

# Biofizika I

## 5. Anyagszerkezet: atomok, molekulák, kristályok

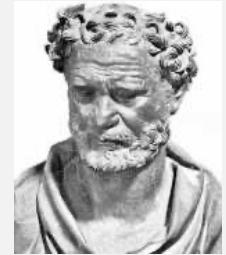
Liliom Károly

2025. 10. 08.

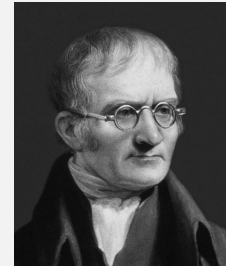
[karoly.liliom.mta@gmail.com](mailto:karoly.liliom.mta@gmail.com)

# Atommodellek fejlődése

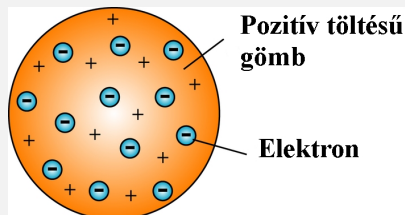
„Csupán hozzánk viszonyítva van édes, keserű, forró és szín, a valóságban csak atomok léteznek és az űr.” Démokritosz i.e. 460-370. Az atomok oszthatatlan örök létezők, súllyal, kiterjedéssel rendelkeznek, alakjukban sokfélék.



Annyiféle atom, ahányféle elem, az atom gömb alakú, egy vegyületben a részt vevő elemek aránya állandó, akármennyi anyagból is keletkeznek.  
"A new system of chemical philosophy" (John Dalton, 1808)

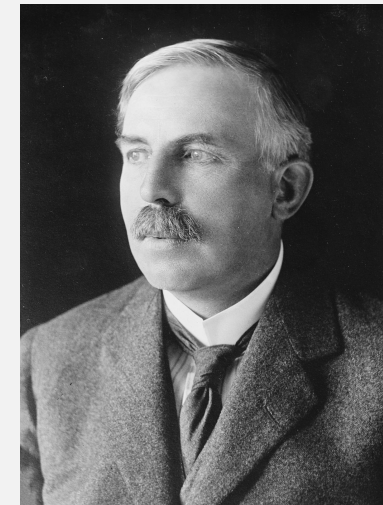
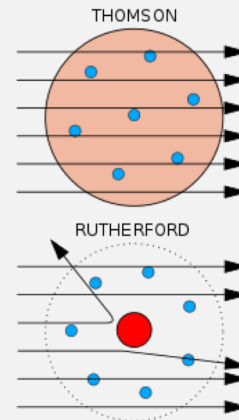
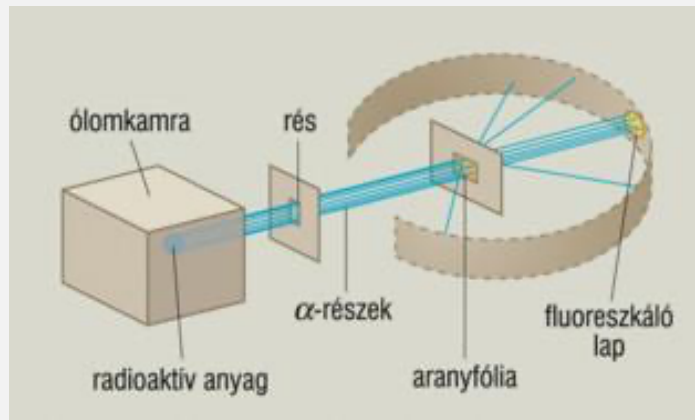


Az elektron felfedezése: Joseph John Thomson (1897, Nobel-díj 1906).  
Katódsugár: azonos, negatív töltésű, kis tömegű részecskék, bármely anyagot is használjuk katódként, tehát ez a részecske minden elem atomjának alkotórésze.



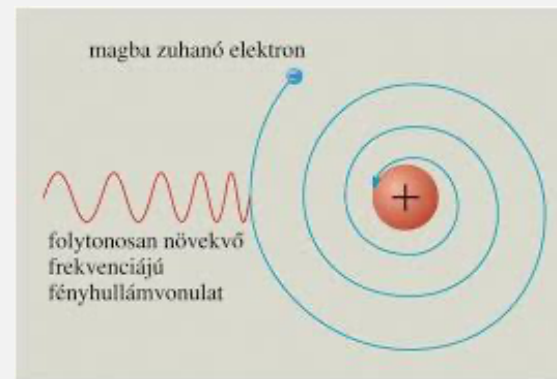
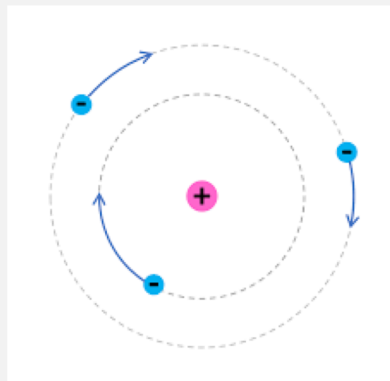
Az atomban egyenletesen oszlik el a tömeg nagyobb, pozitív töltésű része, és abban mozognak a kis tömegű elektronok.  
Joseph John Thomson "mazsolás-puding modell" (1904)

