



SEMMELWEIS EGYETEM

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet,
Nanokémiai Kutatócsoport

Lágy Anyagok
Laboratóriuma

A biológiai- és ipari anyagok jellegzetes tulajdonságainak összehasonlítása.

Van-e létjogosultsága biológiai anyagtudománynak?

Zrínyi Miklós

egyetemi tanár, az MTA rendes tagja

mikloszrinyi@gmail.com

fizika → **biofizika**

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



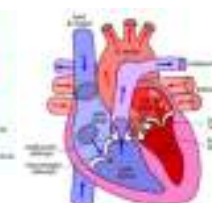
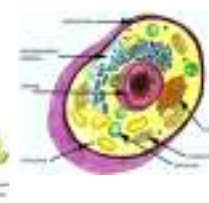
Ez mára már elavult!



anyagtudomány



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



biológiai anyagtudomány ?

→ A biofizika kezdete



(A.L. Lavoisier 1743-1794)



(Adolf Eugene Fick 1829-1901)



(Max Rubner 1854-1932)

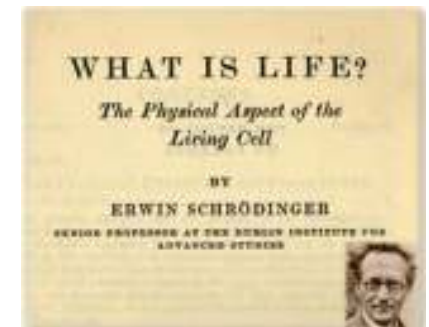


(Erwin Schrödinger (1887-1961))

“...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.



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

lág

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, struktúráját vagy funkcióját a természetből vett példa szolgáltatja.

biológiai anyagtudomány  bio-inspirált technológiák

Technikai anyag



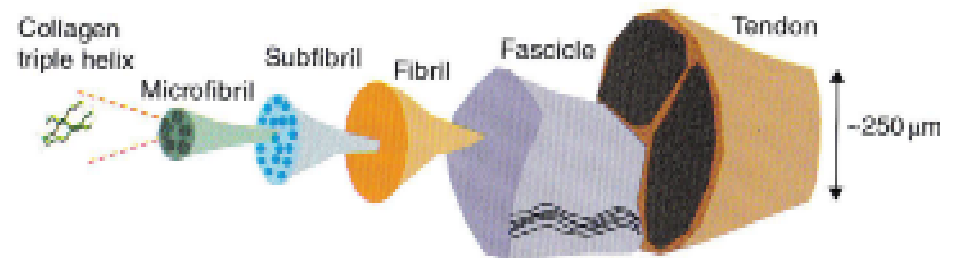
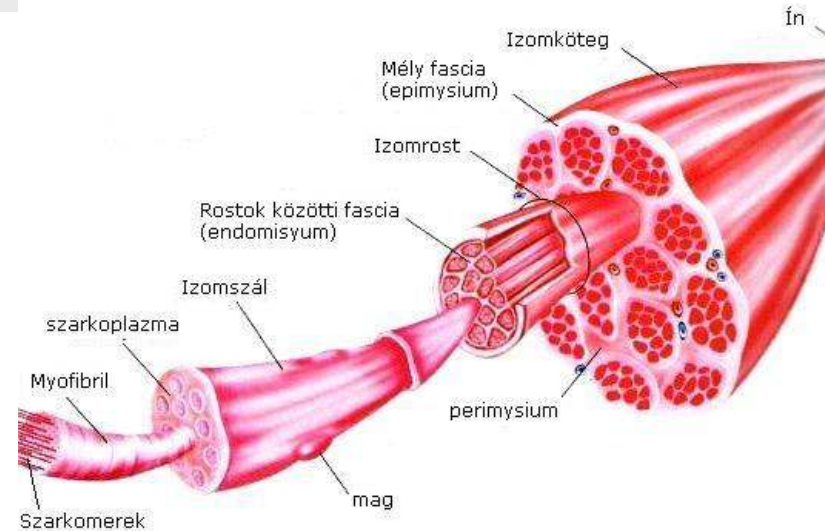
Élő anyag

nem hierarchikus

hierarchikus

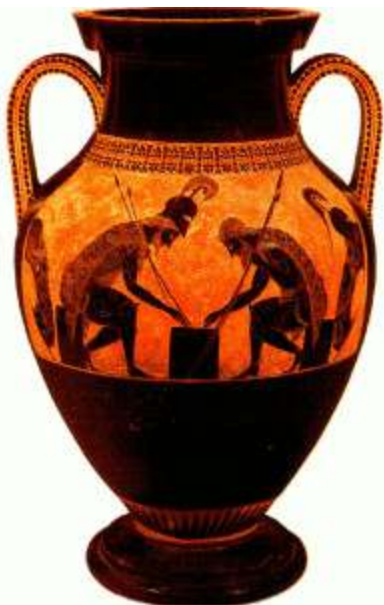


monolit
kompozit



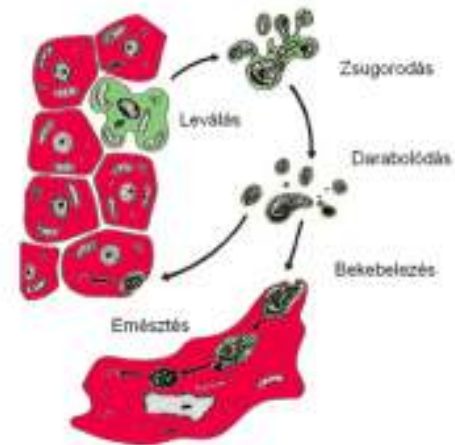
Technikai anyag

állandóság



Élő anyag

folytonos megújulás



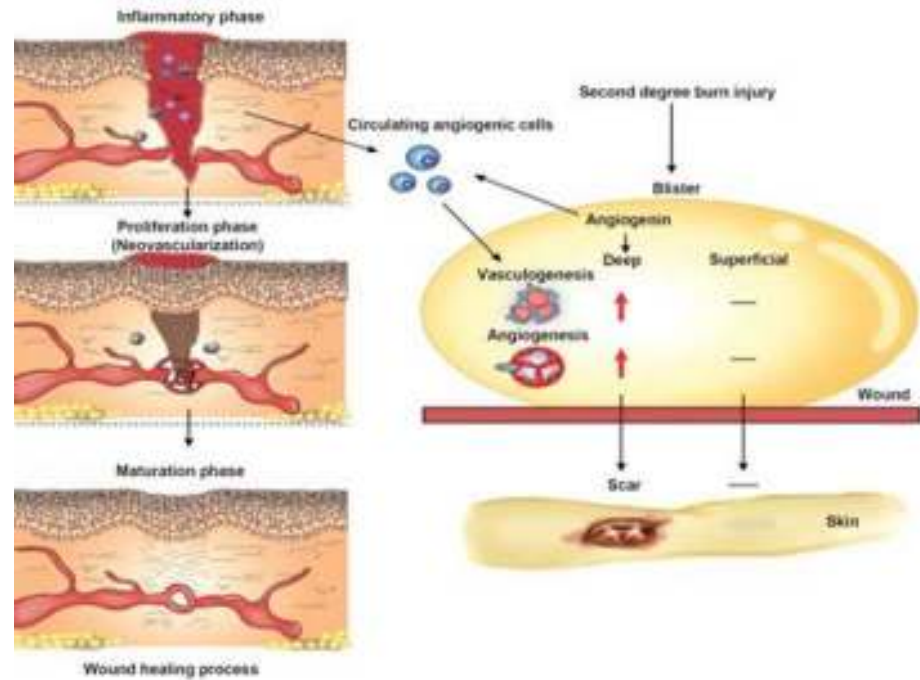
Technikai anyag

korrózió, károsodás



Élő anyag

öngyógyulás



Technikai anyag



Élő anyag

passzív

alkalmazkodó képesség



Mimóza (Mimosa pudica)

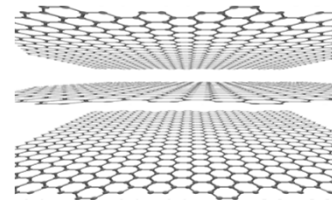
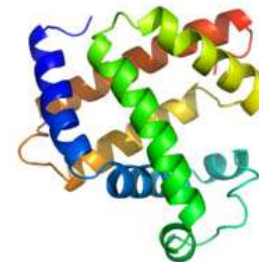
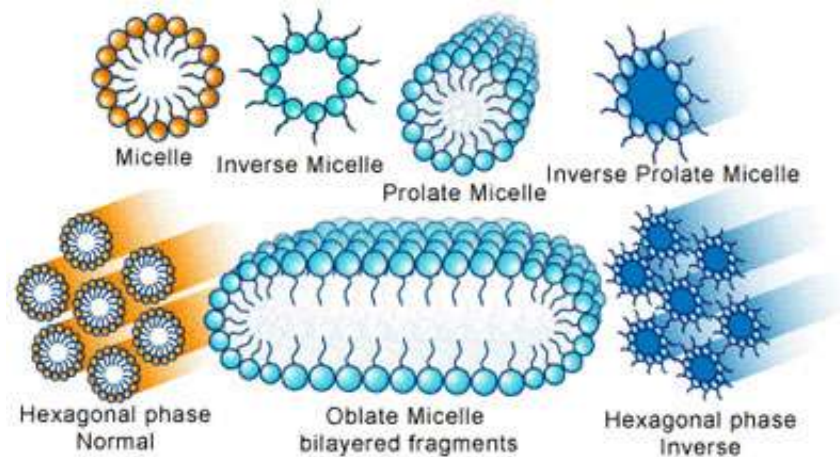
Technikai anyag

mérnöki struktúrák



Élő anyag

önszerveződő struktúrák



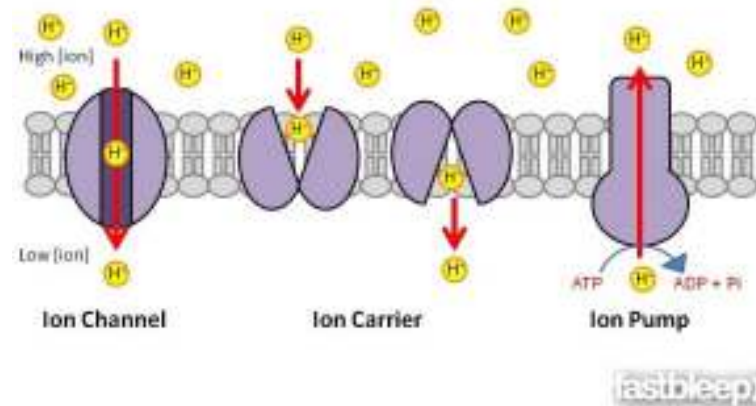
Technikai anyag

elektronok



Élő anyag

ionok



Technikai anyag



Élő anyag

termikusan ellenálló

hőmérséklet érzékeny



Technikai anyag



Élő anyag

folyamatos energia ellátás

szakaszos energia ellátás



Technikai anyag

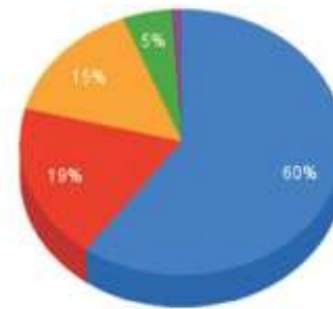
atomok és molekulák



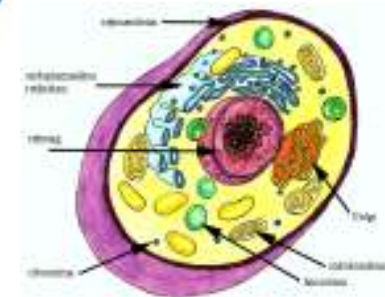
Élő anyag

sejtek

fémek,
üvegek,
kerámiák,
műanyagok



víz
fehérje
zsír
ásványi anyag
szénhidrát



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

Technikai anyag

műanyagok

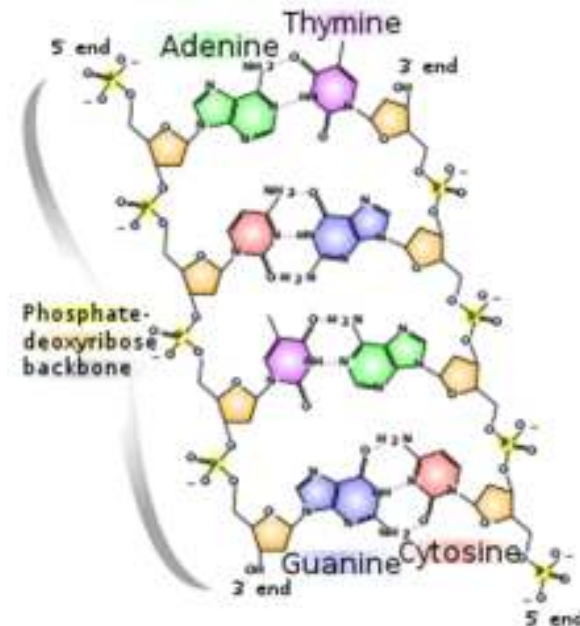


Élő anyag

makromolekulák



Lebomlás?



