



Biofizika

(molekuláris biofizika és biológiai anyagtan)

2014, tavaszi szemeszter

Tárgy előadója: **Fidy Judit** és **Zrínyi Miklós**

Tárgy gyakorlatainak felelősei:

Dr. Varga Zsófia, tudományos munkatárs,

Dr. Borsos Attila, tudományos munkatárs

A **biofizika** a biológia és fizika határtudománya, mely fizikai és fizikai-kémiai módszereket használ az élő rendszerek tanulmányozására.

A biológiában és orvostudományban alkalmazott fizikai módszerek tárgyalása.

A biofizika az élő szervezetek és az életfolyamatok fizikája, a biológiai folyamatok leírása a fizika nyelvén.

A biofizika az élő anyagot vizsgálata a fizika módszereivel.

Az **anyagtudomány** az anyagok szerkezetével, tulajdonságaival, a **szerkezet és a tulajdonságok** közötti összefüggésekkel, a tulajdonságok megváltoztatásának, valamint új tulajdonságú anyagok előállításának elvi alapjaival foglalkozó tudomány.

A **biológiai anyagtudomány** az anyagok szerkezetével, tulajdonságaival, a **szerkezet és a funkció** közötti összefüggésekkel, a tulajdonságok megváltoztatásának, valamint új tulajdonságú **biokompatibilis** és **biodegradábilis** anyagok előállításának elvi alapjaival foglalkozó tudomány.

ÉLŐ ANYAG, BIOANYAG ÉS BIOMIMETIKUS ANYAG

Élő anyag (rendszer), amely vegetatív (*önfenntartó*) és szaporító (*önreprodukáló*) (élet)jelenségeket mutat.

Bioanyagoknak (biomaterials) az élővilágot alkotó-, az élő szervezetek által előállított-, vagy befogadott (szintetikus) anyagokat nevezzük.

Biomimetikus anyagoknak azokat a szintetikus anyagokat nevezzük, amelyeknek összetételét, struktúráját vagy funkcióját a természetből vett példa szolgáltatja.

Technikai anyag

monolit
állandóság
korrózió, károsodás
passzív
mérnöki struktúrák
elektronok
változatos energiaforrások
termikusan ellenálló

**KÉMIAI SZERKEZET
TULAJDONSÁG
FELHASZNÁLÁS**

Élő anyag

hierarchikus
folytonos megújulás
öngyógyulás
alkalmazkodó képesség
önszerveződő struktúrák
ionok
ATP
hőmérséklet érzékeny

