1.8\Delta^{\circ}F}{1\Delta^{\circ}C}\right) - 40 \qquad (۲۱-۱)$$

$$T_{\circ C} = (T_{\circ F} + 40)\left(\frac{1\Delta^{\circ}C}{1.8\Delta^{\circ}F}\right) - 40 \qquad (۲۲-۱)$$

مثال ۱-۱٤) دمای $100^{o}C$را به (الف) K (ب) ^{o}F و (ج) ^{o}R تبدیل کنید.

حل:

مثال ۱-۱۵) قابلیت هدایت حرارتی آلومینیوم در$32^{o}F$ برابر با $117\ \frac{(Btu)(ft)}{(hr)(ft)^2(^{o}F)}$ است. مقدار معادل آن را در دمای $0\ ^{o}C$ برحسب $\frac{(Btu)(ft)}{(hr)(ft)^2(K)}$ پیدا کنید.

حل:

مثال ۱-۱۶) ظرفیت حرارتی اسید سولفوریک براساس واحد cal/(gmol)(^oC) را به کمک رابطه زیر می‌توان محاسبه نمود:

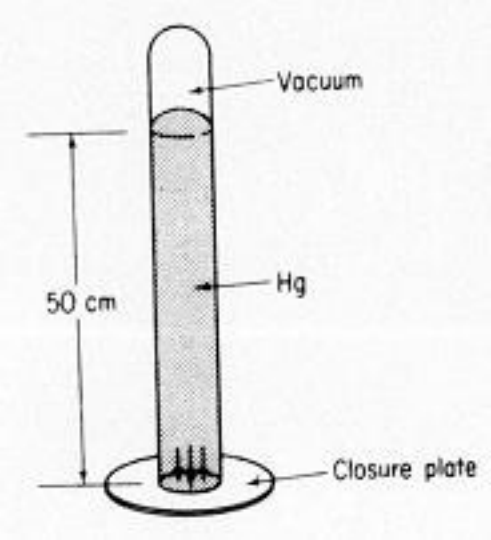
$$\text{ظرفیت حرارتی} = 33.25 + 3.727\times10^{-2}T$$

در رابطهٔ بالا T برحسب ^oC است. این رابطه را به ترتیبی اصلاح نمائید که واحد ظرفیت حرارتی و دما به ترتیب برحسب Btu/(lb mol)(^oR) و ^oR باشند.

حل:

۱-٦ فشار[1]

فشار را نظیر دما می‌توان براساس مقیاس مطلق یا نسبی بیان داشت. فشار در واقع «نیروی وارد به واحد سطح می‌باشد. در شکل ۱-۳ ستون جیوه که توسط صفحه زیر مسدود گردیده نشان داده شده است.



شکل ۱-۳

اگر ارتفاع ستون ۵۰cm و مساحت مقطع لوله cm^2 ۱ باشد با وصف اینکه جرم مخصوص Hg در این شرایط cm^3 /۱۳/۵۵g است می‌توان نیروی وارد به سطح مقطع را بترتیب زیر محاسبه نمود:

$$F = \frac{13.55(g)}{cm^3} \times 50(cm) \times 1(cm^2) \times \frac{980(cm)}{(s^2)} \times \frac{1(kg)}{1000(g)} \times \frac{1(m)}{100(cm)} \times \frac{1N}{\frac{1(kg)(m)}{(s^2)}} = 6.64(N)$$

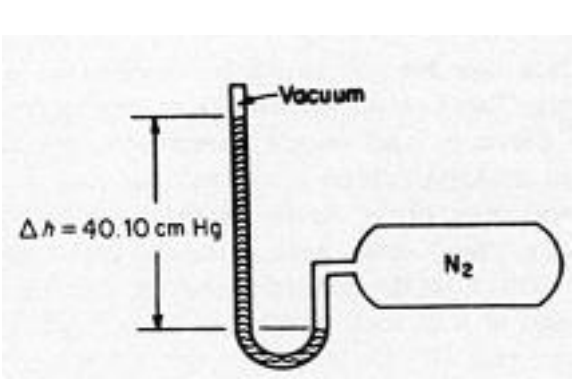
$$P = \frac{6.64(N)}{1(cm^2)} \times \left(\frac{100(cm)}{1(m)}\right)^2 = 6.64 \times 10^4 \left(\frac{N}{m^2}\right)$$

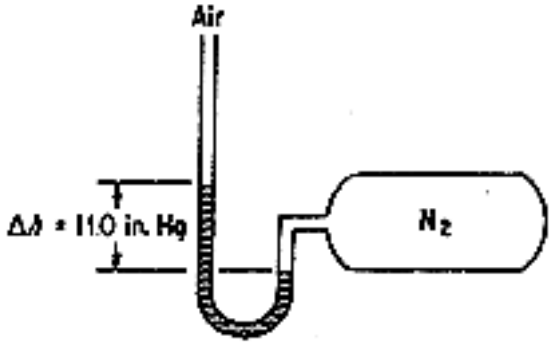
برحسب واحد مهندسی امریکائی فشار بترتیب زیر قابل محاسبه است:

1. Pressure

$$P = \frac{846(lb_m)}{1(ft^3)} \times 50(cm) \times \frac{1(in.)}{2.54(cm)} \times \frac{1(ft)}{12(in.)} \times \frac{32.2(ft)}{(sec)^2} \times \frac{1}{32.174 \frac{(ft)(lb_m)}{(sec)^2(lb_f)}} = 1387(\frac{lb_f}{ft^2})$$

در شکل‌های ۱-٤ و ۱-۵ دو نوع مانومتر[1] نشان داده شده است. اولی مانومتر سرباز[2] و دومی مانومتر فشار مطلق[3] است. نقطه صفر فشار مطلق، خلاء کامل و نقطه صفر فشار نسبی، فشار محیط است که در نقاط مختلف کمی متفاوت است.

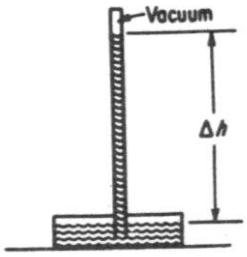




شکل ۱-٤ مانومتر سرباز

شکل ۱-۵ مانومتر فشار مطلق

اگر جیوه موجود در لولهٔ شیشه‌ای درون تشتکی باشد که با هوای آزاد در تماس مستقیم است (شکل ۱-٦) دستگاه بارومتر[4] نامیده شده و فشار خوانده شده اتمسفر برحسب فشار بارومتری می‌باشد.



