

# Technikai- és biológiai anyagok fizikai tulajdonságainak összehasonlítása, a víz különleges szerepe

Jedlovsky-Hajdú Angéla

Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet, Nanokémiai Kutatócsoport



SEMMELWEIS  
EGYETEM 1769

## Követelmények:

Az aláírás és a szóbeli vizsgára bocsátás feltétele a jegyzőkönyvek és az írásbeli dolgozat teljesítése. A gyakorlatokon való részvétel kötelező.

## A gyakorlatok teljesítése:

- Jelenlét a gyakorlatokon,
- jegyzőkönyvek elfogadása (**átlag min 50% elérése**),
- valamint a szorgalmi időszak végén íratott 1 zárthelyi dolgozaton legalább elégséges eredmény elérése (csak a gyakorlat anyaga): **min. 60%**. Sikertelen zárthelyi dolgozat esetén ismételésre lehetőség lesz 2, előre egyeztetett időpontban.

**Gyakorlaton szerezhető plusz pontok:** Amennyiben a jegyzőkönyvek átlaga és a ZH átlaga eléri, illetve meghaladja a 85%-ot, úgy bónuszpont szerezhető, amelyet a végső szóbeli vizsgajegy megállapításánál figyelembe veszünk.

**Előadásokon szerezhető plusz pontok:** Minden előadás elején egy rövid kérdésre lehet írásban válaszolni (Quizizz rendszeren keresztül), amelyet az előző előadás anyagából választunk ki. A helyes válasz 1 pontot ér, aki min 7 pontot elér a félév során, az egy bónuszt kap, amelyet a végső szóbeli vizsgajegy megállapításánál figyelembe veszünk.

A tárgy zárása a vizsgaidőszakban szóbeli vizsga keretében történik. Az előadások anyagából a szóbeli vizsga két vizsgarészből áll, a tárgy előadói tematikájának megfelelően, két tételsorból 2-2 rövid tétel húzásával. A végső jegy megállapítása a rész-vizsgajegyek alapján a vizsgáztató/k közötti egyeztetéssel történik.

Amennyiben bármelyik részvizsga eredménye nem éri el az elégséges szintet, a vizsga elégtelen eredménnyel zárul.

hajdu.angela @med.semmelweis-univ.hu

**Amennyiben járványügyi okok miatt online formában kerülnek megtartásra az előadások vagy a gyakorlatok, úgy ZOOM rendszeren keresztül történik a részvétel.**

Az oktatási segédanyagokat a Semmelweis Egyetem Moodle rendszerbe fogjuk feltölteni, mely felületen történik majd a jegyzőkönyvek benyújtása és az óra eleji kiskérdések megválaszolása is.

itc.semmelweis.hu

# (Orvosi) Biofizika

A fizika az élettelen tárgyak olyan mozgásaival foglalkozik, amelyek nem okoznak mélyreható változást az anyag szerkezetében.  
(bár ez elavult definíció...)

**physics**, **science** that deals with the structure of matter and the interactions between the fundamental **constituents** of the observable **universe**. In the broadest sense, physics (from the Greek *physikos*) is concerned with all aspects of nature on **both the macroscopic and submicroscopic levels**. Its scope of study **encompasses** not only the behaviour of objects under the action of given forces but also the nature and origin of gravitational, electromagnetic, and **nuclear force** fields. Its ultimate objective is the formulation of a few **comprehensive** principles that bring together and explain all such **disparate** phenomena.

# (Orvosi) Biofizika

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

1. Orvosi és biológiai jelenségek, folyamatok fizikai leírása
2. Fizikai alapú orvosi módszerek megértése

**Módszertana:** Az “élő” folyamatokat

1. számszerűsíti
2. egyszerűsíti



(A.L. Lavoisier 1743-1794)



(Adolf Eugene Fick 1829-1901)



(Max Rubner 1854-1932)

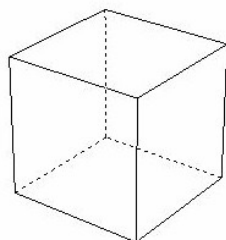
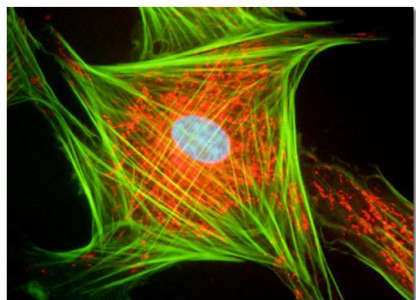
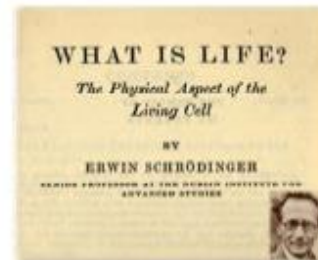


(Erwin Schrödinger ( 1887-1961)

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

A fizika elveit alkalmazta élett folyamatok leírására. A diffúzió elméletének kidolgozója.

Elsőként állította, hogy a termodinamika törvényei alkalmazhatók élő rendszerekre.



# (Orvosi) Biofizika

Ugyanazzal az eszközparkkal vizsgáljuk az anyagokat:

Az **anyagtudomány** az anyagok szerkezetével, tulajdonságaival, *a szerkezet és a tulajdonságok közötti összefüggésekkel*, megváltozásokkal, valamint új tulajdonságú anyagok előállításával foglalkozó tudomány.

A **biológiai anyagtudomány** az anyagok szerkezetével, tulajdonságaival, *a szerkezet és a funkció közötti összefüggésekkel*, megváltozásokkal, valamint új tulajdonságú *biokompatibilis és biodegradábilis* anyagok *előállításával és felhasználásával* foglalkozó tudomány.

## Technikai anyag

Kémiai szerkezet  
Tulajdonság  
Felhasználás

## Élő anyag

Kémiai szerkezet  
Tulajdonság  
Funkció



# Élő anyag, Bioanyag és Biomimetikus anyag

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

**Bioanyag**oknak az élővilágot alkotó, az élő szervezetek által előállított vagy befogadott (szintetikus) anyagokat nevezzük.

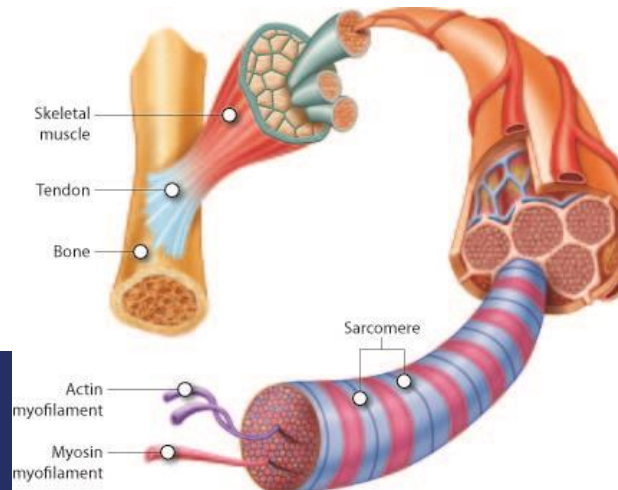
**Biomimetikus** anyagok azok a szintetikus anyagok, melyek összetételét, struktúráját vagy funkcióját a természetből vett példa szolgálja.

Technikai anyag ↔

Élő anyag

Nem hierarchikus

Hierarchikus

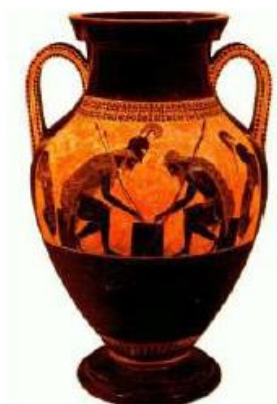


Technikai anyag



Élő anyag

Állandó



Korrózió



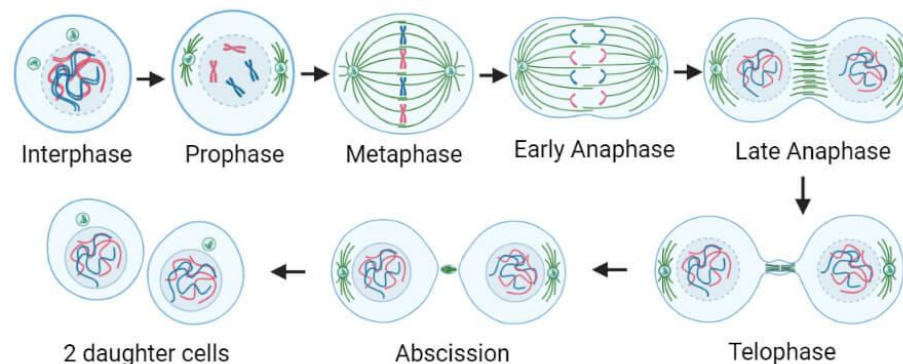
Passzív



Folytonos megújulás

**Cell Cycle**

Definition, Phases, Regulation, Checkpoints



Anupama Sakuta

Öngyógyulás

<https://wasatchphotonics.com/applications/wound-healing-oct/>



Alkalmazkodó  
képesség





# Technikai anyag



# Élő anyag

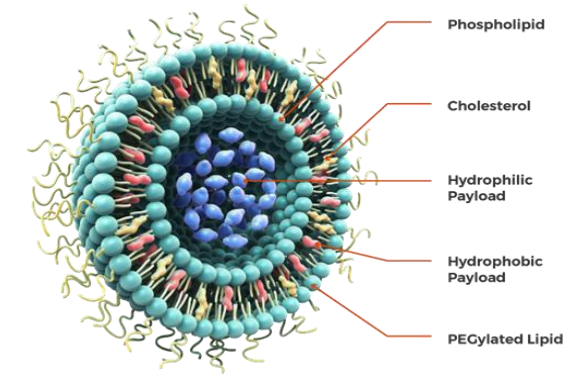
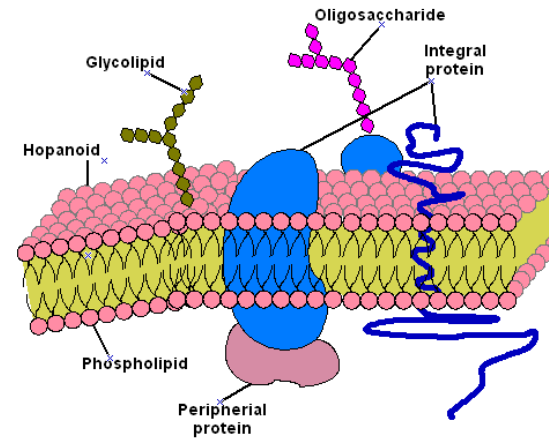
## Mérnöki struktúra



