

به نام پروردگار یکتا

موازنه مواد و انرژی

(جلسه دوم)

مدرس: عباسی

* چگالی (Density) : نسبت جرم به حجم یک ماده است . معمولاً برای مواد جامد و مایع از رابطه زیر به دست می آید :

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$[\rho] = \begin{cases} \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & , \text{ SI} \\ \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} & , \text{ cgs} \\ \text{lbm/ft}^3 & , \text{ eng} \end{cases}$$

* چگالی گازها معمولاً از روابط دیگری مثل رابطه PVT برای گاز ایده آل به دست می آید.

* چگالی مخلوطها و مواد مرکب از رابطه زیر محاسبه می شود :

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n V_i} = \frac{\text{مجموع جرم همه مواد}}{\text{مجموع حجم همه مواد}}$$

* برای بیان چگالی مایعات و گازها، روش دیگری نیز وجود دارد به این صورت که مقدار چگالی را نسبت به یک ماده ی مبنای استاندارد بیان کنیم:

$$SG = \frac{\rho}{\rho_{ref}} \rightarrow \rho_{ref} = \begin{cases} \rho_{water, 4^\circ C} = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/cm}^3 = 62.4 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} & \text{(مایع مبنای)} \\ \rho_{air} & \text{(گاز)} \end{cases}$$

Specific Gravity (Sp.gr) یا $SG \frac{60^\circ F}{60^\circ F}$

مثال: برای نفت سفید که $SG = 0.8$ ، چگالی به صورت زیر به دست می آید:

$$\rho_{kerosene} = 0.8 \frac{\text{kg/m}^3 \text{ kerosene}}{\text{kg/m}^3 \text{ water}} \times 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ water} = 800 \text{ kg/m}^3 \text{ kerosene}$$

* برای مواد نفتی، یک روش منحصر به فرد وجود دارد که به صورت زیر است:

$$^{\circ}\text{API} = \frac{141.5}{\text{SG}} - 131.5 \quad \Leftrightarrow \quad \text{SG} = \frac{141.5}{^{\circ}\text{API} + 131.5}$$

American Petroleum Institute

* در این روش، هر چه درجه API برای یک ماده نفتی، عدد بزرگتری باشد، آن ماده سبک تر است.

* شدت جریان (Flow rate): برای یک جریان یا سیالی که درون یک خط لوله یا کانال جریان دارد، نسبت مقدار ماده عبوری را به زمان، دبی یا شدت جریان می نامند.

$$\text{دبی} = \frac{\text{مقدار}}{\text{زمان}}$$

جرم $\rightarrow \dot{m} = \frac{m}{t}$

حجم $\rightarrow \dot{V} = \frac{V}{t}$

مول $\rightarrow \dot{n} = \frac{n}{t}$

(mass flow rate)

(volume flow rate)

(molar flow rate)

مثال : چنانچه یک لوله روزانه 400in^3 آب را به داخل یک مخزن هدایت کند محاسبه کنید که در هر دقیقه چند cm^3 آب وارد مخزن می شود ؟

$$\frac{400\text{in}^3}{\text{day}} = ? \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

$$\frac{400\text{in}^3}{\text{day}} \cdot \frac{2.45^3 \text{cm}^3}{1^3 \text{in}^3} \cdot \frac{1\text{day}}{24 \times 60 \text{min}} = 4.5 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$$

*غلظت (Concentration): این کمیت بران مخلوطها و محلولها تعریف می شود که حداقل داران در جزء هستند مثل محلول آب و نمک.

Solution = محلول

Solvent = حلال

Solute = حل شونده

واژه شناسی

$$\text{غلظت} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{حجم محلول}} \quad \text{یا} \quad \text{غلظت} = \frac{\text{مول حل شونده}}{\text{حجم محلول}}$$

$$\text{غلظت مولار} = \text{مولاریته} = \text{molarity} = \frac{\text{مول حل شونده}}{\text{لیتر محلول}}$$

$$[\text{molarity}] = \frac{\text{mol}}{\text{L}_{\text{solution}}}$$

$$\text{غلظت مولال} = \text{مولالیتیه} = \text{molality} = \frac{\text{مول حل شونده}}{\text{کیلوگرم حلال}}$$

$$[\text{molality}] = \frac{\text{mol}}{\text{kg}_{\text{solvent}}}$$

$$\text{ppm (part per million)} = \frac{\text{جرم یا مقدار حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^{-6}$$

$$\text{ppb (part per billion)} = \frac{\text{جرم حل شونده}}{\text{جرم محلول}} \times 10^{-9}$$

