

# Biofizika I

## 5. Anyagszerkezet: atomok, molekulák, kristályok

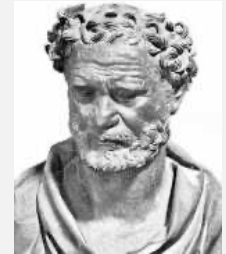
Liliom Károly

2023. 10. 04.

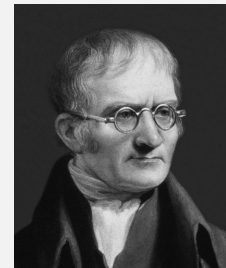
[liliom.karoly@med.semmelweis-univ.hu](mailto:liliom.karoly@med.semmelweis-univ.hu)  
[karoly.liliom.mta@gmail.com](mailto:karoly.liliom.mta@gmail.com)

# Atommodellek fejlődése

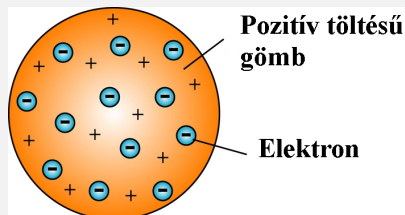
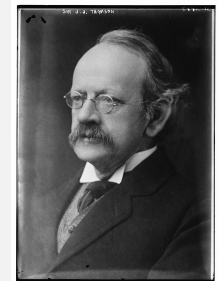
„Csupán hozzánk viszonyítva van édes, keserű, forró és szín, a valóságban csak atomok léteznek és az űr.” Démokritosz i.e. 460-370. Az atomok oszthatatlan örök létezők, súllyal, kiterjedéssel rendelkeznek, alakjukban sokfélék.



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)

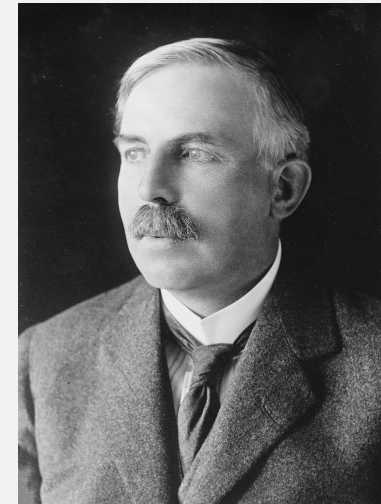
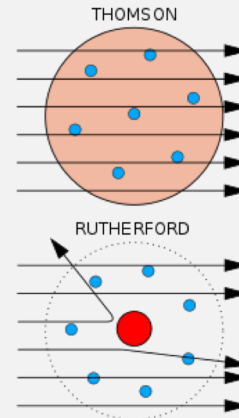
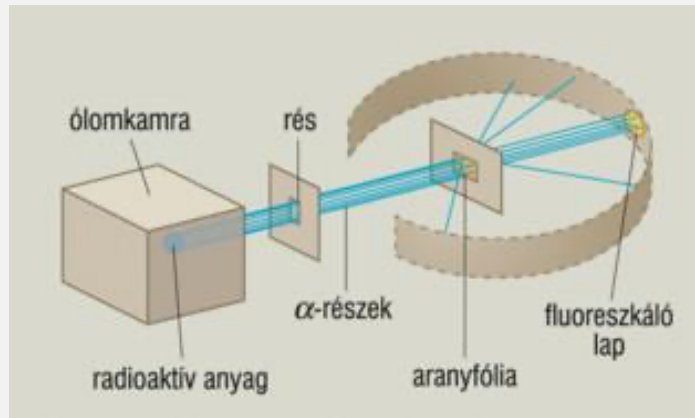


Az elektron felfedezése: Joseph John Thomson (1897, Nobel-díj 1906). Katódsugár: azonos, kis tömegű részecskék, bármely anyagot is használjuk katódként, tehát ez a részecske minden elem atomjának alkotórésze.



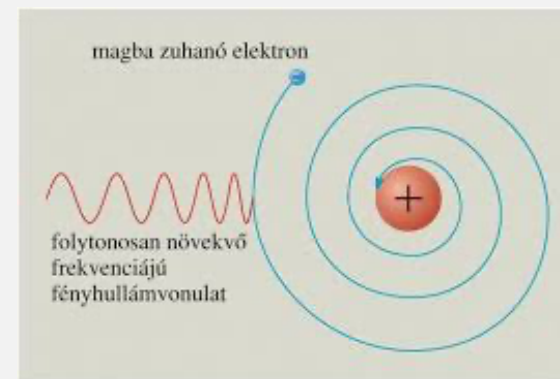
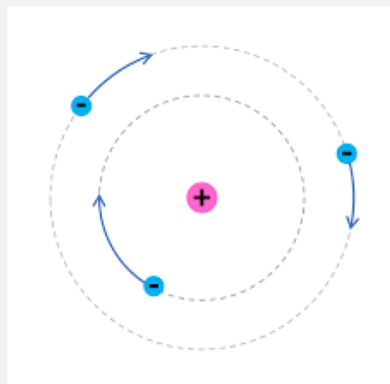
Az atomban egyenletesen oszlik el a tömeg nagyobb, pozitív töltésű része, és abban mozognak a kis tömegű elektronok. Joseph John Thomson "mazsolás-puding modell" (1904)

