«Mass Transfer Operation»

* نام درس: عملیات انتقال جرم

* استاد درس: دکتر ذکائی

مراجع:

- Mass Transfer Operations, R.E. Treybal
- Transport Processes and Unit Operation C.J. Geankoplis
- Mass Transfer; fundamental and Applications A.L. Hines and R.N. maddox
- Transport Phenomena R.B. Bird, W.E. Stewart, E.N lightfoot

AYLAR

Scanned with CamScanner

«جلسه اول ـ ۱۴۰۱،۶،۲۸»

• انتقال جرم: انتقال یک یا چند جزء از میان یک محیط به واسطه فرم هایی از نیروی محرکه. (مثال ← تغییر آب به هوای اتاق، پخش شدن ذرات اسپری در هوا، چای کیسه‌ای، اسمز، اختلاط و ...)

نیروی محرکه:
- اختلاف غلظت (ΔC)
- اختلاف فشار (ΔP)
- اختلاف پتانسیل الکتریکی (ΔE)
- اختلاف دما (ΔT)

* اگر اختلاف پتانسیل شیمیایی وجود داشته باشد، انتقال جرم داریم.

* انتقال جرم
  - گاهی در یک محیط تک فازی رخ می دهد.
  - گاهی بین دو یا چند فاز رخ می دهد.
    - تماس مستقیم دوفازی ← فرایندهای غشایی
    - تماس مستقیم دوفازی غیرقابل امتزاج

Separation processes

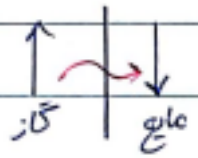
- Single phase
- Between two phase
  - Direct contact
  - Indirect contact

✓ Gas_Liquid
✓ Gas_solid
✓ Liquid_Solid
✓ Liquid_Liquid

AYLAR
Scanned with CamScanner

• انتقال جرم بین دو فاز ← تماس مستقیم دوفازی غیرقابل امتزاج
  - ✓ گاز - مایع
  - ✓ گاز - جامد
  - ✓ مایع - جامد
  - ✓ مایع - مایع

* گاز - مایع :
  • جذب گازی (Absorption) ← اجزایی از فاز گاز جذب فاز مایع می‌شوند.



مثال: شیرین سازی گاز طبیعی

  • دفع گازی (Stripping) ← اجزایی از مایع به گاز می‌روند و برعکس جذب گازی است.

مثال: از بین رفتن گاز نوشابه - برج‌های هوادهی از آب

  • تبخیر (Evaporation)
  • تقطیر (Distillation) ← برای موادی که نقطه جوش آنها نزدیک هم است استفاده می‌شود. مثال: تقطیر آب و الکل
  • رطوبت زنی (Humidification) مثال ← کولر آبی
  • رطوبت گیری (Dehumidification) مثال ← کولر گازی

Scanned with CamScanner

* گاز-جامد:
- جذب سطحی (Adsorption) ← ذراتی از گاز وارد جامد می‌شوند
- دفع سطحی (Desorption)
- خشک کردن (Drying)
- تصعید (Sublimation) ← مثال Freeze drying (خشک کردن انجمادی)

* مایع-جامد:
- جذب سطحی (Adsorption) ← ذراتی از مایع جذب جامد می‌شوند
- دفع سطحی (Desorption) ← ذراتی از جامد جذب مایع می‌شوند
- Leaching ← یک جامدی داریم که در تماس با یک حلالی قرار می‌گیرد و ذراتی از جامد داخل این حلال حل می‌شوند.
  ← مثال: دَم کردن چای، قهوه
- تبلور (Crystallization) ← مثال: تولید نبات

* مایع-مایع:
- Liquid-Liquid Extraction

AYLAR
Scanned with CamScanner

- انتقال جرم بین دو فاز
  - تماس مستقیم دو فاز غیر قابل امتزاج {جلسه قبل بررسی شد}
  - تماس غیرمستقیم
    - میکروفیلتراسیون
    - اولترافیلتراسیون
    - اسمز معکوس
    - دیالیز
    - ...

