



مجتمع آموزش عالی گناباد

به نام خدا

شیمی صنعتی ۱

بخش انتقال جرم

(مخصوص دانشجویان شیمی کاربردی)

دکتر ولی اله ماندنی پور

فهرست مطالب:	
عنوان	شماره صفحه
فصل اول: عملیات انتقال جرم	۱
تعریف انتقال جرم	۱
روش های مکانیکی	۱
صاف کردن	۱
غربال کردن	۱
آسپراسیون	۱
شناورسازی	۱
دسته بندی روش های انتقال جرم	۱
تماس مستقیم دو فاز نامحلول در یکدیگر	۲
جداسازی فازها با استفاده از غشا	۴
تماس مستقیم فازهای محلول	۴
عملیات مستقیم و غیر مستقیم	۵
انتخاب روش جداسازی	۶
نحوه تماس فازها	۷
فصل دوم: نفوذ مولکولی در سیالات	۸
مقدمه	۸
مکانیسم های انتقال جرم	۸
تعریف و محاسبه شار انتقال جرم	۱۰
انواع غلظت	۱۳
نفوذ مولکولی در گازها	۱۷
ضریب نفوذ در مایعات	۲۷
فصل سوم: ضرایب انتقال جرم	۳۴
مقدمه	۳۵
ضرایب انتقال جرم	۳۶
ضرایب انتقال جرم نفوذ در جز ساکن	۳۶
رابطه بین ضرایب انتقال جرم	۳۷
فصل چهارم: اعداد بدون بعد	۳۸
عدد رینولدز	۴۰
عدد اشویت	۴۰
عدد شروود	۴۱
	۴۱

عدد گرافوف	۴۲
عدد پکلت	۴۲
عدد استانتن	۴۲
جی فاکتورها	۴۳
به همراه ۱۱ صفحه پیوست	

نام درس:	استاد:	مقطع:	پیش نیاز:
شیمی صنعتی ۱	دکتر ولی اله ماندنی پور	کارشناسی	اصول محاسبات شیمی
نحوه‌ی ارزشیابی:			
ارزشیابی مستمر و کوئیز: ۲ نمره	میانترم: ۸ نمره	پایانترم: ۱۰ نمره	
هدف کلی: آشنایی دانشجویان با مفاهیم پدیده‌های انتقال شامل جرم، حرارت و منتوم			
مراجع: مکانیک سیالات (استریتز، وایت)، انتقال حرارت (هولمن، اینکروپرا)، انتقال جرم (تربال، چالکش امیری)			
هفته	موارد مورد بحث		
اول	معارفه، تعاریف اولیه (مکانیک سیالات، سیال، تنش برشی، قانون ویسکوزیته نیوتن، ... بررسی تمرین‌های قانون ویسکوزیته نیوتن، معرفی آحاد و ابعاد مختلف، ویسکوزیته سینماتیکی و دینامیکی بررسی تمرین‌های قانون ویسکوزیته نیوتن، معرفی آحاد و ابعاد مختلف، ویسکوزیته سینماتیکی و دینامیکی		
دوم	سیالات در حالت سکون، کشش سطحی، اصل پاسکال و اصل ارشمیدوس و نیروی شناورسازی		
دوم	استاتیک سیالات، فشار در یک سیال تراکم‌پذیر، آحاد و مقیاس‌های اندازه‌گیری فشار		
سوم	مفاهیم جریان سیال و معادلات بنیادی حجم کنترل، جریان آرام و جریان متلاطم، قانون بقای جرم، اصل پیوستگی، قانون بقای انرژی		
چهارم	معادله انرژی برای جریان پایدار سیال و بررسی تمرین‌های مربوط به آن		
چهارم	معادله برنولی و محاسبه قدرت پمپ‌ها در یک خط انتقال و انواع افت‌ها		
پنجم	جریان لزج در لوله‌ها و کانال‌ها، فرمول منینگ، معادله دارسی، آشنایی با وسایل اندازه‌گیری سرعت جریان و ...		
ششم	آنالیز ابعادی، عدد رینولدز، عدد اولر، عدد وبر و ...		
ششم	مباحث پایانی مکانیک سیالات و حل تمرین‌های تکمیلی و رفع اشکالات در زمینه مکانیک سیالات		
هفتم	اصول و انواع مکانیسم انتقال گرما (تابشی، هدایتی، جابه‌جایی)، انتقال حرارت هدایتی، قانون فوریه، تعریف ضریب هدایت حرارتی و تشریح مولکولی آن		
هشتم	اثبات روابط مربوط به انتقال حرارت در دیوارهای مسطح ساده و مرکب		
هشتم	اثبات روابط مربوط به انتقال حرارت در دیوارهای استوانه‌ای ساده و مرکب		
نهم	اثبات روابط مربوط به انتقال حرارت در دیوارهای کروی ساده و مرکب		
دهم	کلیات انتقال حرارت به روش جابه‌جایی و رابطه سرمایش نیوتن		

دهم	معادله هدایت حرارت یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی
یازدهم	کلیات انتقال حرارت به روش تابش و رابطه استفان بولتزمن
دوازدهم	انواع مقاومت‌های حرارتی (هدایتی، جابه‌جایی و تشعشعی) در دیوار مسطح، استوانه و کره، ضریب کلی انتقال حرارت در سیستم‌های دگارتی و شعاعی
دوازدهم	عایق‌بندی، ضخامت بحرانی عایق در سیستم‌های شعاعی انواع مبدل‌های حرارتی و نقش حرکت نسبی سیالات سرد و گرم در آن‌ها
سیزدهم	روش LMTD جهت محاسبه انتقال حرارت و ضریب کلی انتقال حرارت، مباحث پایانی انتقال حرارت و حل تمرین‌های تکمیلی و رفع اشکالات در زمینه انتقال حرارت
چهاردهم	تعریف کلی انتقال جرم، معرفی فرایندهای عملیات انتقال جرم، نفوذ مولکولی، قانون اول فیک و قانون دوم فیک
چهاردهم	تعریف ضریب نفوذ و مفهوم مولکولی و نحوه‌ی محاسبه آن در گازها و مایعات
پانزدهم	انتقال جرم در حالت آرام و غلظت مربوط
شانزدهم	آشنایی با ابعاد بدون بعد در انتقال جرم و روش محاسبه ضریب انتقال جرم
شانزدهم	انتقال جرم از یک فاز به فاز دیگر و ضرایب انتقال جرم کلی، آشنایی با دستگاه‌های صنعتی مرتبط با انتقال جرم

بسیار از عملیات مهندسی شیمی با مسئله تغییر غلظت در محلول‌ها و مخلوط‌ها سروکار دارند که این تغییرات الزاماً توسط واکنش‌های شیمیایی صورت نمی‌پذیرد. [تربال] این عملیات بیشتر به جاب‌های مخلوط‌ها به سازنده‌های شیمیایی آن‌ها مربوط می‌شوند. در صورتی که عملیات مورد نظر موجب وجود آمدن تغییرات در ترکیب مخلوط‌ها شود آن‌ها را عملیات انتقال جرم می‌گویند. [تربال] راسر ~~مخلوط~~ ^{در یک بهتر} موضوع اگر سیال مانند آب از یک مکان به مکان دیگر منتقل می‌شود با وجود این که جرم آن آب انتقال داده شده است ولی به این فرایند انتقال جرم نمی‌گویند و این فرایند در مکانیک سیالات بررسی می‌شود. حال یک مایه را در نظر بگیرید مثلاً ^{زرد آلود} مایه‌ای خواهد بود که به قیصر تبدیل کنید بر این کار و بابت آب درون زرد آلود تغییر می‌دهد برابر تغییر آب است. آب به سطح زرد آلود می‌آید پس ^{به درون توده هوا نفوذ می‌کند و از آنجا بر می‌خیزد} ~~مخلوط~~ ^{تکامل} بنابراین در این جا انتقال جرم صورت گرفته است. پس انتقال جرم مابقی را در بر می‌گیرد که انتقال ماده در یک مخلوط یا محلول انجام می‌شود. [چالکش]

2. روش‌های مکانیکی: روش‌های مکانیکی در انتقال جرم به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

- 1.2: صاف کردن (Filtration): این کار در این روش اختلاف فاز حالت، بنابراین این روش برابر موارد (دو یا چند فاز) است، مانند جدا کردن جامد معلق در مایع.
- 2.2: غربال کردن (Screening): این کار اختلاف اندازه ذرات است، مثل انواع الک‌ها یا مش‌ها (mesh) متفاوت.
- 3.2: Aspiration: این کار اختلاف دانسیته اجزاء سیستم است، مثل جدا کردن گاه از گندم که با مدین هوا، عملیات جدا کردن انجام می‌شود.
- 4.2: شناور سازی (Flotation): در این روش هم از کار اختلاف دانسیته است. مثل جدا کردن میوه‌های سالم از سب‌های خراب به وسیله شناور سازی آن‌ها در روغن آب.

3. دسته بندی روش‌های انتقال جرم

1. ~~تقسیم~~ ^{تقسیم} مستقیم (و فاز نا محلول در یکدیگر)
2. جداسازی از فازها با استفاده از غشای
3. تقسیم مستقیم فازها در محلول
4. استفاده از پدیده کشش سطحی

3. 1. خامس مستقیم (دو فاز نامحلول در یکدیگر): این گروه از تقیه مختبر بود (و غالباً عملیات جرم در این تقیه نمیشود و از این گروه است که در زیر آمدند).
 در این گروه به دلیل وجود سه فاز گاز، مایع و جامد امکان مجاور شدن (دو فاز به شش صورت ممکن است که در زیر آمدند).
 (از گاز در گاز: تقریباً همه گازها به طور کامل با هم مخلوط میشوند لذا در این گروه فرایندهای متداول در صنعت انجام پذیر نیست
 - گاز در مایع)

1) اگر کلیه یکنواختی در حالت تعادل بین دو فاز توزیع شوند. در این صورت عملیات را تغییر جزئی میگویند. در این عمل فاز گاز توسط تغییر فاز مایع حاصل میشود. در این روش اس کارها را اختلاف نقطه جوش اجزاء میبایست. مثل خالص سازی محلول آب و الکل

2) اگر هر دو فاز به صورت محلول باشند و یکی از اجزاء (یا گروهی از اجزاء) بین دو فاز توزیع شوند به این عمل جذب گاز (adsorption) گفته میشود. مثل جذب آمونیاک در هوا توسط آب و یا جذب H_2 در برج جذب توسط DEA (این آتش آید)
 به عبارتی که عکس عملیات فوق انجام میشود یعنی انتقال آمونیاک از آب به هوا و یا به طور کلی انتقال جرم از فاز مایع به فاز گاز (رفع گاز) (stripping) میگویند.

(Humidification, dehumidification)

3. اگر فاز مایع مثل یک جزء باشد و فاز گاز مثل چند جزء باشد به این عملیات را رطوبت دادن یا رطوبت گرفتن مینامند. مثل خامس آب با هوای خشک.

ج) گاز - جامد

1. اگر تمام ترکیبات در هر دو جزء موجود باشند و جامد بدون تبدیل به مایع به گاز تبدیل شود به این عملیات تقطیر جزء میگویند.

(Fractional Sublimation)

2. اگر بین دو فاز گاز و جامد یک جزء مشترک وجود داشته باشد و نوع انتقال جرم متوجه هستیم.

حالت اول: اگر انتقال ترکیب مشترک از فاز جامد به فاز گاز مورد نظر باشد به این عملیات خشک کردن (drying) گفته میشود که گاهی به آن دفع یا (desorption) گفته میشود.

حالت دوم: اگر انتقال ترکیب مشترک از فاز گاز به فاز جامد مورد نظر باشد به این عملیات جذب سطحی (gas adsorption) میگویند. مثل بکریه ها و حاذب های رطوبت

(د) مایع-مایع

(liquid-liquid extraction)

اگر دو مایع نامحلول به منظور جداسازی (انتقال عموماً) با یکدیگر تماس داده شوند، عملیات را استخراج مایع-مایع گویند.
مثال: جداسازی آب و اتانول به وسیله ~~کربن تتراهالید~~ کربن تتراهالید. قسمت عمده اتانول در کربن تتراهالید حل شده و از فاز آب جدا می‌شود.

مثال: استیک اسید و اتانول دارای نقطه جوش نزدیک هستند بنابراین نمی‌توان به منظور جداسازی از یک نقطه استفاده کرد. براساس جداسازی کافیتی به این عمل آب و کربن تتراهالید افزوده کنیم. قسمت عمده اتانول در کربن تتراهالید و قسمت عمده استیک اسید در فاز آب حل می‌شود. به این عمل استخراج جزء گفته می‌شود.