شکل ۱-٦

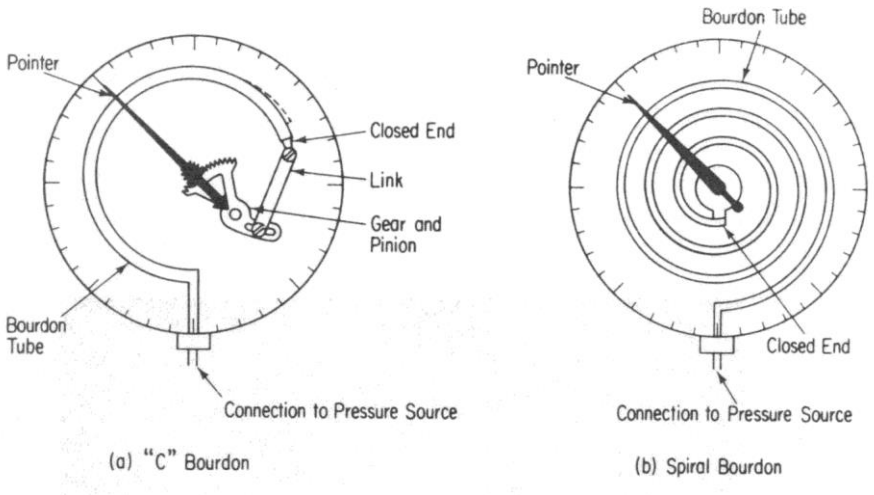
1. Manometer
2. Open-end manometer
3. Absolute pressure manometer
4. Barometer

در هر دو نوع مانومتر مذکور در اشکال ۱-٤و ۱-۵ فشار گاز N_2 برحسب اختلاف ارتفاع مایع درون لوله U شکل بیان می‌گردد. واضح است که در مانومتر سرباز فشار خوانده شده علاوه بر فشار اتمسفر می باشد یعنی مقدار قرائت شده از مانومتر فشار مطلق برابر مقدار قرائت شده از مانومترسرباز بعلاوه فشار اتمسفر است.

فشار مانومتر را برحسب میلیمتر و یا اینچ جیوه و یا آب می‌توان بیان داشت.(در محاسبات مهندسی معمولی می‌توان ازخطای ناشی از فشار بخار جیوه و تغییرات جرم مخصوص با دما صرفنظر نمود).

یکی دیگر از دستگاههای اندازه‌گیری فشار در صنعت «اندازه نمای بوردون[1]» است که در شکل ۱-۷ نوع ساده آن نشان داده شده است. بطوریکه در شکل مشاهده می‌شود قسمت اصلی دستگاه لوله فلزی نازکی است که بصورت C و یا مارپیچی پیچیده شده است.

انتهای مرکزی این لوله‌ها متصل به عقربه‌ای است که بر روی صفحه مدرج در حرکت می‌باشد و انتهای دیگر به منبعی که اندازه‌گیری فشار آن مورد نظر است وصل می‌شود.



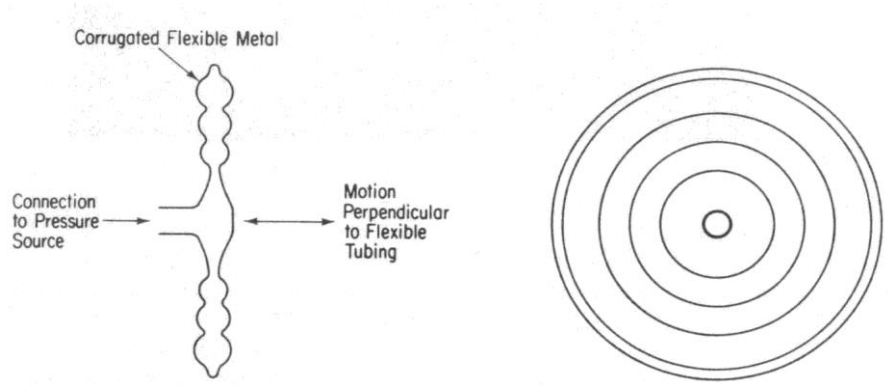
شکل ۱-۷ اندازه‌نمای بوردون

با افزایش فشار درون منبع و در نتیجه درون لوله نازک فلزی، این لوله تمایل به مستقیم شدن می‌دارد و در نتیجه عقربه متناسب با فشار شروع به چرخش بر روی ارقام می‌کند. این نوع

1. Bourdon gauge

فشار سنج‌ها معمولاً فشار اندازه نما را ارائه می‌دهند. که نوعی از فشار سنجهای مذکور در شکل ۱-۷ نشان داده شده است که «بوردن مارپیچی[1]» و «بوردن C[2]» هستند.

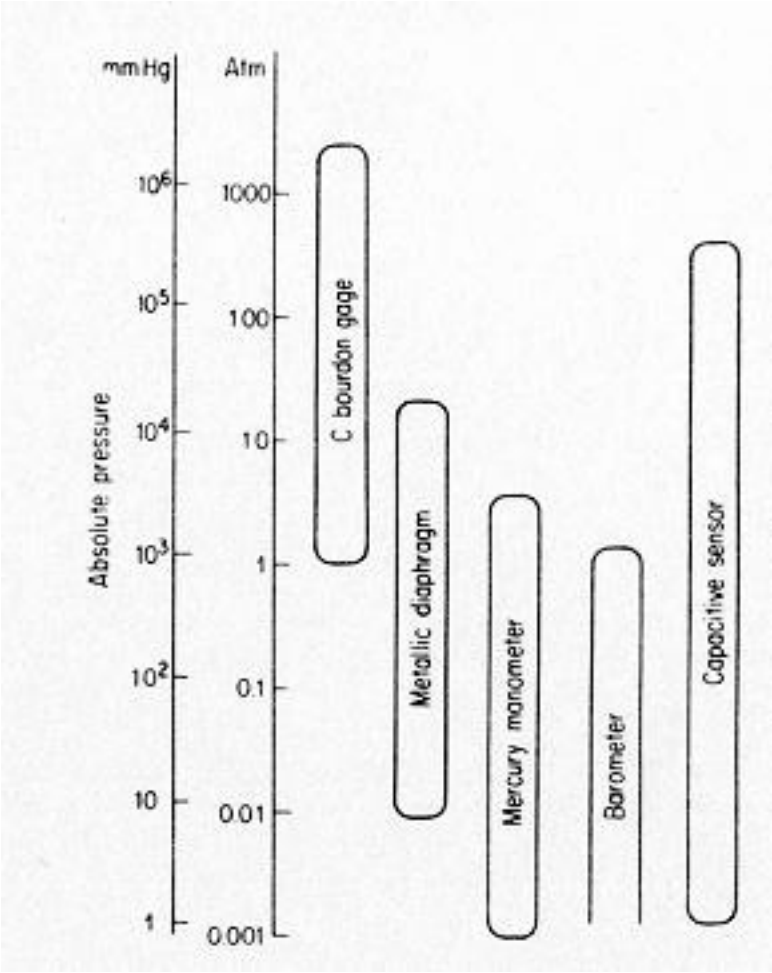
در شکل ۱-۸ فشارسنج ویژه «کپسول دیافراگمی محدب[3]» نشان داده شده است که ساختمان اصلی آن براساس فلز قابل انعطاف چین‌دار است که تغییرات فشار با توجه به انعطاف فلز انعکاس می‌یابد.



