



SEMMELWEIS EGYETEM

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet
Nanokémiai Kutatócsoport



A biológiai- és ipari anyagok jellegzetes tulajdonságainak összehasonlítása.

Zrínyi Miklós

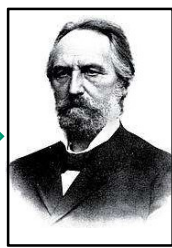
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja
mikloszrinyi@gmail.com

2020

→ A biofizika kezdete



(A.L. Lavoisier 1743-1794)



(Adolf Eugene Fick 1829-1901)



(Max Rubner 1854-1932)

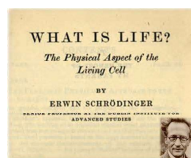


(Erwin Schrödinger (1887-1961))

"...respiration is nothing but a slow combustion of carbon and hydrogen..."

A fizika elveit alkalmazta életfolyamatok leírására. A diffúzió elméletének kidolgozója.

Elsőként állította, hogy a termodinamika törvényei alkalmazhatók élő rendszerekre.

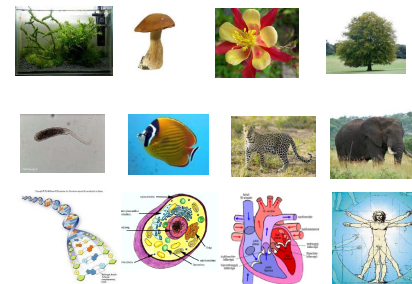


fizika → biofizika

A **fizika** az **élettelen** tárgyak olyan mozgásaival foglalkozik, amelyek nem okoznak mélyreható változást az anyag szerkezetében.

↑
Ez mára már elavult!

A **biofizika** **életfolyamatok és biológiai rendszerek** tulajdonságainak leírása a fizika, fizikai-kémia és biológia törvényei alapján.



anyagtudomány →

biológiai anyagtudomány ?

A fizika ugyanaz, csak az anyag más!

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 és felhasználásának elvi alapjaival foglalkozó tudomány.

Technikai anyag ↔ Élő anyag

KÉMIAI SZERKEZET
TULAJDONSÁG
FELHASZNÁLÁS

KÉMIAI SZERKEZET
TULAJDONSÁG
FUNKCIÓ

többnyire

kemény
merev
száraz

többnyire

lágý
rugalmas
nedves

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 anyagok azok a szintetikus anyagok, amelyek összetételét, strukturáját vagy funkcióját a természetből vett példa szolgáltatja.

biológiai anyagtudomány ? → bio-inspirált technológiák

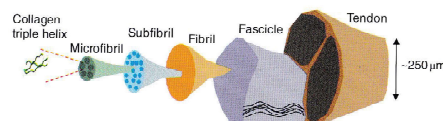
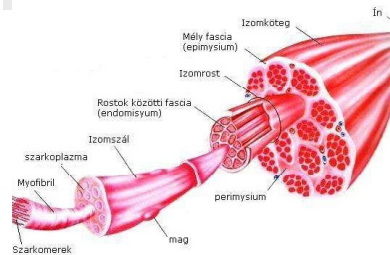
Technikai anyag ↔ Élő anyag

nem hierarchikus

hierarchikus



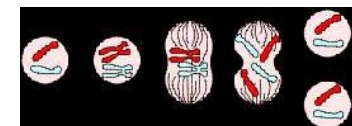
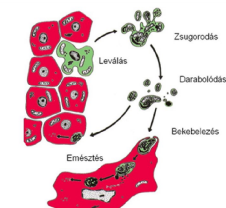
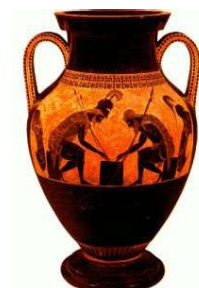
monolit
kompozit



