



Fogorvosi anyagtan fizikai alapjai

9.

Hőtani, elektromos és kémiai tulajdonságok

Kiemelt témák:

- ❖ Elektromosságban alapfogalmak
- ❖ Szilárdtestek energiasáv modelljei
- ❖ Félvezetők és alkalmazásai

Tankönyv fej.:
19

Házi feladat:
5. fej.:
1, 2, 5, 6, 8, 9, 10,
32, 35

1

Hőtani tulajdonságok

- hőmérséklet
- hőfelvétel/leadás



hőkapacitás (C):

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

moláris hőkapacitás (c_v):

$$c_v = \frac{C}{\nu}$$

fajlagos hőkapacitás – fajhő (c):

$$c = \frac{C}{m}$$



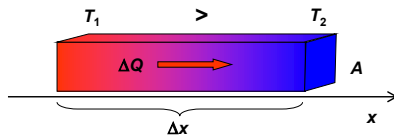
Néhány fogászati anyag fajhője:

anyag	c (J/(kg·K))
fogzománc	750
dentin	1260
víz	4190
amalgám	210
arany	126
porcelán	1100
üveg	800
PMMA	1460
cinkfoszfát	500

2

• hővezetés

- rácsrezgések
- szabad elektronok



$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -\lambda A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad \text{Fourier-törvény}$$

λ — hővezető képesség
hővezetési együttható
J/(s·m²·K/m) = W/(m·K)

Stacionárius esetre jó jellemző!

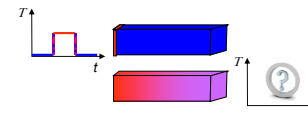
Néhány fogászati anyag hővezetési együtthatója:

anyag	λ (W/(mK))
fogzománc	0,9
dentin	0,6
víz	0,44
amalgám	23
arany	300
porcelán	1
üveg	0,6-1,4
akrilát	0,2
PMMA	0,2-0,3
cinkfoszfát	1,2



3

Nemstacionárius körülmények között:



$$D = \frac{\lambda}{c \cdot \rho}$$

D — hőmérséklet-vezetési
együttható
(hődiffúziivitás)
(m²/s)

Néhány fogászati anyag hődiffúziivitása:

anyag	λ (W/(mK))	D (10 ⁻⁶ m ² /s)
fogzománc	0,9	0,5
dentin	0,6	0,2
víz	0,44	0,14
amalgám	23	9,6
arany	300	118
porcelán	1	0,4
üveg	0,6-1,4	0,3-0,7
akrilát	0,2	0,1
PMMA	0,2-0,3	0,12
cinkfoszfát	1,2	0,3

4



• hőtágulás

Lineáris hőtágulás:

$$\frac{\Delta l}{l} = \alpha \Delta T$$

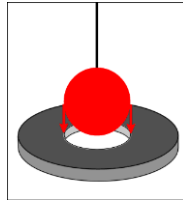
α — lineáris hőtágulási együttható (1/K)

Térfogati hőtágulás:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T$$

β — térfogati hőtágulási együttható (1/K)

$$\beta = 3\alpha$$

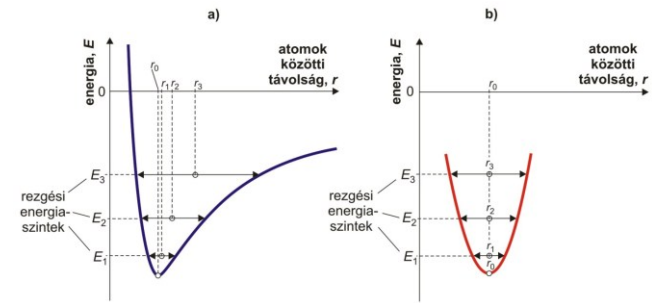


Néhány fogászati anyag lineáris hőtágulási együtthatója:

anyag	α (10^{-6} 1/K)
fogzománc	11,4
dentin	8,3
arany	14,2
aranyötvözetek	11-16
amalgám	≈ 25
porcelán	4-16
akrilát	90
üveg	8
PMMA	90-160
szilikon	100-200
gipsz	15-20
viasz	300-500

