

- def.: bevezetett energia térfogat
- radioaktív

1. sugáriszórás

- a, pontszerű, izotrop
- b, pontszerű, de anizotrop

- c, nem pontszerű:
 - sík
 - gömb
 - henger

• Besugárrzott teljesítmény

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \left[\frac{J}{s} \right]$$

Besugárrzott felületi telj.

$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

2. sugáriszórás

- energiáram sűrűség
intenzitás

$$I_E = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

energiáram - erő

$$I_E = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad \left[\frac{J}{s} \right]$$

3. Besugárrzott test

- Besugárrzott felületi telj.

$$E_{be} = \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad \left[\frac{W}{m^2} \right]$$

- a, gömb

$$E_{be} = \frac{P}{4\pi r^2}$$

- b, henger

$$E_{be} = \frac{P}{2\pi r L}$$

- c, sík

$$E_{be} = \frac{P}{A}$$

- d, sík $\cos \alpha$

$$E_{be} = E_{be0} \cdot \cos \alpha$$

• fény (interferencia)

$$rad = \frac{lv}{r} = \frac{c}{r} \Rightarrow \text{interferencia} = \frac{\text{szimmetrikus gömbfelület}}{\text{sugár}^2} = \Omega = \frac{A}{r^2}$$

(gömbfelülettel szimmetrikus irányban)

11/2

• sugárzások osztályozása
a, fizikai szempontból

| ① elektromágneses | ② mechanikai | ③ részecskés | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|---|---|------|-----------|---|---|---|
| <p>- elektromágneses hullámok terjedése</p> <p>↓</p> <p>elektromágneses hullámok: egy elektromos és egy mágneses térerősség kvadráns időbeli periodikus rezgése</p> <p>pl. <table border="1" data-bbox="422 694 518 862"> <tr><td>fény</td></tr> <tr><td>rtg</td></tr> <tr><td>x</td></tr> </table></p> | fény | rtg | x | <p>- mechanikai hullámok</p> <p>↓</p> <p>mechanikai rezgés/ nyúlás hűség terjedése</p> <p>pl. <table border="1" data-bbox="957 716 1085 840"> <tr><td>hang</td></tr> <tr><td>ultrahang</td></tr> </table></p> | hang | ultrahang | <p>- mozgó töltéssel működő részecskék terjedése</p> <p>pl. <table border="1" data-bbox="1372 705 1452 806"> <tr><td>α</td></tr> <tr><td>β</td></tr> </table></p> | α | β |
| fény | | | | | | | | | |
| rtg | | | | | | | | | |
| x | | | | | | | | | |
| hang | | | | | | | | | |
| ultrahang | | | | | | | | | |
| α | | | | | | | | | |
| β | | | | | | | | | |

b, orvosi szempontból

| A) szövetek | B) szövetek |
|------------------------------------|------------------------------|
| <p>fény hang ultrahang</p> | <p>rtg α β x</p> |

2] Az értéktárs függvényének levezetése

2] / 1.

• értéktárs - "energiatartalom" - "mennyiség"

$$f_E = \frac{\Delta E}{\Delta A} \quad \left[\frac{[W]}{[m^2]} \right]$$

• a függvény lény. levezetése

$$f_{E_{0e}} \xrightarrow{\Delta x} f_{E_{2i}}$$

$$\Delta f_E \sim \Delta x$$

$$\Delta f_E \sim f_{E_{0e}}$$

$$\Delta f_E \sim \mu \quad (\rightarrow \text{és ez!})$$

$$\Delta f_E = -\mu \Delta x f_{E_{0e}}$$

↑
növekedés miatt

→ ha Δx -et elég kicsit választjuk, akkor

$$f_{E_{1i}} - f_{E_0} = -\mu \Delta x f_{E_0} \quad \rightarrow \quad f_{E_{1i}} = f_{E_0} - \mu \Delta x f_{E_0} = f_{E_0} (1 - \mu \Delta x)$$

($\Delta f_{E_{1i}}$)

$$f_{E_2} = f_{E_{1i}} (1 - \mu \Delta x)$$

$$f_{E_3} = f_{E_2} (1 - \mu \Delta x) = f_{E_0} (1 - \mu \Delta x)^3$$

↳ ξ -edik lépésnél:

$$f_{E_{2i}} = f_{E_{0e}} (1 - \mu \Delta x)^{\xi}$$

ahol $\mu \Delta x$ azt adja meg, h. a sugárzás hatására mennyi energiát vesz el az adott négyzet.

legyen $\mu \Delta x = \frac{1}{n}$

ξ pedig az abszolút négyzet $\rightarrow \xi = \frac{x}{\Delta x}$

$$\xi = \frac{x}{\Delta x} = \mu x$$

$$\Rightarrow f_{E_{2i}} = f_{E_{0e}} \left(1 - \frac{1}{n}\right)^{\mu x} = f_{E_{0e}} \left[\left(1 - \frac{1}{n}\right)^n \right]^{\mu x}$$

an exponenciális függvény; $a_n = \frac{1}{e}$

$$a_n = \frac{1}{e}$$

$$f_{E_{2i}} = f_{E_{0e}} \cdot e^{-\mu x}$$

→ ha: $\mu = \frac{1}{x} \rightarrow \mu x = 1 \rightarrow e^{-1} = \frac{1}{e} \rightarrow \int_{E_{2i}} = \frac{\int E_{2i}}{e}$

21/2

b) A rezonanciás egyenletből láthatunk, hogy a rezonanciastegység a reciproklal egyenlő, amely az abszorpciót az emisszióval egyenlővé teszi.

$e \approx 2,7182$ Euler

→ feladat: rezonanciastegység

$\int_{E_{2i}} = \int_{E_{2i}} \cdot 2^{-\frac{x}{D}}$

$\frac{\int_{E_{2i}}}{2} = \int_{E_{2i}} e^{-\mu D}$

$\frac{1}{2} = e^{-\mu D}$

$-\ln 2 = -\mu D \rightarrow D = \frac{\ln 2}{\mu}$

• Planck-féle sug. tv. Einstein-féle levezetése és a rezonanciás egyenlet

A) azonos atomokból álló fekete-test saját sugárzásával egyensúlyban

$E_{2i} = E_{1f}$ rezonanciás

- 3 fajta:
 - abszorpció B_{12} valószínűség
 - spontán emisszió A
 - indukált emisszió B_{21}
 Einstein-egyenlet

2E-ment: $E_2 - E_1 = hf$

① $\Delta N_{21} = K_1 \cdot B_{12} \cdot N_1 \cdot f \cdot \Delta t$

ΔN_{21} : Δt idő alatt abszorbeált részecske

N_1 : E_1 szinten lévő atomok

K_1 : abszorpciói tényező

f : rel. int., beérkező fotonok száma

② $\Delta N_{2e} = K_1 \cdot A \cdot N_2 \cdot \Delta t$

$\propto f$ (kér spontán)

$E_2 \rightarrow E_1$

③ $\Delta N_{2i} = K_1 \cdot B_{21} \cdot N_2 \cdot f \cdot \Delta t$

$\propto f$ (kér indukált)

$K_1 B_{12} N_1 f \Delta t = K_1 A N_2 \Delta t + K_1 B_{21} N_2 f \Delta t$

$B_{12} N_1 f = A N_2 + B_{21} N_2 f$

⇒ mivel

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{E_2 - E_1}{kT}} = e^{\frac{hf}{kT}} \quad (\text{Boltzmann})$$

□/3.

↓

$$B_{12} \cdot e^{\frac{hf}{kT}} \cdot f' = B_{21} f' + A$$

/: N₂

$$\Rightarrow f' = \frac{A}{B_{12} \cdot e^{\frac{hf}{kT}} - B_{21}}$$

⇒ ha B₁₂ = B₂₁ = B (sz. T = ∞ esetén f' véges állékos tart.)

$$f' = \frac{A}{B \left(e^{\frac{hf}{kT}} - 1 \right)}$$

⇒ legyen $\frac{A}{B} \sim f^3$ (kiseb.)

$$\rightarrow f' \sim \frac{f^3}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1}$$

□ indult emissio

ha φ opulans, azaz az az a

$$hf \cdot \Delta N_{21} - \Delta N_{12} = K_2 \Delta f'$$

↓

$$hf K_1 B f' \Delta t (N_2 - N_1) = K_2 \Delta f'$$

→ állandó emissio

$$\Delta t = \frac{\Delta x}{c}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta t = \frac{\Delta x}{c} \\ \Delta f' = K (N_2 - N_1) \Delta x f' \end{array} \right\} K = \frac{hf K_1 B}{K_2 c}$$

↓

$$\Delta f' = \frac{K (N_2 - N_1)}{\mu} \Delta x f'$$

↓

$$f' = f_0 e^{-\mu x} \quad \text{ahol } \mu = K (N_2 - N_1)$$

A gyengítés együttható tehát az anyag energianefejének a betöltöttsége nagyja meg!

$$\text{ha } N_1 \gg N_2 \rightarrow \mu$$

$$N_1 = N_2 \rightarrow \text{telítődés, } \mu = 0 \rightarrow \text{átlétköz}$$

$$N_1 > N_2 \rightarrow \mu \downarrow$$

$$N_1 < N_2 \rightarrow \text{fordított betöltöttség}$$

↳ y Boltzmann, azaz
több-Ement esetén!

3 Folytató alapszámolás

3/1.

• látható elektromágneses sugárzás

↳ $400 - 760 \text{ nm}$

+ UV-C, UV-B, UV-A és IR-A, IR-B, IR-C

Σ $100 \text{ nm} - 1000 \mu\text{m}$

| | |
|-----------------------|--------|
| 100-280 nm | UV-C |
| 280-315 | UV-B |
| 315-400 | UV-A |
| 400-420 | vibrya |
| 420-490 | zöld |
| 490-540 | zöld |
| 540-600 | vibrya |
| 600-760 | vörös |
| 0,7-1,4 μm | IR-A |
| 1,4-3 | IR-B |
| 3-1000 | IR-C |

• geometria optika

- fényvonal
- homogén közegben egyenes vonalban terjed
- fényvisszaverés - tü. (Euler-törvény)
- Snellius-Descartes - fénytörés - tü. $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = n_{21}$
- Fermat-elv
- optikai úthossz $S_0 = nS$
- párhuzamos sugár
- képzés tü. $\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{(n_2 - n_1)}{r}$
- diopia - törvényszerű

art mutatja, L. az adott felület milyen képet hoz létre az optikai úthosszal

$$D = \frac{(n_2 - n_1)}{r}$$

képzés

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_1}{s'} = (n_2 - n_1) \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{(n_2 - n_1)}{n_1} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

$$D = \frac{1}{f}$$

$$\frac{1}{s} + \frac{1}{s'} = \frac{1}{f}$$

fény kelletkezés, fényforrások

3/2

① hővérsík léte sugárzás

(bsd. Kirchhoff, Stefan-Boltzmann, Planck, Wien, Planck, Einstein, Hüllwachs)

minden test sugároz
T-től függően fény is

pl. - Nap 6000 K
 $\lambda_{max} = 550 \text{ nm}$
nem érdekes max.!

- wolfram szál 3683 K
 $\lambda_{max} \approx 1000 \text{ nm}$
színelés $\approx 3\%$
- \sim világítólámpák
- \sim halogénlámpák
- \sim infralámpák

- színya, tűz

② lumineszcencia

- a, fluoreszcencia
 \rightarrow nagy nívó
- b, foszforeszcencia
 τ

felbontás, színtelés
"hideg fény"

pl. - neodymium szálak
zárt üvegcső

- fénycső lámpák
Hg gőz + fémeltét

\sim germium lámpák
+ kvantum
 $\lambda_{max} = 254 \text{ nm}$
 \rightarrow DNS zavarás

\sim fénycső
belső fénycső

\sim LED lámpák

\sim világító diódák (LED)
pés a típusú felhívás

fotometria alapmennyisége

- fényáram / fényteljesítmény

$$\Phi = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad [\text{lumen}]$$

lumen: összesen kettő felvételre emittált fény.

- megvilágítás

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta A} \quad \left[\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} \right] = [\text{lux}]$$

besugárzott felületi telj.-el analóg

a) Az emberi szem optikai (ábrázolás)

a) törőfelület - törőerősség $D = \frac{n - n'}{r}$

- keratoma - szemhéj $D = 48$
 - szemhéj - csomók $D = -6$
 - csomók - szemlencse $D = 8$
 - szemlencse - üvegtest $D = 12$
- $\sum D = 62 \frac{1}{m}$

$\Delta D = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{\infty} = 4D$ tehát személ $\Delta D = 12D$

b) törőerősség hibái

- rövidlátás \rightarrow refrakciósebb
- távollátás \rightarrow gyújtás $-u$
- presbyopia \rightarrow ΔD roham, szemlencse túl nagy
- astigmatia \rightarrow nemcsak törő felület ϕ gömböskönné.

↓
 Szép ϕ egy pontban, hanem egy ϕ -re Δ vonal-
 mentén elterjednek a
 \rightarrow hengeres lencse kell

c) lóbb lencsehibák

- kromatikus aberráció \rightarrow diszperzió lóbb
- sferikus $-u$ \rightarrow gömbi aberráció, melől e szögben a lencséhez közelítő fókusz távolság mint a lóbb
- astigmatia
- párnás / kerek torzió \rightarrow nagy szög \rightarrow gömbfelület

d) pupilla mérete

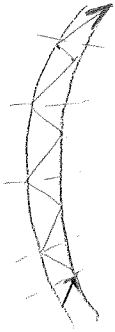
$P = f \cdot \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rightarrow$ nembe jutó fény mennyiségét mutat.

lóbb - az Δ hatás!

Szép élességet \rightarrow bef. $\therefore d \uparrow \rightarrow$ mélységi élesség \uparrow
 $d \uparrow \rightarrow -u$

\Rightarrow először megvilágított tárgy éles lehet!

a) optikai rost és endoszkóp



• optikai rost → fény vezetés

fény be → benne: S optikai ↑, mint kábel

→ teljes visszaveréssel halad a fény végig!

→ határfelület ~ minőségi

→ elvileg veszteségmentes

→ de néhány μm

• endoszkóp:

való opt. rost csatl. → visz. g. -ra jó, rendszerint közege

lehet még benne: "működés" "működés"

↳ beavatkozáshoz

↳ lev. befolyásához → jobb kép

admittinges endoszkóp:

reoptikával megvilágítás

belő felületről a fény egy CCD chip-re vetül

↓
any. néhány tízed cm²

CCD chip → fényérzékelés → kábel

↓
admittinges

↓
jelfeldolgoz.

↓
kép

felhív. helye miatt

↳ mered. → csigolya, ~~csigolya~~ artros 20-30cm

↳ flex. → gasztró, broncho " [Lung]

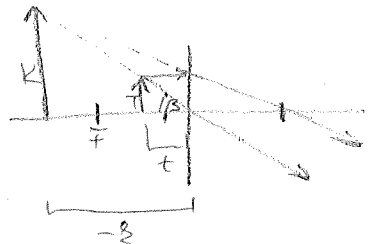
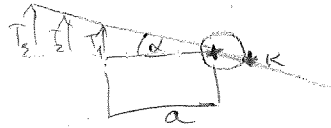
↳ tabella → gondos → káli

• gyűjtő, nőő

• lencsénv. $\frac{1}{f} = \frac{1}{t} + \frac{1}{z}$

• nagyító:

gyűjtőlencse \rightarrow f -en belül látványos, nagyított, egyenes kép
 \rightarrow nem túl szépi k jól



- mi látószögünk:

egy távols 2 képtávolságra pontyiból
 a nemtűnd be érkező fénysugar
 szögével bezárt szög.

$$\tan \alpha = \frac{I}{a}$$

- nagyító képevel szög

$$\tan \beta = \frac{K}{-z} = \frac{I}{t}$$

ha $a \approx 25\text{cm}$ (tíztalulata
 távolságtól
 nézünk)

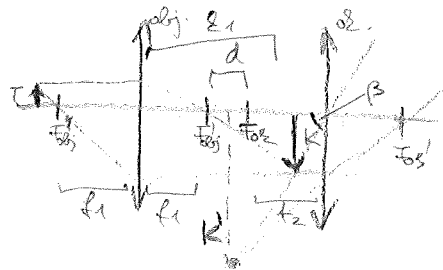
\Rightarrow nagyítás:

$$N_{\text{nagy}} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} = \frac{K}{-z} \cdot \frac{a}{I} = \frac{I}{t} \cdot \frac{a}{I} = a \cdot \frac{1}{t} = a \left(\frac{1}{f} - \frac{1}{z} \right)$$

ha $\begin{cases} -z = a \rightarrow N_{\text{nagy}} = \frac{a}{f} + 1 \\ -z = \infty \rightarrow N_{\text{nagy}} = \frac{a}{f} \end{cases}$

• felgyújtórendszer

távnylencse (objektív) + szemlencse (okulár)



- T f_{02} -on kívül, de közel

- K : ford., nagyított, valódi
 f_{02} -on belül

- $o2$: mint nagyító: látványos, ford., nagyított

β itt is

$$\tan \beta = \frac{k}{f_{02}}$$

$$N_{\text{nagy}} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} = \frac{k}{f_{02}} \cdot \frac{a}{I} = \frac{z_1}{t_1} \cdot \frac{a}{f_{02}}$$

és $\frac{1}{t_1} = \frac{1}{f_1} - \frac{1}{z_1} = \frac{z_1 - f_1}{f_1 z_1} = \frac{d}{f_1 z_1}$

ahol „a” a tíztalulata távolsága

$z_1 - f_1 = d$ (opt. távolság)

$$\Rightarrow N_{\text{nagy}} = \frac{d}{f_1 f_2} \cdot \frac{a}{f_{02}} = \frac{da}{f_1 f_2 + f_{02}}$$

• megszilágítás

18/11

↳ számosságok → felületi

↳ Köhler-féle:

felületi felett kollektor - lemeze vértől tovább a felület

↓

condenzor hőjét a ∞ -ben "leperelt"

↓

condenzor hőjén minden felületet
K-an tud a tárgyra cserélni

kollektor felületét Δ → tárgy megszilágítása is Δ

6. A fény, mint elektromágneses hullám

6. / 1.

• hullámoptika - Huygens-Fresnel-első

• Young-féle interferencia kísérlet

• transverzális hullám

vezérsík, fázis frontok → hullámhossz: terjedéssel együtt $E \perp$ terjed

$$I_E \propto A^2$$

• fázisnőg: a 2π periódusnak az a hely, amelyre a fázis átvész.

$$\varphi = \omega t + kx + \varphi_0$$

\swarrow fázis az időből \swarrow fázis a helyből \swarrow kezdőfázis / fázisállandó

$$y = A \sin(\omega t) \quad \varphi = \omega t + \varphi_0$$

$$y = A \sin(\omega t + \varphi_0)$$

• hullámhossz: $\lambda = \frac{2\pi}{k}$

a ω szögfrekvencia térbeli megfelelője, a hullámhossz 2π helyi periódus alatt az az λ -nyit halad.