به طور کلی در مدار می‌توان از نقطه استفاده کرد. مثلاً نزدیک نقطه جوش و یا به وجود نقطه ازنزدیک و یا به این دو جزء از استخراج استفاده می‌شود.

(ه) مایع-جامد

1. اگر کلیس اجزاء در دو فاز مایع وجود داشته باشد با ترکیب عملیات جداسازی تبلور جزء به جزء (Fractional crystallization) می‌گویند.

2. اگر یک جزء مشترک بین دو فاز موجود باشد با روش عملیات جداسازی می‌گویند.

حالت اول: اگر انتقال ترکیب مشترک از فاز مایع به فاز جامد صورت گیرد به این عمل جذب سطحی (adsorption) می‌گویند.

حالت دوم: اگر انتقال ترکیب مشترک از فاز جامد به فاز مایع صورت گیرد به این عملیات استخراج (leaching) می‌گویند.

مثال جداسازی طلا از سنگ معدن سیانید و یا جداسازی کافور از چغندر رنده و یا جداسازی روغن از زیتون به روش استخراج.

روش های دیگر جداسازی مایع-جامد عبارتند از:

* روش های خاص تقطیر منطقه ای برای جداسازی فلزات بسیار خالص و یا نه خالص

* تبلور همراه با مواد افزودنی

(و) جامد-جامد

تعدد در این حالت بسیار کم است و می‌شود. بنابراین به دلیل کمترین کاربرد در صنعت ندارد.

2.3. هداسازی فازها با استفاده از غشای

غشایها بطور خاص می‌توانند قابلیت عبور در هر موکول‌های درخواستی را داشته باشند. بنابراین نقش اصلی غشایها در جداسازی از مخلوط درون دو فاز در جداسازی است.

معمولاً براساس سه دسته گاز-گاز، مایع-گاز و مایع-مایع از غشای استفاده می‌شود.

در دسته گاز-گاز دو مکانیزم مختلف وجود دارد.

1. نفوذ (Diffusion): این کار با اختلاف اندازه یا حجم مولکول‌ها می‌تواند در جداسازی از مخلوط‌ها (مانند اوره و آب) انجام شود.

2. تراوش (Permeation): این کار با اختلاف در پهنای غشایها می‌تواند در جداسازی از مخلوط‌ها (مانند گاز طبیعی)

در دسته گاز-مایع از تراوش اجزاء استفاده می‌شود. مثل جداسازی آب و اسکل

در دسته مایع-مایع از دو تکنیک دیالیز و اسمت استفاده می‌شود.

دیالیز: هداسازی یک جسم محلول از یک محلول کلوشید با استفاده از یک غشای نیمه نفوذناپذیر که می‌تواند فقط مولکول‌های حل‌شده در محلول مذوق را از خود عبور دهد.

اگر در غشای مذوق از نیروی محرکه الکتریکی به منظور هداسازی ذرات باردار استفاده شود فرایند را الکترودیالیز می‌گویند.

اسمت: در این فرایند از غشای عبور می‌کند. این عمل معمولاً در صنعت استفاده نمی‌شود و عکس آن یعنی غلیظ کردن محلول براساس مایع می‌باشد که این عمل با استفاده از غشای مختلف و غالب برف را اسمت امکان پذیر است به این عمل اسمت می‌گویند گفته می‌شود. مثل شیرین کردن آب دریا.

3.3. تماس مستقیم فازها با محلول

1. نفوذ حرارتی (Thermal diffusion)

در این فرایند که گرادیان غلظت توسط اختلاف درجه حرارت ایجاد می‌شود پس به دلیل اختلاف در دانسیته هداسازی انجام می‌شود

مثل هداسازی ^3He و ^4He

2. نفوذ جاروش (Sweep diffusion)

4 از یونیک مخلوط گاز، جذب انتخابی باعث می‌شود که یکی از ترکیبات گاز با عبور یک بخار قابل میعان به صورت صفت

کود با راز شیم خارج شود که به این عمل تفوذ یا بردن گفته می شود. اگر در منطقه از یک گاز که دارای غلظت های متفاوت هستند
کود با غرایبی که دارای منافذ درشت است جدا شوند فرایند را *Atmosolysis* گویند.

3. با ترغیب:

این کار را با استفاده از جرم مولکولی می یابند که در نتیجه نیروی گریز از مرکز شود مولکول های سبک و سنگین از هم جدا شوند.

4. استفاده از کشش سطحی

مدار و عمود دارند که وقت به هلال افتاده می شوند باعث کاهش کشش سطحی حلال می شوند این مواد بیشتر به سمت سطح مشترک کشیده می شوند.

عباس زری به وسیله کف (Foam separation)

در اثر ایجاد کف مایه درون محلول مواد می افتند. این مواد به حباب های چسبیده به طرف بالا حرکت می کنند که در سطح
می توان این کف ها را جدا کرد. این عمل را با استفاده از شناور (Flotation) استبا گرفت.

3. 4. عملیات مستقیم و غیر مستقیم

بسته به نوع مجاور نمودن دو فاز عملیات انتقال را به دو نوع مستقیم و غیر مستقیم می توان تقسیم کرد:

الف) عملیات مستقیم: در اثر افرایش یا کاهش داری (دو فاز از یک فاز اولیه بدست می آید. تقطیر فرنی، تبلور فرنی و
نوعی از استخراج فرنی از این گونه هستند.

ب) عملیات غیر مستقیم: در این عملیات یک جسم خارجی به شیم افزوده می شود مانند جذب گاز، دفع گاز، خشک کردن،
استخراج از جامدات، استخراج از مایعات و انواع خاص تبلور جزئی

و دیگران خاص عملیات مستقیم آن است که محصول به طور مستقیم و عاری از مواد افزودنی بدست می آید، لذا در شرایطی که
می توان از آن استفاده نمود ارجح هستند. اگر محصول به صورت خالص مورد نیاز باشد معایب عملیات غیر مستقیم بسیار بود و
استفاده از آن ها چندان توصیه نمی شود، زیرا هزینه های بازیابی مجدد جسم افزوده شده به شیم مطرح است و نیز مواد بازیاب
افتاده شده به شیم ندرتاً به طور کامل انجام می گیرد. افزایش یک ماده خارجی به شیم، همچنین ممکن است منجر به
به صورت دیگر دستگاه ها را هم شود نماید. بدین است عملیات غیر مستقیم زیانکار عملیات مستقیم تر جمع داد می شوند که

با هراس از هار مستقیم امکان پذیر نباشد و یا هراس از هار غیر مستقیم کمتر باشد.

اگر ماده هراس از هار مستقیم خالص مورد نیاز نباشد، بسیار از معایب عملیات غیر مستقیم از بین می رود، مثلاً در خشک کردن عاری، مخلوط هوا-بخار آب وارد محوطه می شوند زیرا که لازم نیست آب یا هوا باز یاب شوند. در تولید کلرید پیکرید اسید سگاز هیدروژن کلرید با آب مستقیم داد می شود و محلول آب-اسید بدون هراس از هار مستقیم به فردش می رسد.

4. انتخاب روش هراس از

یک مهندس شیمی اغلب با مسئله انتخاب یک عمل هراس از مناسب از میان چندین روش ممکن مواجه می شود. هر توانایی عمل انتقال جرم و یک عمل هراس از مکانیکی، یکی از آن دورا انتخاب نمود، مثلاً در هراس از یک ماده معدنی از کان آن می توان عمل استخراج از جامد را با یک حلال انتخاب کرد و یا از روش شناورن که مکانیکی است، استفاده نمود. در برخی موارد، انجام عمل مکانیکی و اعمال انتقال جرم هر دو مورد استفاده تکرار می گردند، به خصوص وقتی هراس از مکانیکی غیر کامل باشد، مانند فرایند روغن کشی که پس از فشردن دانه، با استفاده از ~~عمل مکانیکی~~ عمل استخراج با چغندر روغن موجود در دانه بدست می آید. ممکن است به جای عمل انتقال جرم، از واکنش های شیمیایی استفاده شود و یا این که ترکیبی از این دو به کار رود. مثلاً آب موجود در مخلوط آب-اتانول در اثر ترکیب با آب هک زدن می تواند از مخلوط هراس از شود. البته می توان مخلوط آب-اتانول را تقطیر کرد و آب آن را جدا نمود.

ملاحظه است که معیار اصلی انتخاب هزینه است، عموماً روشی که هزینه کمتری داشته باشد مورد استفاده قرار خواهد گرفت. متدرجاً عوامل دیگر ممکن است در تصمیم گیری دخالت کنند، مثلاً در تخریب روشی، با وجودی که ممکن است کم هزینه ترین روش نباشد به دلیل ملاحظات مطلوب تر است. در برخی موارد به لحاظ عدم وجود اطلاعات کافی براساس طاق و یک روش ارزان را کنار می گذارند. تجربیات کاری گذشته نیز می تواند در تصمیم گیری بخاری نقش بسیار مهمی را ایفا کند.

5. روش های مختلف انجام اعمال انتقال جرم

امده عملیات انتقال جرم به دو دسته پایا و ناپایا تقسیم می شود.

الف) اعمال بايا

از دیگر نکات اعمال پایا آن است که در هر نقطه از زندگیا غلظت ها با گذشت زمان ثابت باقی می ماند، لذا ضرورت دانش
در این موارد بداند و ثابت به درون چشم و بالعکس احساس شود، همچنین باید در رسم جوی و غلظت اجزاء در جوی ها
خوراک و فشار و در هر شرایط ثابت باشند.

(ب) اعلیٰ ناپائیدار

از جمله خصوصیات ایل ناپایا آن است که در هر نقطه از اردوگاه، علامت ها با زمان تغییر می کنند. این حالت ناپایا ممکن است در اثر تغییرات مواد حامله در خوراک، شدت جوش ها و یا تغییر دما و رطوبت شود. در هر حالت، ایل ناپایسته (batch) همیشه جزء این گروه به شمار می آید. در عملیات نیمه پیوسته (semibatch) یک فاز ساکن بوده، در حالی که فاز دیگر به طور مداوم وارد سیستم شده و آن را ترک می کند مثلاً در یک خشک کن نیمه پیوسته مقدار مشخص از جامد مرطوب درون محفظه خشک کن قرار گرفته و با هوای که به طور مداوم از محفظه عبور می کند تماس حاصل می نماید و رطوبت حامله به هوا هوایست را ترک می کند تا این که جسم جامد خشک شود.

6. مخفی نامک فازہا

(Single-stage) الف) تاسیس یک مرکز

در این حالت دو فاز را در تماس با یکدیگر قرار می‌دهیم مواد مختلف در دو فاز توزیع متفاوت خواهند داشت. این عمل را انتقال جسم در یک مرحله نامند. بدین است در یک مرحله تعادل، زمان تماس بیشتر نسبت به کمتر عکس خواهد گردید و منجر به ترکیب به تعادل در هر مرحله را بازده یا efficiency گویند.

(Co-current) $\frac{1}{2}$ (1)

که در دل مجوسه از ازل هست هر دم است و در هر مصلحت که تعادل خواهم راست.

(Counter current) (٧) عميد غير محسوس

در این سیم ها هیچ وقت اعانه برقرار نماند و در صورتی که اعانه در مجموع و مورد در این سیم ها در این
را ندیدن بالا می هستند.

فصل دوم : نفوذ مولکولی در سیالات

۱. نفوذ

فراپید طبیعی انتقال ماده، از فعالی با غلظت بیشتر به نقطه با غلظت کمتر را نفوذ مولکولی می گویند که به خاطر حرکت طبیعی مولکول ها رخ می دهد. نفوذ مولکولی در اثر حرکت مولکول ها در یک جسم و به علت وجود انرژی حرارتی انجام می پذیرد. در نفوذ ضربه گاه ها فرض بر این است که هر مولکول در مسیر مستقیم و با سرعت ثابت حرکت نموده و پس از طی مسافتی مولکول دیگر برخورد می کند و لذا جهت و سرعت \odot حرکت آن تغییر می کند. مقدار متوسط مسافتی که یک مولکول طی می کند تا با مولکول دیگر برخورد نماید مسیر آزاد متوسط (mean free path) مولکول نامیده می شود. به عبارتی است که سرعت متوسط حرکت مولکول بیشتر به درجه مسافت خالی را که مولکول در زمان معینی و در جهت معینی طی می نماید، بستگی دارد. نفوذ آن می نامند. طارعی خواهد داشت نفوذ مولکولی بدین بسیار آسان است. البته می توان با کاهش فشار که میب گاهش تعداد برخوردها می شود و افزایش درجه حرارت که سرعت مولکولی را زیاد می کند سرعت عمل را افزایش داد. زیرا عاملی خالص طریقه کندی مولکول متحرک در زمان معینی بیشتر می شود. حرکت مولکول ها در گازها خیلی بیشتر از سیالات و جامدات است از این رو نفوذ مولکولی در گازها سریعتر از سیالات و جامدات است.