5

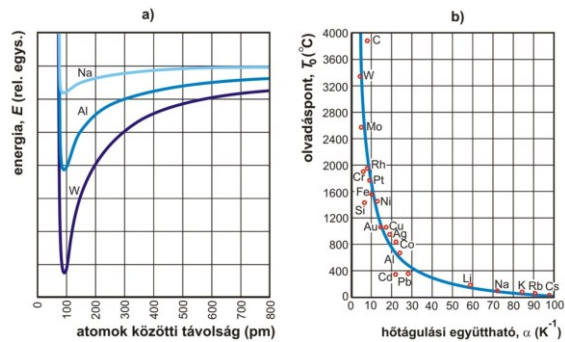
A hőtágulás háttere:



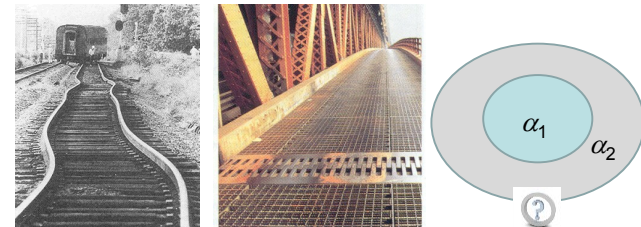
6

A hőtágulás (esetleges) következménye:

Különböző hőtágulás \Rightarrow feszültségek!

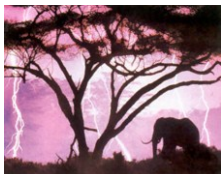


7



8

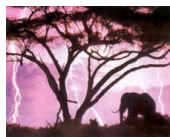
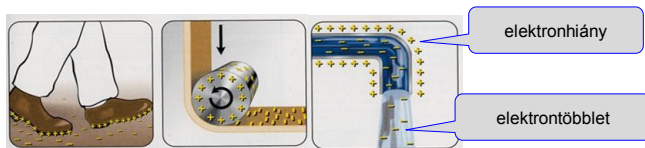
Elektromosságtani ismételés



9

Töltésszétválasztás

Az elektromos töltéseket dörzsöléssel választhatjuk el egymástól (statikus elektromosság = dörzsölési elektromosság).



Töltésszétválasztás után kisülés!

11

Elektromos töltés

Töltés: anyaghoz kötött tulajdonsága egy testnek (mint a tömeg).
Makroszkopikus testek általában neutrálisak.



elektron (ηλεκτρον) = borostyán

Elektron negatív, proton pozitív töltésű.

Az elektromos töltés kvantált, legkisebb értéke az elektron (proton) töltése abszolút értékben, az ún. **elemi töltés** (e).
Mértékegysége: 1 C (Coulomb) = 1 A s

$$e = |e^-| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Faraday-állandó (1 mól proton össztöltése):

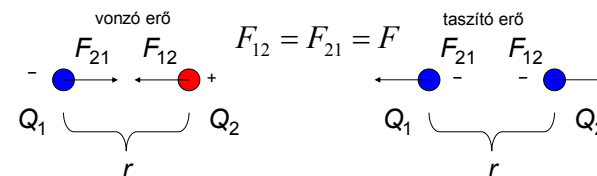
$$F = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 6 \cdot 10^{23} \text{ 1/mol} = 96\,500 \text{ C/mol}$$

10

Elektromos kölcsönhatás

Elektromos töltéssel rendelkező testek egymásra hatnak:

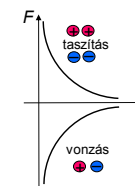
- különböző töltés esetén vonzás
- azonos töltések esetén taszítás



Coulomb-erő:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$$



12

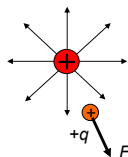
Elektromos tér (mező), erővonalak

Ha két test úgy áll kölcsönhatásban egymással, hogy nem érintkeznek, akkor a kölcsönhatásukat úgy képzeljük el, hogy közöttük egy erőter (mező) jön létre, és az közvetíti az erőhatást.