- فرآیندهای جداسازی مکانیکی
  - اختلاط (Mixing)
  - فیلتراسیون (Filtration)
  - ته نشینی (Sedimentation)
  - سانتریفیوژ (Centrifugation)
  - خرد کردن (Size reduction)

- نمونه هایی از دیگر فرآیندها:
  - فرآیند پایدار
  - فرآیند ناپایدار
  - فرآیند مرحله ای (Stagewise)
  - فرآیند پیوسته
  - Batch
  - Continues
  - عملیات مستقیم
  - عملیات غیر مستقیم

Scanned with CamScanner

* فصل دوم: نفوذ مولکولی در سیالات (Molecular Diffusion in Fluids)

• مکانیزم های انتقال جرم:
- نفوذ مولکولی (Molecular Diffusion)
- Convection

⟸ نفوذ مولکولی به دلیل برخورد ذرات و جنبش مولکولی رخ می دهد.

* به طور کلی نفوذ مولکولی پدیده کندی است.
* با افزایش دما، نفوذ مولکولی افزایش می یابد.
* با افزایش فشار، نفوذ مولکولی کاهش می یابد.

(در هدایت، انرژی توسط ذره منتقل می شود پس هر چقدر ذرات بهم نزدیکتر باشند، هدایت حرارتی بهتر است اما در نفوذ مولکولی در انتقال جرم، خود ذره منتقل می شود پس هر چقدر ذرات کمتر فشرده باشند، انتقال بیشتر خواهد بود.)

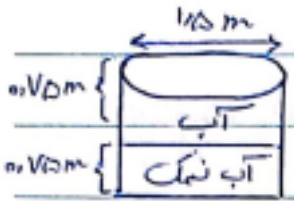
* نفوذ مولکولی در جامدات و مایعات کم می باشد ولی در گازها بیشتر است.

مخزنی به قطر ۱/۵ متر را در نظر بگیرید که آب نمک به عمق ۰/۷۵ متر در آن ریخته شده است. تصور کنید که لایه ای از آب به ضخامت ۰/۷۵ متر بر روی لایه آب نمک قرار بگیرد بدون آنکه آن را بهم بزند. حال اگر محتویات مخزن را برای مدتی به شکل ساکن در کنار هم قرار دهیم، نمک به تدریج و از طریق نفوذ مولکولی به درون آب نفوذ نموده و در انتها

ادامه

AYLAR
Scanned with CamScanner

غلظت آن به نصف مقدار اولیه کاهش می‌یابد. این فرآیند بسیار کند بوده و با محاسبه معلوم می‌شود که غلظت نمک در سطح فوقانی پس از ۱۰ سال به ۸۷٫۵ درصد مقدار نهایی و پس از ۲۸ سال به ۹۹ درصد مقدار نهایی خود خواهد رسید.



• شدت انتقال جرم: شدت (Rate) = کمیت / زمان ← مثال ... $\frac{m^3}{s}$ ، $\frac{kg}{s}$ ...

• شار انتقال جرم: شار (Flux) = کمیت / زمان . سطح ← مثال ... $\frac{kg}{m^2 s}$ ...

بطور کلی ← شار = نیروی محرکه / مقاومت ← مثال $q = \frac{\Delta T}{\frac{L}{K} + \frac{1}{h}}$

پدیده های انتقال:
- هدایت در انتقال حرارت: $q = -K \frac{dT}{dz}$
- نفوذ در انتقال جرم: $J_A = -D_{AB} \frac{dc_A}{dz}$ (D_{AB} ضریب نفوذ) ← قانون اول فیک (Fick's First Law)
- انتقال مومنتوم: $\tau = -\mu \frac{du}{dz}$

• در محیط تک فازی، انتقال جرم از غلظت بیشتر به غلظت کمتر می‌رود.

Scanned with CamScanner

انواع غلظت:

- C_A : molar concentration → $\frac{\text{mol A}}{\text{حجم کل}}$ → مثلاً $\frac{\text{gmol A}}{cm^3}$

, $\frac{\text{Kg mol A}}{m^3}$, $\frac{\text{lb mol A}}{ft^3}$

$C_A + C_B + C_C + \dots = C$ → molar density (چگالی مولی)

C ← غلظت کل = $\frac{\text{مول کل}}{\text{حجم کل}}$

- x_A , y_A : mole fraction → $\frac{\text{A مول}}{\text{مول کل}} = \frac{C_A}{C_{کل}}$
- ρ_A : mass concentration → $\frac{\text{A جرم}}{\text{حجم کل}}$ → مثلاً $\frac{g_A}{cm^3 \text{ کل}}$

← چگالی نیست، غلظت می باشد.