بدین نفوذ مولکولی در نهایت منجر به گوناگونی شدن غلظت مواد در سراسر یک مخلوط می گردد. مثلاً اگر یک قطره مایه را در یک لیوان آب بریزیم پس از یک طرف آب وارد دهند پس مایه در آب نفوذ کرد و پس از مدتی تمام ظرف را رنگ بکنواخت آب را به خود حلاله گرفت.

۲. مکانیزم های انتقال جرم

یک شرط است برای انتقال جرم بین دو نقطه وجود دارد و آن این که احتمالاً باید اختلاف پتانسیل شیب بین آن دو نقطه وجود داشته باشد. این امر بسیار شبیه وجود اختلاف دما به عنوان یک شرط لازم و همیشگی برای انتقال طارعی می باشد. پس زمان می توانیم از مکانیزم های انتقال جرم صحبت کنیم که اختلاف پتانسیل شیب وجود داشته باشد پس به طور خلاصه می توان شرط اساسی انتقال جرم را چنین نوشت:

$$\nabla \mu \neq 0$$

این پتانسیل شیب می تواند دما باشد.

$$d\mu_i = RT d \ln a_i$$

از مباحث ترمودینامیک می دانیم که:

R : ثابت جهانی گازها، T : دما مطلق، a_i : فعالیت، (k) : فعالیت (activity) سازنده است.

از طرفی می دانیم که فعالیت (a_i) یک نسبت زنده در یک مخلوط تابع از کسر مولی (mole fraction) آن سازنده در مخلوط است و به طور خاص برابر مخلوط های ایده آل (واقعاً برابر کسر مولی) است.

$$a_i = x_i$$

پس با تعریف روابط بالا می توان اختلاف پتانسیل شیمیایی را با اختلاف کسر مولی مرتبط دانست. از این رو معادله را می توان به فرم زیر نوشت:

$$\nabla x_i \neq 0$$

اکنون دریافتیم که اگر در مخلوط اختلاف پتانسیل شیمیایی (اختلاف کسر مولی) وجود داشته باشد انتقال جرم خواهیم داشت. اصولاً دو مکانیزم اساسی برای انتقال جرم وجود دارد:

الف) نفوذ مولکولی (Molecular Diffusion) ب) حرکت توده ای سیال (Bulk Flow)

در مکانیزم نفوذ مولکولی حتی اگر سیال (محیط مادی) ساکن هم باشد باز هم به واسطه اختلاف پتانسیل شیمیایی انتقال جرم خواهیم داشت البته این کار بسیار به کندی صورت می پذیرد اما در مکانیزم دوم حتی باید توده ای سیال حرکت بکند تا انتقال جرم داشته باشیم به عبارت دیگر:

$$\bar{V} \neq 0$$

\bar{V} : سرعت متوسط توده ای سیال

اگر در یک مخلوط اجزاء دارای سرعت v_i و غلظت C_i باشند سرعت متوسط مولی مخلوط به فرم زیر تعریف می شود:

$$V = \frac{\sum C_i v_i}{\sum C_i}$$

که C_i هم غلظت کلی (C) است و نیز این که نسبت $\frac{C_i}{C}$ ها کسر مولی سازنده است (یعنی x_i) از این رو خواهیم داشت:

$$V = \sum x_i v_i$$

رایج ترین رابطه بسیار مورد استفاده که توسط آن ارتباط میان سرعت های سازندگان یک مخلوط با سرعت متوسط مولی مخلوط بیان می شود.

* مخلوط گازی محض 30٪ ازت و 70٪ اکسیژن است. اگر سرعت مطلق اکسیژن نسبت به محور 5 m/s و سرعت مطلق ازت نسبت به محور 4 m/s باشد سرعت متوسط مول مخلوط نسبت به آن محور چند متر بر ثانیه است؟

(1) 1.3 (2) 3.5 (3) 2.7 (4) ✓ 4.7

$$x_{O_2} = 0.7 \quad x_{N_2} = 0.3$$

$$v_{O_2} = 5 \text{ m/s} \quad v_{N_2} = 4 \text{ m/s}$$

$$v = \sum x_i v_i = (0.7 \times 5) + (0.3 \times 4) = 4.7$$

3. تعریف و محاسبه شار انتقال جرم

اکنون در یافتیم که به واسطه ی یکی از مکانیزم های نفوذ یا حرکت توده ای سیال یا ترکیبی از هر دو انتقال جرم صورت می گیرد. باید روابط مربوطه را استخراج کنیم. شار انتقال جرم (N) طبق تعریف عبارت است از توده ای مول هائی که در واحد زمان و در واحد سطح از سطح مشترک عبور می کنند که به صورت زیر بیان می شود:

$$N_A = C_A \cdot v_A$$

$$N_A: \text{شار مول A} \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)$$

$$C_A: \text{غلظت A} \left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)$$

$$v_A: \text{سرعت مطلق A نسبت به مبدأ مختصات} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

معادله بالا را با افزودن و کاستن ترم $C_A v$ می توان باز نویسی کرد:

$$N_A = C_A \cdot v_A + C_A v - C_A v = C_A v + C_A (v_A - v)$$

جمله اول سمت راست معادله بالا معروف مکانیزم حرکت توده ای سیال (Bulk Flow) است و جمله دوم سمت راست معادله

مکانیزم نفوذ مولکولی است. پس در واقع انتقال جرم در A یا ناشی از حرکت توده ای سیال (v) است یا ناشی از سرعت نسبی

در A نسبت به محیط جاری ($v_A - v$) است.

ترم نفوذ در معادله بالا را با علامت J_A نشان می دهیم:

$$J_A = C_A (v_A - v)$$

پس خواهیم داشت:

$$N_A = C_A v + J_A$$

$$N_A = C v \cdot \left(\frac{C_A}{C} \right) + J_A$$

که در معادله بالا $\sum N_i$ (CV) معرفت کل انتقال جرم است از این رو:

$$N_A = \sum N_i x_A + J_A$$

معادله فوق یک معادله بسیار مهم در بحث انتقال جرم؛ تمامی مواردی که در این معادله قابل استفاده است. فقط کافی است برابر سیستم مورد نظر $\sum N_i$ و J_A مشخص باشند.

4. قانون اول فیک (Fick's first law):

در تحلیل معادله بالا نخستین مطلبی که باید به آن پرداخته شود مسئله J_A است. ارتباط J_A با غلظت مطابق قانون اول فیک به فرم زیر قابل بیان است: (بافرض این که نفوذ فقط در جهت z انجام شود)

$$J_A = -D_{AB} C \frac{dx_A}{dz}$$

D_{AB} : میزان نفوذ A در B (در مایعات، گازها، جامدات و همچنین طبیعتاً برای مواد غریب نفوذ، مشخص سازنده و محیط اطراف آن است) و C : غلظت کسرول متاندر و نوع فاز (گاز، جامد و همچنین طبیعتاً برای مواد غریب نفوذ، مشخص سازنده و محیط اطراف آن است) و $\frac{dx_A}{dz}$: پتانسیل شیب است. پس اختلاف کسرول، متاندر اختلاف پتانسیل شیب است. اما اگر غلظت کلی سیستم (C) ثابت باشد قانون فیک را می توان به شکل زیر نوشت:

$$J_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dz}$$

قانون لامل فیک را به شکل های زیر هم می توان نوشت.

فرم برداری قانون اول فیک (بافرض این که انتقال در تمام جهات انجام شود).

$$J_A = -D_{AB} \nabla (C_A \cdot x_A) \quad \text{یا} \quad J_A = -D_{AB} \nabla C_A = -D_{AB} \left(\frac{\partial C_A}{\partial x} + \frac{\partial C_A}{\partial y} + \frac{\partial C_A}{\partial z} \right)$$

نکته: مجموع شارهای نفوذی یک سیستم چند جزئی برابر صفر است ($\sum J_i = 0$)

$$J_i = C_i (v_i - v)$$

$$\sum J_i = \sum C_i (v_i - v) = \sum C_i v_i - v \sum C_i = \sum N_i - vC = \sum N_i - \sum N_i = 0$$

$$\sum J_i = 0$$

با فرض این که تعوز در یک جهت انجام شود

$$D_{AB} = D_{BA} \text{ است}$$

نکته: از آن جا که مجموع شارهای تعوز در یک سیستم دو طرفی برابر صفر می شود پس این رابطه فقط در غلظت کل ثابت صحیح است.

$$J_A + J_B = 0 \Rightarrow J_A = -J_B$$

$$-D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial z} = D_{BA} \frac{\partial C_B}{\partial z}$$

(*)

حال اگر غلظت کل سیستم ثابت باشد:

$$C_A + C_B = C$$

$$\frac{\partial C_A}{\partial z} + \frac{\partial C_B}{\partial z} = 0 \Rightarrow \frac{\partial C_A}{\partial z} = - \frac{\partial C_B}{\partial z}$$

$$D_{AB} = D_{BA} \text{ تبدیل می شود}$$

بنابراین رابطه (*) به صورت

نکته: در گازها، ضریب نفوذ تقریباً مستقل از غلظت است اما با افزایش دما و کاهش فشار مقدار آن افزایش می یابد.

نکته: در مایعات، ضریب نفوذ تابع شدیدی از غلظت است و عموماً با دما افزایش می یابد، در حالی که ضریب نفوذ کربانی و نیز ویسکوزیته جنبشی برابر یا برابری با افزایش دما کاهش می یابد.

نکته: قانون فیک فقط آن قسمت از انتقال جرم (یا مکانیسم نفوذ مولکولی) که به خاطر گرادیان غلظت مستقل می شود را می پسندد.

نکته: قانون فیک به صورت اولیه، فقط برای شرایط خاص دما و فشار کل ثابت (از دترم و انبساط) که متغیر غلظت کل هم ثابت است) صادق است.

نکته: از رابطه $C = \frac{P}{RT}$ برای گازها مشخص می شود که در یک سیستم گاز اگر دما و فشار کل ثابت باشد، متغیر غلظت کل هم ثابت است.

نکته: عمل هم زدن مکانیکی باعث می شود که به جایی موشکول ها، گردانه ها (eddy) با حرکت سریع خود به صورت نامنظم جرم انتقال می دهند. این روش نفوذ ملامت یا گردانه های نامیده می شود.

نکته: مکانیسم انتقال جرم در سیال ساکن و یا سیال های که جریان آرام دارند، از طریق نفوذ موشکول و در جریان ملامت به طریق دیگری است. درون هر گردانه، انتقال از طریق نفوذ موشکول انجام می پذیرد.