* مول (mole): مقداری از ماده که شامل تعداد عدد آووگادرو (6.022×10^{23}) از ذرات آن ماده باشند.
 یک مول هم بُد است و هم یکا.

$$\begin{cases} 1 \text{ kgmole} = 1000 \text{ gmol} \\ 1 \text{ lbmole} = 454 \text{ gmol} \end{cases}$$

* جرم مولکولی (Molecular weight): جرم اتم‌ها یا مولکول‌های تشکیل دهنده یک ماده است.

$$n = \frac{m}{M_w}$$

$$[M_w] = \frac{\text{g}}{\text{gmol}} = \frac{\text{kg}}{\text{kgmol}} = \frac{\text{lbm}}{\text{lbmol}}$$

مثلاً وقتی می‌گوییم یک گرم مول آهن منظور 6.02×10^{23} ، اتم آهن است ولی وقتی می‌گوییم یک گرم مول آب منظور 6.02×10^{23} ، مولکول آب است.

* باید جرم اتمی برخی از عناصر مهم را بدانیم تا بتوانیم M_w را برای ترکیبات مهم به دست بیاوریم:

$$O = 16$$

$$C = 12$$

$$N = 14$$

$$H = 1$$

$$Cl = 35.5$$

$$S = 32$$

$$Na = 23$$

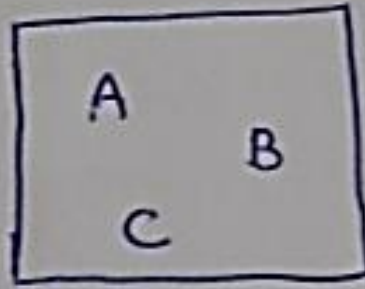
مثال $\rightarrow$

$$\left\{ \begin{array}{l} H_2O \Rightarrow M_w = (2 \times 1) + 16 = 18 \text{ g/mol} \\ H_2SO_4 \Rightarrow M_w = (2 \times 1) + 32 + (4 \times 16) = 98 \text{ g/mol} \\ N_2 \Rightarrow M_w = 2 \times 14 = 28 \text{ g/mol} \\ NaCl \cdot 7H_2O \Rightarrow M_w = 23 + 35.5 + 7(18) = 184.5 \text{ lb/lbmol} \end{array} \right.$$

* جزء مولی یا کسر مولی (mole fraction): نسبت تعداد مول یک ماده در یک مخلوط به تعداد کل مول های مخلوط است:

$$\text{کسر مولی A} = \frac{\text{مول های A}}{\text{مول های مخلوط}} = y_A$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = 1$$



$$n_t = n_A + n_B + n_C$$

$$y_A = \frac{n_A}{n_t}, \quad y_B = \frac{n_B}{n_t}, \quad y_C = \frac{n_C}{n_t}$$

$$y_A + y_B + y_C = 1$$

* جزء جرمی یا کسر جرمی (mass/weight fraction): نسبت جرم یک ماده در یک مخلوط به جرم کل مخلوط است:

$$\text{کسر جرمی A} = \frac{\text{جرم A}}{\text{جرم مخلوط}} = x_A$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1$$



$$m_t = m_M + m_N + m_O$$

$$x_M = \frac{m_M}{m_t}, \quad x_N = \frac{m_N}{m_t}, \quad x_O = \frac{m_O}{m_t}$$

$$x_M + x_N + x_O = 1$$

* اگر عدد 100 را در جزء مولی یا جرمی ضرب کنیم، درصد مولی یا جرمی به دست می آید.

$$\text{mole percent} = y \times 100$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^n \text{mole percent} = 100$$

$$\text{mass percent} = x \times 100$$

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^n \text{mass percent} = 100$$

* معمولاً برای گازها از کسر مولی یا درصد مولی و برای مایعات و جامدات از کسر جرمی یا درصد جرمی استفاده می شود.