Primer, szekunder és terciér szerkezettől függő élettani tulajdonságok

Technikai anyag

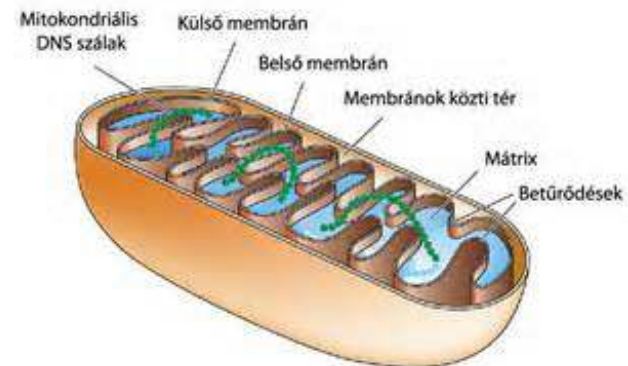


Élő anyag

vegyipar



bioszintézis



Technikai anyag

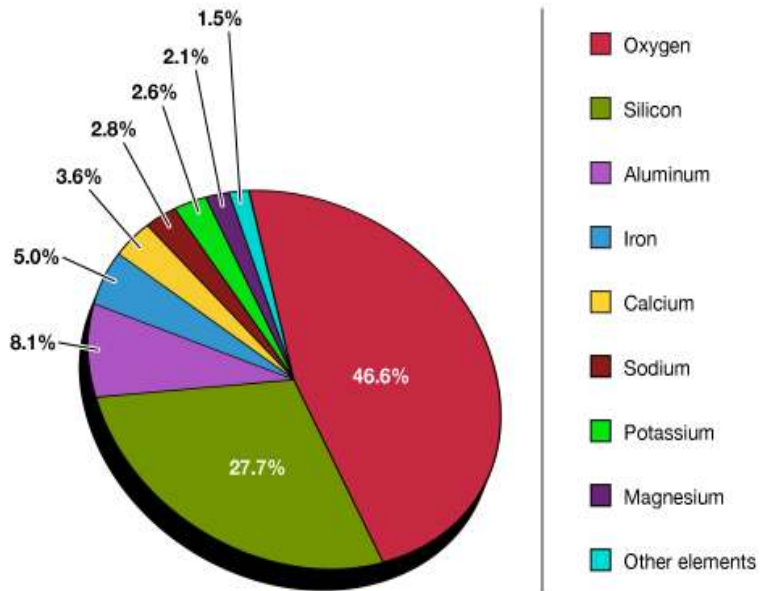


Élő anyag

összetétel

átlagos sejt összetétel

Composition of Earth's Crust

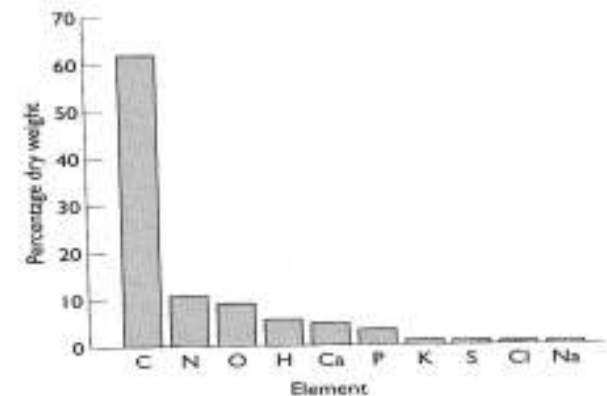


Source: United States Geological Survey

© Encyclopædia Britannica, Inc.

DNS
RNS
fehérjék
poliszacharidok

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



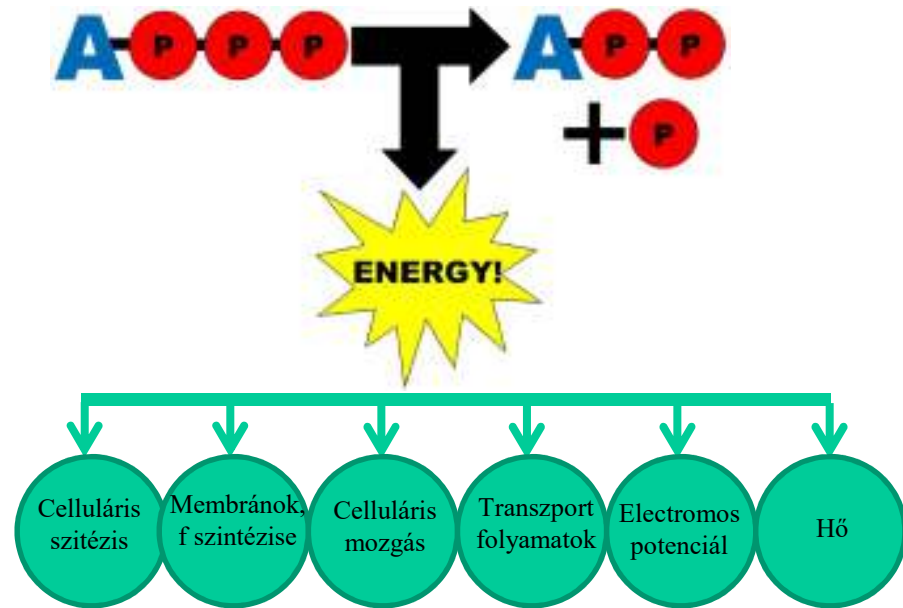
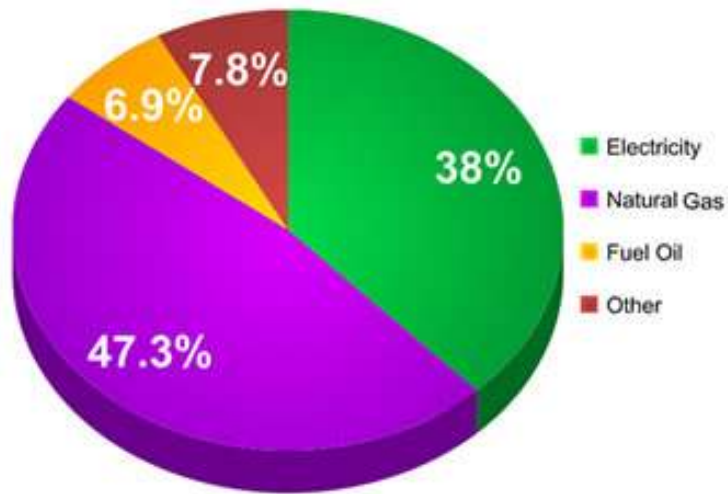
Technikai anyag



Élő anyag

változatos energiaforrások

ATP



Technikai anyag



Élő anyag

folyadék

folyadék

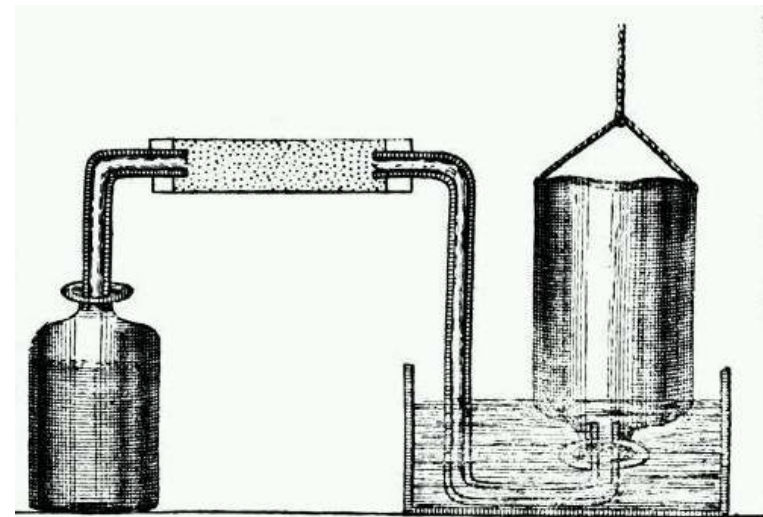
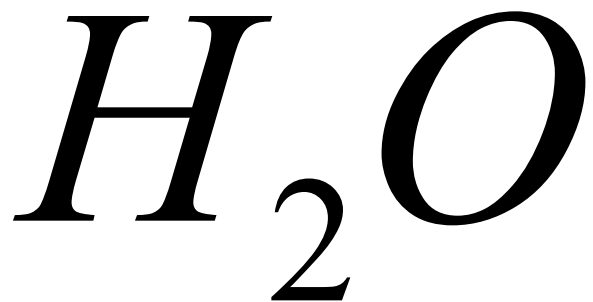


Biológiai rendszerek különleges komponense, a víz



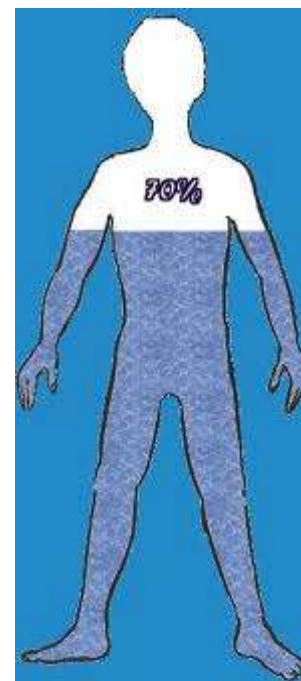
Thales már Krisztus előtt 580-ban felismerte, hogy a víz **„minden dolgok forrása”**.