**KÉMIAI SZERKEZET
TULAJDONSÁG
FUNKCIÓ**

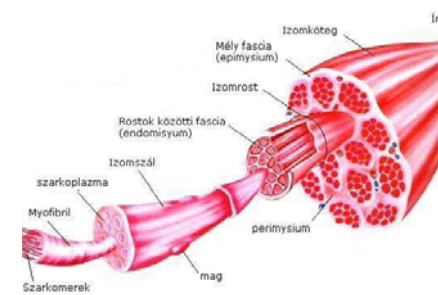
Technikai anyag

monolit



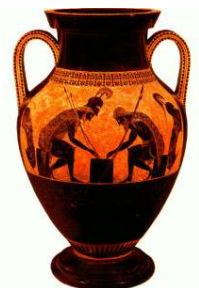
Élő anyag

hierarchikus



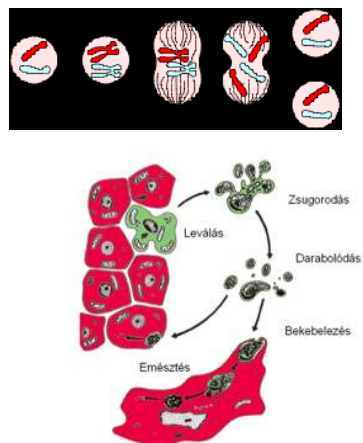
Technikai anyag

állandóság



Élő anyag

folytonos megújulás



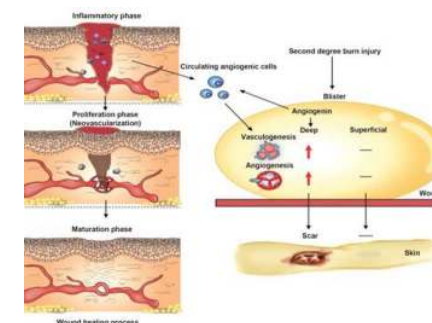
Technikai anyag

korrózió, károsodás



Élő anyag

öngyógyulás



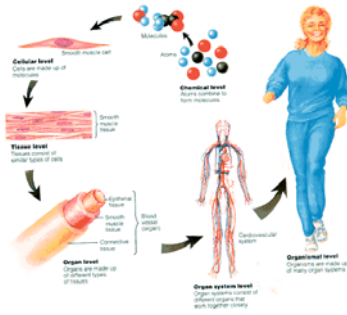
Technikai anyag

passzív



Élő anyag

alkalmazkodó képesség



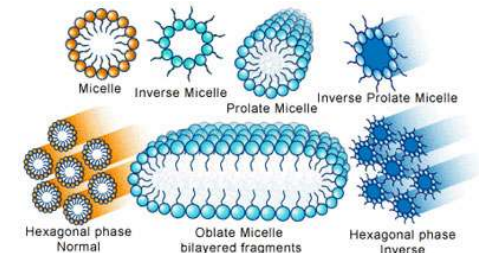
Technikai anyag

mérnöki struktúrák



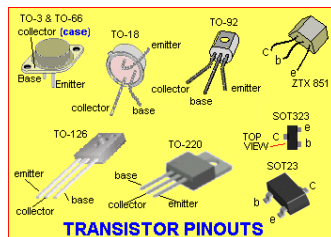
Élő anyag

önszerveződő struktúrák



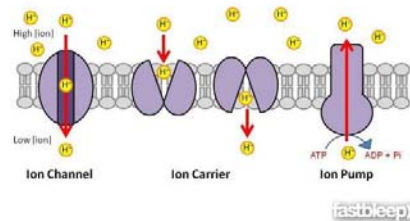
Technikai anyag

elektronok



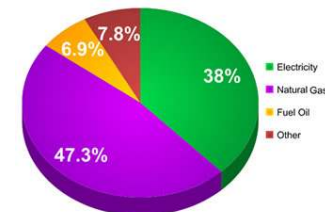
Élő anyag

ionok



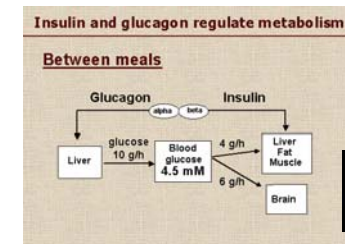
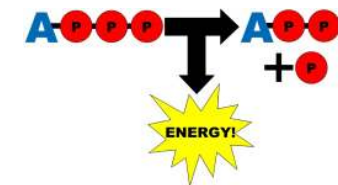
Technikai anyag

változatos energiaforrások



Élő anyag

ATP



Anyagtudományi követelmények:

Biokompatibilitás:

A biológiai rendszerrel (többnyire emberi szervezet), vagy biológiai eredetű anyaggal való zavartalan összeférhetőség.

Hisztokompatibilitás (szövetekkel)

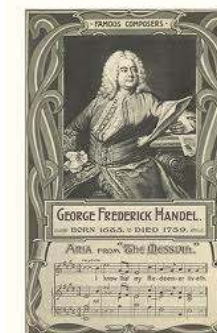
Hemokompatibilitás (vérrel)

Celluláris (sejtekkel)

Biofunktionalitás:

Az adott anyag milyen mértékben képes betölteni a neki szánt funkciót.

Febr. 12. Biológiai rendszerek különleges komponense, a víz. (Zrínyi Miklós)
Febr.19. A biológiai „anyag” szerkezetét meghatározó kölcsönhatások és funkcionális jelentőségük. (Fidy Judit)
Febr. 26. Elektromágneses sugárzások kölcsönhatása szövetekkel és szöveti komponensekkel I. Optikai tartomány (Fidy Judit)
Márc. 5. Elektromágneses sugárzások kölcsönhatása szövetekkel és szöveti komponensekkel II. Röntgen és gamma tartomány (Fidy Judit)
Márc. 12. Szövetek kölcsönhatása mágneses térrel. Mag mágneses rezonancia szövetekben, az orvosi alkalmazások alapjai (Fidy Judit)
Márc. 19. Egyedi biomolekulák és sejtek mechanikai tulajdonságai és mérési módszereik. (Kellermayer Miklós)
Márc. 26. Az élő anyag termodinamikai tulajdonságai. (Zrínyi Miklós)
Április. 2. Transzport jelenségek az élő szervezetben I. (Zrínyi Miklós)
Április. 9. Transzport jelenségek az élő szervezetben II. (Zrínyi Miklós)
Április 16. Tavaszi szünet
Április 23. Makromolekulák konformációja (Zrínyi Miklós)
Április 30. Orvosi nanotechnológia. (Zrínyi Miklós)
Május 7. Ultrahang terjedése szövetekben, az orvosi alkalmazások szempontjai. (Fidy Judit)
Május 14. Biomolekulák elektromos tulajdonságai, bioelektronikai megközelítések, nanotechnológiai alkalmazások. (Dér András, MTA SzBK)





SEMMELWEIS EGYETEM

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet,
Nanokémiai Kutatócsoport



Biológiai rendszerek különleges komponense, a víz

Zrínyi Miklós

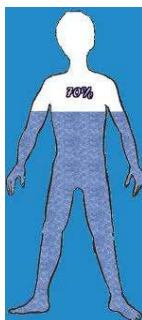
egyetemi tanár, az MTA tagja

mikloszrinyi@gmail.com

(2014)

A Föld felszínének 71%-át víz borítja, ez főleg sós víz. Az édesvíz 70%-a hó és jég formájában tárolódik.

Minden szervezet alapvető anyaga a víz. A medúzának még 98%-a, a három hónapos magzatnak 94%-a, az újszülöttnak még 72%-a, a felnőtt embernek 50-60%-a víz. Az életkor előrehaladtával a víz aránya csökken.



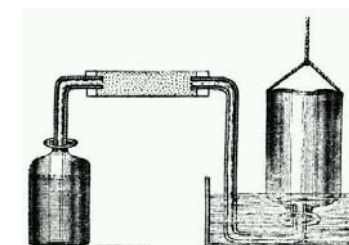
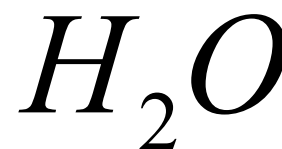
A napi vízleadás és vízfelvétel mérlegének mindkét oldalán átlagosan 2,5 liter szerepel: ennyi víz távozik a szervezetünkben a verejtékezés, a légzés, a kiválasztás és az emésztés folyamán, amit pótolnunk kell. Napi folyadékszükségletünk mintegy felét a táplálékokkal, másik felét víz formájában vesszük magunkhoz.

