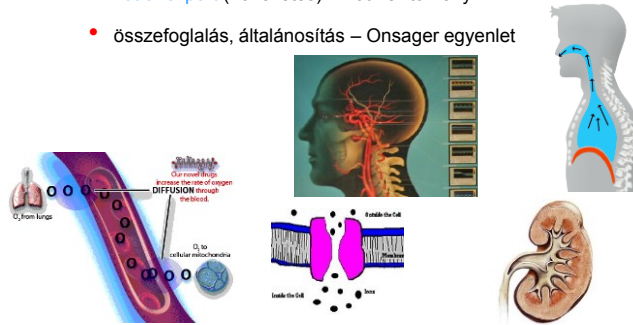


1

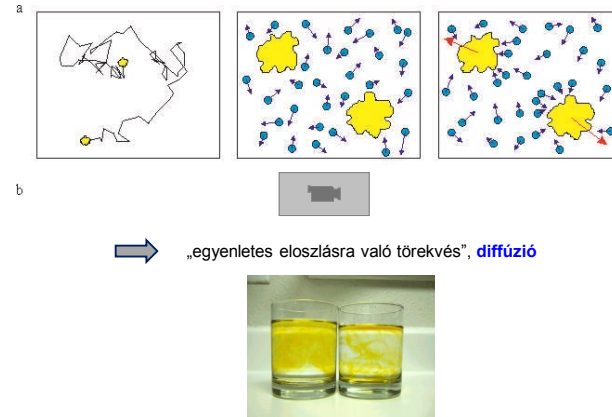
Transzportfolyamatok

- térfogattranszport (áramlás) – Hagen–Poiseuille-törvény
- (elektromos) töltéstranszport (elektr. áram) – Ohm-törvény
- anyagtranszport** (diffúzió) – Fick 1. törvénye
- hőtranszport (hővezetés) – Fourier-törvény
- összefoglalás, általánosítás – Onsager egyenlet



2

A Brown mozgás és a molekuláris hőmozgás



„egyenletes eloszlásra való törekvés”, **diffúzió**

3

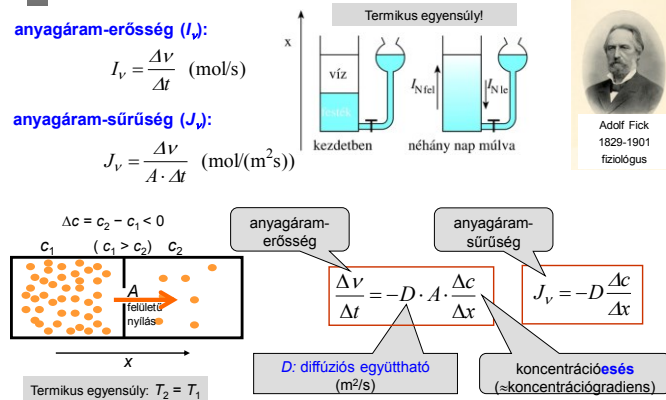
Diffúzió – alapfogalmak és Fick 1. törvénye

anyagáram-erősség (I_v):

$$I_v = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{mol/s})$$

anyagáram-sűrűség (J_v):

$$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t} \quad (\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}))$$



4

Összefoglalás

	Mi áramlik?	Erőssége?	Mi hajtja az áramlást?	Összefüggés?	
töltés-transzport	q	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	φ	$-\frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
térfogat-transzport	V	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	p	$-\frac{\Delta p}{\Delta l}$	$J_V = -\frac{r^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$
anyag-transzport	v	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	c	$-\frac{\Delta c}{\Delta x}$	$J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$

5

Diffúziós együttható

diffundáló részecske (mol. tömeg)	közeg	D (m ² /s)
H ₂ (2)	levegő	6,4·10 ⁻⁵
O ₂ (32)	levegő	2·10 ⁻⁵
CO ₂ (44)	levegő	1,8·10 ⁻⁵
H ₂ O (18)	víz	2,2·10 ⁻⁹
O ₂ (32)	víz	1,9·10 ⁻⁹
glicin (75)	víz	0,9·10 ⁻⁹
szérum albumin (69 000)	víz	6·10 ⁻¹¹
tropomiozin (93 000)	víz	2,2·10 ⁻¹¹
dohánymozaik-vírus (40 000 000)	víz	4,6·10 ⁻¹²

