

Fogorvosi anyagtudomány fizikai alapjai

– 2 –

Anyagszerkezet. Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

összeállította: Agócs Gergely, Tölgyesi Ferenc
2021. szeptember 13.

Tankönyv-
fejezetek:
4, 5

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

1

Főbb pontok

❖ Viskozitás

❖ Víz és nyál

❖ Kristályok – Apatit

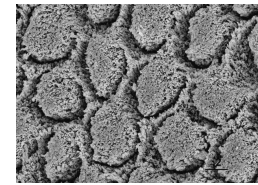
❖ Kristályhibák és jelentőségük (lásd még:
Damjanovich–Fidy–Szöllősi: Orvosi biofizika, I/3.3.5.)

❖ Amorf anyagok – Üvegek

❖ Folyadékkristályok (FAFA-jegyzetben nem szerepel,
helyette lásd: Damjanovich–Fidy–Szöllősi: Orvosi
biofizika, I/3.4.2.)



egy kis (b) és egy nagy (l) viszkozitású folyadék



hidroxilapatit-kristályok a fogzománc-prizmákban; méretarány: — = 2 μm

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

2

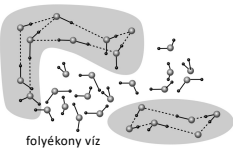
Folyadékok és szilárd testek

folyékony

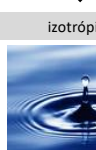
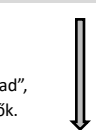
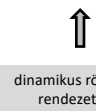


nem alaktartó:

deformáció után „úgy marad”,
nincsenek visszatérítő erők.



folyékony víz



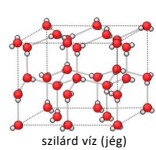
szilárd víz (jég)

szilárd



alaktartó:

deformáció után visszaalakul, mert
visszatérítő erők ébrednek benne.



szilárd víz (jég)

dinamikus rövidtávú
rendezettség

↑

↓

izotrópia

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

3

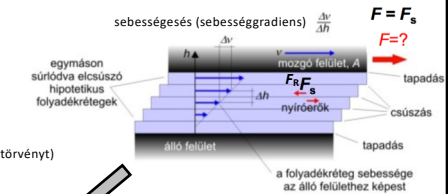
viszkozitás (η) és fluiditás („folyósság“, $1/\eta$)

(lásd később a Hagen–Poiseuille-törvényt)

Newton-féle sűrűdési törvény:

$$F_s = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

viszkozitás (belső
sűrűdési együttható)
[η] = Pa·s



a Newton-féle sűrűdési törvény
másik alakja:

$$\sigma_{nyíró} = \eta \cdot g_v$$

FAFA_HU

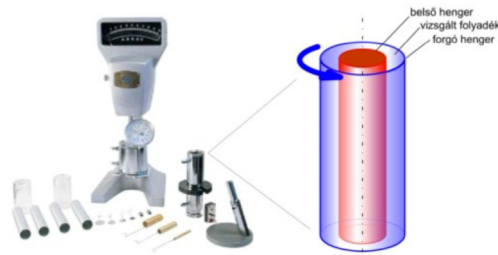
2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

4

Viszkozimetria

$$F_s = \eta \cdot A \cdot \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

η arányos az F_s vs.
 $\Delta v/\Delta h$ görbe
meredekségével!



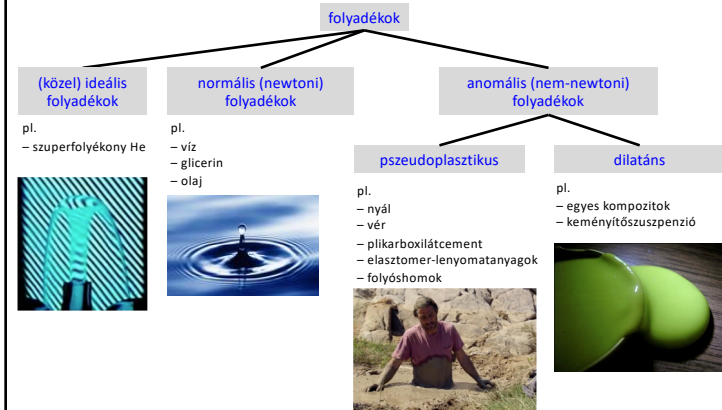
Rotációs viszkoziméter

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

5

Folyadéktípusok



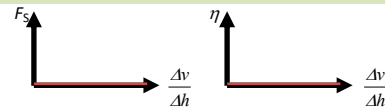
FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