Egy különleges folyadék: a **víz**



Thales már Krisztus előtt 580-ban felismerte, hogy a víz „**minden dolgok forrása**”.

Kémiai összetételét először az angol Henry Cavendish határozta meg 1783-ban.



Az emberi test kortól függő víztartalma 45m% - 75m% (65m%)

Napi felvétel: 2500 ml

Napi leadás: 2500 ml

ital 1600 ml →

étel 700 ml →

200 ml

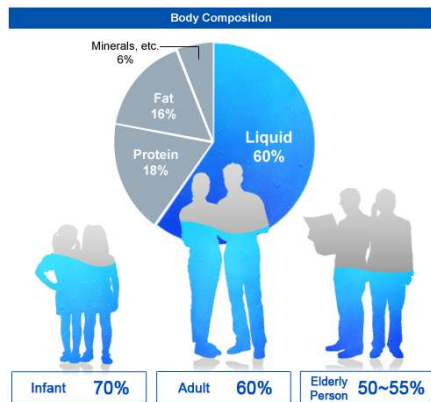
→ vizelet 1500 ml

→ széklet 200 ml

→ párolgás 400 ml

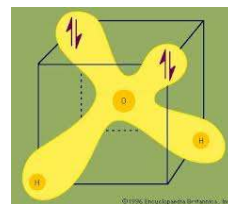
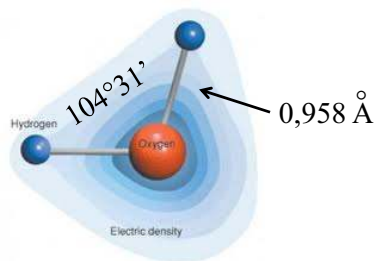
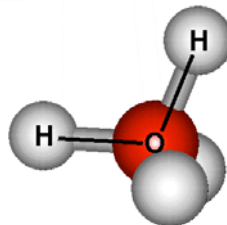
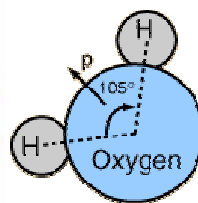
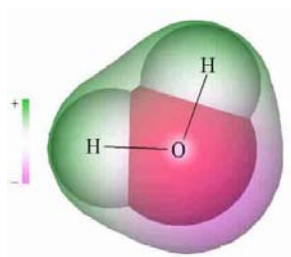
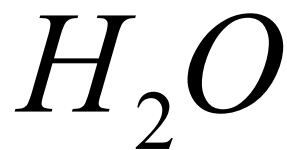
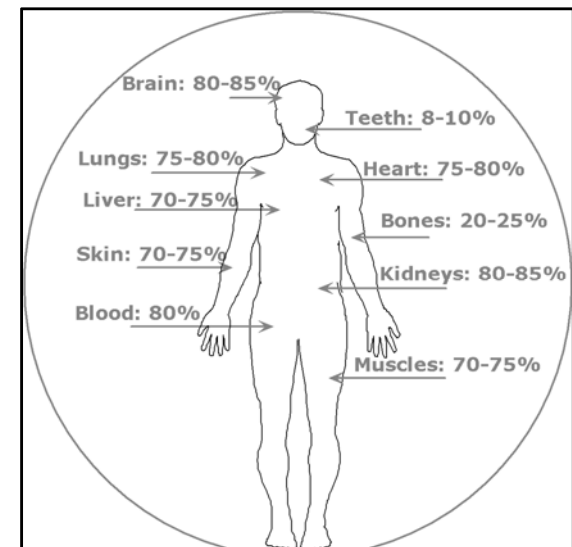
→ izzadás 100 ml

Ezek átlagos mennyiségek!



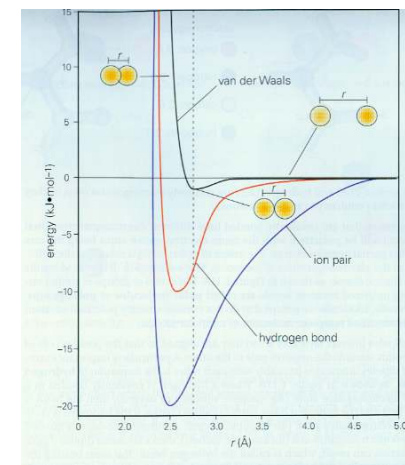
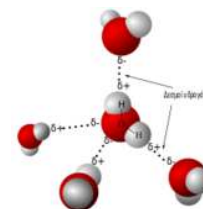
70 kg-os férfi szervezet átlagos folyadékmennyisége: 42 l.