• fázissebesség:

$$\frac{\text{hullámhossz által megtett út}}{\Delta t}$$

→ helyi periódusra: $c = \frac{\lambda}{T} \rightarrow c = \lambda f$ innen!

• fényinterferencia

→ egyenes $I_{E1} + I_{E2} \neq I_{E_{eredő}}$!

→ megfigyelhetőség feltétele: fénysugarak közötti d összemérhető legyen λ -val

→ Bohrs / endohams hullámok

• fényelhajlás

bsd. papírról

- fázis eltolás: az úthossz különbség is ~ hullámhossz arányát kifejező nőt.

$$\Delta \varphi = 2\pi \frac{\Delta s}{\lambda}$$

- rövidebb λ -a megvilágító fénnyel az eltolás: maximumok közötti sávokégyeshez!

- elhagyás: λ érték:

az erőteljes maximumok helyén, így λ a d egész számú többszöröse, tehát $\lambda = \frac{d \cdot s}{\lambda}$ egész szám.

6/2.

$$d \cdot \lambda = 2\pi \cdot s$$

$$s = \{0, 1, 2, \dots\}$$

főmax.

mellékmax.

• diffrakció optikai részén

ndb d távolságra van főmax. + mellékmax. ad

$$d = \Delta s \frac{L}{\Delta x} \text{ rácsállandó}$$

ha D : elsőrendű és a főmax. távolságra,

és elsőrendű max. nál $\Delta s = \lambda$

$$d = \lambda \frac{L}{D}$$

→ Wilsonépték struktúrája

→ jó → diffrakciók csak meghatározó mértékben

• polarizáció

izotrop - anizotrop terjedés

széles körös

→ c az irányok

elérni hullámfelülettel gömb → ellipsoid

→ lineáris: a terjedés c az irányok c irányban átfelülettel szelvény

→ elliptikus: ha két egyenlő c lineárisan polarizált fényhullám

minden $\Delta \epsilon$ -vel feltöltött, mágneses c ellipszis

minden c irányban terjed

→ csúszkáló polarizáció: ha az ellipszis c az irányban mágneses c egyenlő

2

- egyensúlyban az atomok számának változása a Boltzmann-eloszlás:

$$\frac{N_1}{N_2} = e^{\frac{E_2 - E_1}{kT}} = e^{\frac{hf}{kT}}$$

$$\Rightarrow N_1 = e^{\frac{hf}{kT}} \cdot N_2$$

$$B_{12} \cdot e^{\frac{hf}{kT}} \cdot N_2 \cdot f' = B_{21} N_2 f' + N_2 \cdot A \quad /: N_2$$

$$B_{12} e^{\frac{hf}{kT}} \cdot f' = B_{21} f' + A$$

$$f' (B_{12} e^{\frac{hf}{kT}} - B_{21}) = A \Rightarrow f' = \frac{A}{B_{12} e^{\frac{hf}{kT}} - B_{21}}$$

- ha $B_{12} = B_{21} = B$, akkor ha $T \uparrow$, f' listosan \uparrow (és ez alapfeltétel)

- legyen $\frac{A}{B} \sim f^3$ (Wien-egyenlet)

$$\hookrightarrow f' = \frac{A}{B(e^{\frac{hf}{kT}} - 1)} \approx \frac{f^3}{e^{\frac{hf}{kT}} - 1}$$

11) Abbe-első közelítés

- egy opt. rendszer mind az objektív oldalon a tárgyminiatúrát képez felbontási analízisben elhelyezett sugárát kívül a fókusztávolság körül legalább az első rendben elhelyezett sugárát is bejuttat az opt. rendszerbe.
- pl. opt. rendszer ábrázolása

$$AS = \sin \alpha = d \sin \omega \Rightarrow \sin \omega = \frac{\lambda}{d}$$

$$d = \frac{\lambda}{\sin \omega} = \frac{\lambda}{n \sin \omega} \rightarrow \sin \omega = \frac{\lambda}{dn}$$

$$\sin \omega \approx \frac{\lambda}{2dn}$$

$$\text{ha } \sin \omega \rightarrow 0 \Rightarrow d \rightarrow 0 \Rightarrow \sin \omega \rightarrow 0$$

- bővebb igazolás szükséges

10. Luminiscencia - 11. Fluorescencia parameterei (4)

10. / 1.

- gyjentes hatásra tört. felújítottas az alapállp.-ba való
 → egy lépéses visszatérés vissza
 ↳ gyjentes hatás - élvtől
 belőlől → foto, rtg, termo, kemo, éatód - lum.

• Spontán emissió:

$E_2 \rightarrow E_1$ külső behatás nélkül tört., hf-foton ki

~~$\Delta N_{se} = K_1 B_{21} N_2$~~ $\Delta N_{se} = K_1 \Delta N_2 \Delta t$

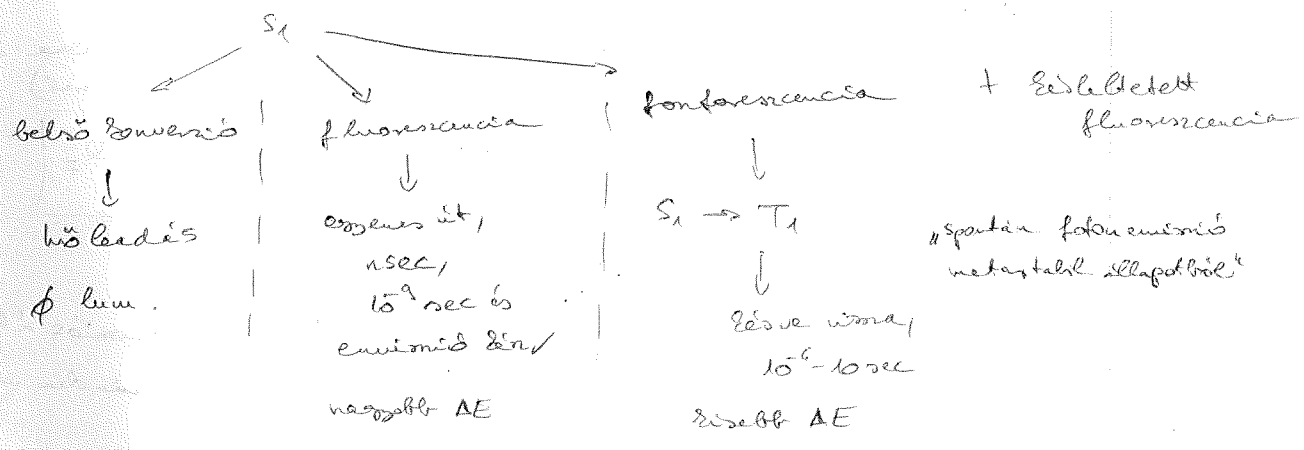
• vibrációs relaxáció:

abn. → gyors termikus relaxáció évatí → a gyj. i a term. E-nél megfelelő vibrációs szintre, ált. a gyj. szint a legalsó vibrációs szintre kerül

Kasha-szt.: mindig az az S_1 a kiind. pont.

↓ S_1
 az az ~~szint~~ mint

→ évetézerénye: bármilyen λ -i foton eljéréseivel kerül a mind. gyjentes állp.-ba, az emissió spektrum alája λ -alban.



• Singulett állp.

IV $\Sigma S = 0$

orientációs állapotok száma: $2S+1 = 1$

triplett állp.

III vagy II $\Sigma S = 1$

IV
 orient. állp.: $2S+1 = 3$

Jablonski-diagram

• lum. sugárforrások:

- flugózárlampák
- gennicidlámpák
- fénycsővek
- vákuumlámpák
- világító diódák → LED-ek
- nebulásos fozgat

① • emissziós és gerjenteséi spektrum



- gerj. spektrum:

vagy emissziós hullékörnyon detektálás utasítás - gerj. λ fogva ez is

= azonos az adott anyag abs. spektrumának alapján, de csak az a komponensre vonatkozik, mely az adott λ -on emittál!

10/2.
11.

= emissziós:

fluoreszc. → ált. 10¹⁰s

mutatja az alapill. vibrációs mértékűt

gerj. spektrumhoz képest $\lambda \uparrow$ eltérve (Stokes)

kon fluoreszc. → 10¹¹ s, rendezetlen

1. adja a $\Delta(S_1-T_1)$ energiát

fluoreszc. hoz képest $E \downarrow \rightarrow \lambda \uparrow$ eltérve

⇒ Stokes - szab.

gerj. -hez képest $E \downarrow$ a Kasha - szab. miatt ⇒ emissziós spektrummal

$\lambda \uparrow$ felé eltérve!

② • kvantum határfel

$$\frac{\Delta E_{emiss.}}{\Delta E_{gerj.}} = Q$$

- fluoreszc.:

$\Delta E_{EF} = E \cdot c \cdot l \cdot I_{E0}$ (elnyelt fotonok néma analízis az int. növeléssel)

$$I_{EF} = c \cdot \Delta E_{EF} \cdot Q = E \cdot c \cdot l \cdot I_{E0} \cdot Q_f$$

↓
emittált

átmeneti valószínűségekkel:

$$Q_f = \frac{\Sigma_f}{\Sigma_f + \Sigma_{nr}}$$

Σ_f : emissziós átmenet P
 Σ_{nr} : minden más

$$Q_f = \Sigma_f \tau$$

- fontorenc.

$$Q_{ST} = \frac{\Sigma_{isc}}{\Sigma_f + \Sigma_{nr}}$$

$S_1 \rightarrow T_1$ átmenet valószínűsége

$$Q_{ph} = Q_{ST} \cdot \frac{\Sigma_{ph}}{\Sigma_{ph} + \Sigma_{nrph}}$$

③ • élettartam

- fluoreszc.

$$\Delta N = -(\Sigma_f + \Sigma_{nr}) \cdot N \cdot \Delta t$$

a Δt alatt relaxált molekulaé néma

$$N = N_0 e^{-(\Sigma_f + \Sigma_{nr})t}$$

$$\tau = \frac{1}{\Sigma_f + \Sigma_{nr}}$$

élettartam

- fosforus.

$$\tau = \frac{1}{k \cdot (\epsilon_{ph} + \epsilon_{nr,ph})}$$

$$N = N_0 e^{-(\epsilon_{ph} + \epsilon_{nr,ph}) t}$$

10-11/3.

$$\downarrow$$

$$Q_{ph} = Q_{st} \cdot \epsilon_{ph} \cdot \tau_{ph}$$

① polarizációs fók, fotomelekció

- egy e^- eltérésekor van egy dipólusmomentuma, amely ϵ átvihető a felső pályára \Rightarrow „átmeneti momentum”

\hookrightarrow bevezetjük a pol. fény szókat tudja egy, a kétféle átmeneti momentum a fény elektromos térerősség vektorával párhuzamosan megegyezik!

- fotomelekció: az egy generált e^- csop.

- polarizációs fók: fotomelekciósival rivalóított csop $\rightarrow \Delta t$

\downarrow
emittált fény mégsem polarizos!

\Rightarrow oka: τ idő alatt molekulák mozgásos

$$P = \frac{f_{EVV} - f_{EVH}}{f_{EVV} + f_{EVH}}$$

\Rightarrow vertikális gerj. int. mellett a vert. irányú emittált int. aránya az $\sin^2 \theta$ -hez

• fluoreszcens jelzés

\hookrightarrow lehet - fosforál fluoreszcens fók
- rezonanciás komp. saját maga lum.
- elcsúszó rezonanciál lum.

\hookrightarrow miért jó? - adott anyag jelzése (n. csatolód.)

- $\Delta I_{EF} \sim \text{conc. fluoreszcens jelző anyag}$

pl.

- DNS kettős hélixbe interkaláló fók

\rightarrow nukleinsavak mennyiségi, strukturális info

- membrán pot. jelzés

\hookrightarrow hidrofób, \ominus és \oplus töltésű fosforál

\hookrightarrow pot. val. megfigyelés r. derékszög

lumineszcencia alapú fényforrások

10-11/2022.

- alapja: gázdiszcharge csőekben zártabb elektrolikum.

1. alacsony nyomású fénygőzlámpák

(pl.) Na-lámpa → sárga

2. germicid lámpa: alacsony nyomású Hg-gőz sterilizáló hatás!

↳ vonalas emissziós spektrum
 $\lambda_{max} = 254 \text{ nm}$
↳ baktericid UV-S
al- λ_{max} is ez!

3. UV lámpák

- magas nyomású Hg, Xe / Na-lámpák
- magas ionizált plazma UV-szállító
- folyt. spektrum széleskörűen vonalakkal

3. fényterápiák

- gáztöltet + falra párosítottól vékony bevonat
- gáztöltet elektrolumineszcenciaja gáztöltet a bevonat

↓
fotolum. → ez már létezhet fény

- jó fényterápia, kórosított növények
- ill. itt is alacsony nyomású Hg-gőz

(pl.) Erythemal lámpa $\lambda = 280-320 \text{ nm}$ → UV-B
uvial ártalmatlan

- felvezetői és indukált emissió nélkül
- csak erősítő, hanem felvezető is → n rezonátor!
- ↳ „begegyezett poz. umacsat. erősítő!”

- felépítése: a) - lézeraanyag
- b) - pumpálás → int. σ -nyg. kivétel
- c) - poz. umacsat.
- d) - opt. rezonátor

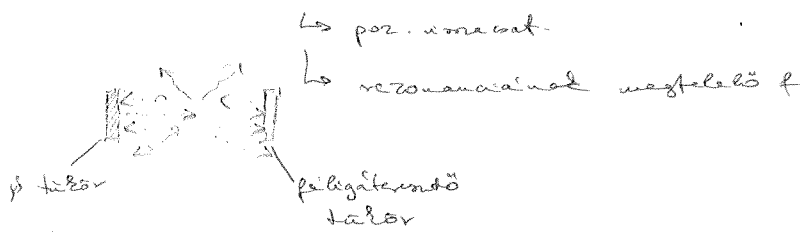
a) \sim gáz / foly / melad \Rightarrow felt. 10 min. 3 magyarázó!

- ↳ csak egy lehetséges populáció inverzió!
- o felső E-mint komu σ
- ↳ egy σ az ^{spontán} ~~ind~~ emissió valószínűsége $(A = \frac{1}{\tau})$
- az alatta lévő pályára \rightarrow lehet ind. emissió!
- ↳ „lézernívó”

n int. nemgyertt kvantum / több gáz emissio / több magyarázó f. felt. megvalósulhat oldata

b) „opt. pumpálás” \rightarrow el. áram / int. magn. indukálás

c, d, : optikai rezonátor



- spontán és ind. emissió is van
- f. el. || hullámok társból umacsat. a lézernyagba \rightarrow tovább erősödnek
- ↳ sok reflexió \rightarrow \uparrow \oplus umacsat.
- \ominus umacsat.: károsítások hatására $\downarrow \rightarrow (N_1 - N_2) \downarrow \rightarrow \mu \uparrow$ - erősítés csökken
- ↳ spontán emissió
- ↳ károsítás
- f. kvantálás:

azaz az f-ek válnak \rightarrow ki, aki a reflexió során ϕ rendszer ciklusait

↳ elter. x helyből kiinduló hullám a reflexió után mindig ugyanabban fázisban haladjon át x helyen!

\Rightarrow rezonancia feltétel:

$$L = n \frac{\lambda}{2} \Rightarrow$$

állóhullámok!

- spontán emissióval „szület beindul”
 - spont. ind. emissió \Rightarrow lézergenerálás!
 - 1] monokromatikus
 - 2] koherens
 - 3] kis divergencia
 - 4] nagy f
- } jól felismerhető! $f \uparrow \uparrow$

- koaguláció → pl. hemangioma kezelés
 → műtét: véréscsill.
 → HPC: intersticiális lézer-fotokoaguláció
 → pl. májdaganatba!
- vaporizáció } valóság
 karbonizáció }
 → CO₂-, Nd:YAG, Ho:YAG
 → mikromanipulátor - vezérlés, endonokopos bev.
 → eldugás / kettévágás
- bőrvész → vaporizáció → lézerekkel
 „fototermikus hatás”
- percutan lézerdiszka kompresszió → perikarangioma
- lézerangioplastika → atheroszklerotikus plakkok atomizációja
- coaguláció → hártyaszélek
 → fogfúrás

b) szeméret

- koaguláció → nemfekélyes érbenyújtás (← cukorbetegség)
 → hipoxiás szövetek
 → zöldhályog → trabekuláris hálózat roml. → szemnyomás el → (szemp) ↓
 → retinaleválás → hegyekkel megállít

400

↳ alb. lézer: régen Ar/Ar-kv → direkt zöld → WT-2, retina pigment, sz. szeli
 DE! → csapadék bakt

⇒ dióda lézer λ = 800nm

- atomizáció → szemhéjgyógyászat
 ↳ gödör →]] → myopia - műtét
 ↳ árok → } } → hypermetropia - "

↳ alb. lézer - régen CO₂-, Nd:YAG
 most UV-atomizáció

• PRK / LASIK / LASEK → szemműtét „a lencsék-hosszát”

- coaguláció → 2. lagos hálózat a méréshálózat - műtétet
 → lencse hétszögletű lézerekkel → lencse
 ↳ Nd:YAG

15.

• def.: denéret atomi e^- -állapotok E_{max} szűréséből / nagy E_{max} töltött részecskékre befelé forduló sávban keletkező sug.

→ tartomány: diagm. 10-200 keV
terápia ~ 10 MeV

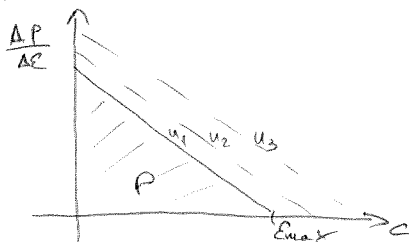
• Ag-izotóp; Ag. előáll

• felhasznosított Ag. sug.