Az erőteret (mezőt) a térerősséggel jellemezzük, és az erővonalak segítségével tesszük szemléletessé.

elektromos térerősség, E :

$$E = \frac{F}{q} \quad \left[\frac{N}{C} \right]$$



erővonalak:

- Iránya megadja a térerősség irányát
- Sűrűsége megmutatja a térerősség nagyságát

13

Feszültség (= potenciálkülönbség)

Tegyük fel, hogy $W_{1 \rightarrow 2}$ munkavégzés szükséges ahhoz, hogy egy q töltésű próbatestet (próbatöltést) az elektromos mező 1-es pontjából a 2-es pontba vigyünk. $W_{1 \rightarrow 2} / q$ független a próbatöltés nagyságától, valamint az útvonaltól. Így:

Elektromos feszültség az 1-es és 2-es pontok között:

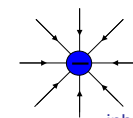
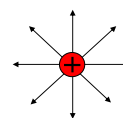
$$U_{21} = \frac{W_{1 \rightarrow 2}}{q} \quad \text{Mértékegység: Volt [V]} \quad 1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$$

Megjegyzések:

- ha $U_{21} > 0 \Rightarrow$ 2-es pont pozitívabb, mint az 1-es
- $U_{21} = -U_{12}$
- homogén térben: $U_{21} = W_{1 \rightarrow 2} / q = qEs / q = Es$
- pl. röntgencsőnél: $W = eU = \frac{1}{2} mv^2$
- $U_{21} = \varphi_2 - \varphi_1$

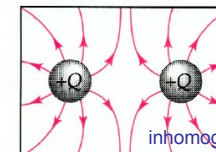
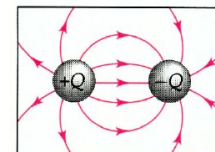
15

Ponttöltés tere:



inhomogén tér

Dipól és két azonos töltés tere:



inhomogén tér

Síkkondenzátor belsejében lévő tér:



14

Elektromos potenciál

Jelölje $W_{0 \rightarrow i}$ azt a munkát, amely ahhoz szükséges, hogy egy q próbatöltést a 0 vonatkoztatási pontból az i pontba vigyünk.

$\frac{W_{0 \rightarrow i}}{q}$ független a próbatöltéstől és az útvonaltól!

Elektromos potenciál: $\varphi_i = \frac{W_{0 \rightarrow i}}{q}$ Mértékegység: Volt (V)

Az elektromos potenciál (φ_i) megadja az 1 C nagyságú próbatöltés potenciális energiáját az i pontban, miután az adott elektromos mezőben a vonatkoztatási pontból (0) az i pontba vittük.

Vonatkoztatási pontnak sokszor a végtelen távoli pontot választják, ekkor:

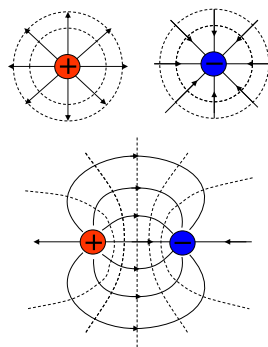
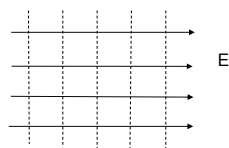
$$\varphi_i = \frac{W_{\infty \rightarrow i}}{q}$$

