

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

Dr 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**),

Gyakorlaton szerezhető plusz pontok: Amennyiben a jegyzőkönyvek átlaga és a ZH átlaga eléri, illetve meghaladja a 90%-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 (Moodle rendszeren keresztül), amelyet az előző előadás anyagából választunk ki. A helyes válasz 1 pontot ér, aki min 8 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 @semmelweis.hu

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)

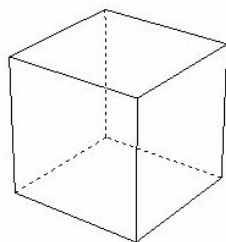
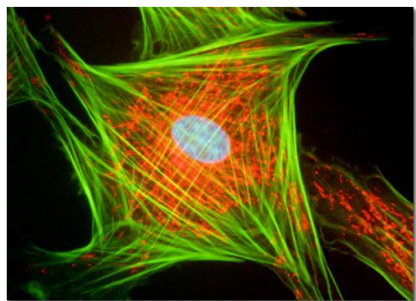
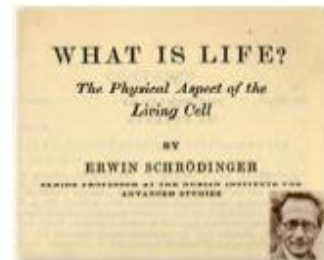


(Erwin Schrödinger (1887-1961))

“...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.

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

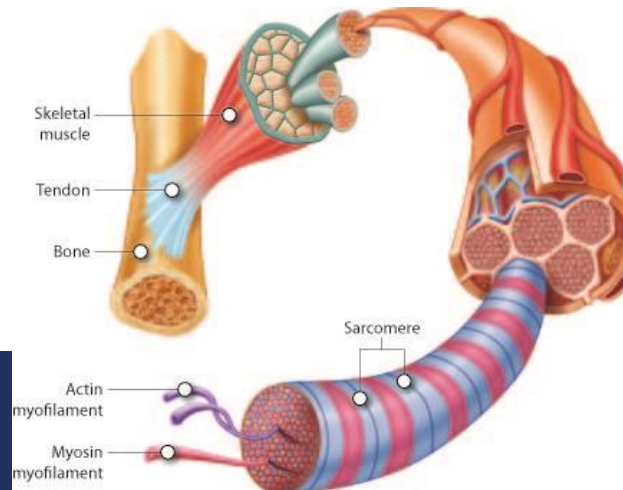
Biomimetikus anyagok azok a szintetikus anyagok, melyek összetételét, struktúráját vagy funkcióját a természetből vett példa szolgálja.

Technikai anyag ↔

Élő anyag

Nem hierarchikus

Hierarchikus

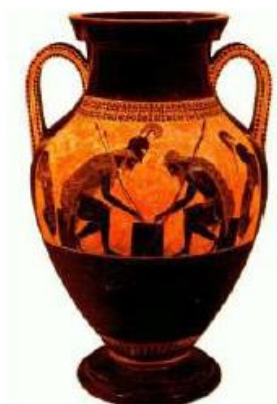


Technikai anyag



Élő anyag

Állandó



Korrózió



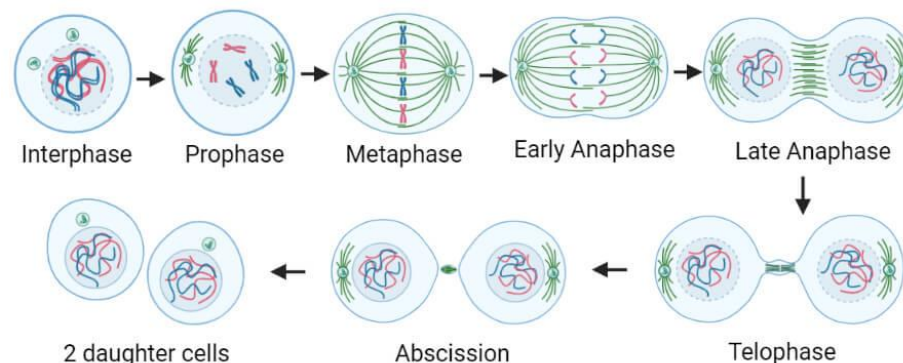
Passzív



Folytonos megújulás

Cell Cycle

Definition, Phases, Regulation, Checkpoints



Anupama Sakuta

Öngyógyulás

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



Alkalmazkodó
képesség



Technikai anyag



Élő anyag

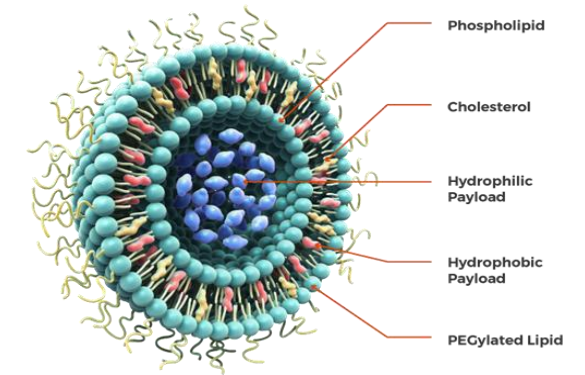
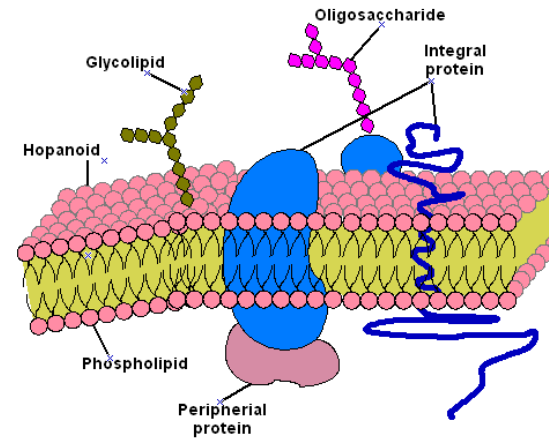
Mérnöki struktúra



Termikusan
ellenálló



Önszerveződő struktúra



Hőmérséklet
érzékeny



Technikai anyag ← →

Élő anyag

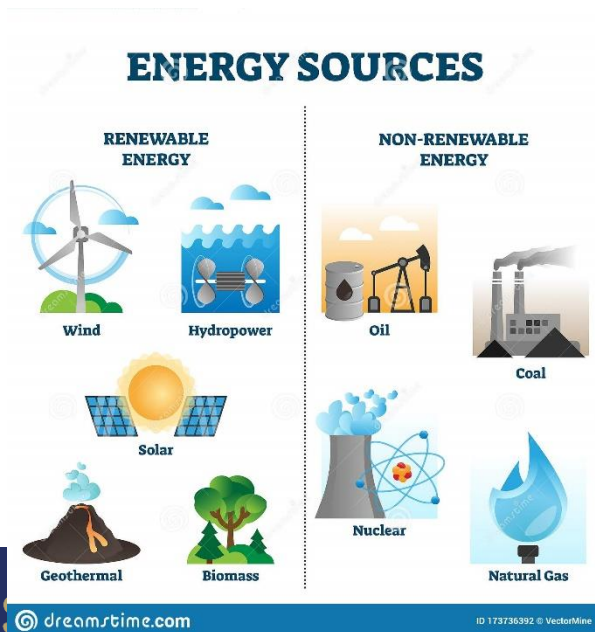
Folyamatos energia ellátás működés közben



