

Kapcsolódó irodalom:

Kapcsolódó multimédiás anyag:

Az előadás témakörei:

1. A diffúzió fogalma

2. A diffúzió biológiai jelentősége

3. A részecskék mozgása

3.1. A Brown mozgás

4. Mitől függ a diffúzió erőssége?

4.1. A diffúzió térbeli leírása

4.1.1. A diffúzió leírása az anyagmennyiség időbeli változásával

4.1.2. A diffúzió leírása a koncentráció térbeli változásával

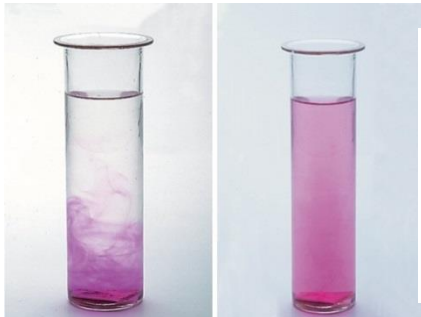
5. Fick I. törvénye

6. Fick II. törvénye

7. Diffúzió a sejtmembránon keresztül

Diffúzió

(1) A diffúzió fogalma



Bizonyos anyagok a rendelkezésükre álló gáz- vagy folyadéktérben előbb-utóbb szétoszlanak (pl. a kávéba tett cukor az oldódást követően eloszlik a teljes térfogatban, a vázába tett rózsa illata előbb-utóbb érezhető az egész helyiségben). Ezt a szétterjedési folyamatot nevezzük **diffúciónak**.

(2) A diffúzió biológiai jelentősége

- biológiai rendszerek mikroszkopikus anyagtranszport folyamatai
- az anyagok sejtmembránon keresztül történő áthaladása
- alapvető anyagsere-folyamatok
 - vér és a tüdő közötti gázcsere
 - ingerületi folyamatok
 - felszívódás (pl. gyógyszerek)

- kémiai reakciók
- (sejtek közötti és sejtekben megvalósuló molekulamozgások)

(3) A részecskék mozgása

A biológiai rendszerekben a részecskék többsége állandó mozgásban van,

→ **folyadék fázisban** (emberi szervezet tömegének 55 – 60 %-a víz)

→ **lipid fázisban** – víznél nagyobb rendezettségű **sejtmembránok**ban zajlanak.

3.1. A Brown mozgás

Robert **Brown** (skót botanikus): 1827. pollen szuszpenzió mikroszkópos vizsgálata - virágporszemcsék szabálytalan, **zerguzgos** mozgása (gárrészecskékhez hasonlóan)

A részecskék **rendezetlen hőmozgása**, a Brown-mozgás képezi a diffúzió alapját.

(A molekulák mozgásának leírása folyadék fázisban lényegesen bonyolultabb, mint gáz fázisban, mivel a folyadékokban a molekulák közötti kölcsönhatások jelentősebbek és lényegesen bonyolultabbak is, mint gázokban. Ezért a továbbiakban a diffúzió bemutatását gázokban végezzük, de eredményeink az adott keretek között folyadékokra is érvényesek lesznek.)

Ideális gáz modell: (lásd. Termodinamika alapok fejezet):

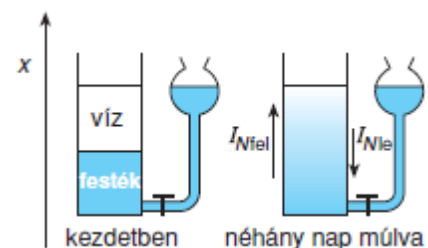
$$\bar{\epsilon}_{\text{kin}} = \frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT \sim T$$

A részecskék **egyenetlen (inhomogén) eloszlásának** következtében a Brown mozgásnak köszönhetően a **részecskék transzportja** valósul meg a magasabb koncentrációjú régiók felől az alacsonyabb koncentrációjú régiók felé. A folyamat termikus egyensúly esetén mindaddig tart, amíg a részecskék eloszlása többé-kevésbé **egyenletes** nem lesz az egész térfogatban (= amíg a részecskék homogén eloszlást nem mutatnak).

(4) Mitől függ a diffúzió erőssége?