# Atommodellek fejlődése

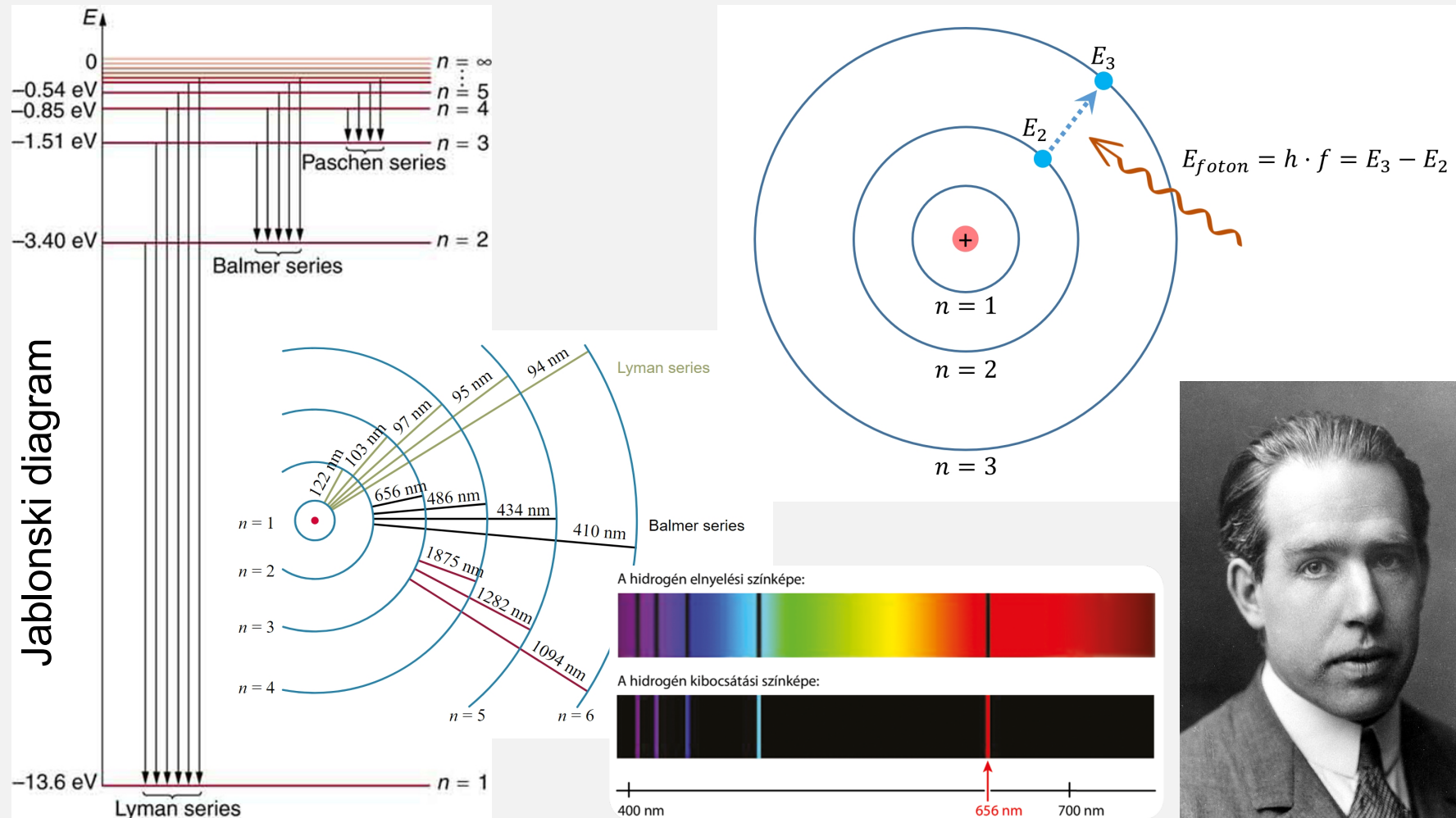


1909-1911:  $\alpha$ -részecskék szóródásának mérése

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.



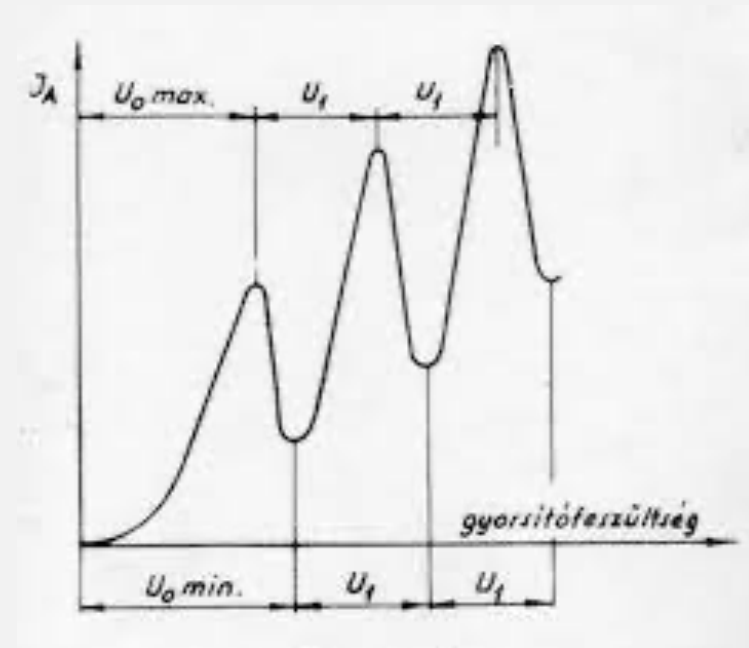
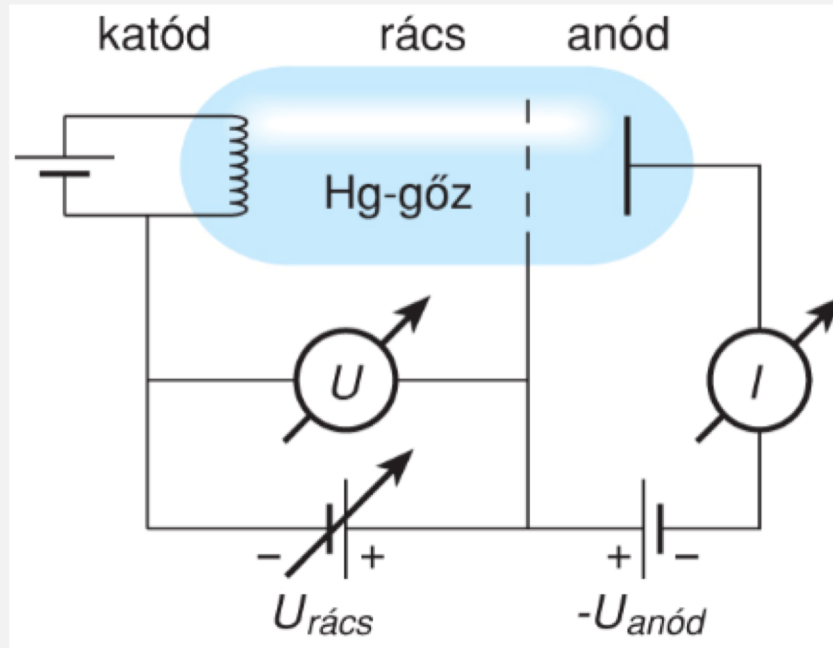
# Atommodellek fejlődése



Niels Bohr (1913): Az atomban az elektronok stacionárius pályákon keringenek, nem sugároznak. A stacionárius pályák közötti átmenetek során az elektron a pályák energiakülönbségét kell felvegye, illetve azt sugározza ki. A stacionárius pályákat az elektron impulzusmomentumának kvantálási szabálya határozza meg.