نکته:

به مثال های زیر در گرد کردن اعداد توجه کنید:

$$20.465 \rightarrow 20.46$$

در 20.465 عدد 6 زوج بوده و به صورت 20.46 گرد می شود.

$$20.4651 \rightarrow 20.47$$

$$20.4551 \rightarrow 20.46$$

$$20.455 \rightarrow 20.46$$

در 20.455 عدد 5 فرد بوده و به صورت 20.46 گرد می شود.

* منظور از composition یا ترکیب درصد، درصد اجزای مواد تشکیل دهنده یک مخلوط است.

مثال ترکیب درصد هوا برابر با 21٪ اکسیژن (O_2) و 79٪ نیتروژن (N_2) است.

* برای مخلوط مواد (مثل هوا) میتوان با استفاده از کسرهای مولی، جرم مولکولی متوسطا محاسبه کرد:

$$\overline{M}_w = \sum_{i=1}^n y_i \cdot M_{w_i}$$

مثال: جرم مولکولی هوا را بدست آورید؟

$$\text{air} \begin{cases} O_2 \quad 21\% \rightarrow M_{w_{O_2}} = 2 \times 16 = 32 \text{ g/mol} \\ N_2 \quad 79\% \rightarrow M_{w_{N_2}} = 2 \times 14 = 28 \text{ g/mol} \end{cases}$$

$$\overline{M}_{w_{\text{air}}} = \sum_{i=1}^2 y_i M_{w_i} = (y_{O_2} \cdot M_{w_{O_2}}) + (y_{N_2} \cdot M_{w_{N_2}}) = (0.21 \times 32) + (0.79 \times 28) = 29 \text{ g/mol}$$

* مبنای (Base): به دلیل کمبود اطلاعات مسئله و یا حل راحت تر آن، گاهی از اعداد گلی استفاده می شود و حل مسئله بر اساس آن صورت می گیرد اما مقدار آن، تأثیری بر جواب نهایی مسئله ندارد. معمولاً مبنای را در جایی انتخاب می کنیم که داده های مسئله به صورت ترکیب درصد باشند.

مثال: مخلوطی از مایعات با ترکیب درصد زیر موجود است (بر حسب مول). کسر جرم آن ها را در این مخلوط بیا بید؟

$$\begin{cases} \text{C}_6\text{H}_6 & 20\% & \text{A} \rightarrow M_{wA} = 78 \text{ g/gmole} \\ \text{C}_7\text{H}_{16} & 30\% & \text{B} \rightarrow M_{wB} = 100 \text{ g/gmole} \\ \text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_3 & 50\% & \text{C} \rightarrow M_{wC} = 92 \text{ g/gmole} \end{cases}$$

پاسخ:

$$\left. \begin{array}{l} \text{چون درصدهای مولی داده شده است، مبنای 100 gmole از مخلوط در نظر می گیریم} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{Base} = 100 \text{ gmole mixture} \Rightarrow \begin{cases} y_A = 0.2 & \Rightarrow n_A = 20 \text{ gmole} \\ y_B = 0.3 & \Rightarrow n_B = 30 \text{ gmole} \\ y_C = 0.5 & \Rightarrow n_C = 50 \text{ gmole} \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 m_A &= 20 \text{ gmole} \times \frac{78 \text{ g}}{1 \text{ gmole}} = 1560 \text{ g} \\
 m_B &= 30 \text{ gmole} \times \frac{100 \text{ g}}{1 \text{ gmole}} = 3000 \text{ g} \\
 m_C &= 50 \text{ gmole} \times \frac{92 \text{ g}}{1 \text{ gmole}} = 4600 \text{ g}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} m_A \\ m_B \\ m_C \end{aligned}} \right\} \Rightarrow m_t = m_A + m_B + m_C = 9160 \text{ g} \Rightarrow \begin{cases} x_A = \frac{m_A}{m_t} = \frac{1560}{9160} = 0.17 \\ x_B = \frac{m_B}{m_t} = \frac{3000}{9160} = 0.33 \\ x_C = \frac{m_C}{m_t} = \frac{4600}{9160} = 0.5 \end{cases}$$