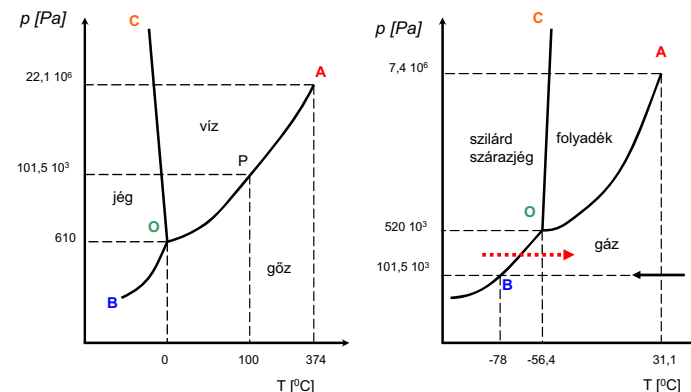
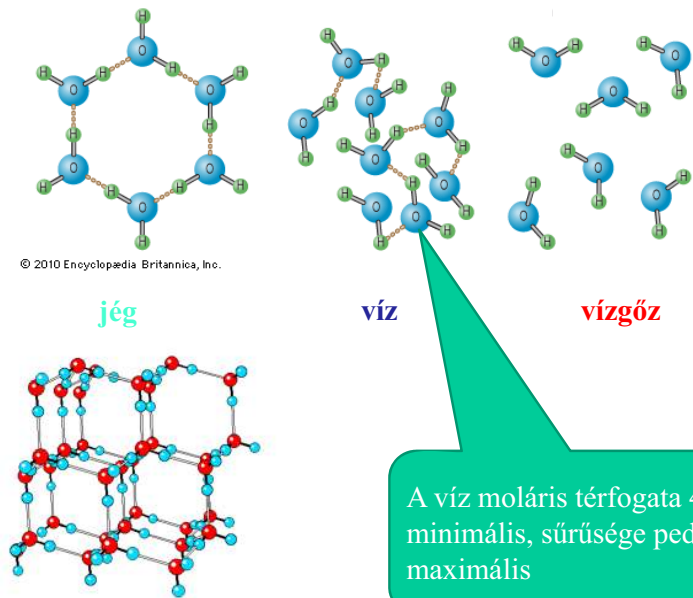
Különböző testrészek átlagos folyadék tartalma



A hidrogénhíd

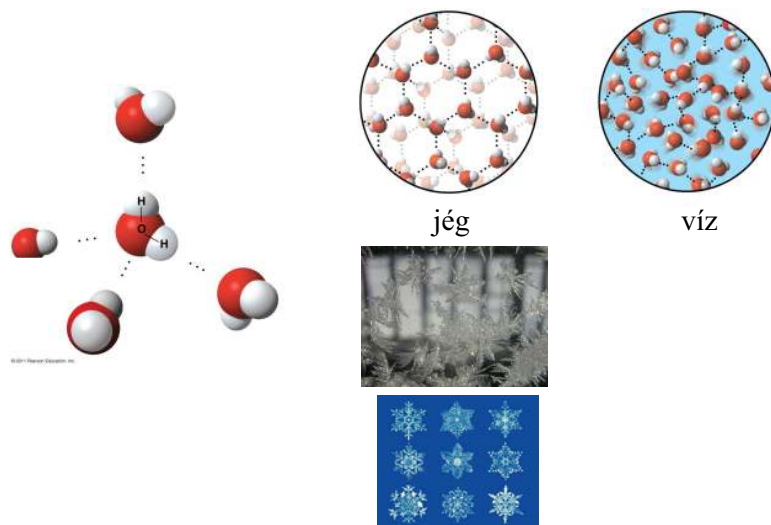
Egy intramolekuláris H-híd bontásához szükséges energia $\sim 1-2 k_B T$



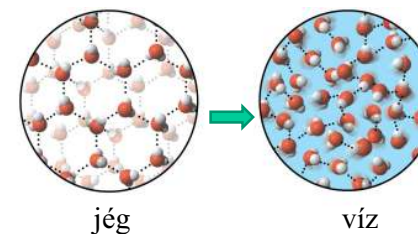


A víz és a szén-dioxid fázisdiagramja.

A legtöbb anyag moláris térfogata a kristályos fázisban kisebb, mint az olvadékban. **Kivétel: a víz**



A víz egyik különlegessége, hogy moláris térfogata 8%-al csökken olvadáskor. Ez azt jelenti, hogy a nyomás növelése az olvadást segíti elő.



Ha víz a többi folyadékhoz hasonló “normális” folyadékként viselkedne, **nem lennének hegyi patakjaink!**

Mi történne, ha a víz a többi anyaghoz hasonlóan viselkedne?

- nem lennének hegyi patakjaink,
- a jég lesüllyedne a vízben,
- folyók teljes egészében befagynának,

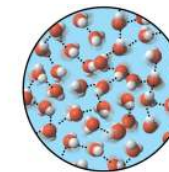
Víz hőkapacitása

$$Q = C(T) m \Delta T$$

A folyékony víz hőkapacitása jóval nagyobb, mint a többi folyadéké, de nagyobb a szilárdtestek és a gázok hőkapacitásánál is. Ez a víz molekulái között kialakuló számtalan H-híd kölcsönhatás következménye.

$$c_p = 4180 \text{ J/kgK szobahőmérsékleten}$$

Szerepe az életfolyamatokban: a testhőmérséklet szabályozása a nagy hőkapacitás segítségével