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 →

étel 700 ml →

200 ml

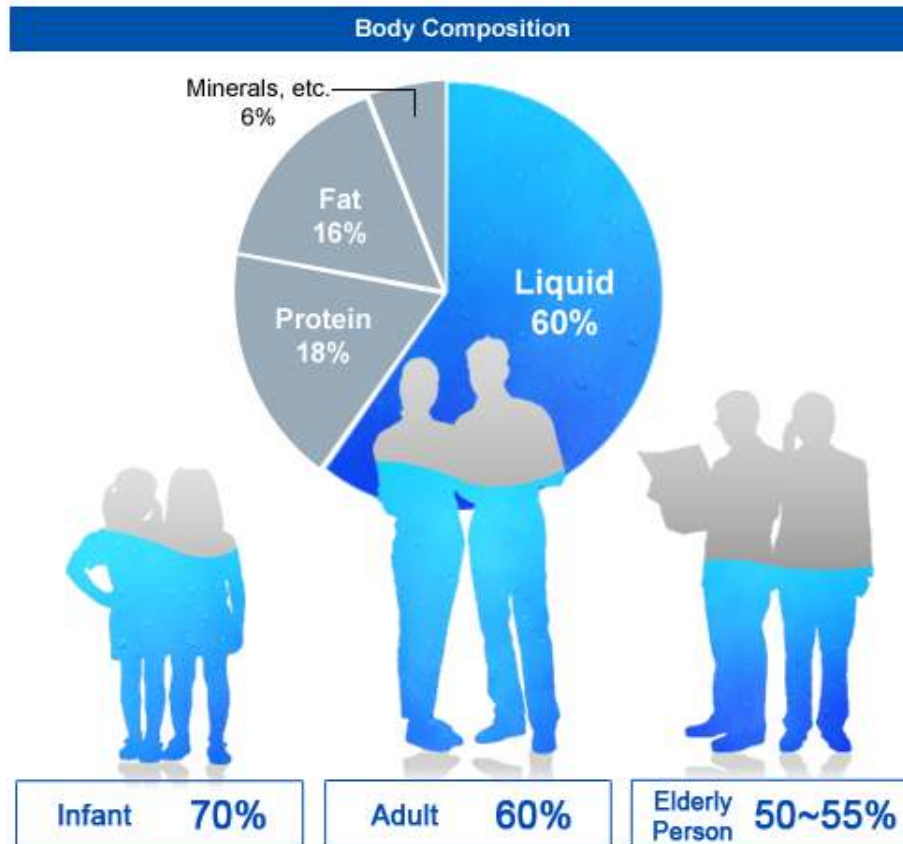
→ vizelet 1500 ml

→ széklet 200 ml

→ párolgás 400 ml

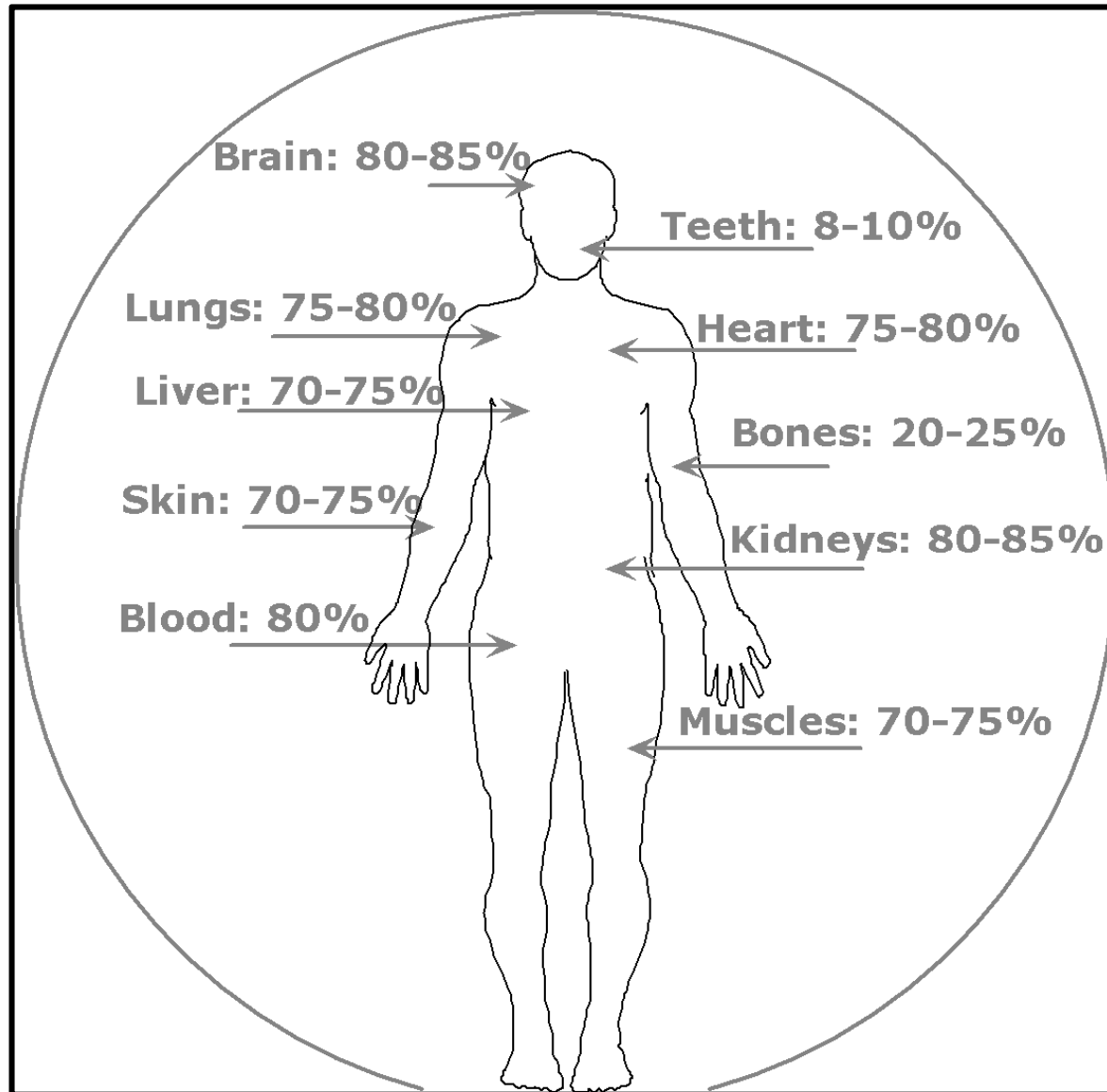
→ izzadás 100 ml

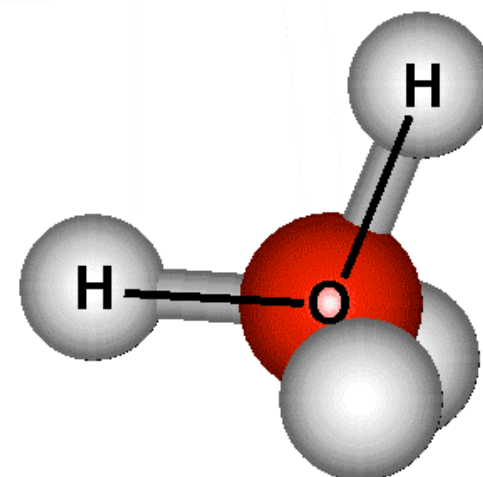
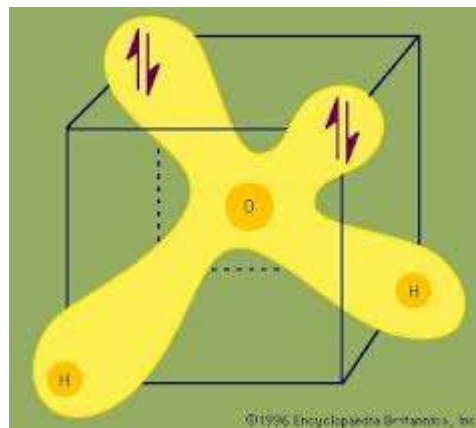
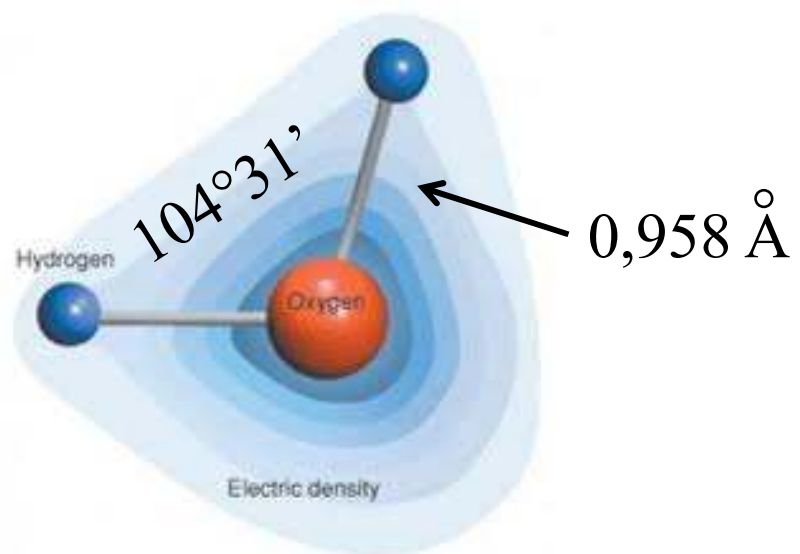
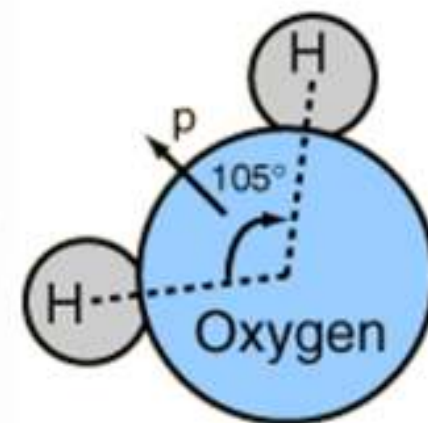
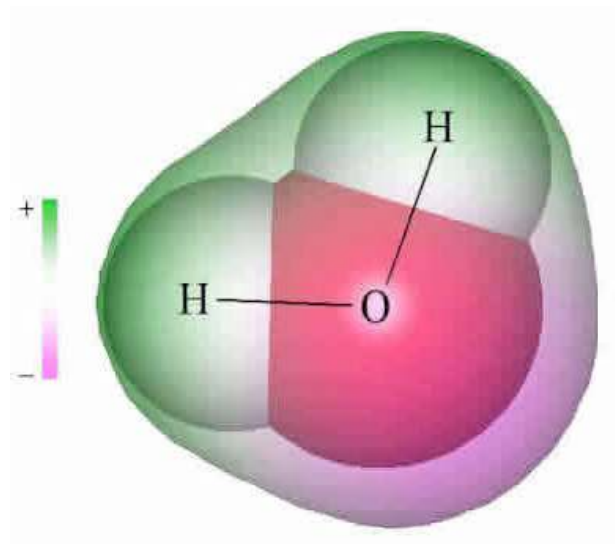
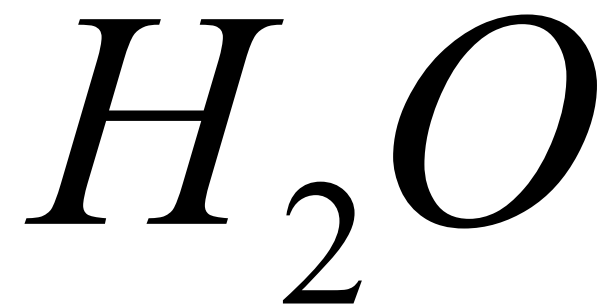
Ezek átlagos mennyiségek!