شکل ۱-۸ کپسول دیافراگمی محدب

در شکل ۱-۹ چگونگی استفاده از دستگاههای مختلف سنجش فشار براساس فشار مطلق و برحسب اتمسفر و میلیمتر جیوه نشان داده شده است.

2. Spiral Bourdon
3. C Bourdon
4. convex diaphragm capsule



شکل ۱-۹ محدوده کاربرد وسایل اندازه‌گیری فشار

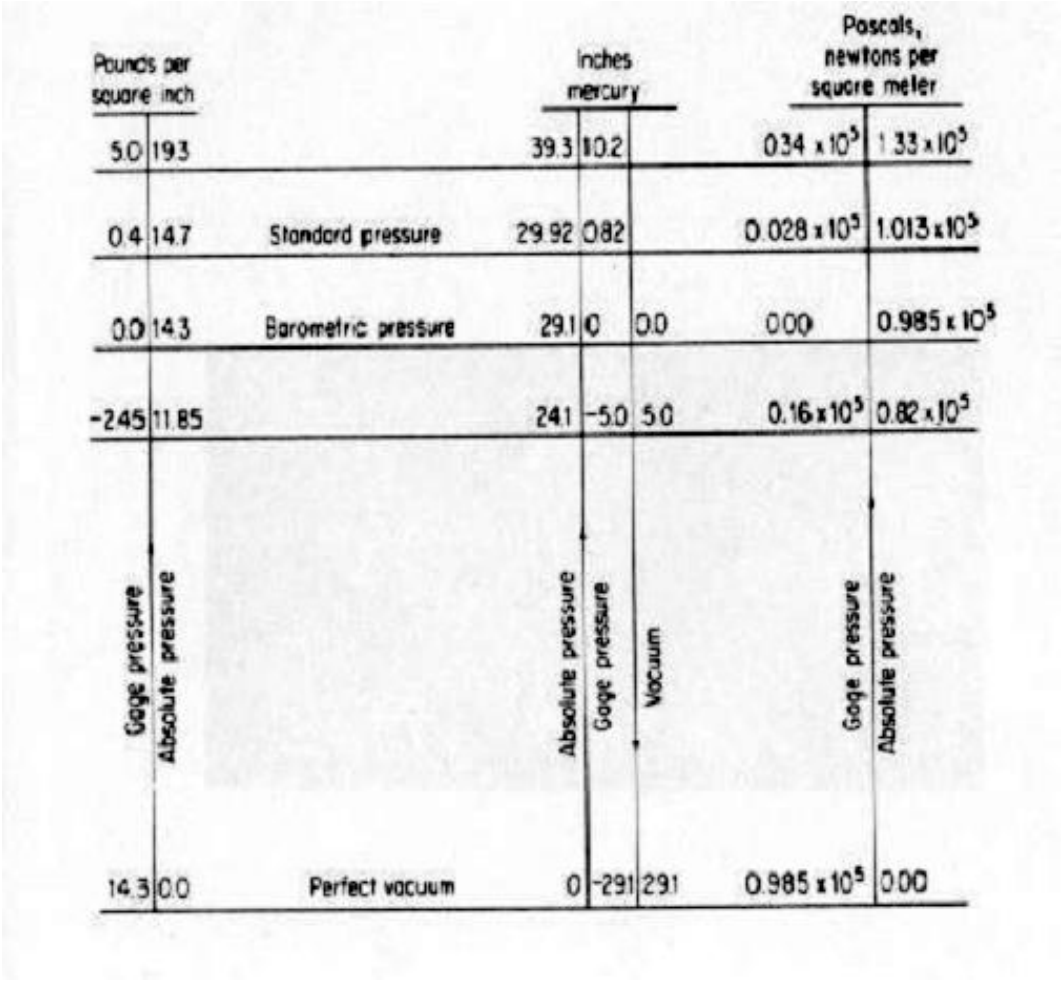
رابطه مابین فشار مطلق و فشار نسبی بترتیب زیر نشان داده می‌شود.

فشار مطلق= فشار بارومتر+ فشار اندازه نما (۱-۲۳)

لازم به یادآوری است که علاوه بر مفاهیم بالا در بعضی مواقع برای بیان فشار از واژه خلاء[1] استفاده می‌شود که در واقع مقدار آن در فشار موجود برابر صفر است و هرچه فشار کاهش پیدا می‌کند رقم مربوط به آن افزایش می‌یابد، بطوریکه در فشار صفر، خلاء حداکثر مقدار خود را خواهد داشت یعنی برابر فشار اتمسفر موجود خواهد بود.

در شکل ۱-۱۰ فشار های مختلف وقتیکه فشار بارومتریک ۲۹/۱ in.Hg است با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

1. Vacuum



شکل ۱-۱۰

واحدهای معمول بیان فشار را بترتیب زیر می‌توان ذکر نمود:

- اینچ جیوه[1] in.Hg
- پوند بر اینچ مربع[2] psi
- پوند بر اینچ مربع مطلق[3] psia
- پوند بر اینچ مربع اندازه نما[4] psig
- پاسکال (نیوتون بر متر مربع) Pa (N/m^2)
- بار (10^5 پاسکال) bar
- میلیمتر جیوه (mm Hg)
- فوت آب (ft H_2O)

2. inches of mercury
3. pounds per square inch
1. pounds per square inch absolute
2. pound per square inch gauge

- کیلوگرم نیرو بر سانتی متر مربع (kg_f / cm^2)

نباید دو مفهوم فشار اتمسفری[1] و اتمسفر استاندارد[2] را با یکدیگر مخلوط نمود. اتمسفر استاندارد بعنوان فشار (در میدان ثقل استاندارد) معادل یک اتمسفر یا ۷۶۰ mmHg در دمای ۰ ^oC و یا معادل آن در دیگر واحدها ست. در مقابل، فشار اتمسفر متغیر است و باید هر بار در صورت نیاز توسط بارومتر اندازه‌گیری شود.