# Atommodellek fejlődése



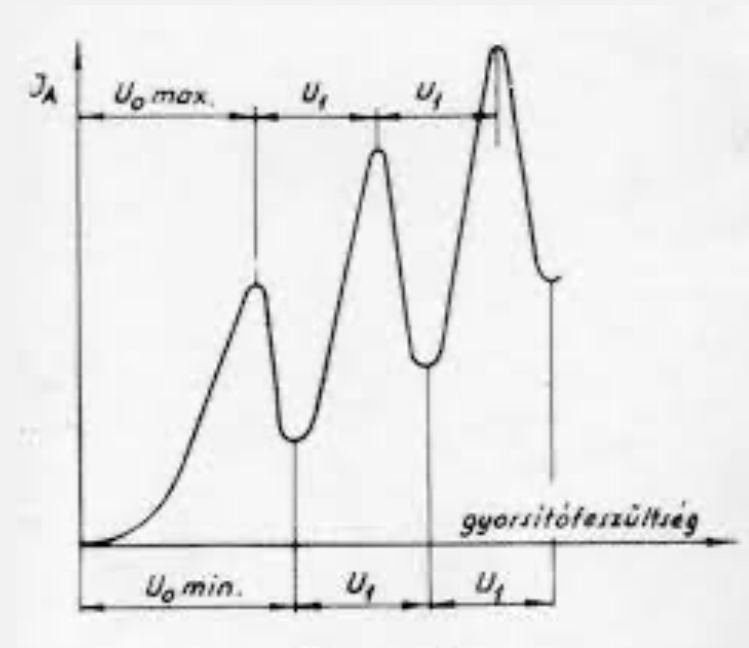
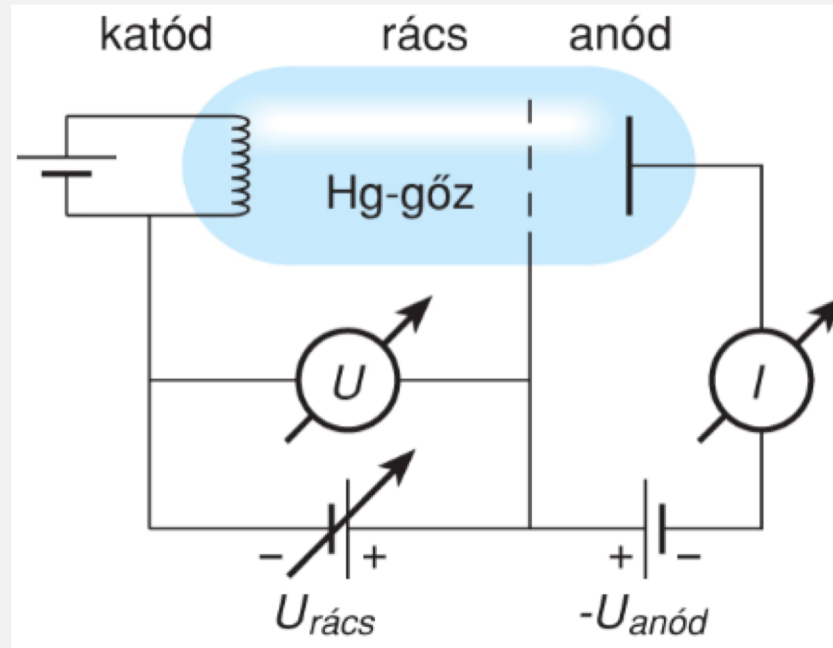
1909-1911:  $\alpha$ -részecskék szóródásának mérése

Ernest Rutherford (1911): Az atom tömegének túlnyomó többsége egy nagyon kis méretű, pozitív töltésű magban található, amely körül az elektronok úgy keringenek, mint a bolygók a nap körül.



