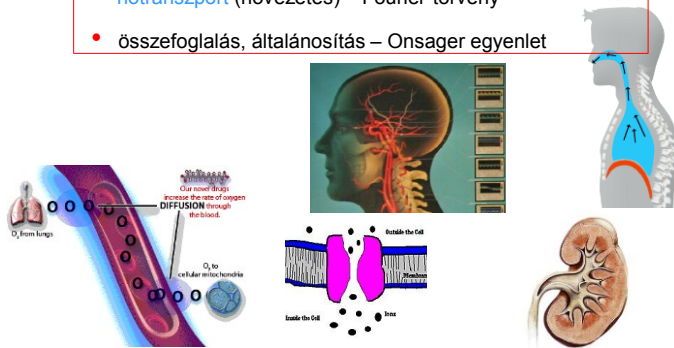


1

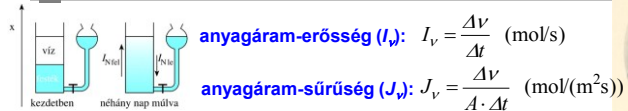
## Transzportfolyamatok

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

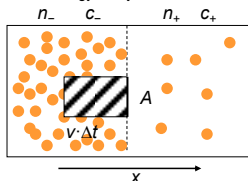


3

## Diffúzió – Fick 1. törvénye



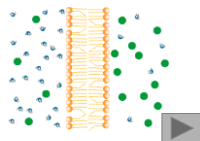
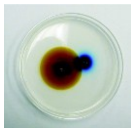
Termikus egyensúly!



$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = -D \cdot A \cdot \frac{\Delta c}{\Delta x}$$

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

$D$ : diffúziós együttható (m<sup>2</sup>/s)

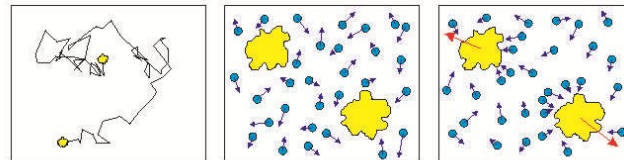


Adolf Fick  
1829-1901  
fiziológus

2

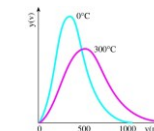
## Brown mozgás

a



b

- átlagos sebesség ( $v_{\text{atl}}$ )
- átlagos szabad úthossz ( $l$ )
- két ütközés közötti átlagos idő ( $\tau$ )
- mozgékonyság ( $u$ )



$$l = v \cdot \tau$$

$$v_{\text{atl}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

$$v_{\text{drift}} = \frac{F}{m} \tau$$

$$u = \frac{v_{\text{drift}}}{F} = \frac{\tau}{m}$$

4

## Diffúziós együttható

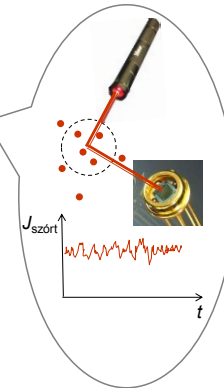
diffundáló részecske (mol. tömeg)	közeg	$D$ (m <sup>2</sup> /s)
H <sub>2</sub> (2)	levegő	$6,4 \cdot 10^{-5}$
O <sub>2</sub> (32)	levegő	$2 \cdot 10^{-5}$
CO <sub>2</sub> (44)	levegő	$1,8 \cdot 10^{-5}$
H <sub>2</sub> O (18)	víz	$2,2 \cdot 10^{-9}$
O <sub>2</sub> (32)	víz	$1,9 \cdot 10^{-9}$
glicin (75)	víz	$0,9 \cdot 10^{-9}$
szérum albumin (69 000)	víz	$6 \cdot 10^{-11}$
tropomiozin (93 000)	víz	$2,2 \cdot 10^{-11}$
dohánymozaike-vírus (40 000 000)	víz	$4,6 \cdot 10^{-12}$