مقادیر اتمسفر استاندارد در واحدهای مختلف بترتیب زیر است:

- ۱/۰۰۰ اتمسفر (atm)
- ۳۳/۹۱ فوت آب ($ft\ H_2O$)
- ۱٤/۷ (۱٤/٦۹٦)(psia)
- ۲۹/۹۲ (۲۹/۹۲۱) (in.Hg)
- ۷٦۰/۰ میلیمتر جیوه (mmHg)
- ۱/۰۱۳×۱۰ ^{5} پاسکال (Pa)

در یک ستون که درون آن مایع پر شده است (نظیر آب و جیوه) می‌توان به آسانی فشار وارد به سطح مقطع آنرا محاسبه و رابطه زیر را پیشنهاد نمود.

$$P = \rho g h C + P_o \qquad (۲٤-۱)$$

P= فشار در ته ستون مایع

ρ = چگالی مایع

g= شتاب ثقل

P_o= فشار در بالای ستون مایع

h= ارتفاع ستون مایع

اگر دو ستون با دو مایع مختلف پر شده و فشار P و P_o آنها مساوی فرض گردد، با قبول اینکه یکی از آنها آب است رابطه زیر را می‌توان نوشت:

$$\rho g h = \rho_{H_2O} g h_{H_2O} \qquad \frac{h}{h_{H_2O}} = \frac{\rho_{H_2O}}{\rho}$$

مثال ۱-۱۷: ۳۵ psia را به اینچ جیوه تبدیل نمائید:

حل:

3. Atmospheric pressure
4. Standard atmosphere

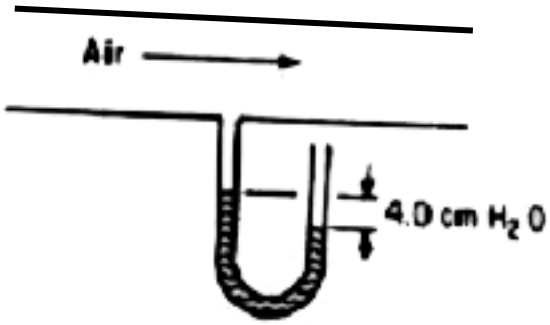
مثال ۱–۱۸: ۳٤۰ mmHg چند اینچ آب و چند کیلو پاسکال است؟

حل:

مثال ۱–۱۹: فشار اندازه نما در کپسول CO_2 که در صنعت نوشابه سازی بکار می‌رود برابر ۵۱/۰ psi خوانده شده است. همزمان فشار بارومتری ۲۸/۰ in.Hg می باشد. فشار مطلق درون کپسول را برحسب psia حساب کنید.

حل:

مثال ۱-۲۰: بطوریکه در شکل زیر (۱-۱۱) مشاهده می‌شود جریان هوا در درون لوله، اختلاف ارتفاع ٤cm در لوله U اتصالی ایجاد می‌نماید. فشار بارومتری برای اتمسفر برابر ۷۳۰ mmHg است. فشار مطلق هوای درون لوله را برحسب اینچ جیوه محاسبه نمائید.

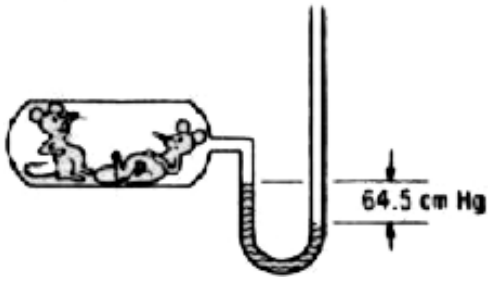


شکل ۱-۱۱

حل:

مثال ۱-۲۱: حیوانات کوچک نظیر موش می‌توانند در فشارهای پائین تا kPa ۲۰ (نه بطور راحت) زنده بمانند بطوریکه در شکل ۱-۱۲ دیده می‌شود اختلاف فشار موجود در لوله U متصل به کپسول حاوی موشها اختلاف سطح cmHg ٦٤/٥ را نشان می‌دهد در این مکان فشار بارومتری kPa ۱۰۰ است. آیا به نظر شما موشهای داخل کپسول در شرایط مذکور در بالا می‌توانند زنده بمانند یا نه؟

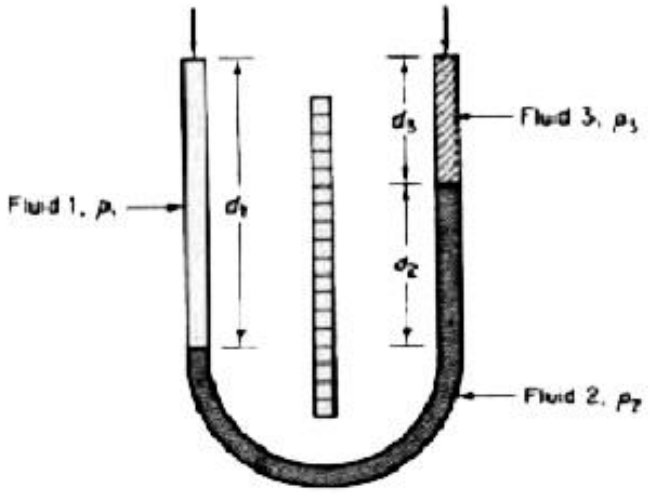
حل:



شکل ۱-۱۲

مبنا:

در بعضی مواقع سیال موجود در دو بازوی لولهٔ U مانومتر یکسان نیستند. بعنوان مثال در شکل ۱-۱۳ سه نوع سیال درون مانومتر را پر کرده‌اند. وقتی مانومتر در حال تعادل است رابطه زیر را می‌توان نوشت:



شکل ۱-۱۳ مانومتر با سه سیال

$$P_1 + \rho_1 d_1 g C = P_2 + \rho_2 g d_2 C + \rho_3 g d_3 C \qquad (۱-۲۵)$$

در صورتیکه $\rho_1 = \rho_3 = \rho$ باشد. رابطه بالا بترتیب زیر ساده می‌شود.

$$P_1 - P_2 = (\rho_2 - \rho) g d_2 C$$

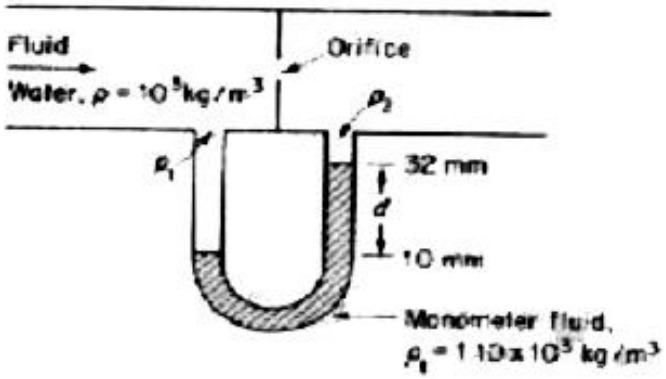
در نهایت اگر فرض کنیم سیالات ۱و ۳ گاز باشند می‌توان از مقدار ρ در مقابل ρ_2 صرفنظر نمود و در نهایت رابطه بالا بترتیب زیر ساده می‌شود:

$$P_1 - P_2 = \rho_2 g d_2 C$$

مثال ۱-۲۲: در صنعت جهت اندازه‌گیری سرعت سیالات درون لوله از مانومترهای اختلافی (شکل ۱-۱٤) که یک صفحه سوراخ‌دار[1] جهت ایجاد اختلاف فشار تعبیه شده استفاده می‌شود. سرعت جریان سیال را می‌توان براساس افت فشار تنظیم نمود. با توجه به داده‌های موجود در شکل، افت فشار (P_1-P_2) را محاسبه نمائید.