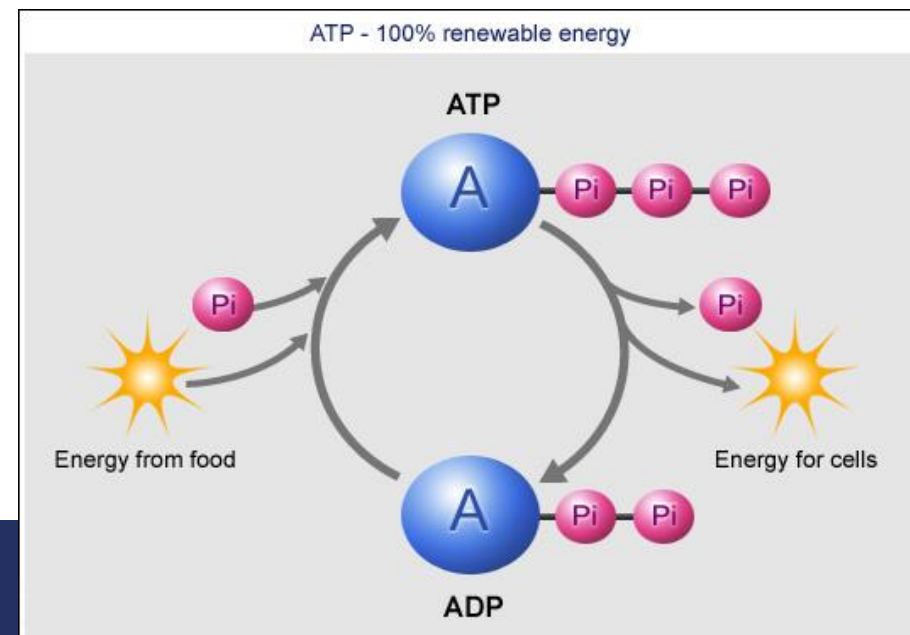
Szakaszos energia ellátás működés közben



Változatos
energiaforrások



Energiaforrás
ATP



Technikai anyag

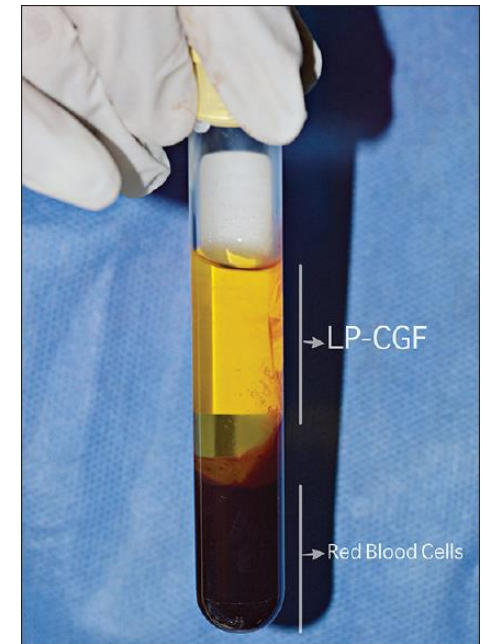


Élő anyag

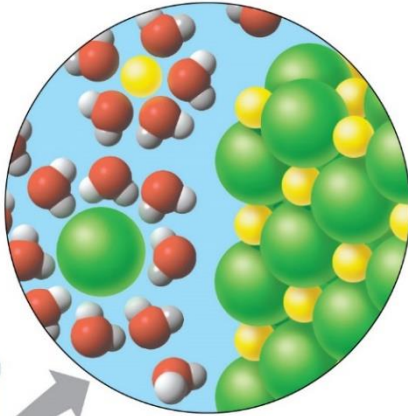
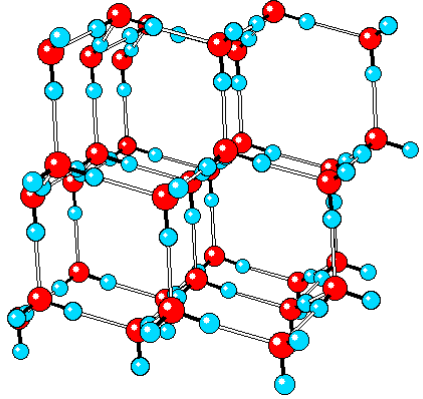
Folyadék



Folyadék

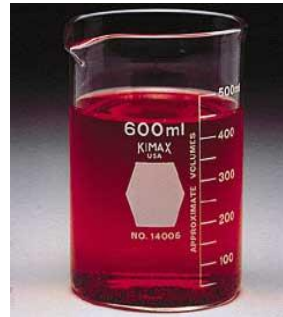


Biológiai rendszerek különleges komponense: a víz

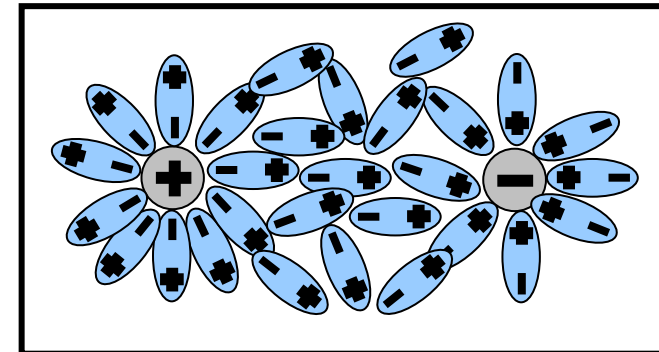


© 2011 Pearson Education, Inc.

Makroszkopikusan



**Molekuláris
felbontásban**

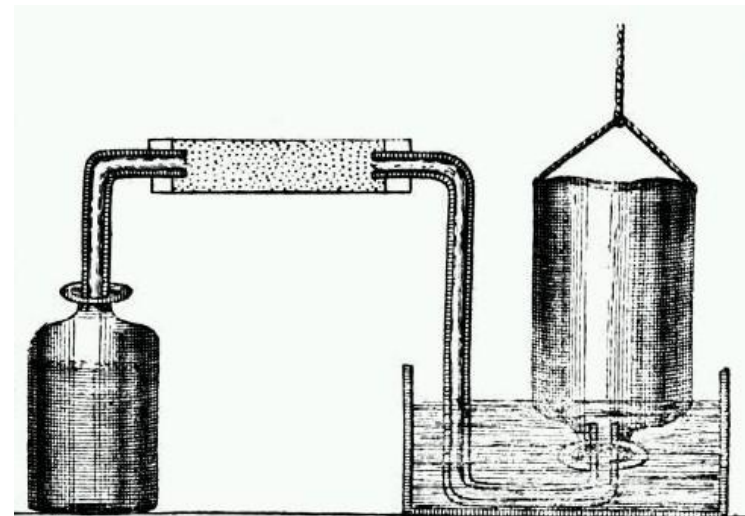
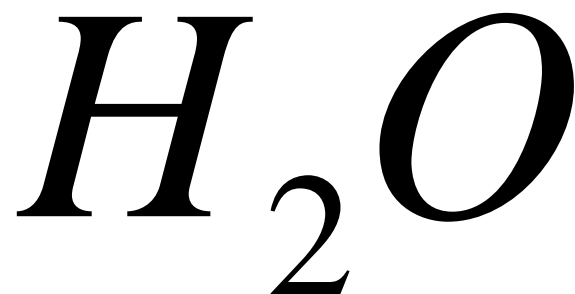


Egy különleges folyadék: a **víz**



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

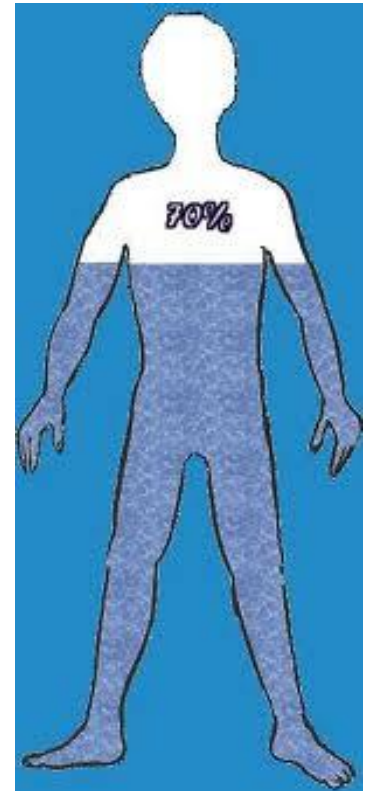
Kémiai összetételét először az angol Henry Cavendish határozta meg 1783-ban.



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

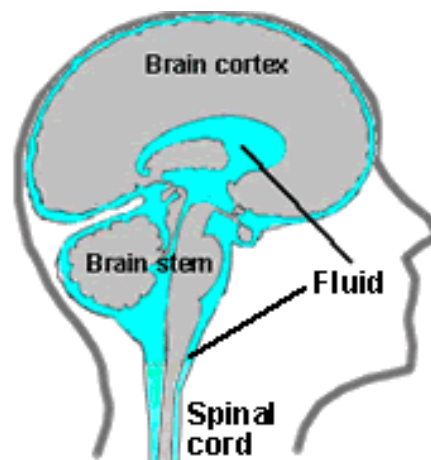
→ párolgás 400 ml

→ 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.