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

**Einstein-Stokes összefüggés**  
(gömb alakú részecskékre)

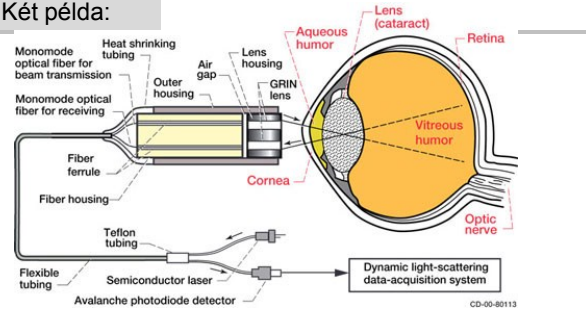
**$D$  mérése pl.:**

- dinamikus fényszórás
- fluoreszcencia
- fényabszorpció
- elektr. vezetőképesség



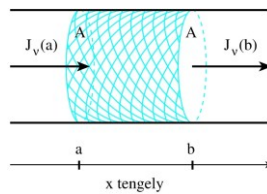
5

Két példa:



7

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:

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

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

6

a

Kémiai potenciál

A diffúzió hajtóereje általánosan:  $-\frac{\Delta \mu}{\Delta x}$  $C_0$  $C$ 

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

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

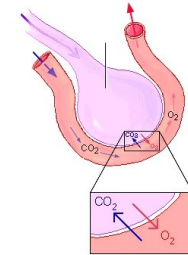
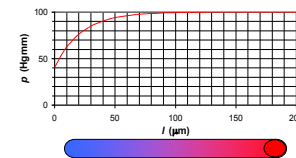
kémiai  
normálpotenciál

b

Fick 1. törvényének alkalmazása

Excel

alveokapilláris oxigén felvétel



8

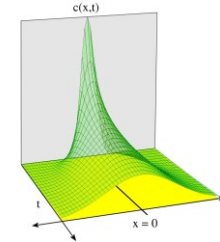
Fick 2. törvényének megoldása egyes esetekre

Egydimenziós diffúzió:

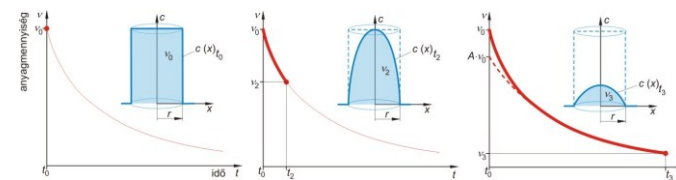
$$c(x) = \frac{c_0 \Delta x}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}$$

anim

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

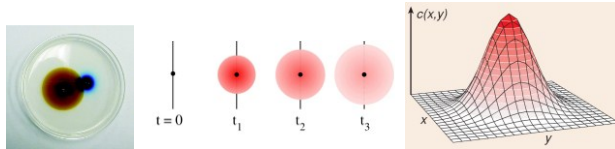


I. Még „Diffúzió” c. gyakorlat

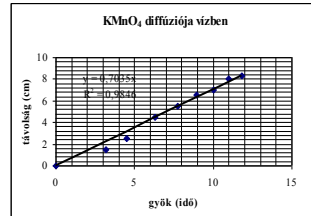
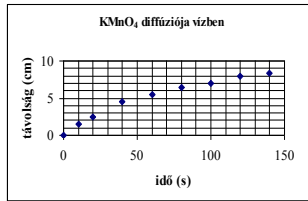


9

Kétdimenziós diffúzió:

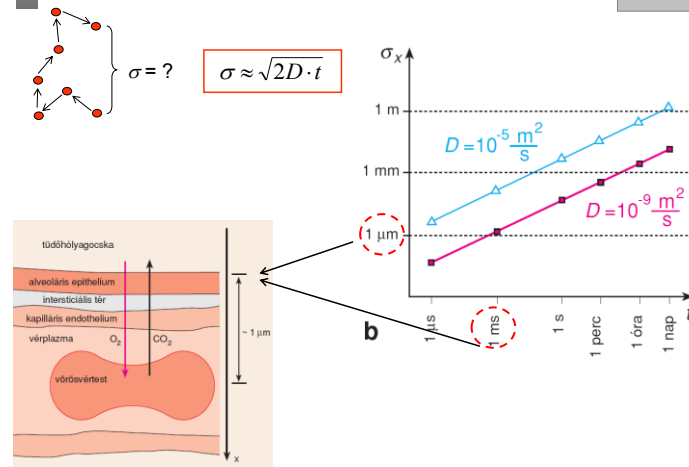


Kísérlet:



10

## Diffúzió mint véletlen bolyongás

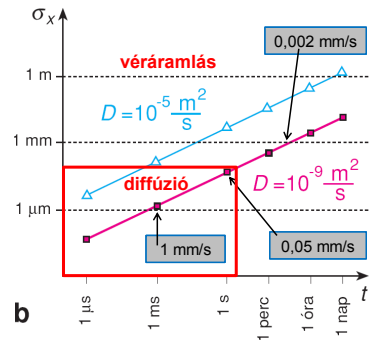


11

## Véráramlás ↔ diffúzió

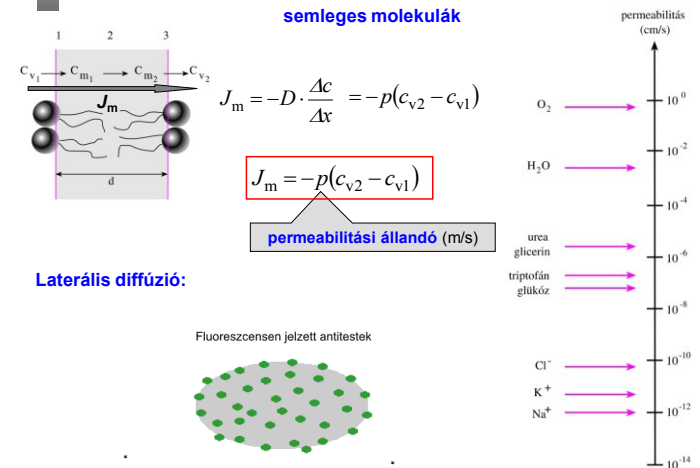
ér	kapillárisok
A (cm <sup>2</sup> )	4500
v (cm/s)	0,022

(0,02 mm/s)



12

## Diffúzió membránon keresztül (passzív transzport)

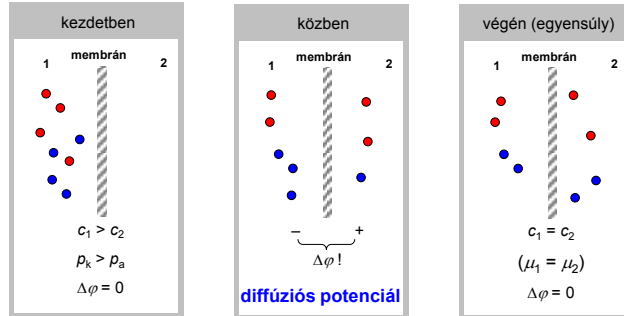


13

## Diffúzió membránon keresztül (passzív transzport)

egyértékű ionok • kation (k) • anion (a)

1

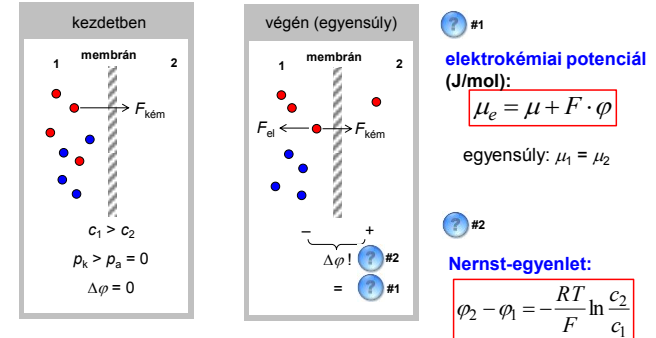


14

## Diffúzió membránon keresztül (passzív transzport)

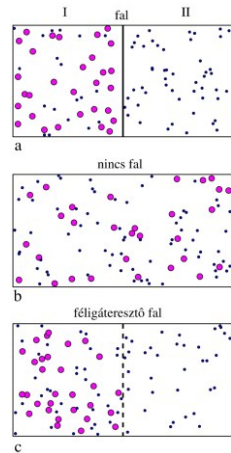
egyértékű ionok • kation (k) • anion (a)