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

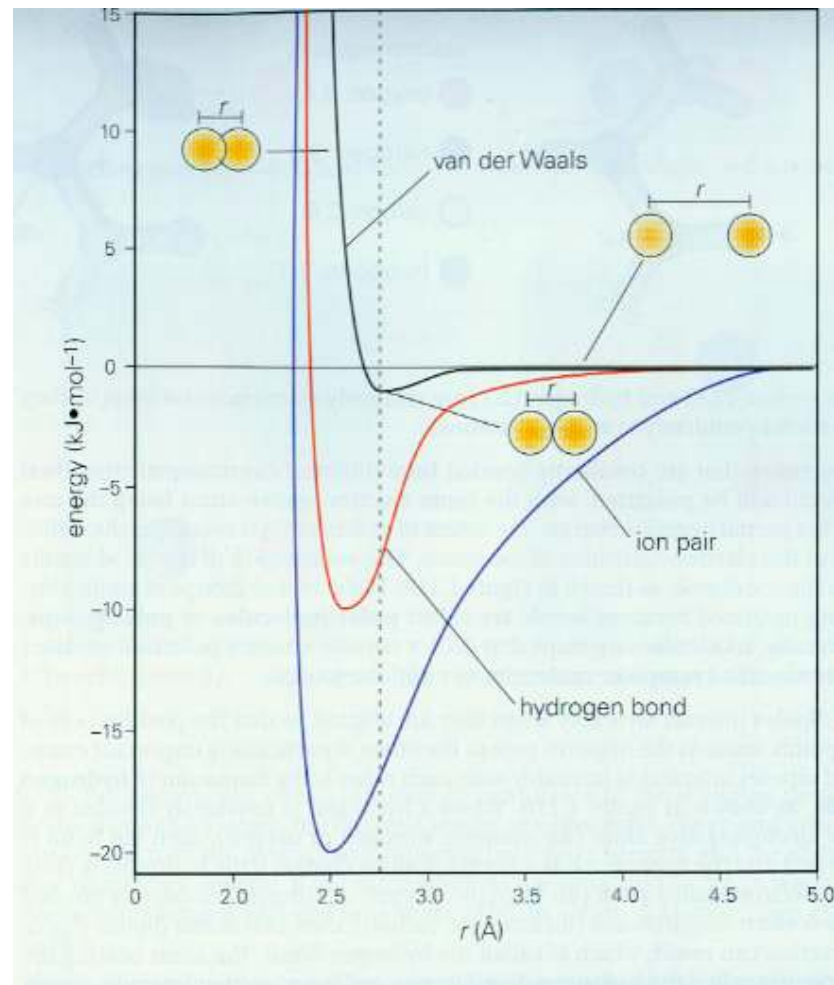
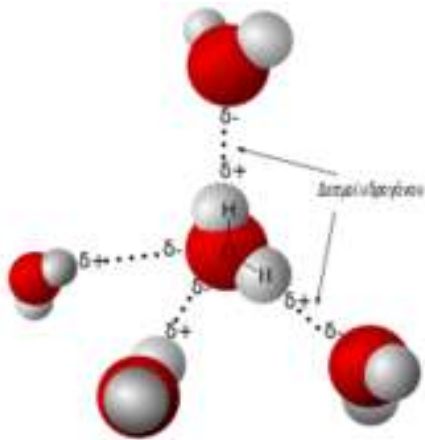
Különböző testrészek átlagos folyadék tartalma

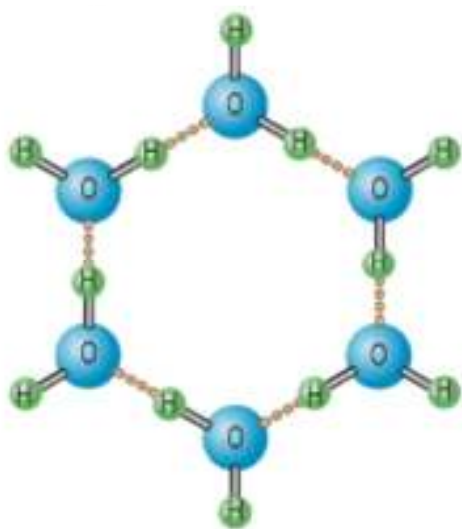




A hidrogénhíd

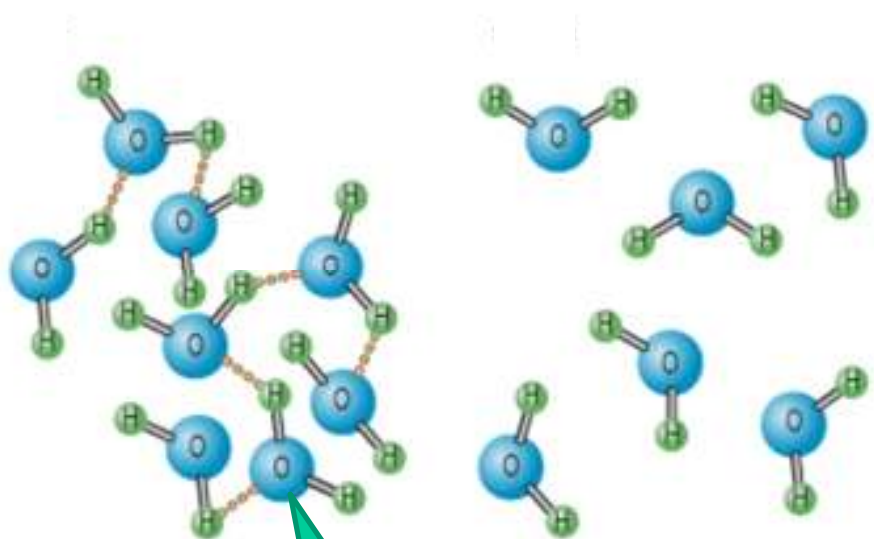
Egy intramolekuláris H-híd bontásához szükséges energia $\sim 1-2 k_B T$





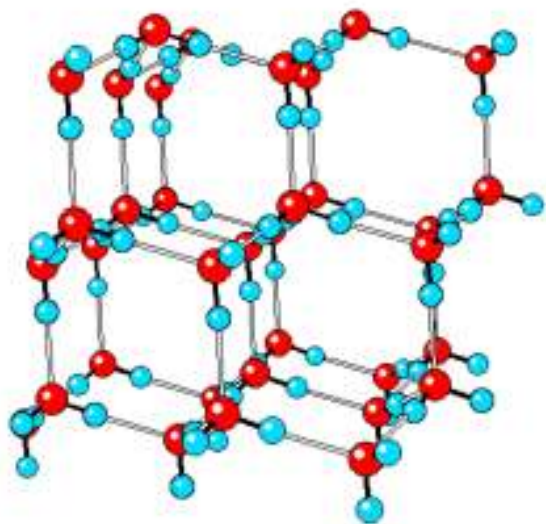
© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

jég

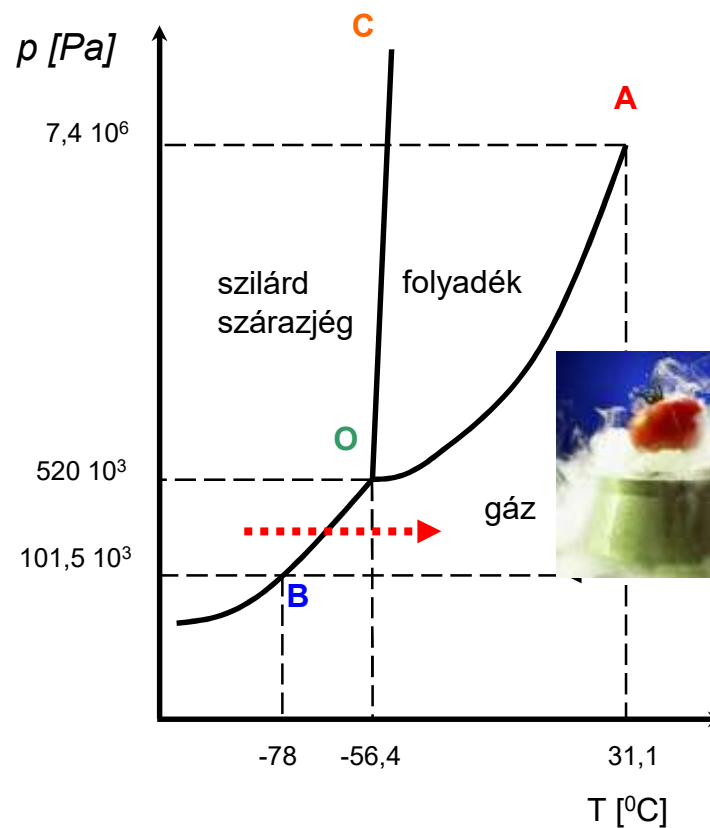
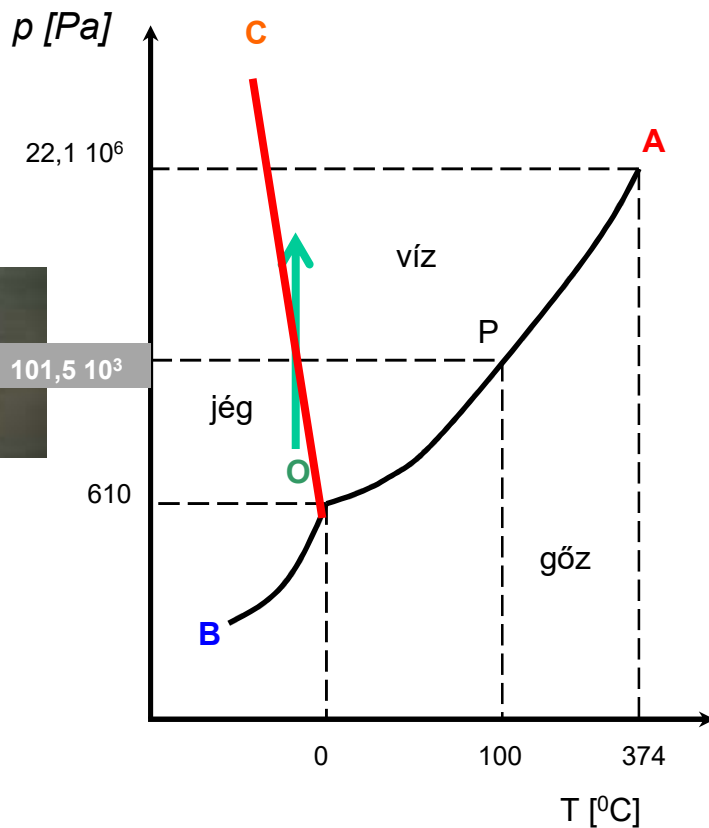


víz

vízgőz

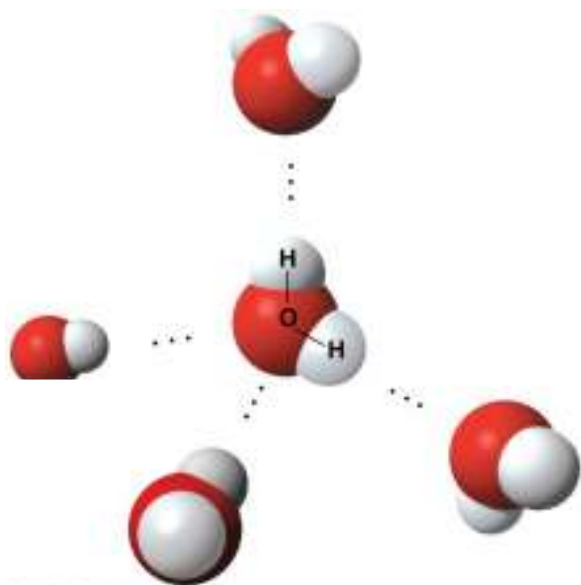


A víz moláris térfogata 4 C°-on
minimális, sűrűsége pedig
maximális

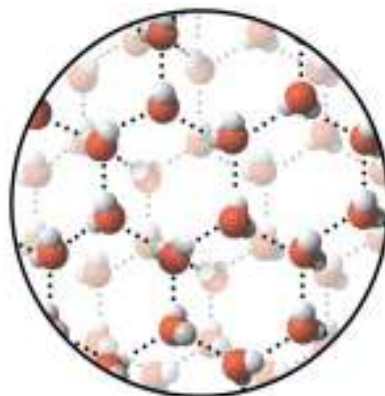


A víz és a szén-dioxid fázisdiagramja.

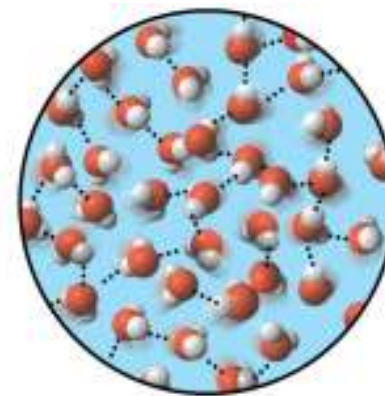
A legtöbb anyag moláris térfogata kristályos fázisban kisebb, mint olvadékban. **Kivétel:** a **víz**



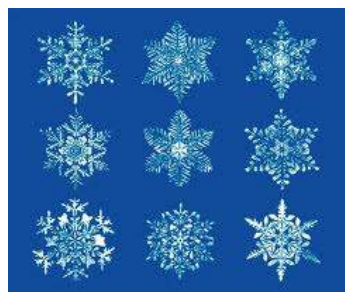
© 2001 Pearson Education, Inc.