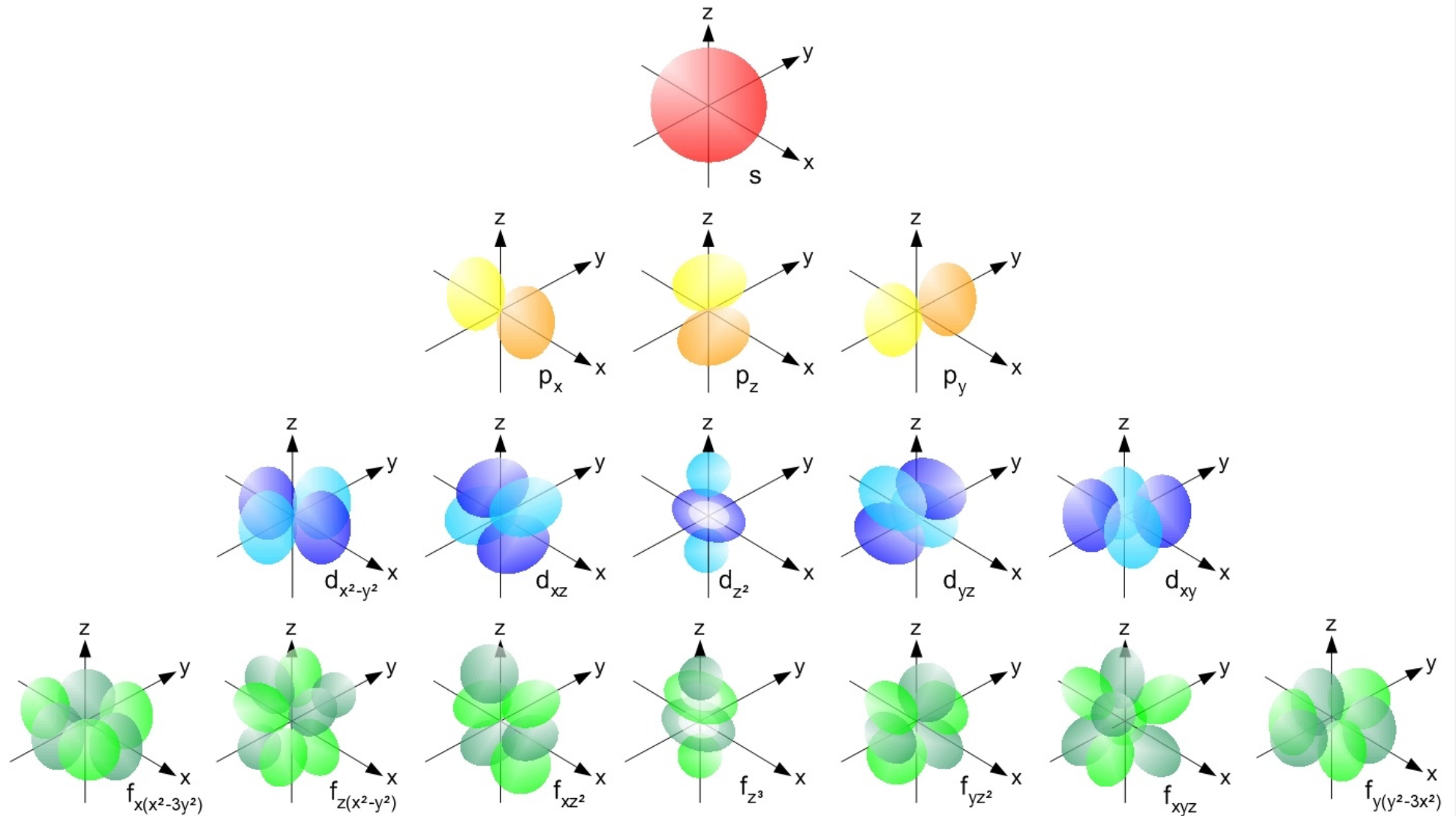


# Franck – Hertz kísérlet (1914)



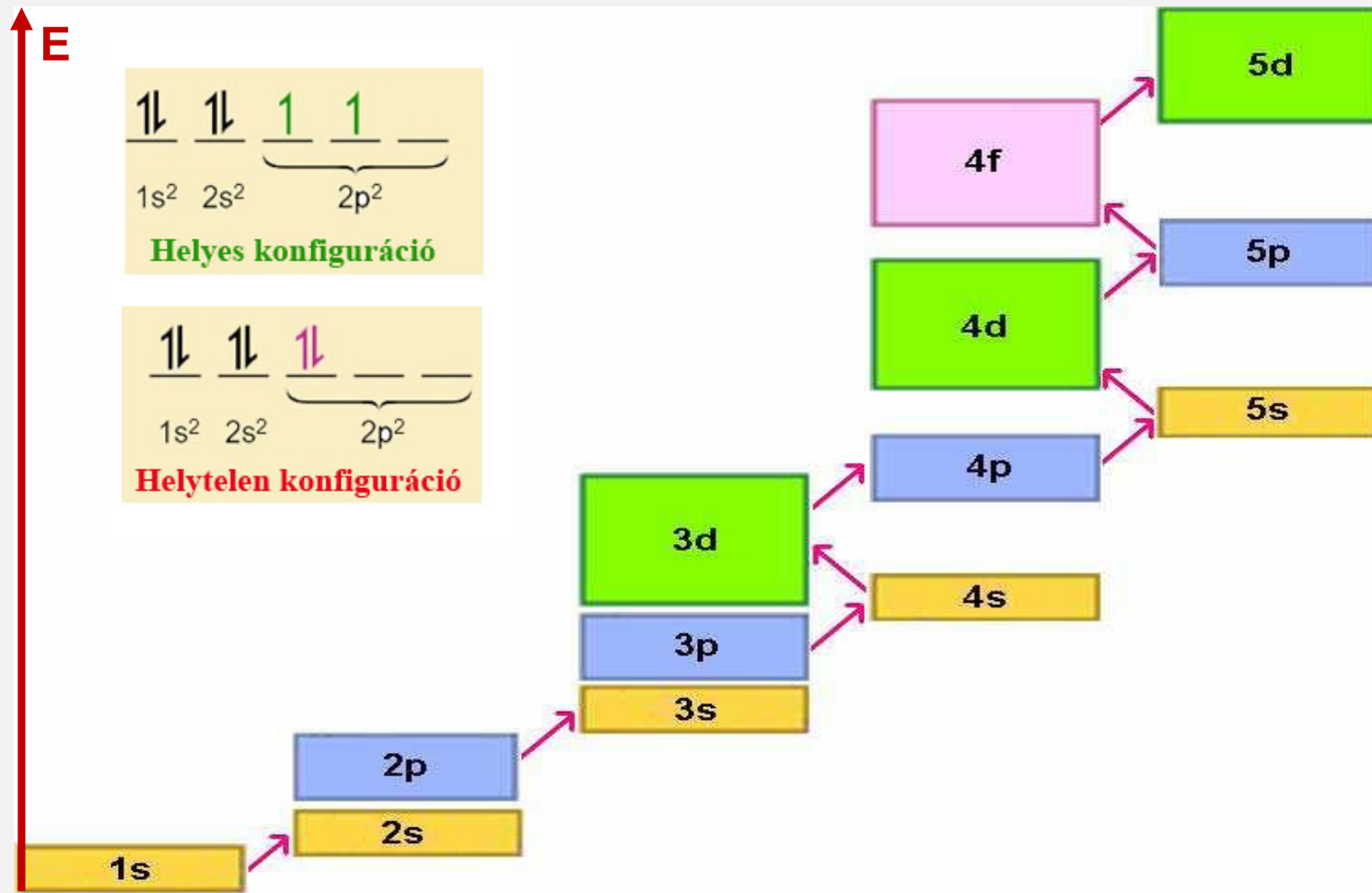
A rácsfeszültség növelésével az elektronok rugalmasan ütköznek a Hg-atomokkal, egészen addig, amíg a rácsfeszültség elegendően nagy értékénél az ütközés rugalmatlan lesz, az elektronok át tudják adni energiájukat a Hg-atomoknak, az energiaveszteség miatt azonban nem érik el az anódot, az anódáram lecsökken. Az atomok energiája nem változhat folytonosan, az atom csak diszkrét energia-kvantumokat képes átvenni az elektronoktól.

# Atommodellek fejlődése



Louis de Broglie: elektronhullám, Ervin Schrödinger: hullámfüggvény-hullámegyenlet  
Térben 4 kvantumszám (fő-, mellék-, mágneses- és spin-kvantumszám)

# Atommodellek fejlődése



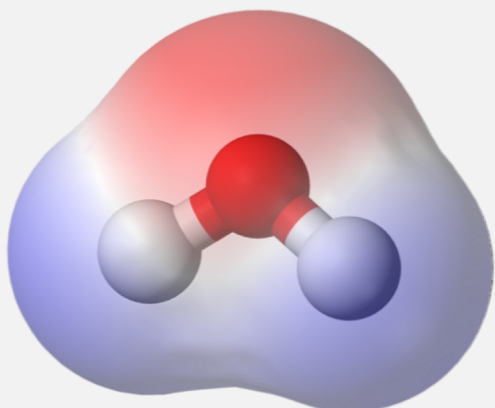
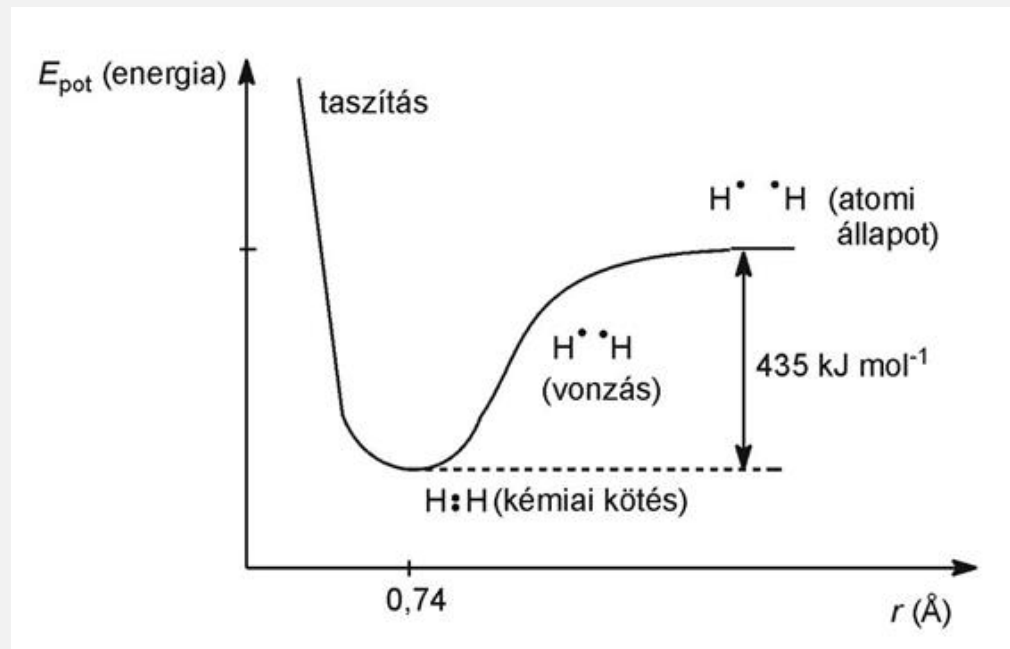
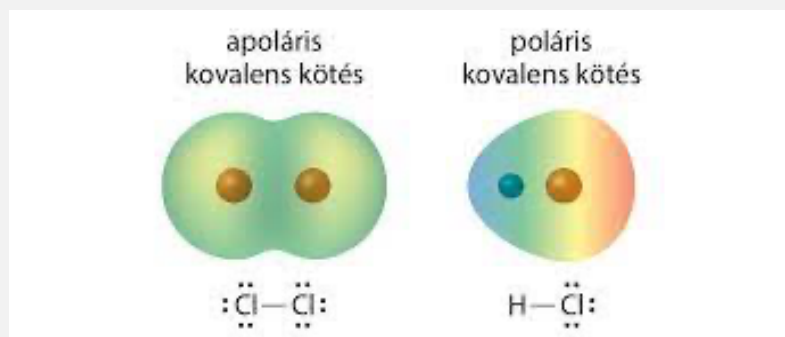
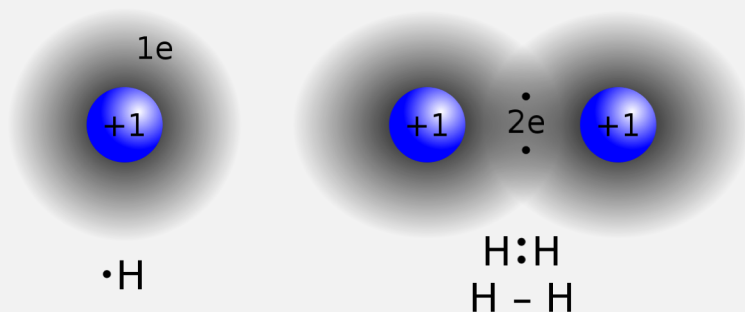
**Pauli-elv:** több elektront tartalmazó rendszerben mindegyik elektron más kvantumállapotban van – egy atomon belül nem létezhet két olyan elektron, amelyek mind a négy kvantumszáma megegyezik. **Hund-szabály:** adott elektron-konfiguráció mellett a legnagyobb eredő spin-értékű állapotnak van a legalacsonyabb energiája.