## Termikusan ellenálló



## Önszerveződő struktúra



## Hőmérséklet érzékeny



Technikai anyag ← →

Élő anyag

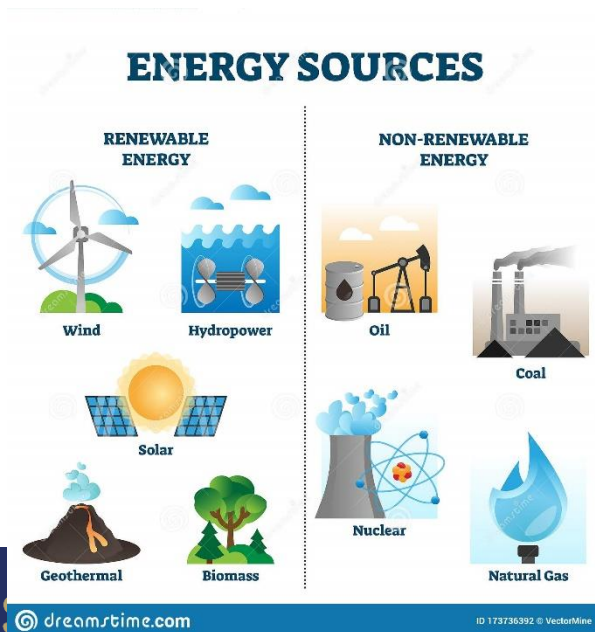
Folyamatos energia ellátás működés közben



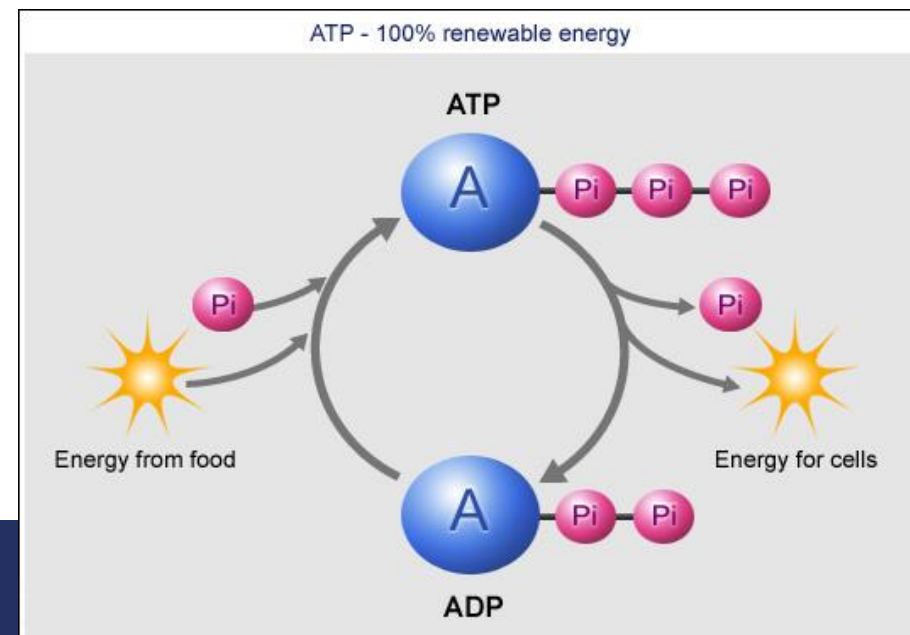
Szakaszos energia ellátás működés közben



Változatos  
energiaforrások



Energiaforrás  
ATP



# Technikai anyag

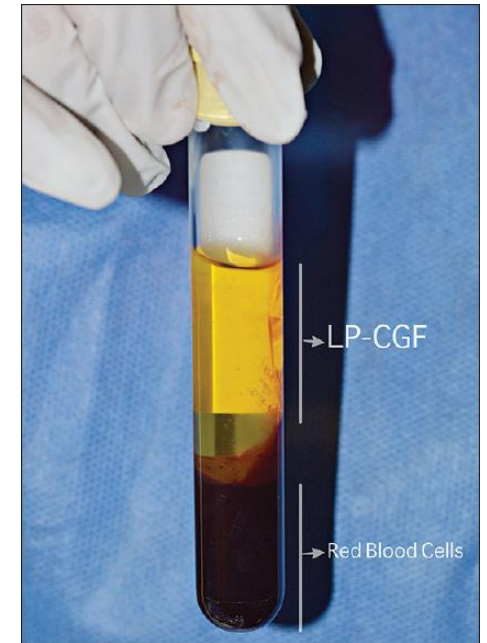


# Élő anyag

## Folyadék

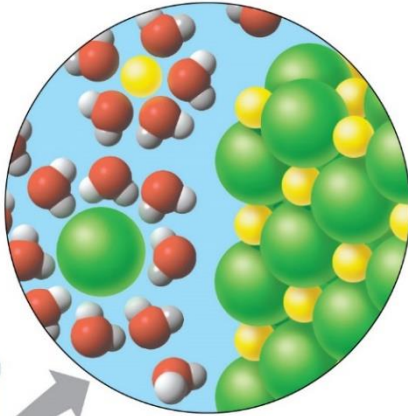
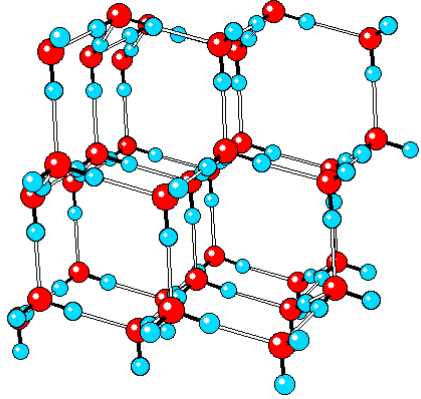


## Folyadék





# Biológiai rendszerek különleges komponense: a víz

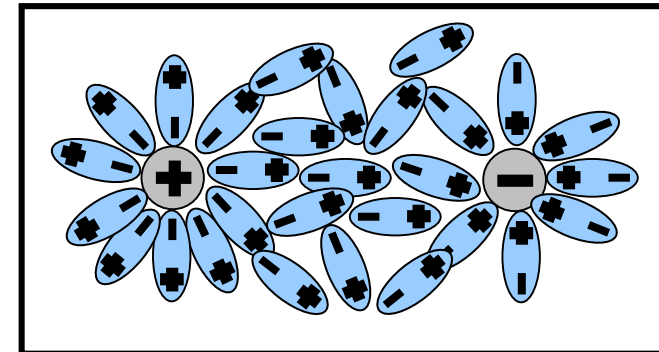


© 2011 Pearson Education, Inc.

**Makroszkopikusan**



**Molekuláris  
felbontásban**

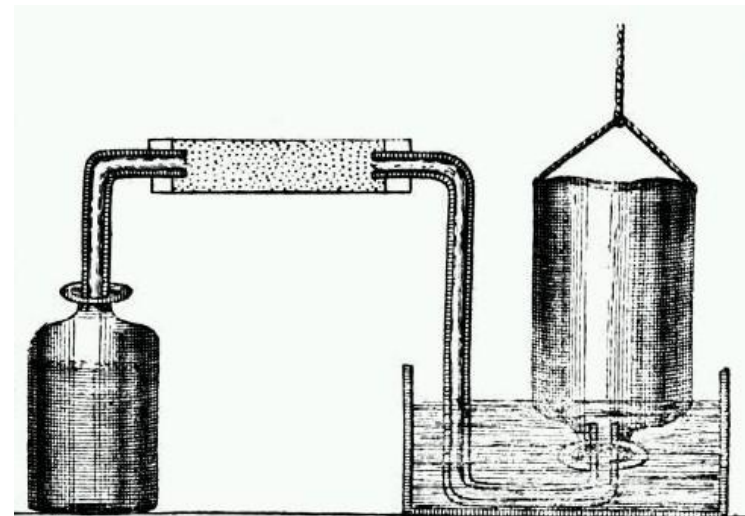
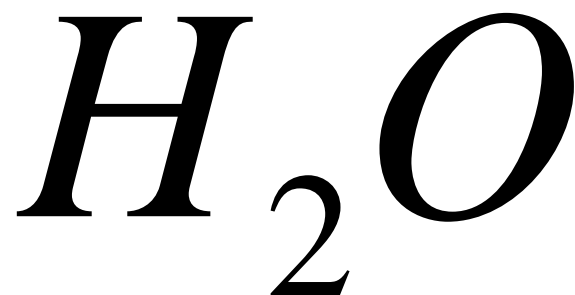


Egy különleges folyadék: a **víz**



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

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

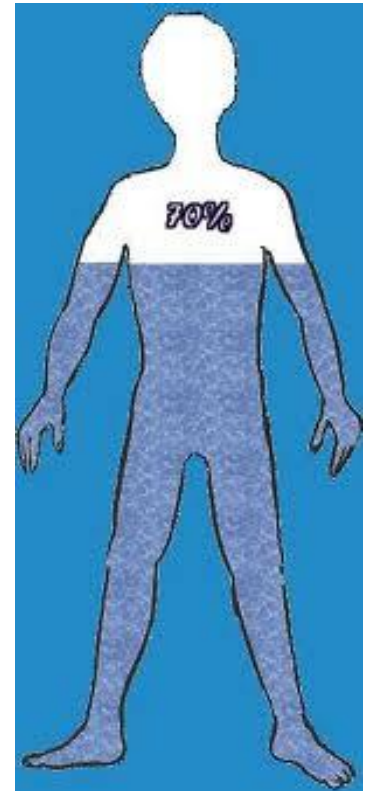




**Egyetlen olyan anyag, amelynek mindhárom halmazállapota megtalálható földi körülmények között (hőmérséklet és nyomás).**

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 2,4 liter szerepel: ennyi víz távozik a szervezetünkből 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: 2400 ml

ital 1600 ml →

étel 800 ml →

Napi leadás: 2400 ml

→ vizelet 1500 ml

→ széklet 200 ml

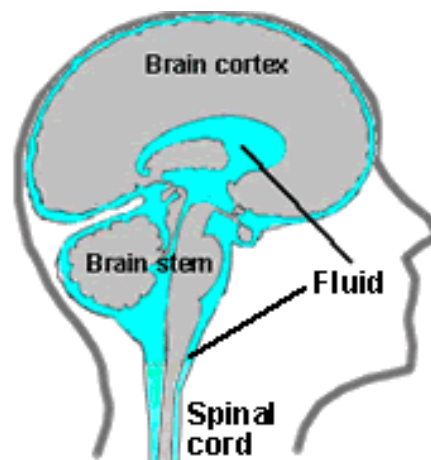
→ párolgás 400 ml

→ izzadás 100 ml

Az emberi szervezet igen takarékosan bánik vízkészletével, hiszen naponta mindössze kb. 2,4 litert választ ki, amit táplálék- és folyadékfelvétel útján pótolnunk kell.