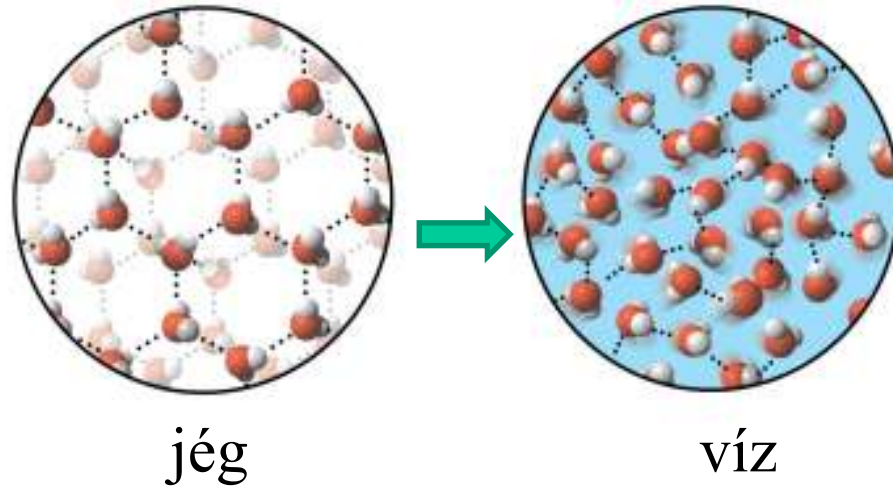
jég



víz



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!**

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

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

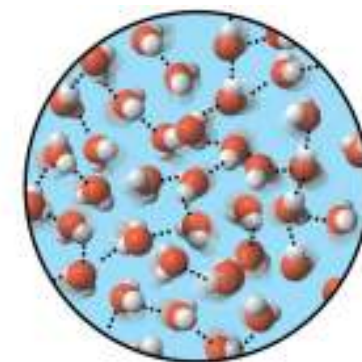
Víz hőkapacitása

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

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.

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

Szerepe az életfolyamatokban: testhőmérséklet szabályozása a nagy hőkapacitás segítségével

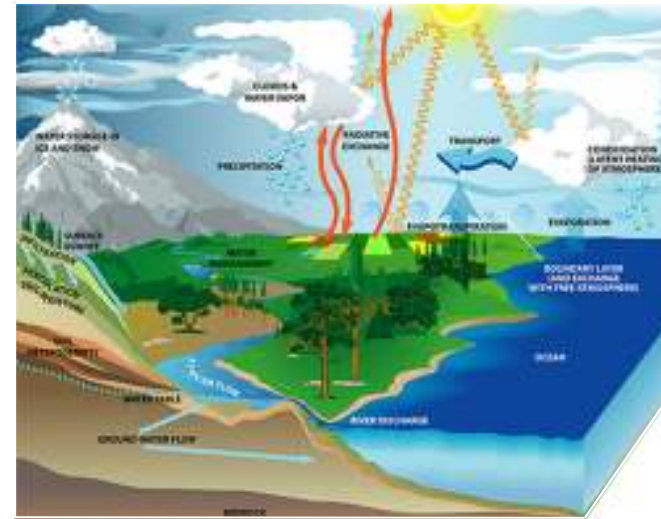
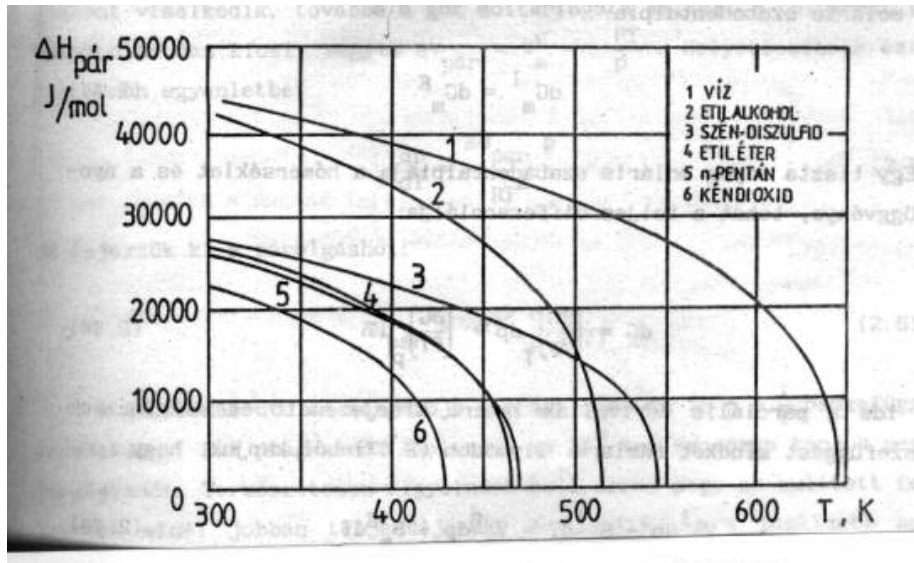


víz

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

Egy 60 kg-os személy megközelítőleg 10 MJ nagyságú hőt ad le naponta, ha rendszeresen 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.



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

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

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



Nem kedveli az apoláros felületeket
(pl. teflon)



Nagy felületi feszültség

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

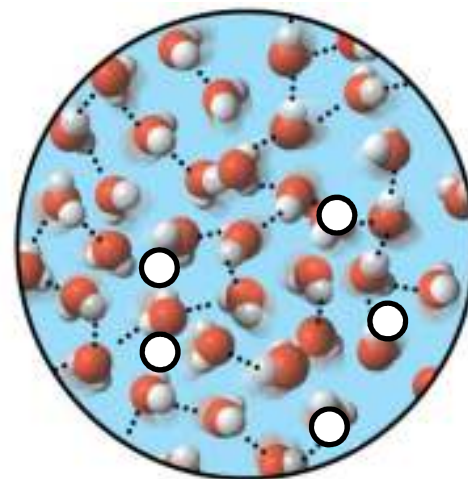


Szerepe az életfolyamatokban: intenzívebb folyadék felszívódás.



Jó oldószer

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



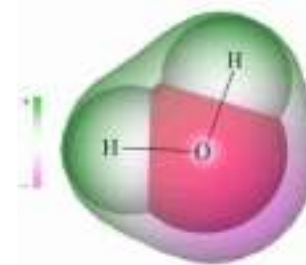
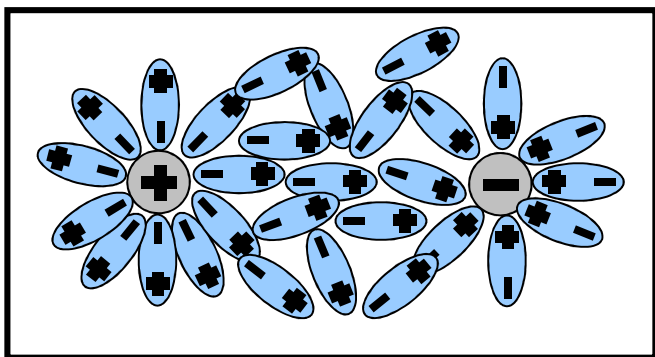
A jól elegyedik poláros molekulákkal
(CH_3CH_2OH)

Mengyelejev szabadalma alapján



Jó oldószer

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



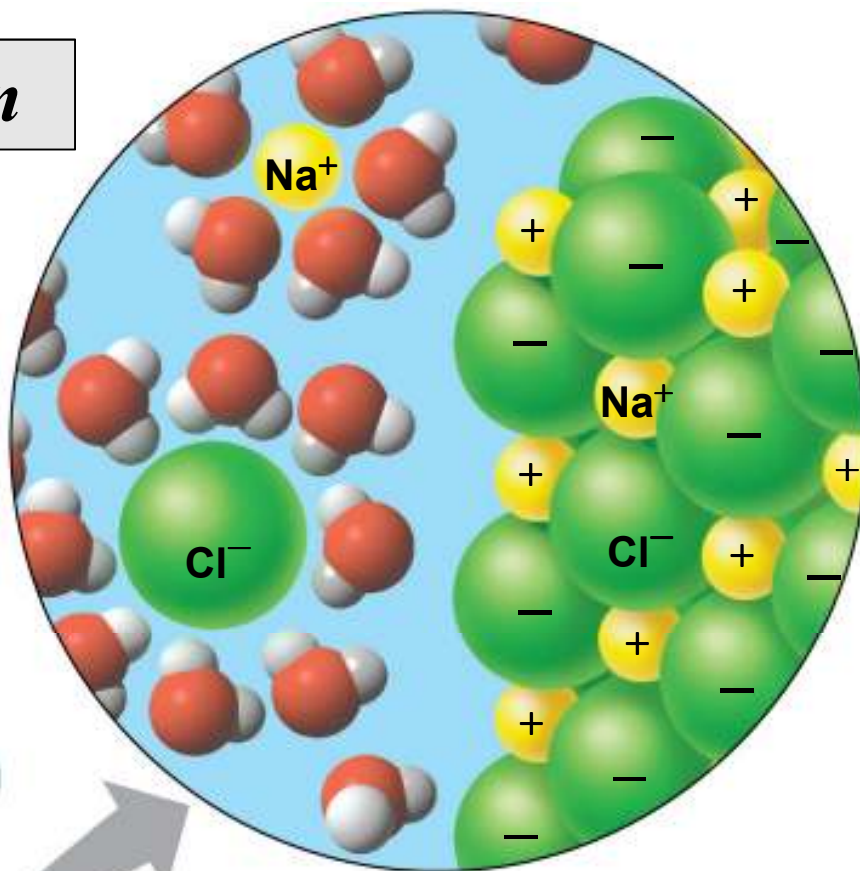
Dielektromos állandó 25 C°-on: 78,54

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.

Sók oldása vízben

Jó oldószer



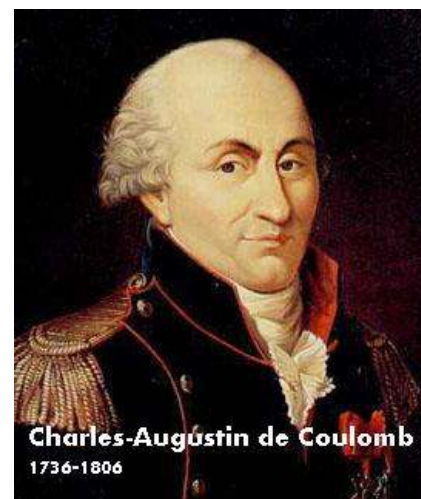
Miért különülnek el a kationok és az anionok?
A Coulomb törvény talán nem érvényes?

Coulomb törvény

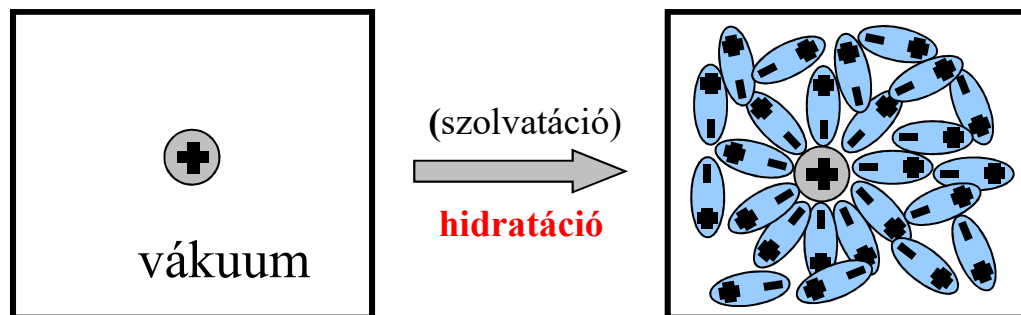
Vákuumban!