- E_{max} , ha 1 lépésben van az E_{max} -jelt $\rightarrow E \cdot U_{max} = E_{max} = hf_{max}$

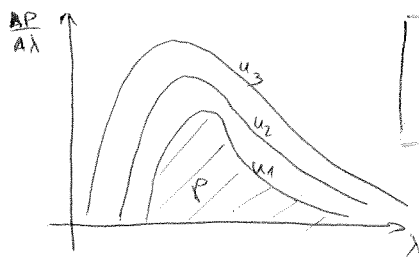
$$\lambda_{max} = \frac{hc}{e} \cdot \frac{1}{U_{max}} \quad \text{Duane-Hunt}$$

- spektruma



$\frac{dP}{dE}$ adott energiájú fotonok által végzett hely.

$$\frac{dP}{dE} = \text{konst.} \cdot Z \cdot (E_{max} - E)^2 \rightarrow E_{max} \text{-nél minden } E \text{-t lezárótt, } AE=0 \rightarrow \frac{dP}{dE} = 0$$



$U_{max} \uparrow \rightarrow \lambda \downarrow \rightarrow$ eltolódás
 $U_{max} \uparrow \rightarrow E_{max} \uparrow \rightarrow P \uparrow \rightarrow$ kiszélesedés

16.

- hely, Ψ

görbe alatti ter. $T_A = \frac{a \cdot c}{2}$

$$P_0 = \frac{1}{2} \text{konst.} \cdot Z \cdot E_{min} \cdot E_{max} = \frac{1}{2} \text{konst.} \cdot Z \cdot E_{max}^2 =$$

$$= \text{konst.} \cdot Z \cdot U_{max}^2 \cdot c^2$$

$$P_0 = C_{Ag} \cdot U_{max}^2 \cdot Z \cdot I_{max}$$

* $U = AE = U \cdot q$

$\Rightarrow q_e \Rightarrow c$

$I \cdot q \sim I_{max}$

$\cdot C_{Ag} \cdot 10^9 \frac{A}{V}$

$$\eta = \frac{P_{Ag}}{P_{Be}} = \frac{C_{Ag} \cdot U_{max}^2 \cdot Z \cdot I_{max}}{U_{max} \cdot I_{max}} = C \cdot U \cdot Z$$

→ sok hely, kis η !

• Kvantummechanika sug.

- def.: akkor keletkezik, ha a beeső elektron E_{max} szűrésénél a belső helyeken keletkező e^- kitérés: E -vel, az E -vel keletkező elektronok a belső e^- részecskéket kitérésre az atomi kitéréséből.

↳ relax. foly. \rightarrow α \leftarrow mely máris kijött e^- lef. be (K -szűrés) $\beta - \phi$
anyagok közötti info!
pl. K_{α} és K_{β} szűrés. sugár
és, Auger- e^-

zabó kijött. befogás $\rightarrow e^-$ lef. \rightarrow

-> példame: 15-16-17/2

Ag-tud. -ba van ΔE -s van nagy Z atomok nagyobb E -mel: pályái részt

↓
van adott U -val felett

norm. E -ekkel E -re a nagyobb E -vel \uparrow

$Z \uparrow$ -el \uparrow (nagyobb elbontatás a γ -re)

$\Rightarrow K, L, M$ hejgél van az a fotóelektron $E >$ mert az opt. hat!

\uparrow (lásd!!!)

17

• Ag. sug. abszorpció

Φ képezel abszorpció a kibocsátott sug. gal meggyező f -sugárral!

(\rightarrow evez $K \rightarrow L$ átmenet line)

$f = f_0 \cdot e^{-\mu x}$ $\mu = \mu_m \cdot S$ μ_m : tömeggyengítési együttható $\left[\frac{cm^2}{g} \right]$

- abs. μ_m -s:

a_1 fotoeff.

$hf = W_{ei} + \frac{1}{2}mv^2$

$\tau = \tau_m \cdot S$ együttható együttható

diagr. tartó világban nagy Z atomok van csak abs. v. relat.

$\rightarrow E \downarrow \tau_m \uparrow \rightarrow$ kisebb van E -n nagyobb

$\tau_m \approx konst. \cdot \frac{Z^2}{E^2} = C \cdot \lambda^3 \cdot Z^3$

\rightarrow • slow Elektronok $\rightarrow Z \uparrow \tau_m \uparrow$

• E -s Z fázis \rightarrow lény. kompon. relat. v. relat. (Ez is)

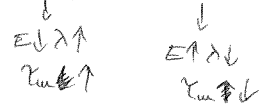
• Kompart. sug. \rightarrow

$\oplus \rightarrow$ nagy $Z \tau_m \uparrow$ jól van

$\ominus \rightarrow$ E -s $Z \tau_m \downarrow$

$\rightarrow S \downarrow \tau_m \downarrow$

• Cs. γ és Z emel \rightarrow sug.



By Compton

$hf = W_{ei} + E_{mozg} + hf'$

E mozg

$S = S_m \cdot S$ abs. együttható

látszólag $\tau_m > S_m$

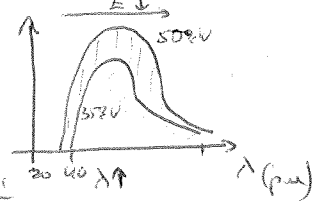
$E \uparrow \rightarrow S \approx all. 0,2 cm^2/g$

c_1 elem. névadás

↳ 2 féle

félezerő:

- az anyag elektronok befűtése e^- -k meleg
- folytonos spektrum
- nagy E , $\lambda > \lambda$
- spektrumának maximuma van



'' félezerő''
kontinuum

- $U \uparrow$ → spektrum $E \uparrow$, $\lambda \downarrow$ felé toleddé (balra)
- '' lemezzel ''

- adott egy áramerősség
- max is áramerősség ϕ függ az anyag anyagától !!
- görbe alakja ter. n emittált fzf., ez $U \uparrow$ -rel rohamosan nő \uparrow

De Broglie hullám λ -a:

max. E -je (min. λ -a) jelen
ellen amit hálószerű, ha az
 e^- egész anyagot egy
köz. ellenében vészt el.

Áramerősség (áramerősség) $E_{\text{energ.}} = E_{\text{foton}}$

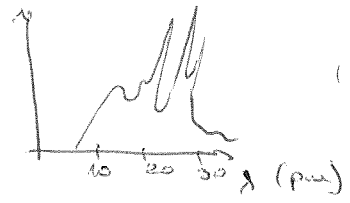
Em. $\frac{1}{2} m_0 v^2 = h f_{\text{min}}$

Wavelength $\lambda = h \frac{c}{\Delta \text{pot.}}$

$\lambda = \frac{hc}{E_{\text{min}}}$

Charakterisztikus → az anyag anyagától a letehető e^- -k egyenlőre
karakterisztikus sugárzás

- vonalas spektrum
- $\lambda < E$, nagy λ
- jellemző az anyag anyagától!
- az önmaguk atomok spektrumai vannak önmagukban



Ha! $U \uparrow$ → jellemző görbe balra toleddé → itt már van karakterisztikus sug. is a nagy E
konv. karakter. miatt → a folytonos spektrum vonalas spektrumra konvergenál

• Ag-ös teljesítmény

c : áramerősségi tényező $\sim 10^{-4}$
 U : kizsolt feszültség
 Z : anód rendszáma

$P = c U^2 Z$

hullámok: $\eta = \frac{P}{P'} = \frac{c U^2 Z}{U I} = c U Z$

$P' = U I$ P' : befektetett elektronos teljesítmény

• Ag-ös sugárzás elterjedése

$1 = 1_0 e^{-\mu x}$ $1 = 1_0 e^{-\frac{\mu x^2}{D}}$

$\mu \sim \rho \rightarrow \mu_m = \frac{\mu}{\rho}$

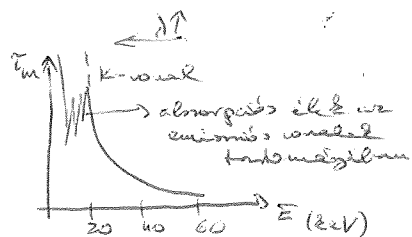
$D = \frac{\mu x^2}{\mu}$ → félezerő: rektanguláris

↳ tömegcsökkentés: egy átható, mely μ
nagy függvényével v. ρ -tól.

$x_m = x \rho$
 $D_m = \rho D$

$\mu = \tau + \sigma + \kappa$

τ : fotoelektronos hatás
 σ : Compton-eff.
 κ : pár képződés
lin. szusz. együttható



$\tau_m \sim Z^3$ → mivel nagyobb Z -re adsorbeus sugár rendszer, annál erősebben jelölődik el
enne a Ag-sug. (fotoelektronos hat.)

$\tau_m \sim \lambda^3$ → a vonalas spektrum eléri E -t λ -el τ_m is \uparrow → ez is igazolja, h. mivel nagyobb Z
a sug., annál erősebben jelölődik el.

$\tau_m = c \rho^3 Z^3$ → helyi tömegű erőt jelöl el kvadr. mert Z kettős → karakterisztikus hullám!

II/4.1.

4.2.

4.3

VIII/3.1.(1-4)

4.3.

II./3.2.4.

VIII/3.2.

15-16-17/4

Radiációk sugárzásai, röntgen-sugárzás

I. Röntgen-sugárzás

def: nagy E elektromágneses sug. mely akkor keletkezik, ha elég nagy sebességű e^- -ok
vagyis teste átlassák is abban a fértészében.

- fő hatások:
- ① lumineszcenciahatás → egyes anyagok röntgen-sugárzás hatására világítanak
 - ② fotoionizáció → fényképező camera készítés
 - ③ ionizáció → egyes anyagok elektronos részecskékkel ↑ pl. gázok!
 - ④ kémiai hatás → pl. szén H_2O_2 , szénhidrogén köztételezés
 - ⑤ biológiai → sejtek morfológiai

felontás: - személy → rövid λ , nagy átható képesség

(omoz)

→ nagy E ($E=hf$, $f=\frac{c}{\lambda}$)

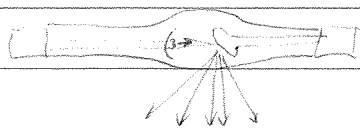
láng → hosszú λ , kisebb átható képesség

→ kisebb E

omoz = gyökérhatás $\lambda = [5-120 \text{ pm}]$ $E = [0,02-0,01 \text{ MeV}]$

röntgen-hullám utalás jelölés: elnyelés + hővé alakulás! $\lambda < 10 \text{ nm}$ -nál minden
anyag hővé alakul, a 1-nél tekinthető!

röntgen-sugárzás / Ray-és!



ionizációk e^- → amolyan beütés

elbővíti a károsítást a gyorsított e^- -k

$U = [10-400 \text{ kV}]$

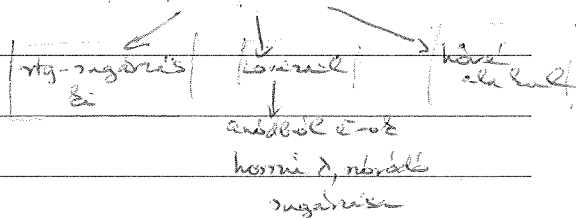
→ amolyan átjárás a fértészében

felvétel → képpelés helye

ült. a képpeléshez a szűrő

szűrő sugárzásat kényszeríti → főtől elválasztás

→ renewal / renewal / renewal / renewal



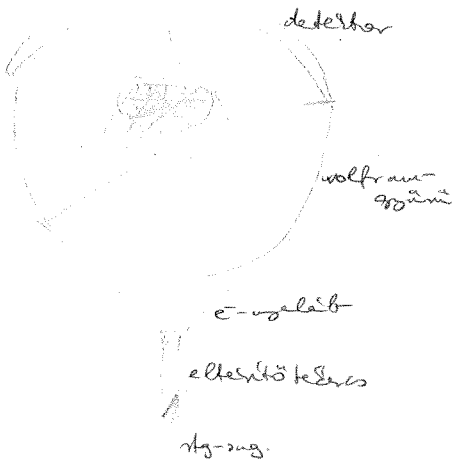
- Hounsfield & Cormack
- melyégyi feloldás megvalósítása → tomografika!
 - egy voxel megvilágítása min. 2 sugár → f_2 egyenlet rendszer

$$f_2 = f_0 \cdot e^{-(\Sigma \mu_0) \Delta x} \quad \lg \frac{f_0}{f} = \lg e \cdot \Delta x \cdot \Sigma \mu_0$$

minimális intenzitás megvalósítása érdekében → minden f_2 adat n db szm.

- modern elrendezés:

M_2 -t foglalkoztatás



$\sim 30-50$ msec

\sim modulárisan forrás és detektor

\sim minél kisebb mozgás alatt mér → pontosság ↑

DE! → idő ↑

↓

→ sugárzás ↑

- 3D adat-nyerés:
 - CAT-Scan: axiális, testhőre fűzött nyílás → felvétel helyét átkelés - a sepeken
 - spirál-CT: létező próg. másodlagos kábel → 16-30 sec.!
- spirálisban mozgás után + detektor
- pl-CT-angiográfia (CTA)

- elvezetés CT-esetben:

$U_{max} = \{120-140 \text{ kV}\}$
 inhomogén → jó mérés, kollimációs zell!
 → Compton dominál!

$$\mu = \tau + \sigma = (\tau_m + \sigma_m) S = \rho S \frac{Z^n}{A} + \rho S \rho \left(\frac{Z}{A} \right)_{eff}$$

Compton szórásnál csak lineárisan \uparrow Z-ek!

⇒ kontrasztjavítás!

- Hounsfield egyenlet:

$$HU = \frac{\mu - \mu_{wz}}{\mu_{wz}} \cdot 100 \rightarrow \text{léggörv. - víz és denzitás } \Delta + \text{ felcsiszolt}$$

↓

- abszolút: megjelölt HU-értékben állítjuk a kábel felvételét

⇒ tomográfok ellenőrzés HU-é egyenlőségének felismerés/felkeltés

- miért: jobban megmutatja a kábel/működés

→ szék

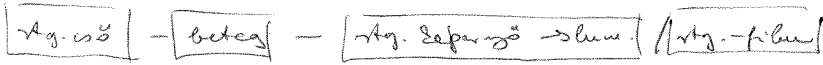
- sugárteherlás M ! hársomagos 5-600x !!

• átulajzítás

$$f = f_0 \cdot e^{-(\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 \dots)}$$

mindk dekurziós $\lg \frac{f_0}{f} = \lg e \cdot (\mu_1 x_1 + \mu_2 x_2 \dots)$

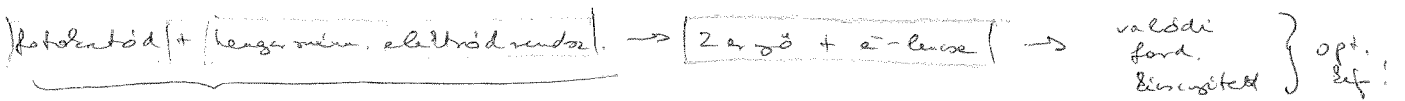
szimulációs exp.:
 egységes megközelítés
 képméretre valószínű!



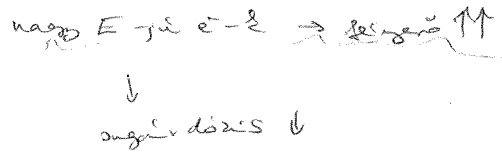
- jó leme:
- minőségileg felbontás
 - sugárdózis ↓
 - rtg.-film helyett opt. lepergő

• rtg. lepergő-erősítő

→ dig. opt. lepergő!



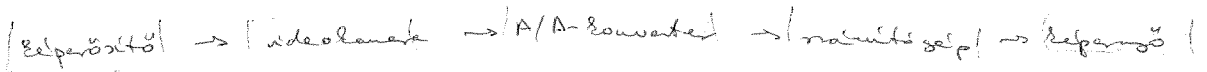
úgy igazít, mint a fotoelektron-sólym



- digitálisra rögzíthető

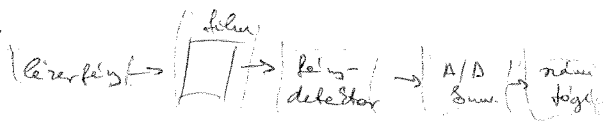
• kontrasztanyagok ⊕
 ⊖

• dig. rtg.-lepergő és OSA



vagy lepergő képez nemer "fluorobioszopia"

DSA: dig. szubtrahációs angiográfia



1. lepergő: kontraszt nélkül } 2.-1. lepergő → szűl. lepergő: csak a kontrasztanyaggal!
 2. lepergő: kontrasztal

[21] magyarázatok és az anyag el. - ja

• izotóp

bolleáston. $\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \rightarrow N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$

bolleási sebesség, bolleási idő (T), elhullám ($\lambda = 1/T$), félzsidó **$\lambda T = \ln 2$**

aktivitás $A = -\frac{\Delta N}{\Delta t}$, $A = A_0 \cdot e^{-\lambda t}$ [Bq]

specifikus aktivitás [Bq/g]

aktivitás koncentráció [Bq/ml]

- radioaktív bolleási csillagok:
 - Tórium ^{232}Th 4m főmagnézium
 - Uran-238 ^{238}U 4m+2
 - Aktínium ^{235}U 4m+3

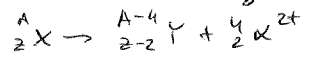
radioaktív egyensúly

• def, atommagok stabilitása:

- ↳ konzervatív
 - nagy stabilitás
 - fluoreszcencia kórház

- ↳ radioaktív bomlások: $\alpha, \beta, \beta^+, \gamma$ - sug.

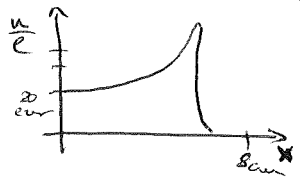
• α -bolleás & sugárzás



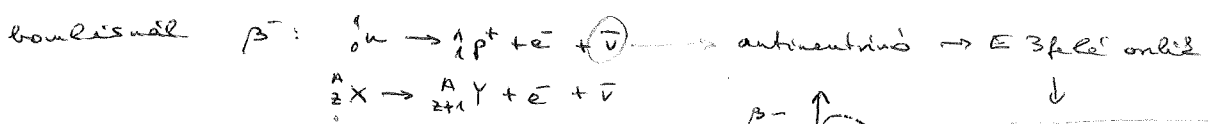
- nagy Z elemekre jellemző
- imp. megerősítés felkötésére →

vonalas spektrum
 $E = \{0,4 - 0,8 \text{ MeV}\}$
 $v_{\alpha} \approx 4-20 \text{ ezer km/sec}$
 2-3cm hatótávolság

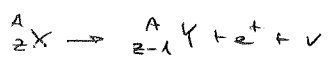
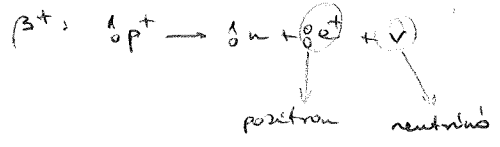
- nagy lineáris károsítás
- nagy Z elemekre jellemző $\frac{\Delta E}{\Delta X}$ (LET)
- sugárzás egyensúly, Δ zsidó



• β

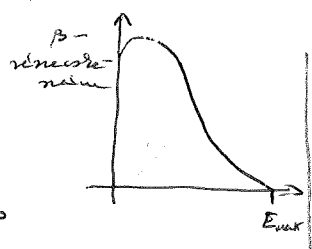


→ spontánul is $m_n > m_p$



→ csak indukálható!

