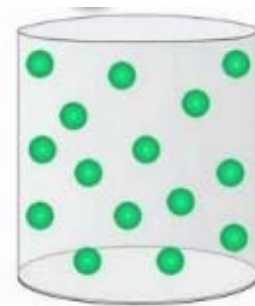
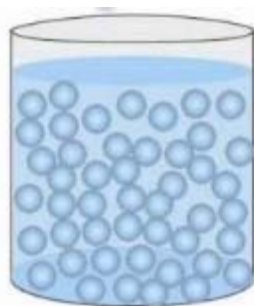
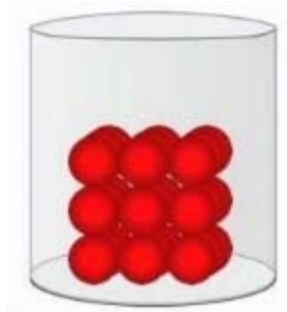


Gázok, folyadékok, folyadékkristályok, szilárd anyagok

Balog Erika



| Szilárd (kristály) | Folyadék | Gáz |
|---|--|--|
| állandó alak állandó térfogat hosszú távú rendezettség | változó alak állandó térfogat rövid távú rendezettség | változó alak változó térfogat nincs rendezettség |

Gázok (ism.)

Az ideális gáz

- A részecskék **pontszerűek**, térfogatuk **elhanyagolható**.
- A részecskék között **nincs kölcsönhatás**.
- Állapotegyenlet:

$$pV = Nk_B T$$

A reális gáz

- A részecskék **nem pontszerűek**, térfogatuk (b) **nem elhanyagolható**.

$$V - Nb$$

- A részecskék között **kölcsönhatás** (a) **lép fel**.

$$p = \frac{Nk_B T}{V - Nb} - a \frac{N^2}{V^2}$$

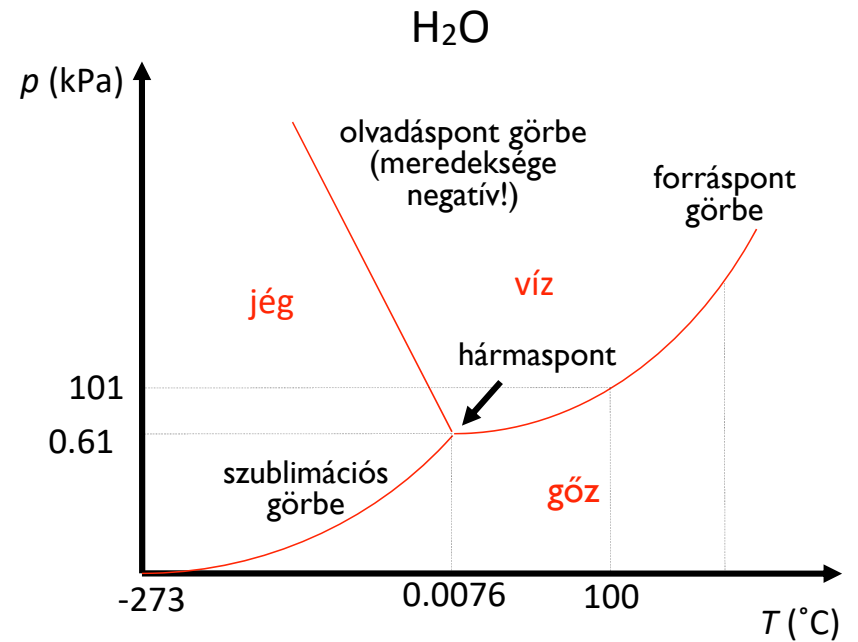
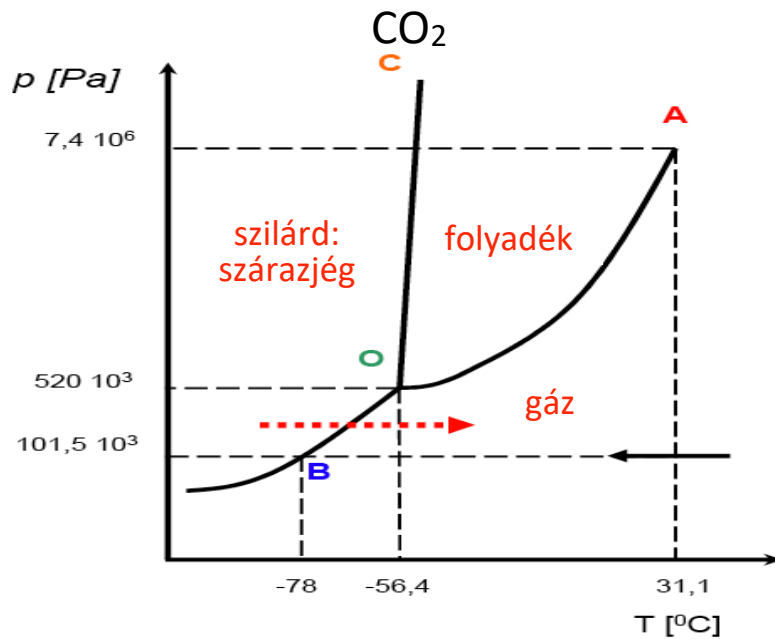
- Állapotegyenlet:

$$\left(p + a \frac{N^2}{V^2} \right) (V - Nb) = Nk_B T$$

P = nyomás (Pa)
 V = térfogat (m^3)
 T = abszolút hőmérséklet (K)
 N = részecskeszám
 k_B = Boltzmann állandó

Fázis, fázisátmenet

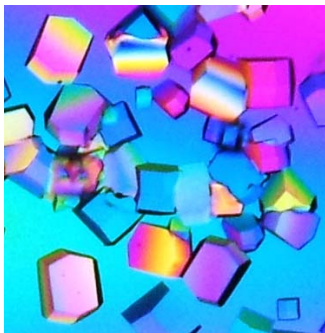
- Fázisok: az anyag kémiai tulajdonságaiban megegyező, de fizikai tulajdonságaiban különböző részei
- Fázisgörbe: két fázis egyensúlyban
- Fázisgörbék közötti terület: egyetlen fázis van jelen
- Metszéspont: hármaspont



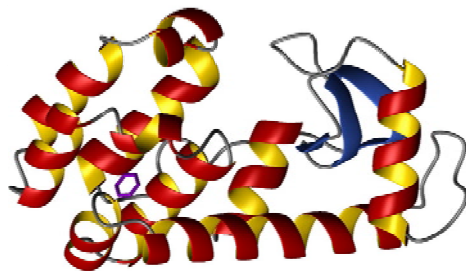
Szilárd anyagok

A. Kristályos anyagok

- Periodikus hosszútávú rendezettség
- Térrács - elemi cella (a természetben 14-féle, "Bravais-rácsok")
- Összetartó kölcsönhatások alapján
 - kovalens kötés: atomrács
 - ionos kötés: ionrács
 - fémes kötés: fémkristály
 - másodlagos kötések: molekularács



Lizozim fehérjekristályok polarizált fényben (anizotrópia)



Lizozim fehérjemolekula

B. Amorf anyagok

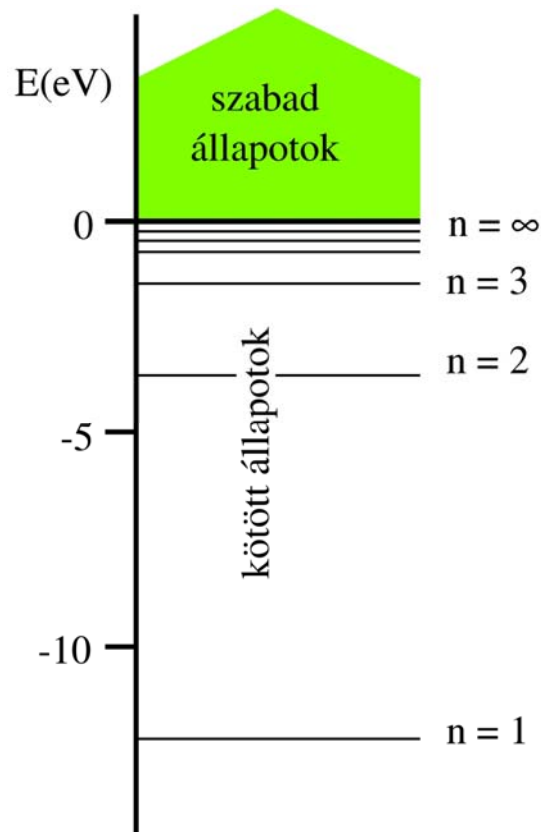
üvegszerű, viszkózus "folyadékok"

| | | | |
|--|---|-----------------------|-----------------------|
| | | Bravais-rácsok | |
| $\beta \neq 90^\circ$ $a \neq c$ | $\beta \neq 90^\circ$ $a \neq c$ | | |
| $a \neq b \neq c$ | $a \neq b \neq c$ | $a \neq b \neq c$ | $a \neq b \neq c$ |
| $a \neq c$ | | $a \neq c$ | |
| $\alpha \neq 90^\circ$ $a \neq a$ | | | |
| $\gamma = 120^\circ$ | | | |
| | | | |

