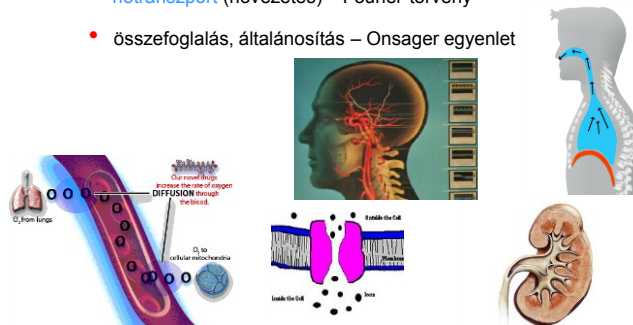


1

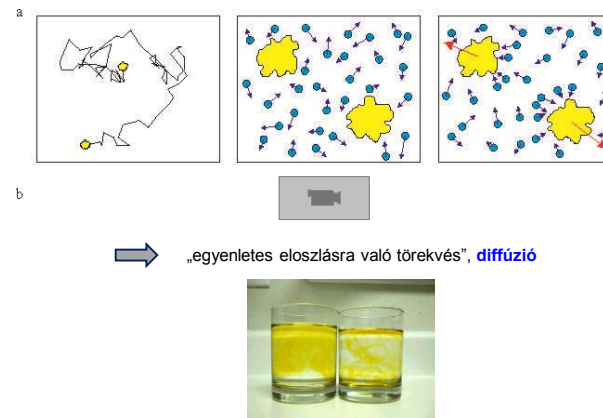
## Transzportfolyamatok

- térfigattranszport (áramlás) – Hagen–Poiseuille-törvény
- (elektromos) töltéstranszport (elekt. áram) – Ohm-törvény
- hőtranszport (hővezetés) – Fourier-törvény
- összefoglalás, általánosítás – Onsager egyenlet



2

## A Brown mozgás és a molekuláris hőmozgás



3

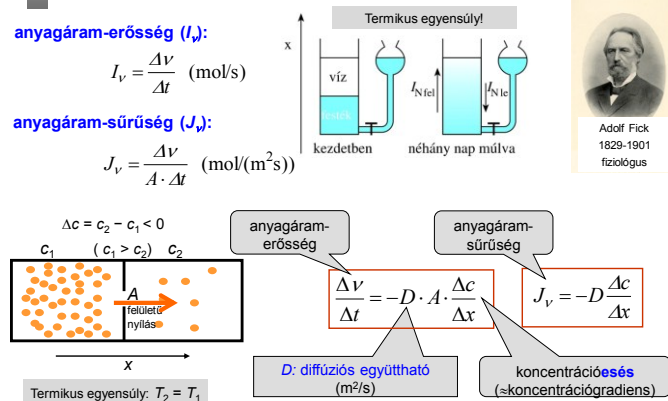
## Diffúzió – alapfogalmak és Fick 1. törvénye

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   | $q$         | $J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$ | $\varphi$              | $-\frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$ | $J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$      |
| 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 <sup>2</sup> /s) |
|-----------------------------------|--------|-------------------------|
| H <sub>2</sub> (2)                | levegő | $6,4 \cdot 10^{-5}$     |
| O <sub>2</sub> (32)               | levegő | $2 \cdot 10^{-5}$       |
| CO <sub>2</sub> (44)              | levegő | $1,8 \cdot 10^{-5}$     |
| H <sub>2</sub> O (18)             | víz    | $2,2 \cdot 10^{-9}$     |
| O <sub>2</sub> (32)               | víz    | $1,9 \cdot 10^{-9}$     |
| glicin (75)                       | víz    | $0,9 \cdot 10^{-9}$     |
| szérum albumin (69 000)           | víz    | $6 \cdot 10^{-11}$      |
| tropomiozin (93 000)              | víz    | $2,2 \cdot 10^{-11}$    |
| dohány-mozaik-vírus (40 000 000)  | víz    | $4,6 \cdot 10^{-12}$    |

$$D = \mu kT$$

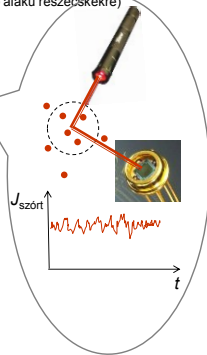
mozgékonyág, I. Stokes-törvény

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

Einstein-Stokes összefüggés  
(gömb alakú részecskékre)

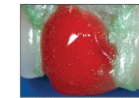
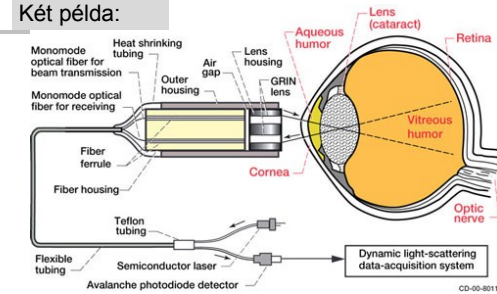
$D$  mérése pl.:

- dinamikus fényszórás
- fluoreszcencia
- fényabszorpció
- elektr. vezetőképesség