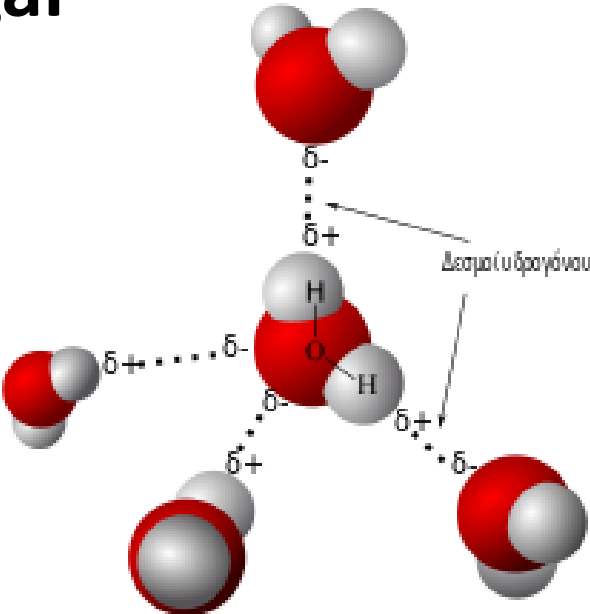
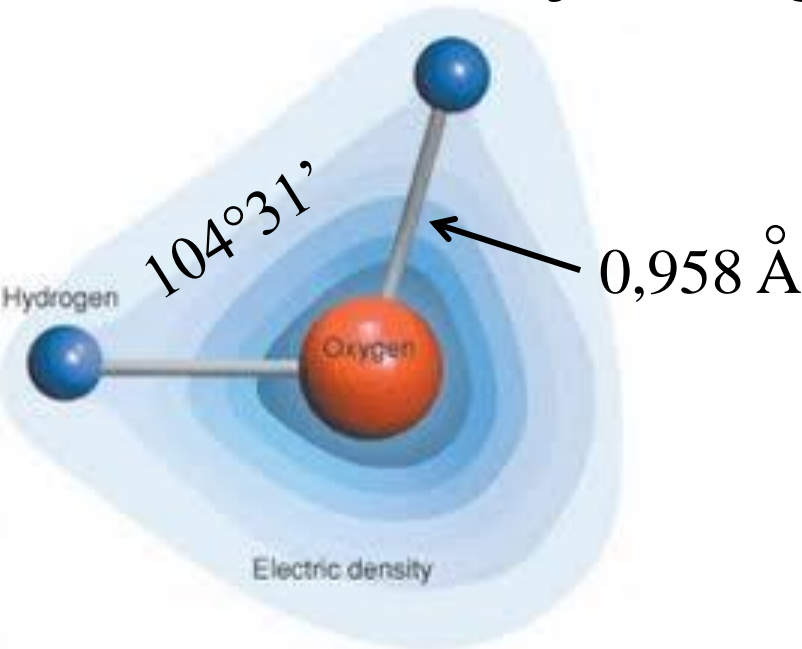
Agyvíz = liquor ~120 ml

Legfontosabb szerepe:
védelem, szövet táplálás,



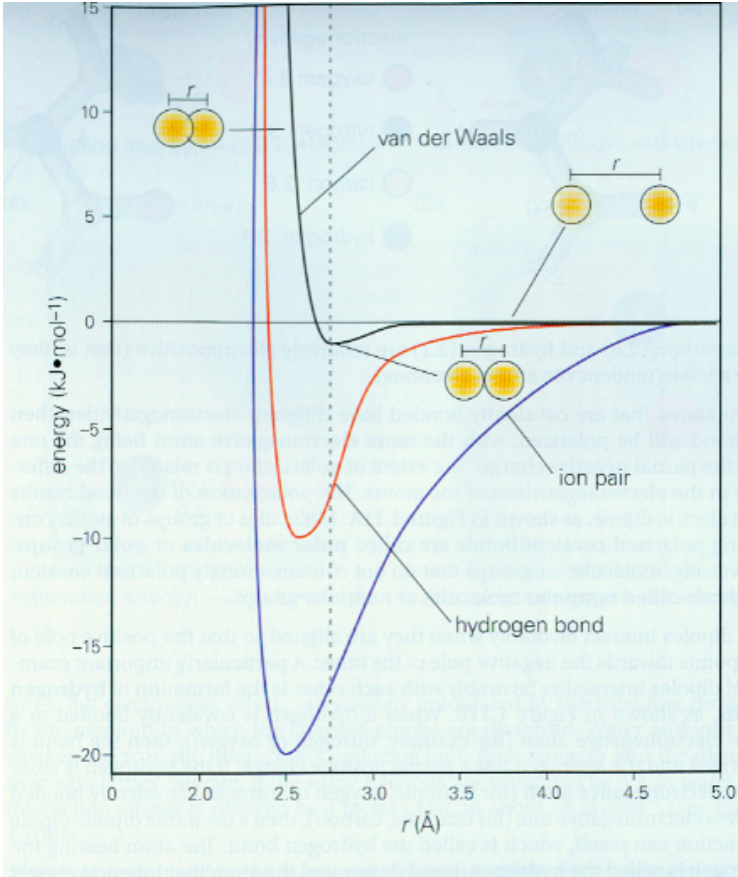
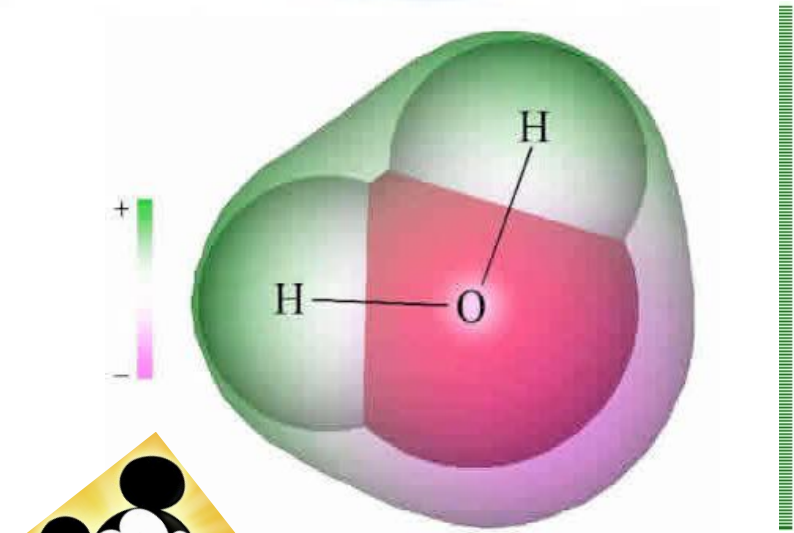
Az elfogyasztott víz bejárja az egész szervezetet. Az emésztő-rendszerből felszívódik a vérbe, majd a szervezetben szétáramlik és a különböző szervekben és szövetekben átmenetileg tárolódik, ahol leadja a benne oldott anyagokat.

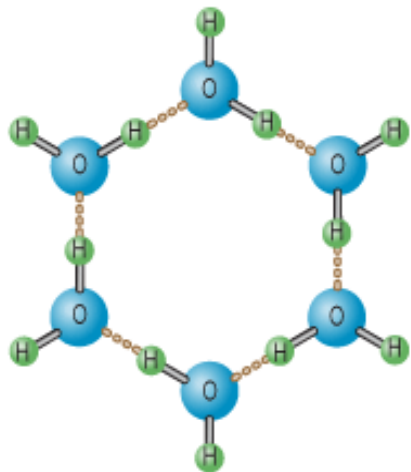
A víz fizikai tulajdonságai



A hidrogénhíd

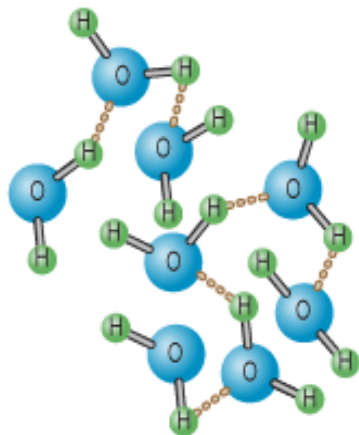
Egy intramolekuláris H-híd bontásához szükséges energia $\sim 1\text{-}2 \text{ k}_B T$