Energianívók kristályokban

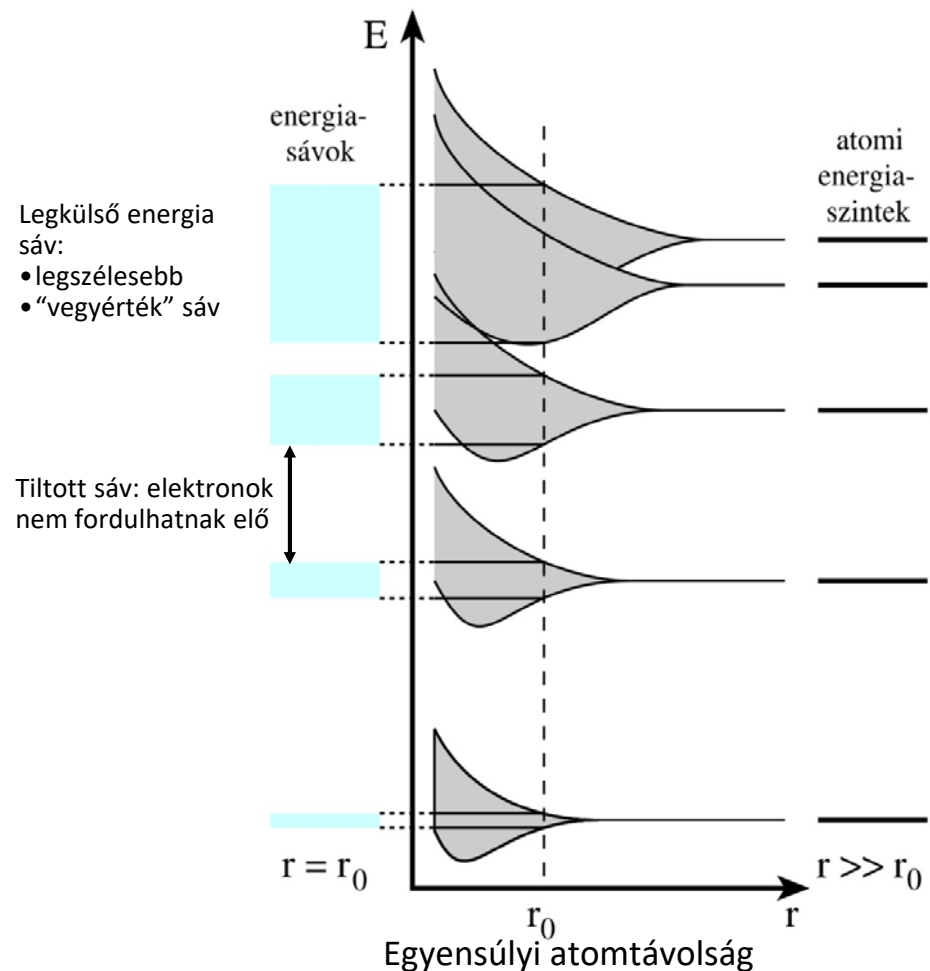
Izolált hidrogénatom

- Nincs kölcsönhatás más atomokkal
- Diszkrét energianívók
- **Pauli-elv**: egy atomon belül nem létezhet két olyan kötött elektron, amelynek mind a négy kvantumszám megegyezik