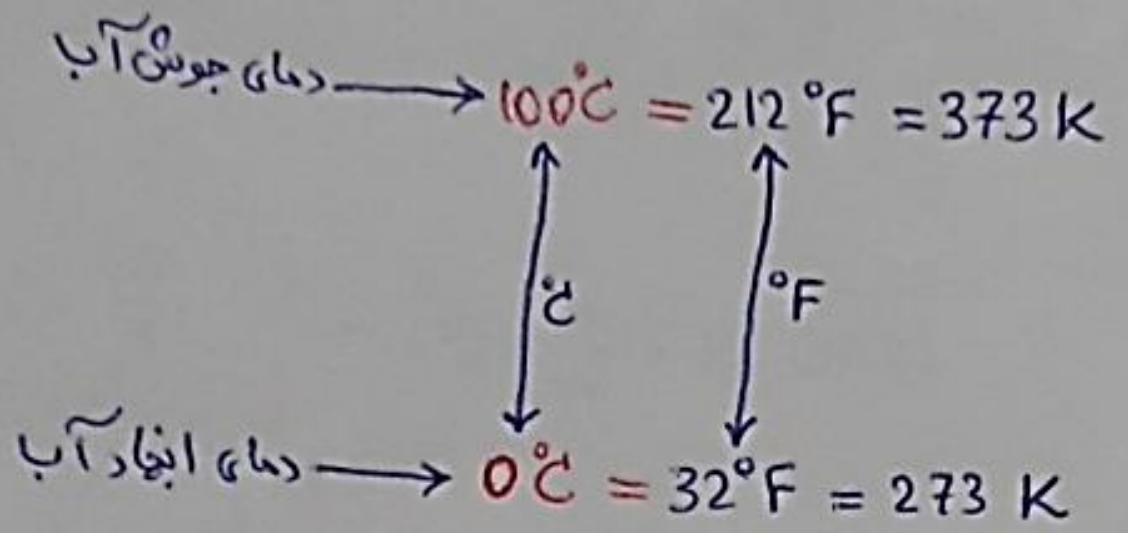
تالیف : مخلوط گازی با ترکیب در صد جرم زیر موجود است . با انتخاب مناسب ، جرم مولکولی متوسط آن را بیابید ؟

- | | | |
|---|--|---|
| $\left\{ \begin{array}{l} O_2 \\ CO \\ CO_2 \\ N_2 \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} 16\% \\ 4\% \\ 17\% \\ 63\% \end{array} \right.$ | $\left\{ \begin{array}{l} \textcircled{A} \\ \textcircled{B} \\ \textcircled{C} \\ \textcircled{D} \end{array} \right.$ |
|---|--|---|

* دما (Temperature): معیاری از انرژی مولکول‌ها یا اتم‌های تشکیل دهنده یک ماده و عامل انتقال حرارت است.

* مقیاس‌های دما {

- مطلق (Absolute): صفر در این مقیاس، کمترین دمای است که بشود به آن رسید.
 - Kelvin (K)
 - Rankine (R)
- نسبی (Relative): در این مقیاس، صفر ~~مطلق~~ اختیاری است.
 - Celsius (°C)
 - Fahrenheit (°F)



$$\Rightarrow \begin{cases} \Delta C = \Delta K \\ \Delta F = \Delta R \end{cases}, \begin{cases} \Delta C = 1.8 \Delta F \\ \Delta K = 1.8 \Delta R \end{cases}$$

- ✓ یعنی اندازه تغییرات مقیاس سلسیوس و کلوین با هم برابر است.
- ✓ اندازه تغییرات مقیاس فارنهایت و رنکین با هم برابر است.
- ✓ سلسیوس و کلوین، واحدهای بزرگتری نسبت به فارنهایت و رنکین هستند چون هر 100 درجه تغییر سلسیوس معادل 180 درجه تغییر فارنهایت است.