نکته انواع غلظت:

15. غلظت جرم: به نسبت جرم به حجم یک ماده غلظت جرم آن گفته می شود.

$$f_i = \frac{m_i}{V_{\text{کل}}}$$

چگالی (غلظت جرم) $\rho = \frac{m}{V}$ $\rho = \sum f_i$

2.5 غلظت مولی: به نسبت تعداد مول به حجم یک ماده غلظت مولی آن گفته می شود.

$$c_i = \frac{n_i}{V}$$

$$C = \frac{n}{V} = \sum c_i$$

غلظت مولی \downarrow حجم \downarrow

3.5 کسر جرم: به نسبت جرم یک ماده به جرم کل سیستم گفته می شود.

$$w_i = \frac{f_i}{\rho} = \frac{f_i}{\sum f_i} = \frac{m_i}{m}$$

کسر جرم w_i

4.5 کسر مولی: به نسبت تعداد مول یک ماده به کل مول ها گفته می شود.

$$x_i = \frac{c_i}{C} = \frac{c_i}{\sum c_i} = \frac{n_i}{n}$$

کسر مولی x_i

رابطه بین کسر مول و کسر جرم به صورت زیر است:

$$x_i = \frac{\frac{w_i}{M_i}}{\sum \frac{w_i}{M_i}} \rightarrow \text{جرم مولکولی فردی}$$

$$w_i = \frac{x_i M_i}{\sum x_i M_i}$$

یک مخلوط دوفازی به حجم 20 لیتر، شامل 4 گرم فاز A، 5 گرم فاز B و 8 گرم فاز C است. عتلا جرمی از اجزاء (z) و هم چنین کسر جرمی آنها (w) برابر کدام گزینه است؟

$$(1) \quad w_C = 0.48, \quad w_B = 0.23, \quad w_A = 0.29, \quad f_C = 0.2, \quad f_B = 0.25, \quad f_A = 0.4$$

$$(2) \quad w_C = 0.48, \quad w_B = 0.29, \quad w_A = 0.23, \quad f_C = 0.4, \quad f_B = 0.25, \quad f_A = 0.2$$

$$(3) \quad w_C = 0.45, \quad w_B = 0.25, \quad w_A = 0.3, \quad f_C = 0.48, \quad f_B = 0.29, \quad f_A = 0.23$$

$$(4) \quad w_C = 0.23, \quad w_B = 0.29, \quad w_A = 0.48, \quad f_C = 0.2, \quad f_B = 0.4, \quad f_A = 0.25$$

$$f_A = \frac{m_A}{V_f} = \frac{4}{20} = 0.2 \text{ gr. ml}^{-1}, \quad f_B = \frac{m_B}{V} = \frac{5}{20} = 0.25 \text{ gr. ml}^{-1}, \quad f_C = \frac{m_C}{V} = \frac{8}{20} = 0.4 \text{ gr. ml}^{-1}$$

$$m = 4 + 5 + 8 = 17 \text{ gr}$$

$$w_A = \frac{m_A}{m} = \frac{4}{17} = 0.23, \quad w_B = \frac{5}{17} = 0.29, \quad w_C = \frac{8}{17} = 0.48$$

در یک مخلوط دوفازی، 5 مول فاز A با جرم مولکولی 24 و 10 مول فاز B با جرم مولکولی 15 موجود است. ترتیب اجزاء A و B به ترتیب برابر است با (از راست به چپ):

$$(1) \quad 2.3 - 1.3 \quad (2) \quad 1.3 - 2.3 \quad (3) \quad 0.56 - 0.44 \quad (4) \quad 0.44 - 0.56$$

$$n = 5 + 10 = 15 \text{ mol}$$

$$x_A = \frac{n_A}{n} = \frac{5}{15} = \frac{1}{3} = 0.33$$

$$x_B = \frac{n_B}{n} = \frac{10}{15} = \frac{2}{3} = 0.66$$

$$w_A = \frac{x_A M_A}{x_A M_A + x_B M_B} = \frac{0.33 \times 24}{(0.33 \times 24) + (0.66 \times 15)} = 0.44$$

93/3/31

$$w_B = \frac{x_B M_B}{x_A M_A + x_B M_B} = \frac{0.66 \times 15}{(0.33 \times 24) + (0.66 \times 15)} = 0.56$$

در صورتیکه غلظت کل یک محلول ثابت باشد، کدام کسر نهی نهی قانون اول فیک را باید؟

$$J_A = -D_{AB} C \cdot \vec{\nabla} x_A \quad (2)$$

$$J_A = -D_{AB} x_A \cdot \vec{\nabla} C_A \quad (1)$$

$$J_A = D_{AB} \vec{\nabla} C_A \quad (4)$$

$$J_A = -D_{AB} \vec{\nabla} C_A \quad (3)$$

$$J_A = -D_{AB} \left(\frac{\partial C_A}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial C_A}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial C_A}{\partial z} \vec{k} \right) = -D_{AB} \vec{\nabla} C_A$$

کدام کسر نهی نهی صحیح نیست؟

(1) غریب نفوذ می تواند به جهت بزرگی داشته باشد.

(2) همواره نفوذ مولکول از نقطه با غلظت بیشتر به نقطه با غلظت کمتر رخ می دهد.

(3) هر چه بر مقدار مولکول ها بیشتر باشد، میزان انتقال جرم بیشتر است.

(4) انتقال جرم به روشی شود اگر می تواند از غلظت کمتر به غلظت بیشتر رخ دهد.

* در انتقال جرم بر خلاف انتقال حرارت، بر مقدار مولکول ها یک نیروی مقاوم در برابر انتقال جرم است.

$$D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial z} X_A N_T \leftarrow N_A = X_A N_T - D_{AB} \frac{\partial c_A}{\partial z}$$

در معادله ۱ مول خ، A به صورت
به ترتیب بیان می‌کنیم مورد است؟

(۱) انتقال جرم ناشی از نفوذ مولکول و جابه‌جایی سیال

جای نفوذ نسبت به محققه متحرک و نفوذ مولکول

(۲) انتقال جرم ناشی از جابه‌جایی سیال و نفوذ مولکول

(۳) هر دو مربوط به حرکت نسبی خود است.

کدام یک از روابط زیر برای انتقال جرم درست است؟

$$N_A = J_A + J_B$$

$$(2) \quad N_A = C_A (V - V_m) + Y_A N_A \quad (1)$$

$$N_A = J_A + Y_A N_B$$

$$(4) \quad N_A = C_A V_A \quad (3) \checkmark$$

$$N_A = C_A V_A = X_A (N_A + N_B) + J_A$$

در سیستم‌های دو جزئی، هنگامی که $(C_A + C_B)$ برابر معکوس ثابت باشد، کدام یک از عبارات زیر صحیح است؟

$$N_A = N_B \quad (4) \quad J_A = J_B \quad (3) \quad D_{AB} = D_{BA} \quad (2) \checkmark \quad N_A + N_B = 0 \quad (1)$$

نسبت غلظت دو جزئی و در هر نقطه از آن با شرط غلظت کلی ثابت، رابطه $D_{BA} = D_{AB}$ برقرار است.

۶. نفوذ مولکول در یک حالت پایا در سیالات در حال سکون و در جریان آرام و در یک جهت:

حرکت A ناشی از حرکت خود N در جز X_A مربوط به N و نفوذ A است لذا:

$$N_A = N X_A + J_A = (N_A + N_B) \frac{C_A}{C} - D_{AB} \frac{\partial C_A}{\partial z}$$

برای مولکول هکسوز B خواهیم داشت:

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

در صورت کاربرد معادله (*) برای نفوذ مولکولی در جهت محور z، با فرض ثابت بودن N_A و N_B (حالت پایا) در آن متغیرها را جدا نمود و از معادله انتگرال گیری کرد. اگر D_{AB} ثابت باشد، خواهیم داشت:

$$\int_{C_{A1}}^{C_{A2}} \frac{-dC_A}{N_{AC} - C_A (N_A + N_B)} = \frac{1}{C D_{AB}} \int_{z_1}^{z_2} dz \quad \text{جواب ؟}$$

زیر نویس 1: در معادله فوق z دهنده شروع نفوذ (A) بزرگ (عزیز نویس 2: z دهنده پایانی آن است) $(C_A \text{ کوچک})$

اگر $z_2 - z_1 = z$ اختیار شود:

$$\frac{1}{N_A + N_B} \ln \frac{N_{AC} - C_{A2} (N_A + N_B)}{N_{AC} - C_{A1} (N_A + N_B)} = \frac{z}{C D_{AB}}$$

عبارت

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB} C}{z} \ln \frac{N_A / (N_A + N_B) - C_{A2} / C}{N_A / (N_A + N_B) - C_{A1} / C} \quad (\checkmark)$$

1.5. نفوذ مولکولی در گازها

وقت که قانون گازها را کامل صادق باشد، معادله (*) را به صورت زیر می توان نوشت زیرا که:

$$\frac{C_A}{C} = \frac{\bar{P}_A}{P_t} = y_A \quad \text{فشار}$$

که در آن \bar{P}_A = فشار جزئی A، P_t = فشار کل و y_A = جرم مول A می باشد.

$$C = \frac{n}{V} = \frac{P_t}{RT}$$

همینج :

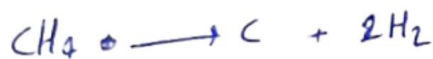
ولذا معادله (۷) به صورت زیر درخواهد آمد:

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{\left[\frac{N_A}{(N_A + N_B)} \right] P_t - \bar{P}_{A2}}{\left[\frac{N_A}{(N_A + N_B)} \right] P_t - \bar{P}_{A1}} \quad (1)$$

و یا

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \frac{D_{AB} P_t}{RTz} \ln \frac{N_A / (N_A + N_B) - y_{A2}}{N_A / (N_A + N_B) - y_{A1}}$$

از این معادله می توان استفاده نمود که رابطه بین N_A و N_B معلوم باشد. این نسبت با توجه به سیستم مورد نظر تعیین می گردد، مثلاً شکسته شدن یک دروزن سطح کاتالیزگر بر طبق واکنش زیر انجام می شود:



در شرایطی که ما (A) به سطح کاتالیزگر نفوذ نمود و هیدروژن (B) در اثر شکسته شدن یک دروزن بود که در خلاف جهت یک نفوذ نماید، با توجه به استوکیومتری واکنش داریم می شود که:

$$N_B = -2N_A \quad \text{ولذا:}$$

$$\frac{N_A}{N_A + N_B} = \frac{N_A}{N_A - 2N_A} = -1$$

در مواردی که واکنش میسر نیست و عدد ذراتی باشد، می توان این نسبت را از موازنه آتالهی بدست آورد. در اینجا

در حالت زیر، عموماً دو حالت زیر پیش می آید:

نفوذ جزء A درون جزء ساکن B در حالت پایا؛ این مورد در جذب آمونیاک (A) از یک مخلوط هوا (B) و آمونیاک توسط آب ملاحظه می شود چون ضرایب مواد در آب بسیار کم است، فقط آمونیاک نفوذ خواهد کرد. بنابراین $N_B = 0$ ، $N_A = \text{const}$ مقدار ثابت است پس

$$\frac{N_A}{N_A + N_B} = 1$$

معادله (1) به صورت زیر درج خواهد آمد:

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{R T_2} \ln \frac{P_t - \bar{P}_{A2}}{P_t - \bar{P}_{A1}}$$

و چون $P_t - \bar{P}_{A2} = \bar{P}_{B2}$ ، $P_t - \bar{P}_{A1} = \bar{P}_{B1}$ ، $\bar{P}_{B2} - \bar{P}_{B1} = \bar{P}_{A1} - \bar{P}_{A2}$

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{R T_2} \frac{\bar{P}_{A1} - \bar{P}_{A2}}{\bar{P}_{B2} - \bar{P}_{B1}} \ln \frac{\bar{P}_{B2}}{\bar{P}_{B1}}$$

و بار دیگر فرض

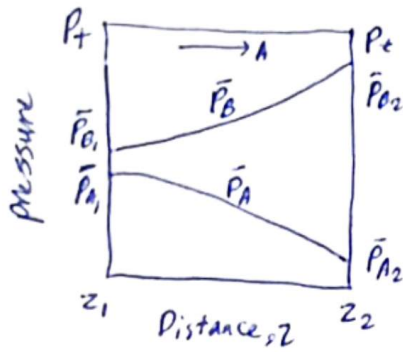
$$\frac{\bar{P}_{B2} - \bar{P}_{B1}}{\ln(\bar{P}_{B2}/\bar{P}_{B1})} = \bar{P}_{B,M}$$

حداکثر داشت :

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{R T_2 \bar{P}_{B,M}} (\bar{P}_{A1} - \bar{P}_{A2})$$

مقدار این معادله در شکل زیر نشان داده شده است. جسم A به جهت وجود گرادیان غلظت یعنی $\frac{d\bar{P}_A}{dz}$ نفوذ می کند. جزء B نیز نسبت به سرعت مولی متوسط با شار J_B نفوذ می نماید و برعکس؛ $\frac{d\bar{P}_B}{dz}$ خواص هدایت

در حالتیکه ما در دو طرف در دو طرف جهت آب با سرعت مساوی حرکت کند نسبت به یک مبدأ ثابت ساکن به نظر آید. $N_B = 0$ است.



