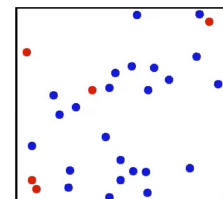


GÁZOK, SZILÁRD ANYAGOK, FOLYADÉKOK, FOLYADÉKKRISTÁLYOK

KELLERMAYER MIKLÓS

Az ideális (tökéletes) gáz

- Nagyszámú részecskéből áll (Avogadro-szám)
- A részecskék gömb alakúak, térfogatuk elhanyagolható
- A részecskék között nincs kölcsönhatás
- Az ütközések rugalmasak (összenergia konstans)
- Határesetben (pontoszerű részecskék) ütközések csak az edény falával
- A részecskék mozgása a klasszikus (newtoni) mechanika törvényeit követi.

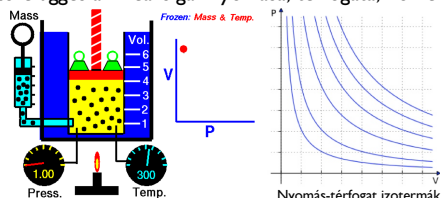


Ideális gázt leíró összefüggések

Egy részecske átlagos energiája (ekvipartíció tétele alapján): $\frac{1}{2} m \langle v^2 \rangle = \frac{3}{2} k_B T$

N részecskét tartalmazó rendszer belső energiája: $E_b = \frac{3}{2} N k_B T$

Egyetemes gáztörvény (Clausius-Clapeyron, Boyle-Mariotte, Charles törvények alapján): összefüggés az ideális gáz nyomása, térfogata, hőmérséklete és mennyisége között (állapotegyenlet).



$$PV = nRT$$

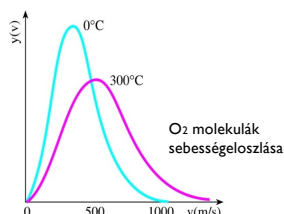
$$PV = Nk_B T$$

P = nyomás (Pa)
 V = térfogat (m³)
 n = anyagmennyiség (mol)
 R = gázállandó (8.314 J K⁻¹ mol⁻¹)
 T = abszolút hőmérséklet (K)
 N = részecskeszám
 k_B = Boltzmann állandó

Sebességeloszlás - Maxwell-féle sebességeloszlás

Hőmérséklet növekedésével:

- nő a molekulasebesség abszolút értékének átlaga (lásd ekvipartíció)
- nő az eloszlás szélessége



A reális gáz

- A részecskék nem pontoszerűek, térfogatuk (b) nem elhanyagolható. Következmény: a mozgásra rendelkezésre álló térfogat =

$$V - Nb \quad N = \text{részecskeszám}$$

- A részecskék között kölcsönhatások (a) lépnek fel.

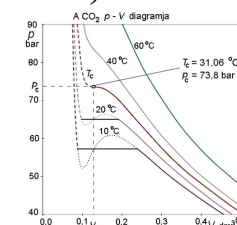
Következmény: a nyomás csökken

$$p = \frac{Nk_B T}{V - Nb} - an^2 \quad n = \text{egységnyi térfogatban levő részecskék száma (N/V)}$$

- Van der Waals-féle állapotegyenlet: $\left(p + a \frac{N^2}{V^2} \right) (V - Nb) = Nk_B T$

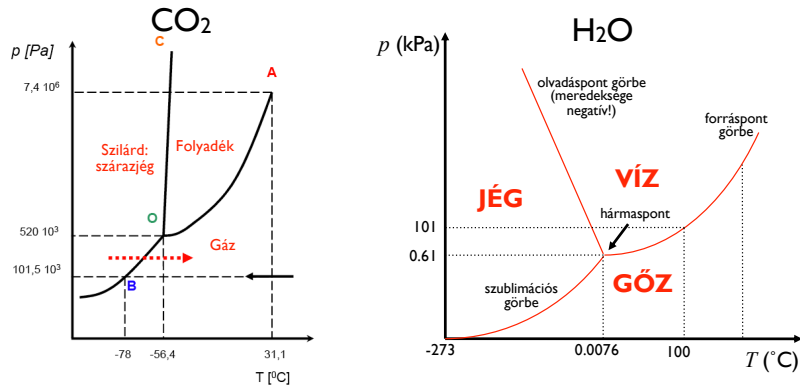
- Van der Waals izotermák:

Kritikus hőmérséklet (T_c) alatt, alacsony nyomáson fázisátmenet (pl. kondenzáció)



Fázis, fázisátmenet

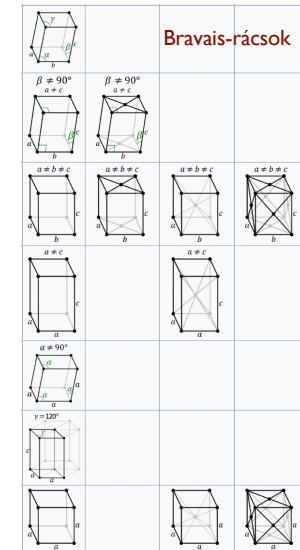
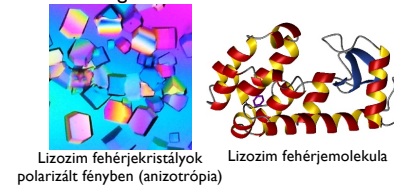
- Fázisok: az anyag kémiai tulajdonságaiban megegyező, de fizikai tulajdonságaiban különböző részei
- Fázisgörbe: két fázis egyensúlyban
- Fázisgörbék közötti terület: egyetlen fázis van jelen
- Metszéspont: hármaspont



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



B. Amorf anyagok

üvegszerű, viszkózus "folyadékok"

Amorf anyagok

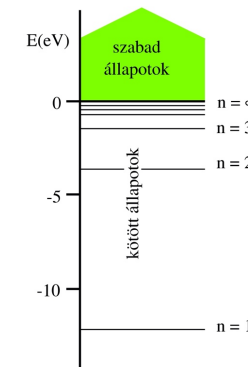
University of Queensland kátránycsepp kísérlet: 1927 óta 9 csepp



Energianívók kristályokban

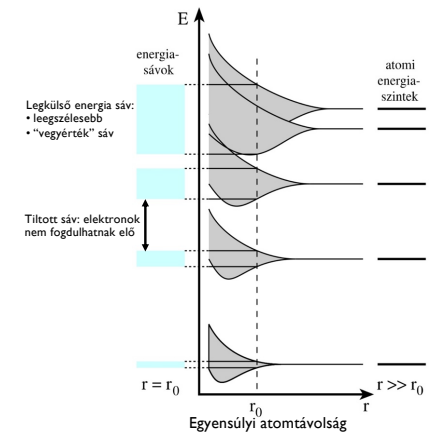
Iszolált hidrogénatom

- Nincs kölcsönhatás más atomokkal
- Diszkrét energianívók
- Pauli-elv



Kristály

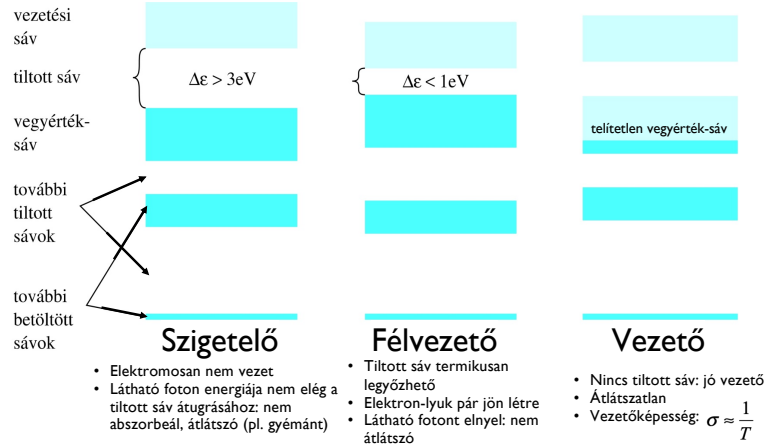
- Atomok kölcsönhatnak
- Pauli-elv: kölcsönható elektronok nívói felhasadnak
- Közeli nívók folytonos **energiasávokba** olvadnak



Eltérő sávszerkezetű kristályos anyagok

A tiltott sáv termikus energiához ($k_B T$) viszonyított szélessége (ΔE) dönti el, hogy a vegyérték-sávból milyen valószínűséggel lépnek elektronok a vezetési sávba (Boltzmann-eloszlás alapján):

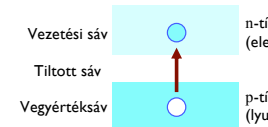
$$\frac{n_{\text{vezetési}}}{n_{\text{vegyérték}}} = e^{-\frac{\Delta E}{k_B T}} \quad @T=300 \text{ K}, k_B T \sim 0.023 \text{ eV}$$