2



15

## Ozmózis



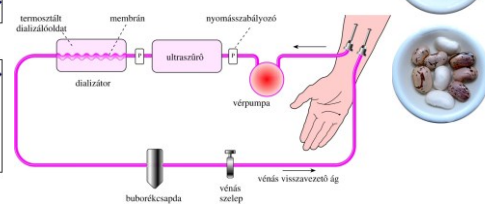
$$p_I = \frac{v_{\text{piros}} + v_{\text{kék}}}{V} RT, \quad p_{II} = \frac{v_{\text{kék}}}{V} RT$$

$$p_{\text{ozmózis}} = \frac{v_{\text{piros}}}{V} RT = c_{\text{piros}} RT$$

Van't Hoff-törvény:

$$p_{\text{ozmózis}} = cRT$$

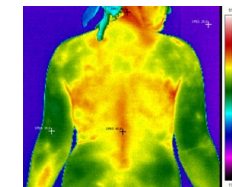
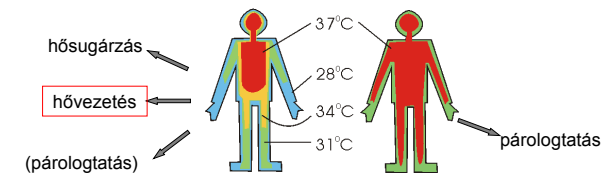
Hemodialízis:

J. H. van't Hoff  
1852-1911  
kémikus

16

## Test hőleadása

tevékenység	hő keletkezési ráta (W)
nyugalom	115
lassú séta	260
kerékpározás (15 km/h)	420
lépcsőzés (2/s)	700
futás (15 km/h)	1150

környezeti hőmérséklet  
20°C ↔ 35°C

17

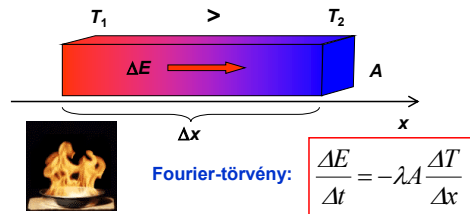
## Hővezetés

**energiaáram-erősség ( $I_E$ ):**  $I_E = \frac{\Delta E}{\Delta t}$  (J/s)

**energiaáram-sűrűség ( $J_E$ ):**  $J_E = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t}$  (J/(m<sup>2</sup>s) = W/m<sup>2</sup>)



J. B. J. Fourier  
1768-1830  
matematikus fizikus



**Fourier-törvény:**  $\frac{\Delta E}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x}$

$\lambda$  — **hővezető képesség**  
hővezetési együttható  
 $J/(s \cdot m^2 \cdot K/m) = W/(m \cdot K)$

anyag	$\lambda$ (W/(m·K))
ezüst	420
üveg	1
víz	0,6
izomszövet	0,4
zsírszövet	0,2
levegő	0,025

19

**Extenzív mennyiség:** additív, transzportálódó mennyiség.

**Intenzív mennyiség:** nem-additív, kiegyenlítő mennyiség.

**Egyensúly:** nincs transzportfolyamat.

**Termodinamika 0. főtétele:** egy rendszer akkor és csak akkor van egyensúlyban, ha az intenzív mennyiségek térbeli eloszlása homogén.

Intenzív mennyiségek térbeli eloszlása inhomogén  $\Rightarrow$  **transzportfolyamat**

**Transzportfolyamat erőssége és iránya:**

$J = LX$  **Onsager-féle összefüggés**

$\Rightarrow$  **Irány:** homogén eloszlás  $\Rightarrow$  irreverzibilitás!

termodinamika 2. főtétele

18

## 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	$v$	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	$c$	$-\frac{\Delta c}{\Delta x}$	$J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$
hő-transzport	$E$	$J_E = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t}$	$T$	$-\frac{\Delta T}{\Delta x}$	$J_E = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$
általános	$x_{\text{ext}}$	$J = \frac{\Delta x_{\text{ext}}}{A \cdot \Delta t}$	$y_{\text{int}}$	$X = -\frac{\Delta y_{\text{int}}}{\Delta x}$	$J = LX$
	extenzív mennyiség	áram-sűrűség	intenzív mennyiség	termodinamikai erő	Onsager-összefüggés

