

Transzportjelenségek

Fizikai kémia előadások 8.



Turányi Tamás
ELTE Kémiai Intézet

Viszkozitás

lamináris (réteges) áramlás:
minden réteget
a falhoz közelebbi szomszédja fékez,
a faltól távolabbi szomszédja gyorsít

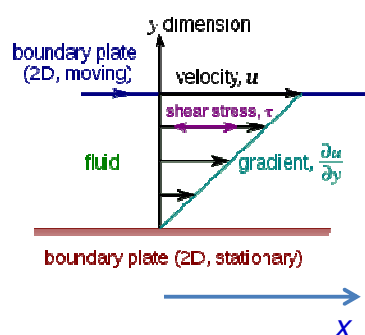
TV a két szomszédos réteg között fellépő
az F erő nagysága egyenesen arányos
(1) a rétegek A érintkezési felületével és a
(2) dv_x/dy sebességgradiens nagyságával

$$F = \eta A \left| \frac{dv_x}{dy} \right|$$

DEF η arányossági tényezőt viszkozitásnak nevezzük.

SI mértékegysége: Pa s

Régi, még használt mértékegysége: 1 poise = 1 g cm⁻¹ s⁻¹ = 0,1 Pa s



Viszkozitás értelmezése

„a folyadéknak nagy a sűrűsége”

hétköznapi értelmezés: lassú folyású folyadék

tudományos szóhasználat: nagy tömeg esik egy térfogategységre (pl. g/cm³)

víz sűrűsége $\rho = 1,00 \text{ g/cm}^3$

méz sűrűsége $\rho = 1,42 \text{ g/cm}^3$

víz viszkozitása $\eta = 8,90 \times 10^{-4} \text{ Pa s}$

méz viszkozitása $\eta = 10,0 \text{ Pa s}$



A hőmozgás következtében az áramlásra merőleges irányban a szomszédos rétegekből kölcsönösen részecskék lépnek át a másik rétegbe. Ha a kisebb áramlási sebességű rétegbe nagyobb sebességű részecskék kerülnek \Rightarrow a réteg impulzust kap nagy impulzustranszport = nagy viszkozitás

a hőmérséklet növelésével ($T \uparrow$)
gázok viszkozitása növekszik
folyadékok viszkozitása csökken.

3

Stokes-féle ellenállástörvény

Viszkózus folyadékban mozgó részecskékre közegellenállási erő hat. Gömb alakú részecskék érvényes a Stokes-féle ellenállástörvény:

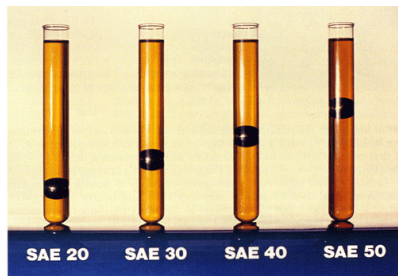
$$F = 6 \pi \eta r v$$

F mozgó részecskére ható közegellenállási erő

η viszkozitás

r gömb sugara

v gömb sebessége



Steel balls of equal weight dropped into test tubes filled with motor oils fall at different rates. Their rate of fall depends on the viscosity of the oil. The ball travelling through the light SAE 20 oil has travelled farthest, while the ball in the heavy SAE 50 has travelled least.

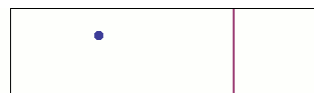


Sir George Gabriel Stokes
(1819–1903)
angol matematikus és fizikus

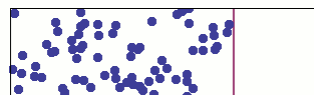
4

Diffúzió, konvekció, anyagforrás

DEF diffúzió: egy anyag vándorlása a magasabb koncentrációjú helyről az alacsonyabb koncentrációjú hely felé a közeg makroszkopikus áramlása nélkül



DEF konvekció: egy anyag vándorlása, mert a közeg makroszkopikus áramlása magával sodorja



DEF anyagok forrása és nyelői:

anyag megjelenése egy rendszerben, például kémiai reakciók miatt

$f(x,c,t)$ egységnyi térfogatban, időegység keletkező vagy eltűnő anyagmennyiség.