6

Ideális folyadékok

- ideális folyadék:
- nincs belső súrlódás (viszkózitás = 0)
 - összenyomhatatlan
 - nincs hővezetőképesség
 - nincs felületi feszültség
 - pl.: szuperfolyékony hélium ($T < 2,17$ K)



Onnes-effektus



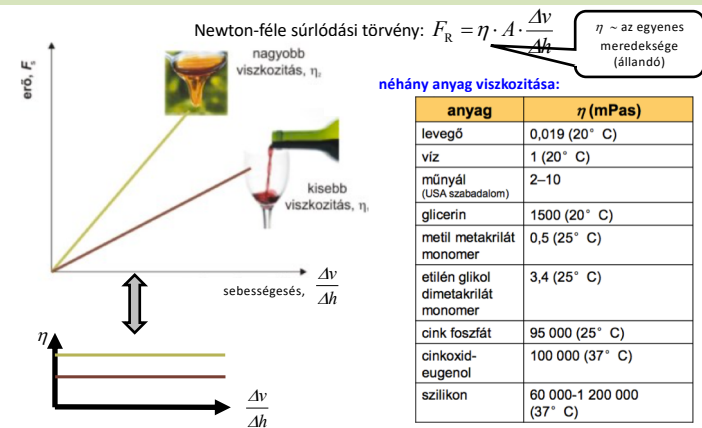
szökökút-effektus

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

7

Newtoni folyadékok I.



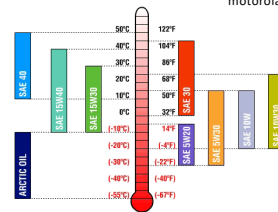
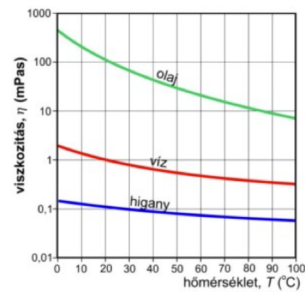
FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

8

Newtoni folyadékok II.

- η függ:
- az anyagi minőségtől
 - a hőmérséklettől



(A gázok viszkózitása a hőmérséklettel nő. Miért?)

különböző viszkózitású motorolajok üzemi hőmérsékleti tartományai

FAFA_HU

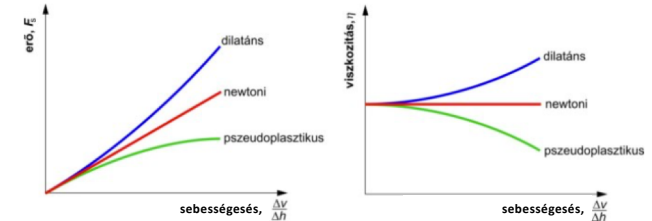
2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

9

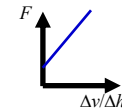
Nem-newtoni folyadékok

η függ:

- a nyírórórtól (vagy: a sebességeséstől, utóbbit olykor sebességgradiensnek nevezik)



Bingham-folyadékok:



FAFA_HU

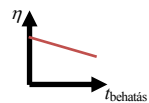
2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

10

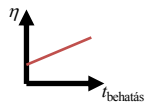
Behatásiidő-függő viszkózitás

- η függ:
- a mechanikai behatás (pl. keverés) időtartamától (magára hagyva idővel az eredeti viszkózitás visszaáll)

tixotróp folyadékok:



reopex folyadékok:



Ezeket ne keverjük a pszeudoplasztikus és dilatáns anyagokkal!

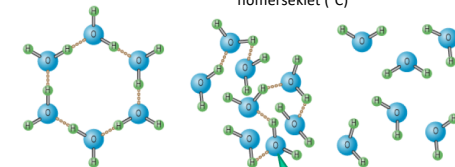
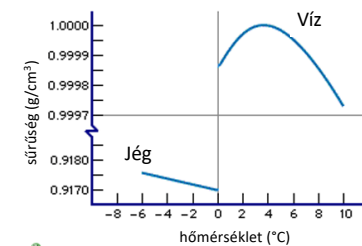
FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

11

Víz I.