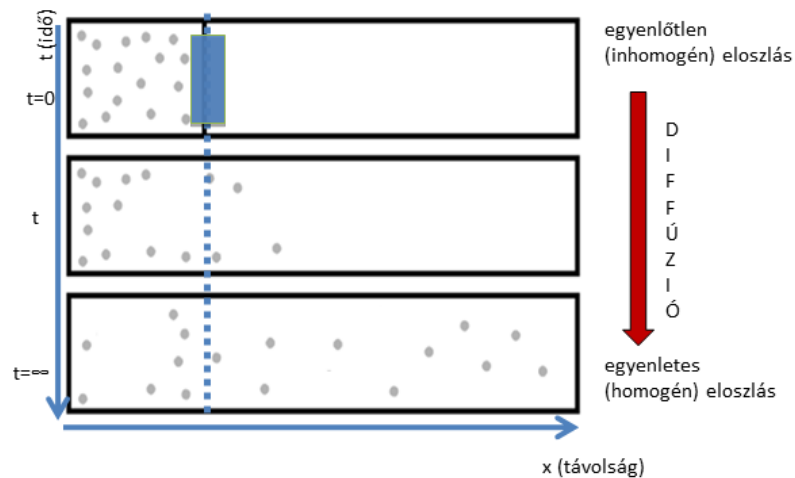
4.1. A diffúzió térbeli leírása

Fick (német fiziológus): festékmolekulák eloszlásának vizsgálata:



I_{Nfel} : felfelé mutató és egy I_{Nle} : lefelé mutató **részecskeáram (erősség)** alakul ki. A folyamat elején: $I_{Nfel} > I_{Nle}$, $\rightarrow I_{Nfel} - I_{Nle}$ felfelé mutató részecskeáram (nettó anyagáram).

Fick-kísérlet analógiája: egy dimenzióban, hogyan változik a **részecskék sűrűsége az x tengely mentén** az idő függvényében.



4.1.1. A diffúzió leírása az anyagmennyiség időbeli változásával

A diffúzió erősségét leghatékonyabban a **részecske áramerősséggel (I_N)** jellemezhetjük. Adott anyagból Δt idő alatt ΔN darab részecske vándorol át a kijelölt (az áramlás irányára merőleges) **A** felületen keresztül:

$$I_N = \frac{\Delta N}{\Delta t}, \text{ mértékegysége az } \frac{1}{\text{sec}}.$$

Ha a részecske áramerősséget elosztjuk az Avogadro-számmal (N_A), akkor az **anyag áramerősséghez** jutunk (I_V): $\frac{\text{átáramlott anyag mennyisége}}{\text{eltelt idő}}$

$$I_V = \frac{\Delta n}{\Delta t}, \text{ mértékegysége a } \frac{\text{mol}}{\text{sec}}, \text{ és } \Delta n = \frac{\Delta N}{N_A}.$$

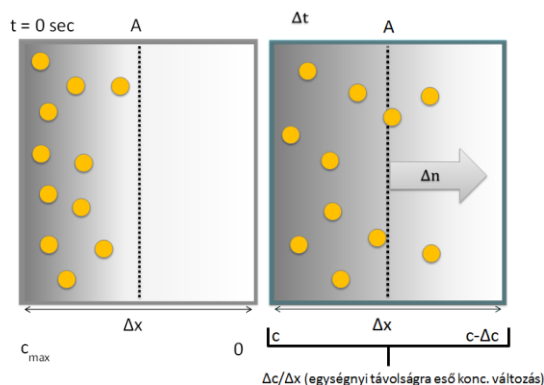
Az anyag áramerősség azt adja meg, hogy a diffúzió révén **A** felületen keresztül Δt idő alatt mekkora Δn anyagmennyiség (mól) vándorol át.

A részecske áramerősség és az anyag áramerősség függ az A felület nagyságától \rightarrow célszerű bevezetni egy olyan mennyiséget, amely ettől független, ez az **anyagáram sűrűség (J_V)**: $\frac{\text{anyag áramerősség}}{\text{felület}}$

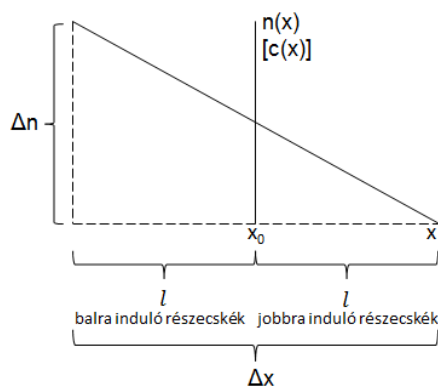
$$J_V = \frac{\Delta I_V}{\Delta A} = \frac{\Delta n}{\Delta A \Delta t}, \text{ mértékegysége a } \frac{\text{mol}}{\text{m}^2 \text{sec}}.$$

Az anyagáram sűrűség megadja, hogy **egységnyi idő alatt egységnyi felületen hány mólnyi anyag** jut keresztül, és arányos a diffúzió erősségével.