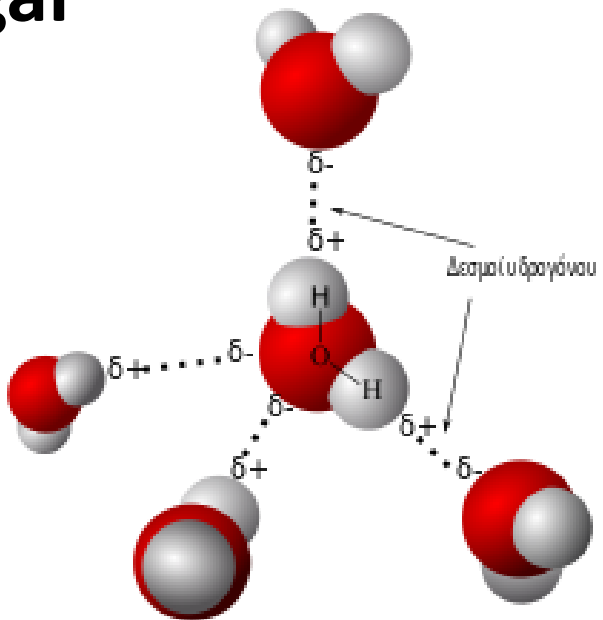
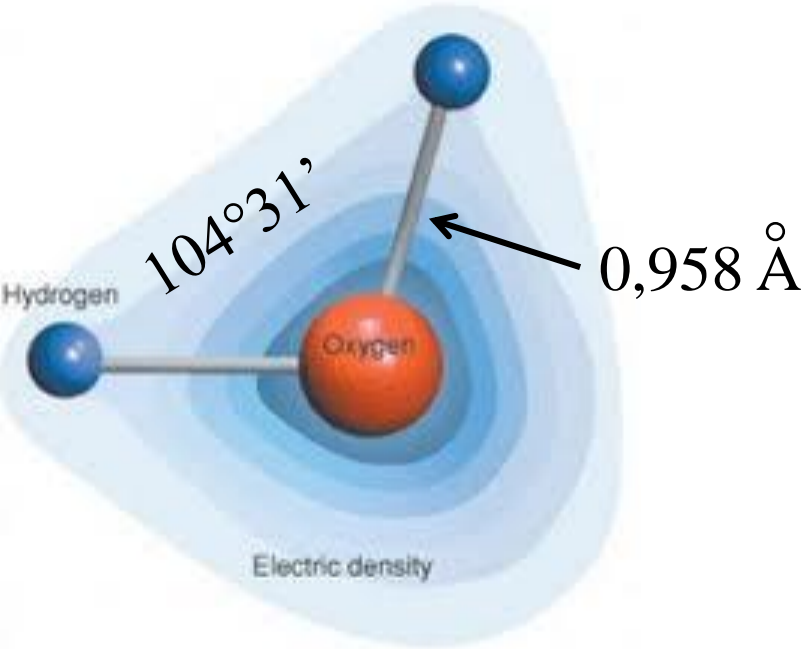
Agyvíz = liquor ~120 ml

**Legfontosabb szerepe:**  
védelem, szövet táplálás,



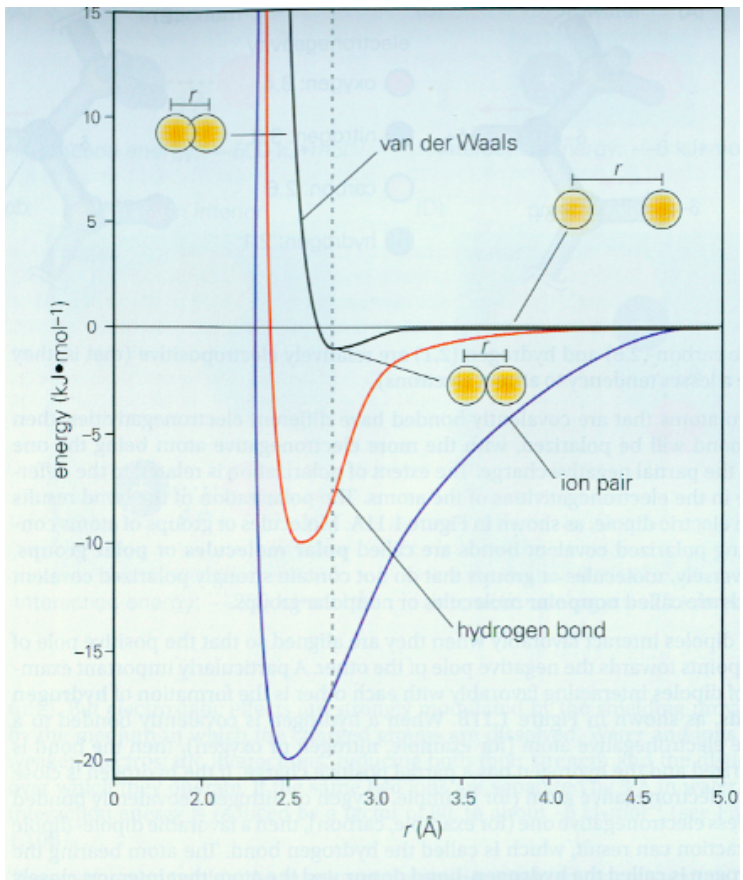
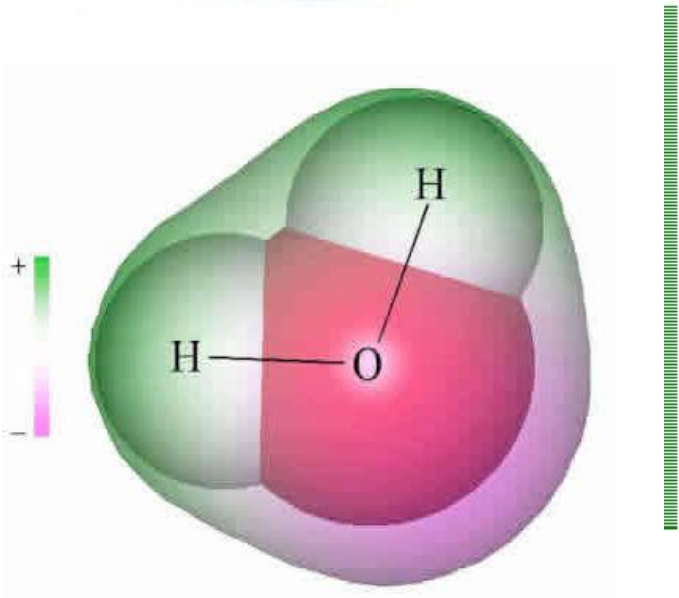
Az elfogyasztott víz bejárja az egész szervezetet. Az emésztő-rendszerből felszívódik a vérbe, majd a szervezetben szétáramlik és a különböző szervekben és szövetekben átmenetileg tárolódik, ahol leadja a benne oldott anyagokat.

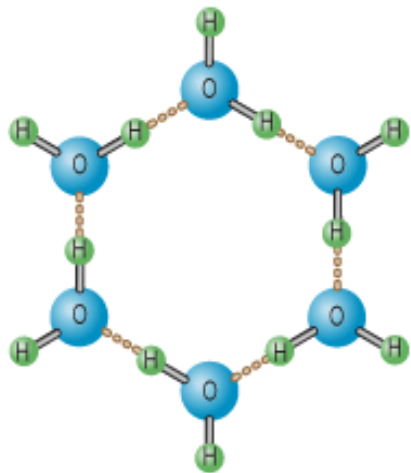
# A víz fizikai tulajdonságai



## A hidrogénhíd

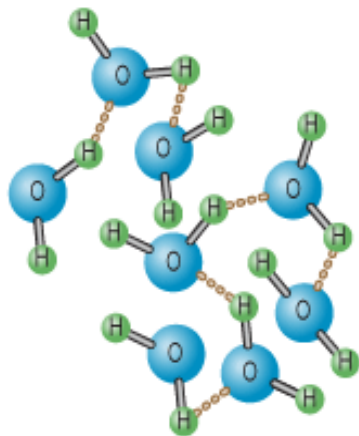
Egy intramolekuláris H-híd bontásához szükséges energia  $\sim 1-2 \text{ k}_\text{B}T$