Technikai anyag ↔ Élő anyag

állandóság

folytonos megújulás

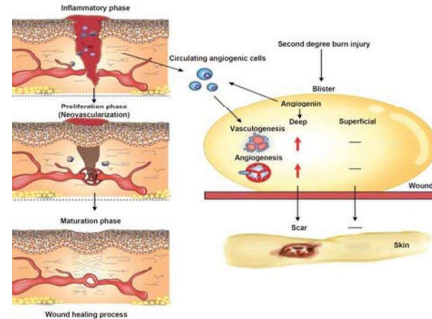


Technikai anyag ↔ Élő anyag

korrózió, károsodás



öngyógyulás



Technikai anyag ↔ Élő anyag

passzív



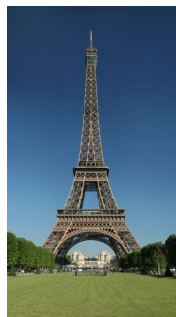
alkalmazkodó képesség



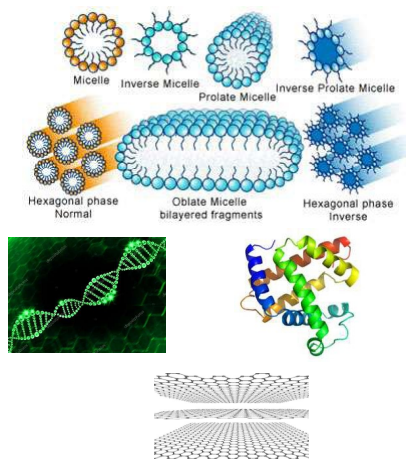
Mimóza (Mimosa pudica)

Technikai anyag ↔ Élő anyag

mérnöki struktúrák

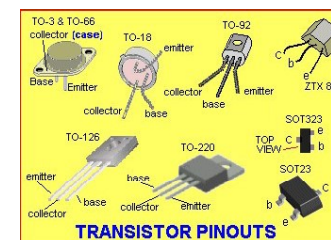


önszerveződő struktúrák

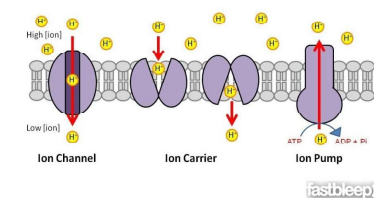


Technikai anyag ↔ Élő anyag

elektronok



ionok



Technikai anyag



Élő anyag

termikusan ellenálló



hőmérséklet érzékeny



Technikai anyag



Élő anyag

folyamatos energia ellátás

működés közben



szakaszos energia ellátás

működés közben



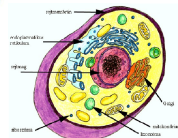
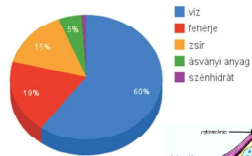
Technikai anyag



Élő anyag

atomok és molekulák

sejtek



víz,
ionok,
lipidek,
cukrok,
aminosavak,
nukleinsavak
makromolekulák

fémek,
üvegek,
kerámiák,
műanyagok

Technikai anyag



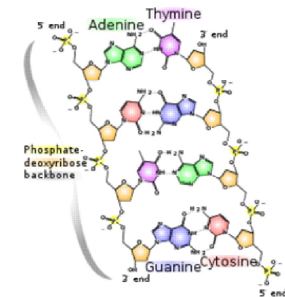
Élő anyag

műanyagok



Lebomlás?

makromolekulák



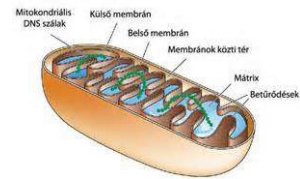
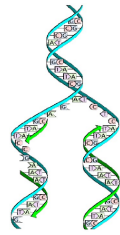
Primer, szekunder és terciér szerkezettől függő élettani tulajdonságok

Technikai anyag ↔ Élő anyag

vegyipar



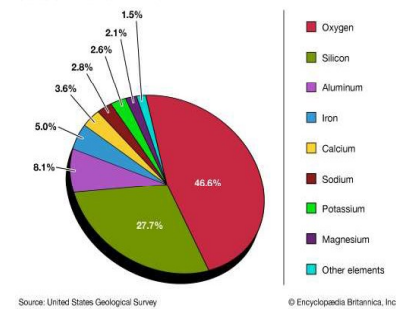
bioszintézis



Technikai anyag ↔ Élő anyag

összetétel

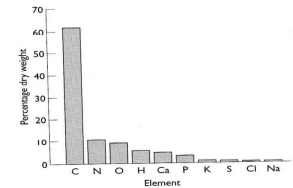
Composition of Earth's Crust



átlagos sejt összetétel

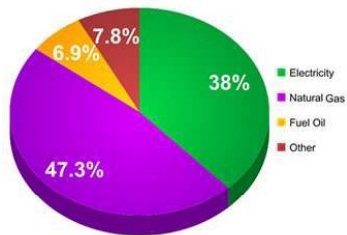
molekula	%
víz	70
szervetlen ionok	1
cukrok	3
aminosavak	0,5
nukleotidok	0,5
lipidek	2
makromolekulák	22