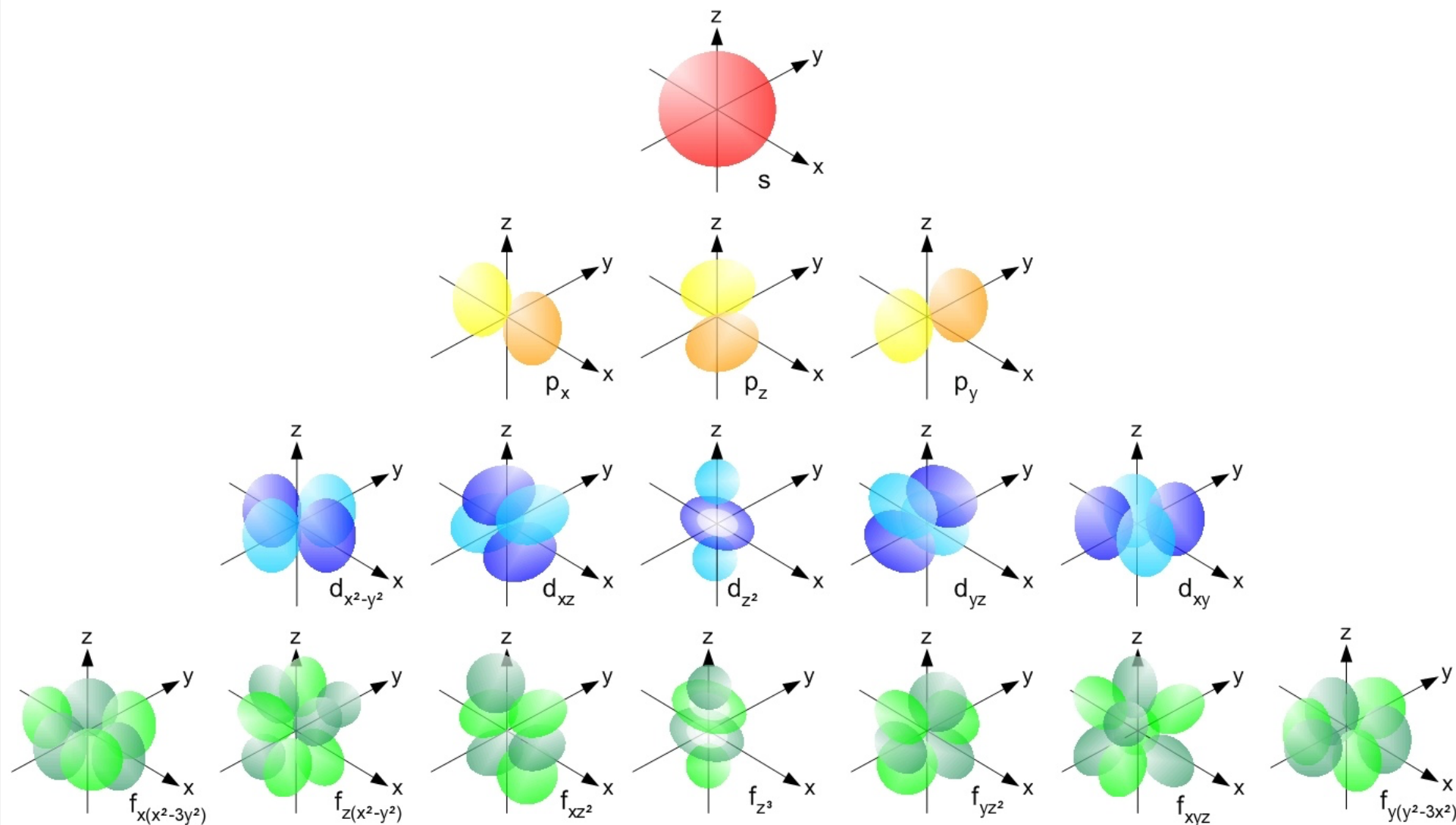


# Franck – Hertz kísérlet (1914)



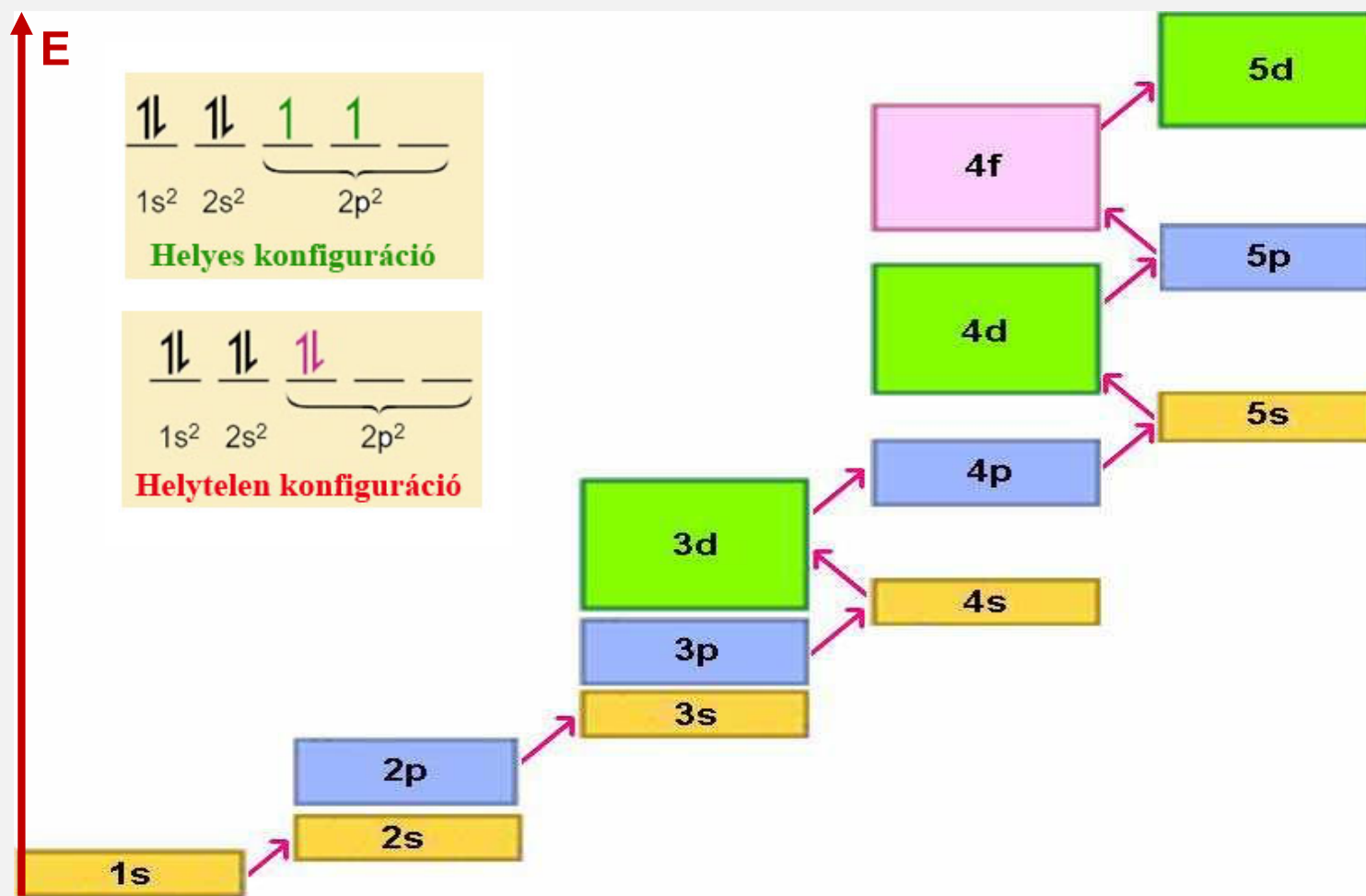
A rácsfeszültség növelésével az elektronok rugalmasan ütköznek a Hg-atomokkal, egészen addig, amíg a rácsfeszültség elegendően nagy értékénél az ütközés rugalmatlan lesz, az elektronok át tudják adni energiájukat a Hg-atomoknak, az energiaveszteség miatt azonban nem érik el az anódot, az anódáram lecsökken. 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.