نکته: نفوذ جزء A درون جزء B

نفوذ متقابل با سرعت مساوی در حالت پایا یا این حالت اگر آ در حالتی تعویضی باشد. $N_A = N_B = \text{const}$
معادله (1) در این حالت به هم می‌نویسد برای تعیین N_A باید معادله (2) که در مورد گازها به صورت زیر در می‌آید توجه نمود:

$$N_A = (N_A + N_B) \frac{\bar{P}_A}{P_t} - \frac{D_{AB}}{RT} \frac{d\bar{P}}{dz}$$

و با در این حالت خاص:

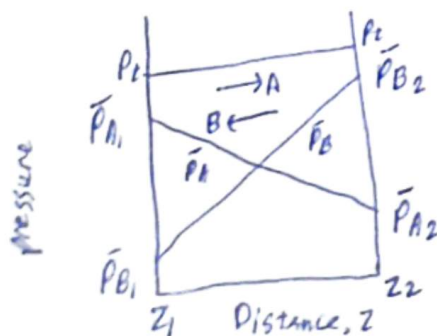
$$N_A = - \frac{D_{AB}}{RT} \frac{d\bar{P}}{dz}$$

$$\int_{z_1}^{z_2} dz = - \frac{D_{AB}}{RT N_A} \int_{\bar{P}_{A1}}^{\bar{P}_{A2}} d\bar{P}_A$$

و با انتگرال گیری خواهیم داشت:

$$N_A = \frac{D_{AB}}{RT z} (\bar{P}_{A1} - \bar{P}_{A2})$$

مخبر مربوط به این معادله در شکل زیر دیده می‌شود.



نکته: نفوذ متقابل با سرعت مساوی

نفوذ در مخلوط‌هاى چند جزئى در حالت پایا؛ نفوذ در مخلوط‌هاى چند جزئى را می‌توان با استفاده از یک فریب نفوذ "مور" را در معادله ① محاسبه کرد. فریب نفوذ مور هر جزئى بستگی به فریب نفوذ آن جزء در سایر اجزای مخلوط خواهد داشت.

شماره در معادله ① به جابجایی $N_A + N_B$ می‌تواند N_i را وارد کرد که در آن اگر جزء i در جهت جزء A نفوذ کند N_i مثبت است و اگر در خلاف جهت A نفوذ کند N_i منفی می‌شود. رابطه D_{Am} با فریب

$$D_{A,m} = \frac{N_A - y_A \sum_{i=A}^n N_i}{\sum_{i=A}^n \frac{1}{D_{Ai}} (y_i N_A - y_A N_i)}$$

نفوذ دو جزئى به صورت زیر داده می‌شود:

که در آن D_{Ai} فریب نفوذ دو جزئى می‌باشد. دیدیم شود که D_{Am} مطلق است در مسیر نفوذ تغییر نمایی، زیرا که D_{Am} بستگی به اجزای مولی سازنده مخلوط دارد. عموماً در مسائل علمی فرض می‌شود که تغییرات D_{Am} در طول مسیر نفوذ حتمی است.

حالت خاص که غالباً پیش می‌آید این است که کلیه N ها به جز N_A صواب است در این صورت معادله بالا به شکل زیر در مخلوط آید:

$$D_{A,m} = \frac{1 - y_A}{\sum_{i=B}^n \frac{y_i}{D_{Ai}}} = \frac{1}{\sum_{i=B}^n \frac{y_i}{D_{Ai}}}$$

که در آن y_i جزء مولی سازنده i بر مبنای مخلوط فاعله A است.

مثال: اکسژن تحت شرایط پایا درون استون کشیده می‌شود. فاکتور نفوذ D_{Am} در 10^{-5} و درجه حرارت 25°C است در صورتی که در دو صفحه به فاصله 1.3×10^{-2} و 6.5×10^{-2} دو میله از یکدیگر فاصله جزئى اکسژن به ترتیب 13000 و 6500 kmol/m^2 هر متر مربع از صفحه به دست می‌آید. فریب نفوذ این مخلوط

$$1.87 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \text{ است.}$$

$$D_{AB} = 1.87 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}, P_t = 1.0^5 \text{ N/m}^2, Z = 0.002 \text{ m}$$

$$R = 8314 \frac{\text{N.m}}{\text{kmol.k}}, T = 273 \text{ K}, (\bar{P}_{A_1} = 13 \times 10^3, \bar{P}_{B_1} = 1.0^5 - 13 \times 10^3 = 87 \times 10^3)$$

$$\bar{P}_{A_2} = 65.00, \bar{P}_{B_2} = 1.0^5 - 65.00 = 93.5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$\bar{P}_{B,M} = \frac{\bar{P}_{B_1} - \bar{P}_{B_2}}{\ln(\bar{P}_{B_1}/\bar{P}_{B_2})} = \frac{(87 - 93.5)(10^3)}{\ln\left(\frac{87}{93.5}\right)} = 90.2 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RTZ \bar{P}_{B,M}} (\bar{P}_{A_1} - \bar{P}_{A_2}) = \frac{(1.87 \times 10^{-5})(1.0^5)(13 - 65)(10^3)}{8314(273)(0.002)(90.2 \times 10^3)} = 2.97 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

مثال: شدة نفوذ اکسین (A) مربوط به مثل بالا را در صورتی که گاز سکن مخلوط از سمت (B) و هیدروژن (C) به نسبت حجمی دو بر یک باشد بدست آورید. فرایب نفوذ به قرار زیر است:

$$D_{O_2-H_2} = 6.99 \times 10^{-5}, D_{O_2-CH_4} = 1.88 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$P_t = 1.0^5 \text{ N/m}^2, T = 273, (\bar{P}_{A_1} = 13 \times 10^3, \bar{P}_{A_2} = 65.00, \bar{P}_{i,M} = 90.2 \times 10^3) \text{ N/m}^2, Z = 0.002 \text{ m}$$

$$R = 8314 \frac{\text{N.m}}{\text{kmol.k}}$$

$$y'_B = \frac{2}{2+1} = 0.667, y'_C = 1 - 0.667 = 0.333$$

$$D_{A,M} = \frac{1}{\frac{y'_B}{D_{AB}} + \frac{y'_C}{D_{AC}}} = \frac{1}{\frac{0.667}{1.88 \times 10^{-5}} + \frac{0.333}{6.99 \times 10^{-5}}}$$

$$N_A = \frac{(2.46 \times 10^{-5})(13.000 - 65.00)}{8314(273)(0.002)(90.200)} = 3.91 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \quad (22)$$

ضریب نفوذ مولکول گازها در یک مایع، $1.01.3 \text{ kN/m}^2$ در جدول صفحہ 42 کتاب تریبال آمده است.

ضریب نفوذ در گازها

ضریب نفوذ مولکول D ، یکی از حواله سیستم است که یکی درجه حرارت، ثابت رطوبت و زنده‌های سیستم حواله داشت. مطابق یک تئوری پیشرفته تئوری جنبشی، در مخلوط‌های دو جزئی، غلظت و زنده‌ها اثر بسیار ضعیف بر روی ضریب نفوذ خواهد داشت. ابعاد ضریب نفوذ با تئوری ~~معادله تیغی~~ ^{برابر محذور طول برزنی می‌باشد} و اثر آن در جدول دوم در حسب cm^2/s بیان شود. در سیستم SI واحد آن m^2/s است.

رابطه ای که جهت تیغی ضریب نفوذ در مخلوط گازها و غیر قطبی و یا یک گاز قطبی می‌باشد. با یک گاز غیر قطبی توصیه می‌شود، رابطه ویکی-لی است که از رابطه اصلاح شده Hirschfelder-Bird-Spotz method بدست آمده است.

$$D_{AB} = \frac{10^{-4} (1.084 - 0.249 \sqrt{1/M_A + 1/M_B}) T^{3/2} \sqrt{1/M_A + 1/M_B}}{P_t (r_{AB})^2 f (kT/\epsilon_{AB})} \quad (2)$$

D_{AB} ضریب نفوذ بر حسب m^2/s

T درجه حرارت مطلق K

M_A, M_B جرم مولی مولکول اجزاء A و B بر حسب kg/kmol

P_t فشار مطلق بر حسب N/m^2

r_{AB} فاصله بین دو مولکول A و B در حالت برقرار بر حسب nm ، $(r_A + r_B)/2$

ϵ_{AB} انرژی جاذبه مولکول $\sqrt{\epsilon_A \epsilon_B}$

k ثابت بولتزمن

$f (kT/\epsilon_{AB})$ تابع برقرار که با استفاده از شکل (صفحه 44 تریبال) بدست می‌آید.

مقادیر r و ϵ را که نمونه‌های آن‌ها در جدول صفحہ 45 تریبال دیده می‌شود، می‌توان با استفاده از فرض لزوم لیس گازها دانست.

و سیکویته محاسبه نمود. در صورت لزوم می توان از روابط زیر نیز برای محاسبه آن ها استفاده کرد.

$$r = 1.18 \nu^{1/3}$$

$$\frac{\epsilon}{k} = 1.21 T_b$$

(*)

که در آن ν حجم مول مایع در نقطه جوش طبیعی بر حسب $\frac{m^3}{kmol}$ (به کمک جدول صفحه 46 قابل محاسب است) و T_b نقطه جوش طبیعی بر حسب کلوین. در استفاده از این جدول، برای محاسبه حجم مول باید حجم اتم ها را تشکیل دهند. آن مولکول را به یکدیگر افزود. بنابراین مثلاً برای تولوئن C_7H_8 ، $\nu = 7(0.0148) + 8(0.0037) - 0.015 = 0.1182$ ، در نتیجه ضریب نفوذ در هوا، در صورتی که افزایش دما را در نظر بگیریم، می توان آن را به صورت حجم واحد در در نظر گرفت.

مثال: ضریب نفوذ بخار آب (A) اتانول (B) را درون هوا C_2H_5OH را درون هوا (B) در یک جو مخلوط هیدروکربن است.

$$T = 273 K, \rho_t = 101.3 \text{ kN/m}^2, M_A = 46.07, M_B = 29$$

با استفاده از جدول (ص 45) برای هوا $r_B = 0.3711$ ، $\frac{\epsilon_B}{k} = 78.6$ مقادیر مربوط به اتانول را از کتاب استفاده کنید.

معادله (*) بالا تخمین زد:

$$\nu_A = 2(0.0148) + 6(0.0037) + 0.0074 = 0.0592$$

با استفاده از جدول (ص 45)

$$r_A = 1.18(0.0592)^{1/3} = 0.46 \text{ nm}$$

بنابراین

$$T_{b,A} = 351.4 K$$

$$\frac{\epsilon_A}{k} = 1.21(351.4) = 425$$

$$r_{AB} = \frac{0.46 + 0.3711}{2} = 0.415 \quad \frac{\epsilon_{AB}}{k} = \sqrt{425(78.6)} = 170.7$$

$$f\left(\frac{kT}{\epsilon_{AB}}\right) = 0.595 \quad \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}} = 0.237$$

وزن شکل (ص 44)

$$D_{AB} = \frac{10^{-4} [1.084 - 0.249(0.237)(0.273)^{3/2}](0.237)]}{(101.3 \times 10^3)(0.416)^2(0.595)} = 1.05 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

نکته: با توجه به رابطه (2) تقریباً با $T^{3/2}$ متناسب است همیشه D با T نسبت معکوس دارد.

$$\frac{(D_{AB})_2}{(D_{AB})_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{3/2} \cdot \left(\frac{P_{t1}}{P_{t2}}\right) \quad \text{نفوذ مولکولی در مایع}$$

در اشتغال گیر از معادله (4) من 15) و تبدیل آن به معادله (4) من 17) ، D_{AB} و ثابت فرضی شوند
این فرض در غلطی در فرضی گازها رهاست یعنی است و در مورد مایع صدق نمی کند و همچنین است D ،
طرز وابستگی تغییر کند. با وجود این به علت عدم وجود اطلاعات کافی ، از معادله (4) من 17) استفاده کرده است و یک مقدار
متوسط برابر D_{AB} در نظر گرفته می شود. معادله (4) من 17) به صورت زیر نیز نوشته می شود.

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} \cdot \frac{D_{AB}}{z} \left(\frac{P}{M}\right)_{av} \ln \frac{N_A/(N_A + N_B) - x_{A2}}{N_A/(N_A + N_B) - x_{A1}}$$

که در آن P و M حجم مجامع محلول و جرم مولکولی آن می باشد. مجدداً ، مانند محاسبه نفوذ گازها ، در این جا نیز باید
نسبت $N_A/(N_A + N_B)$ را با توجه به شرایط خاص موجود در مسئله تعیین کرد.