DNS
RNS
fehérjék
poliszacharidok

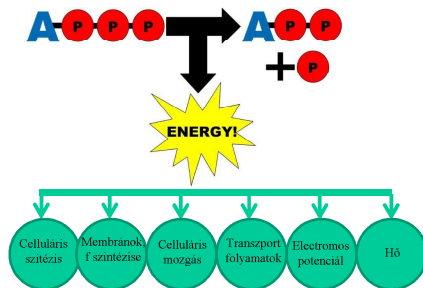


Technikai anyag ↔ Élő anyag

változatos energiaforrások



ATP



Technikai anyag ↔ Élő anyag

folyadék



folyadék

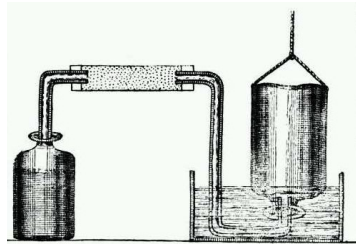
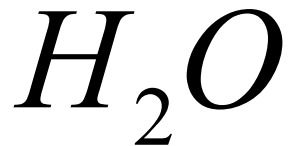


Biológiai rendszerek különleges komponense, a víz



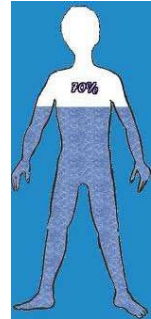
Thales már Krisztus előtt 580-ban felismerte, hogy a víz „minden dolgok forrása”.

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



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 előre haladtával a víz aránya csökken.



A napi vízleadás és vízfelvétel mérlegének mindkét oldalán átlagosan 2,5 liter szerepel: ennyi víz távozik a szervezetünkől 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.

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

Napi felvétel: 2500 ml

Napi leadás: 2500 ml

ital 1600 ml

→ vizelet 1500 ml

étel 700 ml

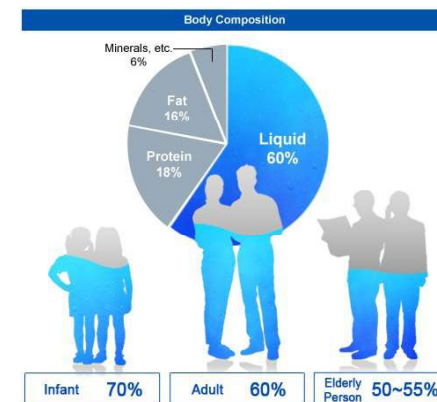
→ széklet 200 ml

→ párolgás 400 ml

→ izzadás 100 ml

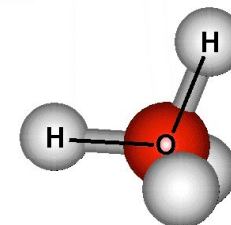
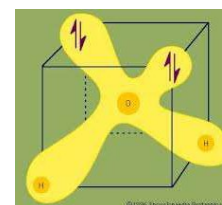
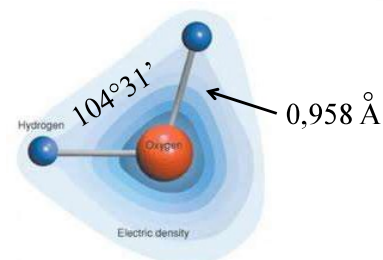
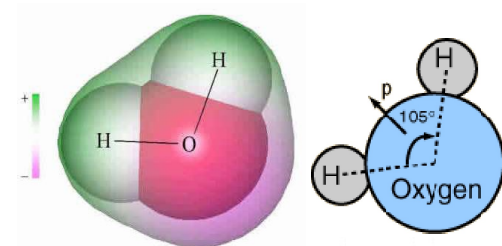
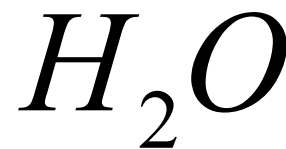
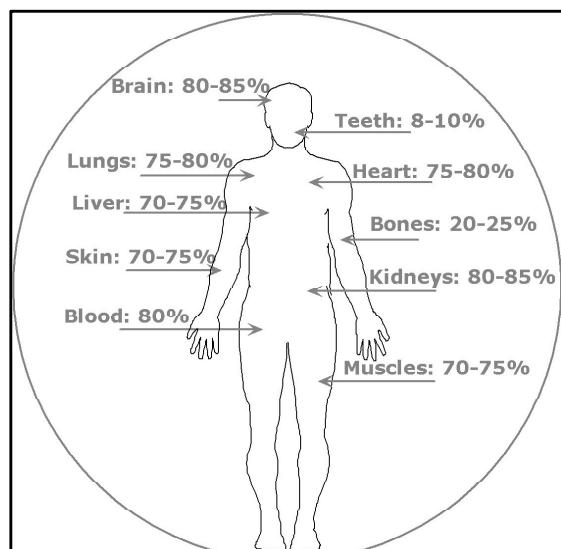


Ezek átlagos mennyiségek!