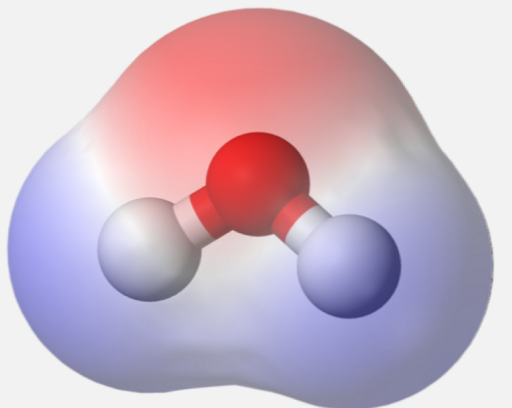
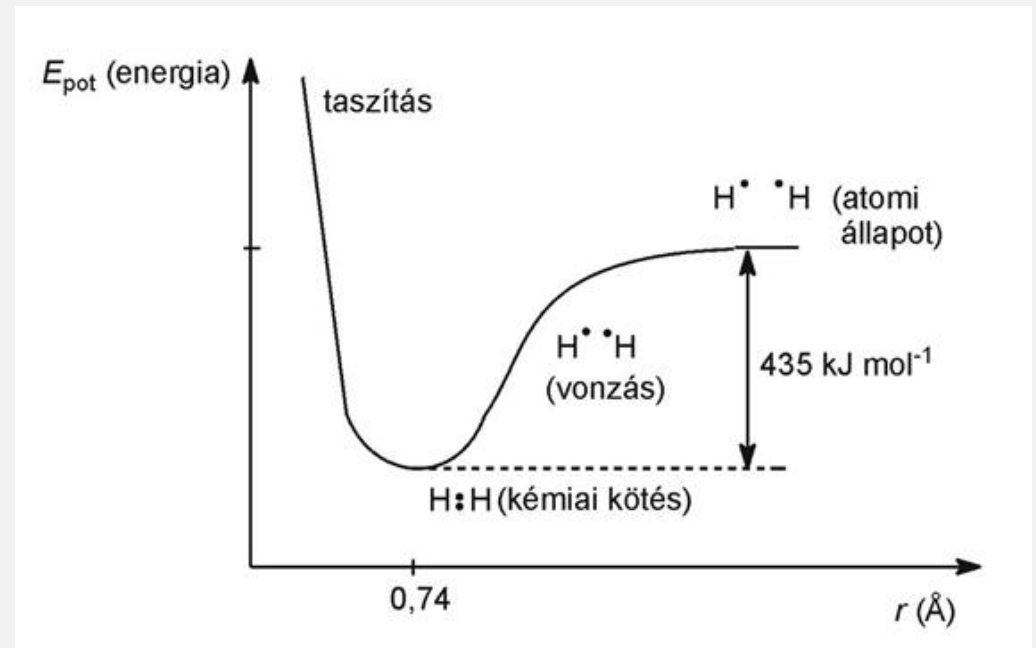
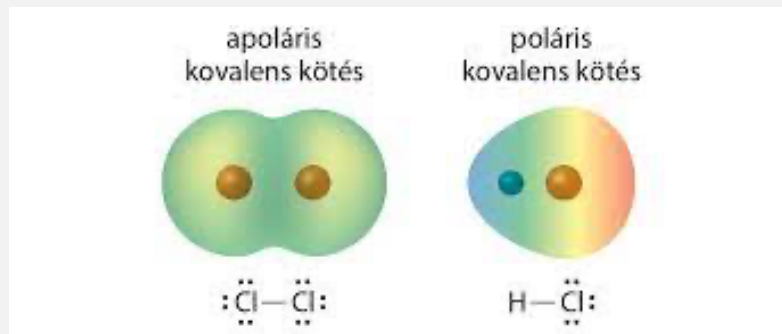
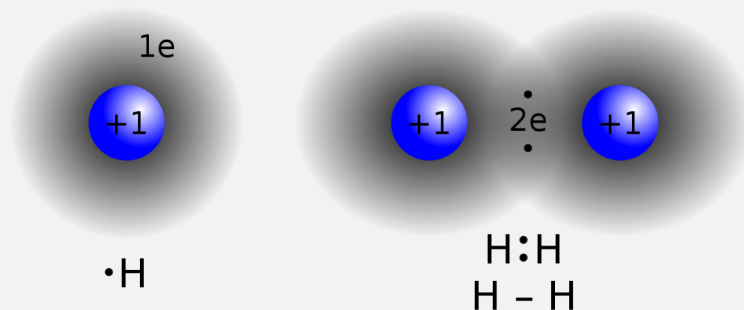
# Az elemek periódusos rendszere