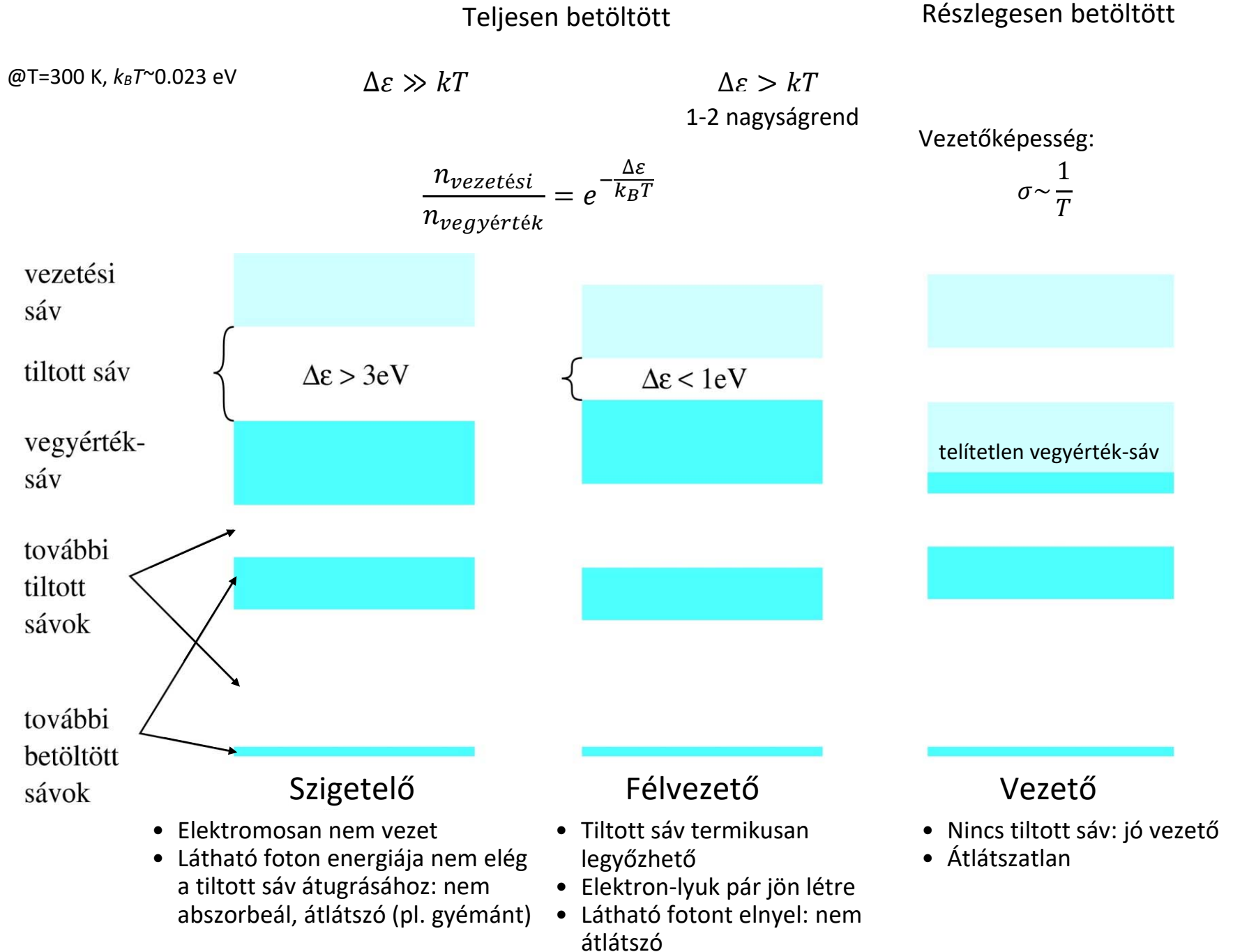


Kristály

- Atomok kölcsönhatnak
- **Pauli-elv következménye**: azonos kvantumállapotok elkerülése úgy valósul meg, hogy a kölcsönhatásba kerülő elektronok atomonként azonos energiaszintjei N darab közeli szintre hasad fel
- Közeli nívók folytonos **energiasávokba** olvadnak



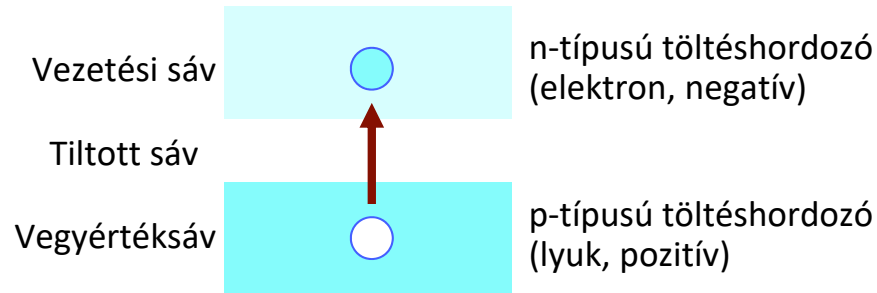
Eltérő sávszerkezetű kristályos anyagok



Félvezetők

A. Tiszta félvezetők

- Kétféle töltéshordozó (n, p):



$$\sigma = konst \cdot e^{-\frac{\Delta\varepsilon}{2k_B T}}$$

- Vezetőképesség hőmérsékletfüggő:
- Tiltott sáv ($\Delta\varepsilon$) < 1 eV
- Tiltott sáv átugrása látható fény (1.5-3 eV) abszorpciójával is előidézhető:
- Tiltott sáv ($\Delta\varepsilon$) termikusan legyőzhető
- Átlátszatlan