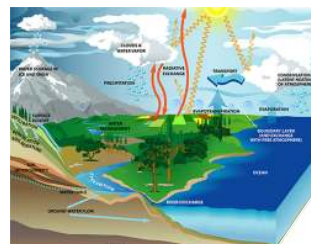
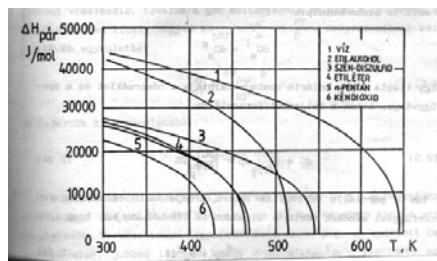


víz

$$E_H = 4 - 40 \text{ kJ / mol}$$

Egy 60 kg-os személy megközelítőleg 10 MJ nagyságú hőt ad le naponta, ha rendszeren táplálkozik. Ez adiabatikus körülmények között 42 °C-os hőmérséklet emelkedést jelent

A víz nagy párolgáshője miatt egységnyi térfogatban több energiát tárol, mint a többi „normális” folyadék.



$$Q_{\text{párolg}} = 2,3 \cdot 10^6 \text{ J/kg szobahőmérsékleten}$$

Szerepe az életfolyamatokban: hatékony hűtőfolyadék a hőmérséklet szabályzásban (izzadás).

Kedveli a poláros felületeket (pl. cellulóz)
(kapilláris emelkedés)



Nem kedveli az apoláros felületeket
(pl. teflon)



Nagy felületi feszültség

$$\gamma = 72,7 \text{ mN / m} \quad 25 \text{ C}^\circ\text{-on.}$$

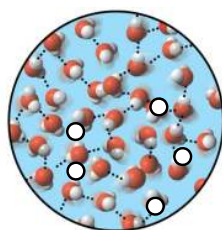


Szerepe az életfolyamatokban: .



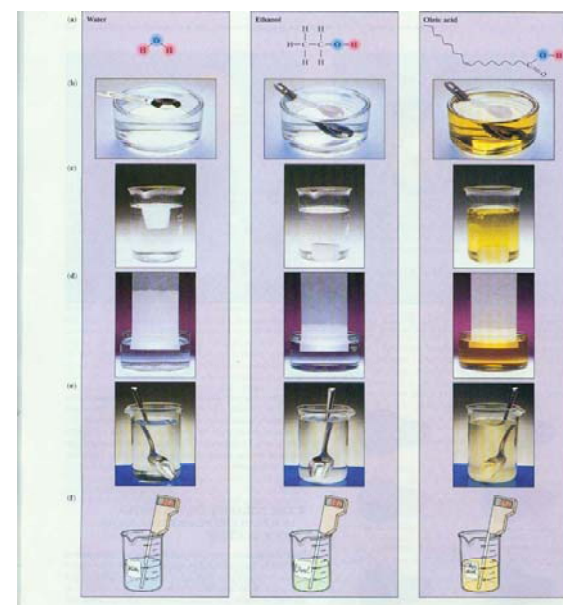
Jó oldószer

A hézagos vízszerkezet miatt jó oldószere a gázoknak (O_2, CO_2, \dots)



A jól elegyedik poláros molekulákkal (CH_3CH_2OH)

Mengyelejev szabadalma alapján

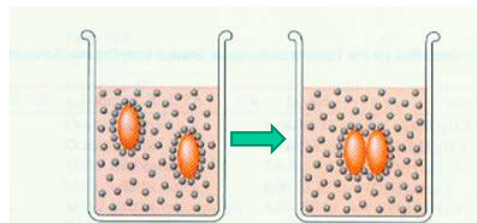


Apoláros molekulák oldása vízben

Hidrofób kölcsönhatás

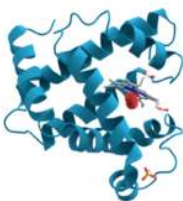
hajtóerő $\rightarrow \Delta G < 0$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$



$$\Delta H > 0$$

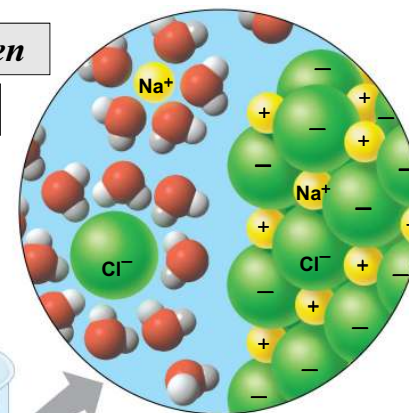
$$\Delta S > 0 \rightarrow \Delta G < 0$$



W. Kauzman

Sók oldása vízben

Jó oldószer



Miért különülnek el a kationok és az anionok?
A Coulomb törvény talán nem érvényes?

© 2011 Pearson Education, Inc.

Coulomb törvény

Vákumban!

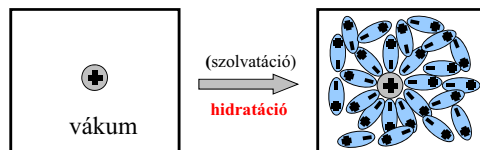
$$\mathbf{f}_{1,2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{1,2}^2} \cdot \mathbf{e}_{1,2}$$

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ J}^{-1} \text{ C}^2 \text{ m}^{-1}$$



Charles-Augustin de Coulomb
1736-1806

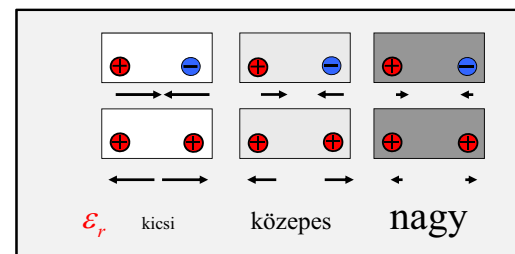
Közeg hatás!