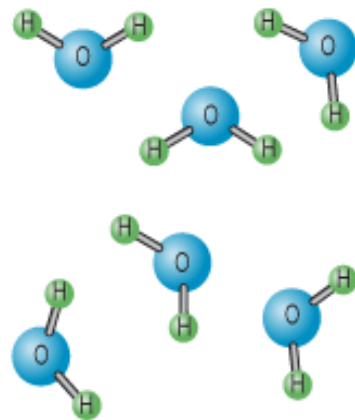


© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

jég



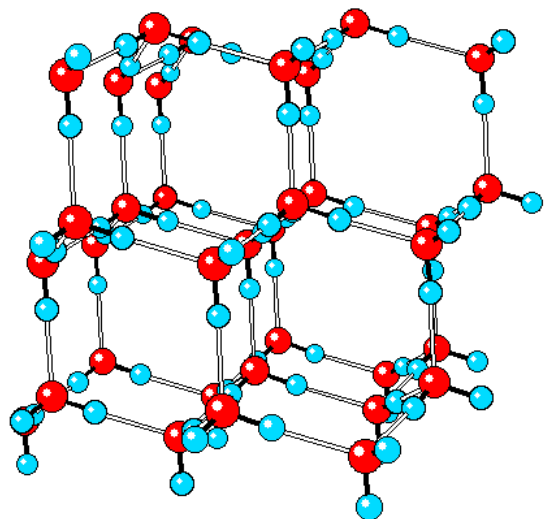
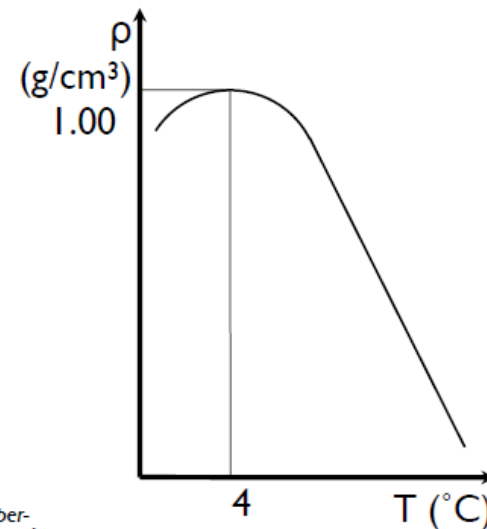
víz



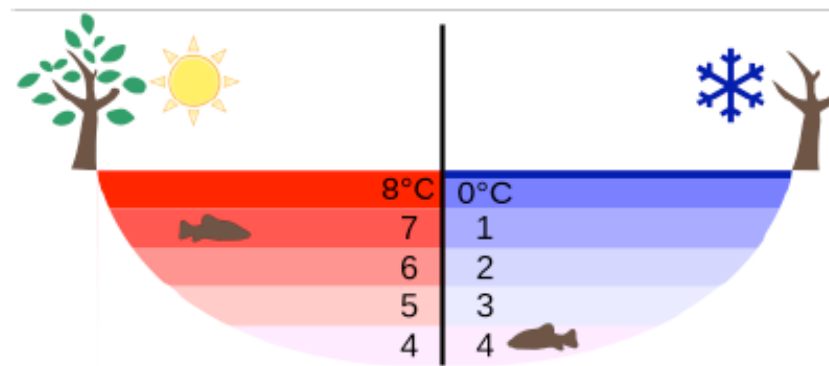
vízgőz

Hőmérséklet (°C) Sűrűség (kg/m³)

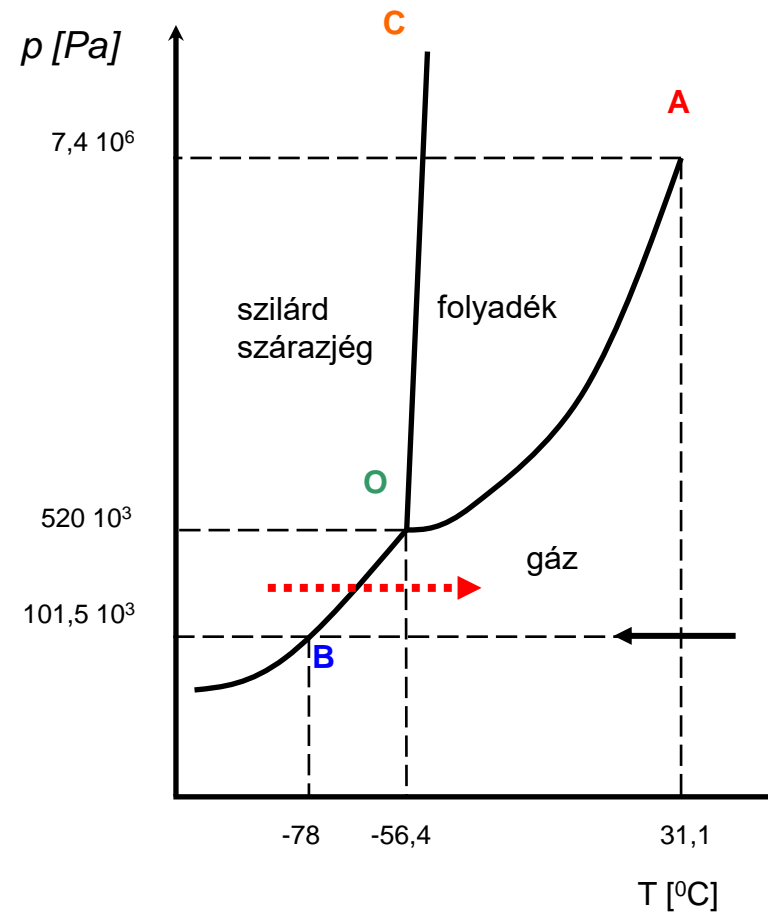
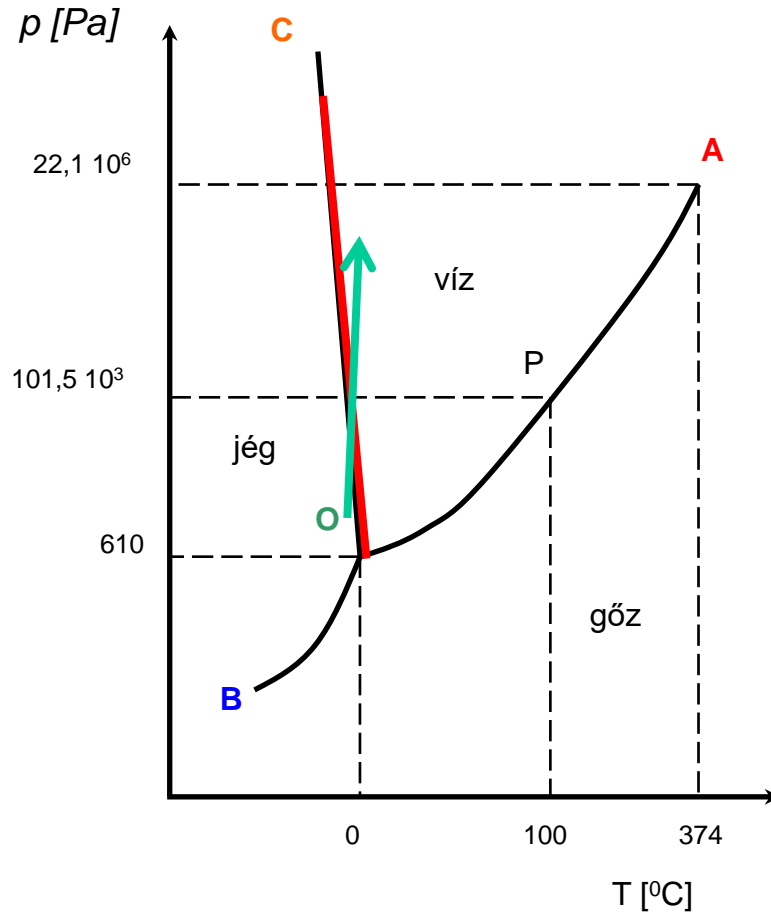
+100	958.4
+80	971.8
+60	983.2
+40	992.2
+30	995.6502
+25	997.0479
+22	997.7735
+20	998.2071
+15	999.1026
+10	999.7026
+4	999.9720
0	999.8395
-10	998.117
-20	993.547
-30	983.854



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



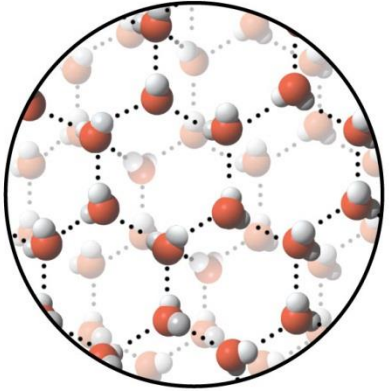
A víz és a szén-dioxid fázisdiagramja.