حل: در این مسأله جرم مخصوص سیال موجود در بالای سیال مانومتر یکسان است لذا از رابطهٔ زیر می‌توان استفاده کرد.

1. Orifice plate



شکل ۱-۱٤

مثال ۱-۲۳: رابطهٔ سادهٔ زیر در سیستم مهندسی امریکائی نشان دهنده ضریب انتقال حرارت از یک لوله به هوا است:

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

در رابطه بالا:

h: ضریب انتقال حرارت برحسب $Btu/(hr)(ft^2)(^oF)$

G: سرعت جریان جرم $lb_m/(hr)(ft)^2$

D: قطر خارجی لوله (ft)

اگر بخواهیم مقدار h را بر حسب $cal/(min)(cm^2)(^oC)$ بیان نمائیم آیا مقدار ثابت جدید که باید بجای رقم ۰/۰۲٦ جایگزین شود چقدر خواهد بود؟

حل:

۱-۷- خواص فیزیکی و شیمیائی ترکیبات ومخلوطها[1]

متون منتشره صنعتی مجموعهٔ عظیمی از داده‌ها را تشکیل می‌دهند. بعنوان مثال انستیتوی نفت امریکا دو اثر زیر را منتشر کرده که حاوی داده‌های زیادی در مورد صنعت نفت است:

- Manual on Disposal of Refinery Wastes (American Petrolum Institue , New Yourk, 1969).

- Technical Data Book – Pretrolcum Refining (American Petroleum Institue, New Yourk 1970).

اگر فرمول شیمیائی ترکیب خالص روشن باشد خواص فیزیکی آنرا از کتابهای مرجع متعدد نظیر کتب زیر می‌توان پیدا کرد:

- J.H.Perry and C.M.Chilton Esd., Chemical Engineers' Handbook, 5 th ed., Mc Graw Hill, New york 1973.

1- Physical and chemical properties of compounds and mixtures

- Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, Wast Palun Beach, Fla., Amnually

- N.A.Lange, Handbook of Chemistry, 12 th ed., Mc Graw-Hill, New yourk, 1979.

- R.C.Reid and T.K.Sherwood, The Properties of Gases and Liguids, 3 rd ed., Mc Graw-Hill, New york, 1997.

۱-۸ فن حل مسائل[1]:

آشنایی به فن حل مسئله می‌تواند به مقدار زیادی به صرفه جوئی در زمان کمک کند. در شکل ۱-۱۵ طرح عمومی مراحل مختلف حل مسئله ذکر شده است بطوریکه ملاحظه می‌شود موضوع اساسی تعیین نتایج مورد نظربرای دسترسی است.

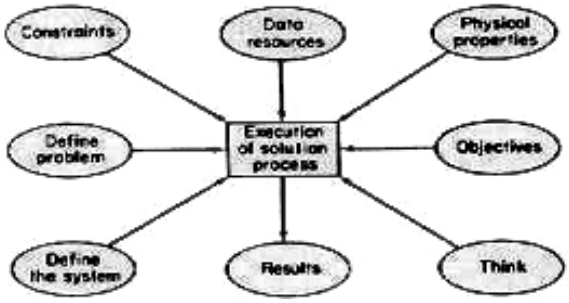
مهندسین شیمی تازه کار معمولاً در موارد زیر دچار مشکلاتی هستند.

الف) بیان ریاضی مسائل فیزیکی

ب) ارتباط دادن مسائل فیزیکی با نظری

ج) ساده سازی یک مسئله پیچیده

د) آموختن نحوه پرسش سئوالات صحیح



شکل ۱-۱۵ عناصر اساسی در حل مسائل

در حل مسائل موازنه جرم و انرژی باید قدم‌های زیر برداشته شوند:

الف) داده‌های موجود بخوبی قرائت و سئوال دقیقاً درک گردد.

ب) داده‌های مورد نیاز اضافی تعیین و سپس نسبت به تهیه آنها اقدام شود.

ج) تصویر ساده‌ای از آنچه در جریان است رسم و داده‌های مربوط به روی این تصویر قید گردد.

می‌توان دستگاهها و واکنشگاهها را به شکل یک مستطیل و مسیر جریان سیالات را نیز بصورت خط نمایش داد.

1 . Technique of problem solving

د) بطوریکه قبلاً اشاره شده برای حل مسأله باید مبناء مناسب انتخاب شود.

هـ) اگر انجام واکنش‌های شیمیائی نیز مطرح می‌باشد، این واکنشها را به دقت نوشته و مطمئن شوید که موازنهٔ آنها صحیح است.

تا این مرحله اصولاً این نکات که، مسئله در واقع چیست؟ و سئوالات اصلی کدامند باید روشن شده باشد.

و) روشن نمائید که آیا فرمولها و یا اصولی که در این حالت ویژه حاکم هستند کدامند و برای رسیدن به جواب نهایی به چه نوع محاسبات و پاسخ‌های میانی نیاز است در صورت لزوم نمادهای مناسبی برای هر یک از مفاهیم مورد بحث انتخاب شود.

ز) محاسبات لازم را بطرز مطلوب انجام داده و محاسبات عددی و واحدها را بخوبی کنترل نمائید.

ح) در نهایت کنترل نمائید که آیا نتیجه بدست آمده با توجه به تجربیات شما از این نوع محاسبات، قابل قبول است یا نه؟ این کار در واقع به نوعی ارزیابی کلی نتایج قبل از اعلام آن است.

