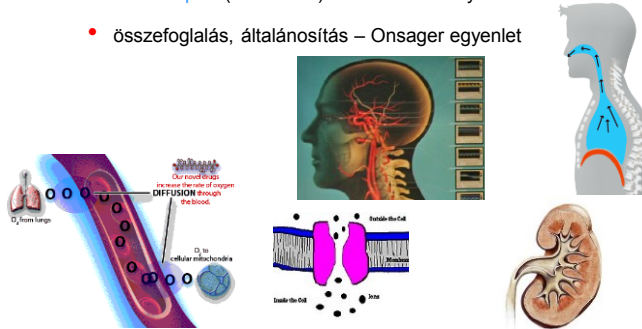


1

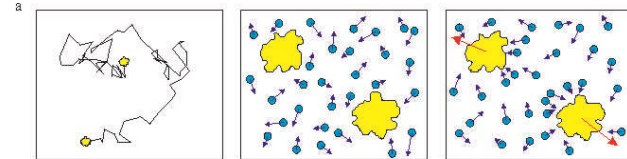
## Transzportfolyamatok

- 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



b

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



3

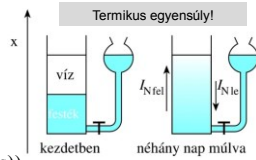
## Diffúzió – alapfogalmak és Fick 1. törvénye

anyagáram-erősség ( $I_v$ ):

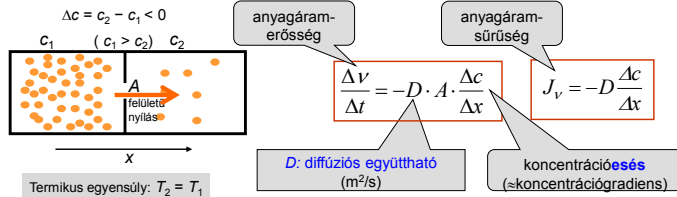
$$I_v = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{mol/s})$$

anyagáram-sűrűség ( $J_v$ ):

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



Adolf Fick  
1829-1901  
fiziológus



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	$2,2 \cdot 10^{-11}$
dohánymozaik-vírus (40 000 000)	víz	$4,6 \cdot 10^{-12}$

$$D = u k T$$

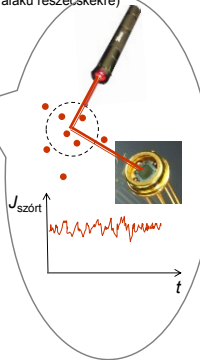
mozgékonyság, I. Stokes-törvény

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

Einstein-Stokes összefüggés  
(gömb alakú részecskékre)

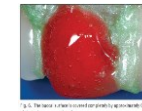
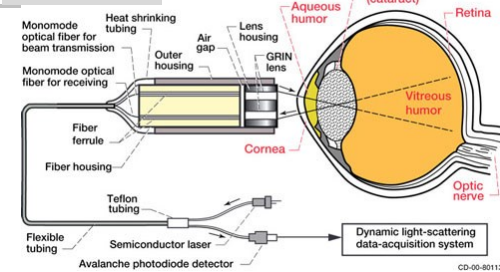
$D$  mérése pl.:

- dinamikus fényszórás
- fluoreszcencia
- fényabszorpció
- elektr. vezetőképesség



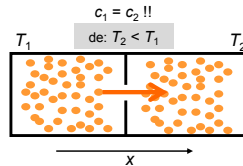
6

## Két példa:



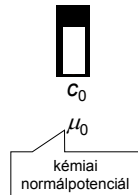
7

## 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  $c_0 = 1$  mol/l, akkor  $\mu = \mu_0 + RT \ln c$ )

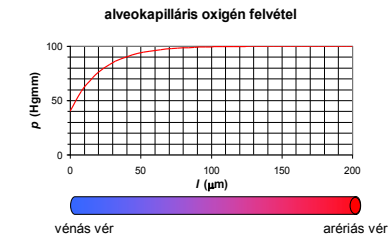
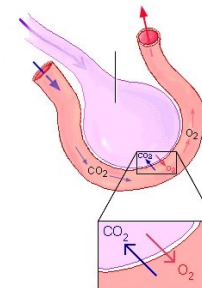
$$[\mu] = \frac{J}{\text{mol}}$$

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

8

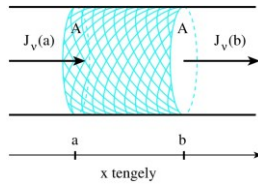
## Fick 1. törvényének egy alkalmazása

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:

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

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

10

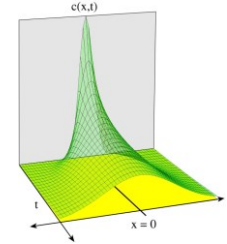
## Fick 2. törvényének megoldása egyes esetekre

Egydimenziós diffúzió:

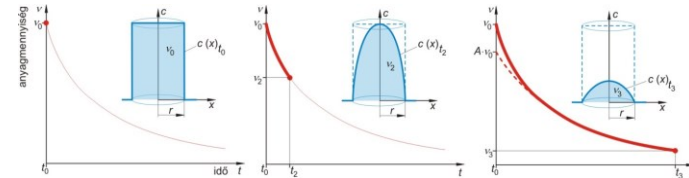
$$c(x) = \frac{c_0 \Delta x}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}$$

anim

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

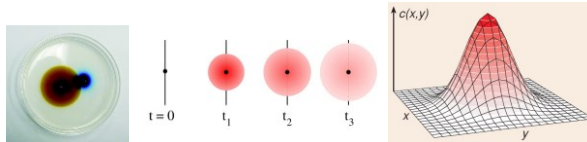


I. még „Diffúzió” c. gyakorlat:

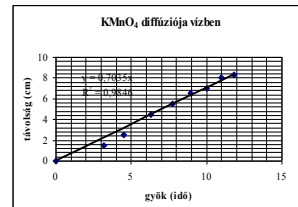
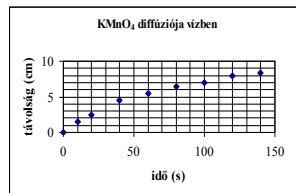


11

Kétdimenziós diffúzió:

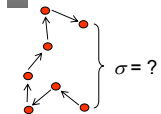


Kísérlet:

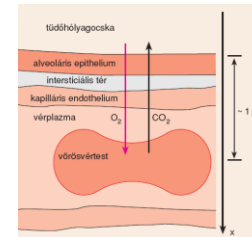
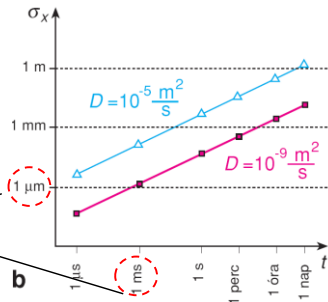


12

## Diffúzió mint véletlen bolyongás

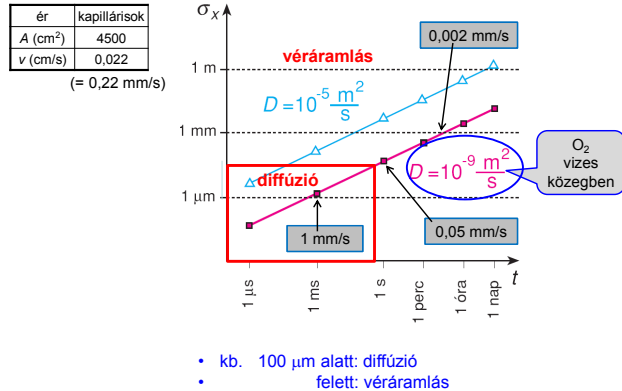
 $\sigma = ?$ 

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



13

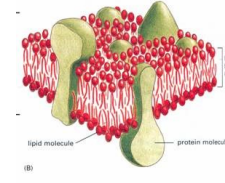
## Melyik a „gyorsabb” O<sub>2</sub>-transzport? Véráramlás ↔ diffúzió?



14

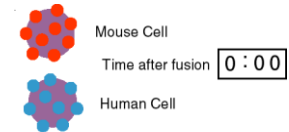
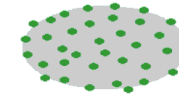
## Laterális diffúzió biológiai membránokban

- kétdimenziós diffúzió
- biológiai jelentőség



Egy mérési technika:

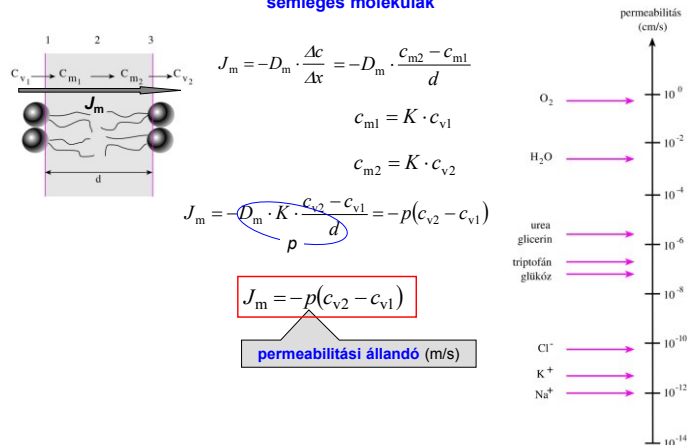
Fluoreszcensen jelzett antitestek



15

## Diffúzió membránon keresztül (passzív transzport)

semleges molekulák



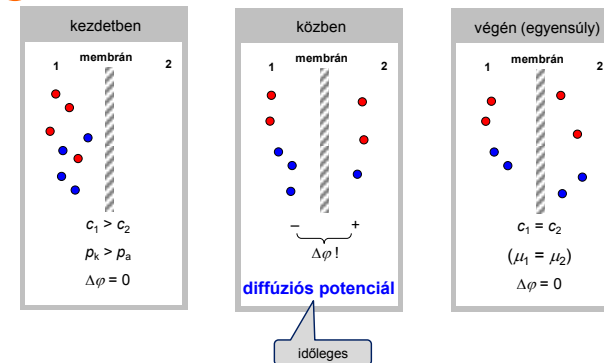
16

## Ionok diffúziója membránon keresztül (passzív transzport)

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

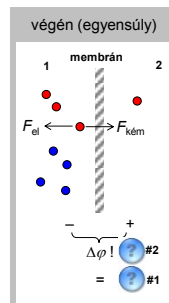
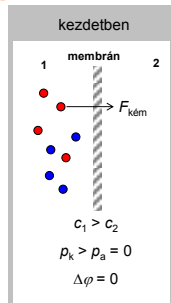
1.

speciális eset:  $p_k > p_a$



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:

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