4.1.2. A diffúzió leírása a koncentráció térbeli változásával



x tengelyre merőleges A felület x_0 helyen, ahol egy rövid Δt időszaka alatt $n(x)$ [azaz $c(x)$] változatlanak tekinthető.



Elég rövid szakaszon a koncentráció $n(x)$ a vizsgált hely (x_0) környezetében lineárisan változik): az egyenes rész meredeksége: $\frac{\Delta n}{\Delta x}$, azaz $\frac{\Delta c}{\Delta x} =$ **koncentráció grádiens** (koncentrációesés, a koncentráció (c) változása az x tengely mentén. A koncentráció (c) változása az x tengely mentén egyre csökken.

(5) Fick I. törvénye

$$J = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}.$$

A diffúzió erősségét jellemző **anyagáram sűrűség (J) egyenesen arányos a koncentrációeséssel** ($-\frac{\Delta c}{\Delta x}$). Negatív az előjel mert a részecskék a magasabb koncentrációjú hely felől diffundálnak az alacsonyabb koncentrációjú hely felé. (Lásd: Transzportfolyamatok általános leírása, Onsager-féle lineáris összefüggés; Termodinamika főtételek fejezet)

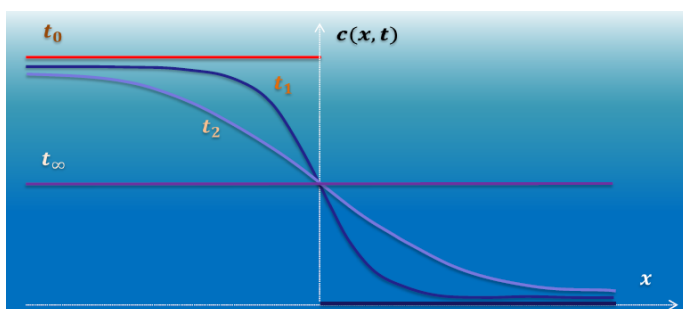
D: diffúziós együttható:

- mértékegysége a $\frac{m^2}{sec}$,
- a diffundáló részecske mobilitását jellemzi, vagyis, hogy „milyen gyorsan” diffundál,
- megadja egységnyi koncentrációkülönbség esetén az egységnyi keresztmetszeten egységnyi idő alatt átáramló anyag mennyiségét,
- függ a részecske és a közeg sajátságaitól,
- az **Einstein-Stokes**-féle összefüggéssel írható le:
a diffúziós együttható gömbszimmetrikus (r) részecskék diffúziójára η viszkozitású közegben T hőmérsékleten:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r}, \text{ ahol:}$$

- k : Boltzmann-állandó, értéke: $1.38 \times 10^{-23} \frac{Joule}{Kelvin}$,
- T : hőmérséklet (a diffúzió magasabb hőmérsékleten gyorsabb: gyorsabb hőmozgás)
- η : a közeg viszkozitása (a diffúzió alacsonyabb viszkozitású közegekben gyorsabb, mint a magasabb viszkozitású közegekben, gyorsabb gázokban, mint folyadékokban)
- r : részecske sugara gömbszerű molekulákra

(6) Fick II. törvénye



Fick I. törvénye csak a diffúzió térbeli eloszlásáról ad információt, de nem veszi figyelembe a koncentráció időtől való függését ($c(x, t)$). Fick II. törvénye, a **koncentráció térbeli és időbeli változását** írja le.

A részecskék sűrűsége (koncentrációja) ($c(x)$ függvény) hogyan változik az időben a kezdeti ($t = 0$) kettéosztott állapottól az „új” egyensúly beálltáig ($t = \infty$) az x tengely mentén.

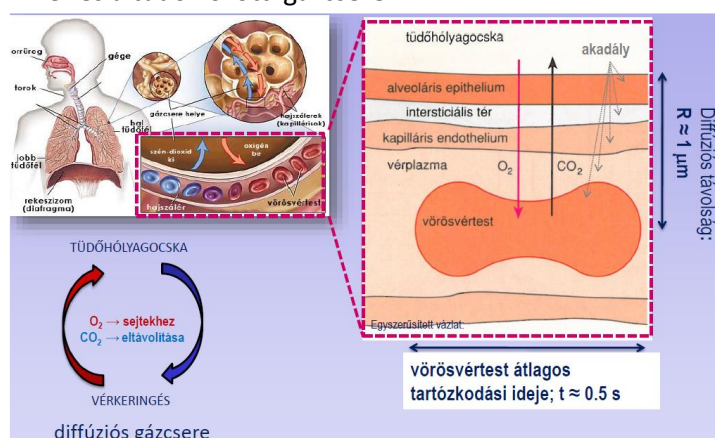
A koncentráció időbeli változása ($\frac{\Delta c}{\Delta t}$) egy adott helyen egyenesen arányos a koncentráció grádiens ($\frac{\Delta c}{\Delta x}$) hellyel való változásával ($\frac{\Delta(\frac{\Delta c}{\Delta x})}{\Delta x}$) az adott időpillanatban.