۱-۹ معادله شیمیائی و استوکیومتری[1]

موضوع استوکیومتری بررسی مجموعه اوزان عناصر و ترکیبات است. در این بررسی نوشتن کامل معادله شیمیائی از اهمیت اساسی برخوردار است. بعنوان مثال فرمول سوختن هپتان با اکسیژن بترتیب زیر است:

$$C_7H_{16} + 11O_2 \rightarrow 7CO_2 + 8H_2O$$

$$1\,gmol + 11\,gmols \rightarrow 7\,gmols + 8\,gmols$$

$$100g + 352g \rightarrow 308g + 144g$$

٤٥٢ g = ٤٥٢ g

٤٥٢ kg = ٤٥٢ kg

٤٥٢ ton = ٤٥٢ ton

٤٥٢ lb = ٤٥٢ lb

1. The chemical Equation and stoichiometry

مثال ۱-۲٤: ۱۰/۰ کیلوگرم هپتان با مقدار کافی اکسیژن بطور کامل می‌سوزد مطلوبست محاسبه وزن CO_2 تولیدی برحسب کیلوگرم.

حل:

مثال ۱-۲۵: در احتراق هپتان CO_2 تولید می‌شود. فرض می‌کنیم هدف تولید ۵۰۰ kg یخ خشک در ساعت است و ۵۰٪ از CO_2 تولیدی را می‌توان به یخ خشک تبدیل کرد. آیا چند کیلوگرم هپتان باید در هر ساعت سوزانده شود؟

حل:

مثال ۱-۲۶: برای جلوگیری از تاثیر اکسیژن محلول در آب درخوردگی جدار جوش آورها از سدیم سولفیت استفاده می‌شود که بترتیب زیر عمل می‌نماید.

$$2Na_2SO_3 + O_2 \rightarrow 2Na_2SO_4$$

برای حذف اکسیژن موجود در ۸۳۳۰۰۰۰ lb آب (10^6 gal) که‌حاوی ۱۰/۰ ppm اکسیژن محلول است چقدر سدیم سولفیت باید مصرف کرد و نظر بدین است که سدیم سولفیت مصرفی واقعی ۳۵٪ بیش از مقدار تئوریک آن باشد.

حل:

مثال ۱-۲۷: ترکیب یک نوع سنگ معدن آهک[1] بترتیب زیر است:

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

در واکنشگاه زیر:

الف) از ۵ تن متریک این سنگ معدن چند پوند کلسیم اکسید می‌توان بدست آورد؟

ب) بازاء هر lb سنگ معدن چند پوند CO_2 تولید می‌شود؟

ج) جهت تولید یک تن لایم (مخلوط اکسیدها و مواد نامحلول) به چند پوند سنگ معدن نیاز است؟

حل:

1. Lime stone

در واکنش‌های شیمیایی می‌توان مواد واکنش دهنده را بدو شکل زیر بکار برد:

الف) واکنش دهنده محدود[1]

در این مورد حداقل مقدار استوکیومتریک لازم است

ب) واکنش دهنده اضافی[2]

در این مورد مقدار معینی از واکنش دهنده‌ها بطور اضافی وارد واکنشگاه می‌شود و مقدار اضافی با توجه به رابطهٔ زیر با درصد نشان داده می‌شود.

$$\text{اضافی٪} = \frac{\text{مولهای اضافی}}{\text{تعداد مولهای مورد نیاز استوکیومتریک جهت واکنش با واکنش دهنده محدود}} \times ۱۰۰ \quad (۱-۲۶)$$

در موارد زیادی برای اینکه یکی از واکنش‌دهنده‌ها بطور کامل مصرف شود لازم است یکی دیگر از واکنش دهنده‌ها بطور اضافی وارد گردد، این موضوع در بسیاری از موارد در احتراق سوختها مطرح است و طراحی کوره‌ها و مشعل‌ها براساس درصد اضافی هوای مصرفی انجام می‌پذیرد.

در رابطه با واکنش‌های شیمیایی سه مفهوم زیر را باید بدقت تعریف نمود. تبدیل[3]، تولید انتخابی[4] و بهره[5].

الف) تبدیل

تبدیل عبارت از نسبت یک ماده تبدیل شده به فرآورده به کل آن در جریان تغذیه ورودی است که معمولاً این ماده واکنش دهنده اضافی می‌باشد. باید مبناء انتخاب شده برای محاسبات در جریان تغذیه و یا فرآورده‌ها دقیقاً تعیین گردد و چراکه در غیر این صورت موجب بروز سردرگمی زیادی خواهد شد. تبدیل در ارتباط با «درجه تکمیل[6]» واکنش است که آن نیز نسبت مقدار واکنش دهنده محدود که در واکنش شرکت نموده به کل مقدار آن در جریان تغذیه ورودی است.

ب) تولید انتخابی

در مجموعه واکنش‌ها تولید انتخابی عبارت است از نسبت یکی از فرآورده‌ها (معمولاً فرآورده مطلوب) به یکی دیگر از فرآورده‌ها(معمولاً فرآورده نامطلوب).

1. Limiting reactant
2. Excess reactant
1. Conversion
2. Selectivity
3. Yield
4. Degree of completion

ج) بهره

بهره یک واکنش دهنده یا فرآورده، عبارت است از نسبت وزنی و یا مولی فرآورده نهایی به واکنش دهنده اولیه. اگر بیش از یک فرآورده و یا چندین واکنش دهنده مطرح باشد، باید واکنش دهنده‌ای که محاسبه بهره آن مورد نظر است دقیقاً روشن باشد.

فرض می‌کنیم یک واکنش متوالی به ترتیب زیر در دست است:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \rightarrow C \\ \searrow\ C \end{array}$$

B فرآورده مطلوب و C فرآورده نامطلوب است. بهره فرآورده B عبارت از نسبت مقدار B (مول و یا جرم) تولید شده به مقدار A (مول یا جرم) مصرفی است.

تولید انتخابی B نیز عبارت از نسبت مقدار B (تعداد مول و یا جرم) به مقدارC (تعداد مول و یا جرم) تولید شده است.

مفاهیم "بهره" و "تولید انتخابی" در مجموع نشان دهندهٔ این واقعیت هستند که آیا واکنش در مقایسه با جهات نامطلوب، تاچه حد در جهت مطلوب حرکت می‌کند.

طراحی دستگاهها و بهره برداری از آنها همیشه بترتیبی انجام می‌پذیرد که در حد امکان واکنش در جهت مطلوب جریان یابد. مثالهای زیر برای کمک به درک مفاهیم یاد شده در بالا مفید هستند.

مثال ۱-۲۸: در تهیه آنتیموان، پودر استیبنیت[1] با خرده آهن مخلوط و حرارت داده می‌شود، آنیتموان مذاب بتدریج از ته واکنشگاه گرفته می‌شود.