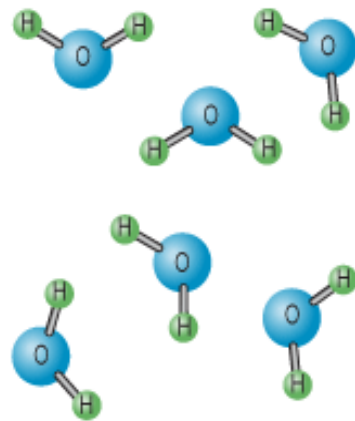


© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

jég



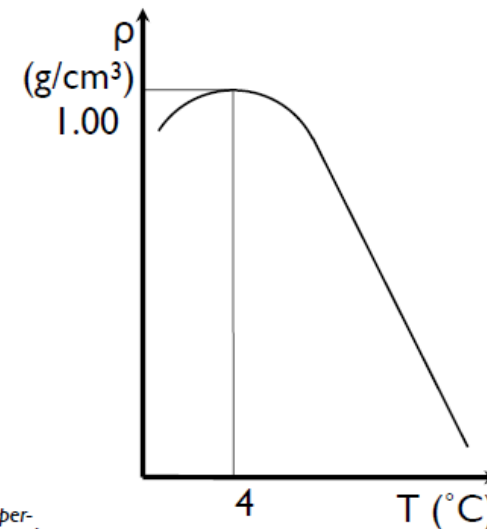
víz



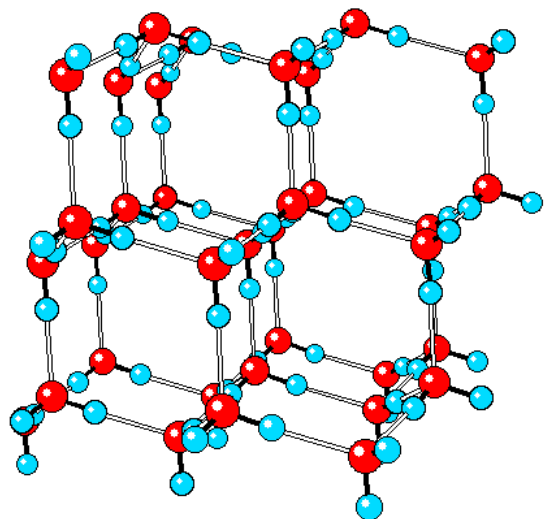
vízgőz

Hőmérséklet (°C)      Sűrűség (kg/m³)

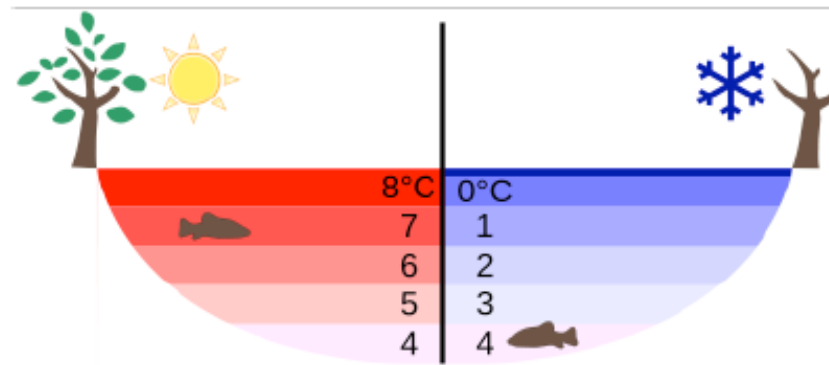
+100	958.4
+80	971.8
+60	983.2
+40	992.2
+30	995.6502
+25	997.0479
+22	997.7735
+20	998.2071
+15	999.1026
+10	999.7026
+4	<b>999.9720</b>
0	999.8395
-10	998.117
-20	993.547
-30	983.854



Szuper-hűtött víz



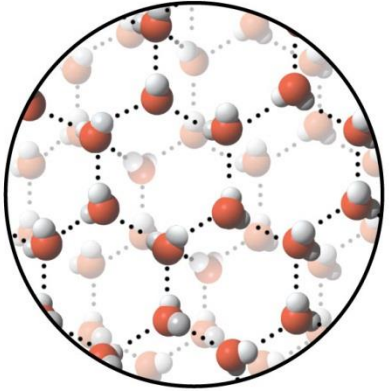
A víz moláris térfogata 4 C°-on minimális, sűrűsége pedig maximális.



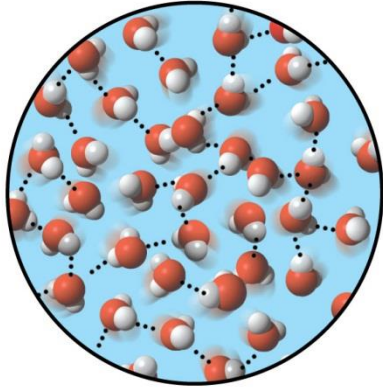


A legtöbb anyag moláris térfogata a kristályos fázisban kisebb, mint az olvadékban.

**Kivétel:** a **víz**



jég



víz

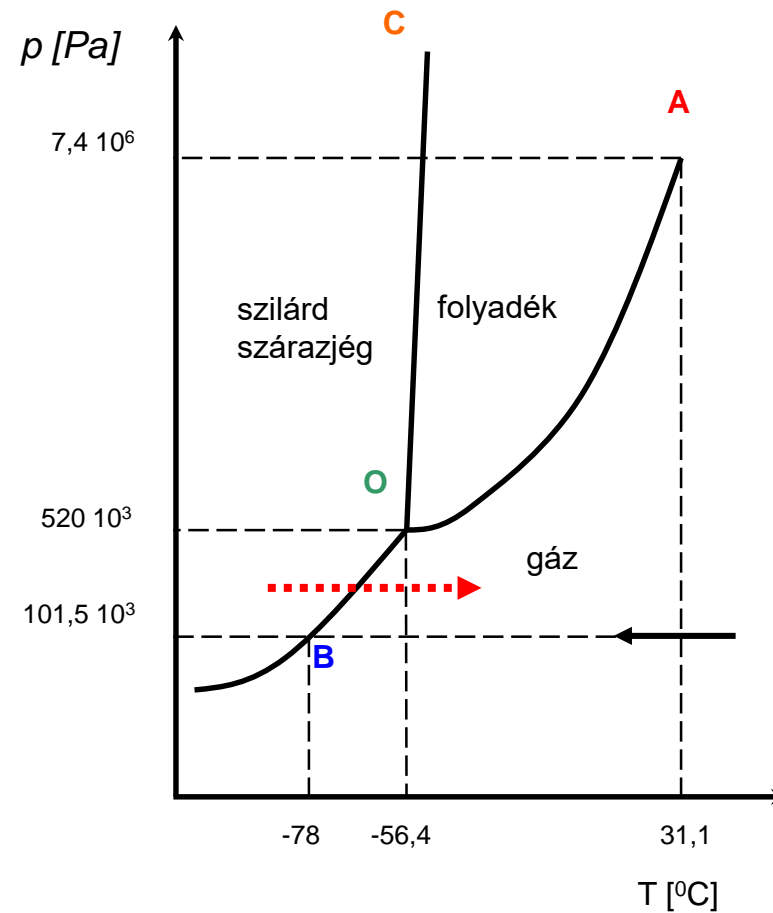
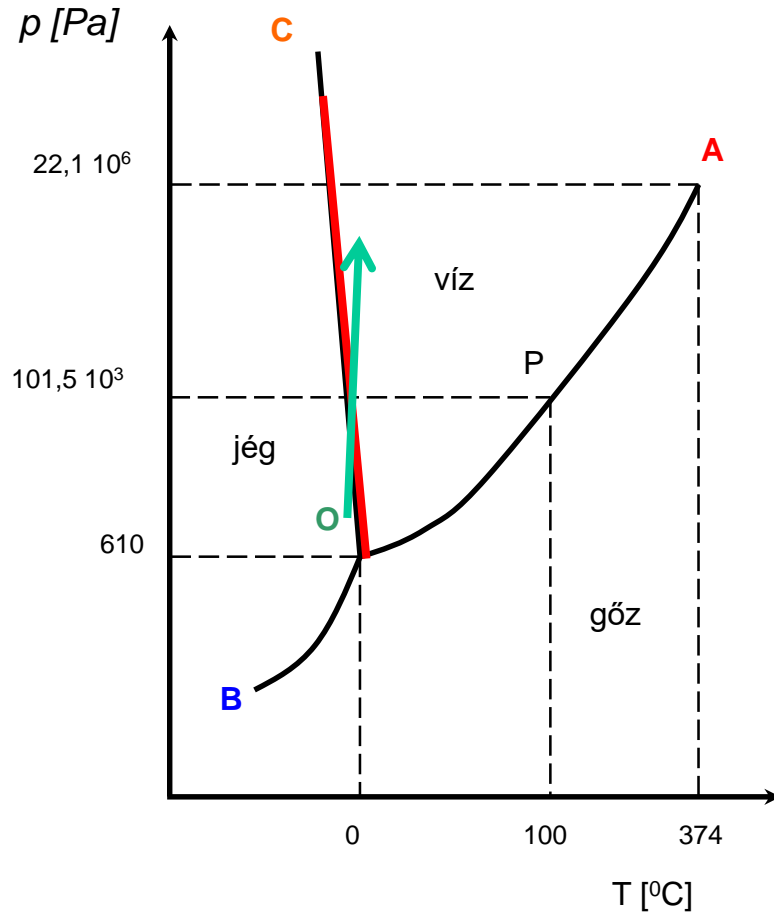
A víz egyik különlegessége, hogy moláris térfogata 8%-al csökken olvadáskor. Ez azt jelenti, hogy a nyomás növelése az olvadást segíti elő.



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



# A víz és a szén-dioxid fázisdiagramja.



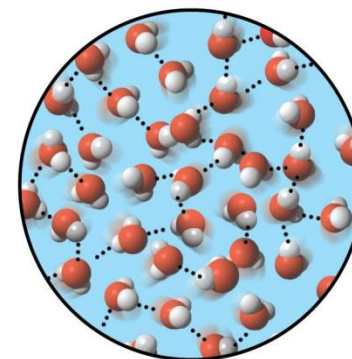
- Fázisgörbe: két fázis egyensúlyban
- Fázisgörbék közötti terület: egyetlen fázis van jelen
- Metszéspont: hármaspont

# 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.

*A jég hőkapacitása enyhén növekszik az olvadáspontig, majd ezen túl a folyékony víz megjelenésével a hőkapacitás nagymértékben megnő. A további hőmérsékletnövelés csak viszonylag kismérvű hőkapacitás növekedést idéz elő.  
A vízgőz hőkapacitása kisebb, mint a folyékony vízé.*



víz

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

## Szerepe az életfolyamatokban:

A metabolikus hő hőmérséklet növelésének csökkentése.