β^+ rövid elhullám → annihiláció → 0,5 MeV γ -sug. zsidó



folgt. spektrum
 Δ sebesség, ϕ adott hatótávolság
 $v_{\beta} \gg v_{\alpha}$
 $m_{\beta} \ll m_{\alpha}$
 sokkal gyorsabb, de káros!
 kis lineáris károsítás
 $E_{max} = 2 \text{ MeV}$

• sugárzás detektálása:

- mérőműszerek
- csúcsműszerek
- termolum
- fotografiai
- filmzető

39.

$A = 5 \text{ MBq} = 5 \cdot 10^6 \text{ Bq}$

$E = 6,2 \text{ MeV} = 6,2 \cdot 10^6 \text{ eV} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} = 9,92 \cdot 10^{-13} \text{ J}$

$m = 0,1 \text{ kg}$

$\Delta T = ?$

$t = \frac{1}{2} \text{ h} = 1800 \text{ s}$

1 sec $\rightarrow 5 \cdot 10^6 \text{ Bq}$ (db bomlás)

1800 sec $\rightarrow X$

$X = 9 \cdot 10^9 \text{ bomlás}$

$E = 9,9 \cdot 10^{-13} \cdot 9 \cdot 10^9 = 8,928 \cdot 10^{-3} \text{ J}$
 $= 8,928 \cdot 10^{-5} \text{ kJ}$

$Q = c \cdot m \cdot \Delta t$

$\Delta t = \frac{Q}{c \cdot m} = \frac{8,928 \cdot 10^{-3} \text{ J}}{4186 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot 0,1 \text{ kg}} = 2,1328 \cdot 10^{-5} \text{ K}$

• γ

ϕ részecske, magfizika $\rightarrow \gamma$ -foton kibocsátás

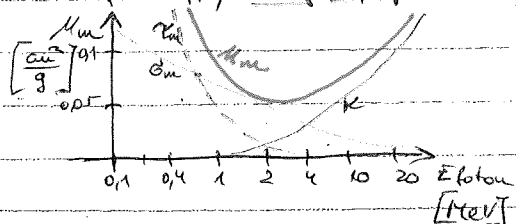
\neq lum., mert: - előtte ϕ rész.

- mag milliométer méretű $\Delta E \gg$ rész. ϵ átmérő ΔE

$\rightarrow \gamma$ -foton $E \uparrow \uparrow \rightarrow [100 \text{ keV} - \text{MeV}]$

- vonalspektrum!

abs. ja: $> 1 \text{ MeV} \rightarrow$ fotoeff., Compton, pártételés, név. $\mu = \tau + \sigma + \kappa$



$\tau_m \sim \frac{1}{(h\nu)^3} \downarrow$
 $\sigma_m \sim \text{sz.} \left(\frac{Z}{A}\right)_{\text{eff}} \rightarrow$ lineárisan \downarrow
 $\kappa_m \rightarrow > 1 \text{ MeV} \rightarrow \uparrow \uparrow$

• neutron sugárzás

Bővebben: szócikk

- 1) megalkuvás \rightarrow Eatrálás
- 2) megalkuvatlan \rightarrow szeg.
- 3) befűtés

④ magfizika
 $E > 100 \text{ MeV}$ -nál
 $\mu \sim \frac{1}{m}$

• proton sug.

Bremsstrahlung

22. Kötőponti. alapjai

• radioaktív anyagok

→ radioaktív + stabil izotópok → elem konc. a két fzf.-ban λ -méréssel
egymen követhető!

• diagn. alkalmazások:

① in vitro - labor

minták → erótoppal jelölt, spec.-an kötődő molekulák használata → komponensek
radioaktivitását
mérték

② (orientáltság - mérhet), testkompartimentek mérhet.
mérésre

↓
Ez mérésekben jelen lévő
anyagok konc. mérhet!

③ erótopolomból készült vizsgálókészítmények, pl. γ -kamerával

④ erótopos anyagok alkalmazása alagút tomográfia pl. SPECT, PET

• erótopok kv. tulajdonságai

a, sugárzás jellege

ideális γ → magizoméria

Hewes György

Nobel-díj 1943

b, T

ideális TV $\lambda \sim N \lambda \sim N \cdot \frac{1}{T}$

→ évek alatt kell helyre

→ kisebb felület

c, E, d , λ ?

• radiofarmakok

Φ kifejezésre kényes rájuk!

• Tc -generátor ^{99m}Tc -jelzés

• terápiás célra α -sugárzó is → sugárterápia

• ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{125}I , ^{131}I , ^{111}In

• Ionizáló sugárzások detektálása

- scintillációs detektorok



- scintillátor elv:

TL + NaI nemgerékelt kristály

CsI + Mg + ZnS

antiacetén, naftalén, RPO, POPOP

- α felgyűjtés \approx E_{foton} \approx $E_{\text{ionizáló}}$

impulzusok száma $\propto \Delta$

• Gamma-kamera "scintigráfia"

- kollimátor

2D-kép

- scintillációs kristály

- fotoelektronoszóronozó

- mátrixszámok \rightarrow x, y koordináták kódszáma, rögzítési E -jelvel a képen

- diff. diszkriminator

(- tárolásos on-line bázis)

- A/D konverter

- számítógép

• SPECT: foton emissziós számítógépes tomográfia

- gamma-kamera "körbe forgatása" a test körül \rightarrow 3D-s erődíszelvény-
képek

- 2/4 db 50cm négyzet detektor

- szerszám

- kódn.: ^{99m}Tc (egy) ^{133}Xe (több) ^{99m}Tc (egy)

malígnus, tumorok, (gyógyítás)

(CT-elvű...)

sugárzási int./ Δt
alapszám

• Pozitron emissziós tomográfia (PET)

β^+ sugárzó radioaktív izotóppal jelölt, jelölőanyag

annihilációs

scintillációs detektorrendszer \rightarrow 4-35 db, $d = 6,5 \text{ mm}$

\rightarrow CsF; BaF₂; bizmut-germánát Bi₄Ge₃O₁₂ kristályok

koincidencia \rightarrow felismerés egy időben 2 nembe fordított detektoron

időfelbontás $\approx 2-20 \text{ nsec}$ \rightarrow koincidencia 80%-ot detektálva!

alk. izotópok:

- ^{18}F (előáll.)

- ^{15}O

- élő nem. szerves elemek

- előáll.: ciklotronnal \rightarrow bombázás p^+ -okkal \rightarrow β^+ sug. izotópok



Φ hull. jó felbontás \rightarrow érfirészes eljárás

összegített aktivitás korekciója feltehetően → meghatározása: különböző megfigyelésekkel
 PET-CT → azonosulhat a feltehetően →

izotópok + jelek molekulákkal:

36.

$N = ?$

$T_{1/2} = 8,04 \text{ nap} = 694656 \text{ s}$

$A = 2,4 \text{ MBq} = 2,4 \cdot 10^6 \text{ Bq}$

$A = 0,693 \cdot \frac{N}{T_{1/2}}$

$N = \frac{A \cdot T_{1/2}}{0,693} = 2,4 \cdot 10^{12} \text{ db}$

$^{18}\text{F} + \text{deoxiglükóz} \rightarrow \text{glükózanalóg} \rightarrow \Delta, \text{ tumor}$
 $^{18}\text{F} + \text{cognac} \rightarrow \text{cognac}$
 $^{11}\text{C} + \text{AS-2} \rightarrow \text{AS} \rightarrow \text{tumor}$
 $^{11}\text{C} + \text{Raclopride} \rightarrow \text{Dopamin-receptor} \rightarrow \text{Parkinson}$
 $^{15}\text{O} + \text{Oxigén gáz} \rightarrow \text{O}_2 \text{ anyagcseré} \left. \begin{array}{l} \text{(vitalitás!)} \\ + \text{butanol} \rightarrow \text{vadászat} \end{array} \right\} \text{O}_2 \text{ anyagcseré}$

37.

$m = 1 \text{ g}$
 $A_0 = 6 \text{ kBq}$

$t = 1 \text{ h nap} =$
 $A = 3,45 \text{ kBq}$

$\frac{1}{T_{\text{eff}}} = \frac{1}{T_{\text{biol}}} + \frac{1}{T_{\text{fiz}}}$

$\frac{1}{T_{\text{biol}}} = \frac{1}{T_{\text{eff}}} + \frac{1}{T_{\text{fiz}}} = 882$

$A = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693}{T_{\text{eff}}} \cdot t}$

$T_{\text{eff}} = 17,1 \text{ nap}$

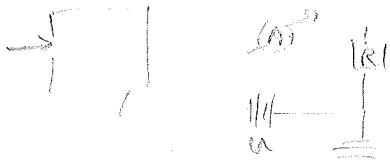
$T_{\text{biol}} = 21,93 \text{ nap}$

+ vér vti elhatárolása
 vér + ^{51}Cr -al jelezett nátriumalbumin → A mérés időközönként!

25. def.: olyan detektorok, melyeknél a sugárzás hatására alapvetően nagy fizikai mennyiség és a mért jel nagysága emelkedéséhez az azonos sugárzás hatására elselt dózissal

→ pl. sugárzás beltette ionizáció mérése!

a) gázionizáció alapú eszközök



ionizációs kamra
elektronos eroter → ionokat neutralizálja
↓
Ezért áramkörben áramimpulzust zártunk!

- kiváltott impulzusok száma ~ részecskék száma
- begyűjtött töltés mennyisége $Q = \frac{dQ}{dt} \sim E_{részecske}$!
ha! $I \sim$ sebesség $\rightarrow \frac{\Delta E}{\Delta t} \rightarrow$ dózis felgyűjtését
méri!

Kondenzátor → töltés felhalmozását
 $U_c \sim$ dózis!

- GM-ső, ionizációs ^{ion} páruskamra
↓
UM → töltésmegszakítás → hisztérezis
jel detektálható!

b) filmdoziméterek

c) nautilációs nautiláció

→ γ -fotonoknál

d) termolumineszcens dozimetriák

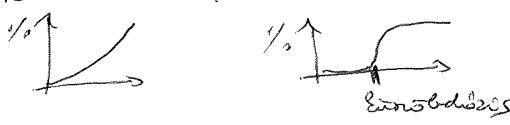
renygerett kristályos anyag → gerj. → e⁻ok metastabil energiaállóra,
pl. LiF + Mg + Ti
CaSO₄ + Dy
Ti-re

↓
mezőmérés, melegítés
↓
alapszintre a sugárzás → felgyűjtés!
↓
elzolt dózissal
analízis!

e) félvezető diódával

26. a) sugárzás mérése

- ↳ direkt / indirekt
- ↳ rev. / irrev.
- ↳ károsodás indikátor / detektáns



• dózis def.:

fiz. ill. biológiai felvett E, Pxt értelmezés

- ↳ additív ; lineáris ; reciprocitás tv.-e
 $D_1 + D_2 \sim D$ $D = z \cdot D_0$ $\frac{P}{E} = \text{sz.}$

• elyelt / absorbeált dózis

25-26/2

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad \left[\frac{J}{kg} \right]$$

• besugárzás: dózis

$$X = \frac{\Delta Q}{\Delta m} = \frac{1}{S} \frac{\Delta Q}{\Delta V}$$

• egyszerűen fogható levezetés $\Delta Q / \Delta m$ által elektronosságok miből származnak \ominus töltés mennyisége

$$\left[\frac{C}{kg} \right]$$

Vitafogható be-érfős e^- száma =

↳ atomláb növekedés!

$$\frac{D_{növ.}}{D_{ev.}} = \frac{\mu_{növ.}}{\mu_{ev.}} \quad \text{ahol} \quad D_{ev.} = f_0 X \quad f_0 = 34 \frac{J}{C}$$

$$\left[\frac{J}{kg} \right] = \left[\frac{J}{C} \right] \left[\frac{C}{kg} \right]$$

↳ viz: $\Delta T = \mu f \Delta X$ / g

$$\frac{\Delta E}{S A \Delta T} \sim \frac{\mu \cdot f \cdot \Delta X}{S} \quad / \quad \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta E \cdot \Delta T}{\mu S A \cdot \Delta T \cdot \Delta X} \sim \mu f \Delta T$$

nagy mennyiség esetén:

$$\frac{D_{növ.}}{D_{ev.}} = \frac{S_{növ.}}{S_{ev.}} \quad \text{ahol } S \text{ a felület-érfőségek} \quad (LET = \frac{\Delta E}{\Delta X} = S)$$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m} \sim \mu f \Delta T$$

↳ viz: $\Delta E = S \cdot \Delta X$

$$\Delta E = \frac{A}{A} \cdot S \cdot \Delta X \quad / : \Delta m \quad \rightarrow \quad \frac{\Delta E}{\Delta m} = \frac{1}{A} \cdot S \cdot \left(\frac{\Delta V}{\Delta m} \right) \rightarrow D = \frac{1}{A} \left(\frac{S}{\rho} \right)$$

• besugárzási dózis mérése: gázionizáción alapuló mérés, ld. [25]

[27] Biológiai dózis fogalma (növés)

• egyszerű dózis

$$H_T = \sum_R W_R \cdot D_{T,R}$$

$D_{T,R}$: T növ. ben R sugárzástól mért dózis

W_R : sugárzás: súlytényező $\alpha \sim 20$

faktor 1 stb...

$$\left[\frac{J}{kg} \right] = [Sv] \quad \text{szövet}$$

• eff. dózis

$$E = \sum_T W_T \cdot H_T$$

W_T : testrészeki súlyfaktor \rightarrow értéke kül. növekedés mérték

$$[Sv] \quad \sum_T W_T = 1$$

• koll. dózis

$$S = \sum_i N_i \cdot E_i$$

N_i : nemzetség száma, adott népességcsoport sugárhatóssága

• koll. egyszerű dózis

$$S_T = \sum N_i \cdot H_{T,i}$$

\rightarrow egyszerűen mérhető!

• egyszerű dózis

ICRP: Nemzetség sugárvédelmi besz.

• dózis felt.

• indokolt tevékenység

• opt. védelem \rightarrow ALARA-elv

• egyszerű dózis mérés

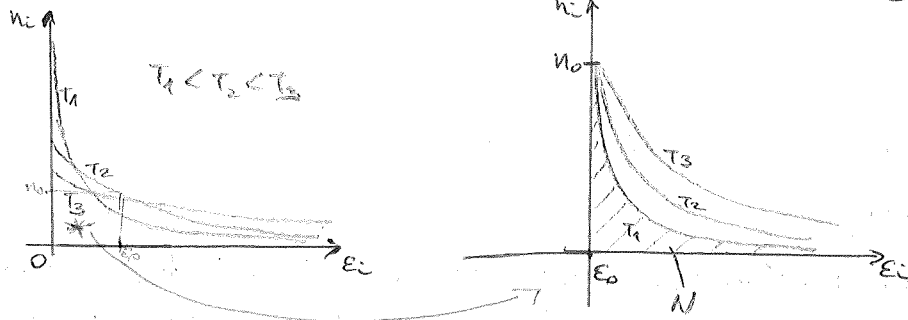
ALARA-elv

As low as reasonably achievable

Adatok \leftarrow techn. (2) / dat. (2)

• grafikus ábr.

28/2



→ a görbék alatti ter. ill.

↓
N = all.
véges!

A törvény alkalmazásai

a) Barometrikus magasságformula

atmoszféra ν gázrészecské → magasság növekedésével nő a lehetséges állapotok energiája, és nőnek az állapotok betöltöttsége

$n = \frac{N}{V}$ konc., adott V -ben N -számú molekula

$\frac{n_i}{n_0}$ → konc.-ok aránya akül. magasságokon (v.ö.: betöltési valószínűség!)

$E = E_{\text{mozg.}} + E_k$, de $E_{\text{mozg.}}$ állandó (magasságtól független)

$$\frac{n(h)}{n(0)} = e^{-\frac{mgh + E_{\text{mozg.}} - (mgh_0 + E_{\text{mozg.}})}{kT}} = e^{-\frac{mgh}{kT}}$$

↳ ilyen analógiát lehet az m tömegű részecskékre konc. h magasságban a h_0 mértékű (0) vízszintes vízszintre!

↓

↳ bizonyítja, h. az atmoszféra felépítését leírja!

b) felületi termiális emisszió

hőhatás következtében a felület

az "energiából" való kilépéshez W_a kilépési munka-működés $E_2 = W_a$

hagy ab. részecské (N₂) rendelkezik $E_i \geq W_a$ -val ???

→ E_0 -tól kezdődően az eloszlás görbéje alatti ter. + ill. meghatározni!

Exponenciális függvény esetén az adott helyen vett függvény értéke arányos az ugyanazonan vett görbe alatti területtel! $\frac{n_0}{N} = \frac{n_i}{N_i}$!

$$n_i = n_0 e^{-\frac{E_i}{kT}} \quad \text{és} \quad N_i = N e^{-\frac{W_i}{kT}}$$

28/3.