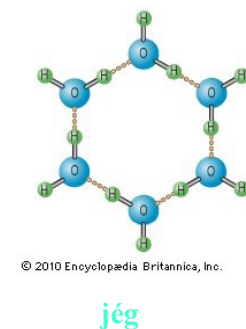
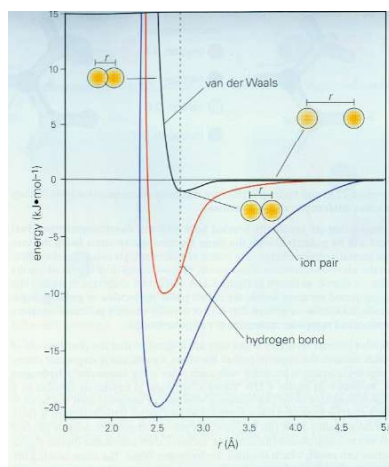
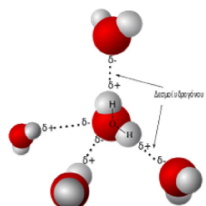
70 kg-os férfi szervezet átlagos folyadékmennyisége: 42 l.

Különböző testrészek átlagos folyadék tartalma



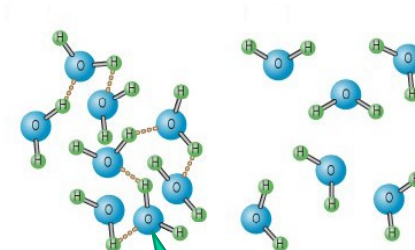
A hidrogénhíd

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



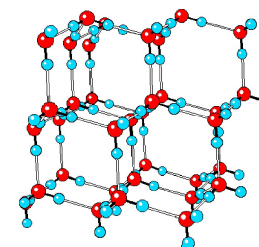
© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

jég

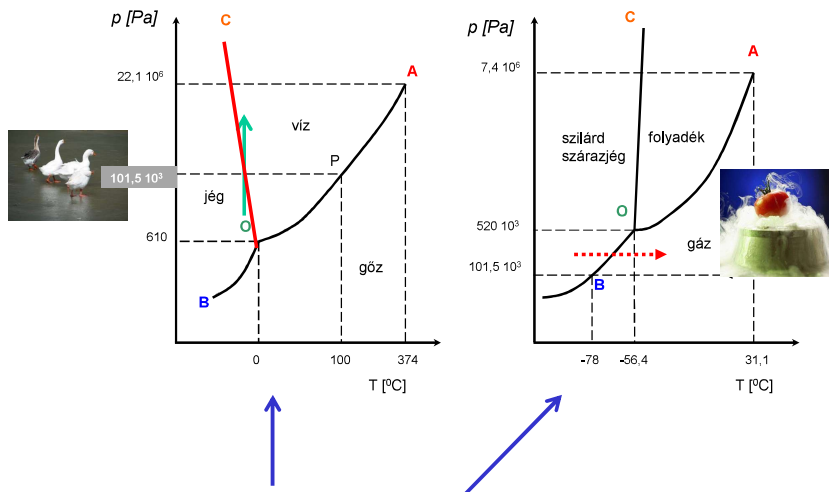


víz

vízgőz

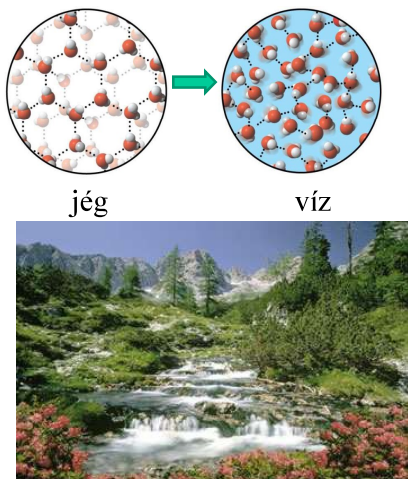


A víz moláris térfogata 4°C -on minimális, sűrűsége pedig maximális



A víz és a szén-dioxid fázisdiagramja.