PERIÓDUS CSOPORT	s-elemek I II		AZ ELEMEEK PERIÓDUSOS RENDSZERE																III	IV	p-elemek V VI		VII	0									
K	1	<div>1,01</div> <div>H</div> <div>1</div> <div>Hidrogén</div>	<div>relatív atomtömeg — 26,98</div> <div>vegyjel — <div>Al<sup>3</sup><sub>8</sub><sup>2</sup></div></div> <div>rendszám — 13 — az elektronok eloszlása az energiaszinteken</div> <div>Alumínium</div>																														<div>4,00</div> <div>He</div> <div>2</div> <div>Hélium</div>
L	2	<div>6,94</div> <div>Li</div> <div>3</div> <div>Lítium</div>	<div>9,01</div> <div>Be</div> <div>4</div> <div>Berillium</div>																	<div>10,81</div> <div>B</div> <div>5</div> <div>Bór</div>	<div>12,01</div> <div>C</div> <div>6</div> <div>Szén</div>	<div>14,01</div> <div>N</div> <div>7</div> <div>Nitrogén</div>	<div>16,00</div> <div>O</div> <div>8</div> <div>Oxigén</div>	<div>19,00</div> <div>F</div> <div>9</div> <div>Fluor</div>	<div>20,18</div> <div>Ne</div> <div>10</div> <div>Neon</div>								
M	3	<div>22,99</div> <div>Na</div> <div>11</div> <div>Nátrium</div>	<div>24,31</div> <div>Mg</div> <div>12</div> <div>Magnézium</div>																	<div>26,98</div> <div>Al</div> <div>13</div> <div>Alumínium</div>	<div>28,09</div> <div>Si</div> <div>14</div> <div>Szilícium</div>	<div>30,97</div> <div>P</div> <div>15</div> <div>Foszfor</div>	<div>32,07</div> <div>S</div> <div>16</div> <div>Kén</div>	<div>35,45</div> <div>Cl</div> <div>17</div> <div>Klór</div>	<div>39,95</div> <div>Ar</div> <div>18</div> <div>Argon</div>								
				d-elemek																													
				III	IV	V	VI	VII	VIII	VIII	VIII	I	II																				
N	4	<div>39,10</div> <div>K</div> <div>19</div> <div>Kálium</div>	<div>40,08</div> <div>Ca</div> <div>20</div> <div>Kalcium</div>	<div>44,96</div> <div>Sc</div> <div>21</div> <div>Szkandium</div>	<div>47,90</div> <div>Ti</div> <div>22</div> <div>Titán</div>	<div>50,94</div> <div>V</div> <div>23</div> <div>Vanádium</div>	<div>52,00</div> <div>Cr</div> <div>24</div> <div>Króm</div>	<div>54,94</div> <div>Mn</div> <div>25</div> <div>Mangán</div>	<div>55,85</div> <div>Fe</div> <div>26</div> <div>Vas</div>	<div>58,93</div> <div>Co</div> <div>27</div> <div>Kobalt</div>	<div>58,71</div> <div>Ni</div> <div>28</div> <div>Nikkel</div>	<div>63,55</div> <div>Cu</div> <div>29</div> <div>Réz</div>	<div>65,39</div> <div>Zn</div> <div>30</div> <div>Cink</div>	<div>69,72</div> <div>Ga</div> <div>31</div> <div>Gallium</div>	<div>72,59</div> <div>Ge</div> <div>32</div> <div>Germánium</div>	<div>74,92</div> <div>As</div> <div>33</div> <div>Arzén</div>	<div>78,96</div> <div>Se</div> <div>34</div> <div>Szelén</div>	<div>79,90</div> <div>Br</div> <div>35</div> <div>Bróm</div>	<div>83,80</div> <div>Kr</div> <div>36</div> <div>Kripton</div>														
O	5	<div>85,47</div> <div>Rb</div> <div>37</div> <div>Rubídium</div>	<div>87,62</div> <div>Sr</div> <div>38</div> <div>Stroncium</div>	<div>88,91</div> <div>Y</div> <div>39</div> <div>Ittrium</div>	<div>91,22</div> <div>Zr</div> <div>40</div> <div>Cirkónium</div>	<div>92,91</div> <div>Nb</div> <div>41</div> <div>Nióbium</div>	<div>95,94</div> <div>Mo</div> <div>42</div> <div>Molibdén</div>	<div>98,91</div> <div>Tc</div> <div>43</div> <div>Technécium</div>	<div>101,07</div> <div>Ru</div> <div>44</div> <div>Ruténium</div>	<div>102,91</div> <div>Rh</div> <div>45</div> <div>Ródium</div>	<div>106,4</div> <div>Pd</div> <div>46</div> <div>Palládium</div>	<div>107,87</div> <div>Ag</div> <div>47</div> <div>Ezüst</div>	<div>112,41</div> <div>Cd</div> <div>48</div> <div>Kadmium</div>	<div>114,82</div> <div>In</div> <div>49</div> <div>Indium</div>	<div>118,71</div> <div>Sn</div> <div>50</div> <div>Ón</div>	<div>121,75</div> <div>Sb</div> <div>51</div> <div>Antimon</div>	<div>127,60</div> <div>Te</div> <div>52</div> <div>Tellúr</div>	<div>126,90</div> <div>I</div> <div>53</div> <div>Jód</div>	<div>131,30</div> <div>Xe</div> <div>54</div> <div>Xenon</div>														
P	6	<div>132,91</div> <div>Cs</div> <div>55</div> <div>Cézium</div>	<div>137,33</div> <div>Ba</div> <div>56</div> <div>Bárium</div>	<div>57-71</div>	<div>178,49</div> <div>Hf</div> <div>72</div> <div>Háfnium</div>	<div>180,95</div> <div>Ta</div> <div>73</div> <div>Tantál</div>	<div>183,85</div> <div>W</div> <div>74</div> <div>Volfrám</div>	<div>186,21</div> <div>Re</div> <div>75</div> <div>Rénium</div>	<div>190,2</div> <div>Os</div> <div>76</div> <div>Ozmium</div>	<div>192,22</div> <div>Ir</div> <div>77</div> <div>Iridium</div>	<div>195,09</div> <div>Pt</div> <div>78</div> <div>Platina</div>	<div>196,97</div> <div>Au</div> <div>79</div> <div>Arany</div>	<div>200,59</div> <div>Hg</div> <div>80</div> <div>Higány</div>	<div>204,37</div> <div>Tl</div> <div>81</div> <div>Tallium</div>	<div>207,2</div> <div>Pb</div> <div>82</div> <div>Ólom</div>	<div>208,98</div> <div>Bi</div> <div>83</div> <div>Bizmut</div>	<div>209</div> <div>Po</div> <div>84</div> <div>Polónium</div>	<div>210</div> <div>At</div> <div>85</div> <div>Asztácium</div>	<div>222</div> <div>Rn</div> <div>86</div> <div>Radon</div>														
Q	7	<div>223</div> <div>Fr</div> <div>87</div> <div>Francium</div>	<div>226,03</div> <div>Ra</div> <div>88</div> <div>Rádium</div>	<div>89-103</div>	<div>261</div> <div>Rf</div> <div>104</div> <div>Rátherfordium</div>	<div>262</div> <div>Ha</div> <div>105</div> <div>Hanium</div>	<div>263</div> <div>Unh</div> <div>106</div> <div>Unnihexium</div>	<div>262</div> <div>Uns</div> <div>107</div> <div>Unnilseptium</div>	<div>265</div> <div>Uno</div> <div>108</div> <div>Unniloctium</div>	<div>266</div> <div>Une</div> <div>109</div> <div>Unnilennium</div>	<div>*Az elemek ideiglenes elnevezése</div> <div>–104 Rf–Ratherfordium – 104 Ku–Kurtschatovium</div> <div>–105 Ha–Hanium – 105 Ns–Nielsbohrium</div>																						
				f-elemek																													
LANTANOIDÁK				<div>138,91</div> <div>La</div> <div>57</div> <div>Lantán</div>	<div>140,12</div> <div>Ce</div> <div>58</div> <div>Cérium</div>	<div>140,91</div> <div>Pr</div> <div>59</div> <div>Praezodimium</div>	<div>144,24</div> <div>Nd</div> <div>60</div> <div>Neodimium</div>	<div>145</div> <div>Pm</div> <div>61</div> <div>Promethium</div>	<div>150,4</div> <div>Sm</div> <div>62</div> <div>Szamárium</div>	<div>151,96</div> <div>Eu</div> <div>63</div> <div>Europium</div>	<div>157,25</div> <div>Gd</div> <div>64</div> <div>Gadolínium</div>	<div>158,93</div> <div>Tb</div> <div>65</div> <div>Terbium</div>	<div>162,50</div> <div>Dy</div> <div>66</div> <div>Diszprózium</div>	<div>164,93</div> <div>Ho</div> <div>67</div> <div>Holmium</div>	<div>167,26</div> <div>Er</div> <div>68</div> <div>Erbium</div>	<div>168,93</div> <div>Tm</div> <div>69</div> <div>Túlium</div>	<div>173,04</div> <div>Yb</div> <div>70</div> <div>Ítterbium</div>	<div>174,97</div> <div>Lu</div> <div>71</div> <div>Lutécium</div>															
AKTINOIDÁK				<div>227,03</div> <div>Ac</div> <div>89</div> <div>Aktínium</div>	<div>232,04</div> <div>Th</div> <div>90</div> <div>Tórium</div>	<div>231,04</div> <div>Pa</div> <div>91</div> <div>Protaktínium</div>	<div>238,03</div> <div>U</div> <div>92</div> <div>Urán</div>	<div>237,05</div> <div>Np</div> <div>93</div> <div>Neptúnium</div>	<div>244</div> <div>Pu</div> <div>94</div> <div>Plutónium</div>	<div>243</div> <div>Am</div> <div>95</div> <div>Americium</div>	<div>247</div> <div>Cm</div> <div>96</div> <div>Kúrium</div>	<div>247</div> <div>Bk</div> <div>97</div> <div>Berkélium</div>	<div>251</div> <div>Cf</div> <div>98</div> <div>Kalifornium</div>	<div>254</div> <div>Es</div> <div>99</div> <div>Einsteinium</div>	<div>257</div> <div>Fm</div> <div>100</div> <div>Fermium</div>	<div>258</div> <div>Md</div> <div>101</div> <div>Mendelévium</div>	<div>259</div> <div>No</div> <div>102</div> <div>Nobélium</div>	<div>260</div> <div>Lr</div> <div>103</div> <div>Laurencium</div>															