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

فرض می‌کنیم به ازاء مصرف ۰/۶۰۰ kg استیبنیت و ۰/۲۵۰ kg آهن، ۰/۲۰۰ kg فلز Sb تولید می‌شود. به سئوالات زیر پاسخ دهید:

الف) تعیین واکنش دهندهٔ محدود

ب) درصد اضافی واکنش دهندهٔ اضافی

ج) درجه تکمیل

د) درصد تبدیل

هـ) بهره

1. Stibnite: Sb_2S_3

مثال ۱-۲۹: سولفات آلومینیوم را می‌توان بکمک ترکیب نمودن سنگ معدن بوکسیت با اسید سولفوریک براساس معادله زیر بدست آورد:

$Al_2O_3 + 3H_2SO_4 \rightarrow Al_2(SO_4)_3 + 3H_2O$

سنگ معدن بوکسیت از نظر وزنی دارای ٪۵۵/٤ Al_2O_3 است و بقیه ناخالصی می‌باشد. و محلول اسید سولفوریک دارای ٪۷۷/۷ وزنی H_2SO_4 و مابقی آن آب است. به منظور تولید آلومینیم سولفات خام که حاوی ۱۷۹۸ lb آلومینیم سولفات خالص است، ۱۰۸۰ lb سنگ معدن بوکسیت و ۲۵۱۰lb محلول اسیدسولفوریک مصرف شده است.

الف) واکنش دهندهٔ اضافی را تعیین نمائید.

ب) درصد اضافی واکنش دهندهٔ اضافی؟

ج) درجهٔ تکمیل واکنش چقدر است؟

حل:

مثال ۱-۳۰: دهیدروژناسیون اتان یکی از واکنشهای شناخته شده است که به بترتیب زیر جریان می‌یابد.

$C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$ (واکنش اصلی)

$C_2H_6 + H_2 \rightarrow 2CH_4$

درصد حجمی (مولی) مخلوط گازها پس از تولید بترتیب زیر است:

ترکیب	درصد
C_2H_6	۳۵
C_2H_4	۳۰
H_2	۲۸
CH_4	۷
کل	۱۰۰

مطلوبست محاسبهٔ :

الف) تولید انتخابی C_2H_4 نسبت به CH_4

ب) بهره C_2H_4 برحسب کیلوگرم مول آن به ازاء کیلوگرم مول C_2H_6 شرکت کرده در واکنش.

ج) بهره C_2H_4 برحسب کیلوگرم مول آن به ازاء کیلوگرم مول C_2H_6 وارد شده به واکنشگاه.

حل:

۱-۱۰- مسائل

۱) ۳۵ psia را به in.Hg تبدیل کنید.

حل) در محاسبه این تبدیل استفاده از نسبت ۱٤/۷ psia به ۲۹/۹۲ in.Hg بسیار مطلوبست:
مبناء: ۳۵ psia

۲) چگالی هوا با افزایش ارتفاع کاهش می‌یابد اگر فشار ۳٤۰ mmHg باشد معادل با چند اینچ آب و چند کیلو پاسکال خواهد بود؟

۳) فشار یک کیلوگرم (نیرو) بر سانتی‌متر مربع معادل چند psia و چند میلی‌متر جیوه است؟

٤) یک زیر دریائی به علت سهل‌انگاری، در عمق ۱۰۰۰ متری قعر اقیانوس فرو می‌رود. برای نجات زیردریائی بایستی یک اتاقک غواصی به داخل آب فرستاده شده و سعی کنند تا وارد زیردریائی شوند، حداقل فشار لازم در اتاقک غواصی که هم سطح زیردریائی قرار می‌گیرند،

چه مقدار باید باشد که در اثر گشودن مختصر دریچه انتهای اتاقک، آب وارد آن نشود. چگالی آب دریا ثابت و برابر $1/024\ g/cm^3$ می‌باشد.

۵) کوره احیاء اکسیدآهن را به طور ساده می‌توان واحدی در نظر گرفت که واکنش اصلی زیر در آن انجام می‌گیرد.

$Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 2Fe + 3CO$

اما علاوه بر واکنش فوق، فعل و انفعالات جانبی نامطلوبی نیز صورت می‌گیرد که مهمترین آن عبارت است از:

$Fe_2O_3 + C \rightarrow 2FeO + CO$

پس از مخلوط کردن ۶۰۰lb کربن (کک) با یک تن اکسیدآهن خالص در کوره و انجام واکنش، در محصولات مقدار ۱۲۰۰lb آهن خالص، ۱۸۳ lb FeO و ۸۵ lb Fe_2O_3 موجود است. مطلوبست:

الف) درصد کربن اضافی بکار رفته براساس واکنش اصلی.

ب) درصد تکمیل واکنش تبدیل Fe_2O_3 به Fe .

ج) مقدار کربن مصرف شده و CO تولید شده برحسب lb به ازای هر تن اکسید (Fe_2O_3) بکار رفته در کوره.

٦) مخلوط گاز کلر و هوا با ترکیب مولی Cl_2 ۹۰٪ و ۱۰٪ هوا و جریان بخار آب اضافی (۵٪)، به واکنشگاهی که دارای بستری از کک گداخته در ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد است، وارد

می‌شود، درصد تکمیل Cl_2، ۸۰٪ است. ولی تمام O_2 موجود در هوا با کربن (کک) ترکیب کامل شده و CO_2 تولید می‌شود. ترکیب مولی گازهای خروجی از واکنشگاه را (بصورت مرطوب) محاسبه نمائید.

۷)گاز فسژن ($COCl_2$) را می‌توان از واکنش بین گاز CO و گاز Cl_2 در حضور کاتالیست مناسب بدست آورد.

$$CO + Cl_2 \xrightarrow{Cat.} COCl_2$$

بفرض محصولات واکنش حاصل از یک راکتور را تجزیه کرده و اینگونه بدست آورده‌اند:

$Cl_2 : 3\,kgmol$

$CO : 7\,kgmol$

$COCl_2 : 10\,kgmol$

مطلوبست:

الف) درصد اضافی ترکیب شوندهٔ اضافی نسبت به محدود کننده

ب) درصد تکمیل ترکیب شوندهٔ محدود کننده.

ج) درصد تبدیل ترکیب شوندهٔ اضافی.

۱-۱۱) تمرینات حل نشده

۱- یک فلز، مکعبی شکل ۵۰۰۰ کیلوگرم وزن دارد و طول هر یال آن ۲ متر است، این مکعب بر روی یک سطح مسطح قرار دارد فشار وارد شده به سطح را در سیستم واحدی SI محاسبه نمائید.

جواب: $۱/۲۲۵ \times ۱۰^{٤}$ Pa

۲- در کره Jupiter شتاب ثقل ۲/٦۵ برابر زمین است جرم جسمی به وزن lb_f ۱ را بدست آورید.