# Az elemek periódusos rendszere

PERIÓDUS CSOPORT	s-elemek		AZ ELEMEL PERIÓDUSOS RENDSZERE																p-elemek					
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	0							
K 1	1,01 <b>H</b> 1 Hidrogén		relatív atomtömeg ——— 26,98 vegyjel ——— <b>Al</b> <sup>3</sup> <sub>8</sub> <sub>2</sub> rendszám ——— 13 — az elektronok eloszlása az energiaszinteken Alumínium																4,00 <b>He</b> 2 Hélium					
L 2	6,94 <b>Li</b> 3 Lítium	9,01 <b>Be</b> 4 Berillium	<b>B</b> 5 Bór	<b>C</b> 6 Szén	<b>N</b> 7 Nitrogén	<b>O</b> 8 Oxigén	<b>F</b> 9 Fluor	<b>Ne</b> 10 Neon																
M 3	22,99 <b>Na</b> 11 Nátrium	24,31 <b>Mg</b> 12 Magnézium	<b>Al</b> 13 Alumínium	<b>Si</b> 14 Szilícium	<b>P</b> 15 Foszfor	<b>S</b> 16 Kén	<b>Cl</b> 17 Klór	<b>Ar</b> 18 Argon																
N 4	39,10 <b>K</b> 19 Kálium	40,08 <b>Ca</b> 20 Kalcium	<b>Sc</b> 21 Szkandium	<b>Ti</b> 22 Titán	<b>V</b> 23 Vanádium	<b>Cr</b> 24 Króm	<b>Mn</b> 25 Mangán	<b>Fe</b> 26 Vas	<b>Co</b> 27 Kobalt	<b>Ni</b> 28 Nikkel	<b>Cu</b> 29 Réz	<b>Zn</b> 30 Cink	<b>Ga</b> 31 Gallium	<b>Ge</b> 32 Germánium	<b>As</b> 33 Arzén	<b>Se</b> 34 Szelén	<b>Br</b> 35 Bróm	<b>Kr</b> 36 Kripton						
O 5	85,47 <b>Rb</b> 37 Rubídium	87,62 <b>Sr</b> 38 Stroncium	<b>Y</b> 39 Ittrium	<b>Zr</b> 40 Cirkónium	<b>Nb</b> 41 Nióbium	<b>Mo</b> 42 Molibdén	<b>Tc</b> 43 Technécium	<b>Ru</b> 44 Ruténium	<b>Rh</b> 45 Ródium	<b>Pd</b> 46 Palládium	<b>Ag</b> 47 Ezüst	<b>Cd</b> 48 Kadmium	<b>In</b> 49 Indium	<b>Sn</b> 50 Ón	<b>Sb</b> 51 Antimon	<b>Te</b> 52 Tellúr	<b>I</b> 53 Jód	<b>Xe</b> 54 Xenon						
P 6	132,91 <b>Cs</b> 55 Cézium	137,33 <b>Ba</b> 56 Bárium	57-71	<b>Hf</b> 72 Háfnium	<b>Ta</b> 73 Tantal	<b>W</b> 74 Volfrám	<b>Re</b> 75 Rénium	<b>Os</b> 76 Ozmium	<b>Ir</b> 77 Iridium	<b>Pt</b> 78 Platina	<b>Au</b> 79 Arany	<b>Hg</b> 80 Higány	<b>Tl</b> 81 Tallium	<b>Pb</b> 82 Ólom	<b>Bi</b> 83 Bizmut	<b>Po</b> 84 Polónium	<b>At</b> 85 Asztácium	<b>Rn</b> 86 Radon						
Q 7	223 <b>Fr</b> 87 Francium	226,03 <b>Ra</b> 88 Rádium	89-103	<b>Rf</b> 104 Raterfordium	<b>Ha</b> 105 Hanium	<b>Unh</b> 106 Unnilhexium	<b>Uns</b> 107 Unnilseptium	<b>Uno</b> 108 Unniloctium	<b>Une</b> 109 Unnilennium	*Az elemek ideiglenes elnevezése -104 Rf–Ratherfordium – 104 Ku–Kurtschatovium -105 Ha–Hanium – 105 Ns–Nielsbohrium														
			f-elemek																					
LANTANOIDÁK			138,91 <b>La</b> 57 Lantán	140,12 <b>Ce</b> 58 Cérium	140,91 <b>Pr</b> 59 Prazeodimium	144,24 <b>Nd</b> 60 Neodimium	145 <b>Pm</b> 61 Promethium	150,4 <b>Sm</b> 62 Szamárium	151,96 <b>Eu</b> 63 Europium	157,25 <b>Gd</b> 64 Gadólnium	158,93 <b>Tb</b> 65 Terbium	162,50 <b>Dy</b> 66 Diszprózium	164,93 <b>Ho</b> 67 Holmium	167,26 <b>Er</b> 68 Erbium	168,93 <b>Tm</b> 69 Túlium	173,04 <b>Yb</b> 70 Itterbium	174,97 <b>Lu</b> 71 Lutécium							
AKTINOIDÁK			227,03 <b>Ac</b> 89 Aktínium	232,04 <b>Th</b> 90 Tórium	231,04 <b>Pa</b> 91 Protaktínium	238,03 <b>U</b> 92 Urán	237,05 <b>Np</b> 93 Neptúnium	244 <b>Pu</b> 94 Plutónium	243 <b>Am</b> 95 Americium	247 <b>Cm</b> 96 Kúrium	247 <b>Bk</b> 97 Berkéium	251 <b>Cf</b> 98 Kalifornium	254 <b>Es</b> 99 Einsteinium	257 <b>Fm</b> 100 Fermium	258 <b>Md</b> 101 Mendelévium	259 <b>No</b> 102 Nobélium	260 <b>Lr</b> 103 Laurencium							