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

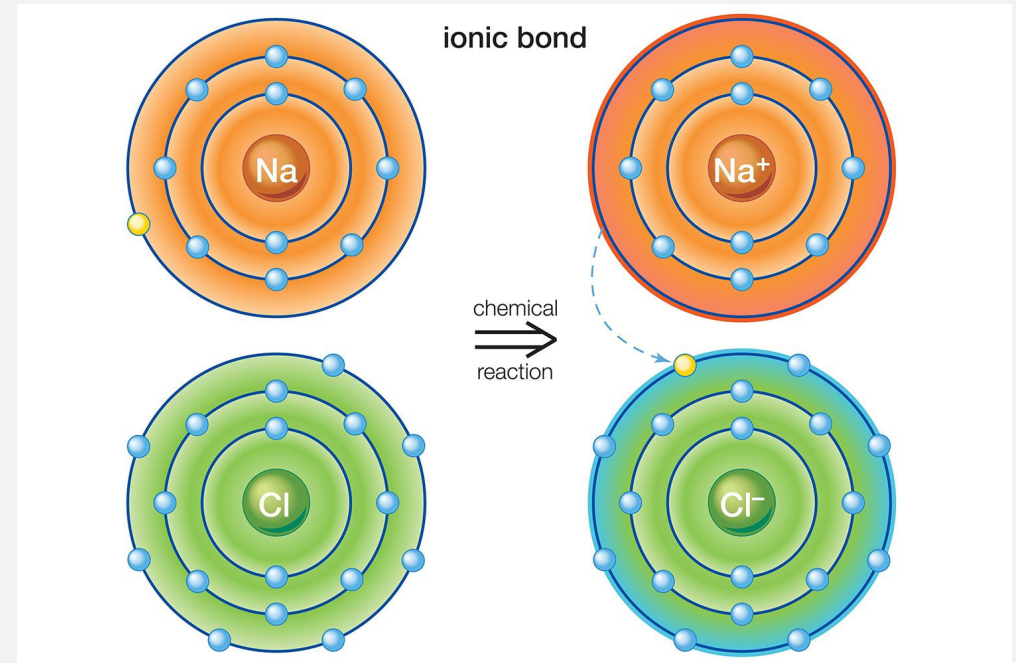
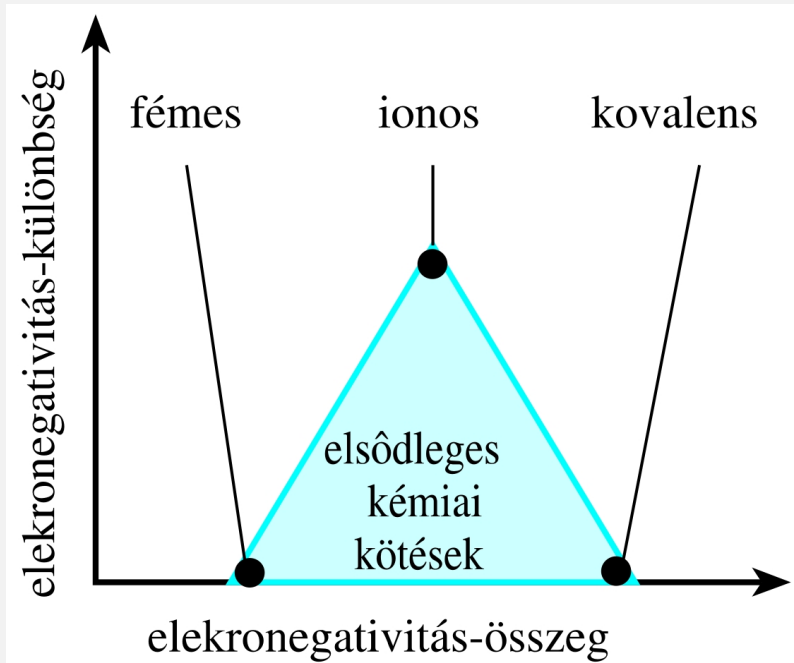


# Elsődleges kémiai kötések



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



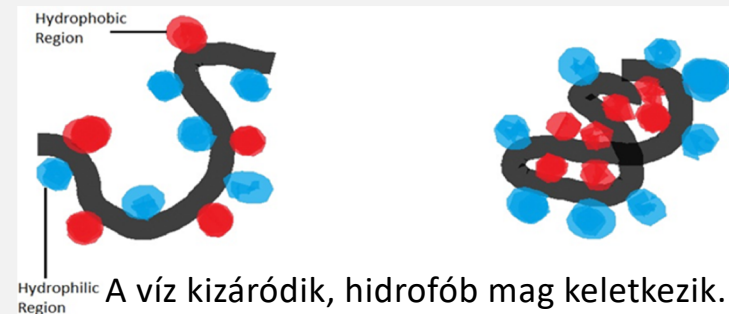
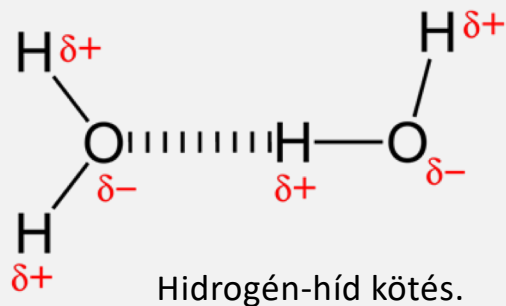
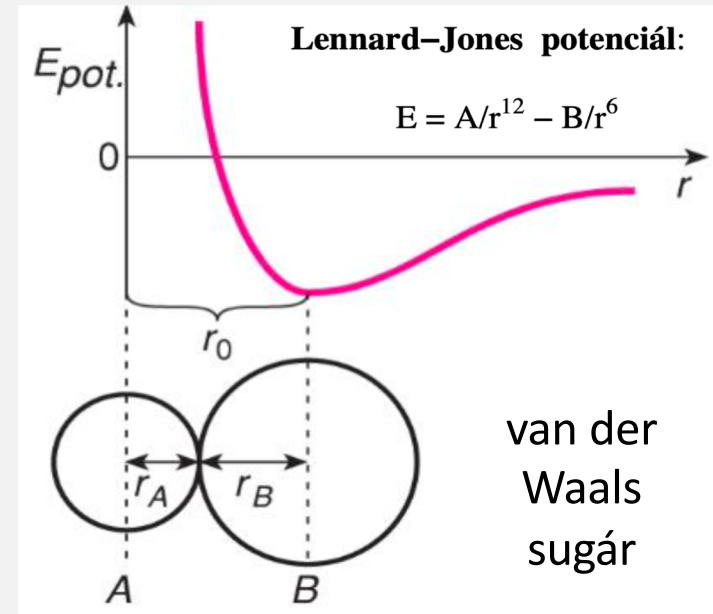
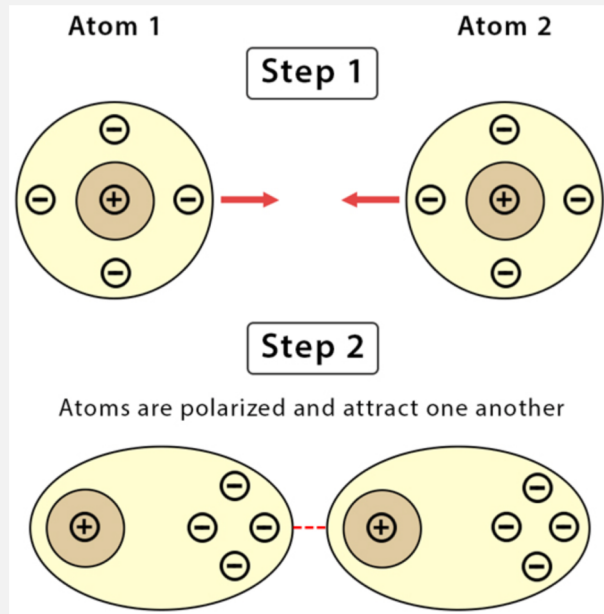
Elektronegativitás (Linus Pauling): a semleges atomból előállított pozitív, illetve negatív ionok létrehozásához szükséges energiák abszolút értékeinek összege.