- széles hőmérséklet-tartományban folyékony
- viszonylag kis sűrűség (1 g/cm^3)
- newtoni folyadék, viszonylag kis viszkózitással



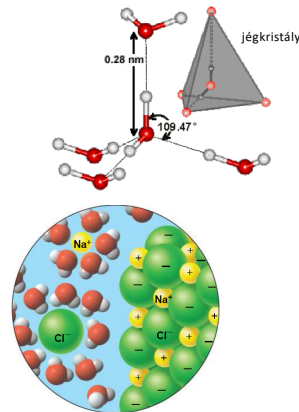
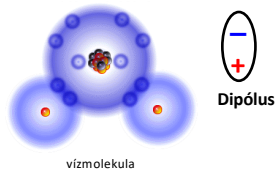
FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

12

Víz II.

- nagy fajlagos hőkapacitás, olvadás- és párolgáshő
- nagy felületi feszültség
- jó oldószer

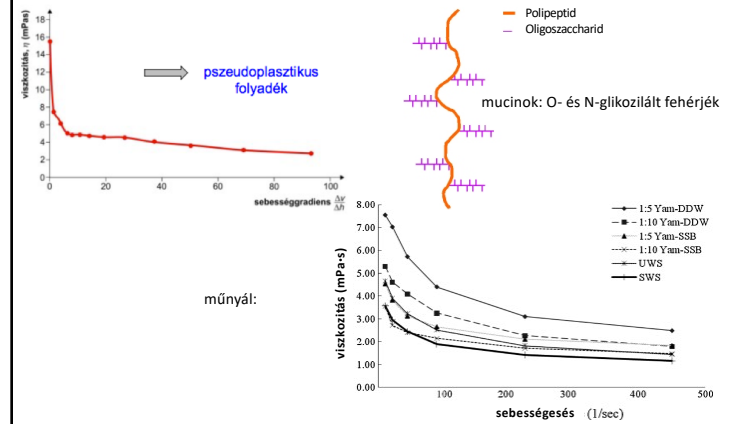


FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

13

Nyál

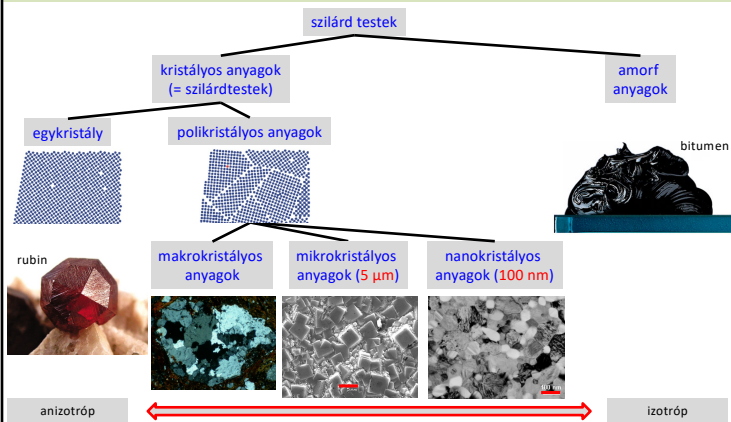


FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

14

Szilárd testek és szilárdtestek

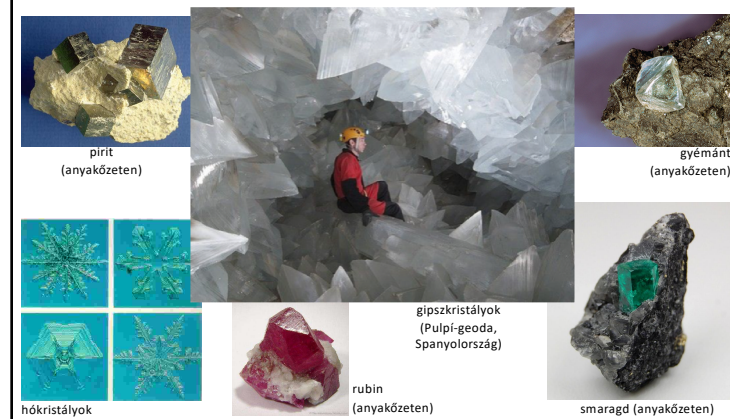


FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

15

Természetes egykristályok



FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

16

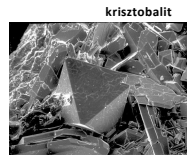
Polimorfizmus

polimorfizmus: azonos halmazállapot, eltérő szerkezet

SiO₂

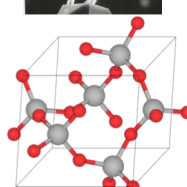
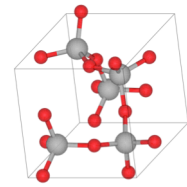
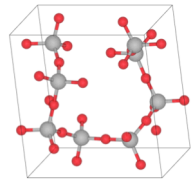
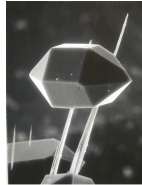