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

Hatékony hűtőfolyadék a hőmérséklet szabályzásban (izzadás).

# Víz hőkapacitásának szerepe a transzportfolyamatokban - hővezetés

$$Q_{\text{veszteség}} = Q_{\text{sugárzó}} + Q_{\text{konvektív}} + Q_{\text{konduktív}} + Q_{\text{párolgási}} + Q_{\text{légzés}}$$

## Hőveszteség párolgással *izzadás*

Víz párolgáshője:  $\Delta h_{\text{párolgás}} = 2,25 \text{ kJ} / \text{g}$

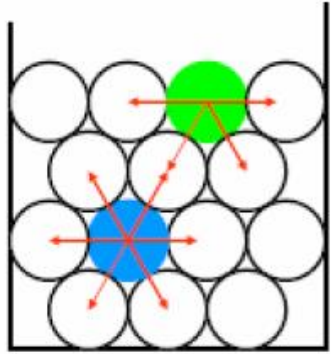
$$-\frac{dQ}{dt} = \Delta h_{\text{párolgás}} \cdot (\rho_{\text{lev}}^{\text{ki}} - \rho_{\text{lev}}^{\text{be}}) \frac{dV_{\text{izz}}}{dt}$$



$V_{\text{izz}}$

# Molekulák között ható erők – felületi erők

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



Molekuláris szinten:

**Felületen szabadon mozgó**  
**Tömb fázisban szabadon mozgó**

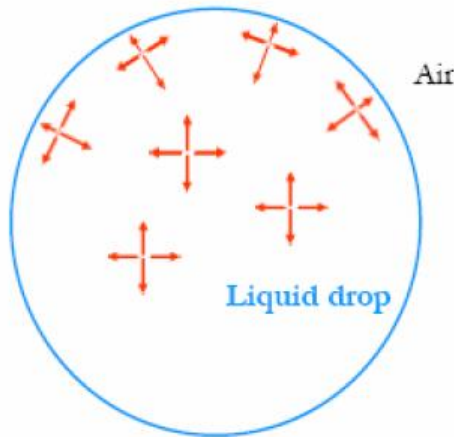
**Aszimmetrikus erők: adhézió**  
**Szimmetrikus erők: kohézió**

**A felületi molekulákra ható tömbfázis felé húzó erő (kiegyensúlyozatlan)**

A vonzó kölcsönhatások anizotrópok a felületen lévő molekulák esetében.  
A tömbfázisban lévő molekulák alacsonyabb energia szinten vannak a felületen lévőekkel összehasonlítva.

Az összehúzó erő minimális nagyságú felületet alakít ki.

**A folyadék csepp alakja ezért gömb!**



**Összehúzott felület**

**energia**

**Kitágulás/megnövekedés**

Miért van szükség energiára?

Molekulák a tömbfázisból → felületre juttatni



Inward pull → Surface contraction (surface tension) → Smallest surface area/unit volume (drop)

**Felületi szabadenergia**

# Felületi szabadenergia - $\gamma$

A felületen lenni extra energiát igényel →

Extra felületi szabadenergia jellemzése: felületi feszültség

Definíció: Egységnyi felület létrehozásához szükséges izoterm, reverzibilis munka - „W” [mJ/m<sup>2</sup>]

A teljes munka „W” , mJ/m<sup>2</sup>:

$$W \sim \Delta A$$

$$W = \gamma \Delta A \quad [\text{mJ/m}^2 \times \text{m}^2 = \text{mJ}]$$

$$\gamma = W / \Delta A \quad [\text{mJ/m}^2]$$

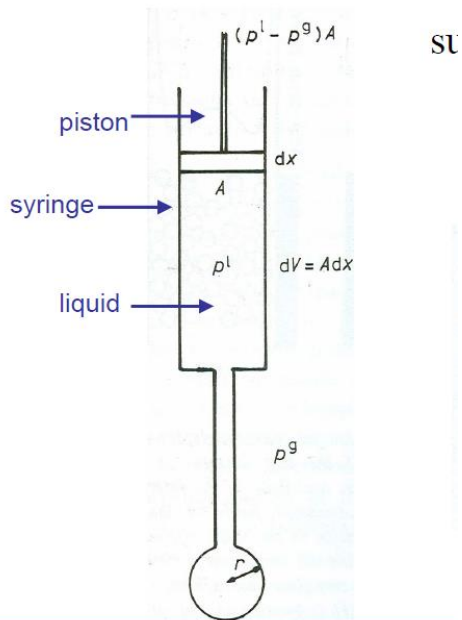
## Felületi feszültség „ $\gamma$ ”:

A felületi feszültség a szilárd anyaggal vagy más folyadékkal érintkező folyadék által kifejtett egységnyi hosszúságú erő. A felületi szabadenergia és a felületi feszültség **értéke és mértékegysége megegyezik.**

$$\gamma = \frac{W}{\Delta A} = \frac{\text{mJ}}{\text{m}^2} = \frac{\text{mN} \times \text{m}}{\text{m}^2} = \frac{\text{mN}}{\text{m}}$$

A víz felületi feszültsége 298 K-en 72,8 mN/m és a felületi szabadenergiája 72,8 mJ/m<sup>2</sup>.

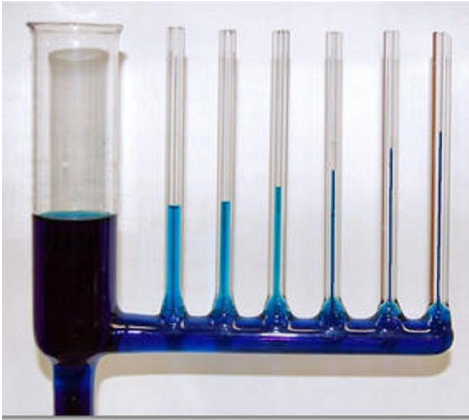
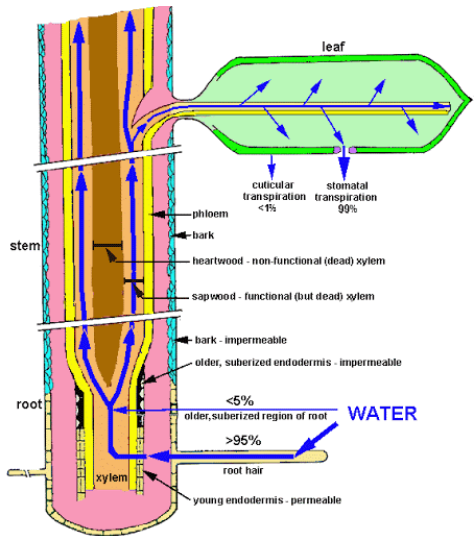
Substance	Surface tension
Water	72.8
Benzene	28.9
Chloroform	27.1
Ethanol	22
Ether	17
Mercury	480



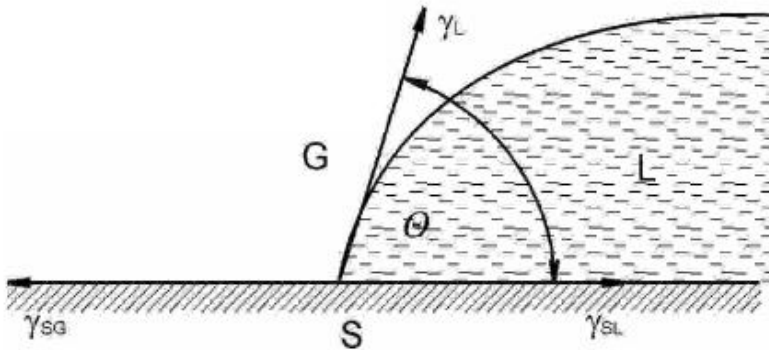
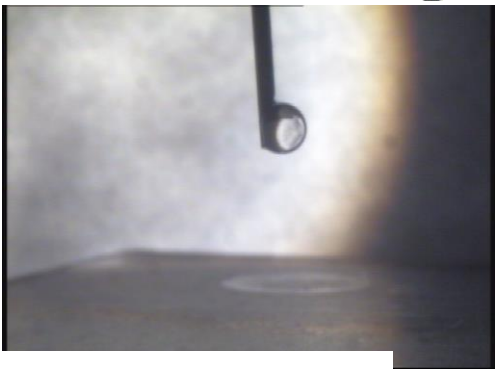
$$(p^l - p^g) \times \Delta V = W = \gamma \times \Delta A \rightarrow \gamma = \frac{W}{\Delta A}$$



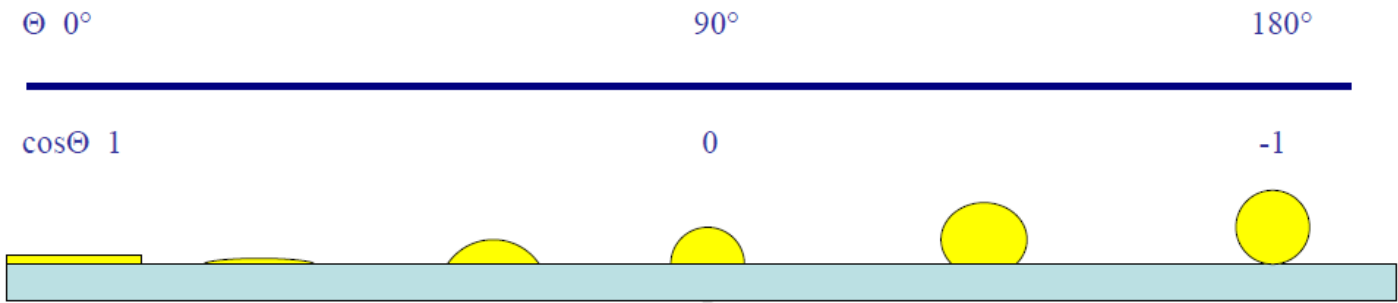
Kedveli a poláros felületeket (pl. cellulóz)  
(kapilláris emelkedés)



Nem kedveli az apoláros felületeket (pl. teflon)



kontakt szög (peremszög):