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

Fémek 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



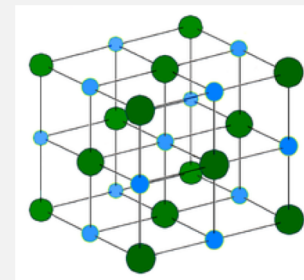
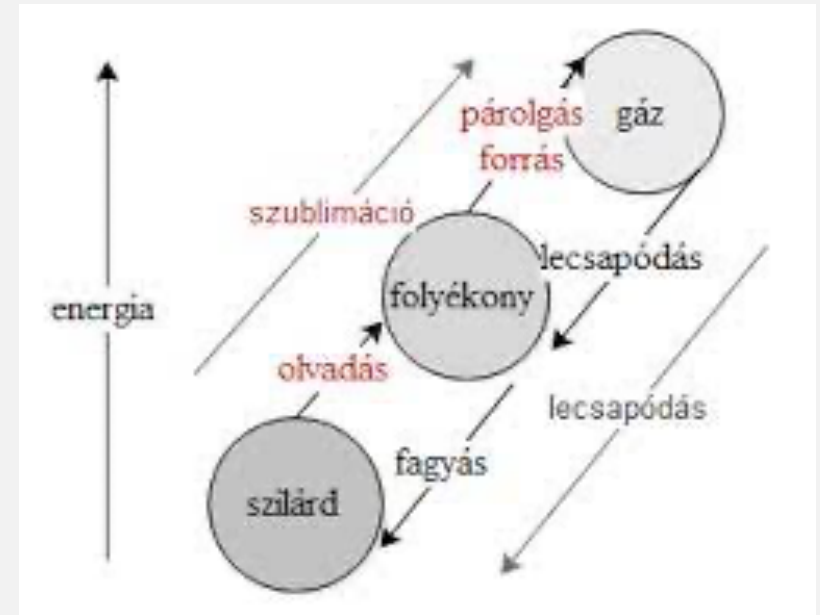


# Halmazállapotok

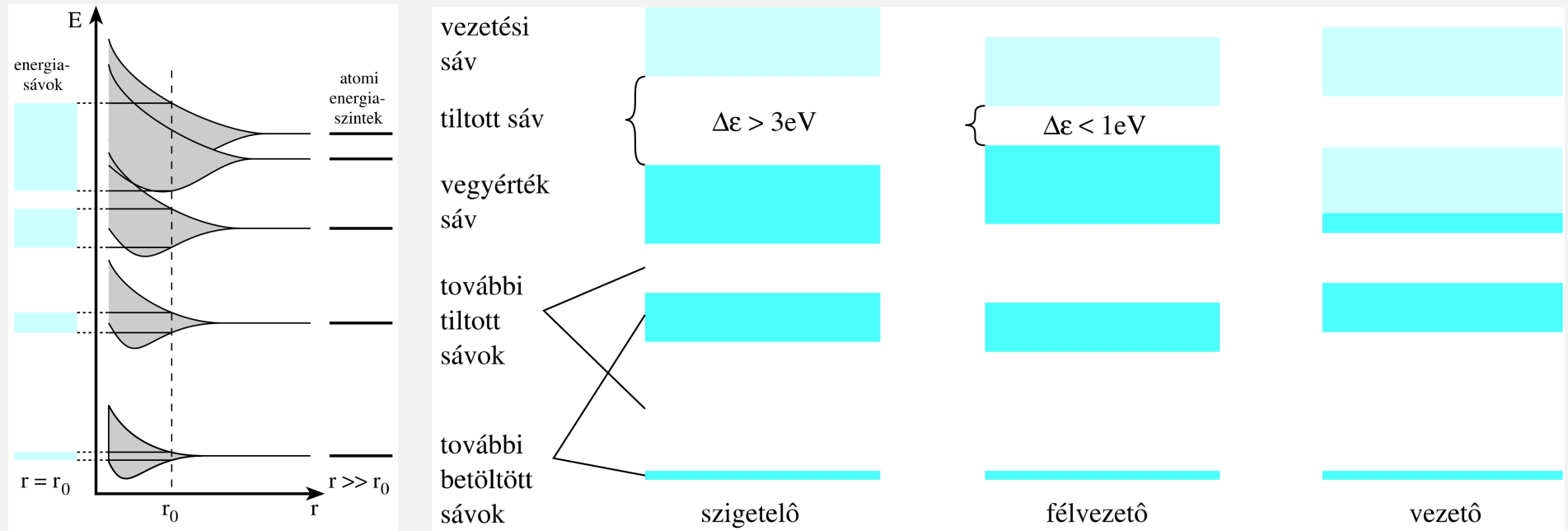
Gáz (légnemű): a gázcsepscék között ideális esetben nincs kölcsönhatás, csak rugalmasan ütköznek egymással és az edény falával.

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.