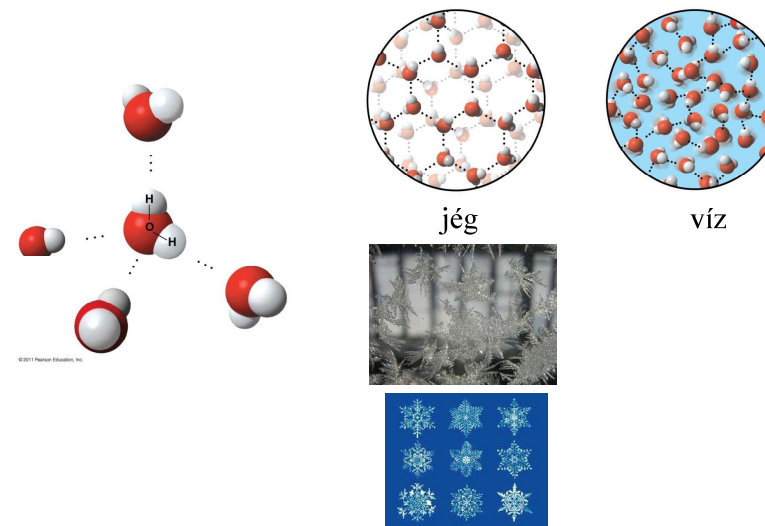
A víz egyik különlegessége, hogy moláris térfogata 8%-al csökken olvadáskor. Ez azt jelenti, hogy a nyomás növelése az olvadást segíti elő.



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

- a jég lesüllyedne a vízben,
- folyók teljes egészében befagynának,

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



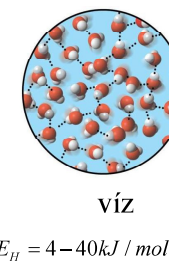
Víz hőkapacitása

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

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.

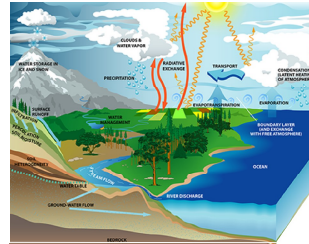
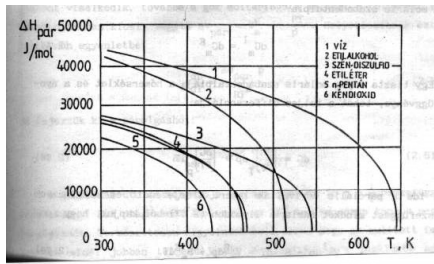
$$c_p = 4180 \text{ J/kgK} \text{ szobahőmérsékleten}$$

Szerepe az életfolyamatokban: testhőmérséklet szabályozása a nagy hőkapacitás segítségével



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.



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



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

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

Nem kedveli az apoláros felületeket
(pl. teflon)



Nagy felületi feszültség

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

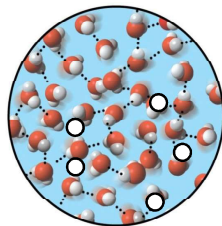


Szerepe az életfolyamatokban: intenzívebb folyadék felszívódás.



Jó oldószer

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



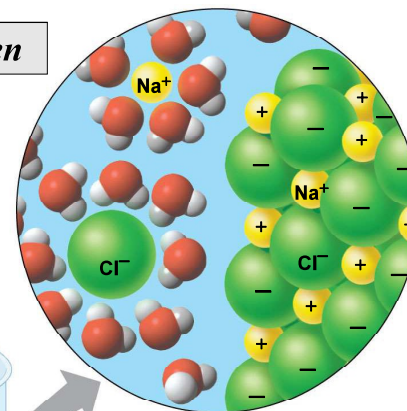
A jól elegyedik poláros molekulákkal (CH_3CH_2OH)

Mengyelejev szabadalma alapján



Sók oldása vízben

Jó oldószer

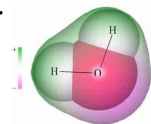
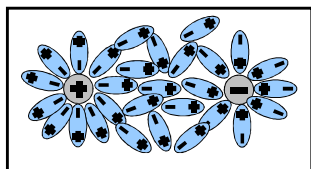


Miért különülnek el a kationok és az anionok?
A Coulomb törvény talán nem érvényes?

© 2011 Pearson Education, Inc.

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 nagymérvű energia csökkentés felelős a víz kiváló oldó hatásáért.

Coulomb törvény

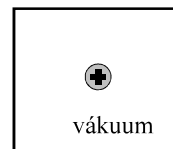
Vákuumban!

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

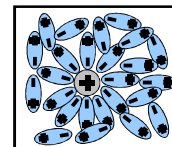
$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ J}^{-1} \text{ C}^2 \text{ m}^{-1}$$



Közeg hatás!