نفوذ پایا برای جز A درون جز B کن

در این حالت $N_A = \text{const}$ ، $N_B = 0$ یا N_B بسیار نا برابر است:

$$N_A = \frac{D_{AB}}{z x_{Bm}} \left(\frac{P}{M}\right)_{av} (x_{A1} - x_{A2})$$

$$x_{Bm} = \frac{x_{B2} - x_{B1}}{\ln(x_{B2}/x_{B1})}$$

که در آن:

$$N_A = -N_B = \text{const}$$

نفوذ متقابل باثبات مولی در حالت پایا

$$N_A = \frac{D_{AB}}{Z} (C_{A1} - C_{A2}) = \frac{D_{AB}}{Z} \left(\frac{P}{M} \right)_{av} (x_{A1} - x_{A2})$$

سوال: نفوذ استیک اسید (A) را در 17 °C از درون لایه ساکنی لزج (B) به مقادیر 0.1 سانتیمتر است
اگرچه. غلظت استیک اسید در دو طرف میلم آب به ترتیب برابر 9 و 3 درصد است. فریت نفوذ استیک اسید در آب
در شرایط مسئله $D_{AB} = 0.95 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ فرض شود.

$$Z = 0.001 \text{ m}, M_A = 60.03, M_B = 18.02$$

در 17 °C حجم محلول و درجه برابر 1012 kg/m^3 است لذا:

$$x_{A1} = \frac{0.09/60.03}{0.09/60.03 + 0.91/18.02} = \frac{0.0015}{0.0520} = 0.0288 \quad \text{جزء مول استیک اسید}$$

$$x_{B1} = 1 - 0.0288 = 0.9712 \quad \text{جزء مول آب}$$

$$M = \frac{1}{0.0520} = 19.21 \text{ kg/kmol}, \quad \frac{P}{M} = \frac{1012}{19.21} = 52.7 \text{ kmol/m}^3$$

به همین ترتیب، حجم محلول 3 درصد برابر 1003.2 kg/m^3 است.

$$x_{A2} = 0.0092, \quad x_{B2} = 0.9908, \quad M = 18.40, \quad \frac{P}{M} = 54.5$$

$$\left(\frac{P}{M} \right)_{av} = \frac{52.7 + 54.5}{2} = 53.6 \text{ kmol/m}^3$$

$$x_{BM} = \frac{0.9908 - 0.9712}{\ln(0.9908/0.9712)} = 0.980$$

$$N_A = \frac{D_{AB}}{Z x_{BM}} \left(\frac{P}{M} \right)_{av} (x_{A1} - x_{A2})$$

$$N_A = \frac{0.95 \times 10^{-9}}{0.001 (0.980)} \cdot 53.6 (0.0288 - 0.0092) = 1.018 \times 10^{-6} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

25

ضریب نفوذ در مایعات

ابعاد ضریب نفوذ در مایعات، مانند ضریب نفوذ در گازها، مجذور طول برزب است. برخلاف گازها، ضریب نفوذ در مایعات تابع غلظت اجزاء می باشد.

در غیاب داده های تجربی، تخمین ضرایب نفوذ مادی که در مورد گازها وجود داشته انجام پذیر نیست زیرا تئوری دقیقی برای ساختن اینگونه ارائه نشده است. با وجود این برابر محمول های رفتی و غیرالکترولیت استفاده از رابطه

Wilk - change توصیه می شود:

$$D_{AB}^0 = \frac{(117.3 \times 10^{-18}) (\varphi_{MB})^{0.5} T}{\mu v_A^{0.5}}$$

D_{AB}^0 ضریب نفوذ A در یک محلول بی اثر رفتی از آن در حلال B، $\frac{m^2}{s}$

M_B جرم مولکولی حلال $kg/kmol$

T دمای مطلق K

μ ویسکوزیته محلول $kg/m.s$

v_A حجم مولکولی جزء حل شده در نقطه جوش طبیعی $m^3/kmol$

در صورتی که آب جزء حل شده باشد 0.0756

φ : ضریب تجمع مولکولی حلال

= 2.26 برابر آب به عنوان حلال

= 1.9 برای متانول به عنوان حلال

= 1.5 برای اتانول به عنوان حلال

= 1.0 برای حلال های که ترکیب هبست نمی کنند (unassociated) مانند نترن، اتیل اتر

ضریب نفوذ در محلول های غلیظ به دلیل تغییر در غلظت ویسکوزیته محلول و نیز تغییر در حجم ویژه آل بودن محلول

باجعلول هار رفقو مغاوت حواهد در.

مثال: غریب نفوذ مانتول $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{CH}_2\text{OH} + \text{C}_6\text{H}_{14}\text{O}_8$ رادر معلول رفقو آن در آب در 20°C تبخیر نموده و با مقدار تجربی که برابر $0.56 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ است مقایسه کنید.

با استفاده از مقادیر جدول (ص 46)

$$V_A = 0.0148(6) + 0.0037(14) + 0.0074(6) = 0.185$$

اگر آب محال باشد

$$\varphi = 2.26, M_B = 18.02, T = 293\text{K}$$

برابر معلول هار رفقو، و سکوژنه هر را و توان برابر سکوژنه آب فرض کرده و اینج طرح برابر

0.001005 kg/m.s است. لذا:

$$D_{AB} = \frac{(117.3 \times 10^{-18}) (\varphi M_B)^{0.5} T}{\mu V_A^{0.6}}$$

$$D_{AB} = \frac{(117.3 \times 10^{-18}) (2.26(18.02))^{0.5} (293)}{0.001005 (0.185)^{0.6}}$$

مثال: غریب نفوذ مانتول در معلول رفقو آن در آب رادر 70°C محاسبه نمود و مقایسه با مقدار تجربی که برابر $1.56 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ است مقایسه کنید.

در 70°C مقدار تجربی غریب نفوذ $D_{AB} = 0.56 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ است و $\mu = 7.005 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$ در 70°C و سکوژنه آب برابر $0.4061 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$ باشد. طبق معادله Wilke, Chang نسبت $D_{AB} \mu / T$ ثابت است

لذا:

$$\frac{D_{AB} (0.4061 \times 10^{-3})}{70 + 273} = \frac{(0.56 \times 10^{-9}) (1.005 \times 10^{-3})}{20 + 273} \Rightarrow D_{AB} = 1.62 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

نکته: ضریب نفوذ مولکولی در پلیمر منبسطی است اجزاء در یکدیگر ندارند.

نکته: ضریب نفوذ برای گازها در حدود $10^{-5} \frac{m^2}{s}$ و برای مایعات در حدود $10^{-9} \frac{m^2}{s}$ و برای جامدات در حدود $10^{-12} \frac{m^2}{s}$

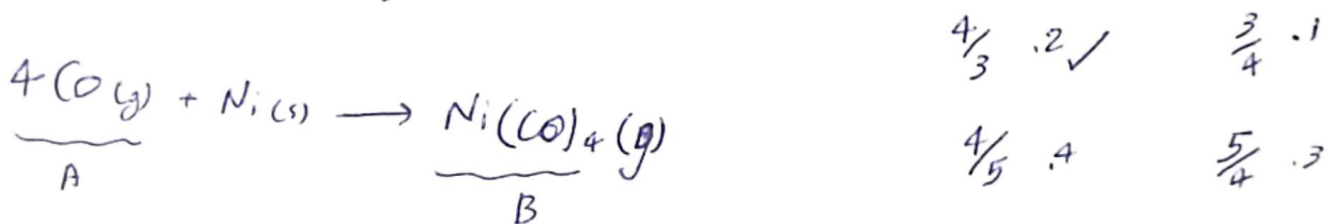
است به عبارتی:

$$D_{AB, gas} > D_{AB, liquid} > D_{AB, solid}$$

* کدام گزینه صحیح است؟

1. ضریب نفوذ در گازها بیشتر از مایعات و جامدات است.
2. ضریب نفوذ گاز در مواد جامد مستقل از غلظت است.
3. ضریب نفوذ گاز در مواد جامد تابع ضریب از غلظت است.
4. ضریب نفوذ در گازها بیشتر از مایعات و جامدات است.

* در مورد واکنش شیمیایی زیر که در سطح یک کانالیت انجام می‌شود $\frac{N_A}{N_A + N_B}$ چقدر است؟



1. $\frac{3}{4}$
2. $\frac{4}{3}$ ✓
3. $\frac{5}{4}$
4. $\frac{4}{5}$

$$N_A = -4N_B \Rightarrow \frac{N_A}{N_A + N_B} = \frac{-4N_B}{-4N_B + N_B} = \frac{-4N_B}{-3N_B} = \frac{4}{3}$$

* کریستال خنک بولفات مس به صورت $CuSO_4$ می‌باشد اگر این خنک در آب حل شود نسبت فلز کربن

چقدر است؟ (خنک خود A و آب خود B است).

1. ✓
2. $\frac{1}{2}$
3. $\frac{1}{4}$
4. $\frac{1}{6}$

چون کریستال خنک است پس تنها خود A نفوذ می‌کند و $N_B = 0$ است پس داریم $\frac{N_A}{N_A + N_B} = 1$

* در مورد انحلال کریستال آبدار سولف = مس $[CuSO_4 (5H_2O)]$ در آب، نسبت فله کس ها برابر کدام گزیند است؟

(1) 1.2 (2) 1.4 (3) 1.6 (4)

در اینجا به ازای هر مول نمک (جزء A)، 5 مول آب (جزء B) و در یک جهت نفوذ می کنند.

$$\frac{N_A}{N_A + N_B} = \frac{1}{1 + 5} = \frac{1}{6} \quad (N_B = 5N_A)$$

* نفوذ متقابل گاز A در گاز B صورت می گیرد. در این حالت کدام گزیند صحیح است؟

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RT_z P_{BM}} (P_{A1} - P_{A2}) \quad (2) \quad N_B = 0 \quad (1)$$

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RT_z} (y_{A1} - y_{A2}) \quad (4) \quad N_A = \frac{D_{AB}}{RT_z} (P_{A2} - P_{A1}) \quad (3)$$

در حالت نفوذ متقابل $N_A + N_B = 0$ است. در این حالت خواص برابر.

$$N_A = \frac{D_{AB}}{RT_z} (P_{A1} - P_{A2}) \xrightarrow{P_A = y_A P_t} N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RT_z} (y_{A1} - y_{A2})$$

* سرعت نفوذ استیک اسید (A) در $17^\circ C$ از درون لایه ساکن از آب (B) به ضخامت 0.1 cm چه مقدار است؟ عکس استیک اسید در دو طرف فیلم آب به ترتیب برابر 9 و 3 درصد است. ضریب نفوذ استیک اسید در آب در شرایط مسئله $0.15 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ فرض می شود. چگالی محلول 9٪ برابر 1.02 kg/m^3 و برابر محلول 3٪ برابر 1.0032 kg/m^3 می باشد.

حل: جزء B ساکن است بنابراین فلاکس مول جزء A برابر است با:

$$N_A = \left(\frac{P}{M}\right)_{av} \frac{D_{AB}}{Z x_{BM}} (x_{A1} - x_{A2})$$

عکس ها را در نظر، بر حسب درصد می دهند. در ابتدا آن ها را به درصد ها مول تبدیل می کنیم.

$$x_{A1} = \frac{\frac{w_{A1}}{M_A}}{\frac{w_{A1}}{M_A} + \frac{w_{B1}}{M_B}} = \frac{\frac{0.09}{60.03}}{\frac{0.09}{60.03} + \frac{(1-0.09)}{18.02}} = 0.0288, \quad x_{B1} = 1 - x_{A1} = 1 - 0.0288 = 0.9712$$

$$X_{A2} = \frac{\frac{w_{A2}}{M_A}}{\frac{w_{A2}}{M_A} + \frac{w_{B2}}{M_B}} = \frac{\frac{0.03}{60.03}}{\frac{0.03}{60.03} + \frac{(1-0.03)}{18.02}} = 0.0092, \quad X_{B2} = 1 - X_{A2} = 1 - 0.0092 = 0.9908$$

$$M_1 = X_{A1} M_A + X_{B1} M_B = (0.0288)(60.03) + (0.9712)(18.02) = 19.21 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$M_2 = X_{A2} M_A + X_{B2} M_B = (0.0092)(60.03) + (0.9908)(18.02) = 18.4 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$$

$$\left(\frac{P}{m}\right)_{av} = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{P}{M}\right)_1 + \left(\frac{P}{M}\right)_2 \right] = \frac{1}{2} \left[\left(\frac{1012}{19.21}\right) + \left(\frac{1013.2}{18.4}\right) \right] = 53.6 \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2}$$

$$X_{BM} = \frac{X_{B1} - X_{B2}}{\ln\left(\frac{X_{B1}}{X_{B2}}\right)} = \frac{0.9712 - 0.9908}{\ln\left(\frac{0.9712}{0.9908}\right)} = 0.980, \quad Z = 0.1 \text{ cm} \approx 0.001 \text{ m}$$

$$N_A = (53.6) \left(\frac{0.95 \times 10^{-9}}{(0.001)(0.980)} \right) (0.0288 - 0.0092) = 1.018 \times 10^{-6} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

* ضریب نفوذ A در مخلوط B و C برابر با $2.46 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ می باشد. در صورتی که $D_{AB} = 1.2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ و