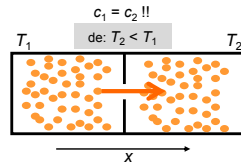
6

## Két példa:



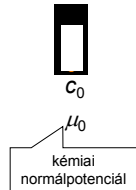
7

## 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



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

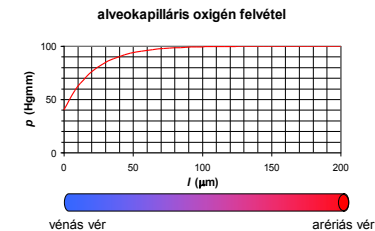
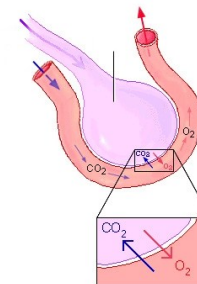
(Ha  $c_0 = 1 \text{ mol/l}$ , akkor  $\mu = \mu_0 + RT \ln c$ )

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

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

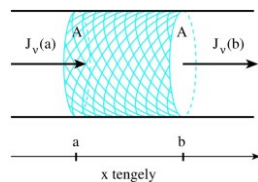
8

## Fick 1. törvényének egy alkalmazása



Excel

## 9 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:

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

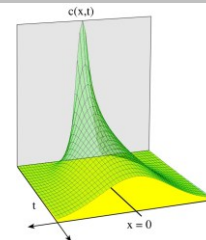
Más alak:  $D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{\partial c}{\partial t}$

## 10 Fick 2. törvényének megoldása egyes esetekre

Egydimenziós diffúzió:

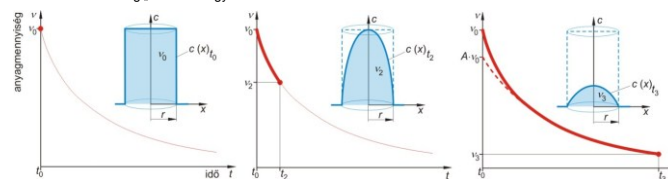
$$c(x) = \frac{c_0 \Delta x}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}$$

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



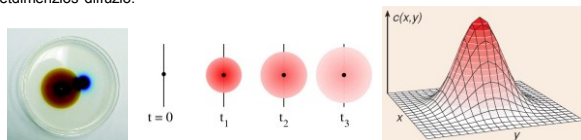
anim

I. még „Diffúzió” c. gyakorlat:

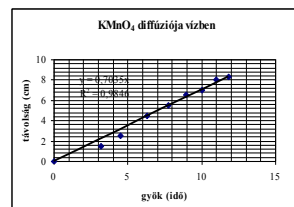
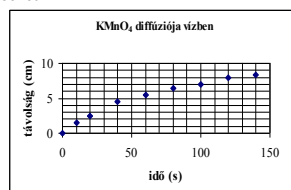


11

Kétdimenziós diffúzió:

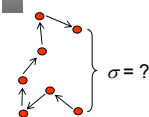


Kísérlet:



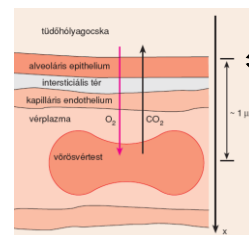
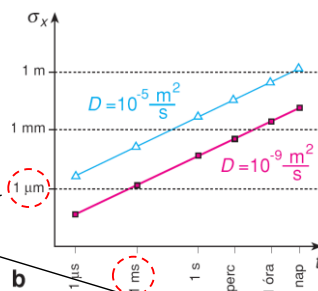
12

## Diffúzió mint véletlen bolyongás



$$\sigma = ?$$

$$\sigma \approx \sqrt{2D \cdot t}$$

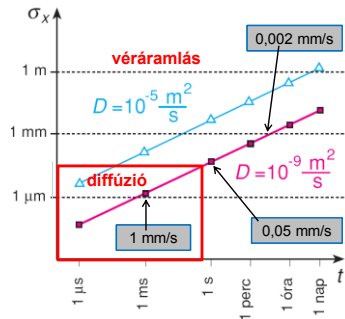


13

## Melyik a „gyorsabb” transzport? Véráramlás ↔ diffúzió?

| ér                        | kapillárisok |
|---------------------------|--------------|
| $A \text{ (cm}^2\text{)}$ | 4500         |
| $v \text{ (cm/s)}$        | 0.022        |

(= 0,22 mm/s)

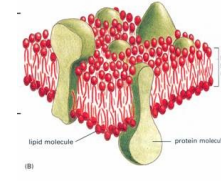


- kb. 100  $\mu\text{m}$  alatt: diffúzió
- felett: véráramlás

14

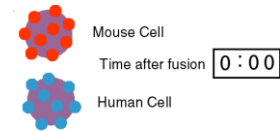
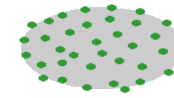
## Laterális diffúzió biológiai membránokban

- kétdimenziós diffúzió
- biológiai jelentőség



Egy mérési technika:

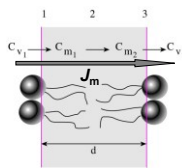
Fluoreszcensen jelzett antitestek



15

## Diffúzió membránon keresztül (passzív transzport)

semleges molekulák



$$J_m = -D \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x} = -D \cdot \frac{c_{m2} - c_{m1}}{d} = -p(c_{v2} - c_{v1})$$

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

permeabilitási állandó (m/s)

permeabilitás (cm/s)