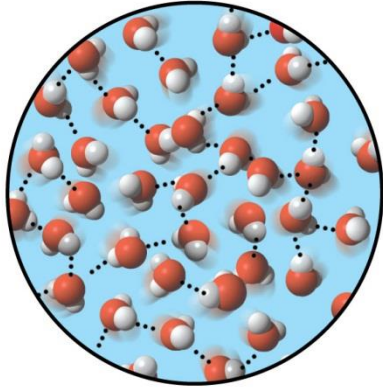
- Fázisgörbe: két fázis egyensúlyban
- Fázisgörbék közötti terület: egyetlen fázis van jelen
- Metszéspont: hármaspont

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.



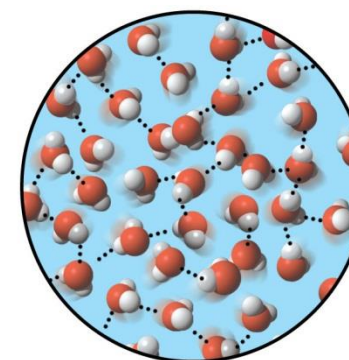
Ha víz a többi folyadékhoz hasonló “normális” folyadékként viselkedne, **nem lennének hegyi patakjaink!**

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

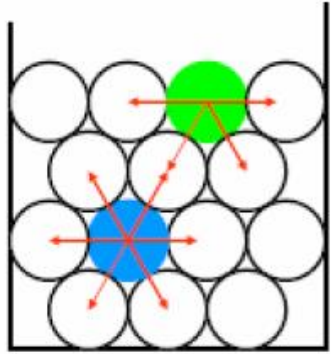
$$-\frac{dQ}{dt} = \Delta h_{\text{párolgás}} \cdot (\rho_{\text{lev}}^{\text{ki}} - \rho_{\text{lev}}^{\text{be}}) \frac{dV_{\text{izz}}}{dt}$$



V_{izz}

Molekulák között ható erők – felületi erők

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



Molekuláris szinten:

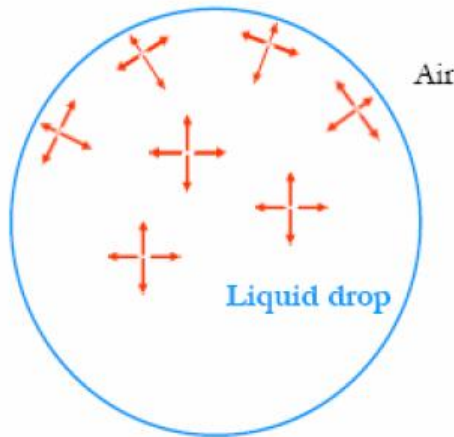
Felületen szabadon mozgó
Tömb fázisban szabadon mozgó

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 - γ

A felületen lenni extra energiát igényel →

Extra felületi szabadenergia jellemzése: felületi feszültség

Definíció: Egységnyi felület létrehozásához szükséges izoterm, reverzibilis munka - „W” [mJ/m²]

A teljes munka „W” , mJ/m²:

$$W \sim \Delta A$$

$$W = \gamma \Delta A$$

$$\gamma = W / \Delta A$$

$$[\text{mJ/m}^2 \times \text{m}^2 = \text{mJ}]$$

$$[\text{mJ/m}^2]$$

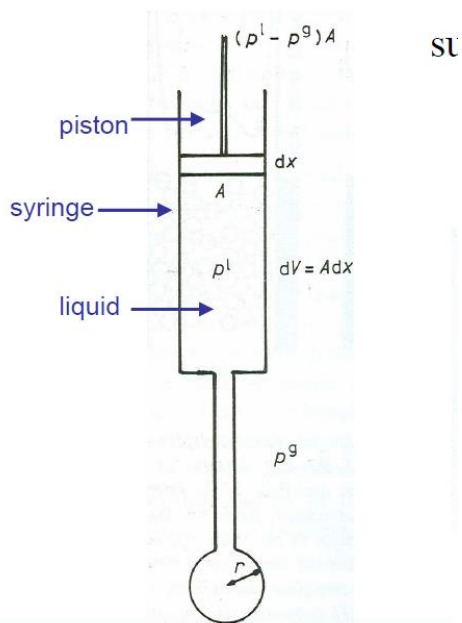
Felületi feszültség „ γ ”:

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.**

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

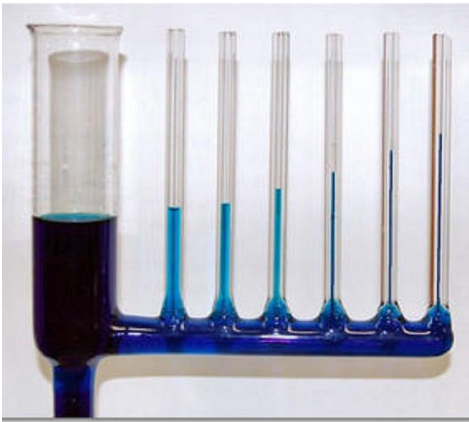
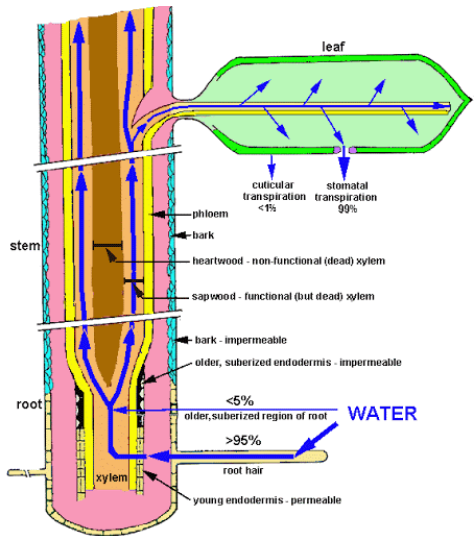
A víz felületi feszültsége 298 K-en 72,8 mN/m és a felületi szabadenergiája 72,8 mJ/ m².

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

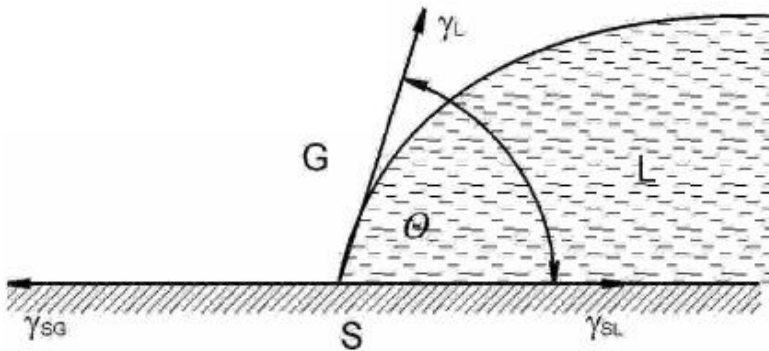
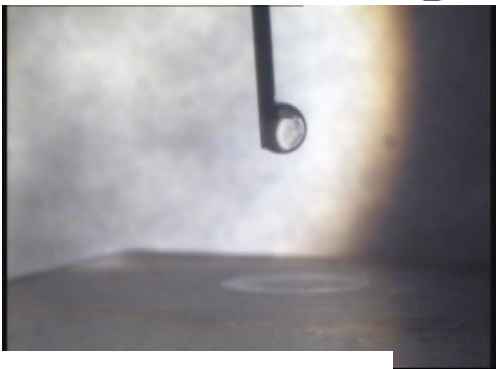


$$(p^l - p^g) \times \Delta V = W = \gamma \times \Delta A \rightarrow \gamma = \frac{W}{\Delta A}$$