$D_{AC} = 5.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ باشد، با فرض $N_C = N_B = 0$ نسبت مولی B به C در مخلوط عبارت است از:

(1) 0.72 (2) 0.52 (3) 0.24 (4) 0.44

در صورتی که در یک مخلوط هم افزاویه جز A ساکن باشند، رابطه ضریب نفوذ (D_{Am}) خواهد بود:

$$D_{Am} = \frac{1}{\sum_{i=B}^n \frac{y_i'}{D_{Ai}}} = \frac{1}{\frac{y_C'}{D_{AC}} + \frac{y_B'}{D_{AB}}} \quad D_{Am} = 2.46 \times 10^{-5} = \frac{1}{\frac{y_C'}{5.4 \times 10^{-5}} + \frac{y_B'}{1.2 \times 10^{-5}}}$$

با توجه به اینکه $y_C' + y_B' = 1$ و y_C' و y_B' کسر مولی بر مبنای ماده A است بنابراین

$$\frac{Y_B}{Y_C} = \frac{0.34}{0.66} = 0.52 \quad \text{برای } Y_B = 0.34 \text{ و } Y_C = 0.66$$

* اگر ضریب نفوذ مانند میان در آب میان در دمای جوی مطلق T_1 ، معادل عدد A فرض شود، در صورتی که در آب افزایش یافته و به $2T$ برسد در این حال ویسکوزیته میان نیز 50٪ کاهش یابد. ضریب نفوذ در حالت جدید چقدر است؟

(1) $2A$ (2) $3A$ (3) $4A$ (4) $\frac{1}{2}A$

در اینجا ضریب نفوذ با $\frac{T}{\mu}$ متناسب است. بنابراین با 2 برابر شدن دما و نصف شدن ویسکوزیته خواهیم داشت:

$$T_2 = 2T_1$$

$$\mu_2 = \frac{1}{2}\mu_1$$

$$\frac{(D_{AB})_2}{(D_{AB})_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \left(\frac{\mu_1}{\mu_2}\right) = \left(\frac{2}{1}\right) \left(\frac{1}{\frac{1}{2}}\right) = 4 \Rightarrow (D_{AB})_2 = 4A$$

$$(D_{AB})_1 = A$$

* ضریب نفوذ گاز آب در هوا در دمای 59°C و فشار 101.3 kPa برابر $3 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ است. ضریب نفوذ گاز آب در هوا در دمای 35°C و فشار 50 kPa چقدر است؟ (بر حسب m^2/s)

(1) 4.5×10^{-5} (2) 5.4×10^{-5} (3) 1.6×10^{-5} (4) 6.1×10^{-5}

$$T_1 = 59 + 273.15 = 332.15 \text{ K} \quad T_2 = 35 + 273.15 = 308.15 \text{ K}$$

$$\frac{(D_{AB})_2}{(D_{AB})_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{3/2} \left(\frac{P_{r1}}{P_{r2}}\right) \Rightarrow (D_{AB})_2 = (3 \times 10^{-5}) \left(\frac{308.15}{332.15}\right)^{3/2} \left(\frac{101.3}{50}\right) = 5.4 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

* اگر دمای محلول از T_0 به T افزایش یابد و $\frac{T}{T_0} = 1.2$ باشد. (دماها مطلق هستند)، ضریب نفوذ چقدر ~~تغییر~~ خواهد کرد؟
(1) 20٪ افزایش می یابد. (2) 20٪ کاهش می یابد. (3) کمتر از 20٪ افزایش می یابد. (4) بیشتر از 20٪ افزایش می یابد.

در اینجا ضریب نفوذ با $\frac{T}{\mu}$ متناسب است، یعنی با افزایش دما، ضریب نفوذ زیاد می شود. از طرفی μ (ویسکوزیته) تابع دما بود. و با افزایش دما، کم می شود. بنابراین با افزایش دما، ضریب نفوذ (با توجه به کاهش μ) بیش از 20٪ افزایش می یابد.

* با افزایش دما، ضریب نفوذ در جامدات و در گازها ... می‌باشد.

۱. افزایش - افزایش / ۲. افزایش - کاهش / ۳. ثابت - افزایش / ۴. کاهش - کاهش

* در یک سیستم یخ، فاصله کل ۲ برابر می‌شود، در این صورت ضریب نفوذ چگونه تغییر می‌کند؟

۱. نصف می‌شود / ۲. دو برابر می‌شود / ۳. تغییر نمی‌کند / ۴. $\sqrt{2}$ برابر می‌شود.

در جامدات ضریب نفوذ مستقل از دما است.

* ضریب نفوذ در کربن اکس در غشوی A معادل $0.1 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ و ضریب نفوذ اکس در غشوی B $0.9 \times 10^{-5} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ اندازه‌گیری شده است.

۱. حلالیت اکس در غشوی A کمتر از غشوی B است.

۲. حلالیت اکس در غشوی B حدود ۱۵ برابر A است.

۳. B یک فاز گاز و A یک فاز مایع بوده است.

✓ ۴. A یک فاز گاز و B یک فاز مایع بوده است.

$$D_{A-A} = 0.1 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \times \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^2 = 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$D_{A-B} = 0.4 \times 10^{-5} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}} \times \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} \right)^2 = 0.4 \times 10^{-9} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

* ضریب نفوذ ماده A در B در فاز گاز در شرایط ۲۷۳ و ۱ atm برابر $0.25 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ می‌باشد. فرض کنید

حرکت در مخلوط ۰.۵ است. ضریب نفوذ A در B در شرایط ۷۰۰ K و ۱۰ atm کدام است؟

۱. از ۰ تا $0.099 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ / ۲. از ۱ تا $0.749 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$

۳. $0.25 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ / ۴.

۲. از ۰.۱۵ تا $0.159 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$

$$\frac{(D_{AB})_1}{(D_{AB})_2} = \frac{(T/P_c)^{3/2}_1}{(T/P_c)^{3/2}_2} = \left(\frac{273}{700} \right)^{3/2} \times \frac{10}{1} = 2.43$$

* در رابطه $N_A = (N_A + N_B) X_A - D_{AB} \cdot C \cdot \frac{dX_A}{dz}$ جمله $(N_A + N_B) X_A$ مشخص کننده:

(1) حرکت نسبی دارد (2) نفوذ مولکول فرد A است

(3) نفوذ متقابل با اثر مول برابر است (4) انتقال جرم فرد A ناشی از جابه جایی (درک bulk) می باشد.

* ضریب نفوذ جسم A در اکسژن در دما 20°C و $p = 1 \text{ atm}$ برابر $D_{A-O_2} = 0.42 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ و

$D_{A-N_2} = 0.3 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ تعیین کنید ضریب نفوذ جسم A در هوا کدام یک کمترین مقدار را خواهد داشت. (مخلوط اکسژن و نیتروژن)

non-diffusing فرض می شود.

(1) $0.763 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ (2) $0.319 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ (3) $0.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ (4) هیچ کدام

$$D_{A-\text{air}} = \frac{1}{\sum_{i=B} \frac{y_i'}{D_{A,i}}} = \frac{1}{\frac{0.8}{0.3} + \frac{0.2}{0.42}} = 0.319$$

* ضریب نفوذ A در مخلوط B و C برابر با $2.64 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ می باشد در صورتی که $D_{AB} = 1.2 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

و $D_{AC} = 5.4 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$ باشد با فرض $N_C = N_B = 0$ نسبت مول B به C در مخلوط عبارت است از:

(1) 0.72 (2) 0.52 (3) 0.24 (4) 0.44

$$D_{A-\text{مخلوط}} = \frac{1}{\sum \frac{y_i'}{D_{A,i}}} \Rightarrow 2.41 \times 10^{-5} = \frac{1}{\frac{y_B'}{1.2 \times 10^{-5}} + \frac{y_C'}{5.4 \times 10^{-5}}}$$

و چون مخلوط دو جزئی است $y_B' + y_C' = 1$ حاصل دو رابطه فوق خواهیم

$$\frac{y_B'}{y_C'} = 0.52$$

فصل سوم

ضرایب انتقال جرم

عنوان: نفوذ در جرم خاص هاله واکس شیمیایی
آورد در شیمی واکس شیمیایی رخ دهد، کافی است که برای آن سیستم N_i را محاسبه کردن و معادله

$N_A = \sum N_i x_A + J_A$ را در حالت کلی که $\sum N_i$ مخالف صفر است به صورت زیر عمل کرد:

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} \frac{D_{AB} C}{z} \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - \frac{C_{A2}}{C}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - \frac{C_{A1}}{C}} \right] \quad (4)$$

معادله فوق بر مبنای غلظت و در کسر مول به صورت زیر قابل باز نویسی است:

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} \frac{D_{AB} P_t}{RT_2} \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - \frac{P_{A2}}{P_t}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - \frac{P_{A1}}{P_t}} \right]$$

$$N_A = \frac{N_A}{\sum N_i} \frac{D_{AB} P_t}{RT_2} \ln \left[\frac{\frac{N_A}{\sum N_i} - y_{A2}}{\frac{N_A}{\sum N_i} - \frac{y_{A1}}{P_t}} \right]$$

اگر معادله فوق برابر با معادله نوشته شود کافی است به جای C رابطه زیر را وارد کنیم:

$$C = \left(\frac{P}{M} \right)_{av}$$

معادله فرایب انتقال جرم:

وقت بسیار کم و یا به حالت متلاطم است از روی سطح جامد عبور کند در ناحیه نزدیک به سطح جامد جریان به صورت آرام در می آید و با افزایش فاصله از سطح جامد رفتار به وضعیت متلاطم تبدیل می گردد.

در ناحیه آرام فقط نفوذ مولکولی است که انتقال جرم را کنترل می کند. اما در ناحیه متلاطم مولکول به واسطه حرکت تدریجی می کشند که گاهی سیال گردانده می شوند (eddy). بنابراین در این قسمت عامل کنترل کننده انتقال جرم نفوذ گردانده (eddy diffusion) می باشد در سمت متلاطم گرادیان غلظت که بیشتر می باشد به طوری که برای هر قسمت از سیال می توان رابطه زیر را نوشت:

$$J = -(D_{AB} + E_D) \frac{\partial C_A}{\partial z}$$



با فرض این که انتقال جرم معطای درجه 2 انجام می شود.

$$D_{AB} = \text{ضریب نفوذ مولکولی}$$

$$E_D = \text{ضریب نفوذ گرانی}$$

در ناحیه ی آکرام ضریب نفوذ چرخانه ای (E_D) بسیار کوچک و نزدیک به صفر است، بنابراین رابطه ی فوق تبدیل به تانن اول فیک می شود، لذا در ناحیه ی سلاطم D_{AB} ناچیز بوده و E_D کنترل کننده می شود. E_D تابعی از مکان می باشد.

∴ $(D + E_D)$ ضریب نفوذ کل گفته می شود.

غرایب انتقال جرم

مکانیسم جریان سیال در حالت سلاطم که در مینو کا = مگردانه ای است تاکنون به درستی شناخته نشده است. بالعکس، مکانیسم نفوذ مولکولی، حداقل در مورد گازها، تا اندازه ای روشن است زیرا این پدیده را می توان بر حسب نظریه شتیک گازها تفسیر کرد که نتایج حاصل از این نظریه با نتایج تجربی توافقی دارد. لذا طبیعی است که در انتقال جرم در سیتم های مختلف، از سطح تا ناحیه ی سلاطم، پاهای روشی که در مورد نفوذ مولکولی به کار رفت توجیه شود بنابراین جبهه ی $\frac{D_{AB} C}{2}$ مربوط به معادله (4) (صفحه قبل) را که از مشخصات نفوذ مولکولی است باید با کمیته F که یک ضریب انتقال جرم می باشد، جانشین ساخت. برای محلول های متشکل از دو ماده زنده :

$$N_A = \frac{N_A}{N_A + N_B} F \ln \frac{\frac{N_A}{(N_A + N_B)} - \frac{C_{A2}}{C}}{\frac{N_A}{(N_A + N_B)} - \frac{C_{A1}}{C}} \quad (5)$$

که در این معادله $\frac{C_A}{C}$ غلظت بر حسب جزء مول است، K_A برای مایع و K_A برای گازها. باشد نفوذ مولکولی.

نسبت $\frac{N_A}{N_A + N_B}$ معمولاً با در نظر گرفتن جزء غیر نفوذی مشخص می شود.