16

Potenciáltér, ekvipotenciális felületek

ekvipotenciális = azonos potenciállal rendelkező

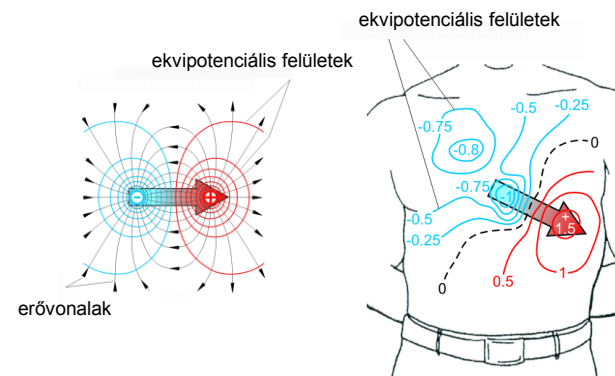
Az ekvipotenciális vonalak, vagy felületek (szaggatott vonalak) és az erővonalak (folytonos vonalak) egymásra merőlegesen futnak.



Egy ekvipotenciális felületen való mozgásnál nincs munkavégzés!!

17

Egy orvosi példa: EKG



⇒ 1. 2. félév

18

Elektromos áram

Irányított transzport, a töltéshordozók kollektív vándorlása

elektromos töltéshordozók = szabadon mozgó, elektromosan töltött részecskék
pl. fémekben: **elektronok**
pl. elektrolitoldatokban, vagy gázokban: **ionok**

Elektromos áramerősség (I):

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

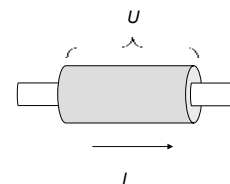
ΔQ : egy vezető keresztmetszetén Δt idő alatt átvándorló töltésmennyiség

Mértékegység: amper (A), $1A = 1C/1s$

A technikai (konvencionális) áramirány: a pozitív töltéshordozók vándorlási iránya.

19

Ohm törvény



Egy vezető két vége közötti feszültség (potenciálkülönbség, U) és a vezetőben folyó áram erőssége (I) arányosak egymással.

$$U \sim I \begin{cases} U = RI \\ GU = I \end{cases}$$

R : elektromos ellenállás (rezisztencia)

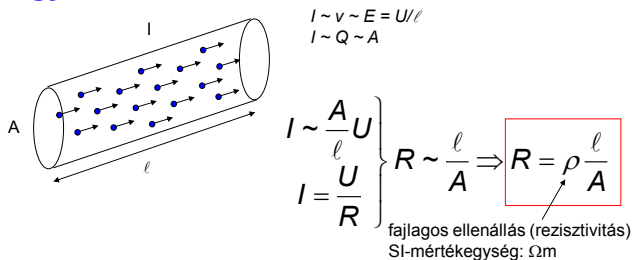
G : elektromos vezetés (konduktancia)

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{mértékegység : ohm } (\Omega) \quad 1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

$$G = \frac{1}{R} \quad \text{mértékegység : siemens (S), } 1S = \frac{1}{1\Omega}$$

20

Egy vezető ellenállása



Fajlagos vezetés (vezetőképesség, konduktivitás) (σ): $\sigma = \frac{1}{\rho}$
 SI-mértékegység: S/m

21

Egyéb tulajdonságok

• elektromos

Fajlagos ellenállás (ρ):

$$\rho = \frac{R \cdot A}{l} \quad (\Omega\text{m})$$

Fajlagos vezetés, (fajlagos) vezetőképesség (σ):

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad ((\Omega\text{m})^{-1} = \text{S/m})$$

anyag	σ (S/m)	
ezüst	$6,8 \cdot 10^7$	vezetők
arany	$4,3 \cdot 10^7$	
platina	$0,94 \cdot 10^7$	félvezetők
germánium	2,2	
szilícium	$4 \cdot 10^{-4}$	szigetelők
cirkon	$\approx 10^{-10}$	
porcelán	$\approx 10^{-11}$	
üveg	$\approx 10^{-13}$	
PMMA	$\approx 10^{-12}$	
PE	$\approx 10^{-16}$	

Elektromos vezetőképesség tényezői:

- szabad töltéshordozók (elektron, ionok) mennyisége
- mozgékonyaságuk

22

Elektronszerkezet - energiasávok

Sávok feltöltődése:

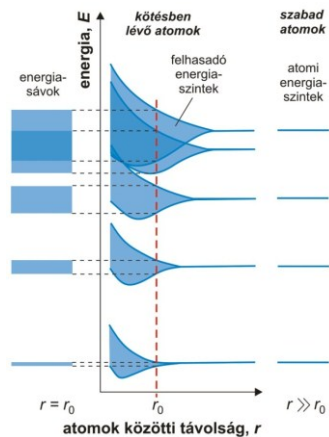
- energiaminimum
- Pauli-elv
- elektronok száma

• vezetési sáv

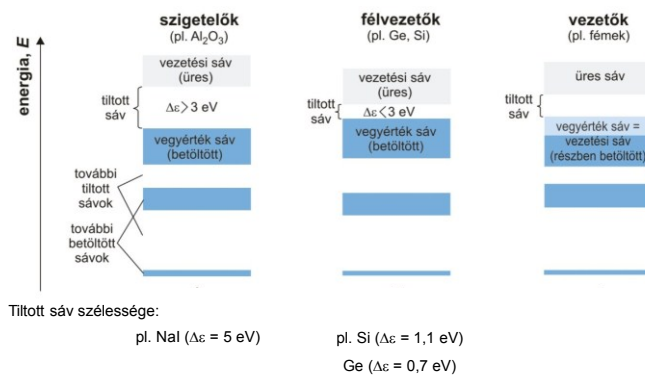
Az üres, ill. a részben betöltött sávok közül a legalsó.

• vegyértéksáv:

Azon sávok közül, amelyekben elektron található, a legfelső.

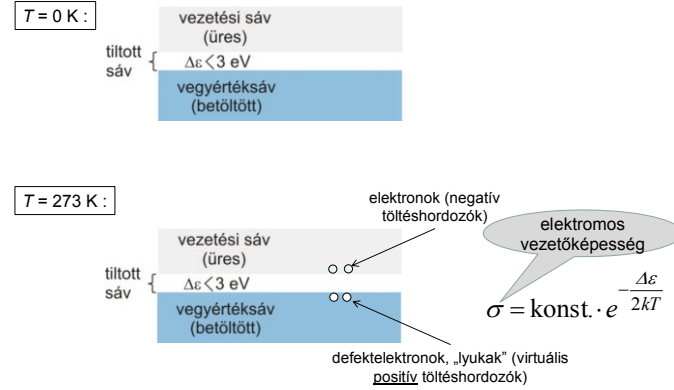


23



24

Tiszta félvezető (intrinsic vezetés)



25

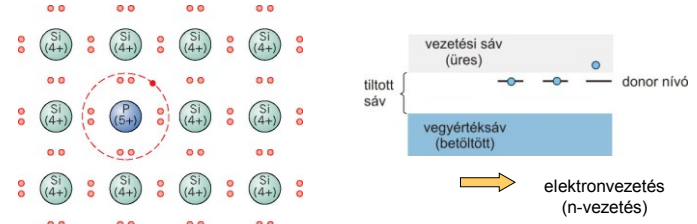
Szennyezett félvezető

alkatkristály pl. Si
 $_{14}\text{Si}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