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

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



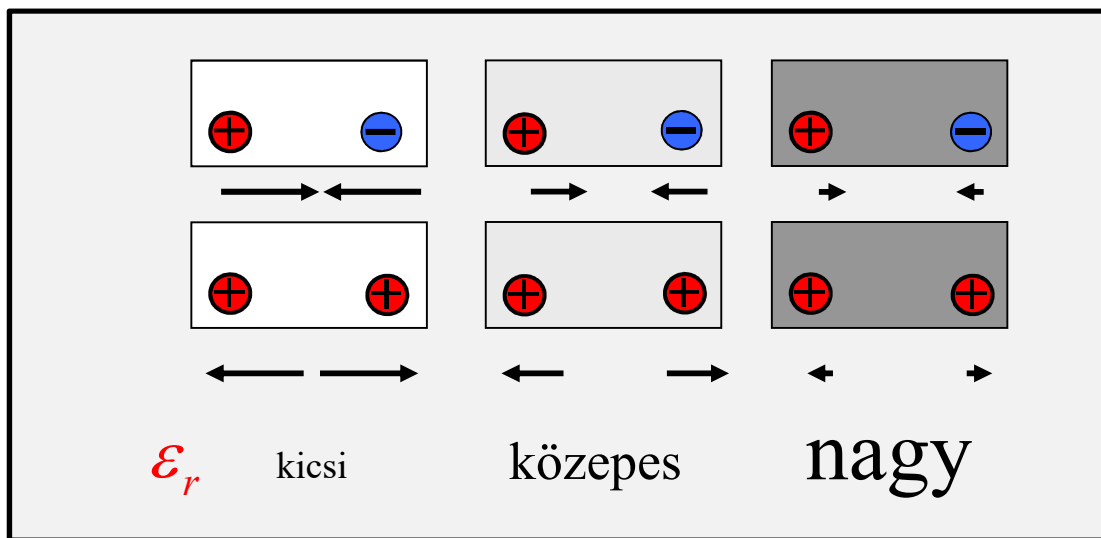
Közeg hatás!



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

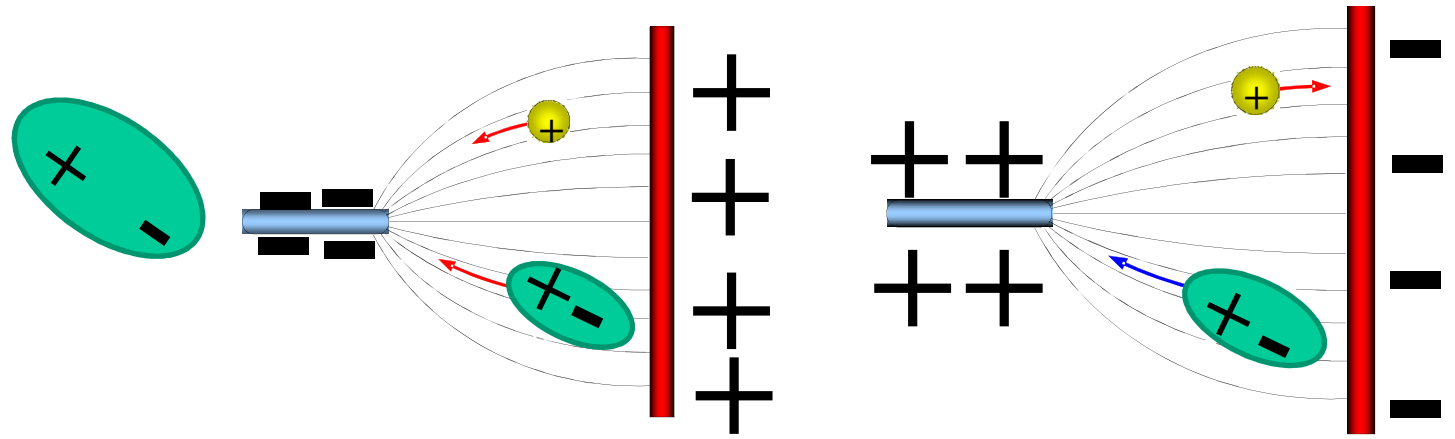
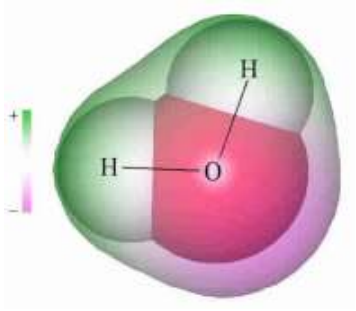
ϵ_r : relatív permittivitás (dielektromos állandó)

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.



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

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
acetone	21,0
kloroform	4,8
benzol	2,3
hexán	1,9
levegő	1,0



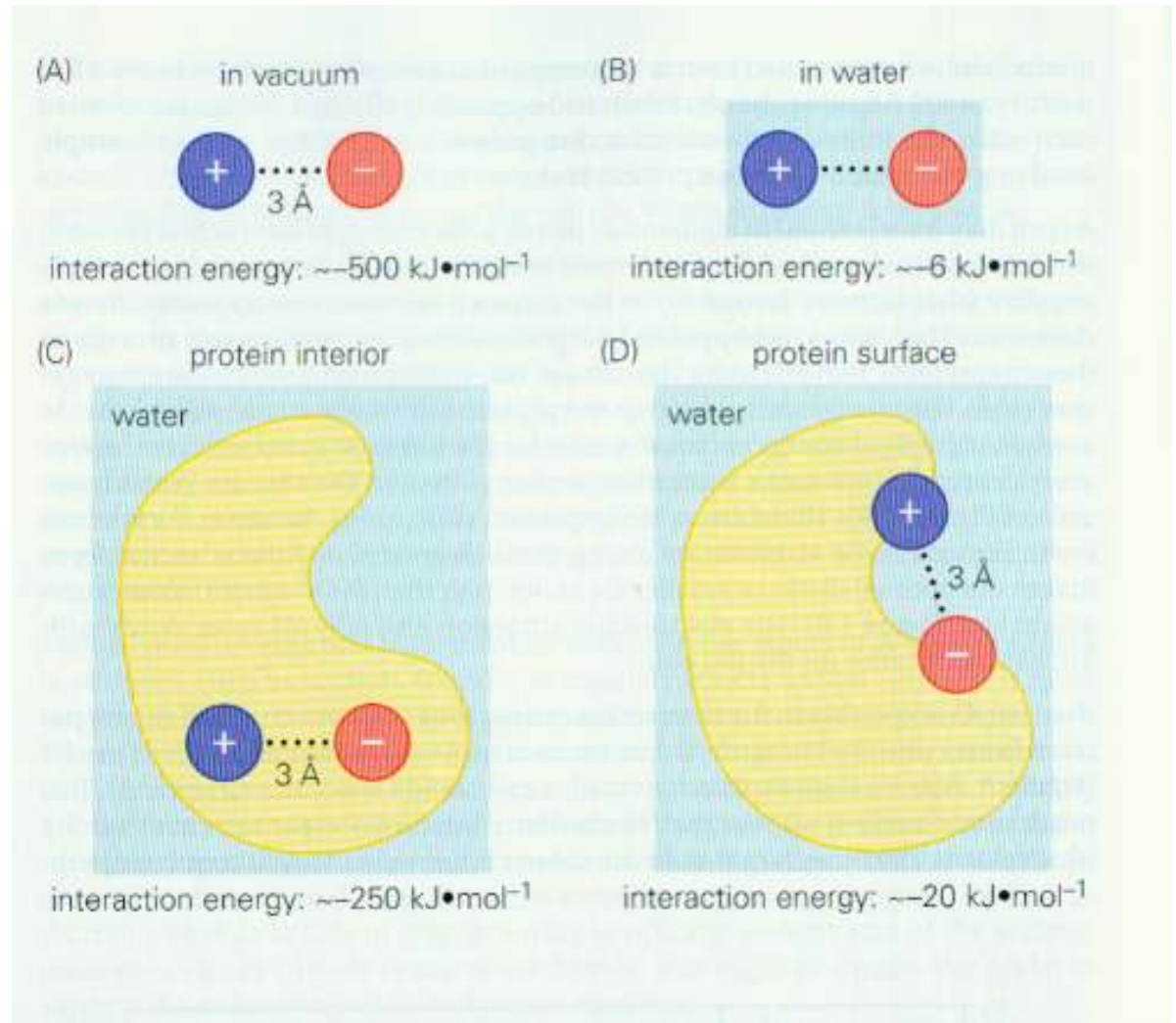
Közeg hatás

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

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

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

$$u_C(r) = \frac{1}{4\pi\epsilon_o \epsilon_r} \frac{q_A q_B}{r}$$



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

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

$$dG = Vdp - sdT$$

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

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

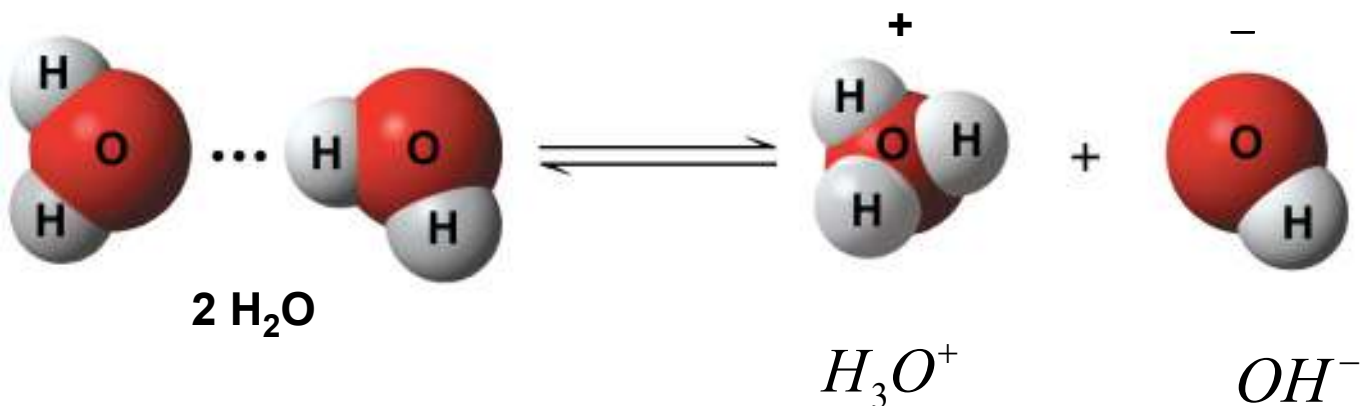
$$\Delta S(r) = \frac{q_1q_2}{4\pi\epsilon_o\epsilon_r r} \cdot \frac{\partial\epsilon_r}{\epsilon_r \partial T} = \Delta G \frac{1}{\epsilon_r} \frac{\partial\epsilon_r}{\partial T}$$

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

Meyer B. Jackson: kísérleti adatokból


entrópikus eredet!