- gyak. alél.: - Entropiaszámítás
 - Hg-osó
 - fotoelektron-számolás

C Éonc. elemek - Nernst - egyenlet

ha A és B pont között U feszültség \rightarrow közötti $E_{pot} = Uq$

\rightarrow a két helyen a főtöltés viszonyát elvileg azonosra \rightarrow

Boltzmann-t ad:

$$\frac{n_A}{n_B} = e^{-\frac{qU}{kT}}$$

\rightarrow vegyünk megfordítva:

$$U = \frac{kT}{q} \ln \frac{n_A}{n_B}$$

\rightarrow v.ö.: Nernst-egyenlet:
 $\Delta E = \Delta E_0 \cdot \frac{2303RT}{nF}$

[Hem.]
 [mult.]

gyak. alél.: degenst nemlétepot. [K⁺] alapján

d Émisszió egyensúly

$n_A \rightleftharpoons n_B$ eseten

$$K = \frac{n_A}{n_B} = e^{-\frac{E_A - E_B}{kT}}$$

aktivitási ϵ :

$$\Delta E_{glt,A} = E_{glt} - E_A$$

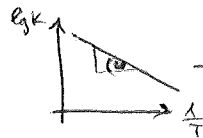
$$\Delta E_{glt,B} = E_{glt} - E_B$$

reverszibilis állandóság: $\Sigma_{AB} = x \cdot e^{-\frac{\Delta E_{glt,A}}{kT}}$
 $\Sigma_{BA} = x \cdot e^{-\frac{\Delta E_{glt,B}}{kT}}$

$$\frac{\Sigma_{BA}}{\Sigma_{AB}} = \frac{e^{-\frac{\Delta E_{glt,B}}{kT}}}{e^{-\frac{\Delta E_{glt,A}}{kT}}} = e^{-\frac{E_{glt} - E_B}{kT} + \frac{E_{glt} - E_A}{kT}} = e^{-\frac{E_A - E_B}{kT}}$$

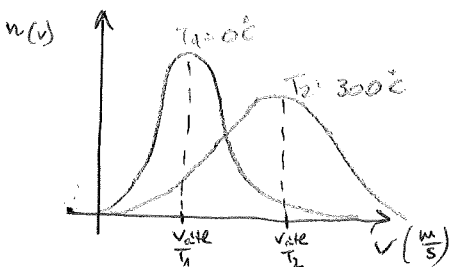
u.a. Arrhenius-ábrán-ban:

$$\lg K = -\lg e \cdot \frac{E_A - E_B}{k} \cdot \frac{1}{T}$$



$$\rightarrow \lg K = -\lg e \cdot \frac{E_A - E_B}{k}$$

e ideális gázok Maxwell-féle sebességeloszlása



$T \uparrow \rightarrow v_{skt} \uparrow$, és az elonk. fogv. mérséklődés

f felvétel, vektoroz

átlagérték a hálott átlon

f) $\text{veritöe, felveritöe} \rightarrow \text{atugras - tillott salvon}$

$$\frac{n}{n_0} = e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$$

29 Erős és gyenge kötések szerepe az H_2^+ rendszerben

a, kötéstípusok osztályozási lehetőségei

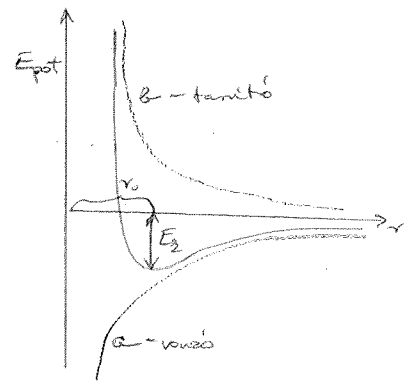
29/1.

- inter-atomalélektron
- erős - gyenge
- elsődleges - másodlagos

b, ált. energetikai háttér

- egy molekula belüli minden atomnak stabil pozíció
- ↓
- a min. pot. Σ bizonyos egyensúlyi távolságot ért el (r_{0j}) , ebből áll össze Σ .

- kötés távolság: az egyensúlyi r_0
- kötés: $E_k \rightarrow E_{pot}$ felbontásához szükséges E
- $E_{pot} = E_{vonzó} + E_{taszító} = -\frac{A}{r^n} + \frac{B}{r^m}$ ahol $n < m$



- ↳ $E_{vonzó}$: nagyobb távolságoknál domináns (azt mindig hívni a görbe) leggyakrabban elektronok által okozott vonást jelent
- ↳ $E_{taszító}$: kisebb távolságoknál érv. jelentheti pl. a pozitív σ -felhőnek átfedése miatt a Pauli-elv tiltása révén fellépő taszítást

c, kötéstípusok

① H_2^+ rendszer $E_{kötés} = \{2-10 \text{ eV}\} \rightarrow$ erős, testhőmérsékleten Φ bomlás, elsődleges H_2^+ kötés, stabilitás

- 2 maghoz egyforma tartó, lecsökkent E_{mag} -jei elektronok
- közös σ -pályák
- H_2^+ -t meghatározza az atomi σ -állg-ek térbeli elrendezése
- lehet homopoláris heteropoláris \rightarrow itt az elektronok el. \rightarrow nem két proton

$p = Qd$ dipólus momentum: a szel. molekula Q töltése milyen d távra került egymástól

- kötéshossz: H_2 esetén E_{mag} akkor, ha $d \approx$ az atomok távolsága

- H-estés szimmett!!

29. / 3.

↳ Van der Waals (pl. C-H), dipol-dipol (pl. víz) stb...

↳ H⁺ nempontosított!

p⁺-val is van Energi. → ha a H-estés miatt
Δx ↓ Δp ↑ (Heisenberg)

↓
Energ. ↑

DE!

→ mivel a vizes molekula
kötődik van víz (vívna!)

↓
φ tudja, ezhez tartozik

↓
Δx ↑ → Δp ↓

↓
Energ. ↓

↳ ez az Energi

↳ ez az Energi
belső kötött
rendszerrel ← Efelvétel

stipusok része a biológia rendszerben

→ H-vidék → Z-ös alc., Z-ös donor, vagy permanens dipólusmomentum

→ alagátok Van der Waals → DE! → szög, természet.
ért. névelés!

↓
hidrofób sz. alagát

ap. mol. szint a víz rendezett (kötődés)

↓
entropia ↓

→ akkor, h. 5 ↑ → mivel észlelhető káros felület képzés

↓
ap. szint egy helyre rendezés

- micellák
- membránok
- felület ap. szint befeje!

r-C-H → Van der Waals- és H-estés

AS-ek közötti kötés, felület, → KÉMIA! ??

szint ap.

9 citonkálton

membránok

elvezetés

I. UH - Eltérítés és detektálás

• piezoelektromos jelenség:

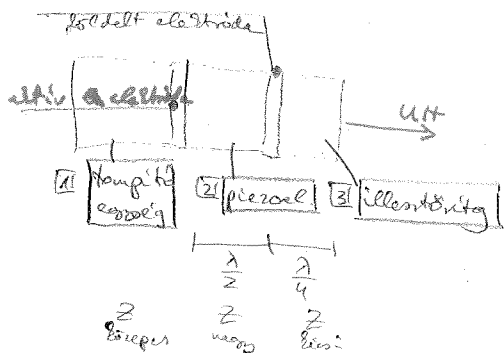
- direkt: fiz. érintéskor, ha mechanikailag deformálunk, töltésmutatók alakulnak $\rightarrow U$

- inverz: ford.

\Rightarrow piezoelektromos lapka \Rightarrow inverz & ford. is \Rightarrow szűrő transzducier!

\Rightarrow ha: $U_{\text{vissz}} \text{ és } f = \{UH \text{ 1-10MHz}\}$ \Rightarrow UH-berendezésként kell

• UH - forrás:



1) UH-energia eljuttatása az áll. anyagban

\hookrightarrow aln. elpótlás nagy!

$\hookrightarrow \frac{Z_1}{4} \ll Z_2$

hatással van f_{UH} -ra

\rightarrow ha nagy E_{elg} is \rightarrow sok négyzetes (?)
 \rightarrow is \rightarrow is

2) ha a négyzetes felület kicsi, majd nagy felületűre kell átalakítani, ezáltal azonos frekvencián lesznek

$d = \frac{\lambda}{4}$

Z a rezonancia és Z is Z lesznek

2) négyzetes \rightarrow λ vastag

\hookrightarrow jó átalakítás feltétele:

rezonancia!

$\hookrightarrow \left| \frac{Z_{\text{nyj.}}}{Z_{\text{piez.}}} \right|$

$d_{\text{opt}} = \min. \frac{\lambda_{UH}}{2}$

II. UH - utalás

• $2r$ \rightarrow "elérhető" interferenciájuk a max. összítéskor

lapka "szálló", f azonos nagyságú

\Rightarrow Huygens-Fresnel elv

\Rightarrow mivel lapka $d \gg \lambda \rightarrow$ interferenciát sokadékos miatt először néleletről utalás, homogenitás!

előretek + "Fresnel zóna" \rightarrow homogenitás

~~axiális sugárzás~~
~~lat. sugárzás~~

"fermesítés"
"fókusztávolság"

határ: $\frac{r^2}{\lambda}$

határvonalban

($2r$ -es lapka esetén)

határvonalban: "Fraunhofer zóna"

• ax. sug. \downarrow

• lat.: szűrő, de az akuritás

\downarrow fókusztáv. - e kétség

• UH - nagy sebességű fókuszálás

↳ fix fókuszálás:

- könnyű felépítésű piezo.
- piezo elei alantikai rögzítő kocsra

33/2

DE! → fókuszálás után nagy sebességű divergencia ↑ → végső sebesség ↓

↳ elektronikus:

piezo  - szüntelen sorozat

→ szüntelen sorozat elektronikus csatlakozással

↓
Ezreper körül kibékítke függőleg

U_{szij-t}

(AK rE)

→ újonat: időben elterjed, de az interfész felől azonos fázisban → minden OK!

→ fókuszálás elvileg ϕ azonos ϕ → ϕ jó interf.

→ csatlakozás szüntelen sorozat vezethető

↳ fókuszálás állítható!

• UH - impulzus

- ϕ t = áll. nagy sebességű; kevesebb Δt , periódikus [1/msec]
"UH-vezetés - csomagolás"

↳ ϕ áll. A

$f = \{ ; \}$ röv → mivel kevesebb periódus, annál több

↓
DE! Ezzel nem szinkronizálható
ellenőrzés!

- Δt minél: időközök

[msec] detektálás ideje

III. Impulzus - echo - mérések

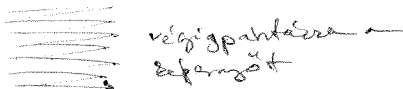
- időközök impulzusok detektálására → zártkörű mérések!

fűrészes
gen.

↓
x/y csúszási eltérések

↓
kihullás hullám-erő

- életp: ha x és y - m is fűrészes



- bistabil → szűrés - világos
- gray-scale → árnyalatok

a) 1D-s A-példa



detektor y-irányú kitérései az echo-jel
amplitúdójával azonos amplitúdójú
egyenfőtűltűz amplitúdóját állítják!

- rögzített UH-fej. → egyetlen irány → szül. nélyeségetől a jelek az x-ty. mentén visszavertek

távolságmérés:

$$\left. \begin{array}{l} t(x) \\ \downarrow \\ t(\text{echo}) \end{array} \right\} \rightarrow c \cdot t_{\text{echo}} = 2d \rightarrow \text{szül. echo jeleket szűrjük!}$$

$A_y \rightarrow A_{\text{echo}} \rightarrow Z, \text{ mérés, abs.}$

- 1D-s B-példa



- u.a. egyetlen irány → de A-É helyett képpontok felismerése!

- y-tyre. ϕ U-irány! ($\sim A^2$)
- távolságmérés

- 1D-s Δ B-példa

- x-tyre ϕ U
- függőlegesen valószínűség - kóp

6) 2D-s ~~A~~ B-példa

- ez már tomográfia! (→ metrikai kóp)
- egyirányú pont átvétel → szimuláció

↳ lapok sorban, egymáson/göbökön
Ugyan valójában a lapok éle (elektronikus)

↳
mind megadja ~
saját 1D-s kóp

↳ lapok medvékés megéde megéde

c) TM-érf

34/2.

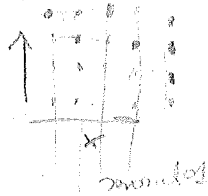
"téma-módon"

függőleges B-érf echo-sorozatát ugyanarról föltér

↳ minden UT-érf-sorozat két x-tje-t egyel arról vizsgál

⇒ az. nalan nagyobb mint a dlp. A-iról előbbi kért

(pl) mikellatású



d) 3D-s rekonstrukció

2D-s mérték képe sorozatból

e) UT-érfek feloldóképesége

feloldási határ : 2pont egy képsel

$$\text{felold. érf.} = \frac{1}{\text{felold. határ}}$$

- axiális:

mikor érf-ek egymást az axiális irányból endőd érf-ek

$$\sim 1,5 \cdot \lambda$$

impulzus kontól függ

- laterális

szalabát mértől függ

→ fókuszigyóban legjobb

$$F = \frac{f}{D} \sim \text{szalabát mértő} \rightarrow \boxed{d = \lambda \frac{f}{D} \approx 1,22 \lambda F}$$

fókusztáv
D
f

szalabát
D
f

D
f
f

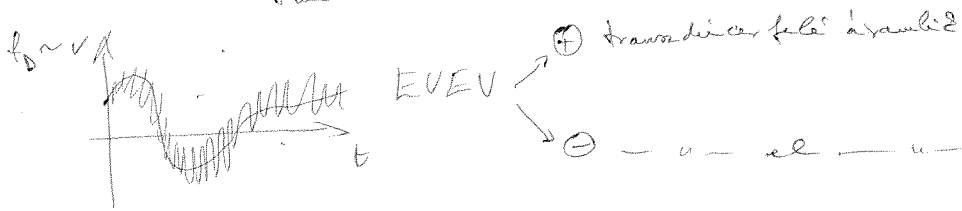
D
f
f

dinamika tartomány: $n = 10 \lg \frac{f_{max}}{f_{min}}$

35/3.

f_{max} : még épp észlelt (v_{max} és v_{min} -hez tartozó)
Doppler-echojel intenzitás

f_{min} : legnagyobb intenzitás



d) Duplex-ékp

2-D-s B-ékp + Doppler-görbe egyetlen ábr.

c) Szűkített Doppler

2-D-s műszer B-ékre Doppler-inf- Σ is működik:

ha van Doppler-into v -ről az adott képpont helyéről,

akkor ott a sebesség megfelelő min

$(\nabla \cdot \mathbf{v}) \rightarrow$ szűkítés $(\nabla \cdot \mathbf{v}) \rightarrow$ szélesítés

ha ϕ flattolódás \rightarrow majd nőke az echojel

II. UH-terápia

\rightarrow nagyobb intenzitású UH életveszélyes hatásai:

- A_p , sugárterhelés,
- Exzitáció
- mech. törőelő hatás
- absorpció

• törőelő hatás:

UH a lényeg rétegekét mozgásban hozza

\rightarrow rétegek elmozdulása $\rightarrow \Delta V \rightarrow$ szűkítés // "mikromassza"

• mech. hatás + absorpció

\rightarrow hő hatás $f = 800 \text{ kHz} \quad f_{max} = 3 \text{ MHz}$
 $P_{max} = 15 \text{ W}$

• Exzitáció \rightarrow lőhullám-terápián

folg. rétegekét emeltető \rightarrow ϕ brújál \rightarrow A nyomás és hő hatásokat

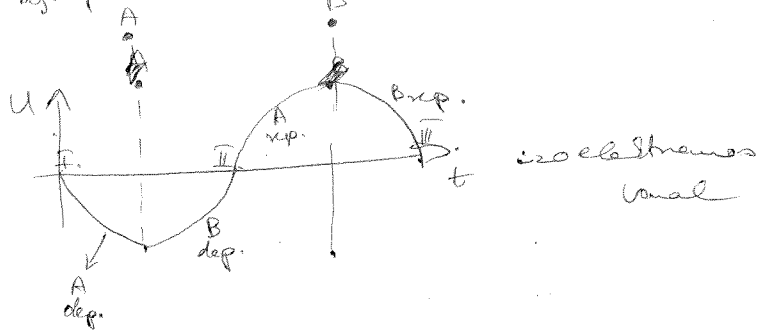
\rightarrow foly. mértékű energiát \rightarrow gyorsan emelkedés

\Rightarrow lokalisan dráma hő felbontás \Rightarrow tumorsejtek denaturációja!

- potenciálfelépés, dipólus, dipólus momentum vektor
- diffrakció abs. pot.:

- midkét elektód az ECM fölöl

↳ megfigyeljük a 2 talp. elekt. pot. elp. - t mér



- EKG hullámszó szr.:

- unipoláris elvezetések:

dep. $\begin{cases} \oplus & \text{balra} \\ \ominus & \text{jobb} \end{cases}$ \rightarrow az integrál vektor a diff. elektód felé \rightarrow ~~definiálás~~ $\frac{eR}{\text{...}}$

\updownarrow ~~szr.~~

rep. $\begin{cases} \oplus & \text{balra} \\ \ominus & \text{jobb} \end{cases}$ \rightarrow $\frac{\text{talp. elp.}}{\text{feld}}$

- bipoláris

dep.-rep. $\begin{cases} \oplus & \text{ha} \\ \ominus & \text{ha} \end{cases}$ \rightarrow $\begin{matrix} \text{I.} \\ \rightarrow \text{BK} \\ \text{II.} \\ \downarrow \\ \text{III.} \\ \downarrow \\ \text{B}_2 \end{matrix}$ \rightarrow rep. szr. meg \leftrightarrow

- Integrál vektor:

a méhez rendelhető terénörv-vektor: (el. áraml. frontális vetület) \leftarrow

\rightarrow az R-hullámszó (bal szr. dep.) mértékű integrál vektor adja a méh tengely frontális vetületét \rightarrow "mérőszög"

- 12 elvezetéses rendszer:

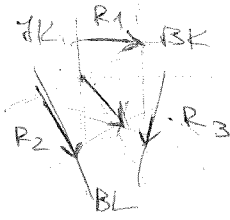
- 3 Einthoven
- 3 Goldberger
- 6 Wilson

+ pill.ról pill. m váltakozó nagyságú és irányú erős elektromos dipólus vektor

• Einthoven- Δ !

36/2

bipolaris elvezetel \rightarrow mindkét elektród differens



$$R_1 + R_3 = R_2$$

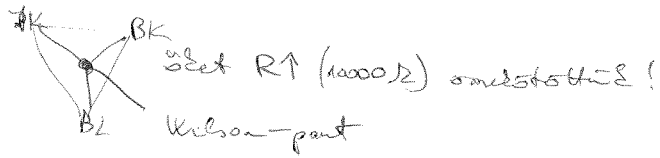
Standard-elvezetel "a"

• Wilson

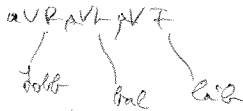
mindkét unipolaris

$V_1 - V_6$ páros a mellékson, ezek diff., és ugyanahhoz

\rightarrow 1 db v. diff. vezetékes:



• Goldberger



\rightarrow végtáji unipolaris

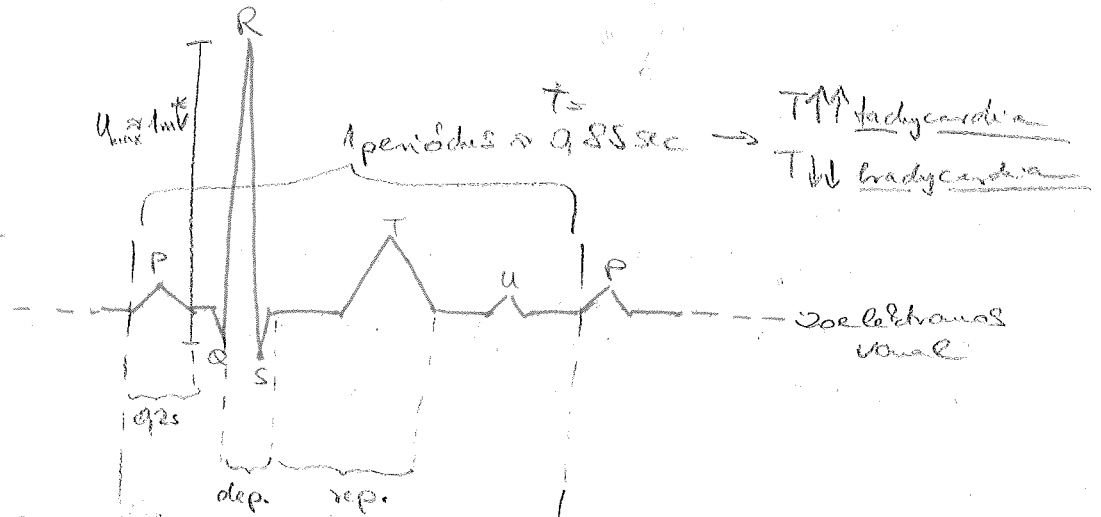
egyik elektród diff. vezető, másik

2 adja a Wilson-pontot.