tridimit



krisztobalit

kvarc



FAFA_HU

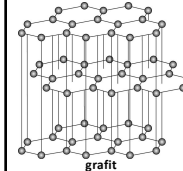
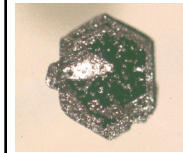
2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

17

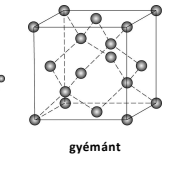
Allotrópia

allotrópia: elemek polimorfizmusa

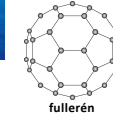
szén (C)



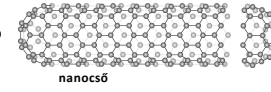
grafit



gyémánt



fullerén



nanocső

ón (Sn) és ónpestis



szürkeón
α-ón
(kübös)

fehérón
β-ón
(oktaéderes)

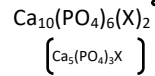
13,2 °C

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

18

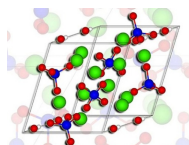
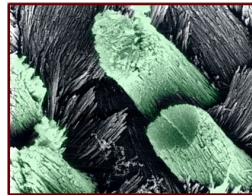
Apatit



OH : hidroxilapatit
F : fluorapatit

– Miért helyettesítheti fluoridion a hidroxidion az apatitkristályban?
– Mi ennek a fogorvosi jelentősége?

hexagonális ionkristály



dentin, csont: 20-60 nm x 6 nm nagyságú kristályok
fogzománc: 500-1000 nm x 30 nm nagyságú kristályok

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

19

Rácshibák I.

ponthibák

termikus

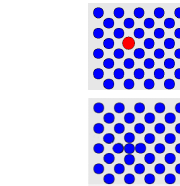
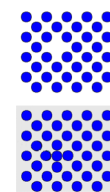
vakancia
(Schottky-hiba)

interstícium

idegen atom

szubsztitúciós
(rácsponiban)

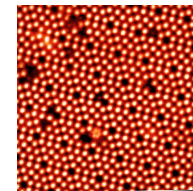
intersticiális



$$n_s = N \cdot e^{-\frac{\epsilon_s}{kT}}$$

Frenkel-hiba
(Frenkel-pár)

a Schottky-
hibák
száma



I. ötvözetek!

FAFA_HU

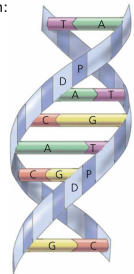
2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

20

Rácshibák II.

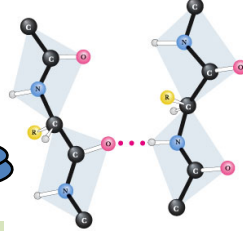
rácshibák keletkezése és mozgása:

termikus hibahelyek biológiai molekulákban:



$$n_s = N \cdot e^{-\frac{\epsilon_s}{kT}}$$

a felszakadt hidrogénhidak száma



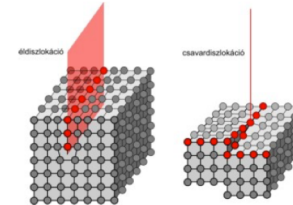
FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

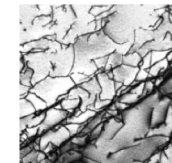
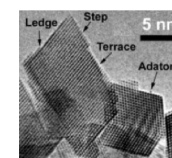
21

Rácshibák III.

- diszlokációk
 - éldiszlokáció
 - csavardiszlokáció



- felületi hibák



FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

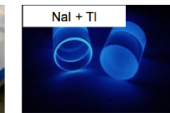
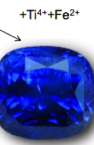
22

Rácshibák IV.

A hibák erősen befolyásolják a tulajdonságokat!

pl. optikai tulajdonságok

Al_2O_3



Röntgen sugárzás hatására világít!