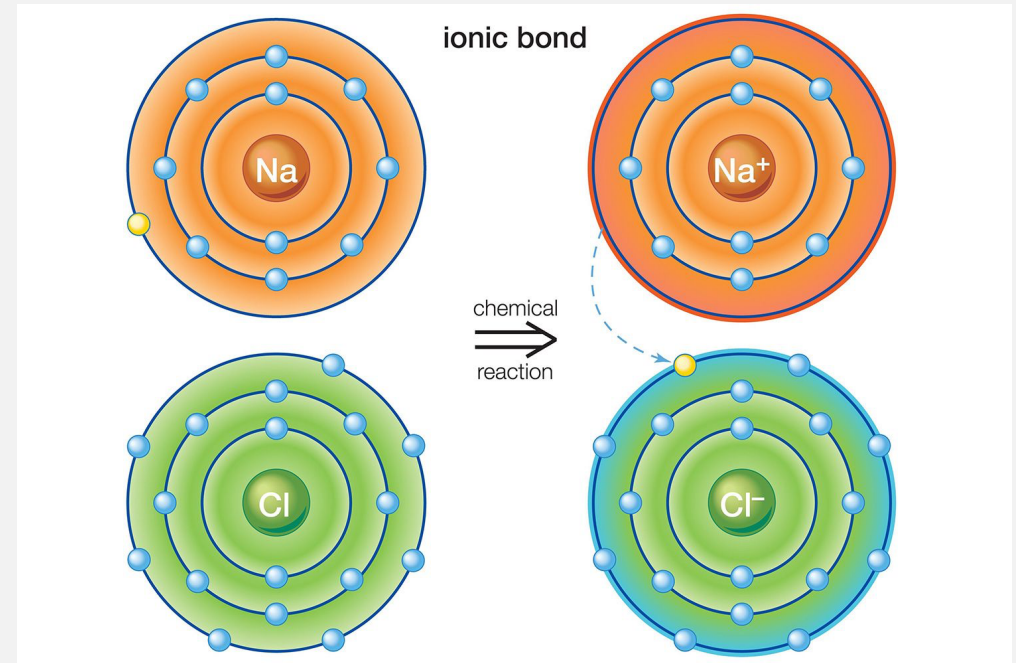
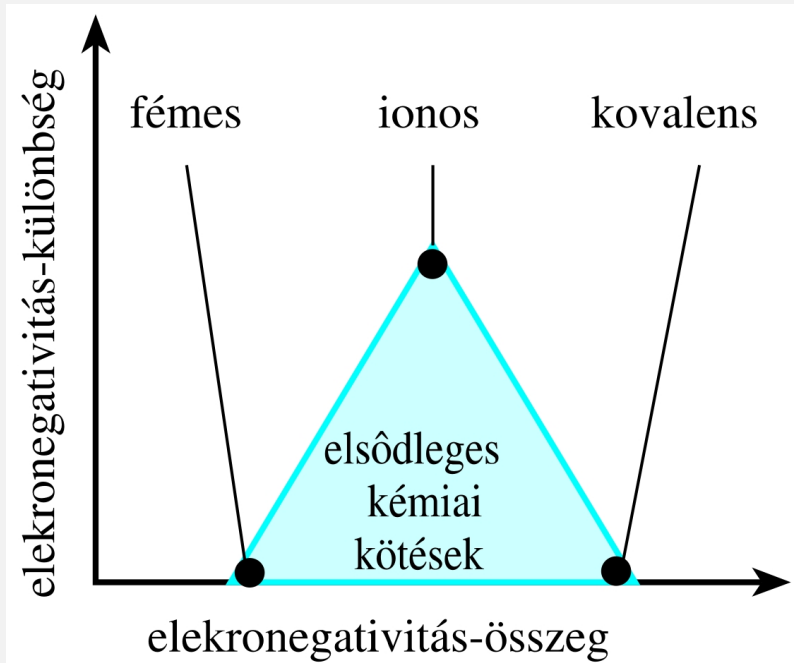
Vegyértékelektronok: a legnagyobb főkvantumszámú héj s és p állapotú elektronjai.

# Elsődleges kémiai kötések



Kovalens kötés: molekulapályák alakulnak ki a vegyértékelektronok között (kötőelektronok). Többatomos molekulák térszerkezetét (egyensúlyi kötéstávolságok, kötésszögek) a kötőelektronok atomi elektronállapotainak szimmetriája határozza meg. Tisztán kovalens kötés csak akkor alakul ki, ha a molekulában a pozitív és a negatív töltések súlypontjai egybeesnek. Ha ez nem teljesül, akkor az elektrosztatikus kölcsönhatás is szerepet játszik a kötés kialakításában.