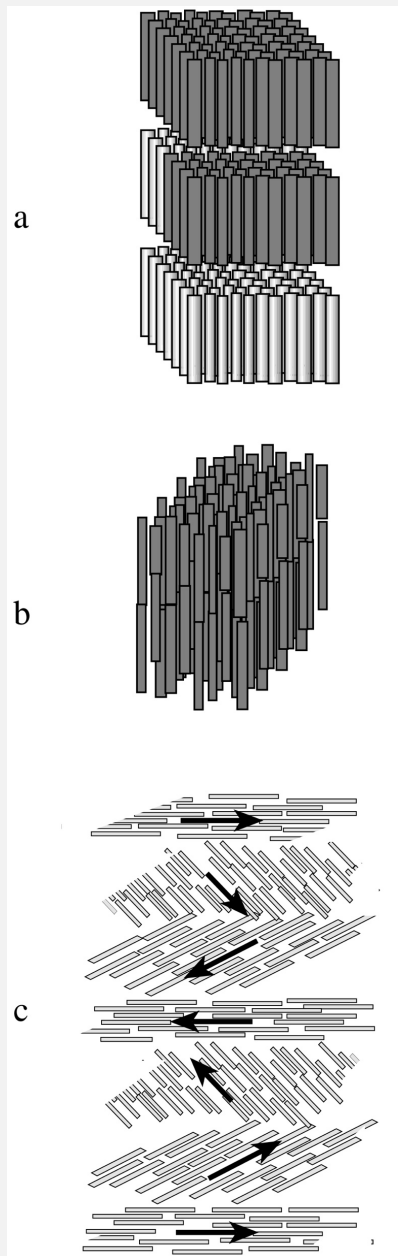
# Kristályos anyagok sávszerkezete



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

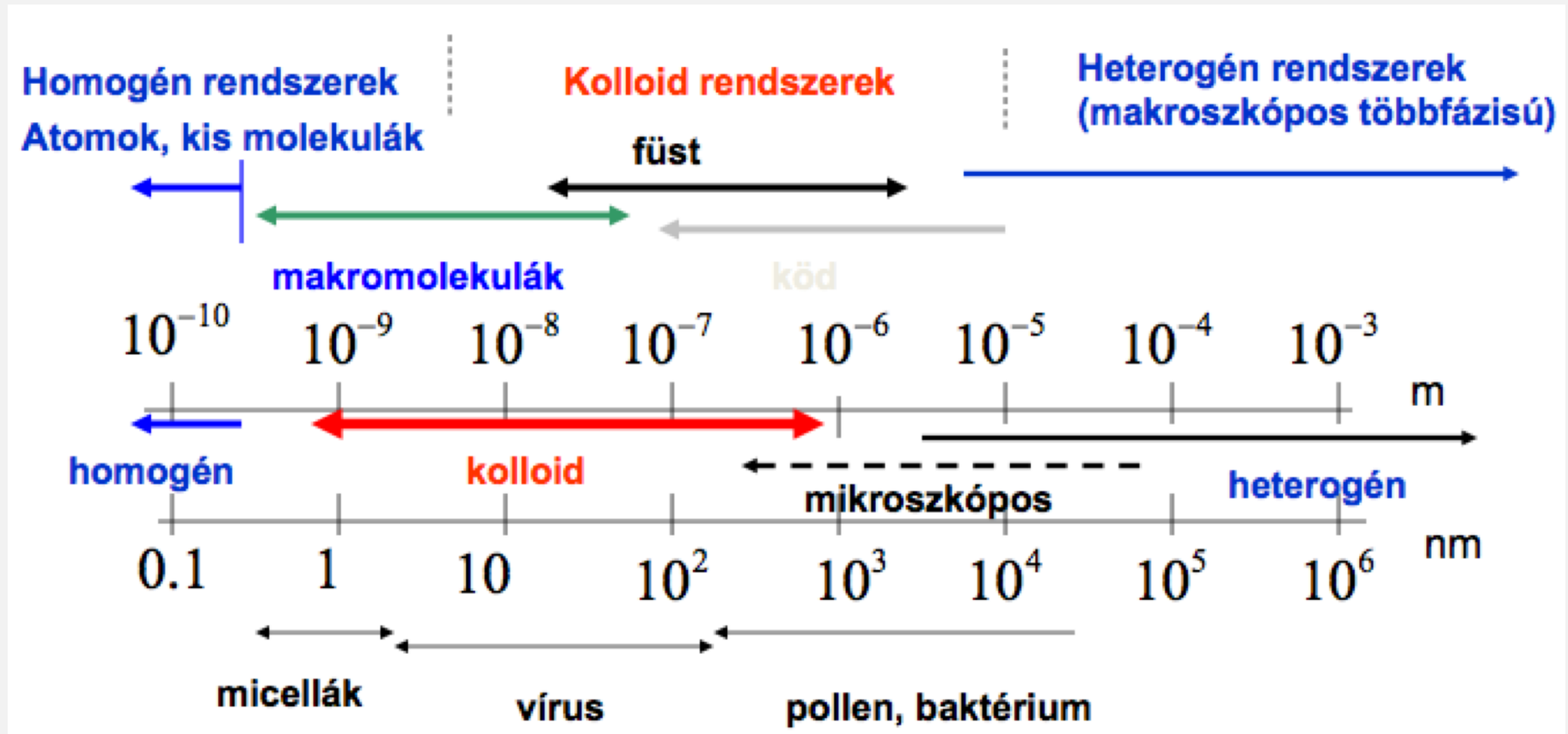
Két vagy több komponensből álló keverék két szélső állapotot vehet fel:

- 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.

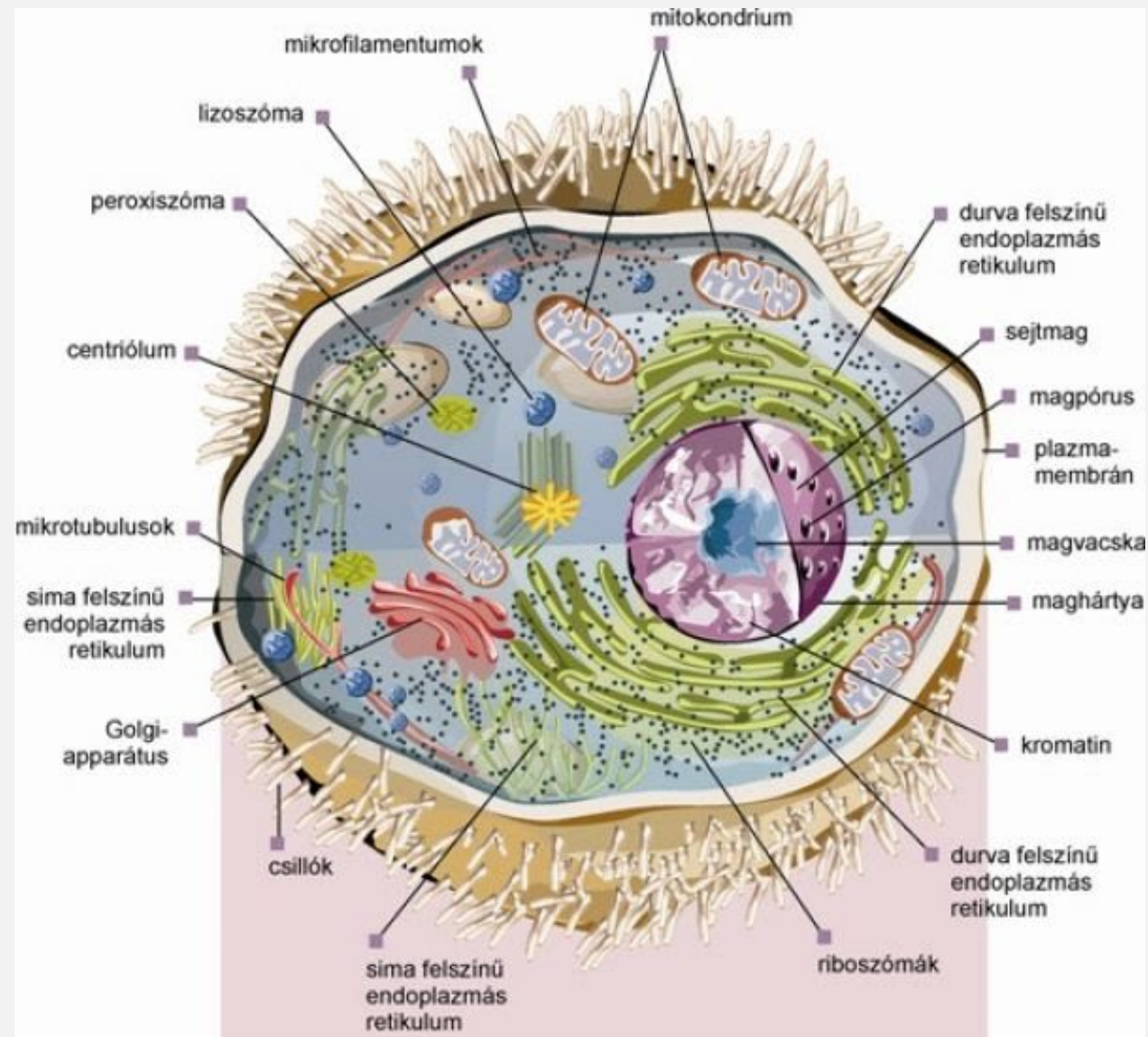
Biológiában fontos kolloidok: makromolekulás kolloidok (fehérjék, poliszaharidok) és asszociációs kolloidok (sejtmembrán).

# Kolloid rendszerek mérete



**Bármilyen anyag kolloid állapotba hozható.**  
A kolloid állapot egy mérettől függő állapot, nincs kémiai összetételhez vagy anyagi tulajdonsághoz kötve.

# Az élő anyag 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*

I. fejezet

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	