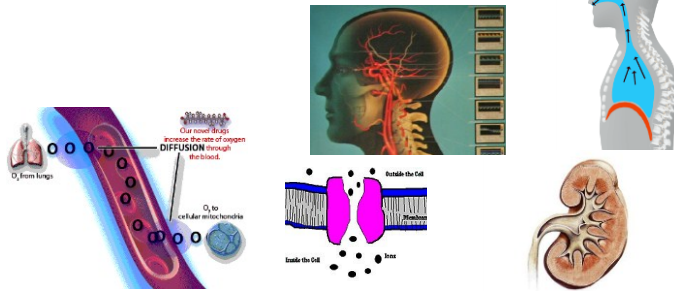


1

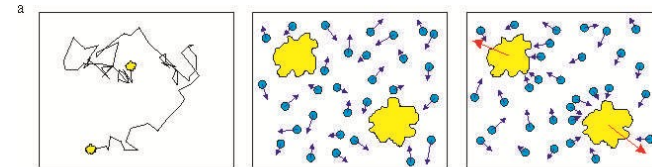
Transzportfolyamatok

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



2

A Brown mozgás és a molekuláris hőmozgás



b

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



3

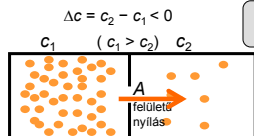
Diffúzió – alapfogalmak és Fick 1. törvénye

anyagáram-erősség (I_v):

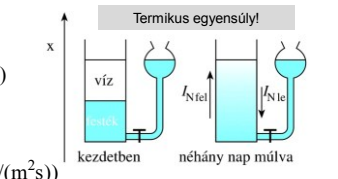
$$I_v = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (\text{mol/s})$$

anyagáram-sűrűség (J_v):

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



Termikus egyensúly: $T_2 = T_1$



anyagáram-erősség

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

D : diffúziós együttható (m^2/s)

anyagáram-sűrűség

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

koncentrációesés (\approx koncentrációgradiens)

4

Diffúziós együttható

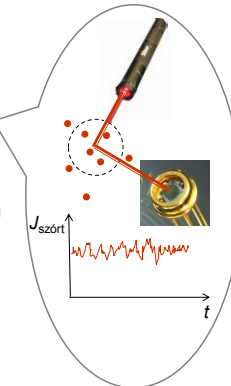
diffundáló részecske (mol. tömeg)	közeg	D (m^2/s)
H ₂ (2)	levegő	$6,4 \cdot 10^{-5}$
O ₂ (32)	levegő	$2 \cdot 10^{-5}$
CO ₂ (44)	levegő	$1,8 \cdot 10^{-5}$
H ₂ O (18)	víz	$2,2 \cdot 10^{-9}$
O ₂ (32)	víz	$1,9 \cdot 10^{-9}$
glicin (75)	víz	$0,9 \cdot 10^{-9}$
szérum albumin (69 000)	víz	$6 \cdot 10^{-11}$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

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

Einstein-Stokes összefüggés
(gömb alakú részecskékre)

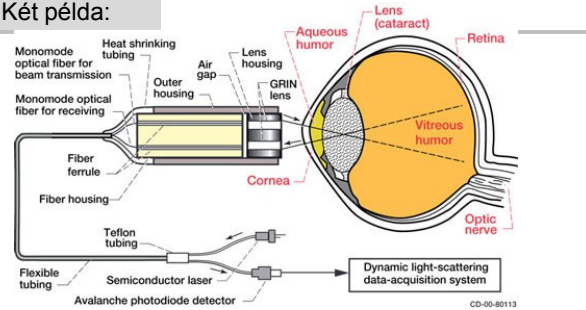
D mérése pl.:

- dinamikus fényszórás
- fluoreszcencia
- fényabszorpció
- elektr. vezetőképesség



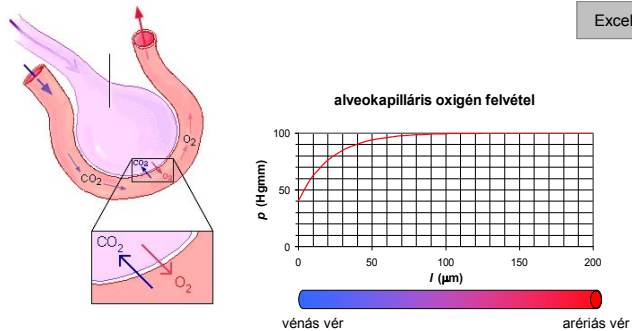
5

Két példa:



7

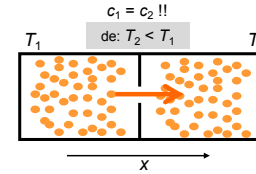
Fick 1. törvényének egy alkalmazása



Excel

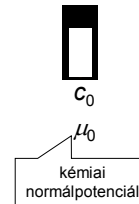
6

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



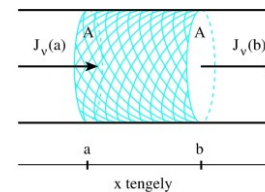
$$\mu = \mu_0 + RT \ln \frac{c}{c_0} \quad \left(\text{Ha } c_0 = 1 \text{ mol/l, akkor } \mu = \mu_0 + RT \ln c \right)$$

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

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

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:

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

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

9

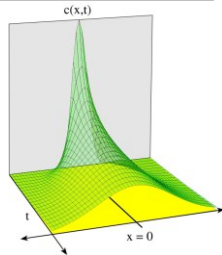
Fick 2. törvényének megoldása egyes esetekre

Egydimenziós diffúzió:

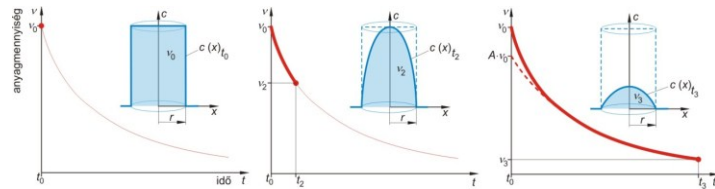
$$c(x) = \frac{c_0 \Delta x}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}}$$

anim

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

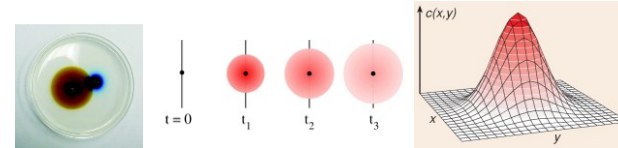


I. még „Diffúzió” c. gyakorlat:

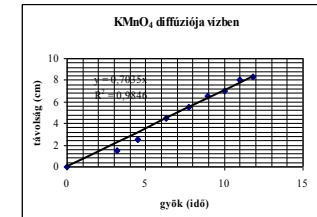
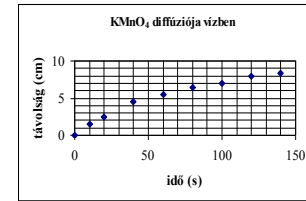


10

Kétdimenziós diffúzió:

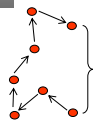


Kísérlet:

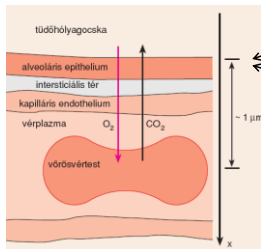
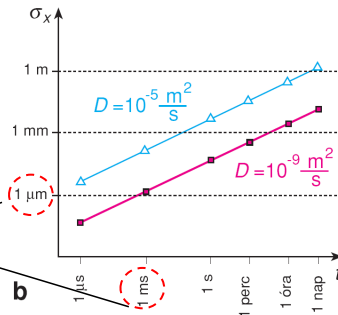


11

Diffúzió mint véletlen bolyongás



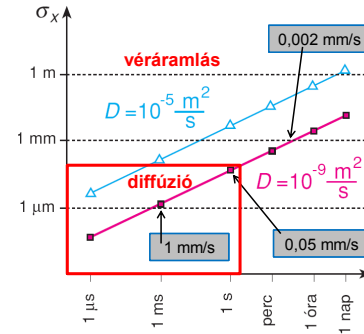
$$\sigma \approx \sqrt{2D \cdot t}$$



12

Melyik a „gyorsabb” transzport? véráramlás ↔ diffúzió

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

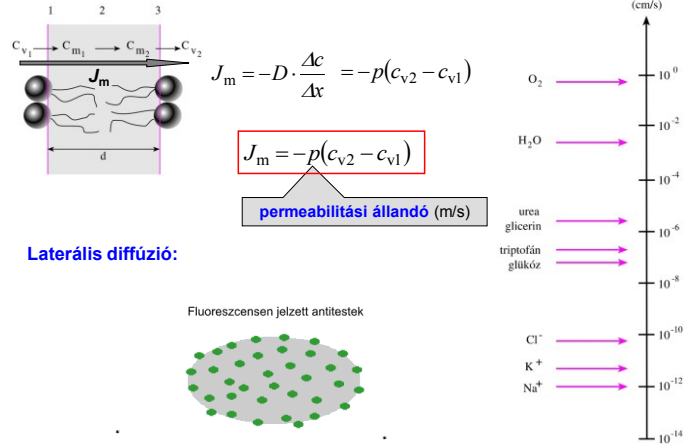


- kb. 100 μm alatt: diffúzió
- felett: véráramlás

13

Diffúzió membránon keresztül (passzív transzport)