$$hf_{vis} > \Delta\varepsilon$$

Félvezetők

B. Szennyezett félvezetők

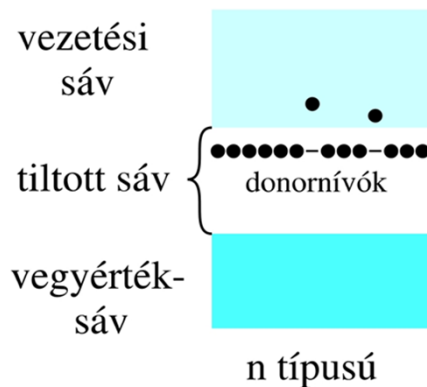
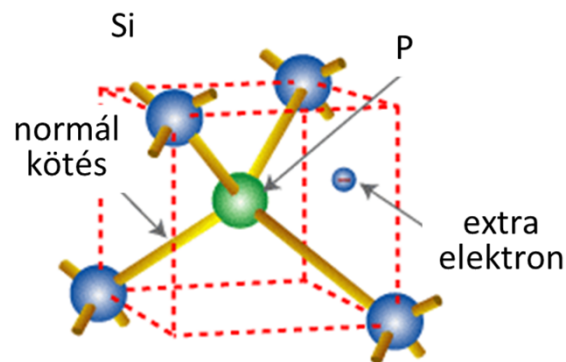
Szennyezés: - a gazdarács atomjai között elhelyezett kis mennyiségű idegen atom:
- új elektronállapotok kialakulásához vezet, melynek következtében a tiltott sáv keskeny lesz.

$$\frac{N_{host}}{N_{dopant}} \approx 10^6$$

n-típusú félvezető (e-donor):

4-vegyértékű gazdarácsban (Si, Ge)

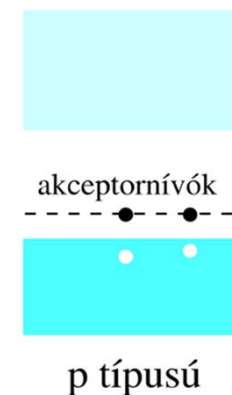
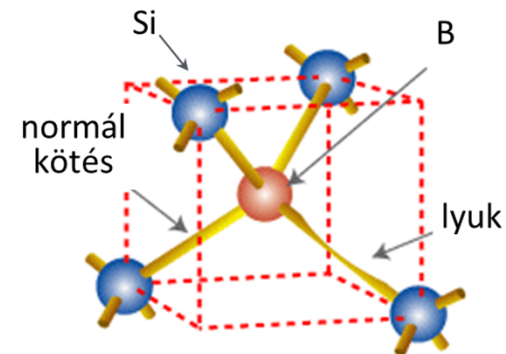
5-vegyértékű szennyezés (P, As, Bi):



p-típusú félvezető (e-akceptor):

4-vegyértékű gazdarácsban (Si, Ge)

3-vegyértékű szennyezés (Al, Ga, In, B):



Félvezető dióda és tranzisztor

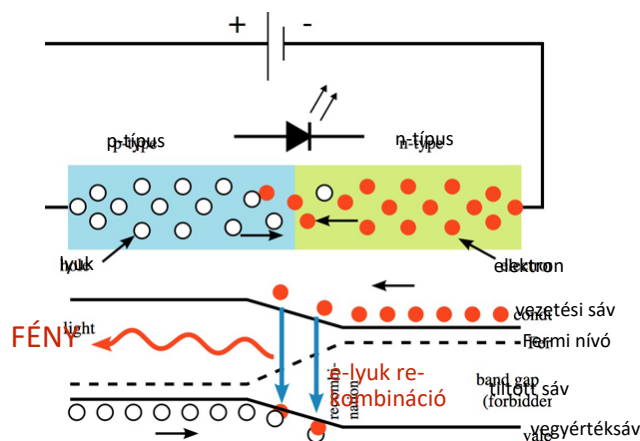
- megfelelően szennyezett, p- és n-típusú félvezetők összeillesztéséből kialakított mikroelektronikai eszközök



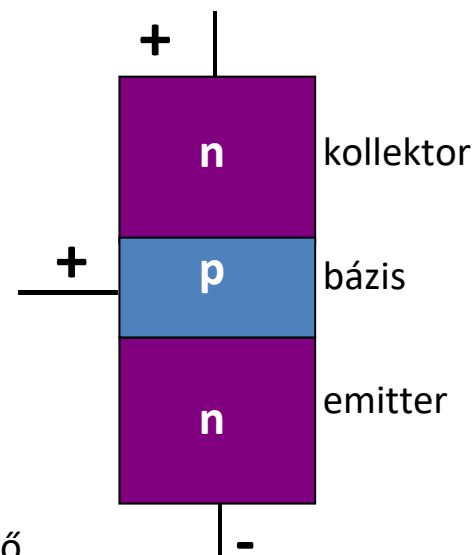
Dióda

- egyenirányító
- elektromos feszültség → fényforrás, LED
- megvilágítás → feszültség → CCD pixel