Szilárd felület nedvesedése→  
Young egyenlet

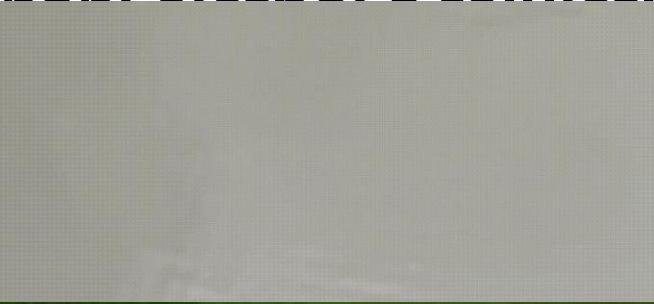
$$\gamma_{S/G} = \gamma_{S/L} + \gamma_{L/G} \cos \theta$$

szétterülés   teljes nedvesedés   részleges nedvesedés    $\gamma_{SL} = \gamma_{SV}$    elhanyagolható nedvesedés   nem nedvesedés

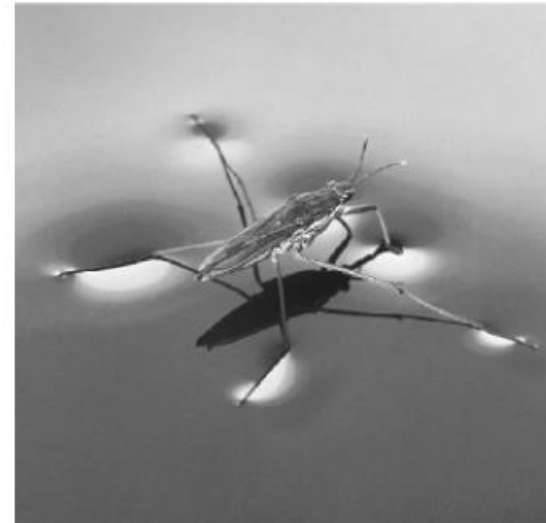
- **Nagy felületi feszültség**

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

Példák a mindennapi életből a felületi feszültség megnyilvánulására



surface tension of solutions



no surfactant



NaDS<sup>+</sup> = 0.001M



0.002M



0.003M



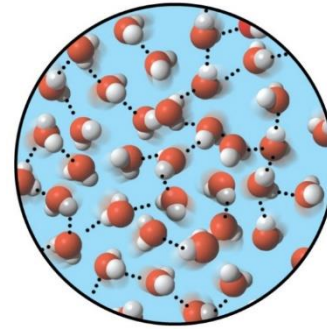
0.004M

\*sodium dodecyl sulfate



# 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***



Floating water bridge:

<https://thekidshouldseethis.com/post/65529827880>

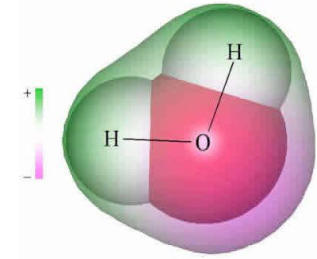
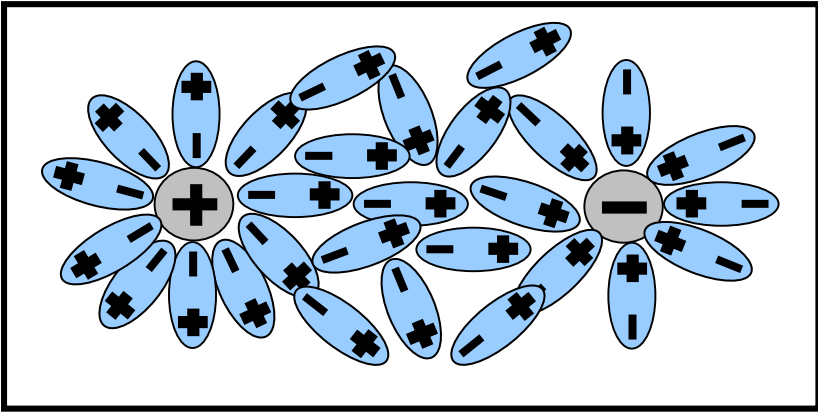


<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3208511/>



# Jó oldószer

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



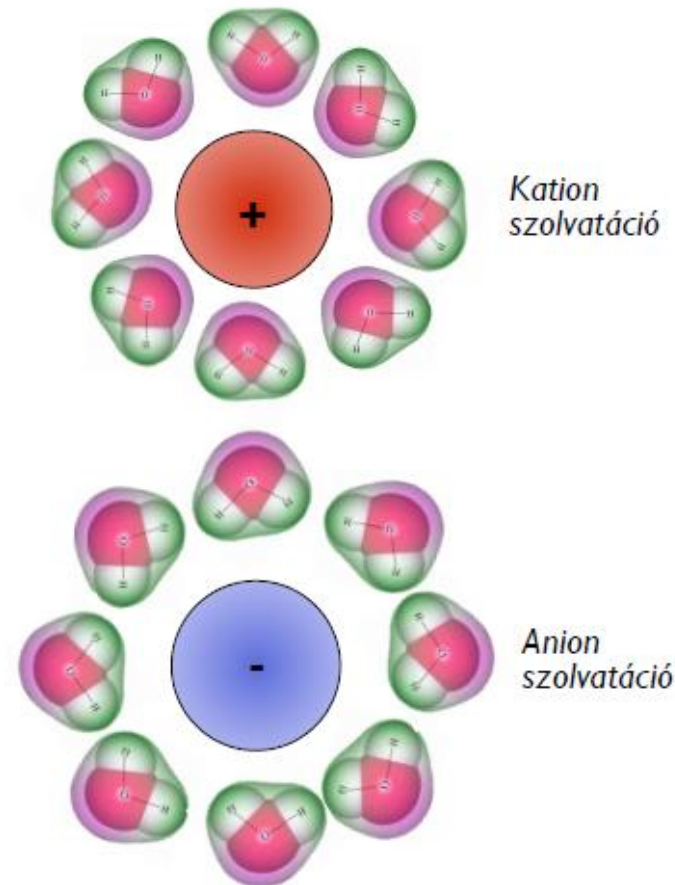
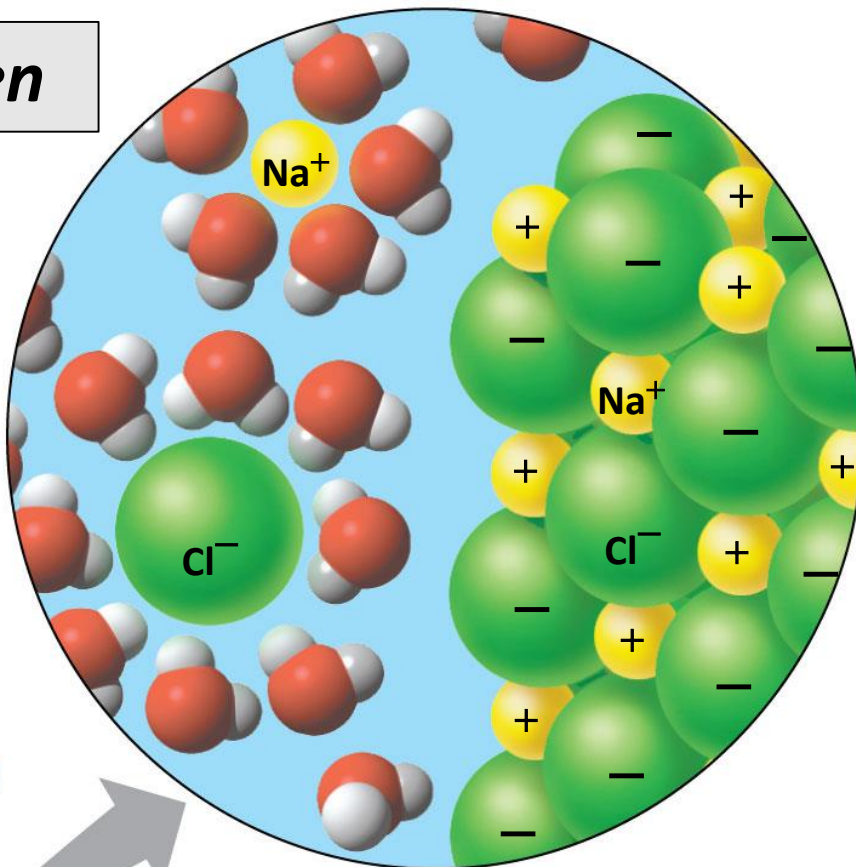
*Dielektromos állandó 25 C°-on: 78,54*  
*Dipólus momentum: 1,82 D*

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 hatásaért.

# Sók oldása vízben

Jó oldószer



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



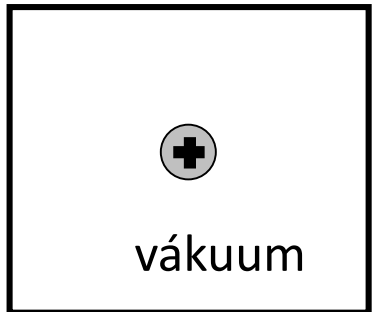
# Coulomb törvény

Vákuumban!

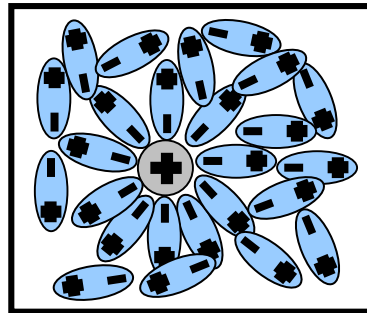
$$\mathbf{f}_{1,2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{1,2}^2} \cdot \mathbf{e}_{1,2}$$

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

Közeg hatás!