(\hookrightarrow nem teljesen ill. potenciális a "megszenesített" Wilson-pont)

• EKG-görbe is a hullám!

* ha $U_R < 0,5V$
Low-voltage
ha $U_R > 2V$
High-voltage



P-hullám:

pitvari depolarizáció
sinuscsomótól induló dep.-hullám
pitvar összehúzó

QRS: Szívösszehúzó hullám

T: Szívösszehúzó dep. rep.

\sqrt pitvari rep: előben összehúzó
a QRS-el, szív
 ϕ látvány

u) ?

- EKG-bermélő felépítése

12 elektódeses mérő, minden vezeték külön csatlakoztatva

A-vezeték

- programvezérlés

- differenciál erősítő: 2 erősítő bemenet (U_1 és U_2) és a kimenet ΔU -t erősíti

→ a szívartó hálózati U-igényes kiegészítéssel
mindkettőre az ellenkező irányba az EKG

† lehet az erősítő elhárítása → több csatlakozás

- regisztrálás

$$v_{\text{paper}} = 25 \frac{\text{mm}}{\text{sec}} / 50 \frac{\text{mm}}{\text{sec}}$$

$$\text{erősítésszám} \approx 1 \text{ cm/mV}$$

→ frekvenciaátviteli sáv: a szív üsdő adó. pot. frekv. tartományából

$$f_a = 0,2 - 0,3 \text{ Hz} \quad f_t = 80 - 100 \text{ Hz}$$

• Aln. spektrométerek

37-38/2

- diffrakció
- Kollimátor \rightarrow // sugarak
- monokromátor \rightarrow több λ -re fejt elterelő üvegbevonat
vagy pl. prizma, opt. réteg cs!

- menta + vágó aldat \rightarrow elválasztás ha mindkettő, mozgó táblák cs!
Lézer kalibrálunk
 \rightarrow ϕ kell tudni a beeső f -t, λ -ig

$$R = \lg \frac{f_{max}}{f}$$

- detektor \rightarrow beeső f -t mér
- Szűrő (induktív jel feloldás) \rightarrow leggyorsabb a felvilágítás
német adja

• Leggyorsabb próba.

- Rifelevedés \rightarrow aln. + ~~szűrő~~ vágó aldat emiatt
Evoljútó egységet

- Stray light effect

- \rightarrow monokromátor ϕ műr pl
- \rightarrow λ felharmonikusok \rightarrow kijutnak

$$f_{EO} = (1-\alpha)f_0 + \alpha f_0$$

ha $c \uparrow \rightarrow A \uparrow \rightarrow (1-\alpha)f_0$ csúszol

DE! α fo szűrővel is van!

\Rightarrow spektrálaról

$\alpha \approx 0,01$

• Kül. spektrométerek, detektorok

- derivatív

- \rightarrow aln. sáv megerősítés!
- \rightarrow kisebb, gyorsabb hatóanyag aln. ját \rightarrow érzékeny
("pici, de meged")

- diff

\rightarrow mekkoró kivétel - kontinuum aln. összehasonlítás

$\Rightarrow \Delta E(\lambda) >$ peritum!

- Lyélcsatlós

\rightarrow λ csatlós \rightarrow szűrő \rightarrow elh. \rightarrow ahol elh. \rightarrow spektrum Δ , "lyél"

- IR spektrométerek

Absorpciós spektrométria - absorpciós spektralanalízis / 1.

• fényelnyelés nagy oldatokban

$$I_E = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

nagy oldat: ha az oldott részecskéik számától függetlenül

$$A = \epsilon \cdot c \cdot E(\lambda) \cdot l$$

ahol $E(\lambda)$: az anyag jellemzője az adott hullámhosszon

→ ugyan λ -i fény fotonenergiaja gerjenti-e a molekulát? majd hől adódik

→ eredeti Lambert-Beer-törvény:

$$I_E = I_0 \cdot e^{-\epsilon(\lambda) \cdot c \cdot l} \quad x=l \text{ rétegvastagság}$$

$E(\lambda) = \lg e \cdot \epsilon(\lambda)$
 molaris extinkciós együttható

$$\rightarrow I_E = I_0 \cdot 10^{-\epsilon(\lambda) \cdot c \cdot l}$$

$$A = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I_E} \right) = \epsilon(\lambda) \cdot c \cdot l \quad \text{abszorbancia}$$

transzmittancia = átteresési képesség:

$$T = \frac{I}{I_0}$$

• absorpciós spektrumok



- folytonos

- vonalas

- szalvos → kvantálódás oka

atomgáz-hatás

Sh.-E a köny. el

homogén hatás → homogénból adódik

ahol $A \uparrow \rightarrow$ annál az $E = h \frac{c}{\lambda}$ -nél van elektronátmenet

$E(\lambda)$ függv.-ből \rightarrow λ paraméterek ✓

ha kevés anyag $E(\lambda)$ -függv. \rightarrow duáron mérés

hisz c -nél is ϵ van A

\rightarrow kalibrációs görve

c meghat.

• lumineszcencia lsd. 10!

$$Q = \frac{\Sigma I}{\Sigma I_f + \Sigma I_{nr}}$$

$$\Delta N = N \cdot (\Sigma I_f + \Sigma I_{nr}) \Delta t$$

$$\rightarrow N = N_0 e^{-\frac{(\Sigma I_f + \Sigma I_{nr})}{I_0} t} \rightarrow \tau = \frac{1}{\Sigma I_f + \Sigma I_{nr}}$$

$Q_f = \Sigma I_f \tau$ fluoresc. kvantum hatása

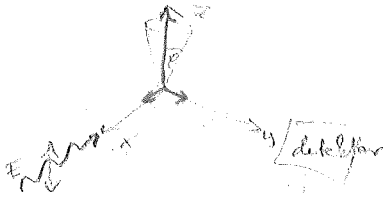
átmeneti momentum

polarizációs fok

$$P = \frac{I_{E_{VU}} - I_{E_{VH}}}{I_{E_{VU}} + I_{E_{VH}}}$$

• fluoreszcencia polarizációs mértéke és áll.

fluoriméter + 2 polarizátor \rightarrow kétbélűes szilban polarizált mértéke



pl. x-szögű, x-z szilban polarizált sz. fény

\rightarrow gyengített alp. fluoreszcencia

\approx tg. észleli fagyószilban

— emissziós anizotropia

\rightarrow méréskor old-on is polarizációs

$$r = \frac{I_{VU} - I_{UH}}{I_{VU} + 2I_{UH}}$$

I_{UH} -ből x és y irányú

\rightarrow van! teljes!

\rightarrow additív! (párolt állapotban)

I_{VU} és I_{UH} emittált komponensek v. szög!

ha $T \uparrow$ és a fluoreszcencia \rightarrow rotációs diff. mozg. \rightarrow szög konvergensté



$I_{UH} \uparrow$

$\rightarrow r \downarrow$

• diff. elfordulás

$$r \sim T$$

$$r \sim \frac{1}{\eta} \text{ szög}$$

\rightarrow Pémén-egyenlet:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_0} \left(1 + \frac{\Sigma I}{\eta} \right)$$

ha emissziós és absz. tg. egybeesik, $r_0 \approx 0,4$

magyarázat: ha a többlet energiát!

ahol r_0 : kataranizotropia

$T=0K$ és $\frac{I}{\eta} \rightarrow 0$ esetén

mondhatlan fluoreszcenciával

• fluoreszc. élethossz, \rightarrow élethossz

fluorofórát oldatban \rightarrow oldat molekulái kölcsönhat, vele,
 diszociáció

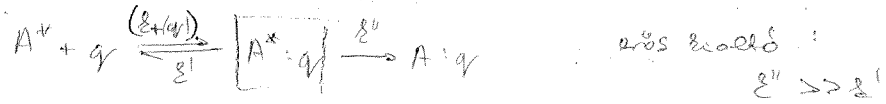
39/2

\rightarrow \downarrow

absz. élethossz $\sim 10^{-10}$ s \rightarrow élethossz / molek.

„átbocsátási komplex”,

E-átadás



$$\tau_q = \frac{1}{\xi_4 + \xi_{nr}} \cdot \xi_4 \rightarrow \text{élethossz} \downarrow$$

\rightarrow konverziós idő \downarrow

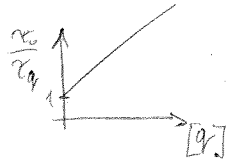
$$Q = \frac{\xi_4}{\xi_4 + \xi_{nr} + \xi_4 [q]} \quad \text{ahol } [q]: \text{ élethossz} \text{ zóna.}$$

\rightarrow relat. [q] zóna-ot eseten

$$\frac{F_0}{F} = \frac{\tau_0}{\tau_q} = 1 + \xi_4 \tau_0 [q] = 1 + K_{SV} [q]$$

fluoresz. int. $F \sim I$

Sten-Volmer-
 Lallandó



\rightarrow egyszerű!

\Rightarrow zóna-mérésre jó!

$\Rightarrow K_{SV} / \xi_4$ -ből pedig egy molekula
 fluorofór csopajával kölcsönható részét
 pl. felhívás, Top-csoj.

[dinamikus] - [statisztikus] kölcsönhatás

„Sötétkomplex”

\rightarrow ha van az egyensúlyban ϕ élethossz rövid!

$$\Delta F = F_0 - F = \underbrace{\alpha F_0}_{\text{kölcsönhatás}} + \underbrace{(1-\alpha) F_0}_{\text{statisztikus}} - \alpha F_0 \cdot \frac{1}{1 + K_{SV} [q]} = (1-\alpha) F_0 = \alpha F_0 \frac{K_{SV} [q]}{1 + K_{SV} [q]}$$

Leiber-egyenlet

megmaradt az által élethossz

Förster

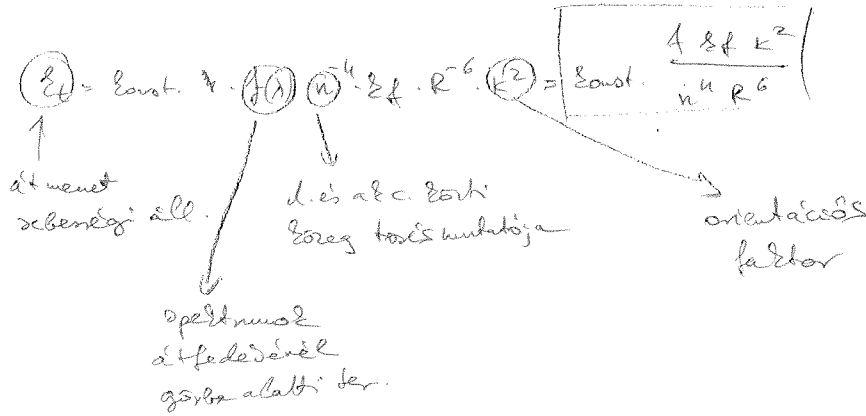
donor-acceptor

R_0 [2-10nm]

donor emissió és a/c. abszorpció spektruma közt átfedés legyen

(jóllehetően - részben lecsúszhat az emissió átlátszó!)

E-átadás: \vec{e} -átmenet átmeneti dipólusmomentumai közt: dipol-dipol $\&hbar$.



$$\left[\gamma_{DA} = \frac{1}{\xi_f \xi_{nr} + \xi_t} \right] \quad \gamma_{DA} = \frac{\xi_f}{\xi_f + \xi_{nr} + \xi_t}$$

transfer hatásfoka: az E átmenetét jelö.

$$E = \frac{\xi_f}{\xi_f + \xi_{nr} + \xi_t} = \xi_f \cdot \gamma_{DA}$$

ha!

$\xi_t = \xi_f + \xi_{nr} \rightarrow \left[E = \frac{1}{2} \right] = \gamma_{DA} \rightarrow$

\Rightarrow ebből adódik, h. γ_{DA} \rightarrow $\xi_t = \frac{1}{\gamma_{DA}}$ $\left(\gamma_{DA} = \frac{1}{\xi_f + \xi_{nr}} \right)$

$\frac{1}{\gamma_{DA}} = \text{const.} \cdot \frac{4 \xi_f \cdot \kappa^2}{n^4 \cdot (R_0)^6}$

$\Rightarrow \left[\xi_t = \frac{1}{\gamma_{DA}} \cdot \frac{R_0^6}{R^6} \right] \rightarrow$ molekulák közt: távolság felát meghatározható!

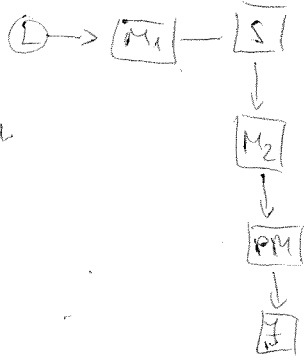
$$\left[\frac{\gamma_{DA}}{\gamma_{DA}} = 1 - E \right]$$

$$E = 1 - \frac{\gamma_{DA}}{\gamma_{DA}}$$

\rightarrow energia transfer hatásfok is meghatározható!
 (mivel γ_{nr})

• experiment, steady-state spectrofluorometer

33/11



L: lámpa

M₁: grj: monochromátor

S: minta - csejlesztés

M₂: emissor monochromátor

PM: fotoelektron-számológ,
detektor

F: jelek előző

4.7 A diffúzós óla és követőmozgás

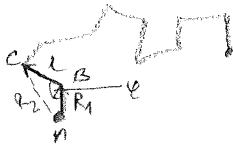
WDM

1) A bolgongási probléma "négy medikus hazafelé"

diff. ~ Brown-mozgás \rightarrow óla: a rénszarvok rendszerlen mozgása, hőmozgás.

l : átl. szabad úthossz, v : $\frac{l}{\tau}$ $t = N \cdot \tau$

$R_1 = l$



R_2 : costetellessé:

$R_2^2 = l^2 + l^2 - 2l^2 \cos \phi$

\rightarrow l n-féle lehet $\rightarrow \overline{R_2^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2l^2 - 2l^2 \cos \phi_i)$ / $2l^2$ -et kiemelve

$\overline{R_2^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 2l^2 - 2l^2 \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos \phi_i \right)$

mivel a \cos -függvény periódusa 2π , minden függvényérték is azokról az értékeket vesz fel \rightarrow 2x felbontás!

\downarrow ezek párosulnak kiesnek!

$\overline{R_2^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 2l^2 - 0$

$R_2 = l\sqrt{2}$

$\Rightarrow \sum_{i=1}^n \cos \phi_i = 0$

$R_N^2 = R_{N-1}^2 + l^2 - 2R_{N-1}l \cos \phi \rightarrow$ megint 0

$\hookrightarrow \overline{R_N^2} = \overline{R_{N-1}^2} + l^2$ de mivel $l = R_1$

$R_N^2 = Nl^2$

$\Rightarrow R(t) = \sqrt{Nl^2} = \sqrt{\frac{t}{\tau} l^2} = \sqrt{tvl} = \sqrt{3Dt}$

innen a bolgongás teljes ideje $t = N\tau$

$l = \frac{v}{\tau}$

$D = \frac{1}{3} vl$

\Rightarrow következtetés:

• ha egy rénszarvó t idő alatt $R(t)$ távolságra jut,

$R(t) \sim \sqrt{t}$

• az rénszarvó egy eltalálódást elrontott fegyverrel \rightarrow 3D-s Gauss-sűrűség

\hookrightarrow növekedés: $\sigma = \sqrt{2Dt}$

\rightarrow a lövedék eltalálódása és a rénszarvó eltalálódása ugyanarra a helyre történik az időben! \sqrt{t} -vel!

② Alveolapillasis oxigén diffúzió

47/R

vér - levegő gát:

- alveolus epithel
 - l. basalis
 - interstitium
 - l. basalis
 - kapillaris endothel
- +
- vérplazma
 - VVT-membrán

$R \approx 1/\mu m$

$$D_{O_2} \approx 10^{-9} \frac{m^2}{s}$$

$$D_{CO_2} \approx 6 \cdot 10^{-9} \frac{m^2}{s}$$

azonos nagyságrend, de

$$D_{CO_2} > D_{O_2}$$

$$\rightarrow t_{O_2} \approx 500 \mu s$$

$$t_{CO_2} \approx 80 \mu s$$

t_{O_2} kb. 6x-osa t_{CO_2} nek!

parciális nyomások a vérben:

$$P_{CO_2} = 40 \text{ Hgmm}$$

$$P_{CO_2} = 46 \text{ Hgmm}$$

$$P_{O_2} = 100 \text{ Hgmm} = 13,3 \text{ kPa}$$

$$P_{O_2} = 40 \text{ Hgmm} = 5,3 \text{ kPa}$$

arteriás vér

venásos vér

• diffúzió általános töltés egyensúlyi megvalósulása (p. nemipemeléses határolás st.)

1. beun: kiun:
 konc. nagy ← kicsi

2. ozmotikus egyensúly:
 P_{kiun} ↑ → oldóner és cs

$$f_{V_{be}} = f_{V_{ki}}$$

• ozmózis nyomás: az ozmotikus egyensúlyt megvalósító nyomásérték, mely

→ meghatározása:
 a és b anyag esetén
 mivel az ozmózis egyensúly diffúzió, a beáramló b anyag
 elonlása egyensúlyban beun és kiun

$$V_{beun} = V_{bkiun}$$

beun: $V_a + V_b$
 kiun: V_b anyagmennyiség

$pV = NRT$ állq. egyenlettel:

$$p_{beun} = \frac{V_a + V_b}{V} RT \quad p_{kiun} = \frac{V_b}{V} RT$$

→ az ozmózis nyomás a kétó különbsége:

$$p_{ozm} = p_b - p_2 = \frac{V_a}{V} RT = c_a RT$$

⇒ következtetés:

- az ozmózis φ függ az oldott anyag minőségétől
- adott T-n csak a konc., ill. annak különbsége számít!