# Elsődleges kémiai kötések



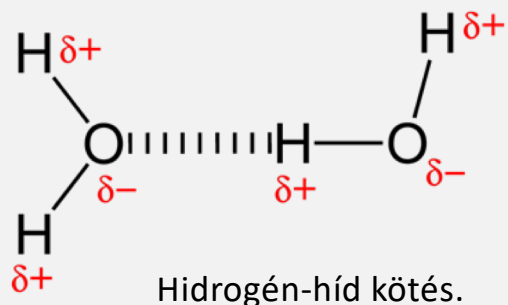
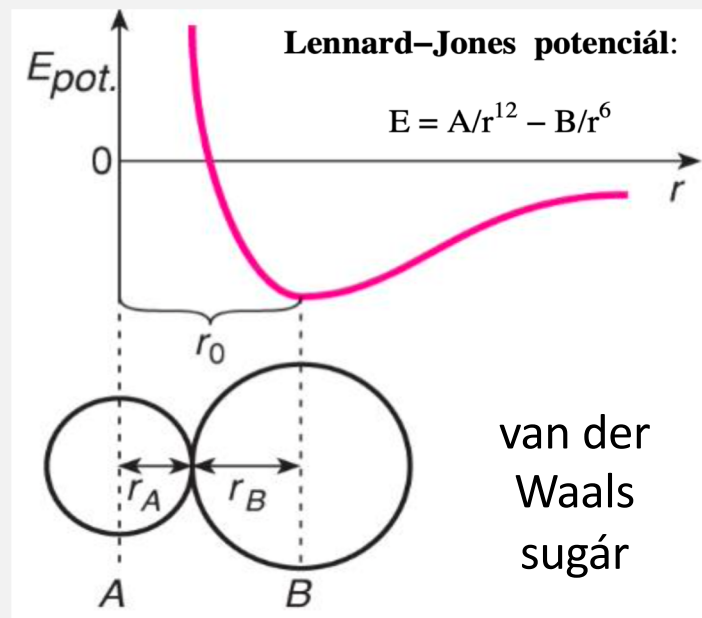
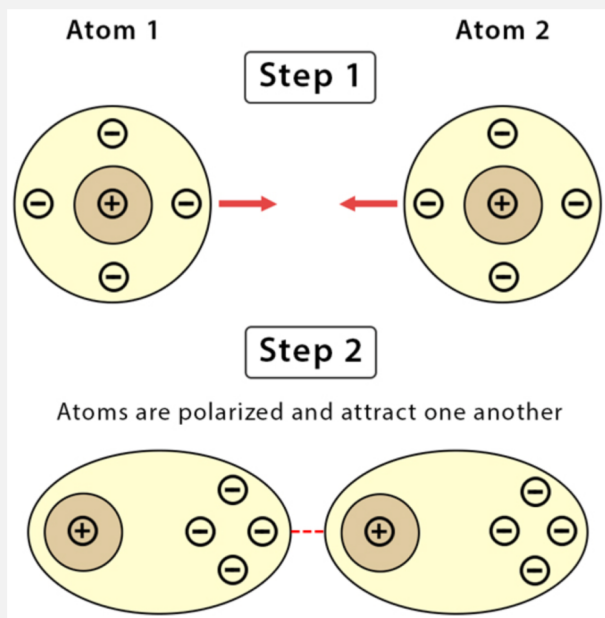
Elektronégativitás (Linus Pauling): a semleges atomból előállított pozitív, illetve negatív ionok létrehozásához szükséges energiák abszolút értékeinek összege.

Ionos kötés: nagyon különböző elektronégativitású atomok között (pl. NaCl).

Fémes kötés: kristályos rendben elhelyezkedő fémionokat az egész rendszerre kiterjedő (delokalizált) vegyérték-elektronok tartják össze.

# Másodlagos kölcsönhatások

dipólus-dipólus, van der Waals, H-híd, hidrofób egy-két nagyságrenddel gyengébbek

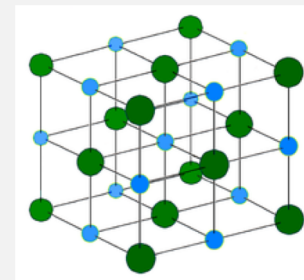
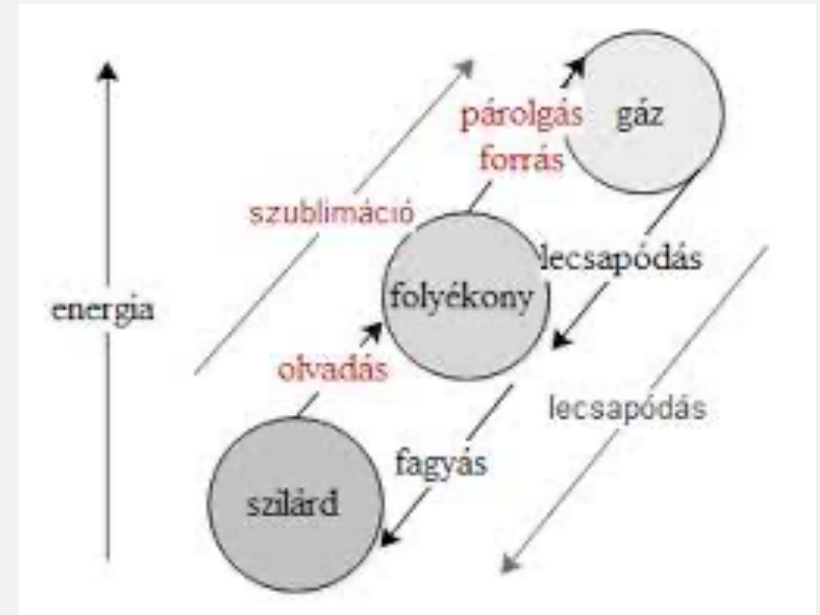


# Halmazállapotok

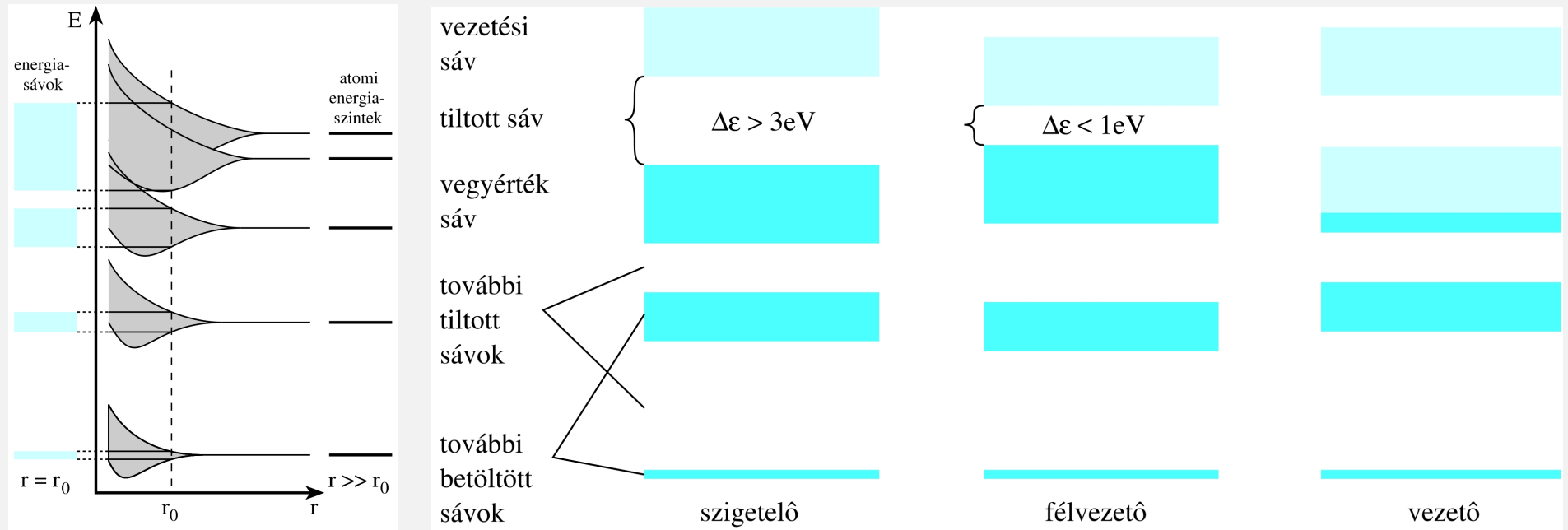
Gáz (légnemű): a gázcseppkék között ideális esetben nincs kölcsönhatás, csak rugalmasan ütköznek egymással és az edény falával.