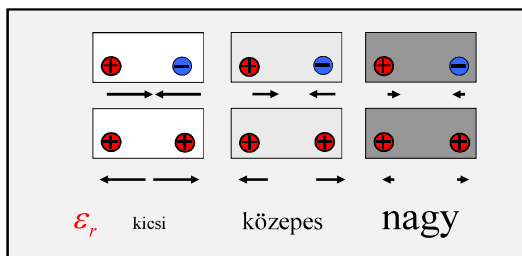
(szolvatáció)
hidratáció



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

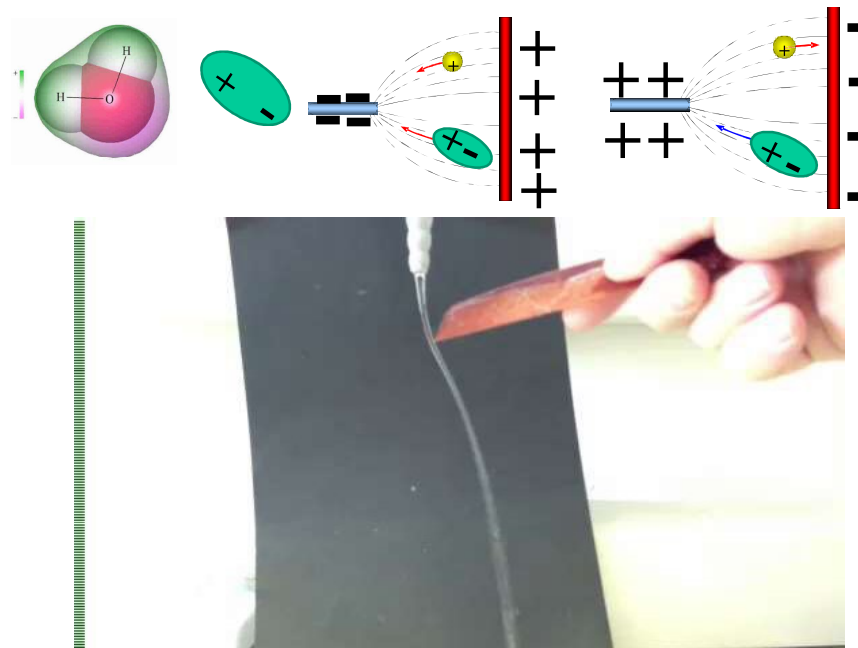
ϵ_r : relatív permittivitás (dielektromos állandó)

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 esetén.



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

Anyag	Relatív permittivitás (Dielektromos állandó)
víz	78,5
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



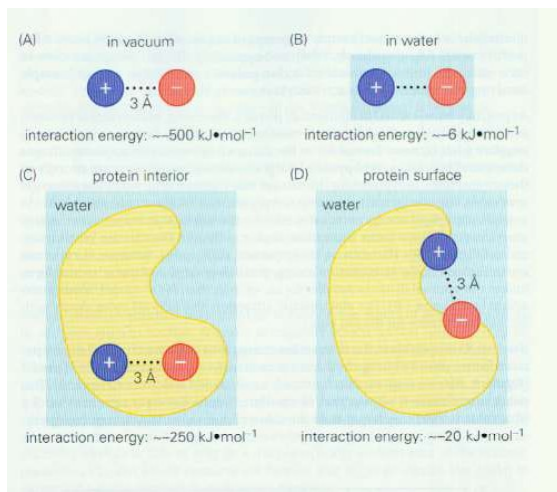
Közeg hatás

$$\mathbf{f}_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{1,2}^2} \cdot \mathbf{e}_{1,2}$$

$$\mathbf{E}_o(\mathbf{r}) = \frac{\mathbf{f}_1}{q_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_2}{r_{1,2}^2} \cdot \mathbf{e}_{1,2}$$

$$U(r) = G(r) = \int_{\infty}^r E_o dr = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r}$$

$$u_c(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_A q_B}{r}$$



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

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

$$dG = Vdp - SdT$$

$$\Delta U(r) = \Delta G(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r}$$

$$\Delta S(r) = -\frac{\partial \Delta G}{\partial T} = -\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r^2 r} \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T}$$

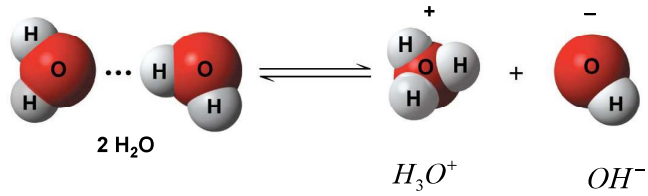
$$\Delta S(r) = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r r} \cdot \frac{\partial \epsilon_r}{\epsilon_r \partial T} = \Delta G \frac{1}{\epsilon_r} \frac{\partial \epsilon_r}{\partial T}$$

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

Meyer B. Jackson: kísérleti adatokból

↑
entrópikus eredet!