$\rho_A + \rho_B + \rho_C + \dots = \rho$ → mass density

$\frac{\text{جرم کل}}{\text{حجم کل}}$ = چگالی , $\frac{\text{جرم (مثلا ماده A)}}{\text{حجم کل}}$ = غلظت ماده A

- w_A : mass fraction → $w_A = \frac{\rho_A}{\rho}$ $\left(\frac{\text{A جرم}}{\text{جرم کل}}\right)$
- X_A , Y_A : →

$$X_A = \frac{x_A}{1 - x_A}$$

$$Y_A = \frac{y_A}{1 - y_A}$$

- P_A : فشار بخار جزئی → $\frac{P_A}{P_t}$ = mole fraction

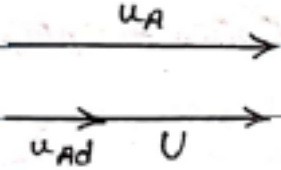
$PV = nRT \rightsquigarrow \frac{P}{RT} = \frac{n}{V} = C$ چگالی مولی

AYLAR

Scanned with CamScanner

سرعت ← نسبی
سرعت ← مطلق
سرعت ← شار

مثال: فرض می کنیم فردی درقطار درحال حرکت است. سرعت راه رفتن شخص درداخل قطار برابر با u_{Ad} می باشد. سرعت قطارهم U می باشد. کسی که این فرد را از بیرون نظاره می کند مجموع این دوسرعت را می بیند یعنی u_A.



$$u_A = u_{Ad} + U$$

مثالی دیگر: یک ماهی درخلاف جهت جریان آب رودخانه درحال حرکت است. سرعت ماهی دراینجا برابر u_{Ad} و سرعت رودخانه برابر با U می باشد. ماهیگیری که از بیرون این ماهی را نظاره می کند، مجموع این دوسرعت (یعنی سرعت ماهی و رودخانه) را می بیند یعنی u_A.

سرعت ماهی نسبت به مکان متحرک ← سرعت نسبی (u_{Ad})
سرعت ماهی نسبت به مکان ثابت ← سرعت مطلق (u_A)

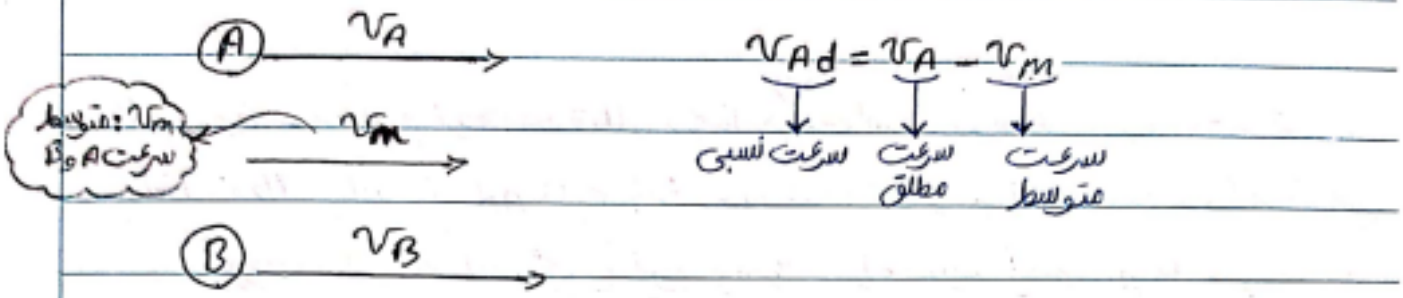
سرعت نسبی + سرعت محیط = سرعت مطلق

سرعت نسبت به مکان متحرک

سرعت نسبت به مکان ثابت

Scanned with CamScanner

* فرض کنید دو ذره A و B داریم. زمانی انتقال جرم رخ می دهد که A نسبت به B سرعت متفاوتی داشته باشد.