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$$

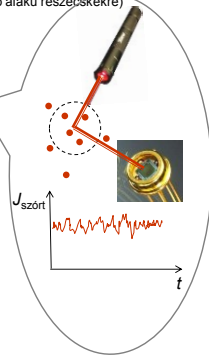
mozgékonyság, I. Stokes-törvény

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$$

Einstein-Stokes összefüggés
(gömb alakú részecskékre)

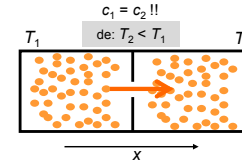
D mérése pl.:

- dinamikus fényszórás
- fluoreszcencia
- fényabszorpció
- elektr. vezetőképesség



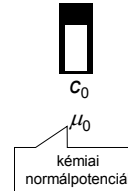
6

És ha nincs termikus egyensúly? Kémiai potenciál!



Hőmérsékleti különbségek is okozhatnak diffúziót. A diffúzió leírásához általános esetben olyan mennyiségre van szükségünk, amely a koncentrációt és a hőmérsékletet is magában foglalja.

Kémiai potenciál



$$\mu = \mu_0 + RT \ln \frac{c}{c_0}$$

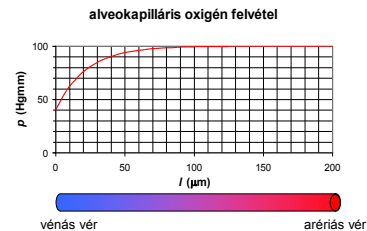
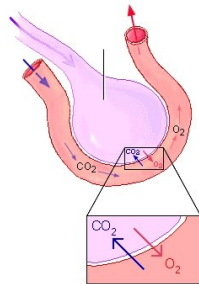
[Ha $c_0 = 1 \text{ mol/l}$, akkor $\mu = \mu_0 + RT \ln c$]

$$[\mu] = \frac{\text{J}}{\text{mol}}$$

A diffúzió hajtóereje általánosan: $-\frac{\Delta\mu}{\Delta x}$

7

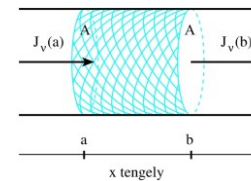
Fick 1. törvényének egy alkalmazása



Excel

8

Általánosított kontinuitási egyenlet és Fick 2. törvénye



Kontinuitási egyenlet:

$$J_v(a)A - J_v(b)A = 0$$

Általánosított kontinuitási egyenlet:

$$[J_v(x)A - J_v(x + \Delta x)A]\Delta t = [c(t + \Delta t) - c(t)]A\Delta x$$

$$-\frac{\Delta J_v}{\Delta x} = \frac{\Delta c}{\Delta t}$$

Fick 2. törvénye:

$$D \frac{\Delta \left(\frac{\Delta c}{\Delta x} \right)}{\Delta x} = \frac{\Delta c}{\Delta t}$$

Más alak: $D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t}$

9

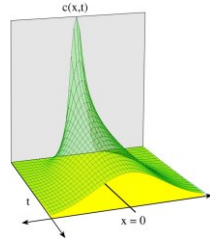
Fick 2. törvényének megoldása egyes esetekre

Egydimenziós diffúzió:

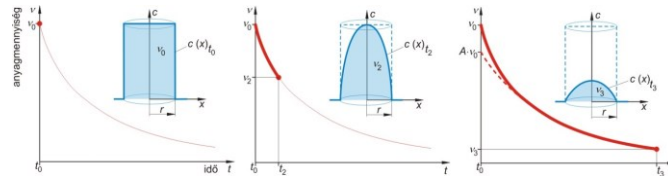
$$c(x) = \frac{c_0 \Delta x}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}$$

anim

$$\sigma_x = \sqrt{2Dt}$$

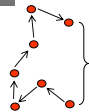


I. még „Diffúzió” c. gyakorlat:



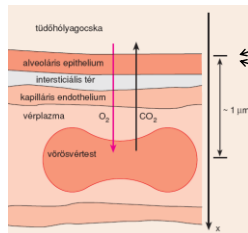
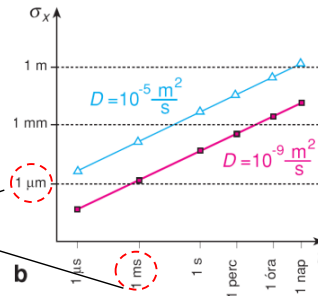
11