semleges molekulák

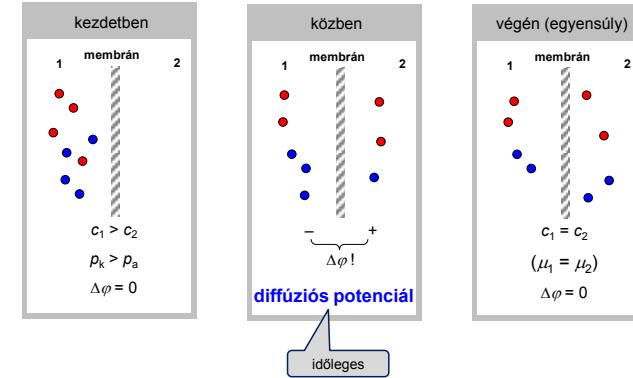


14

Diffúzió membránon keresztül (passzív transzport)

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

1.

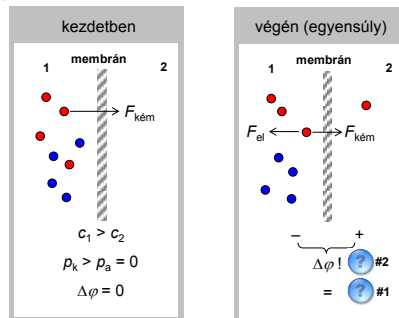
speciális eset: $p_k > p_a$ 

15

Diffúzió membránon keresztül (passzív transzport)

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: $\mu_{e1} = \mu_{e2}$

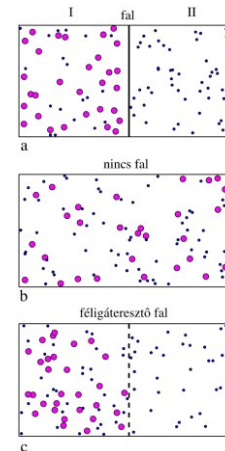
#2

Nernst-egyenlet:

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

16

Ozmózis

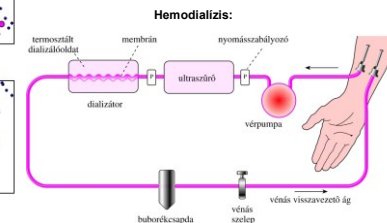


$$p_I = \frac{V_{\text{piros}} + V_{\text{kék}}}{V} RT, \quad p_{II} = \frac{V_{\text{kék}}}{V} RT$$

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

Van't Hoff-törvény:

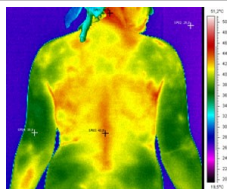
$$p_{\text{ozmózis}} = cRT$$

J. H. van't Hoff
1852-1911
kémikus

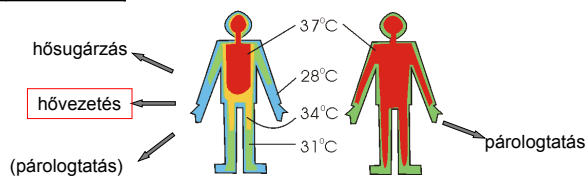
17

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



18

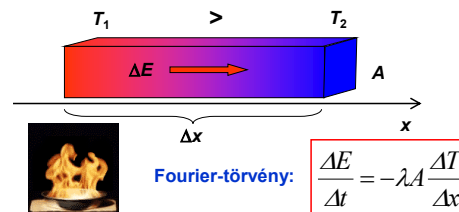
Hővezetés

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/(m²s) = W/m²)



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



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

λ — hővezető képesség
hővezetési együttható
J/(s·m²·K/m) = W/(m·K)

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

19

Összefoglalás

	Mi áramlik?	Erőssége?	Mi hajtja az áramlást?	Összefüggés?
töltés-transzport	q	$J_q = \frac{\Delta q}{A \cdot \Delta t}$	φ	$J_q = -\sigma \frac{\Delta \varphi}{\Delta l}$
térfogat-transzport	V	$J_V = \frac{\Delta V}{A \cdot \Delta t}$	p	$J_V = -\frac{r^2}{8\eta} \frac{\Delta p}{\Delta l}$
anyag-transzport	v	$J_v = \frac{\Delta v}{A \cdot \Delta t}$	c	$J_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$
hő-transzport	E	$J_E = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t}$	T	$J_E = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$
általános	x_{ext} extenzív mennyiség	$J = \frac{\Delta x_{\text{ext}}}{A \cdot \Delta t}$ áram-sűrűség	y_{int} intenzív mennyiség	$X = -\frac{\Delta y_{\text{int}}}{\Delta x}$ termodinamikai erő Onsager-összefüggés



20

Extenzív mennyiség: additív, transzportálódó mennyiség.

Intenzív mennyiség: nem-additív, kiegyenlítődő 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