(szolvatáció)  
→  
hidratáció

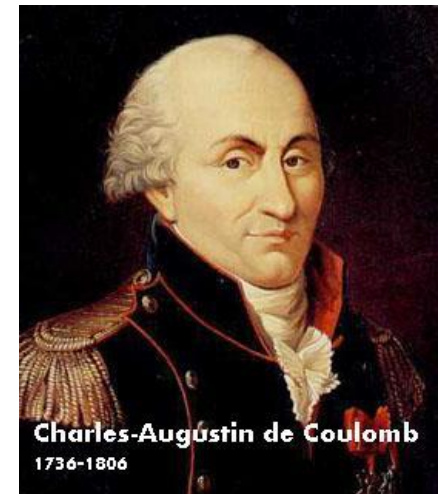


$$\mathbf{f}(\mathbf{r}_{1,2}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_{1,2}$$

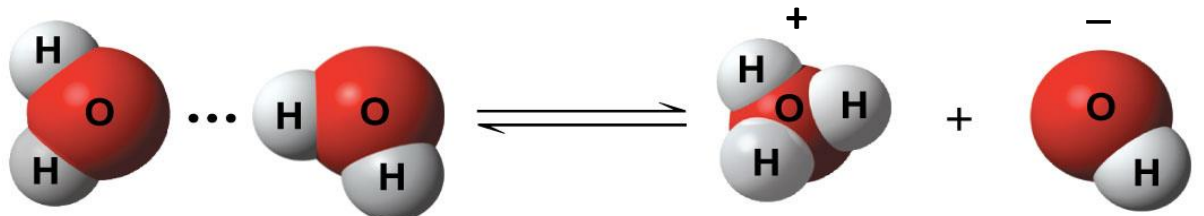
$\epsilon_r$  : relatív permittivitás (dielektromos állandó)

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.