Diffúzió mint véletlen bolyongás



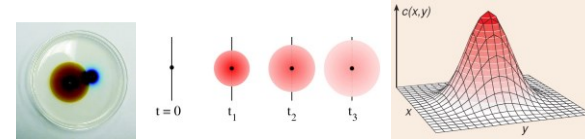
$\sigma = ?$

$$\sigma \approx \sqrt{2Dt}$$

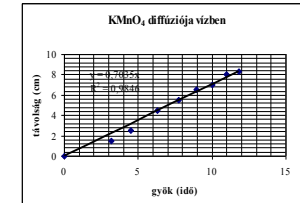
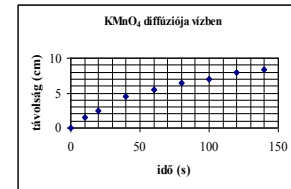


10

Kétdimenziós diffúzió:



Kísérlet:

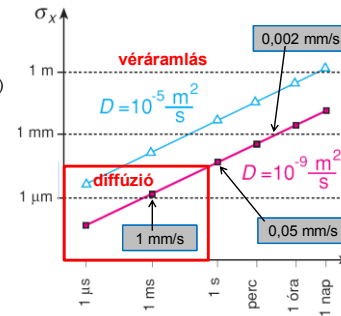


12

Melyik a „gyorsabb” transzport? Véráramlás ↔ diffúzió?

ér	kapillárisok
A (cm ²)	4500
v (cm/s)	0,022

(= 0,22 mm/s)



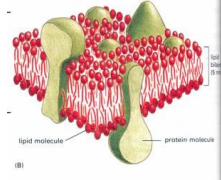
Legalábbis O₂ transzportjára!

- kb. 100 μm alatt: diffúzió
- felett: véráramlás

13

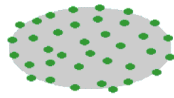
Laterális diffúzió biológiai membránokban

- kétdimenziós diffúzió
- biológiai jelentőség



Egy mérési technika:

Fluoreszcensen jelzett antitestek



Mouse Cell

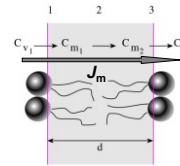
Time after fusion 0 : 00

Human Cell

14

Diffúzió membránon keresztül (passzív transzport)

semleges molekulák



$$J_m = -D_m \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x} = -D_m \cdot \frac{c_{m2} - c_{m1}}{d}$$

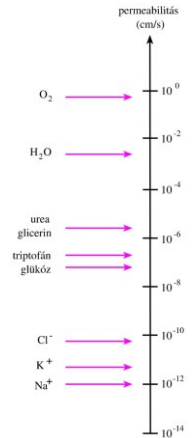
$$c_{m1} = K \cdot c_{v1}$$

$$c_{m2} = K \cdot c_{v2}$$

$$J_m = -D_m \cdot K \cdot \frac{c_{v2} - c_{v1}}{d} = -p(c_{v2} - c_{v1})$$

$$J_m = -p(c_{v2} - c_{v1})$$

permeabilitási állandó (m/s)

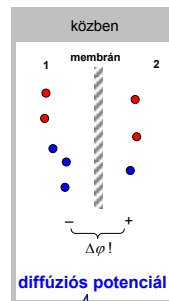
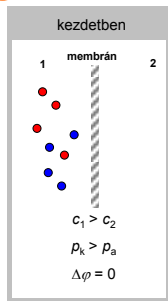


15

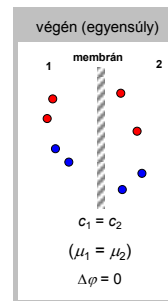
Ionok diffúziója membránon keresztül (passzív transzport)

egyértékű ionok: ● kation (k) ● anion (a)

1. speciális eset: $p_k > p_a$



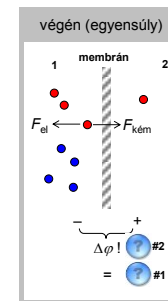
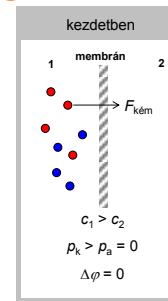
időleges



16

egyértékű ionok: ● kation (k) ● anion (a)

2. speciális eset: $p_k > p_a = 0$



#1

elektrokémiai potenciál
(J/mol):

$$\mu_e = \mu + F \cdot \varphi$$

egyensúly: $\mu_{e1} = \mu_{e2}$

#2

Nernst-egyenlet:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{RT}{F} \ln \frac{c_2}{c_1}$$