LED:
Light Emitting Diode

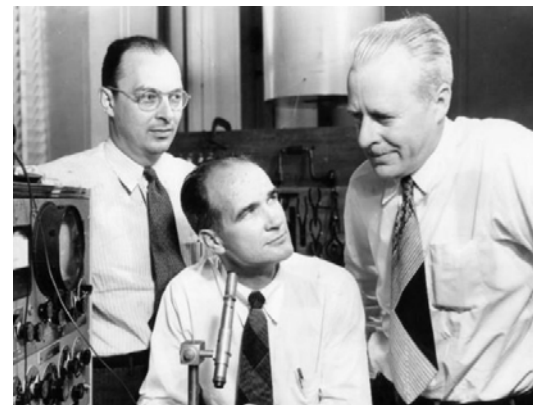


Isamu Akasaki, Shuji Nakamura, Hiroshi Amano, Nobel-díj 2014



Tranzisztor

- áramerősítő
- digitális memória elemei
- számlálók, multivibrátorok



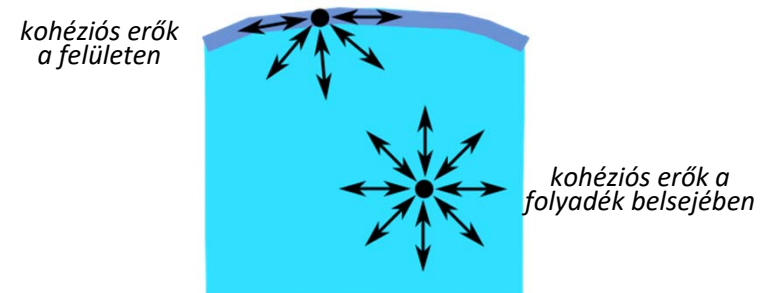
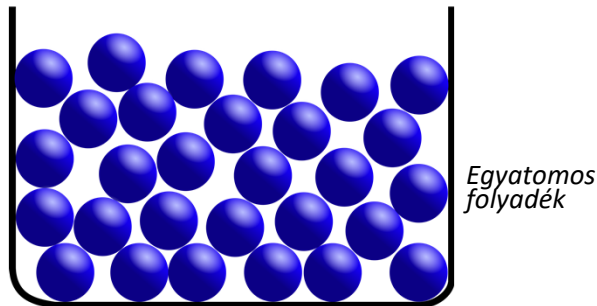
John Bardeen, William Shockley,
Walter Brattain, Nobel-díj 1956

Folyadékok

- Összenyomhatatlan: nyomástól függetlenül közel állandó a térfogata.
- Sűrűsége hasonló a szilárdéhoz („condensed matter”).
- Folyékony (mint a gázok és a plazma); felveszi az edény alakját; belső súrlódása („viszkozitás”, η) a hőmérséklettel csökken:

$$\eta \sim e^{-\frac{E}{k_B T}}$$

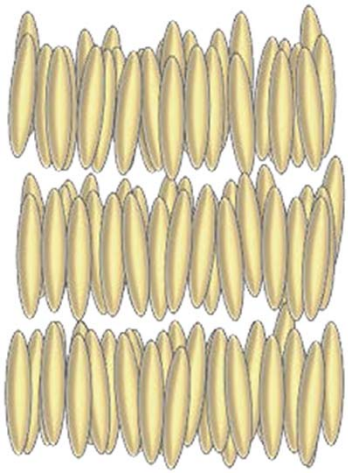
A részecskék közötti „lyukak” („vakanciák”) relatív koncentrációjával csökken a viszkozitás.



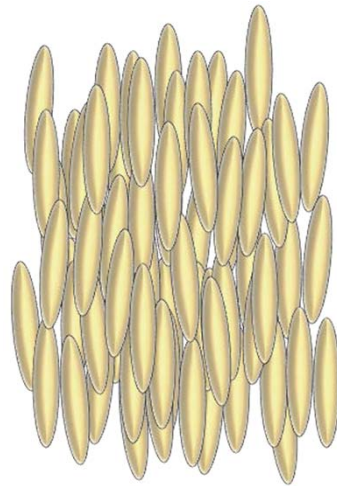
- Mikroszkópikus szerkezet: részecskéit (atomok, molekulák) rövid távú kölcsönhatások, kohéziós erők tartják össze (nincs hosszútávú rendezettség)
- A kohéziós erők közötti egyenlőtlenség (folyadék felülete vs belseje) felületi feszültség kialakulásához vezet (kontrakciós tendencia, gömb alak felvétele)

Folyadékkristályok

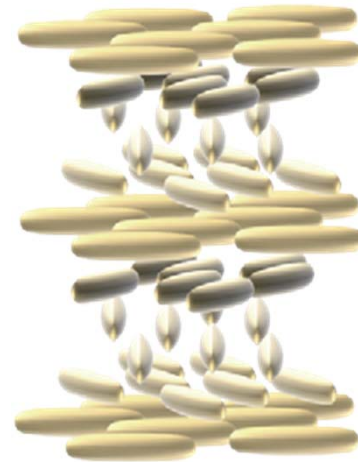
- Folyadék és szilárd tulajdonságokkal egyszerre rendelkeznek: folynak (gyenge intermolekuláris kölcsönhatások), de hosszútávú rendezettséget mutatnak.
- A molekulák nem gömbszimmetrikusak: kalamitikus (pálcika- vagy fonálszerű), diszkotikus (korongszerű)
- Rendezettség típusa: transzlációs, orientációs