$$\mathbf{f}(\mathbf{r}_{1,2}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_{1,2}$$

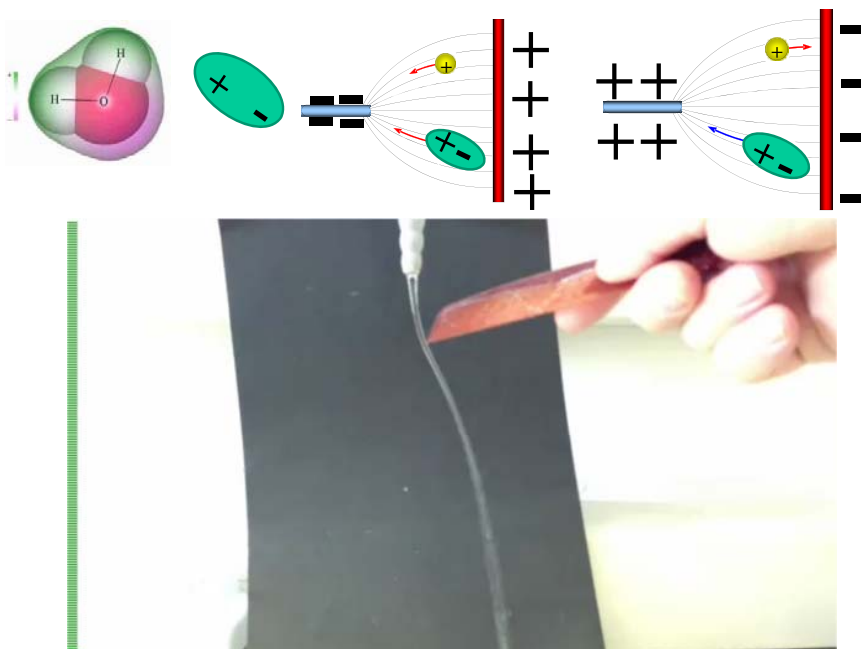
ϵ_r : relatív permittivitás (dielektromos állandó)

Az **árnyékoló hatás** mértéke a molekula elektronszerkezetének aszimmetriájától függ. Ha a molekula poláros, azaz az elektronok molekulán belüli eloszlása nem egyenletes, hanem aszimmetrikus, akkor ez a hatás erősebb, mint apoláros (szimmetrikus) elektroneloszlású molekulák esetében.



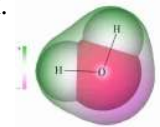
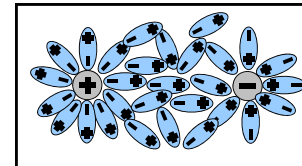
$$\mathbf{f}_c(\mathbf{r}_{1,2}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_A q_B}{r^2} \mathbf{e}_{1,2}$$

Anyag	Relatív permittivitás (Dielektromos állandó)
víz	80,1
hangyasav	51,1
dimetil-szulfoxid	47,2
dimetil-formamid	38,3
metanol	33,0
etanol	25,3
aceton	21,0
kloroform	4,8
benzol	2,3
hexán	1,9
levegő	1,0



Jó oldószer

A vízmolekulák az ionok körül rendezett szerkezetű **hidrát réteget** hoznak létre. Ezt a folyamatot **hidratációnak** nevezzük.



Dielektromos állandó 25 C°-on: 78,54

A különböző előjelű töltések közt ható erők a közeg dielektromos állandójának (relatív permittivitásának) növelésével csökkennek.

A **nagy dielektromos állandójú víz** az ionok kölcsönhatásának energiáját több mint 80-ad részére csökkenti. Ez a nagymértvű energia csökkentés felelős a víz kiváló oldó hatásáért.

Coulomb törvény

Vákuumban!

$$\mathbf{f}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{1,2}^2} \cdot \mathbf{e}_{1,2} \quad \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ J}^{-1} \text{ C}^2 \text{ m}^{-1}$$

$$\mathbf{E}_o(\mathbf{r}) = \frac{\mathbf{f}_1}{q_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_{1,2}^2} \cdot \mathbf{e}_{1,2} \quad U(r) = G(r) = \int_{\infty}^r E_o dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r}$$

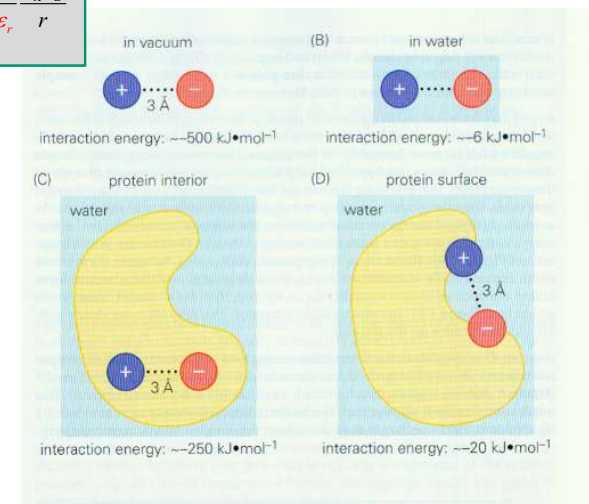
$$U(r) = G(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{1,2}}$$

$$r_{1,2} [\text{\AA}] \rightarrow U(r_{1,2}) = \left(\frac{q_1 \cdot q_2}{r_{1,2}} \right) \cdot 1391 \text{ kJ/mol}$$

$$S(r) = \frac{\partial G}{\partial T} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon^2 r_{1,2}} \frac{\partial \epsilon}{\partial T} \quad \Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

Közeg hatás

$$u_c(r) = \frac{1}{\epsilon_r} \cdot u_{c,o}(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q_A q_B}{r}$$



Energia-, vagy entrópikus eredetű a hidratált ionok közötti kölcsönhatás ?