Autoprotolízis



hidroxonium
ion

hidroxid
ion

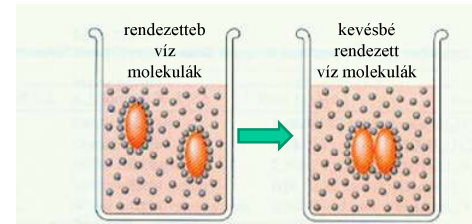
$$K_v = 10^{-14} \rightarrow pH \quad 10^{-7} \text{ mol} / \text{dm}^3 \quad 10^{-7} \text{ mol} / \text{dm}^3$$

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

Hidrofób kölcsönhatás

$$\text{hajtóerő} \rightarrow \Delta S > 0 \rightarrow \Delta G < 0$$

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

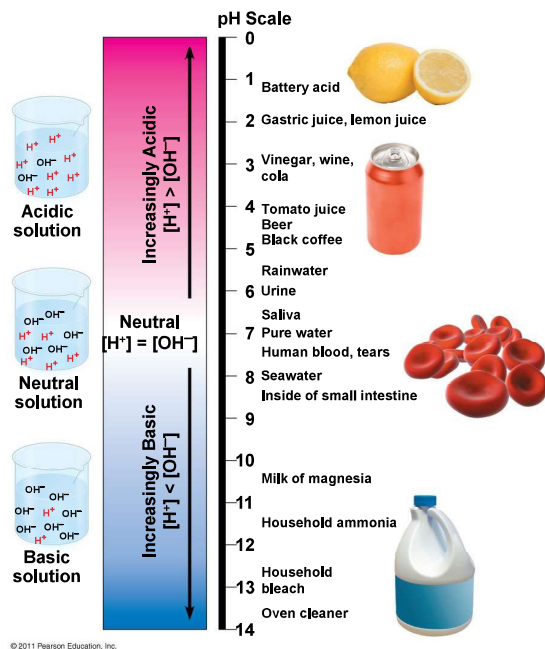
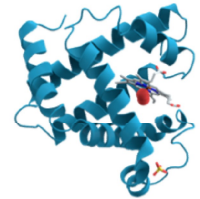


$$\Delta H > 0$$

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



W. Kauzman



Savas karakterűek	Lúgos karakterűek	Semlegesek
Gabonából készült kenyér	Sajtok	Vaj
Egyéb gabonából készült ételek	Tejzsin	Édeszségek
Majonéz	Lekvár	Fekete kávé
Szilva	Tej	Kukoricakeményítő
Hús	Szűldi gesztenye	Disznózsír
Dió	Mandula	Margarin
Földimogyoró	Melasz	Növényi olaj
Hüvelyesek	Legtöbb zöldség	Kristálycukor

Grafika: MNO Grafika / Máté István

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

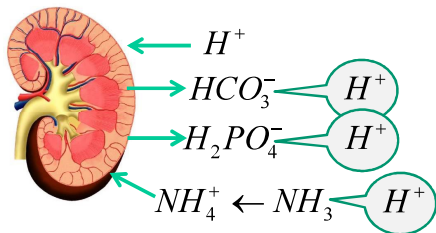
pH értékek a szervezetben

- Vér 7,35-7,45
- Szájüreg 6,2-7,2
- Gyomor 1-3
- Patkóbél (Duodenum) 4,8-8,2
- Éhbél (Jejunum) 6,3-7,3
- Csípőbél (Ileum) 7,6
- Vastagbél 7,8-8,0
- Végbél 7,8
- Agyfolyadék 7,3-7,4
- Hüvely 3,4-4,2
- Vizelet 4,8-7,5
- Izzadság 4,0-6,8
- Tej 6,6-7,0

14

A vér pH-ja

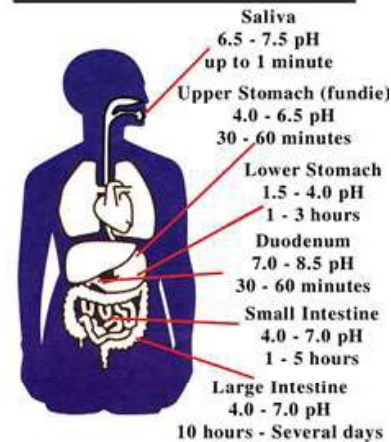
M=70 kg → 0,1 mol H^+
12 mol CO_2 } pH=?