$$v_A = v_{Ad} + v_m \xrightarrow{\times C_A} C_A v_A = C_A v_{Ad} + C_A v_m$$

نماینده شار مولکولی — نماینده حرکت توده ای سیال

$$C_A v_A = N_A \rightarrow \text{شار مطلق}$$
$$C_A v_{Ad} = J_A \rightarrow \text{شار نسبی}$$

$$N_A = J_A + C_A v_m$$

* در چه مواقعی N_A و J_A باهم برابرند؟
  - نفوذ در جامدات
  - نفوذ متقابل
  - محیط رقیق از A و انتقال جرم کم

AYLAR
Scanned with CamScanner

$$N_A = J_A + C_A v_M$$

$$\left(v_M = x_A v_A + x_B v_B \xrightarrow[x_B=\frac{C_B}{C}]{x_A=\frac{C_A}{C}} v_M = \frac{C_A v_A + C_B v_B}{C} \right)$$

$$\rightarrow N_A = J_A + \frac{C_A(C_A v_A + C_B v_B)}{C} \xrightarrow[N_B = C_B v_B]{N_A = C_A v_A} N_A = J_A + \frac{C_A(N_A + N_B)}{C}$$

برای یک مخلوط دو جزئی

$$N_A = -D_{AB}\frac{dC_A}{dz} + \frac{C_A}{C}(N_A + N_B)$$

$$N_B = -D_{BA}\frac{dC_B}{dz} + \frac{C_B}{C}(N_A + N_B)$$

برای یک مخلوط n جزئی

$$N_A = -D_{AM}\frac{dC_A}{dz} + \frac{C_A}{C}\left(\sum_{i=A}^{n} N_i\right)$$

نکته : در یک مخلوط n جزئی $\Longleftarrow$ $\boxed{\sum J_i = 0}$

((اثبات برای یک مخلوط دو جزئی :

$$N_A = J_A + \frac{C_A}{C}(N_A + N_B)$$

$$N_B = J_B + \frac{C_B}{C}(N_A + N_B)$$

جمع $\rightarrow$ $N_A + N_B = (J_A + J_B) + (N_A + N_B)\left(\frac{C_A}{C} + \frac{C_B}{C}\right)$

$$\rightsquigarrow N_A + N_B = (J_A + J_B) + (N_A + N_B)\overbrace{(x_A + x_B)}^{=1} \longrightarrow J_A + J_B = 0$$

Scanned with CamScanner

اثبات: $J_A + J_B = 0 \longrightarrow -D_{AB}\frac{dc_A}{dz} - D_{BA}\frac{dc_B}{dz} =$

اگر غلظت کل ثابت باشد یعنی $C = C_A + C_B$ ثابت $\xrightarrow{\text{از طرفین دیفرانسیل می‌گیریم}} 0 = dc_A + dc_B \longrightarrow dc_A = -dc_B$

نکته: اگر غلظت کلی ثابت باشد (C = ثابت) $\Longleftarrow D_{AB} = D_{BA}$

در خصوص گازها، این نکته بسیار کاربرد دارد.

«منظور از ثابت ماندن C این است که طبق رابطه $C = \frac{n}{v} = \frac{P}{RT}$، اگر فشار و دما ثابت بماند، غلظت ثابت می‌ماند»

ادامه $\longleftarrow D_{AB}\frac{dc_A}{dz} = D_{BA}\frac{dc_B}{dz} \longleftarrow D_{AB} = D_{BA}$

• برای گازها: (غلظت کلی $\longrightarrow C = \frac{n}{v} = \frac{P}{RT}$)

• محاسبه N_A:

$$N_A = -D_{AB}\frac{dc_A}{dz} + \frac{c_A}{c}(N_A + N_B)$$

$$\longrightarrow N_A - \frac{c_A}{c}(N_A + N_B) = -D_{AB}\frac{dc_A}{dz}$$

$$\longrightarrow \frac{-dc_A}{N_A - \frac{c_A}{c}(N_A + N_B)} = \frac{dz}{D_{AB}}$$

$$\int \longrightarrow \int_{c_{A_1}}^{c_{A_2}} \frac{-dc_A}{N_A - \frac{c_A}{c}(N_A + N_B)} = \int_{z_1}^{z_2} \frac{dz}{D_{AB}}$$

شرط‌ها:
- D_{AB} ثابت است
- steady state
- $N_A + N_B \neq 0$
- سطح انتقال در راستای z ثابت است
- N_A ثابت است

ادامه

AYLAR

Scanned with CamScanner