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

$$\Delta U(r) = \Delta G(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_1q_2}{r}$$

$$\Delta S(r) = \frac{\partial \Delta G}{\partial T} = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r^2 r} \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T}$$

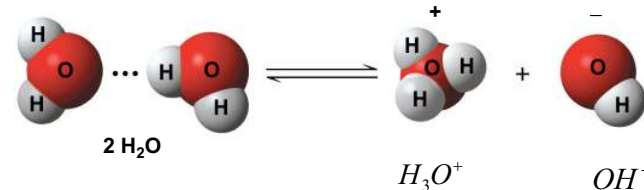
$$\Delta S(r) = \frac{\partial \Delta G}{\partial T} = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r^2 r} \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T} = \Delta G \frac{1}{\epsilon_r} \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T}$$

$$\frac{1}{\epsilon_r} \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T} = -0,0046 \longrightarrow \Delta S = -0,0046 \cdot \Delta G \longrightarrow T\Delta S = -1,38 \cdot \Delta G$$

Meyer B. Jackson: kísérleti adatokból

↑
entrópikus eredet!

Autoprotolízis

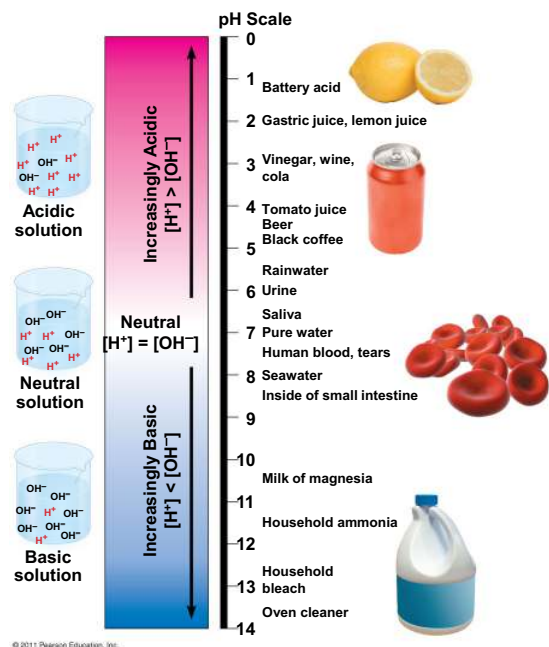


**hidroxonium
ion**

**hidroxid
ion**

$$K_v = 10^{-14} \longrightarrow pH \quad 10^{-7} \text{ mol / dm}^3 \quad 10^{-7} \text{ mol / dm}^3$$

Szerepe az életfolyamatokban: savas, semleges és lúgos formában egyaránt előfordulhat.



© 2011 Pearson Education, Inc.

Testnedvek, -folyadékok pH értéke

Szerv, folyadék vagy membrán	pH	pH funkciója
Bőr	4-6,5	Védelem a mikrobák ellen
Vizelet	4,6-8,0	Korlátozza a mikrobák túlszaporodását
Gyomor	1,35-3,5	Fehérjebontáshoz szükséges
Epe	7,6-8,8	Semlegesíti a gyomorsavat, segíti az emésztést
Hasnyálmirigy folyadék	8,8	Semlegesíti a gyomorsavat, részt vesz az emésztésben
Agyl-gerincvelői folyadék	7,3	Védelmet képez
Intracelluláris folyadék	6,0-7,2	A sejtek savtermelésének megfelelően
Vérszérum, vénás	7,35	Szűk határokon belül szabályozott
Vérszérum, artériás	7,45	Szűk határokon belül szabályozott

MNO grafika/ Kötél Kinga

Savas karakterűek	Lúgos karakterűek	Semlegesek
Gabonából készült kenyér	Sajtok	Vaj
Egyéb gabonából készült élelmiszerek	Tészta	Édességek
Malinéz	Lekvár	Fekete kávé
Szilva	Teljes tej	Kukoricakeményítő
Hús	Szeletelt gyümölcsök	Diszidózis
Dió	Mandula	Margarin
Földimogyoró	Mélsz	Növényi olaj
Hüvelyesek	Legtöbb zöldség	Kristálycukor

Grafika: MNO Grafika / Máté István

Készítve

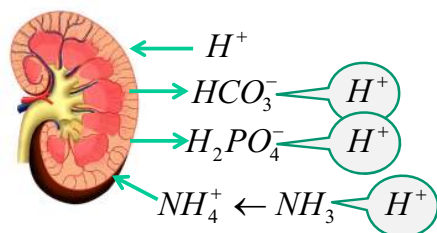
ÓVAKODJ!