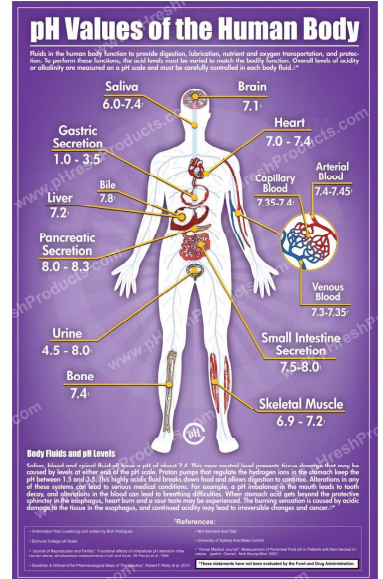
pH → 4,5



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).

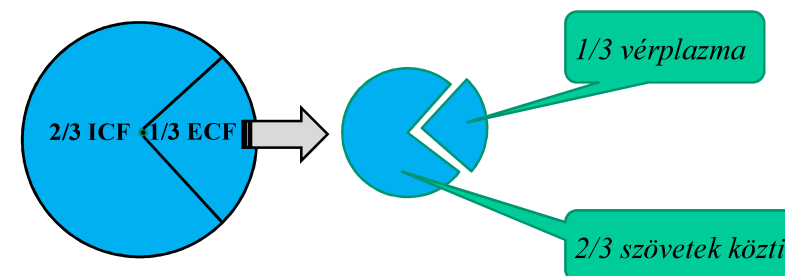
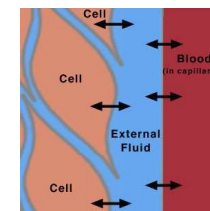
*Plazmavíz
Intersticiális folyadék
Fibrózus kötőszövet
Csontállomány víztartalma
Transzcelluláris folyadék*

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

Vizes oldatok sejtszintű megoszlása

víz → **Intracelluláris folyadék (ICF)**
→ **Extra**celluláris folyadék (ECF)



Vér

A felnőtt ember keringő vértömege össztömegének 6 -8 %-a.
(4 – 6 l)

Összetétele: vérplazma 55%, alakos elemek 45%.

Víz 90- 92% protein 8- 10% Na, K, Ca 1%
albumin globulin fibrinogén

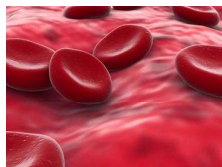
Viszkozitása 4 -5 szöröse a vízének (3 – 6 mPas)

Sűrűsége: 1060 kg / m³ pH: 7,35–7,45

Ozmolaritása: 300 mOsm (0.3 Osm)

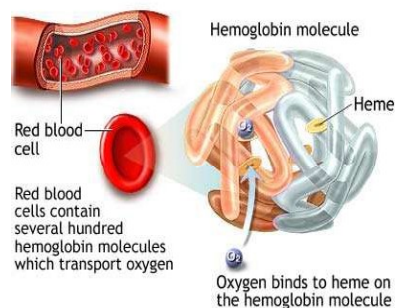
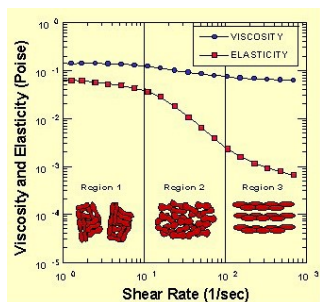
Hőmérséklete: 38°C

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



5 millió vörösvértest minden mm^3 -ben.

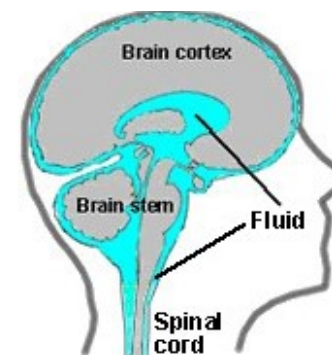
0,8 % bomlik és keletkezik minden nap



Agyvíz = liquor □ 120 ml

□ 500 ml

Legfontosabb szerepe: védelem, szövet táplálás,



Készítve

ÓVAKODJ !



<http://mta.hu/tudomanyunnep2017/csodavizek-csodasok-fabian-istvan-tudomanyunnepi-eloadasa-videon-108268>



Érdemes megnézni!