• Van't Hoff-törvény:

Híg oldatok ozmózisnyomása közelítőleg ugyanabba, mint amilyen
 nyomást az oldott anyag kifejtene, ha az oldattal egyenlő térfogatot
 ugyanazon a hőmérsékleten gáz állapotban tartani lá!

$$p_{ozm} = c RT \text{ tehát oldatban is igaz.}$$

- oszmolalitás: megmutatja, h. az oldat melyen $\frac{mol}{l}$ szor-jú egytelen, ϕ dem. anyagot tart. oldat oszmóli nyomásával azonos.
- oszmóli nyomás: kollid. membránok által oldatok oszmóli nyomása.
- gyakorlatban:

48./2.

- izotóniás
- hypotóniás \rightarrow pl. plazmolízis
- hypertóniás \rightarrow hemolízis

- ödéma } \rightarrow dehidratált / éhezés \rightarrow hypertóniás a testfoly.hoz
 - szull. kényszer } \rightarrow épsot, így felvenné a vizet

- hasheftő szél \rightarrow hypertóniás (magas oszm.) \rightarrow víz bedrámul a bélbe

- cukorbetegség hyperglükózmiája

- hemodialízis

• Oszmóli mechanizmusok II.

① Szűrtelt v. mit Hoff-tv.:

$\pi = f n R T c$ n : teljes dem. részecskék száma
 f : oszmóli tényező (faktor!)

② Arrhenius - Fowley görbezés mechanizmus

Az oldósz. részecskék aktivitása csökken oldott anyag hozzáadására
 oldósz. részecskék pot.:

$\mu = \mu_0 + RT \ln \chi$ ahol $\chi = \frac{n_0}{n_0 + n_1}$ oldósz. molfrakciója

\Rightarrow result - fele tv.:

$\frac{p_1}{p_0} = \frac{n_0}{n_0 + n_1}$ A görbezés mélye oldat
 esetén az oldósz. a molfrak-
 tól eggyesen arányos.

\hookrightarrow $\pi = \frac{RT}{V} \ln \frac{p_0}{p_1}$ Arrhenius - Fowley - törvény!

③ Reflexió tényező (σ):

a felületen történő hirtelen jellemzője

ideális esetben $\frac{\Delta p}{\Delta \pi} = 1 \rightarrow$ valójában $\frac{\Delta p}{\Delta \pi} < 1$

④ Oszmóli munka

$-L = nRT \ln \frac{c_1}{c_2} = nRT \ln \frac{\pi_1}{\pi_2}$ c_1 : oldat π_1 : kezdék
 c_2 : old. π_2 : végp.

49. A transzport folyamatok termodinamikai vonatkozásai

a) termodiffúzió \rightarrow hővezetés

• Ludwig-Soret-effektus: az oldott só ΔT esetén a melegebb felől a hidegebb felé moport.

• Lewis-Soreffézés:

ha $T_{bal} > T_{jobb}$

$\vec{v}_{bal} > \vec{v}_{jobb}$ (mert $v = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$)

és $n_{bal} > n_{jobb}$ lép át, mint gyorsabbak

\Rightarrow Föld keresztben rétegszerűen helyezke el

$\Delta N = \Delta N_o - \Delta N_j = \frac{1}{6} n \Delta t A (\vec{v}_o - \vec{v}_j)$

$f_v = \frac{\Delta N}{N_A \cdot \Delta t \cdot A}$

$c = \frac{n}{N_A}$

$f_v = \frac{1}{6} c (\vec{v}_o - \vec{v}_j)$

hővezetés $\left(\frac{\vec{v}_o + \vec{v}_j}{\vec{v}_o + \vec{v}_j} \right)_{vel}$

$f_v = \frac{1}{6} c \frac{(v_o - v_j)(v_o + v_j)}{v_o + v_j}$

is $(v_o + v_j) = 2\bar{v}$

$f_v = \frac{1}{6} c \frac{v_o^2 - v_j^2}{2\bar{v}}$

$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$

$f_v = \frac{1}{6} c \frac{3k(T_o - T_j)}{m 2\bar{v}}$

is $T_o - T_j = -2\ell \frac{\Delta T}{\Delta x}$

Erőlytg. fgv. mérése

$f_v = \frac{1}{6} c \frac{3k}{m 2\bar{v}} \cdot 2\ell \left(-\frac{\Delta T}{\Delta x} \right) = -\frac{1}{2} \frac{c 2\ell}{m \bar{v}} \frac{\Delta T}{\Delta x}$

• L_T : Diffúzió megfelelője, egyenértékű $-\Delta T$ eredetű

$f_v = -L_T \frac{\Delta T}{\Delta x}$

• termodiffúzió leválthat diff.-t, a 2 foly. kompenzálhatja is egymást.

• ha: $\Delta N = 0$, de ΔT még van $\rightarrow \Delta E$ energiaáram van!

most mindkét $\frac{3}{2} kT$ energiát visz

$\Delta E = \Delta N \left(\frac{3}{2} k (T_o - T_j) \right) = \frac{1}{6} n \Delta t A \bar{v} \cdot \frac{3}{2} k (T_o - T_j)$

Founer-féle hővezetés!

$f_E = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t} = \frac{1}{4} n \bar{v} k (T_o - T_j) = -\frac{1}{2} n \bar{v} k \ell \frac{\Delta T}{\Delta x} = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$

λ : hővezetés = együttható

b) Termodinamikai rendszer jellemző paraméterei

49./2.

- rendszer állapota

| | nyitva | zárva a környezettel |
|-----------|--------|----------------------|
| - idő | - | - |
| - energia | + | + |
| - anyag | + | + |

- ext. mennyiségű - szabadon

$$q_{ext} = \sum \dot{q}_i$$

$$V, E, m, Q, N,$$

valóságos a rendszer, "mérték"

- Ent.

- Egyensúlyi állapot

$$\frac{X_{teljes}}{V_{teljes}} = \frac{X_{kör}}{V_{kör}}$$

$$T, p, S,$$

független a rendszer "mérték"



- homogén rendszerben teljesül

50.

- ábrák feladat megoldásához

Vizsgáljuk meg az ext. mennyiség kölcsönhatásának egyensúlyi állapotában ext. mennyiségű áramlását.

- energiaáramlás oka!

Összetett ext. és ext. mennyiségű, mozgata mindig energia!

$$\rightarrow \Delta_{ext} \rightarrow \Delta E$$

- Összetett - feltehetően lineáris összefüggés:

$$f = LX, \text{ ahol } f = \frac{\Delta_{ext}}{\Delta t}$$

az áramló ext. mennyiség
áram sűrűsége

$$X = \frac{-\Delta_{int}}{\Delta X}$$

az áramlás előidéző ext.
mennyiségére

termodinamikai eső

L: vizsgált rendszer együttható

$$\rightarrow \text{ha } X=0 \rightarrow \text{netto "áram"} \rightarrow f=0$$

↳ állapotegyenlet: ha a rendszer állapota adott, akkor paraméterei is meghatározhatók.

| Ék. | áramlás ext. | fejtetés $\Delta \text{ext.}$ | eredeti f_v | tudás | áramlás, erősség f | felépít variációk | |
|------------|-----------------|----------------------------------|--|------------------|--|----------------------|--------------------------------|
| termikus | E | T | $f_E = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$ | Fourier | $f_E = -\lambda \frac{\Delta T}{\Delta x}$ | hővezetés | $q_g/3$ |
| mechanikai | V/E | P | $f_v = -\frac{\pi}{8\eta} R^4 \frac{\Delta P}{\Delta x}$ | Hagen-Poiseuille | $f_v = \frac{f_v}{A} = -\frac{R^2}{8\eta} \frac{\Delta P}{\Delta x}$ | teljesítmény | $W_v = -p \Delta V$ |
| elektromos | Q, E | $\varphi(U)$ | $I_Q = \frac{\pi}{S} R^2 \frac{\Delta \varphi}{l}$ | Ohm | $f_v = -\frac{1}{S} \frac{\Delta \varphi}{\Delta x}$ | elektromos munka | $W_g = \varphi \cdot \Delta Q$ |
| anyag | μE | μ | $f_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$ | Fick | $f_v = -D \frac{\Delta c}{\Delta x}$ | anyagátvitel | $W_n = \mu \Delta n$ |

$$* f = \frac{U}{R} = \frac{U}{S l} A = -\frac{\Delta \varphi}{l} \frac{A}{S} = -\frac{R^2 \pi}{S} \frac{\Delta \varphi}{l}$$

Mindre vizsgáljuk a termodinamika főtételeit.

I. $\Delta E = Q_E + W$

ahol $W = \sum y_{\text{ext}} \cdot \Delta x_{\text{ext}}$

- termikusnál van E áramlás, többinél mindig más ext. mennyiséggel

↳ termikusnál $\Delta E = Q_E$ $W=0$

többinél $\Delta E = Q_E + W$

II. $Q_E = T \cdot \Delta S$ és $\Delta E = \sum y_{\text{ext}} \cdot \Delta x_{\text{ext}}$

- az első két tételből összegeztük az egyensúlyi állapotok közötti folyamatok változásait, amelyek során az egész sz. -t jellemző intenzív mennyiségek megmaradnak.

↳ termikusnál $Q_E = T \cdot \Delta S$ → ahol $\Delta x_{\text{ext}} = S$ entropia

többinél $\Delta E = T \cdot \Delta S + (-p \Delta V) + \varphi \cdot \Delta Q + \mu \cdot \Delta n$

$= \Delta x_{\text{ext}} \cdot (\sum y_{\text{ext}})$

III. $S = \sum \ln \Omega = 0$

0. Egyensúlyi feltétel:

az egyensúlyi működés és elérésének feltétele az, hogy a sz. -ben ható int. mennyiségek értéke mindenütt megegyezzen

→ ha ΔS és $\Delta x_{\text{ext}} = 0$ → $\Delta E = 0$

I. Termodinamika főtételei és általánosításuk

• 0. Főtétel:

Az egyensúly szükséges és elégséges feltétele az, hogy a kölcsönhatásból fakadó intenzív mennyiségek értéke mindenhol ugyanakkora legyen.

• I. Főtétel:

A belső energia a rendszer mechanikai állapotától függő kinetikus és potenciális energiájából tevődik össze.

$$\Delta E = Q + W \quad \text{ahol} \quad Q = -T \Delta S$$

$$W = \Delta x \cdot \text{ext. yert}$$

• II. Főtétel:

Isolált rendszerben önmagától csak olyan folyamatok játszhatnak le, amelyek során az egyes Eh -ek jel int. mennyiségek lécsökkentésükre vezetnek.

→ DE! Q -ról mi az x ext. yert? → entropia: a rendszer rendezettségének mértéke, a termikus állapotváltozásainak "áramló" ext. mennyiség.

• III. Főtétel:

Egy komponensű kristályosodó anyag entropiaja

$$OK - m \cdot \Omega = 1 \quad \left. \begin{array}{l} S = k \ln \Omega \\ \Omega = 1 \end{array} \right\} S = k \ln 1 = 0$$

II. Kémiai pot. és elektro-kémiai pot.

• anyagi Eh -ek fűzőtő Δext -je a kémiai potenciál (ld. 501)

↓

Kémiai potenciál: a rendszer, mely elektromosan semleges részének kémiai potenciálja megegyezik a rendszer energiájának megváltozásával, miközben a rendszerben emel - résznek az anyagmennyisége (n) körül-ül ↑.

$$\text{ahol} \quad \boxed{W_n = \Delta n \cdot \mu} \quad \mu = \frac{\Delta E}{\Delta n}$$

- entalpia: a $-pV$ térfogati munka akkor lép fel egy rendszerben, ha az egy puzonási közművel mechanikai kapcsolatban áll.
Ha ezt az energiát veszük a belső energiából, kapjuk az entalpiát:

$$H = E - (-pV) = E + pV$$

→ ez miért jó? → ha $p = \text{állandó} \rightarrow \Delta V = 0, p \Delta V = 0$

$$\Delta H = Q_E \quad (\text{ha } \Delta n_{\text{cs}} = 0)$$

Ha tehát állandó p , és a rendszer anyagmennyisége sem Δ , az entalpia változása egyenlő az állapotváltozás hőjével.

→ v.ö. Hess-tétel!

- szabad entalpia: az a rendszer hozzáférhető munkájához nem csak $-p\Delta V$ mechanikai munkát, hanem $T\Delta S$ hőmennyiséget is a cella kívülről a belső energiából. Így kapjuk a szabad entalpiát, ami egyenlő lesz a rendszer anyagi energiájával.

$$G = H - TS = E + pV - TS = \mu n$$

→ megváltozása:

$$\Delta G = \Delta(H - TS) = \Delta E + \Delta pV + \Delta Vp - T\Delta S - S\Delta T = \mu \Delta n + \Delta \mu n$$

ebből a munkát elvesszük:

ha $T = \text{állandó}$ és $p = \text{állandó}$.

$$\Delta G = \Delta E - \mu \Delta n \quad \left| \begin{array}{l} \text{a szabad entalpia } \Delta \text{ a rendszer} \\ \text{és kémiai munkája.} \end{array} \right.$$

→ ha a: oldóanyag

b: oldószer

$$G = E + pV - TS = \mu_a n_a + \mu_b n_b \quad \text{és} \quad E = E_a^0 n_a + E_b^0 n_b$$

$$V = V_a^0 n_a + V_b^0 n_b$$

$$S = S_a^0 n_a + S_b^0 n_b + \Delta S_a + \Delta S_b =$$

$$= S_a^0 n_a + S_b^0 n_b + R n_a \ln(c_a) + R n_b \ln(c_b) \quad *$$

$$G = \left[\left(E_a^0 + pV_a^0 - TS_a^0 \right) + RT \ln(c_a) \right] n_a + \left[\left(E_b^0 + pV_b^0 - TS_b^0 \right) + RT \ln(c_b) \right] n_b =$$

$$= \mu_a n_a + \mu_b n_b$$

→ $\mu_a = \mu_a^0 + RT \ln(c_a)$
 $\mu_b = \mu_b^0 + RT \ln(c_b)$ } azaz komponens kémiai potenciálja tehát függ a koncentrációtól!

* Némelykor a minimális állapotban:

$$R = [a(T) \cdot V]^N$$

$$\Delta S = S_2 - S_1 =$$

$$R \ln \Omega_2 - R \ln \Omega_1 =$$

$$= R \ln \frac{\Omega_2}{\Omega_1} =$$

$$= R \ln \left[\frac{[a(T) \cdot V]^N}{[a(T) \cdot V]^N} \right] = R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$= R n \ln \frac{V_2}{V_1}$$

• elektrochemiai potenciál:

51/3.

ha kondenzátor $\rightarrow W_n$ és W_q is!

$$W_{nq} = W_n + W_q = \mu \Delta n + \varphi \Delta q \quad Q = zFn \quad (\text{minden zoltékis ion})$$

$$W_{nq} = \mu \Delta n + \varphi \Delta (zFn) = \underbrace{[\mu + zF\varphi]}_{\mu_e} \Delta n$$

ahol μ_e az elektrochemiai pot. az az kondenzátor jell. int. energiája!

[52] A folyamatok során nem változtathatók

- II. főtétel és az entropia

52/1.

• II. főtétel:

kollektív rendszerben szimulációval csak olyan folyamatok jöhetnek létre, melyek során az egész rendszer entropia mennyiségét meg kell növelni.

• entropia: termikus kölcsönhatás "áramló" ext. mennyiség, a rendszer rendelkezésére álló mikróállapotok száma. $Q_E = T \Delta S$
 felírni a folyamatokat, majd ott ahol lehetséges!

h12: legyen szigetelt rendszer.

vagy Q_E

$$\begin{cases} \Delta E = 0, & \Delta E_1 = -\Delta E_2 \\ \Delta E_1 + \Delta E_2 = 0 \end{cases}$$

$$\Delta E_1 = T_1 \Delta S_1$$

$$\Delta E_2 = T_2 \Delta S_2$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 \quad (\text{mert } S \text{ extenzív})$$

$$\Delta S = \frac{\Delta E_1}{T_1} + \frac{\Delta E_2}{T_2} = \Delta E_1 \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

$$\Delta S \geq 0$$

ha $T_1 > T_2 \rightarrow \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} < 0$ és ΔE_1 is < 0 , mert az
 hős áramlás mindig
 szel

$$\ominus \cdot \ominus = \oplus$$

ha $T_1 < T_2 \rightarrow \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} > 0$ és ΔE_1 is > 0 (melegszik)

$$\oplus \cdot \oplus = \oplus$$

ha $T_1 = T_2 \rightarrow \Delta S = 0$

miért egy rendszer folyik?

- mert E tag járulékosan minden transzport folyamatban van, így $T \Delta S$ -is.

• entropia statisztikusan:

Ω : termodinamikai valószínűség, egy mikroállapotban tart. mikroállap. ok száma

\rightarrow mivel a mikróállapotok egyformán valószínűek, az egyensúlyi rendszerben
 hirtetted a legtöbb mikroállap.

ahol $\Omega \sim S$ (rendszertelenség)

Ω matematikailag valószínűsége:

$$S = k_B \ln \Omega$$

Boltzmann!

$$\begin{cases} \lg(m+n) = \\ \lg m + \lg n \end{cases}$$

$$S_0 = S_1 + S_2, \text{ akkor}$$

$$\Omega_0 = \Omega_1 + \Omega_2 \text{ de!}$$

$\Omega_0 = \Omega_1 \cdot \Omega_2$ is igaz, ha a valószínűségi
 egyenlőség fuggat lenni!

→ másképp Boltzmann elv

52/2. $n_i = n_0 e^{-\frac{\Delta E}{kT}}$ is $n_i = \frac{N e^{-\frac{E_i}{kT}}}{\sum_j e^{-\frac{E_j}{kT}}}$ is $p_i = n_i / N$ adott E_i ill. p. valószínűsége

→ ha $P \approx \Omega$ is $\Omega = e^{\frac{S}{k}}$

$\frac{P_i}{P_j} = \frac{\Omega_i}{\Omega_j} = e^{\frac{S_i - S_j}{k}} = e^{\frac{S_i - S_j}{k}} \rightarrow \Delta S \oplus$, ahol nem csökken!