همانطور که در مورد F تابع فاصله است بنابراین F یک ضریب انتقال جرم محلی است. بنابراین تغییرات F از مقدار متوسط F_{av} استفاده می شود. در مواقعی که میزان انتقال جرم زیاد است باید حتماً از ضریب انتقال جرم از نوع F و روابط مربوط به آن استفاده کرد. رابطه (5) را می توان برای یک گاز یا یک مایع نوشت. در این صورت مقدار F ضرایب انتقال جرم ضمیمه گاز (F_G) یا ضمیمه مایع (F_L) در حالت عمومی نامیده می شود که رابطه آن ها به صورت زیر خواهد بود.

$$F_G = \frac{D_{AB}}{Z_G} \left(\frac{P_t}{RT} \right) \quad , \quad F_L = \frac{D_{AB}}{Z_L} \left(\frac{P}{M} \right)_{av}$$

به طور کلی F ضرایب انتقال جرم به صورت زیر تعریف می شود.

$$F = \frac{\text{مقدار انتقال جرم}}{\text{مساحت} \times \text{ضریب انتقال جرم}} = \frac{N_A}{A \times F}$$

ضرایب انتقال جرم نفوذ در جزء ساکن

این ابرار گازها: برابر گازها حالت نفوذ در جزء ساکن به صورت زیر است:

$$N_A = \frac{D_{AB} P_t}{RT_2 P_{B,M}} (P_{A1} - P_{A2})$$

مقادیر بالا را می توان به صورت های زیر هم نوشت:

$$N_A = k_G (P_{A1} - P_{A2}) = k_y (y_{A1} - y_{A2}) = k_c (C_{A1} - C_{A2})$$

که k_G و k_y و k_c ضرایب انتقال جرم هستند

بما برابر است: حالت نفوذ در جزء ساکن برابر است به صورت زیر است:

$$N_A = \frac{D_{AB}}{Z} \frac{P}{x_{B,M}} \left(\frac{P}{M} \right)_{av} (x_{A1} - x_{A2})$$

که هم صورتها را زیر هم نوشته می شود:

$$N_A = k_x (x_{A1} - x_{A2}) = k_L (C_{A1} - C_{A2})$$

که در موارد بالا k_x و k_L ضرایب انتقال جرم هستند.

ضرایب انتقال جرم در نفوذ متقابل

اندازه برابر گازها: برابر گازها در حالت نفوذ متقابل داریم:

$$N_A = \frac{D_{AB}}{RTz} (p_{A1} - p_{A2})$$

که به شکل های زیر هم قابل باز نویسی است:

$$N_A = k'_G (p_{A1} - p_{A2}) = k'_y (y_{A1} - y_{A2}) = k'_C (C_{A1} - C_{A2})$$

که k'_G ، k'_y و k'_C ضرایب انتقال جرم هستند.

(-) برابر با یک: برابر با یک حالت نفوذ متقابل بر صورت زیر است:

$$N_A = \frac{D_{AB}}{z} \left(\frac{f}{M} \right)_{av} (x_{A1} - x_{A2})$$

که f به فرم های زیر هم می تواند نوشته شود:

$$N_A = k'_x (x_{A1} - x_{A2}) = k'_L (C_{A1} - C_{A2})$$

که k'_x و k'_L ضرایب انتقال جرم هستند.

رابطه بین ضرایب انتقال جرم

رابطه بین ضرایب انتقال به شرح زیر است:

$$F = k_G \cdot p_{BM} = k_j \cdot \frac{p_{BM}}{p_t} = k_C \frac{p_{BM}}{RT} = k'_G \cdot p_t = k'_y = k'_C \frac{p_t}{RT}$$

$$= k_x \cdot x_{BM} = k_L \cdot x_{BM} C = k'_x = k'_L C$$

مثال: رابطه بین F و k_G را بدست آورید.

در معادله ۳، رابطه $\frac{P_{A2}C}{2}$ ، F را از کلمه (هم) و با توجه به اینکه k_G مربوط به نفوذ در جدار است

$$N_A = F \ln \frac{1 - \frac{P_{A2}}{P_t}}{1 - \frac{P_{A1}}{P_t}} = F \ln \frac{P_{B2}}{P_{B1}} \quad \frac{N_A}{\sum N_i} \text{ برابر یک خواهد بود.}$$

$$= \frac{F}{P_{BM}} (P_{B2} - P_{B1}) = \frac{F}{P_{BM}} (P_{A1} - P_{A2}) = k_G (P_{A1} - P_{A2})$$

$$F = k_G \cdot P_{BM}$$

$$P_{BM} = \frac{P_{B2} - P_{B1}}{\ln \frac{P_{B2}}{P_{B1}}} \quad \text{میانگین هندسی}$$

فرايب انتقال جرم از نوع k فقط در زمان مفید هست که مدت انتقال جرم کم باشد.

مثال: در یک ستون جذب $N_A = 4.6 \times 10^{-6} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ می باشد، در این ستون آمونیاک موجود در هوا، توسط متانول یک اسید جذب

می شود. متوسط جرم مولی NH_3 در تود هوا برابر ۰.۱ و در سطح مشترک ۰.۰۱ است. فرايب انتقال جرم F بر حسب $\frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$ کدام است؟

۱) ۰.۰۰۵۱ ۲) ۰.۰۱۵ ۳) ۰.۰۵۱ ۴) ۰.۰۰۱۵

$$N_B = 0 \Rightarrow \frac{N_A}{N_A + N_B} = 1 \Rightarrow F \ln \frac{1 - \frac{C_{A2}}{C}}{1 - \frac{C_{A1}}{C}} = F \ln \frac{1 - y_2}{1 - y_1}$$

$$\left. \begin{array}{l} y_{A2} = 0.01 \\ y_{A1} = 0.1 \end{array} \right\} \Rightarrow 4.6 \times 10^{-6} = F \ln \frac{1 - 0.01}{1 - 0.1} \Rightarrow F = 5.1 \times 10^{-5} \frac{\text{kmol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = 0.051 \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

مثال: در انتقال جرم مربوط به فاز گاز، کدام گزینه بیانگر فریب اشتغال جرم F می باشد؟

$$(1) \frac{D_{AB}}{RTz} \quad (2) \frac{C D_{AB}}{RTz} \quad (3) \frac{P_t D_{AB}}{RTz} \quad (4) \frac{P_t D_{AB}}{z}$$

فریب اشتغال جرم F برابر است با $F = \frac{C D_{AB}}{z}$ ، با توجه به این که $C = \frac{P_t}{RT}$ می باشد بنابراین $F = \frac{P_t D_{AB}}{RTz}$ است.

مثال: در یک سیستم جذب گاز دو جزئی، جزء A در جزء B ساکن نفوذ می کند. در یک مقطع خاص از سیستم، جزء مول A در جزء گاز برابر 0.1 و در فصل مشترک فاز گاز و مایع برابر 0.01 است. نسبت $\frac{F_G}{k_y}$ چه مقدار است؟

$$(1) 1.052 \quad (2) 1.216 \quad (3) 0.944 \quad (4) 0.891$$

که y_{Bm} غلظت متوسط لگاریمی است و برابر است با:

$$F_G = k_y \frac{P_{Bm}}{P_t} = k_y y_{Bm}$$

$$y_{Bm} = \frac{y_{B2} - y_{B1}}{\ln \frac{y_{B2}}{y_{B1}}} \Rightarrow y_{Bm} = \frac{(1-0.1) - (1-0.01)}{\ln \frac{1-0.1}{1-0.01}} = \frac{0.9 - 0.99}{\ln \frac{0.9}{0.99}} \Rightarrow \frac{F_G}{k_y} = y_{Bm} = 0.944$$

اعداد بدون بعد

1. عدد رینولدز (Reynolds Number)

$$Re = \frac{\rho u d}{\mu} = \frac{u d}{\nu} = \frac{\text{نیروداینس}}{\text{نیروداینس و سکوز}}$$

عدد رینولدز معروف ولکت است

u : سرعت حرکت مایع

ρ : چگالی

μ : ویسکوزیته

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \text{ ویسکوزیته جنبشی}$$

2. عدد اسمیت (Schmidt Number)

این عدد معرّف خلوص فیزیکی است و شبیه عدد پرانتل (Pr) در انتقال حرارت است.

$$Sc = \frac{\mu}{\rho D_{AB}} = \frac{\nu}{D_{AB}} = \frac{\text{نفوذ ممتوم}}{\text{نفوذ جرم}} \quad Pr = \frac{c_p \mu}{k} = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\text{نفوذ ممتوم}}{\text{نفوذ حرارت}}$$

نسبت ضخامت لایه های مرزی در پریم. همان انتقال، بر حسب اعداد بدون بعد Sc و Pr بیان می شود

$$\frac{\text{ضخامت لایه مرزی ممتوم}}{\text{ضخامت لایه مرزی غلات}} = \frac{\delta}{\delta_t} = Sc^{\frac{1}{3}}$$

$$\frac{\text{ضخامت لایه مرزی ممتوم}}{\text{ضخامت لایه مرزی غلات}} = \frac{\delta}{\delta_t} = Pr^{\frac{1}{3}}$$

برای گازها همدار، تقریباً پرانتل برابر 1 است (Pr ≈ 1) بنابراین $\delta_t = \delta$ می باشد.

برای مایع Pr تقریباً 10 است و بنابراین $\delta > \delta_t$ می باشد.

3. عدد شرود (Sherwood Number)

این عدد، فریب انتقال جرم بدون بعد و شبیه عدد پرانتل (Nu) در انتقال حرارت است.

$$Sh = \frac{F \cdot L}{C \cdot D_{AB}} = \frac{k_c \cdot L}{D_{AB}} = \frac{\frac{L}{D_{AB}}}{\frac{1}{k_c}} = \frac{\text{مقاومت نفوذ جرم}}{\text{مقاومت جابجایی جرم}}$$

k: هدایت حرارتی

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} = \frac{(L/k)}{1/h} = \frac{\text{مقاومت نفوذ حرارت}}{\text{مقاومت جابجایی حرارت}}$$

مسابه عدد برین عدد sh و Nu در انتقال مستقیم نیزه عدد بدون بعد $\frac{Cp}{2}$ وجود دارد که f (ضریب درگ) (ضریب اصطکاک) و Re و در جریان متلاطم تابع عدد Re و زیرین سطح

4. عدد گراشوف (Grashof Number)

عدد گراشوف در حالتی که جابجایی طبیعی (آزاد) وجود داشته باشد، ظاهر می گردد.

این عدد معرف جابجایی آزاد است

$$Gr = \frac{g \Delta \rho}{\rho} \left(\frac{L}{\mu} \right)^3$$

L : مشخصه طول، $\Delta \rho$: اختلاف چگالی بین سطح و نقاط دراز آن، g : شتاب جاذبه

5. عدد پکلت (Peclet Number)

این عدد معرف حوالن فیزیکی و حرکت است.

$$Pe_H = Re \cdot Pr = \frac{L u}{\alpha} = \frac{\text{جابجایی حرارتی}}{\text{تغذ حرارتی}}$$

$$Pe_D = Re \cdot Sc = \frac{L u}{D_{AB}} = \frac{\text{جابجایی جرم}}{\text{تغذ جرم}}$$

در واقع عدد پکلت نشان می دهد که آیا حرکت از تغذ مذکور در مقابل حرکت سیال حرف نظر کرد یا خیر. u : سرعت سیال

L : مشخصه طول

6. عدد استانتون (Stanton Number)

$$St_H = \frac{Nu}{Pe_H} = \frac{h}{\rho u C_p} = \frac{\text{دارت انتقال رده از سطح}}{\text{دارت انتقال رده توسط سیال}}$$

$$Sc = \frac{Sh}{Pe_D} = \frac{F}{G} = \frac{F}{u C} = \frac{\text{جرم منتقل شده از سطح}}{\text{جرم منتقل شده توسط سیال}}$$

G : فلوکس مول
($\frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$)

7. جی فاکٹورھا (J)

در اشتغال حرارت : $J_H = St_H \cdot Pr^{2/3}$

در اشتغال دم : $J_D = St_D \cdot Sc^{2/3}$

سوال : کدام گزینه رابطه صحیح را بین اعداد بے بعد نشان می دهد؟

$J_D = \frac{Sh}{Re \cdot Sc^{2/3}}$ (4) $J_D = \frac{Sh}{Re \cdot Sc}$ (3) $St_D = \frac{Sh}{Re \cdot Sc}$ (2✓) $St_D = \frac{Sh}{Re}$ (1)

$St_D = \frac{Sh}{Pe_D}$
 $Pe_D = Re \cdot Sc$ } $\Rightarrow St_D = \frac{Sh}{Re \cdot Sc}$