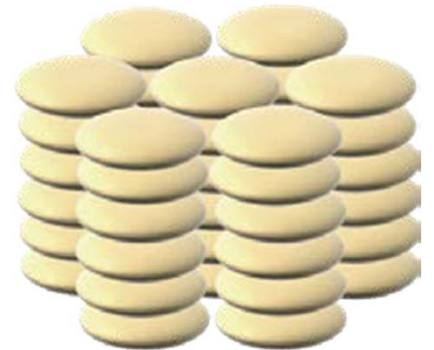
Szmektikus állapot
(orientációs és transzlációs
rendezettség)



Nematikus állapot
(csak orientációs
rendezettség, nincs
transzlációs
rendezettség)



Koleszterikus állapot
(nematikus rendezettség
különböző síkokban;
speciális eset: csavart
nematikus állapot -
menetemelkedés a színt
befolyásolja)



Diszkotikus állapot
(korongszerű, transzlációs
rendezettség)

Folyadékkristályok

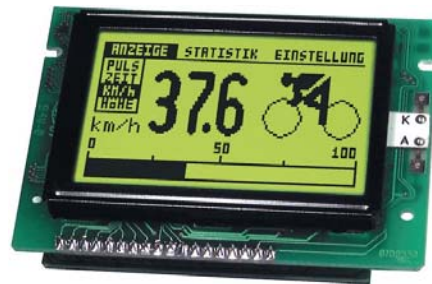
Termotróp

(hőmérsékletfüggő rendezettség)

- Szín a hőmérséklettől függ (termooptikai tulajdonság); – koleszterikus foly. krist. alkalmazás: kontakt termográfia
- Ha a molekulák elektromos dipólok, az optikai polarizáció, fényáteresztés elektromosan vezérelhető (elektrooptikai tulajdonság); – nematikus foly. krist. alkalmazás: LCD kijelzők, monitorok, stb.



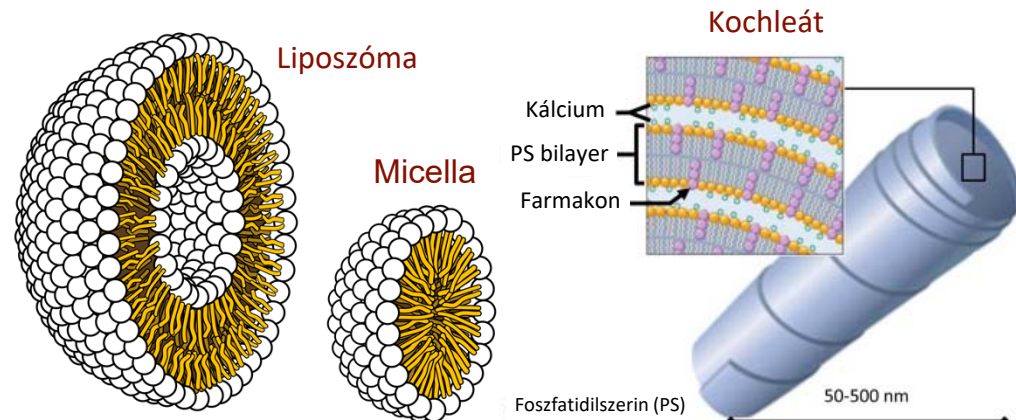
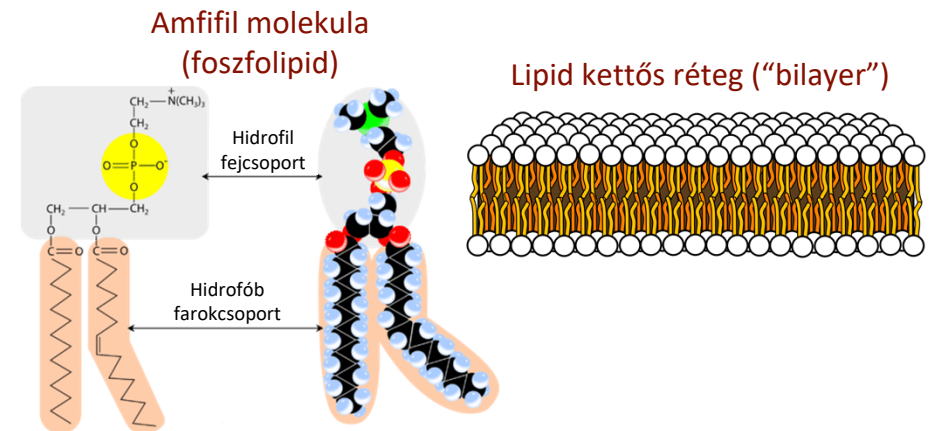
Kontakt termográfia