Autoprotolízis



**hidroxonium
ion**

**hidroxid
ion**

$$K_v = 10^{-14}$$



pH

$$10^{-7} \text{ mol} / \text{dm}^3$$

$$10^{-7} \text{ mol} / \text{dm}^3$$

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

(a) Water



(b)



(c)



(d)



(e)



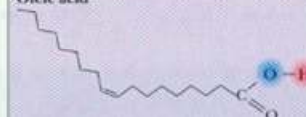
(f)



Ethanol



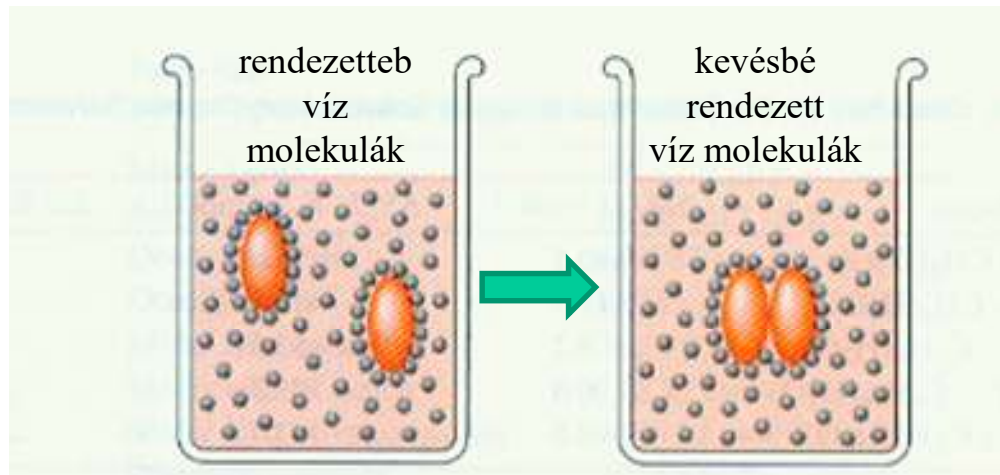
Oleic acid



Hidrofób kölcsönhatás

hajtóerő $\longrightarrow \Delta S > 0 \longrightarrow \Delta G < 0$

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

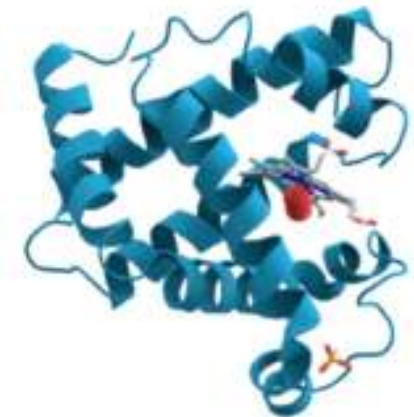


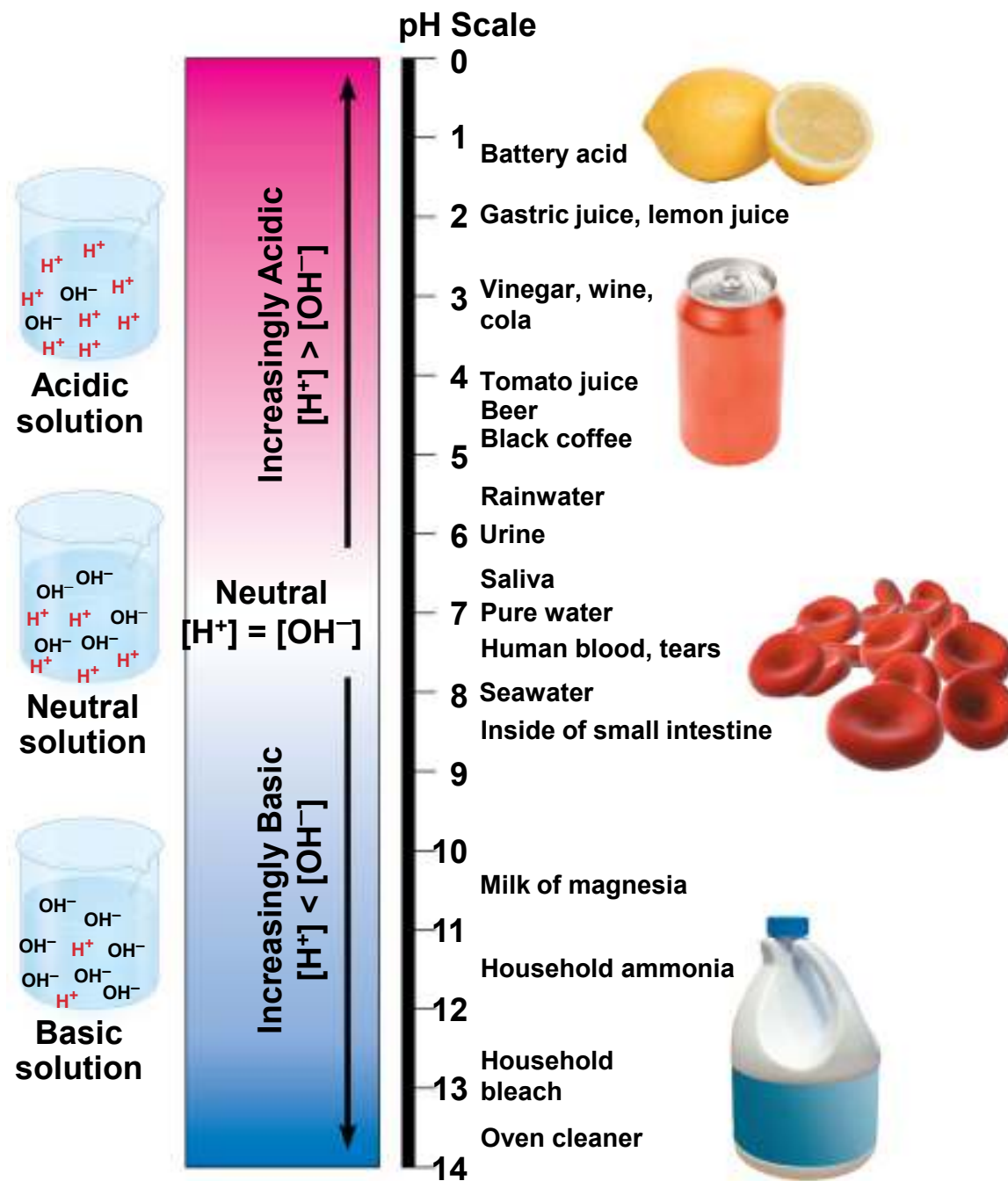
$$\Delta H > 0$$

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



W. Kauzman



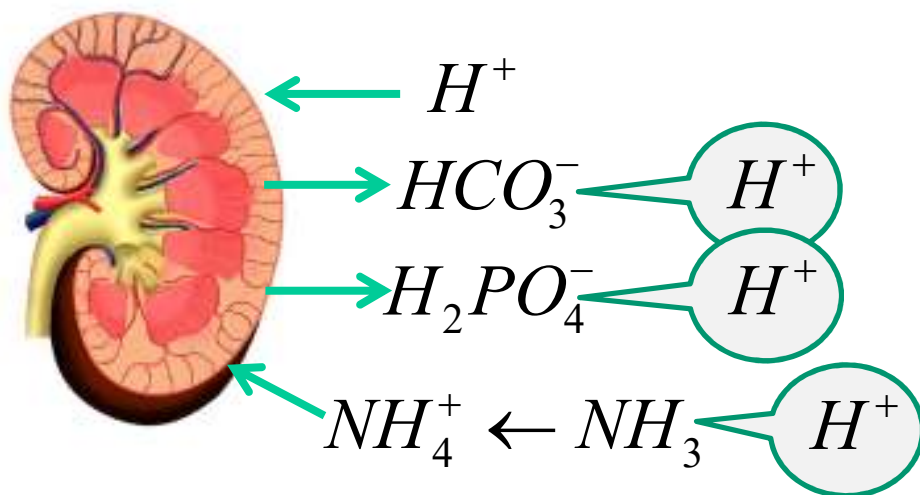
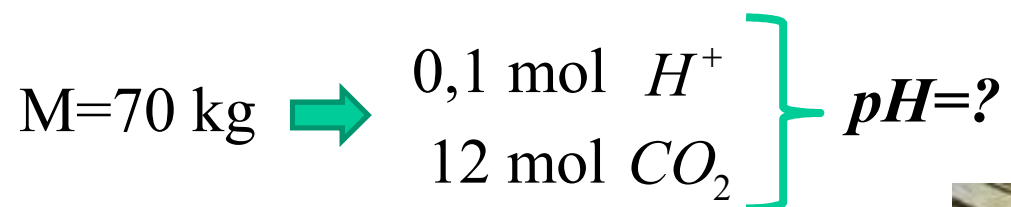


Testnedvek, -folyadékok pH értéke

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

Savas karakterűek	Lúgos karakterűek	Semlegesek
 Gabonából készült kenyér	 Sajtok	 Vaj
 Egyéb gabonából készült ételek	 Tejszín	 Édességek
 Majonéz	 Lekvár	 Fekete kávé
 Szilva	 Tej	 Kukoricakeményítő
 Hús	 Szelíd gesztenye	 Disznózsír
 Dió	 Mandula	 Margarin
 Földimogyoró	 Melasz	 Növényi olaj
 Hüvelyesek	 Legtöbb zöldség	 Kristálycukor
Grafika: MNO Grafika / Máté István		

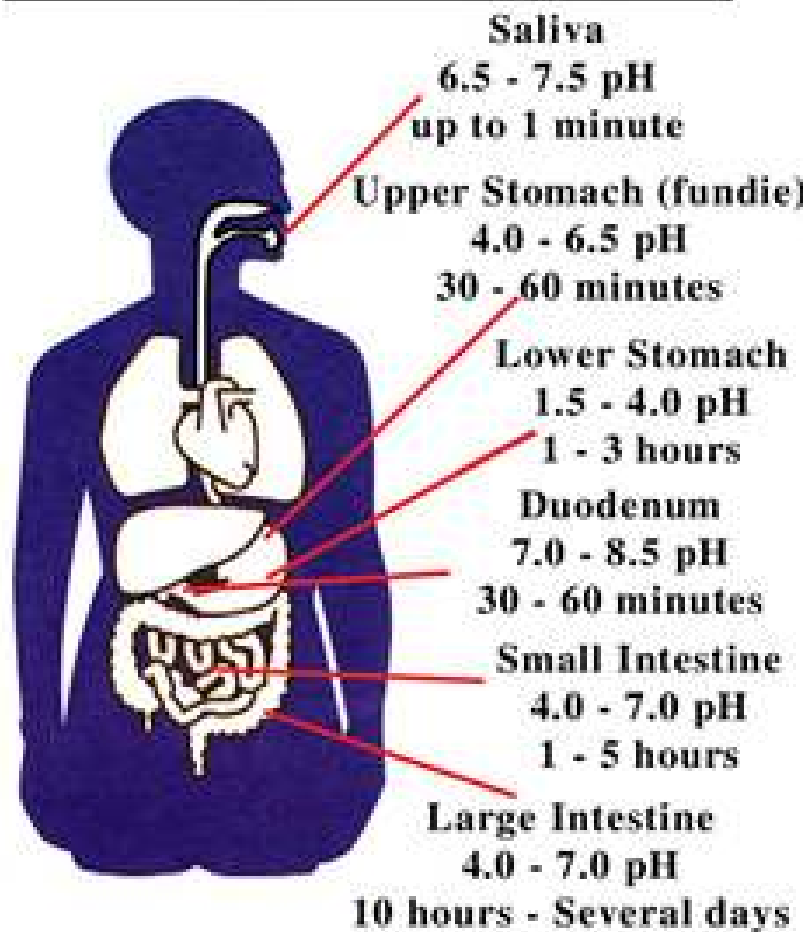
A vér pH-ja



$pH \rightarrow 4,5$



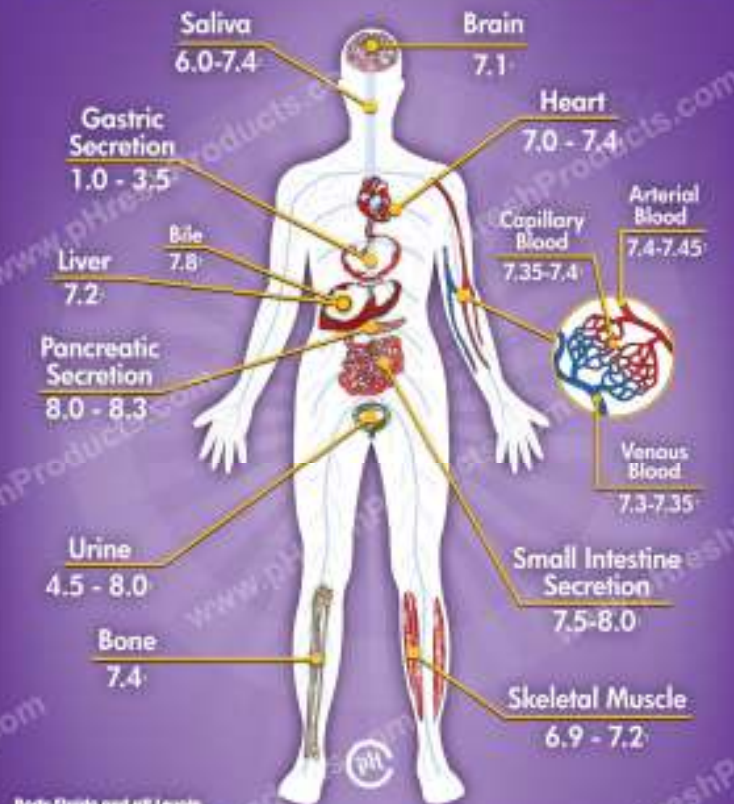
The Human Digestive Tract pH Range Chart