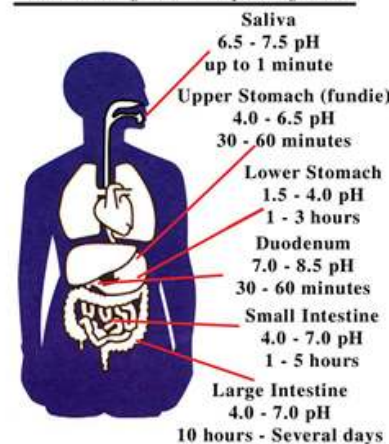
AZÉRT MERT MILLIÓAN HISZÜNK
EGY BOLOND DOLOGBAN
Attól az még boldogság marad!

A vér pH-ja

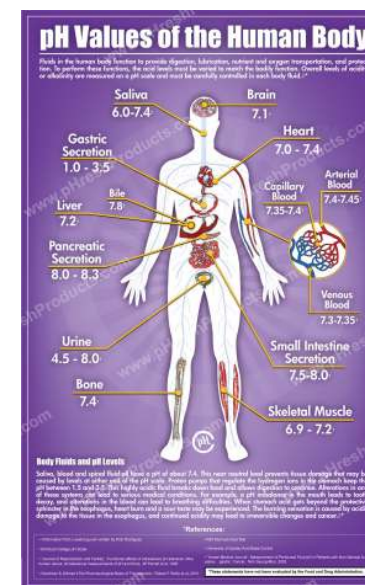
M=70 kg \rightarrow $0,1 \text{ mol } H^+$
 $12 \text{ mol } CO_2$ } $pH=?$



The Human Digestive Tract pH Range Chart



The diagram illustrates the average time food spends in each part of the digestive system along with the average pH.



A szervezet folyadékterei

Intracelluláris folyadéktér **ICF**

A sejten belüli folyadék-
mennyiséget jelöli.
A testsúly kb. 36 %-a (25 l).

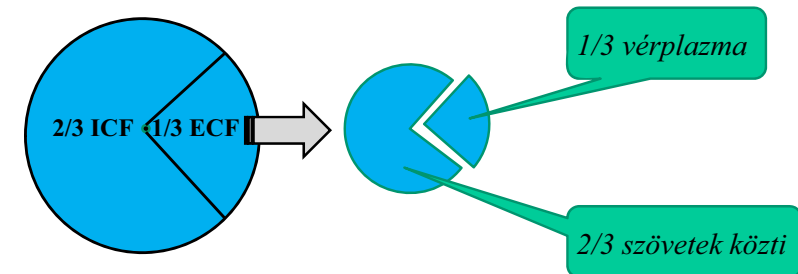
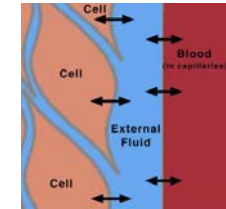
Extracelluláris folyadéktér **ECF**

A sejten kívüli összes
folyadékmennyiséget jelöli.
A testsúly kb. 24 %-a (17 l).

*Plazmavíz
Intersticiális folyadék
Fibrózus kötőszövet
Csontállomány víztartalma
Transzcelluláris folyadék*

Vizes oldatok sejtszintű megoszlása

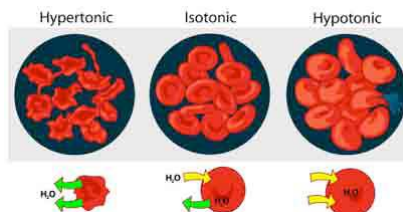
víz → **Intracelluláris folyadék (ICF)**
→ **Extracelluláris folyadék (ECF)**



Izotóniás oldatok: ha két különböző oldat ozmózisnyomása egyező

Ha a koncentráció kisebb, mint az izotóniás oldaté, akkor:
víz → sejt **hipotóniás oldat**
Az extracelluláris térfogat növekszik.

Ha a koncentráció nagyobb, mint az izotóniás oldaté, akkor:
környezet ← sejtvíz **hipertóniás oldat**
Az intracelluláris térfogat csökken



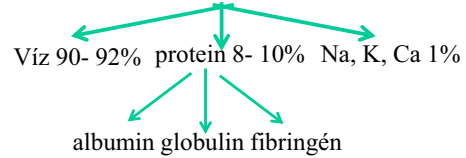
Testfolyadék összetétele

anyag	ICF [%]	ECF	
		szöveti [%]	plazma [%]
K^+	75	3	3
Mg^{2+}	17	1	1
Na^+	6	94	94
Ca^{2+}	2	2	2
protein	27	-	10
PO_4^{3-}	20	1	1
HCO_3^{2-}	6	18	16
Cl^-	2	77	69
más	45	4	4

Vér

Felnőtt ember keringő vértömege az össztömegének 6-8 %-a.
(4 – 6 l)

Összetétele: vérplazma 55%, alakos elemek 45%.



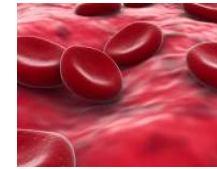
Viszkozitása 4 -5 szöröse a vízének (3 – 6 mPas)

Sűrűsége: $1060 \text{ kg} / \text{m}^3$ pH : 7,35–7,45

Osmolaritása: 300 mOsm (0.3 Osm)

Hőmérséklete: 38°C

Legfontosabb szerepe: **anyag**transzport és **energia**(hő)transzport



5 millió vörösvértest minden mm^3 -ben.

0,8 % bomlik és keletkezik minden nap