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



# Autoprotolízis



$2 \text{H}_2\text{O}$

$\text{H}_3\text{O}^+$

$\text{OH}^-$

**oxónium  
ion**

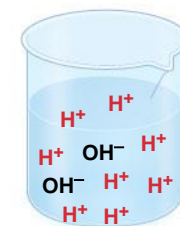
**hidroxid  
ion**

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

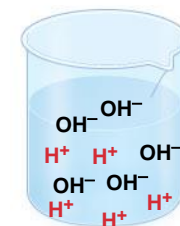
$10^{-7} \text{ mol} / \text{dm}^3$

$K_v = 10^{-14}$

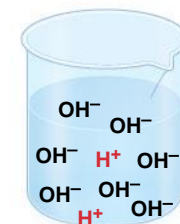
→ **pH**



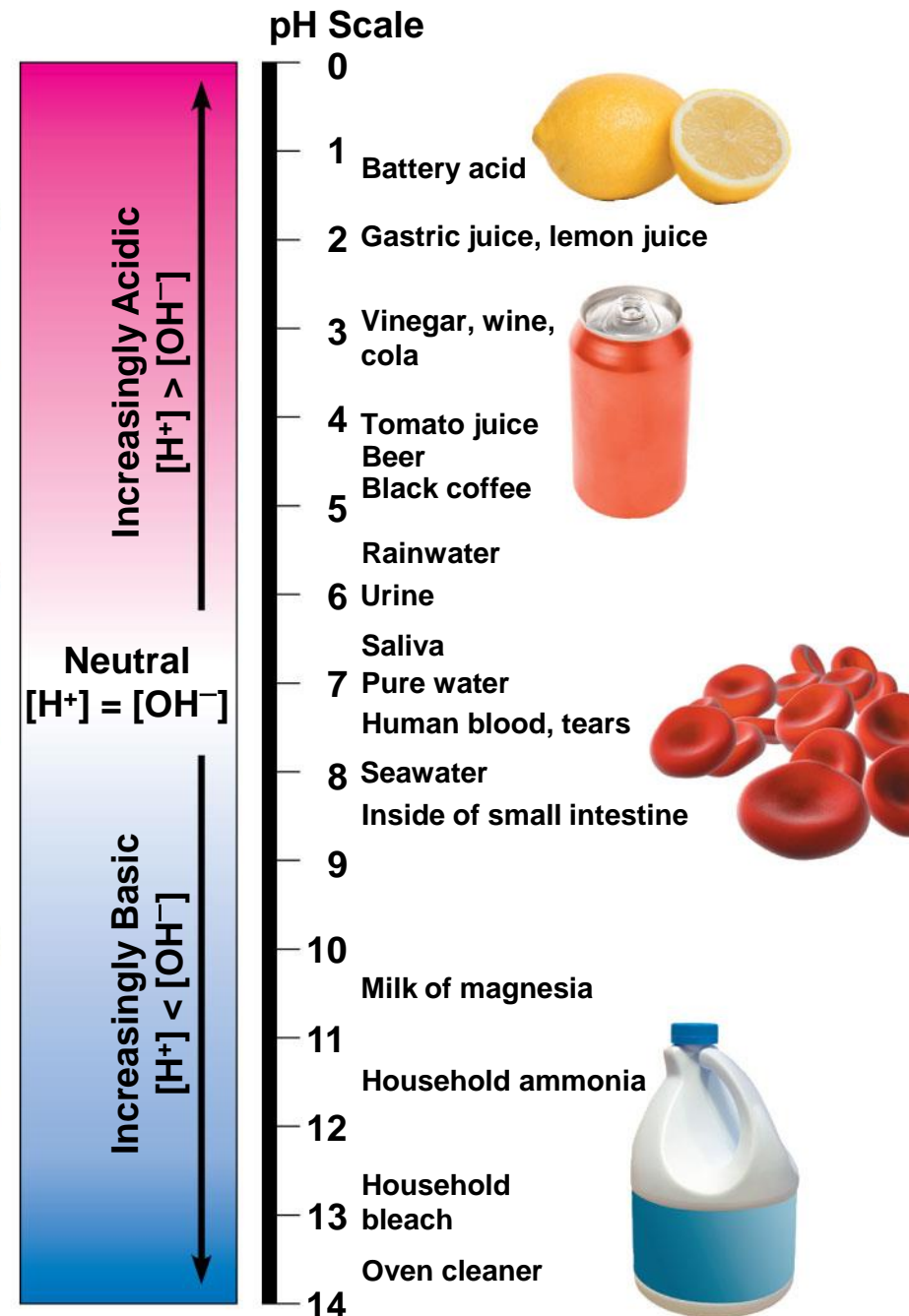
**Acidic  
solution**



**Neutral  
solution**



**Basic  
solution**



# Apoláros molekulák oldása vízben

## Hidrofób kölcsönhatás

hajtóerő

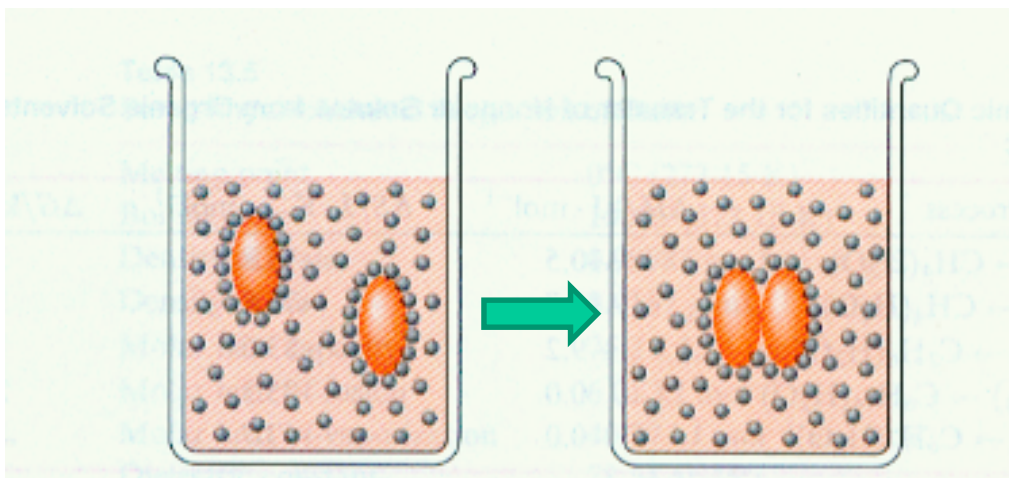


$$\Delta S > 0$$



$$\Delta G < 0$$

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



$$\Delta H > 0$$

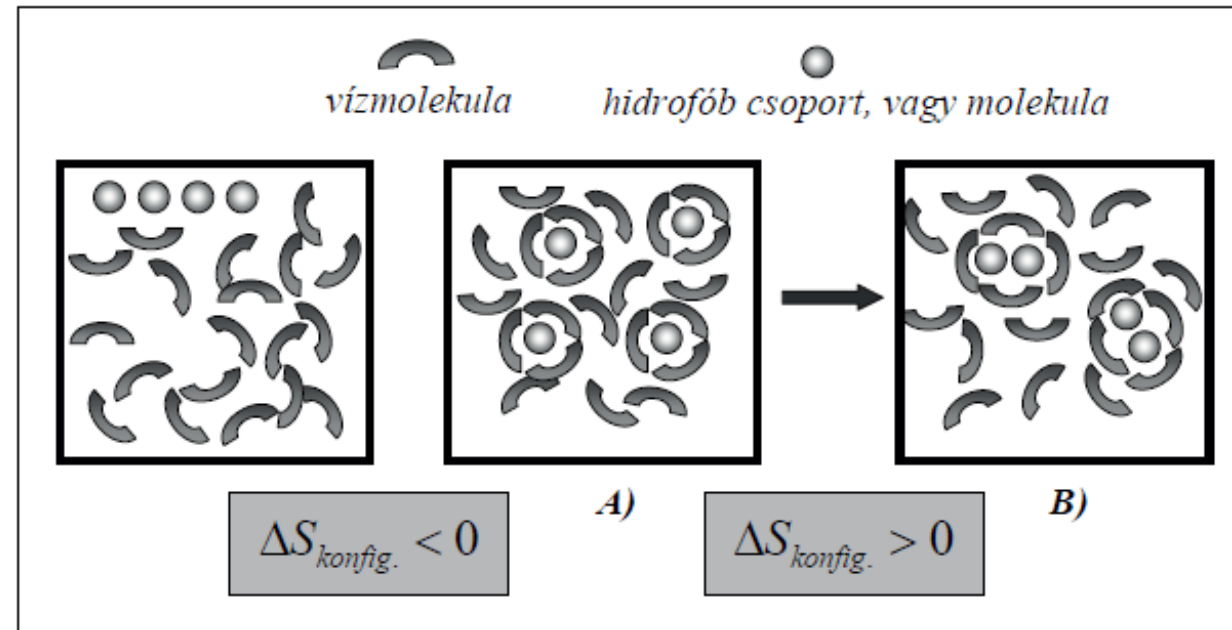
$$\Delta S > 0$$



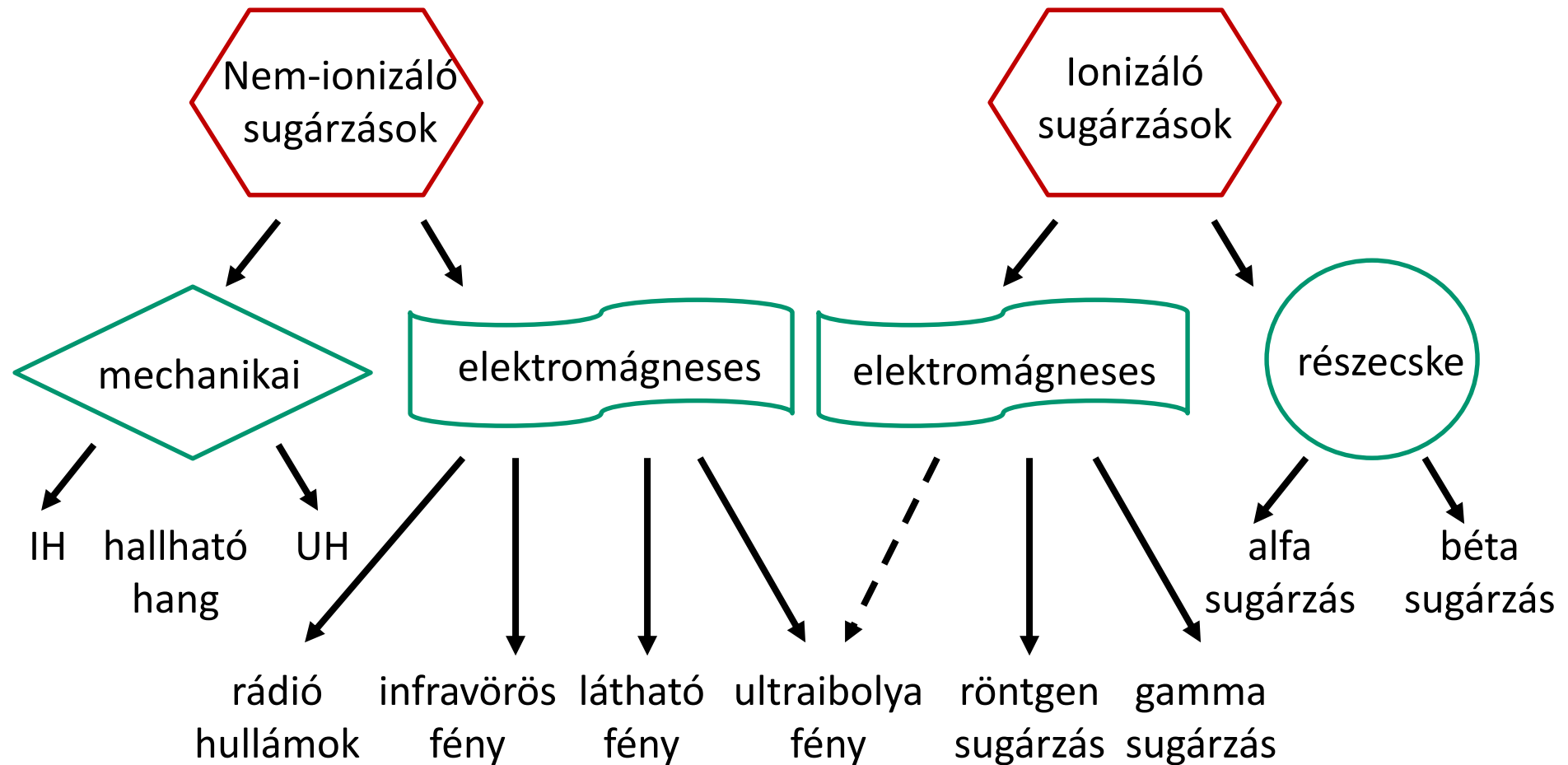
$$\Delta G < 0$$



W. Kauzman



# Sugárzások



# Hőmérsékleti feketetest sugárzás

Környezetének hőfokától függetlenül **minden test** az abszolút nulla foktól különböző **hőmérsékleten** elektromágneses sugárzást bocsát ki.

**Abszolút fekete test:** minden rá eső energiát elnyel  $\alpha = 1$

$$\alpha = \frac{J_{\text{absz}}}{J_{\text{össz}}}$$

Test által elnyelt/  
Testet ért összes  
sugárzás intenzitása



**Kirchhoff megfigyelése:** ha egy test „erősebben” sugároz, akkor jobban el is nyel

**Az emberi test kb. 95%-os fekete testnek tekinthető.**

$$\frac{M_{\lambda i}}{M_{\lambda j}} = \frac{\alpha_{\lambda i}}{\alpha_{\lambda j}}$$

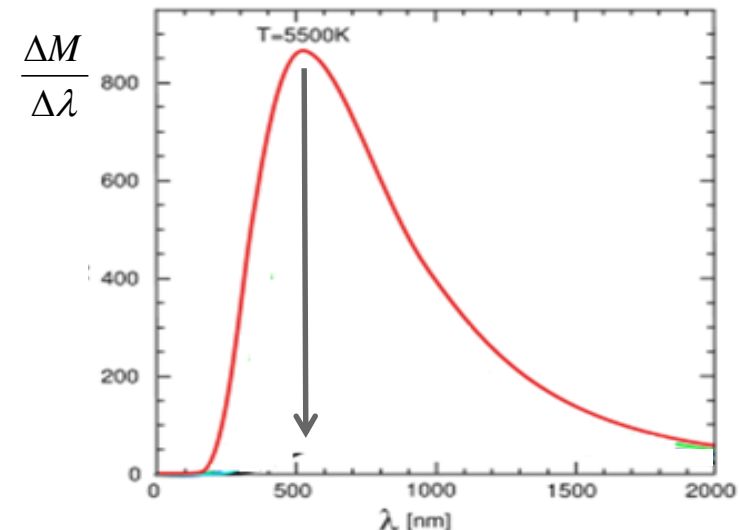
$M$ : kisugárzott felületi teljesítmény [ $\text{W}/\text{m}^2$ ]

$$M_i < M_{\lambda(\text{fekete})}$$

## A hőmérsékleti sugárzás emissziós spektruma

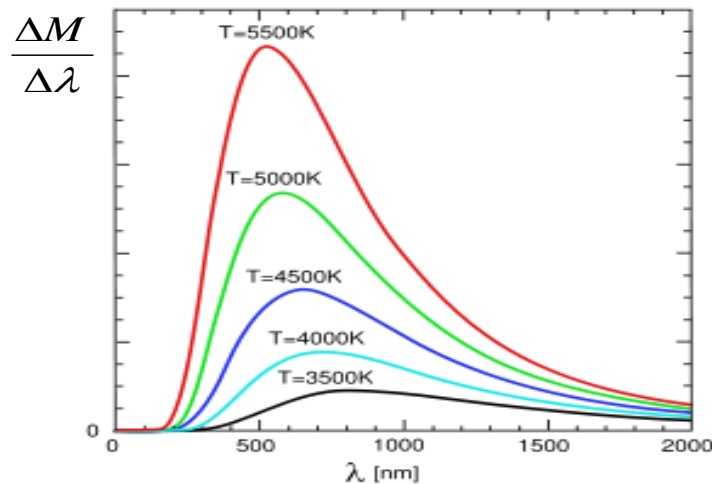
- a spektrum folytonos
- egy maximuma van :  $\lambda_{\text{max}}$
- a görbe alatti terület:  $M = \sigma T^4$

**Stefan –  
Boltzmann  
törvény**





# Hőmérsékleti feketetest sugárzás



$$T \times \lambda_{\max} = \text{állandó}$$

$$T \times \lambda_{\max} = k$$

Wien-féle eltolódási törvény

Alkalmazások: Stefan Boltzmann törvény alapján  
intenzitásokat mérünk

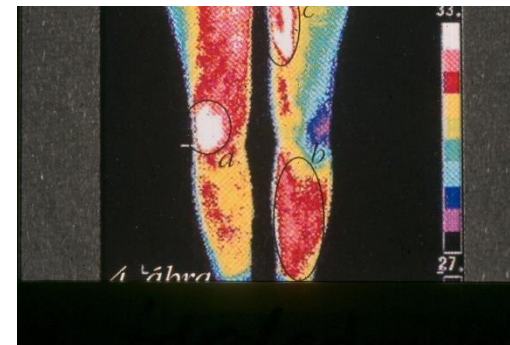
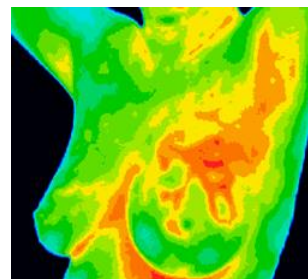
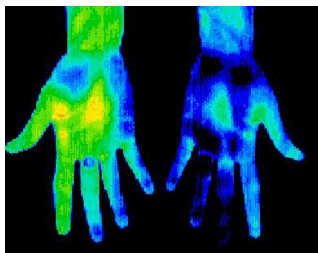
## Hőmérsékleti sugárzás detektálása teletermográfia - infradiagnosztika

A köpeny hőtésképe – daganatok, gyulladások, érszűkületek diagnosztikája

Wien-féle eltolódás alapján az emberi test spektrumának maximuma

$$\lambda_{\text{peak}} = \frac{2.898 \times 10^6 \text{ K} \cdot \text{nm}}{305 \text{ K}} = 9500 \text{ nm}$$

Emberi hőtésképek készítésében alkalmazott  
készülékek érzékenységi maximuma: **7-14  
microméter**



Köszönöm a figyelmet!



SEMMELWEIS  
EGYETEM 1769