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

pH Values of the Human Body

Fluids in the human body function to provide digestion, lubrication, nutrient and oxygen transportation, and protection. To perform these functions, the acid levels must be varied to match the bodily functions. General levels of acidity or alkalinity are measured on a pH scale and must be carefully controlled in each body fluid.*



Body Fluids and pH Levels

Saliva, blood and spinal fluid all have a pH of about 7.4. This near neutral level prevents tissue damage that may be caused by levels on either end of the pH scale. Proton pumps that regulate the hydrogen ions in the stomach keep the pH between 1.5 and 3.5. The highly acidic fluid breaks down food and allows digestion to continue. Abnormalities in any of these systems can lead to various medical conditions. For example, a pH imbalance in the mouth leads to tooth decay, and alterations in the blood can lead to breathing difficulties. When stomach acid gets beyond the protective sphincter in the esophagus, heart burn and a sour taste may be experienced. The burning sensation is caused by acidic damage to the tissue in the esophagus, and continued acidity may lead to irreversible changes and cancer.†

References:

- * International Commission on Pure and Applied Chemistry, 1973, "The pH Scale", *Journal of Pure and Applied Chemistry*, 25, 1071-1074.
- † American Cancer Society, 2000, "Stomach Cancer", *Stomach Cancer: Facts and Figures*, 2000.
- † National Cancer Institute, 2000, "Stomach Cancer", *Stomach Cancer: Facts and Figures*, 2000.
- † American Cancer Society, 2000, "Stomach Cancer", *Stomach Cancer: Facts and Figures*, 2000.

A szervezet folyadékterei



```
graph TD; A[A szervezet folyadékterei] --> B[Intracelluláris folyadéktér]; A --> C[Extracelluláris folyadéktér];
```

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

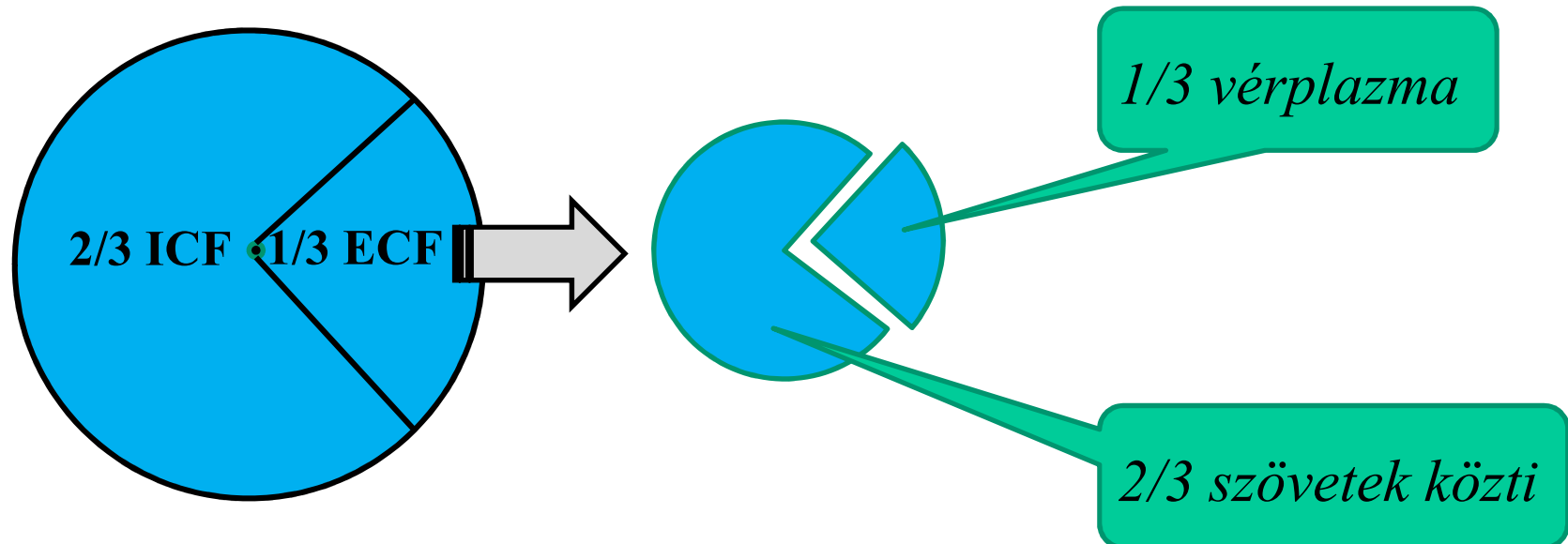
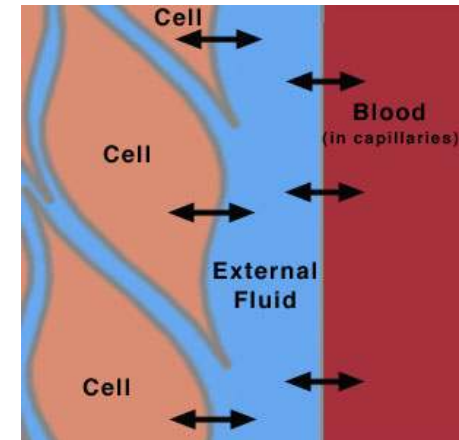
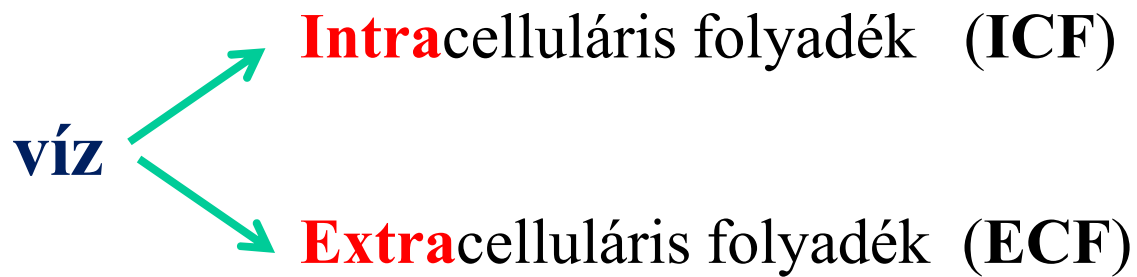
Intersticiális folyadék

Fibrózus kötőszövet

Csontállomány víztartalma

Transzcelluláris folyadék

Vizes oldatok sejtszintű megoszlása



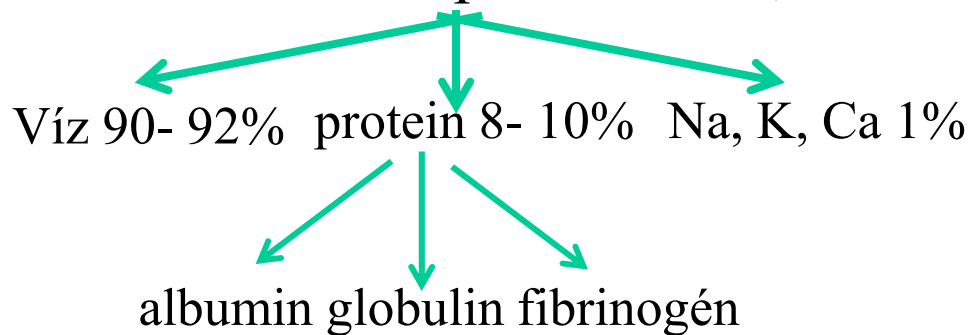
Testfolyadék összetétele

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

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

Összetétele: vérplazma 55%, alakos elemek 45%.



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

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

Ozmolaritása: 300 mOsm (0.3 Osm)

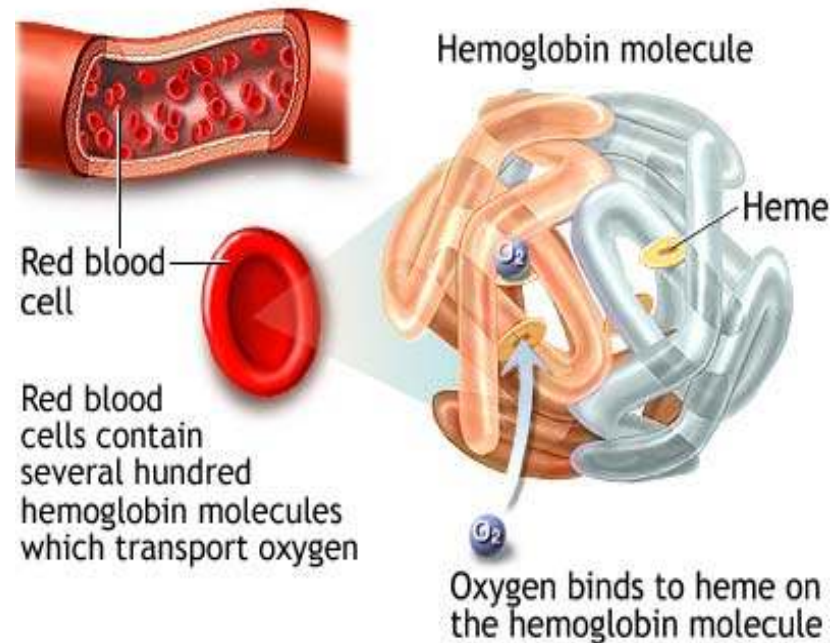
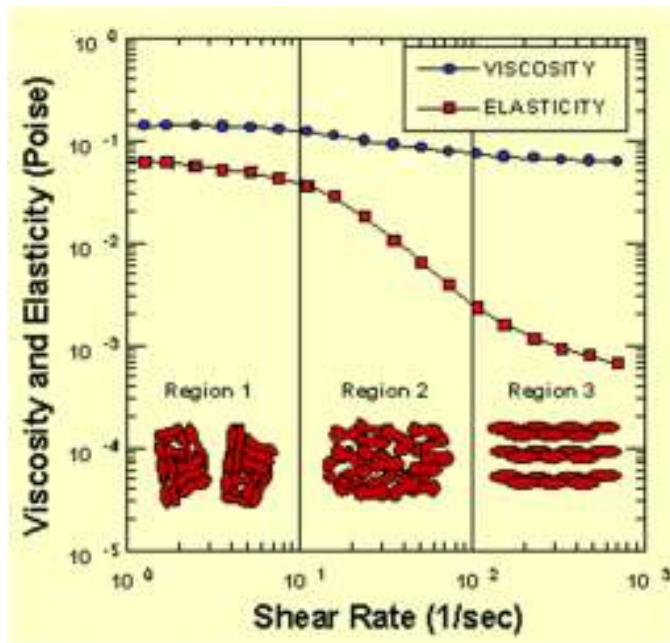
Hőmérséklete: 38°C

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



5 millió vörösvértest minden mm^3 -ben.

0,8 % bomlik és keletkezik minden nap



Kész
Altvérés

ÓVAKODJ !



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



Érdemes megnézni!