A **diffúziós idő (t) a távolság négyzetével arányos** → A diffúzió rövid távolságon ($100 \mu m$) viszonylag gyors (< másodperc), míg hosszú távolságon ($1 cm$) rendkívül lassú folyamat (napok).

$$t \sim \frac{R^2}{2D}$$

Példa (1)

A vér és a tüdő közötti gázcseré



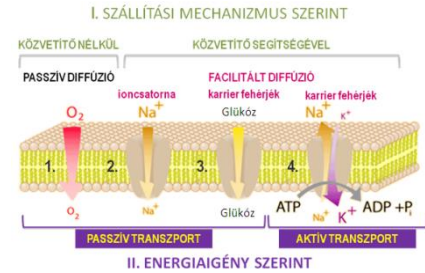
molekula	diffúziós távolság [R]	diffúziós együttható [D], m^2s^{-1}	mennyi idő alatt teszi meg [t], s
O ₂	1 mm = 10^{-6} m	$10^{-9} m^2s^{-1}$	$500 \cdot 10^{-6} s = 500 ms \ll 0.5 s$
CO ₂	1 mm = 10^{-6} m	$6 \cdot 10^{-9} m^2s^{-1}$	$83 \cdot 10^{-6} s = 83 ms \ll 0.5 s$

(7) Diffúzió a sejtmembránon keresztül

1. PASSZÍV DIFFÚZIÓ

Passzív transzport, közvetítő nélkül zajlik

- iránya: **ELEKTROKÉMIAI POTENCIÁL GRADIENS irányába**
 - kémia potenciál gradiens (koncentráció)
 - elektromos potenciál gradiens (töltés)
- diffúzió sebessége: Fick törvények által meghatározott
- közvetítő: nincs
- energiaigény: nincs
- például:
 - hidrofób molekulák: O_2 , N_2
 - kisméretű, poláris molekulák: CO_2 , víz, alkohol, urea, glicerol



2. FACILITÁLT DIFFÚZIÓ

a.) Passzív transzport, közvetítő segítségével zajlik: **IONCSATORNÁN KERESZTÜL**

- iránya: kémiai vagy elektrokémiai potenciál gradiens irányába
- diffúzió sebessége: gyorsabb, mint a Fick törvények által meghatározott
- közvetítő: **IONCSATORNA-FEHÉRJÉ**
 - transzmembrán fehérjék (pórusos térszerkezet)
 - zárt / nyitott állapot: nincs transzport / van transzport
 - nyitott/zárt állapot szabályozása:
 - ❖ mechanoszenzitív (mechanikai hatás: nyújtás, nyomás)
 - ❖ feszültségfüggő (a membrán két oldala közötti feszültségkülönbség működteti, lásd: Akciós potenciál fejezet)
 - ❖ receptor-, vagy ligandvezérelt
 - **szelektivitás:** az ionok töltése és mérete szerint
- energiaigény: nincs

b.) Passzív transzport, közvetítő segítségével zajlik: **KARRIER FEHÉRJÉK**

- iránya: kémiai vagy elektrokémiai potenciál gradiens irányába
- diffúzió sebessége: gyorsabb, mint a Fick törvények által meghatározott
- közvetítő: **KARRIER-FEHÉRJÉ (szállító, transzporter)**
 - az ionokat, molekulákat specifikusan kötik
 - elősegítik annak a membránon való átjutását (konformáció változással)
- energiaigény: nincs

3. AKTÍV TRANSPORT

közvetítő segítségével zajlik: **KARRIER FEHÉRJÉK**

- iránya: kémiai, vagy elektrokémiai potenciál gradienssel **ELLENKEZŐ** irány! **ENERGIABEFEKTETÉS**
- közvetítő: **TRANSPORTER**
 - uniporter (egy molekula egyirányú transzportálása)
 - szimporter/antiporter (több molekula azonos/ellenkező irányú transzportja)
- energiaigény: van
 - ATPáz transzporter (ATP hidrolízise)

- foto transzporter (fény energiája)
 - csatolt transzporter (másik transzport energiája)
- például: Na^+/K^+ pumpa (lásd: Akciós potenciál fejezet)