n-félvezető

adalek pl. P

$_{15}\text{P}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$



26

Szennyezett félvezető

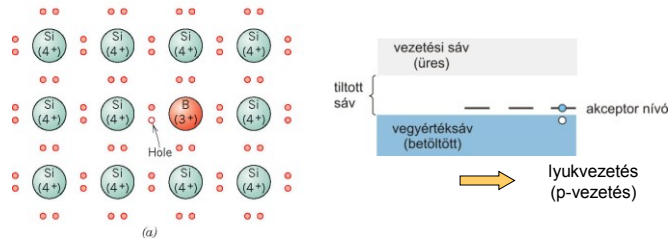
alkatkristály pl. Si

$_{14}\text{Si}: 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

p-félvezető

adalek pl. B

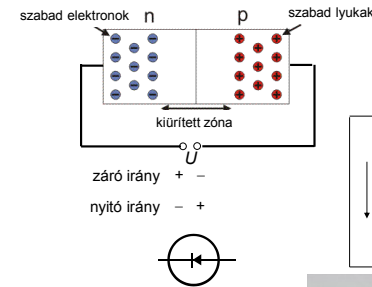
$_{5}\text{B}: 1s^2 2s^2 2p^1$



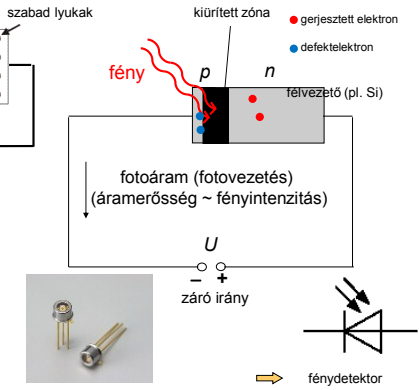
27

Szennyezett félvezetők alkalmazása

dióda

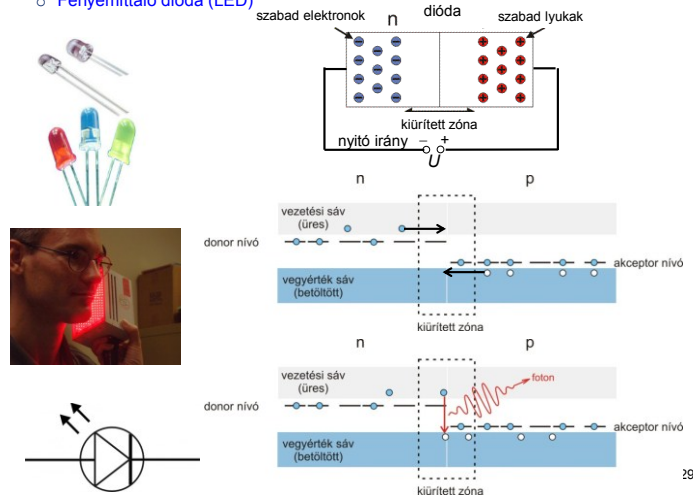


fotodióda



28

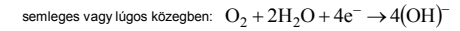
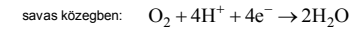
o Fényemittáló dióda (LED)



29

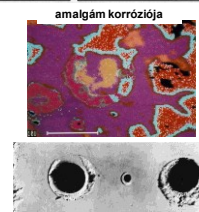
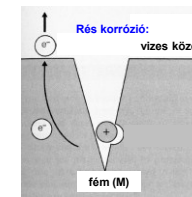
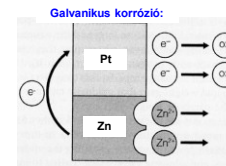
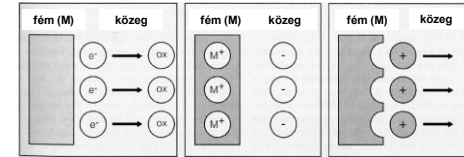
• kémiai

• Fémek oxidációja, korróziója $M \rightarrow M^{n+} + n \cdot e^-$



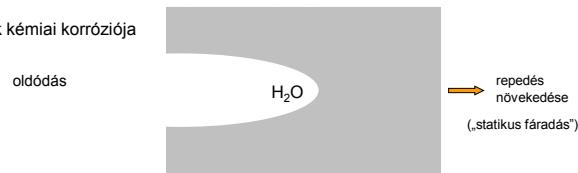
Elemek galvan sora (tengervízben):

Pt	↑ inert
Au	
Ti	
Ag	
Cu	
Ni	
Pb	
Al	
Zn	↓ aktív



30

• Kerámiák kémiai korróziója



• Polimerek degradációja

vízfelvétel (alkohol) → duzzadás, oldódás → kötőerők gyengülése → mechanikai, optikai tulajdonságok változása



31