I. szcintillációs kristályok röntgen és más sugárzások detektálására

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

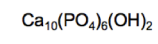
23

Rácshibák V.

pl. mechanikai tulajdonságok



pl. kémiai tulajdonságok



hidroxiapatit

fluorapatit

Savakban kevésbé oldódik.

– Mi ennek kémiai magyarázata?

pl. elektromos tulajdonságok

I. szennyezett félvezetők

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

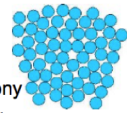
24

Amorf anyagok

Amorf anyagok

= üveg, üvegszerű anyag

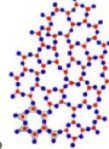
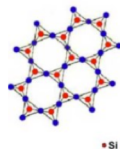
- rövid távú rend
- sok szerkezeti hiba
- nincs saját alak/folyékony de nagyon nagy viszkozitás, túlhűtött folyadék, ezért úgy tűnik, van saját alakjuk
- mechanikailag kemény
- izotrop



pl. üveg, műgyanta, viasz, bitumen,

kristályos SiO_2

amorf SiO_2



• Si • O

FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

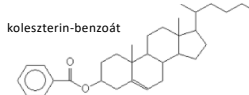
25

Folyadékkristályok I.

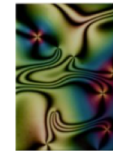
(FAFA-jegyzetben nem szerepel,

helyette lásd: Damjanovich-Fidy-Szőllősi: Orvosi biofizika, I/3.4.2.)

koleszterin-benzoát



1883 Reinitzer



- anizodimenziós molekulák
- mezofázis
- részben rendezett struktúra
- folyékony
- optikailag anizotróp
- szerkezete nagyon érzékeny a külső hatásokra

Termotróp folyadékkristály struktúrák:



nematikus



szmektikus



koleszterikus

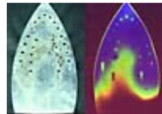
FAFA_HU

2 | Folyadékok, szilárd anyagok, folyadékkristályok

26

Folyadékkristályok II.

Kontakttermográfia (termooptikai effektus)



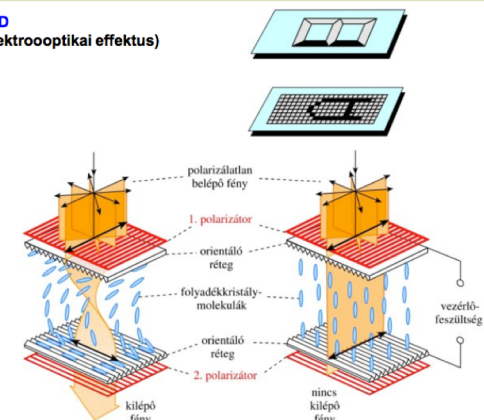
FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

27

Folyadékkristályok III.

LCD (elektrooptikai effektus)



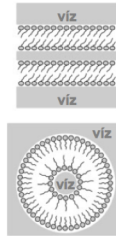
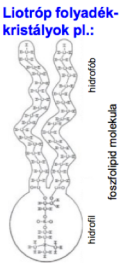
FAFA_DE

2 | Flüssigkeiten, feste Körper, Flüssigkristalle

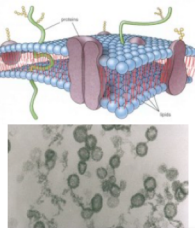
28

Folyadékkristályok IV.

Liotróp folyadék-
kristályok pl.:



liposzóma



Ellenőrző kérdések:

- Miért növekszik a gázok viszkozitása a hőmérséklet növekedésével, a folyadékoké pedig miért csökken?
- Egy folyadék kevergetünk. Kétszer gyorsabb keveréshez ötször nagyobb erőt kell kifejtenünk. Milyen típusú folyadékról van szó?
- Mi az apatit fogorvosi jelentősége?
- Mi a rács hibák gyakorlati jelentősége?
- A kristály hőmérséklete 0°C , benne a vakanciaképződés aktiválási energiája $0,65\text{ eV}$. B kristályban ezek az adatok: 273°C és $1,3\text{ eV}$. Hogyan viszonyul egymáshoz a vakanciák aránya a két kristályban?

Feladatok:

1. fejezet: 22, 23, 32–35

Következő
előadáshoz:
6., 7.
tankönyvi
fejezetek