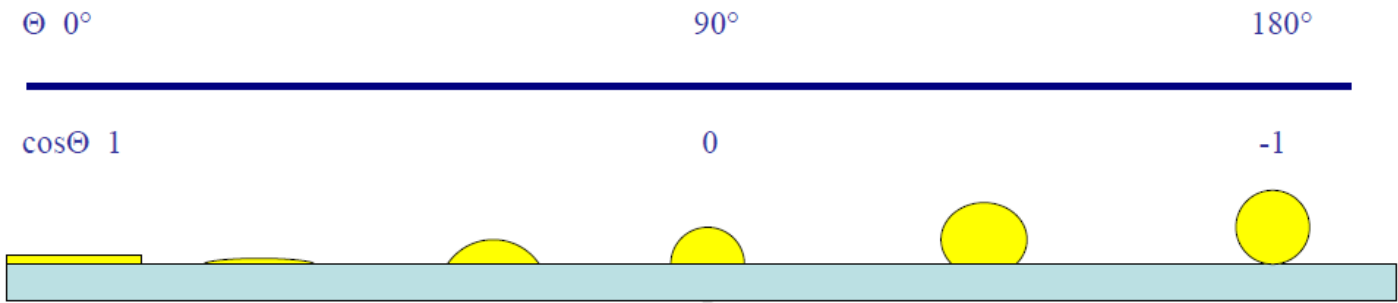
Kedveli a poláros felületeket (pl. cellulóz)
(kapilláris emelkedés)



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



A forró leves sokkal ízletesebbnek hat, mint a hideg, mivel a felületi feszültség a hőmérséklettel csökken, így a forró leves könnyebben szétterül a nyelvünkön. Ennek köszönhetően az ízérzékelő receptorok közül több fog érintkezni a levessel és az agyunk felé ízben gazdagabb információt közvetít.



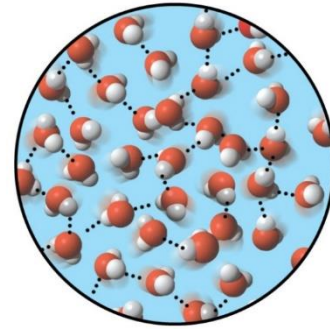
A szappan csökkenti a felületi feszültséget, így megfelelő energia befektetésével (fújás) könnyebben kiszakítható a folyadék film.



A vízi molnárka a felületi feszültséget használja ki a hosszú vékony lábaival, hogy szaladhasson a víz felületén. Azonban ha csökkentjük a felületi feszültségét a víznek...

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:

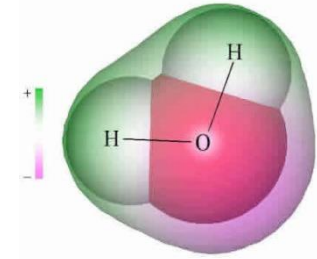
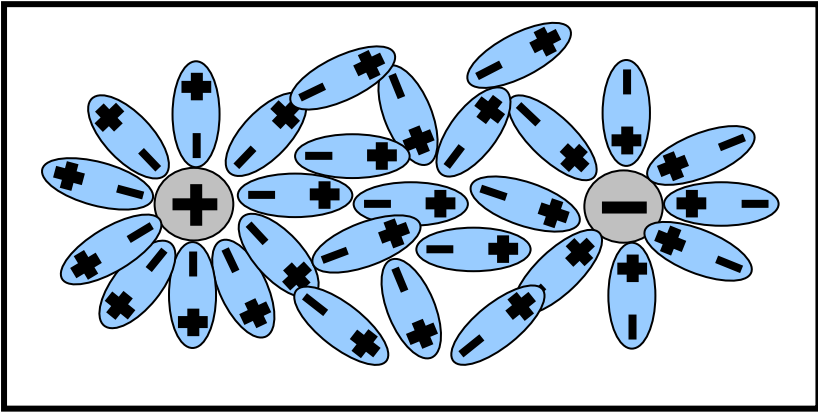
<https://thekidshouldseethis.com/post/65529827880>



<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.



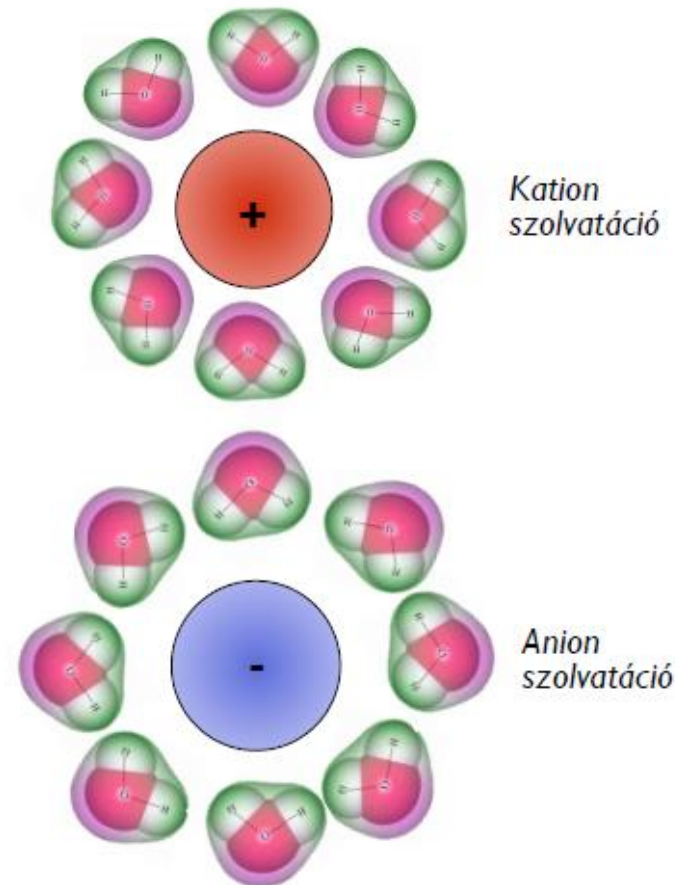
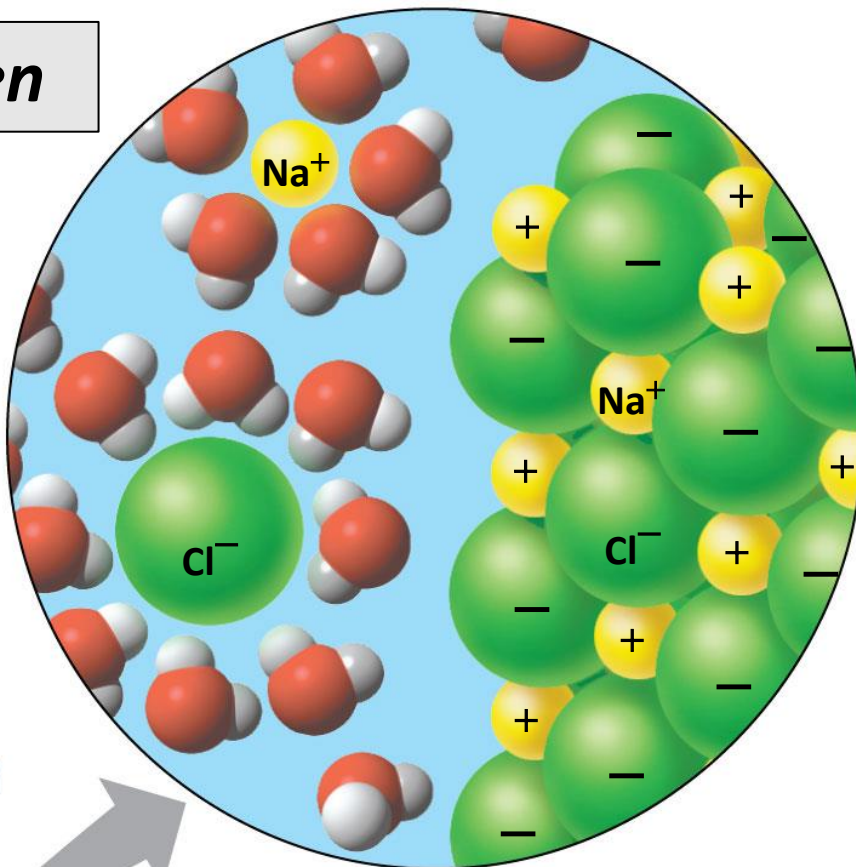
Dielektromos állandó 25 C°-on: 78,54
Dipólus momentum: 1,82 D

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?