تبدیل واحدهای دما

① اگر یک دما را بخواهیم از یک واحد به واحد دیگر تغییر دهیم، از روابط تبدیل زیر استفاده می‌کنیم:

$$T_K = T_C + 273$$

$$T_R = T_F + 460$$

$$T_F = 1.8 T_C + 32$$

$$\Rightarrow \begin{cases} T_C = \frac{T_F - 32}{1.8} \\ T_R = 1.8 T_K \end{cases}$$

مثال: تبدیل دماهای زیر را انجام دهید؟

الف) $30^\circ\text{C} \rightarrow T_F$: $T_{\circ F} = 1.8 T_C + 32 = (1.8 \times 30) + 32 = 86^\circ\text{F}$

ب) $77^\circ\text{F} \rightarrow T_R$: $T_R = T_F + 460 = 77 + 460 = 537\text{ R}$

⑤ اگر پارامتری در یک فرمول دارای واحد دما باشد و فقط بخواهیم واحد آن پارامتر را عوض کنیم (بدون تغییر واحد سایر پارامترها)، مقدار معادل را از روابط بالا جایگزین می‌کنیم.

مثال: $p = aT^2 + bT + c$ ($T: ^\circ\text{C} \rightarrow \text{K}$)

$$\Rightarrow T_C = T_K - 273 \Rightarrow p = a(T_K - 273)^2 + b(T_K - 273) + c$$

⑥ کمیتی دارای بُعد مرکب است که هم دما و هم یکاهای دیگری دارد. در این حالت برای تبدیل واحد دما، از کسرهای واحد استفاده می‌کنیم و به اختلاف مقیاس انواع یکاهای دما دقت می‌کنیم.

مثال: $[C_p] = \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \rightarrow \frac{\text{BTU}}{\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F}}$

$$[C_p] = \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}} \times \frac{9.48 \times 10^{-4} \text{ BTU}}{1 \text{ J}} \times \frac{454 \text{ g}}{1 \text{ lbm}} \times \frac{\Delta\text{C}}{1.8 \Delta\text{F}} = \frac{9.48 \times 10^{-4} \times 454}{1.8} \frac{\text{BTU}}{\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F}}$$

⑦ اگر حالت‌های ۱ و ۲ با هم خواسته نشده بود، باید اول حالت ۲ را اجرا کنیم و سپس به حالت ۳ بپردازیم.

مثال: ظرفیت گرایی آمونیاک به صورت زیر بر حسب $\frac{\text{BTU}}{\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F}}$ داده شده است:

$$C_p = 0.487 + 2.29 \times 10^{-4} T_F$$

این رابطه را به گونه ای اصلاح کنید که دما بر حسب $^\circ\text{C}$ در این رابطه قرار داده شود و C_p بر حسب $\frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$ به دست بیاید؟

پاسخ: $T_F = 1.8 T_C + 32 \Rightarrow C_p = 0.487 + 2.29 \times 10^{-4} (1.8 T_C + 32) = 0.494 + 4.12 \times 10^{-4} T_C$

$$C_p = (0.494 + 4.12 \times 10^{-4} T_C) \frac{\text{BTU}}{\text{lbm} \cdot ^\circ\text{F}} \times \frac{1.8 \Delta F}{\Delta C} \times \frac{1 \text{ J}}{9.98 \times 10^{-4} \text{ BTU}} \times \frac{1 \text{ lbm}}{454 \text{ g}} = 2.06 + 1.72 \times 10^{-3} T_C \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$$

تکلیف

Convert 100°C to (a) K, (b) $^\circ\text{F}$, and (c) $^\circ\text{R}$.

Heat capacities are usually given in terms of polynomial functions of temperature. The equation for carbon dioxide is

$$C_p = 8.4448 + 0.5757 \times 10^{-2} T - 0.2159 \times 10^{-5} T^2 + 0.3059 \times 10^{-9} T^3$$

where T is in $^\circ\text{F}$ and C_p is in $\text{Btu}/(\text{lb mol})(^\circ\text{F})$. Convert the equation so that T can be in $^\circ\text{C}$ and C_p will be in $\text{J}/(\text{g mol})(\text{K})$.

مهلت ارسال پاسخ: تا یک هفته پس از ارسال فایل تدریس

ارسال پاسخ به ایمیل:

a.abasi.eng2014@gmail.com

در عنوان ایمیل حتما "تکلیف دوم درس موازنه جرم و انرژی" نوشته شود.

نام فایل، نام دانشجو و شماره کلاس باشد.