LCD kijelző

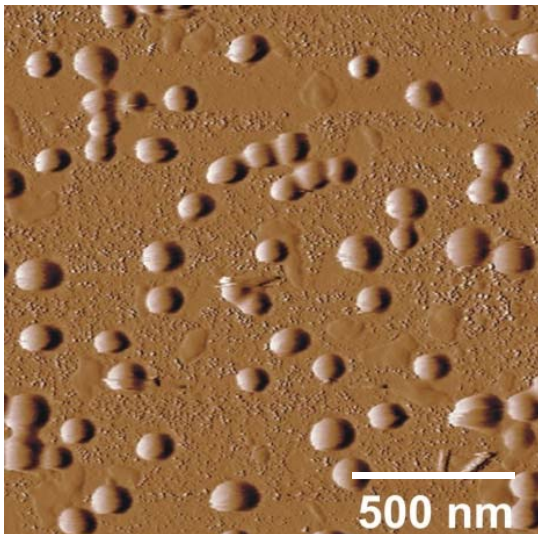
Liotróp

(koncentrációfüggő rendezettség)

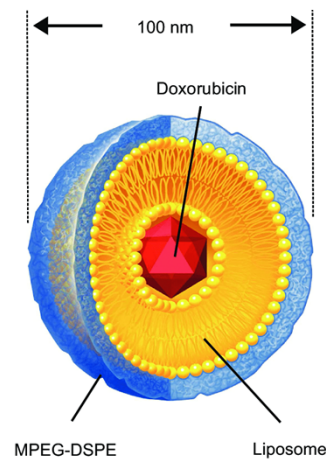


Liposzóma alkalmazások

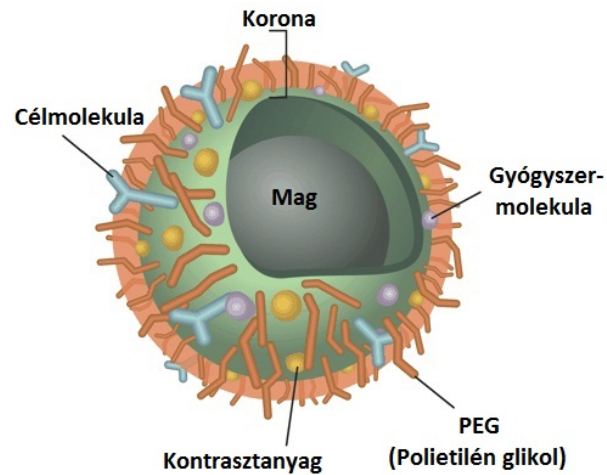
Felszín-adszorbeált liposzómák
AFM képe



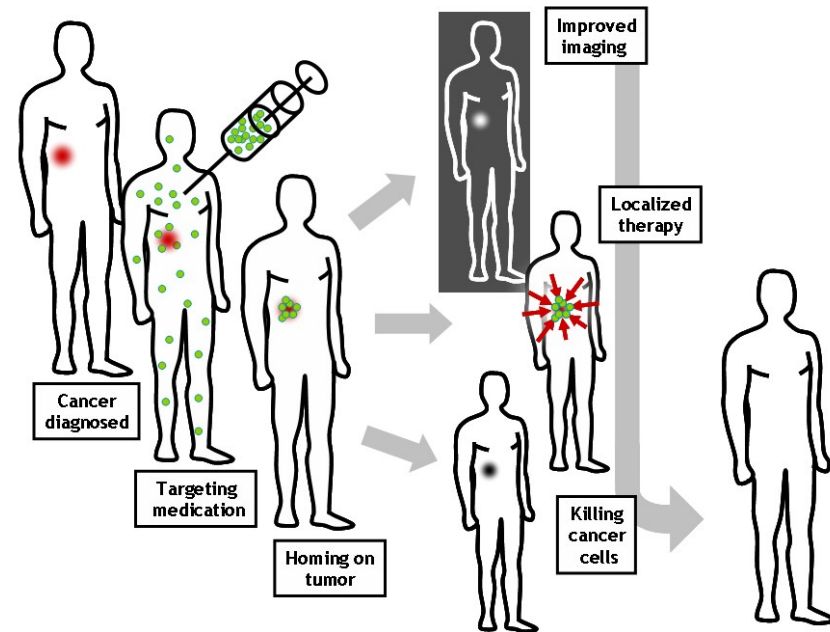
Toxikus gyógyszermolekula
szállítása



“Intelligens” liposzóma



Teranosztika
(terápia + diagnosztika)



Visszajelzés