Folyadék: a részecskék rövid hatótávolságú, nem irányított kölcsönhatásba lépnek, csak rövid távú rendezettség lehet, amely dinamikus természetű.

Kristályos anyagok: hosszú távú, periodikus rendezettség, anizotróp. A szerkezet az elemi cellák periodikus ismétlődésével felépülő térrács.



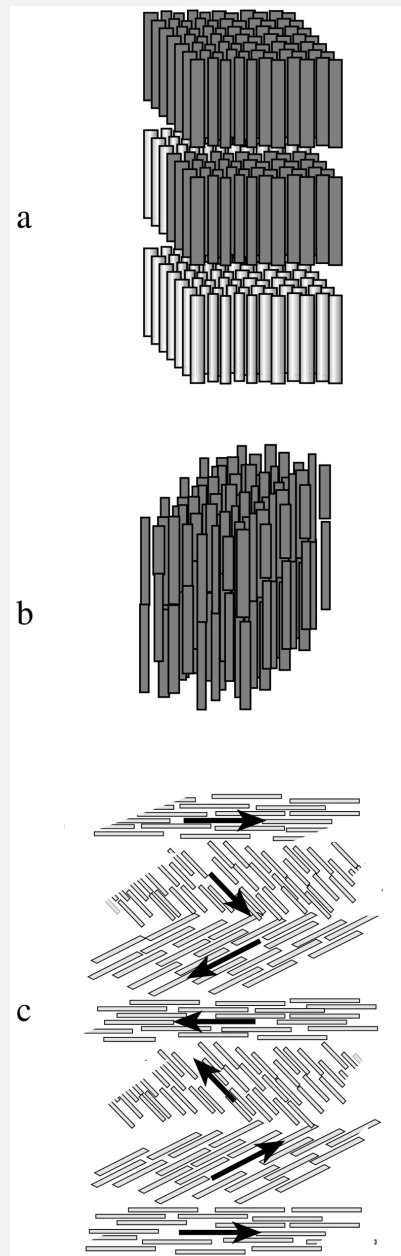
# Kristályos anyagok sávszerkezete



Ha vegyértéksáv betöltött és a tiltott sáv széles ( $>3\text{ eV}$ ), akkor az elektronok nem jutnak fel a vezetési sávba, a kristály szigetelő. Ha a tiltott sáv keskenyebb ( $\sim 1\text{ eV}$ ), akkor az elektronok egy része feljut a vezetési sávba, az ilyen kristályos anyag félvezető. Ha a vegyértéksáv csak részlegesen betöltött, akkor az anyag jól vezeti az elektromosságot.

Ha a tiltott sáv szélesebb ( $>3,1\text{ eV}$ ), mint a látható fény fotonenergiája ( $1,5\text{--}3,1\text{ eV}$ ), akkor a kristályos anyag átlátszó. A vezetők átlátszatlanok, mert a vegyértéksáv végéig folytonosan gerjeszthetők az elektronjaik (fémes kötés: delokalizált elektronok).

# Folyadékkristályok



**Mezomorf állapot:** aszimmetrikus molekulák részben kristályos, részben folyadék jellegű kölcsönhatásokkal végbemenő szerveződése. **Transzlációs rend:** a molekulák tömegközéppontjai síkokat alkotnak, amelyekben a molekulák periodikusan helyezkednek el. **Orientációs rend:** a molekulatengelyek azonos irányban állnak.

- a) **szmektikus** folyadékkristály: mindkét rendezettség jelen van
- b) **nematikus** folyadékkristály: csak orientációs rend van
- c) **koleszterikus** folyadékkristály: hasonló a nematikus állapothoz, de az egymás fölötti rétegek adott szöggel elfordulnak egymáshoz képest (csavart nematikus állapot).

**Termotrop** folyadékkristály rendezettsége a hőmérséklettől függ.

**Liotrop** folyadékkristályok rendezettsége a komponensek koncentráció-arányainak függvénye, például amfifil molekulák vízben spontán kettősréteget képeznek.

# Kolloidok

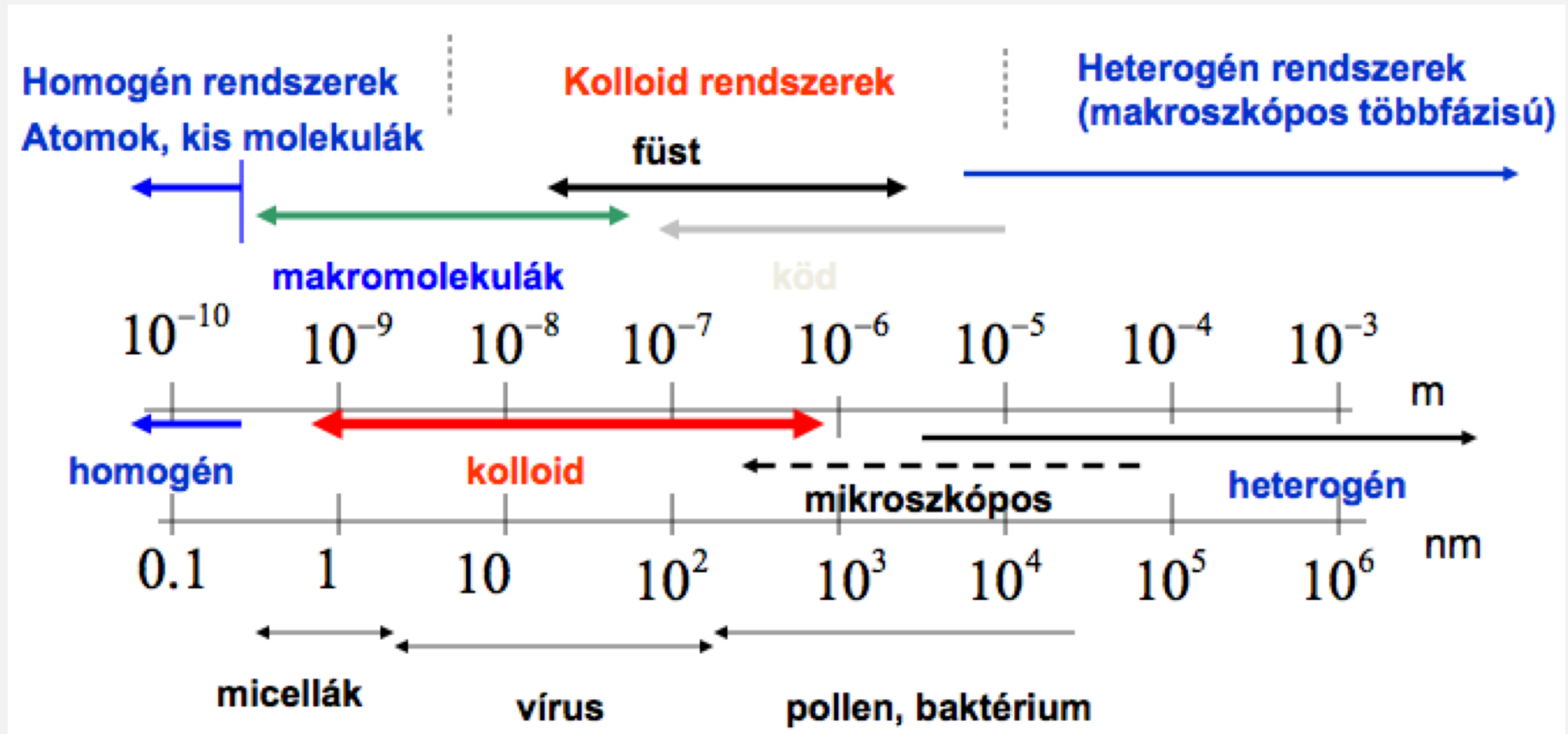
Két vagy több komponensből álló keverék két szélső állapotot vehet fel:

- az egyik komponens egyenletesen eloszlik a másikban (homogén rendszer, valódi oldat)
- a komponensek szétválnak (heterogén rendszer, fázisszeparáció)

Kolloid rendszer: az egyik komponens olyan asszociátumokat képez a másikban, amelyeknek valódi felülete van.

Biológiában fontos kolloidok: makromolekulás kolloidok (fehérjék, poliszaharidok) és asszociációs kolloidok (sejtmembrán).

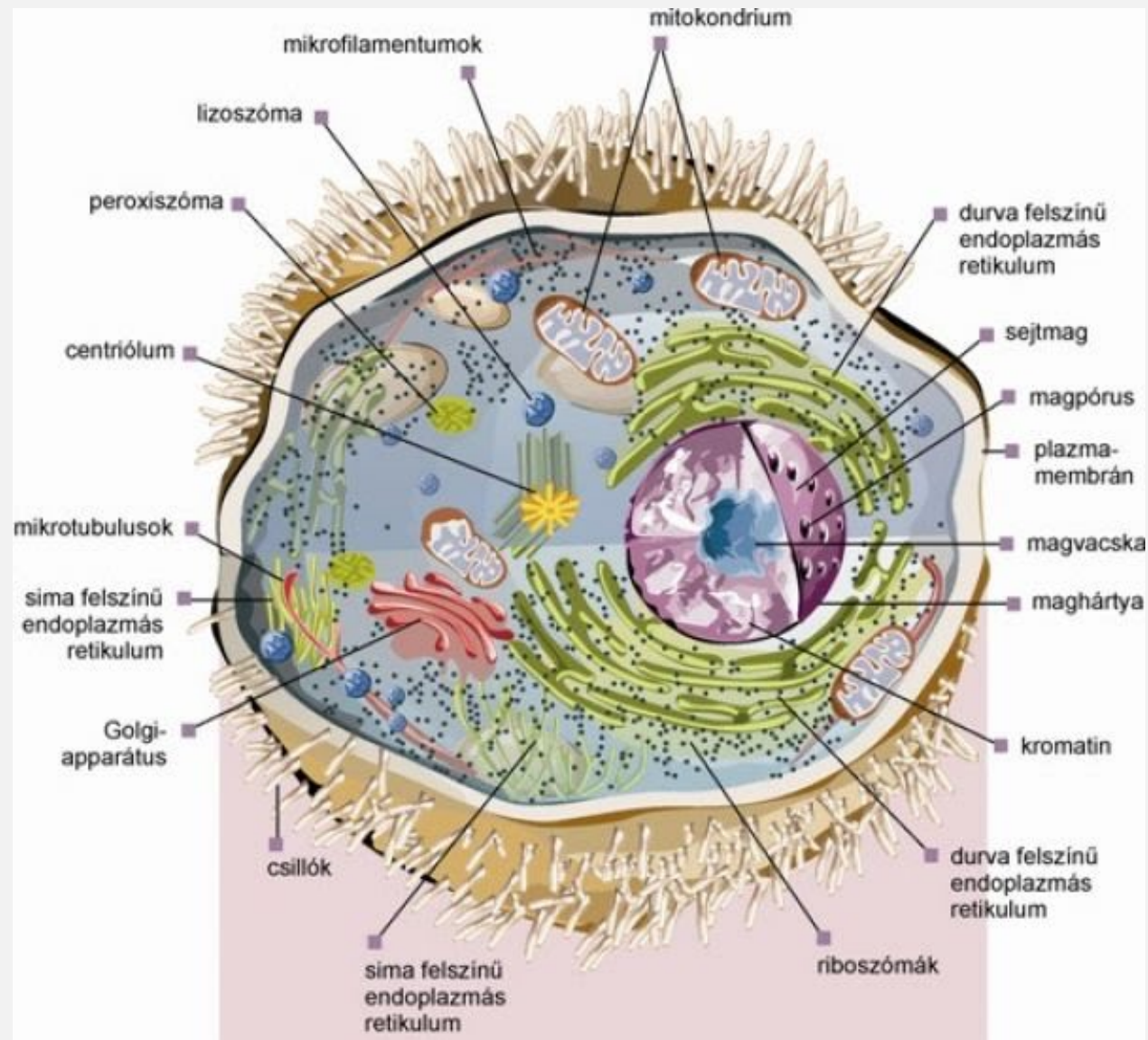
# Kolloid rendszerek mérete



**Bármilyen anyag kolloid állapotba hozható.**

A kolloid állapot egy mérettől függő állapot, nincs kémiai összetételhez vagy anyagi tulajdonsághoz kötve.

# Az élő sejt kolloid rendszer



# Ellenőrző kérdések

atommodellek fejlődése

diszkrét energiaszintek

Franck-Hertz kísérlet

H atom spektruma

kvantumszámok

Pauli-elv, Hund-szabály

kötéstípusok

gáz, folyadék, szilárd állapot

folyadékkristályok

kolloidok

Kapcsolódó fejezetek: *Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

1.1.1	3.1.1
1.1.2	3.2.1
1.2.1	3.3.1
1.2.2	3.3.2
1.3.1	3.3.3
1.3.3	3.4.1
1.4.1	3.4.2
1.4.2	4.1.1
1.4.3	4.1.2
2.1.1	4.1.3
2.1.2	
2.1.3	
2.1.4	
2.1.5	

**Herényi Levente: Orvosegyetemi fizika - Megérthető összefüggésekkel és matematikai alapokkal kezdőknek és haladóknak. Semmelweis Kiadó 2024**