A következőkben az egyszerűség kedvéért a folyamatokat csak az x -koordináta mentén vizsgáljuk. Hasonló eredményeket kapnánk 2 illetve 3 térbeli dimenzióban is.

5

Diffúziós áramsűrűség - Fick I. törvénye

DEF diffúziós áramsűrűség az az anyagmennyiség, amely a diffúzió irányára merőleges, egységnyi felületen időegység alatt áthalad [$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

TV Fick I. törvénye: a J_d diffúziós áramsűrűség arányos a diffundáló anyag koncentrációjának térbeli gradiensével:

$$J_d = -D \frac{\partial c}{\partial x}$$

DEF a $D > 0$ arányossági tényező a diffúziós együttható

negatív előjelre azért van szükség, mert

J_d pozitív,

$\partial c / \partial x$ negatív (csökken a koncentráció jobbfelé)

D pozitív (így definiáltuk)



Adolf Eugen Fick (1829-1901)
német orvos

(nem ő találta fel a kontaktlencsét!)

⇒ a diffúzió a csökkenő koncentráció irányába megy

6

Konvekciós áramsűrűség

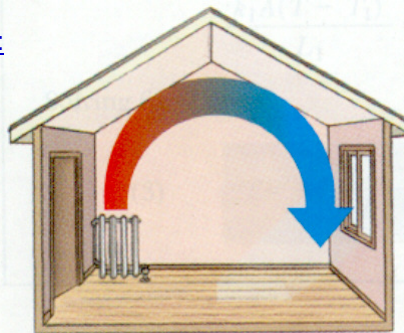
DEF konvekciós áramsűrűség az az anyagmennyiség, amely az áramlás irányára merőleges, egységnyi felületen időegység alatt áthalad [$\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

Ha az áramló közeg sebessége v_x , akkor időegység alatt, az áramlás irányára merőleges egységnyi felületen annyi anyagmennyiség halad át, amely v_x magasságú, egységnyi alapterületű hengerben található.

⇒ J_k konvekciós áramsűrűség számítása:

$$J_k = c v_x$$

c a közeg által szállított anyagfajta koncentrációja



1D reakció – diffúzió – konvekció rendszer leírása

TV egydimenziós (1D) reakció–diffúzió–konvekció egyenlet:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial c}{\partial x} + f$$

TV Fick II. törvénye ($v_x = 0$ és $f = 0$ esetében): $\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$

ezek parciális differenciálegyenletek

nemstacionárius eset: peremfeltétel és kezdeti feltétel kell

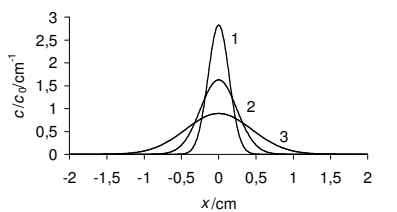
stacionárius eset: csak peremfeltétel kell

Általában csak numerikusan oldhatók meg. Egy ritka ellenpélda:

Kis térfogatban levő anyag diffúziós szétterjedésének

leírása térben és időben 1D-ben:

$$c(x, t) = \frac{c_0}{\sqrt{4\pi Dt}} e^{-x^2/4Dt}$$

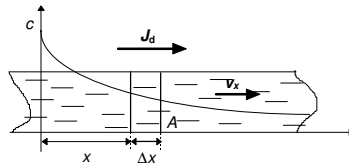


1D reakció–diffúzió–konvekció egyenlet levezetése

Vizsgán nem kell tudni, de tanulságos:

sok gondolatmenetnek az a háttere, hogy egy „mérlegegyenletet” írnak fel:

Δx hosszúságú, A felületű szakasza a csőnek. Csőszakaszban levő anyagmennyiség $cA\Delta x$



Ez változhat a
(1) diffúziótól
(2) beáramlástól
(3) kémiai reakciótól:

$$\frac{\partial}{\partial t}(cA\Delta x) = -DA \frac{\partial c}{\partial x}(x,t) - \left[-DA \frac{\partial c}{\partial x}(x+\Delta x,t) \right] + Av_x c(x,t) - Av_x c(x+\Delta x,t) + fA\Delta x$$

Az előbbi egyenlet átrendezve:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\frac{\partial c}{\partial x}(x+\Delta x,t) - \frac{\partial c}{\partial x}(x,t)}{\Delta x} - v_x \frac{c(x+\Delta x,t) - c(x,t)}{\Delta x} + f$$

$\Delta x \rightarrow 0$ határátmenet után:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - v_x \frac{\partial c}{\partial x} + f$$

9

Hővezetés

DEF hővezetés: hőmérsékletkülönbség hatására hő áramlik a magasabb hőmérsékletű helyről az alacsonyabb hőmérsékletű felé.

DEF hőáram sűrűsége: hőáram irányára merőlegesen egységnyi felületen, egységnyi idő alatt áthaladó hőmennyiség [$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1}$]

TV Fourier-törvénye: hőáram sűrűsége egyenesen arányos a hőmérséklet térkoordináta szerinti gradiensevel:

$$J_q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

ahol λ a hővezetési együttható [$\text{J K}^{-1} \text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$]

hővezetési és diffúziós feladatok tehát alakilag azonosak matematikailag ugyanúgy kezelhetők



Jean Baptiste Joseph Fourier
(1768 – 1830)
francia matematikus, fizikus és történész



Transzportfolyamatok keresztjeffektusai

Onsager felfedezése:
Intenzív mennyiségek gradiensek hatására
extenzív mennyiségek árama alakulhat ki.

irreverzibilis termodinamika avagy
nemegyensúlyi termodinamika:
a transzportfolyamatok általános elmélete

Transzportfolyamatok keresztjeffektusai:
egy intenzív mennyiség gradiense
nem csak a hozzá tartozó extenzív mennyiség mozgását okozza,
hanem más extenzív mennyiségeket is:

| | $\frac{\partial c}{\partial x}$ | $\frac{\partial T}{\partial x}$ |
|---------------|---------------------------------|---|
| anyagdiffúzió | Fick törvényei | Soret-hatás (termodiffúzió) |
| hődiffúzió | Dufour-hatás | Fourier-törvény |

11



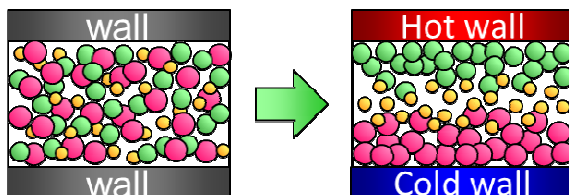
Lars Onsager (1903–1976)
norvég-USA fiziko-kémikus
kémiai Nobel-díj, 1968

Termodiffúzió (Soret-hatás)

DEF termodiffúzió:
hőmérsékletkülönbség hatására végbemenő anyagvándorlás

Az edény **melegebb végén** a kisebb moláris tömegű
komponens koncentrációja nagyobb
az egész elegyre vonatkozó átlagnál,
a hidegebb végén pedig fordítva.

Felhasználása például:
- izotópok elválasztása
- gyökök diffúziójának leírása lángokban



Charles Soret (1854-1904)
svájci fizikus és vegyész

12

Internetes források

Adolf Fick

http://de.wikipedia.org/wiki/Adolf_Fick

Fick's laws of diffusion

http://en.wikipedia.org/wiki/Fick%27s_law_of_diffusion

Lars Onsager

http://hu.wikipedia.org/wiki/Lars_Onsager

Charles Soret

http://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Soret

Transzportjelenségek téma

VÉGE