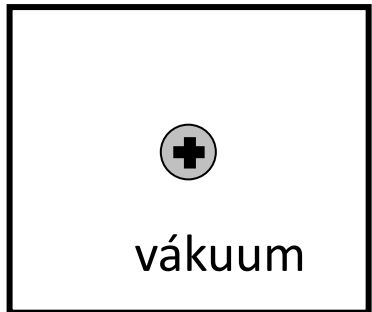
Coulomb törvény

Vákuumban!

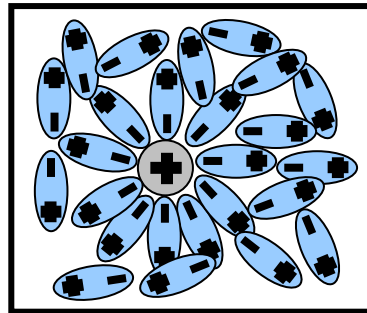
$$\mathbf{f}_{1,2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{1,2}^2} \cdot \mathbf{e}_{1,2}$$

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

Közeg hatás!



(szolvatáció)
hidratáció

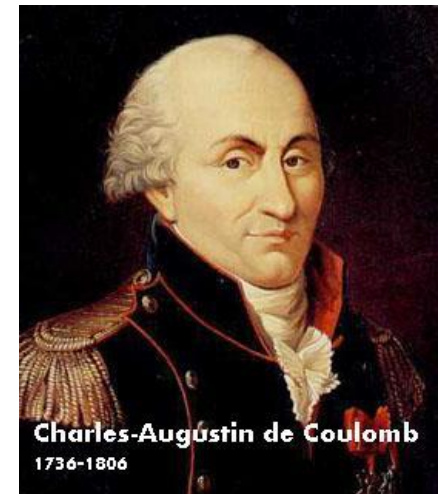


$$\mathbf{f}(\mathbf{r}_{1,2}) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_{1,2}$$

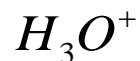
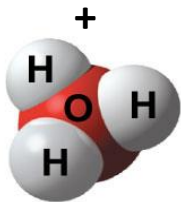
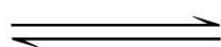
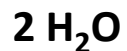
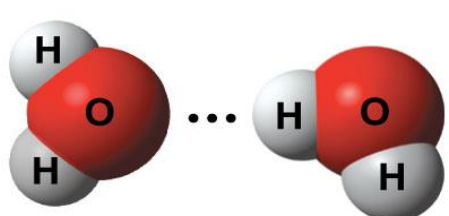
ϵ_r : relatív permittivitás (dielektromos állandó)

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.

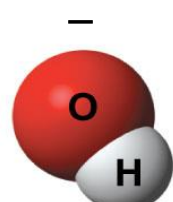
Anyag	Relatív permittivitás (Dielektromos állandó)
víz	78,5
hangyasav	51,1
dimetil-szulfoxid	47,2
dimetil-formamid	38,3
metanol	33,0
etanol	25,3
aceton	21,0
kloroform	4,8
benzol	2,3
hexán	1,9
levegő	1,0