Félvezetők

A. Tiszta félvezetők

- Tiltott sáv (ΔE) termikusan legyőzhető
- Tiltott sáv $< 1 \text{ eV}$
- Kétféle töltéshordozó (n, p)



- Vezetőképesség hőmérsékletfüggő

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

- Tiltott sáv átugrása látható fény ($1.5-3 \text{ eV}$) abszorpciójával is előidézhető:

$$hf_{\text{vis}} > \Delta E$$

- Átlátszatlan

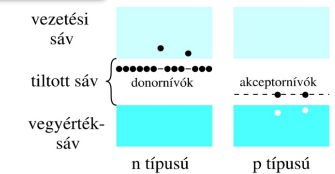
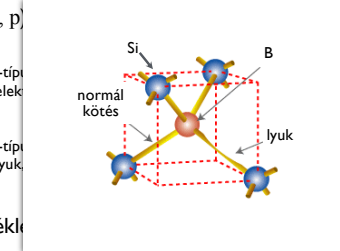
B. Szennyezett félvezetők

- Szennyezés ("dopant"): gazdarács atomjai között elhelyezett kis mennyiségű idegen atom

$$\frac{N_{\text{gazda}}}{N_{\text{dopant}}} \approx 10^6$$

gazdarácsban (Si, Ge) 5-
opant (P, As, Bi): e-donor, n-

gazdarácsban (Si, Ge) 3-
opant (Al, Ga, In, B): e-
p-vezető



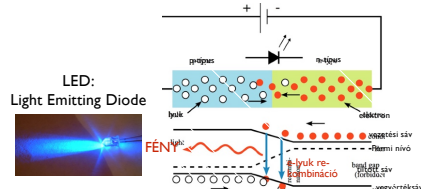
Félvezető dióda és tranzisztor

szennyezett, p- és n-típusú félvezetők összeillesztéséből kialakított mikroelektron

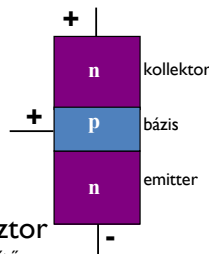


Dióda

- egyenirányító
- elektromos feszültség \rightarrow fényforrás, LED
- megvilágítás \rightarrow feszültség \rightarrow CCD pixel



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



Tranzisztor

- áramerősítő
- digitális memória elemek
- számlálók, multivibrátorok



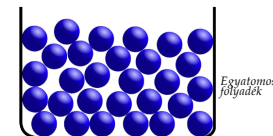
John Bardeen, William Shockley, Walter Brattain, Nobel-díj 1956

Folyadékok

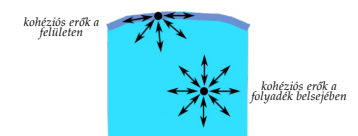
- Az anyag egyik halmazállapota (szilárd, gáz és plazma mellett).
- Összenyomhatatlan: nyomástól függetlenül közel állandó a térfogata.
- Sűrűsége hasonló a szilárdéhoz („condensed matter”).
- Folyékony (mint a gázok és a plazma); felveszi az edény alakját; belső súrlódása („viszkózitás”, η) a hőmérséklettel csökken:

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

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



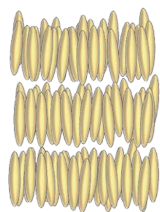
- Mikroszkópikus szerkezet: részecskéit (atomok, molekulák) rövid távú kölcsönhatások, kohéziós erők tartják össze (nincs hosszútávú rendezettség)



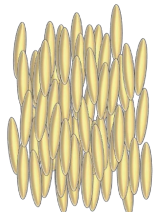
- A kohéziós erők közötti egyenlőtlenség (folyadék felülete vs belseje) felületi feszültség kialakulásához vezet (kontrakciós tendencia, gömb alak felvétele)

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: translációs, orientációs



Szmeztikus 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 szint
befolyásolja)



Diszkotikus állapot
(korongszerű,
transzlációs
rendezettség)

OMHV



<http://report.semmelweis.hu/linkreport.php?qr=NQIM9MF53RETSAPQ>

Pin: EWJ

Folyadékkristályok

Termotróp

(hőmérsékletfüggő rendezettség)

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



Kontakt termográfia



LCD kijelző

Liotróp

(koncentrációfüggő rendezettség)