جواب: ۰/۳۷۷ lb_m

۳- محاسبه نمائید که یک اتمسفر چند lb_f/ft^2 است؟

جواب: $۲۱۱٦ lb_f/ft^2$

٤- به یک صفحه فولادی به ابعاد ۵ یارد و ۱۰ اینچ، ۲۰۰ پوند نیرو وارد می‌شود فشار وارد شده را برحسب میلیمتر جیوه محاسبه نمائید.

جواب: ۵/۷۵ mmg.Hg

۵- یک اسب بخار (hp) معادل چند Btu/sec است؟

جواب: ۰/۷۰۷۳ Btu/sec

٦- ۲۵ kg/cm^2 معادل چند .lb_m/in^2 است؟

جواب: ۳۵۵/۲٦ lb_m/in^2.

۷- ۲۰۰ hp (اسب بخار) معادل چند J/h (ژول بر ساعت) است؟

جواب: $۵/۳٦۹۰٤ \times ۱۰^{۸}$ J/h

۸- ^oR ٦۵۰ معادل چند درجه سانتی‌گراد است؟

جواب: ۸۷/۷۷ ^oC

۹- وزن هزار متر از سیم مسی به قطر ۲ میلیمتر برحسب کیلوگرم محاسبه نمائید لازم به ذکر است چگالی مس برابر kg/m^3 ۸۳۰۰ است.

۱۰- دبی تخلیه آب در دهانه یک رودخانه gal/sec ۱٦۰۰۰۰ می‌باشد. اگر طرح برش مقطع بستر رودخانه نیمه دایره فرض شود و قطر آن mi ۱/۸ (مایل) باشد سرعت جریان آب رودخانه را برحسب ft/sec و km/h محاسبه نمایند.

۱۱- تغییرات ظرفیت حرارتی آمونیاک در سیستم واحدی مهندسی آمریکائی به کمک رابطهٔ زیر محاسبه می گردد:

$$C_P = 0.487 + 2.29\times10^{-4}T \qquad T:^oF, \qquad C_P : \frac{Btu}{lb_m \times ^oF}$$

عبارت بالا را به ترتیبی تغییر بدهید که واحد دما برحسب درجه سانتیگراد و ظرفیت حرارتی برحسب $\frac{J}{g^{o}\times C}$ باشد. عبارت جدید را نوشته و در داخل کادر قرار دهید.

۱۲- چگالی ویژهٔ نفت خام مکزیک و باکو در دمای ^{o}C ۱۵ به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۸۹۷ است درجه ^{o} API هر یک از آنها را محاسبه و مقایسه کنید.

۱۳- برای ساکنان کره Betelgeuse در صورت فلکی جبار(orion) بوسیله مقیاس دمای مورد نظر استفاده آنها نقطهٔ انجماد متان، ^{o}C ۱۸۲- است و نقطهٔ افروخته چوب (٤٥١ درجه فارنهایت) را به عنوان ۱۰۰ مقیاس مذکور در نظر گرفته‌اند. معادله‌ای بدست آورید که دمای ^{o}B را که مورد استفاده ساکنان Betelgeuse است به ^{o}F ارتباط دهد. دمای ^{o}C ۱۲۲ را برحسب ^{o}B محاسبه نمایید؟

١٤) فشار سنج یک کندانسور بخار توربین، ٢٦/٢ اینچ جیوه خلاء را نشان می‌دهد. از هواسنج (بارومتر) نیز فشار in. Hg ٣٠/٤ قرائت می‌شود. فشار کندانسور را برحسب psia تعیین کنید.

١٥) محلولی از اسید سولفوریک دارای ۷۰٪ H_2SO_4 خالص، ۳۰٪ آب و دارای چگالی ۱/۷۵ در مقایسه با آب است.

الف) وزن (برحسب lb) ۱۰۰۰ گالن از این محلول چقدر است؟

ب) وزن(برحسب lb) H_2SO_4 در ۱۰۰۰ گالن از محلول چه مقدار است؟

ج) چند پوند NaOH خالص برای خنثی کردن کامل ۱۰۰۰ گالن از محلول فوق لازمست.

د) اگر سود سوزآور بشکل محلول ۵۵٪ NaOH در آب باشد، چند lb از محلول مذکور برای خنثی کردن ۱۰۰۰ گالن اسید مورد نظر، لازم است.

هـ) چند lb محلول سود ۵۵٪ مورد نیاز است در صورتی که بخواهیم مقدار ۲۰٪، NaOH اضافی بکار ببریم.

د) چگالی محلول سود (برحسب lb/gal) چقدر است در صورتیکه چگالی نسبی آن ۱/۲۳ باشد؟

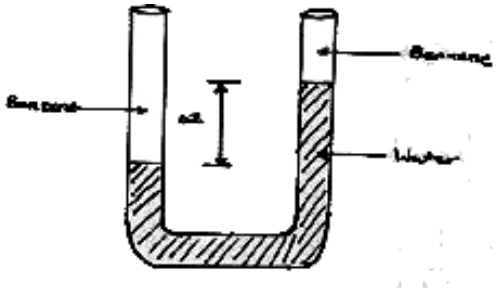
ز) حجم محلول سود لازم در قسمت (هـ) برحسب گالن چه مقدار است؟

١٦- فشار نسبی را (برحسب lb_f/in^2.) در عمق ٤/٥ مایلی از سطح دریا محاسبه کنید در صورتیکه دمای متوسط آب ٦٠ درجه فارنهایت باشد. چگالی آب دریا برابر $1.042\frac{60^{\circ}F}{60^{o}F}$ بوده و مستقل از فشار فرض شود.

۱۷) فشار تنفسی متصل به مخزن اکسیژن غواصی ۳۰۰ kPa است. این فشار را بر حسب واحدهای زیر بیان کنید.

الف) atm ب) psia ج) in.Hg

۱۸) سیال نشانگر فشار در یک فشار سنج مطابق شکل، آب است و سیال دیگر بنزن می‌باشد. این دو مایع تقریباً غیرقابل امتزاج هستند . اگر اختلاف ارتفاع آب در فشارسنج $\Delta Z = ۳۶/۳$ cm باشد، تفاوت فشار برحسب kPa چیست؟ دما ۲۵ درجه سانتیگراد فرض می‌شود.



۱۹) در راکتوری که برای انجام واکنش هیدرولیز متیل استات طراحی شده است واکنش زیر انجام می‌گیرد.

$$CH_3COOCH_3 + H_2O \rightarrow CH_3COOH + CH_3OH$$

MW: ۷٤ ۱۸ ٦۰ ۳۲

مشخص شده است که از ۱۰۰۰ تن خوراک ورودی به راکتور ۳ تن متانول تولید می‌شود. غلظت متیل استات در خوراک ۰/۲ gmol/liter می‌باشد. درصد اضافی آب در خوراک چیست؟ و درصد تبدیل واکنش چقدر است؟