Autoprotolízis



**oxónium
ion**



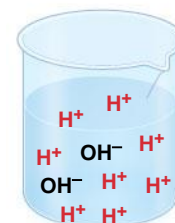
**hidroxid
ion**



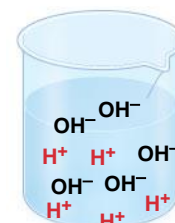
$K_v = 10^{-14}$



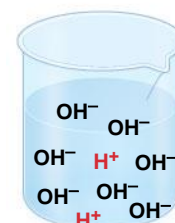
pH



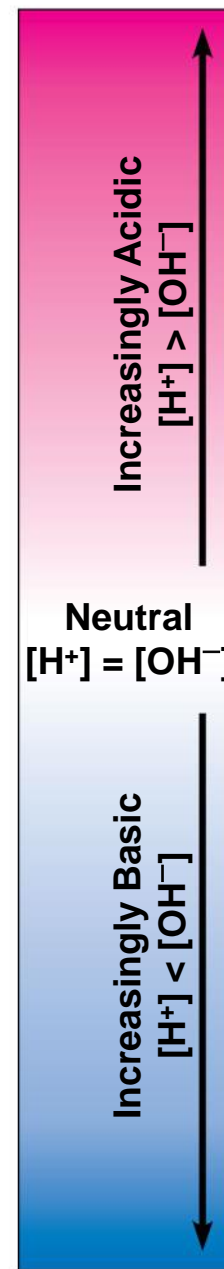
**Acidic
solution**



**Neutral
solution**



**Basic
solution**



pH Scale

0

1

Battery acid



2

Gastric juice, lemon juice

3

Vinegar, wine, cola



4

Tomato juice
Beer
Black coffee

5

Rainwater

6

Urine

7

Saliva
Pure water
Human blood, tears



8

Seawater
Inside of small intestine

9

10

Milk of magnesia

11

Household ammonia

12

Household
bleach

13

Oven cleaner

14



Apoláros molekulák oldása vízben

Hidrofób kölcsönhatás

hajtóerő

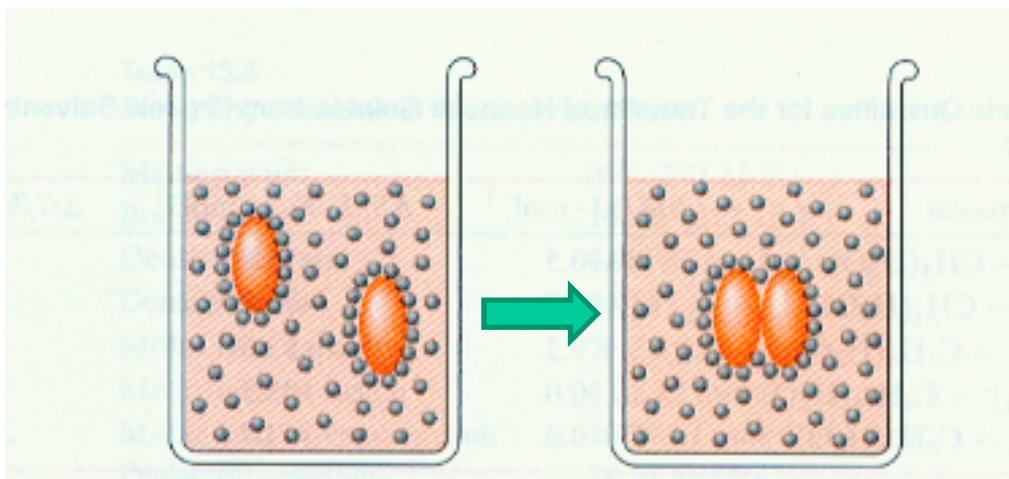


$$\Delta S > 0$$



$$\Delta G < 0$$

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



$$\Delta H > 0$$

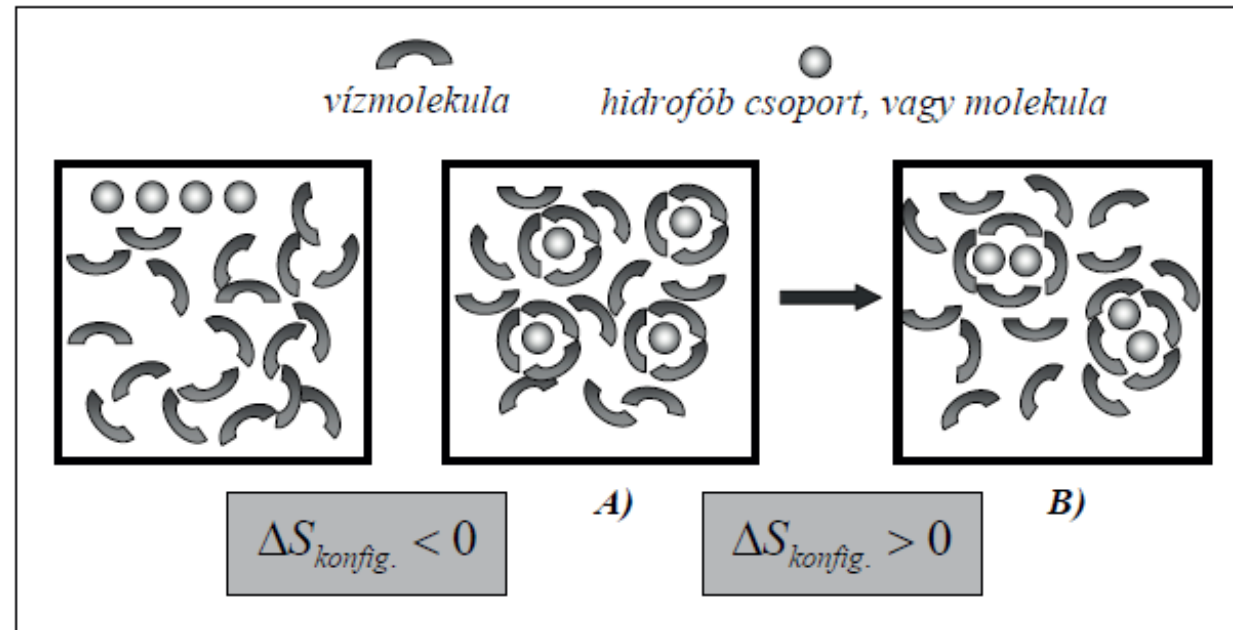
$$\Delta S > 0$$



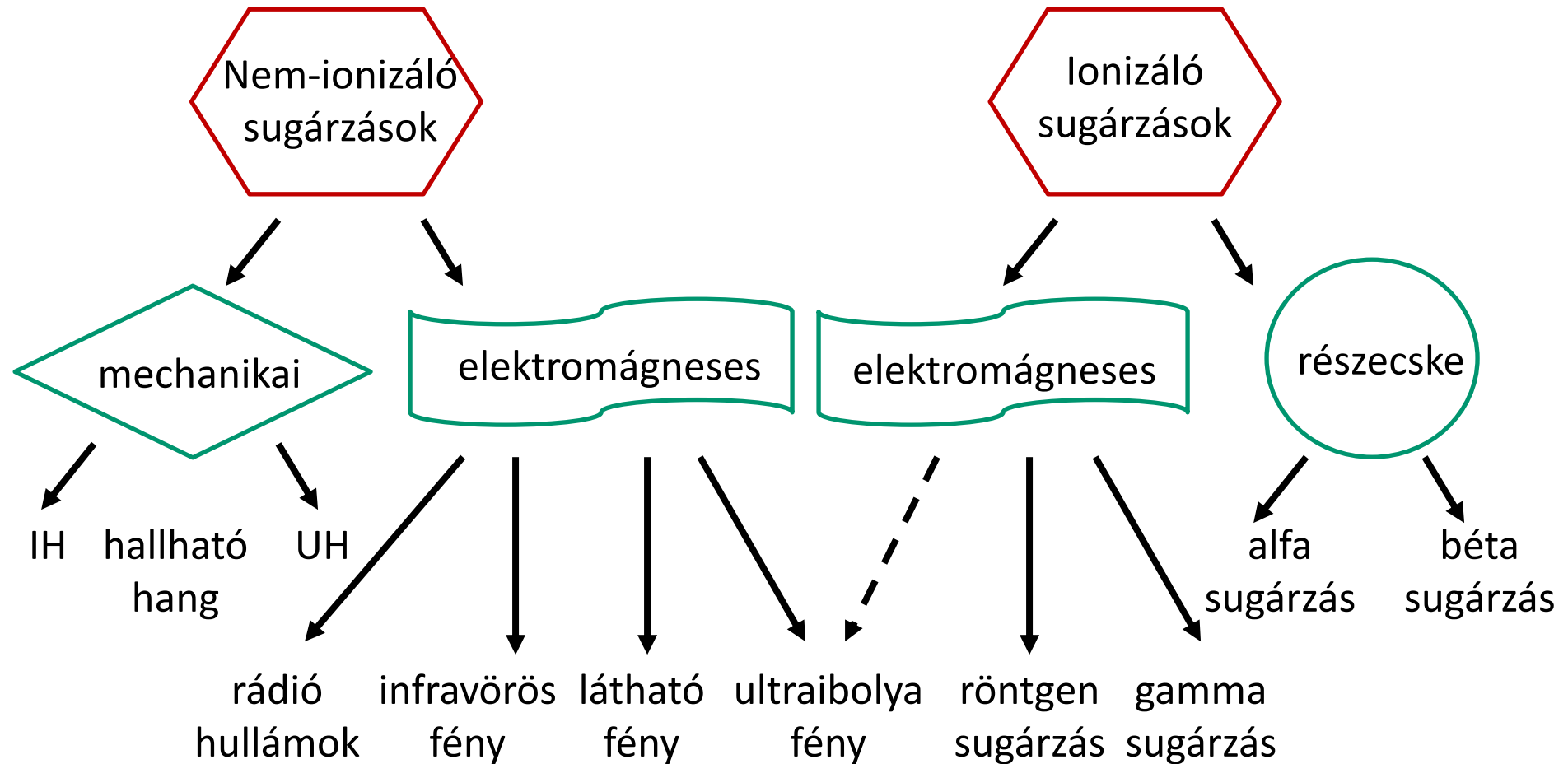
$$\Delta G < 0$$



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 [W/m^2]

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

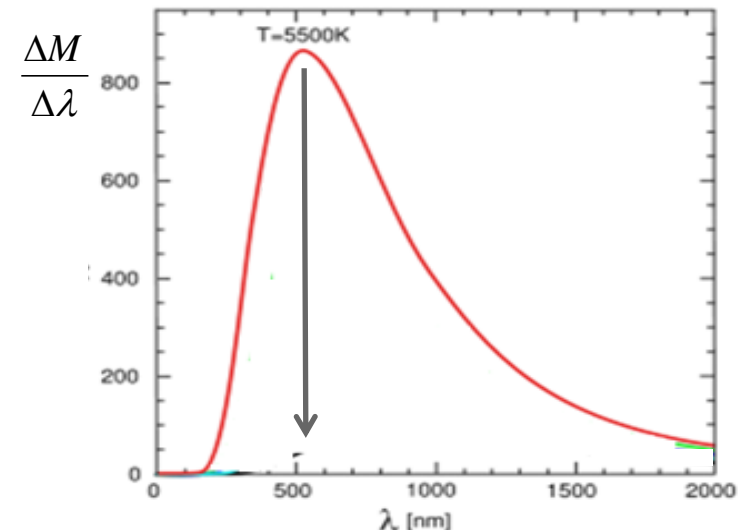
A hőmérsékleti sugárzás emissziós spektruma

- a spektrum folytonos

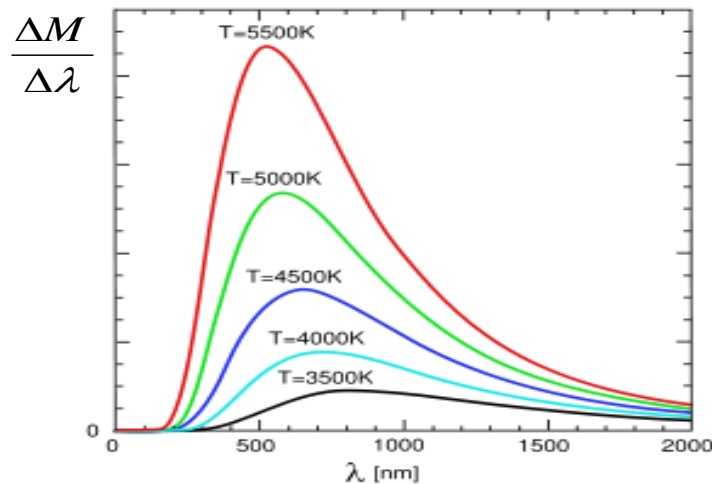
- egy maximuma van : λ_{max}

- 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

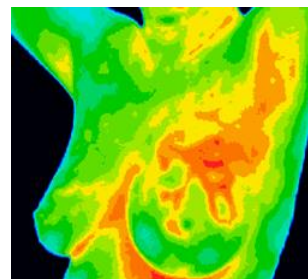
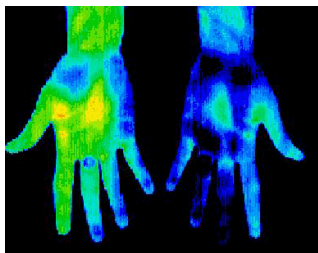
Hőmérsékleti sugárzás detektálása teletermográfia - infradiagnosztika

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