→ $\Delta E = T \Delta S$ ha val. termikus

$\frac{\Omega_i E_i}{\Omega_j E_j} = e^{\frac{\Delta S}{k}} = e^{\frac{\Delta E}{kT}}$ u.a. Boltzmann,

hisz $\frac{\Omega_i E_i}{\Omega_j E_j} = \frac{n(E_i)}{n(E_j)}$ (abszolútosság is valószínűség arányában mérve)

• III. feltétel

$S = k \ln \Omega = 0$

• termodinamikai potenciálok

| pot. függ. név | össz. függés | Φ komponensek E, p, V, μ, N | zárs. a környel | folts. típus | miért jó? |
|-----------------------|-----------------------|--|------------------------|-----------------|--|
| Belső energia | $E = TS - pV + \mu N$ | $T, \Delta S, -p, \Delta V, \mu, \Delta N$ | | | I feltétel, $\Delta E, \Delta V, \Delta \mu$ meghatározás |
| Entalpia | $H = E + pV$ | $T, \Delta S, \mu, \Delta N$ | mechanikai | izobár | ha a köny. hatása miatt $-p\Delta V$ -t lecsináltjuk, a maradékunkra fordítható ΔE |
| Szabad energia | $F = E - TS$ | $-p, \Delta V, \mu, \Delta N$ | termikus | izoterm | ha a köny. komponensek a $T, \Delta S$ miatt, a maradék lecsinálható E . |
| Árnyékosult állapot X | $X = E - \mu N$ | $T, \Delta S, -p, \Delta V$ | anyag | "nyílt" | az anyagunkunk komponensekét (nyílt rendszer) |
| Szabad entalpia | $G = E - TS + pV$ | $\mu, \Delta N$ | mechanikai és termikus | izobár izoterm | összülő a kémiai potenciál megváltozásával |
| Kötött energia | $Y = E + pV - \mu N$ | $T, \Delta S$ | mechanikai anyag | izobár "nyílt" | csak a hőenergia marad meg elvezetés nélkül! |
| Teljeszabó energia | $Z = E - TS - \mu N$ | $-p, \Delta V$ | termikus anyag | izoterm "nyílt" | megszűnik, miután mechanikai munkát végeztünk! |

- Levegő: int a munkakategóriát, amit a könyv. komponens, mert az adott sz. a könyv-nyel egyensúlyban van, levezényel az energiából, így megkapjuk a "fontos" munkát!

$$E = \sum y_{int} \cdot x_{ext} \rightarrow \Delta E = \Delta(y_{int} \cdot x_{ext}) \approx y_{int} \Delta x_{ext} + \Delta y_{int} x_{ext}$$

→ az utolsó tag elhanyagolható!
DE!

$$\Delta E = \sum y_{int} \cdot \Delta x_{ext}$$

az I. főtétele



Gibbs-Duhem reláció:

teljesít

$\Delta y_{int} \cdot x_{ext} = 0$

Ez teljesít mind a kom-
ponensek munkáját!

III. Vízszintes & ideális folyadék?

41/2.

a) Ideális

\vec{v} az A minden pontjában =
 ϕ állandó

$$I_v = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{A \cdot \overbrace{v \cdot \Delta t}^{\ell}}{\Delta t} = Av = \text{áll.}$$

Kontinuitás = - egyenlet:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

ebből Zicudela: mi határozza meg a hajtóerőt? $\rightarrow \Delta p$

\Rightarrow 2 szel. pontban:

$$F_1 = p_1 A_1$$

$$F_2 = p_2 A_2$$

energia-tétel:

$$\Sigma W = \Delta E_m + \Delta E_n$$

$$W = F \cdot s$$

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} m v^2$$

$$W = \overbrace{p_1 A_1 v_1 \Delta t}^F \cdot \overbrace{s}^s - p_2 A_2 v_2 \Delta t$$

$$\Delta E_m = \frac{1}{2} \underbrace{(p_2 A_2 v_2 \Delta t)}_V v_2^2 - \frac{1}{2} \underbrace{(p_1 A_1 v_1 \Delta t)}_V v_1^2$$

$\underbrace{\hspace{2cm}}_m$

$$/ : A_i v_i \Delta t \quad (\text{Egy. - e miatt})$$

$$\Delta E_n = \rho g h_2 - \rho g h_1$$

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_2 - \rho g h_1 \quad / \text{ rendezés}$$

$$p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 = \text{áll.} \quad \text{Bernoulli-törvény}$$

\downarrow stat. \downarrow din. \downarrow hidrosztatikai

\Rightarrow 25 értelmezések:

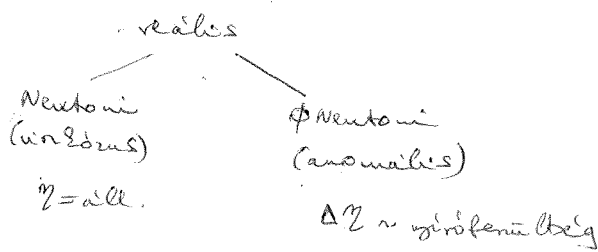
- Ha $A \downarrow v \uparrow$ (pl. csatorna-folyam)
- áramlás során $p_{\text{hidro}} = \text{áll.}$
 ugyanakkor ha $v \uparrow$ $p_{\text{din}} \uparrow \rightarrow p_{\text{stat.}} \downarrow$
- a két törvény összefüggése:
 súrlástól eltekintve a foly. feltételéből $\rightarrow p \uparrow \rightarrow v \uparrow$
- reális folyadék \rightarrow ugyanígy, de a munka-tétel azért volt felvethető, mert ϕ állandó! $\rightarrow \Sigma F = 0$ EVE

41. A térfogati áramlás általános jellemzői

44

I. Áramlás alapfogalmak

- foly. áramlás - ideális : ρ állandó ρ összehasontható
 $\hookrightarrow \eta = 0$ $\hookrightarrow \rho = \text{állandó}$



- áramlás áram - (stacionárius - időben állandó)
 $\hookrightarrow v = \text{állandó}$ $R < 100$
- laminaris (réteges)
 $100 < R < 1000$
- turbulens (szelvényes)
 $v > v_{krit}$ $R > 1000$

- viszkozitás : egy foly. belső súrlódása



II. Térfogati áramlás jellemző paraméterei

- $$v = \frac{\Delta V}{\Delta t} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] / \left[\frac{\text{l}}{\text{perc}} \right]$$

- av. gyid. -ban pl.

percetfogat : $5/6 \frac{\text{l}}{\text{perc}}$ az adottban v

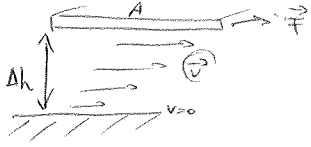
η , reális

sűrűség \rightarrow foly. réteget $v \neq 0$. (tg. ben nagyobb!)

$\vec{J}_v = A \cdot \vec{v}$ kontinuitás: $-v_x$ így \vec{p}

teljesül, mert viszkozitás minden na. m -nek kell Δt -elt átfolygassa
mindentel

viszkozitás miatt:

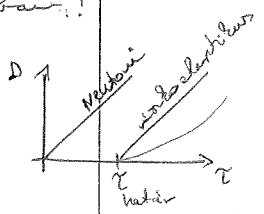


ha Δh kicsi
felső rétegtől távolodva: $\frac{\Delta v}{\Delta h} = \text{all.}$ (sebességcsök.) \Rightarrow
 $F_s = F$, $\text{mivel } \sum F = 0$ sebességprofil*

$F = \eta A \frac{\Delta v}{\Delta h}$ Newton-féle sűrűség: τ .

ahol η : viszkozitás, M megfellelöje foly.-ban!

\hookrightarrow ha $\eta = \text{all.} \rightarrow$ Newtoni
 $\eta \neq \text{all.} \rightarrow \phi$ Newtoni



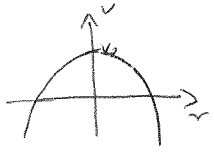
$\tau = \frac{F}{A}$: ~~viszkozitás~~ viszkozitás $\eta = \frac{\tau}{D}$

viszkozitás oka: foly. részecskéket a részecskék "molekuláris" hibái miatt elmozdítják

$\eta \sim e^{-\frac{E}{RT}}$

\rightarrow ha $T \uparrow$ hibák \downarrow $\eta \downarrow$!

* sebességprofil



parabolikus

\rightarrow hengeres \Rightarrow cső esetében!



ha $\sum F = 0 \rightarrow$ végig az egyenlőség =
 F sűrűsége az
hengerpárhuzamos

$\Delta p \frac{r^2}{4} = \eta \frac{2r \pi \Delta l}{A} \frac{\Delta v}{\Delta h}$
Apolis Δr ut!

$\rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta r} = \left[\frac{\Delta p}{4 \eta \Delta l} \right] r$

\hookrightarrow ahogyan $v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = v_0 - g t$

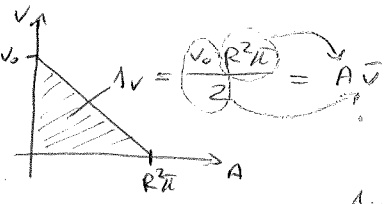
$v = \frac{\Delta v}{\Delta r} = v_0 - K r \rightarrow v_0 - \frac{K}{2} r^2$

ha $r = R$ $v = 0$

$\hookrightarrow v_0 = \frac{1}{2} K R^2$

• ábrán Δv :

ha $v = v_0 - \frac{K}{2} r^2 = v_0 - \frac{K}{2\pi} A$ ($A = r^2 \pi$ -ből)



$\rightarrow -K$ -t beírva: $\frac{1}{2} K R^2 \cdot R^2 \pi = \frac{\Delta p R^4 \pi}{8 \eta \Delta l} = -\frac{\bar{v} R^4}{8 \eta} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta l}$

Hagen-Poiseuille-tv.

⇒ Születési feltételek:

U_m/2

- $- \Delta p = R_{\text{vő}} \cdot I_v \rightarrow$ árammal mindig! Oké!

$$\text{ahol } R_{\text{vő}} = 800\pi^2 \frac{\Delta l}{\underbrace{(r^2 \pi)^2}_{A^2}}$$

→ a vő ellenállása tehát a
Számot megfigyelve ford.
érveléssel!

- $I_v \sim \frac{1}{r^4}$
- esetleges Kirchhoff I-II is.

IV. I_v mérési lehetőségek ismét

a) diláció

Árdektálható szálkák → hígul → 2000. mérés máskor

$$c = \frac{\Delta v}{\Delta t} \rightarrow \Delta v = \frac{\Delta v}{c} \quad I_v = \frac{\Delta v}{c \Delta t}$$

b) termodiláció

hideg sóoldat → $T_v \downarrow$

c) elektromágneses mérés

mágneses tér → csak, mint mozgó töltés → U felületén mérhető \mathcal{E}

$$F_{\text{keret}} = B q v$$

d) impedancia mérés

vör $S \rightarrow$ növekszik $S \rightarrow Z$ ingadozik a mérés során

$$(S = \frac{1}{R})$$

e) lézers Doppler techn.

mint UH

• Kontinuitási egyenlet

↳ ideálisra

↳ valósra

↳ hosszra: $K = \frac{\Delta P}{2\eta \Delta r}$

$v = v_0 - \frac{K}{2} r^2$ ha $r=R$ (közéle) ott $v=0$

↳ $v_0 = \frac{1}{2} K R^2$

$\int v = A \bar{v} = \frac{v_0}{2} R^2 \pi =$ Kontinuitási

$= - \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta R}$ H-P

• egyenlet végtelenre:

veler viszkoelastikus! → Newtoni viszkozitás feltételei!

hrc-érték miatt!

- $T \uparrow \rightarrow \eta \downarrow$

- $v \uparrow \rightarrow \frac{\Delta v}{\Delta r} \uparrow \rightarrow \eta \downarrow \rightarrow$ WT aggregátumok felbomlása
ésépre kerülés

- kóhélys → $\phi \rightarrow$ stac.

- magabias falak → p-t érzékenység, E-t tárolás,
 $v_{max} \downarrow$ (ne legyen végt.)
áramlás egyenletes

• analógia a zárt. rajzokkal

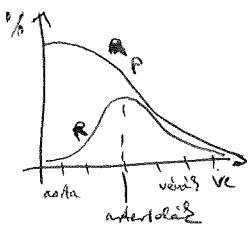
analógia → // az zártult "R" → Kirchhoff I. $\sum I_v = 0$

$R_{soroz} = \sum R$

$R_{||} = \sum \frac{1}{R}$

itt $R_{sor} = 8\pi\eta \frac{\Delta R}{A^2}$ (ha $-\Delta p = R_{sor} \cdot \Delta v$)
sz. H-P

$\frac{1}{R_e} = \frac{n}{R_{sor}} \Rightarrow R_e = 8\pi\eta \frac{\Delta R}{n A^2} = 8\pi\eta \frac{n \Delta R}{A_0^2}$ ($A_0 = nA$ összarányterület)



→ R és $P \Delta$ -a ~ meggyérősen!

R_{max}
 $-\Delta p_{max}$

→ oda! $n \uparrow$ de A_0^2 mel \uparrow
→ összarányterület, mint ahogy
érvényes a nagy A_0 -t

⇒ ΔP csökken! → ΔA élet!

• Bernoulli-törvény

42/2

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = p_{\text{stat}} + p_{\text{din}} + p_{\text{hidro}} = \text{állandó}$$

Reverzibilis áramlás $\boxed{u_1}$

→ végtelenül kicsi:

- artériák rezonanciafóliákkal p. érzékelésére (ld. előbb)
- ha $v \uparrow$ $p_{\text{stat}} \downarrow$ (p_{hidro} elhanyagolható, ha az ér tágul)
- v_{max} a vő érzékelés $\rightarrow p_{\text{din}} \text{ max}$, $p_{\text{stat}} \text{ min}$. \rightarrow VT-é oda fordított!

\Rightarrow plazmafizika:

kedvező zóna közel ér fel mentén along van VVT

• aritmia (tágulat)

$$\hookrightarrow A \uparrow \rightarrow v \downarrow \text{ (zóna)} \Rightarrow v \downarrow \rightarrow p_{\text{din}} \downarrow \text{ (Bem.)}$$

\Downarrow

$$p_{\text{din}} \downarrow \rightarrow p_{\text{stat}} \uparrow \text{ (Bem.)} \Rightarrow \text{tágulat fokosodás}$$

\downarrow

• aritmia - mptora

• szívritmus

$$r \downarrow \rightarrow v \downarrow \rightarrow \frac{r}{z} \text{ -nél max } \frac{1}{16} ! \Rightarrow \text{ellátás: elégtelenség}$$

\Rightarrow infarktus: érzékeny szívritmus \rightarrow mivel az ellátás szűk

43. Laminaris és turbulens áramlás

I. Laminaris és turbulens áramlás

a) Laminaris

éteges

$$Re > \nu$$

Erreendone jellemző

arra

b) turbulens

zonalizáció

$$v > v_{krit}$$

áramlás / ν ↓ az áramlás sebessége



nívó feleli

kont.

$$I_v = A \cdot v = \text{áram}$$

H-P

$$I_v = -\frac{\pi}{8\eta} R^4 \frac{\Delta p}{\Delta L}$$

$$-\Delta p = R_{cs} \cdot I_v, \text{ ahol}$$

$$R_{cs} = 8\eta \frac{\Delta L}{\pi R^4}$$

ha $R^4/A^2 \uparrow \rightarrow I_v \uparrow$

$A \downarrow v \uparrow$

\rightarrow elérte $v_{krit} \rightarrow$ turbul.

$$v_{krit} \sim \nu$$

$$\sim \frac{1}{S}$$

$$\sim \frac{1}{r}$$

$$v_{krit} = Re \frac{\nu}{S}$$

↳ csak ö ford. analízis, de nem a ~~csatlakozás~~ v_{krit} -el!

$$100 < Re < 1000$$

$$Re: \text{Reynolds-szám} \approx 1160$$

II. Gömb alakú test mozgása vízlevegő határában

43/2.

a) • becsülés



EVE $\rightarrow \Sigma F = 0$

$F_{\text{szélhajtás}} = \rho A \frac{\Delta v}{\Delta t} \approx \rho \underbrace{4\pi R^2}_{A_{\text{gömb}}} \cdot \underbrace{v}_{\text{seb.}} = 4\rho\pi R^2 v$
 (Newton-féle súrlódási tv.)
 lsd. 41.)

$\rightarrow F_s$ a feljes felhúzóerő hat \rightarrow „ $A_{\text{gömb}}$ ”

! \rightarrow v néha $\Delta v = v$, ha $v=0$ kezdetben $v=0$

• Stokes-tv.:

$F_s = 6\rho\pi R v$ $\rightarrow F \sim v \rightarrow F = \frac{1}{u} v$



u : mozgáslépték $u = \frac{1}{6\rho\pi R} = \frac{v}{F}$

azaz az elmozdulás elast sebesség

b) nyugvásturbulencia:

Értelme: gömb maga elött foly. a szél!

\rightarrow a maga elött \textcircled{A} felületen \vec{v} sebesség kell pozitív a foly. +

\rightarrow EVE, $\Sigma F = 0 \rightarrow$ ez az $F_{\text{szélhajtás}}$ kell!

• becsülés:

$W = F \cdot s \quad \Sigma W = \Delta E_m \quad \Delta E_m = \frac{1}{2} m v^2$

$\rightarrow F_t \approx \frac{1}{2} \underbrace{\rho}_{\rho} \underbrace{A}_{A} v^2 \rightarrow$ itt már nyugvást! $F \sim v^2$

c) \Rightarrow milyen v_{krit} -nél Δ ?

\rightarrow ahol $F_s = F_t$, tehát $\frac{F_t}{F_s} = 1$

$\frac{F_t}{F_s} = \frac{\frac{1}{2} \rho A v^2}{6\rho\pi R v} = \frac{r S v_{\text{krit}}}{12 \pi} \rightarrow v_{\text{krit}} \approx \frac{12 \pi}{r S}$

! v_{crit} $Re = 1160$ körül

• ha $v_{\text{krit}} = Re \frac{\mu}{r S}$ az itt $v_{\text{krit}} \approx 12 \frac{\mu}{r S}$

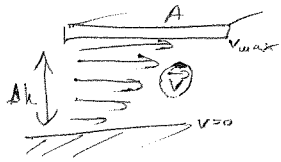
$Re \approx 12$

test elrele tehát 100% pozitív abban hi turbulencia!

44 Az érrendszert modellezhető-e

- vér \rightarrow reális foly. \rightarrow Newton-féle viskozitási-tör. érvényes
- ér \rightarrow kúrgos \rightarrow d. alakváltozásra kényes

1. Newton-tör. és ell. viskozitás, sebességprofil



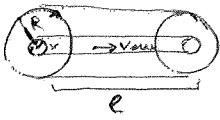
$$F = \eta A \frac{\Delta v}{\Delta h}$$

$$D = \frac{\Delta v}{\Delta h} \text{ sebességgradiens}$$

$$\tau = \frac{F}{A} \text{ vízfelületi erő}$$

$$\eta = \frac{\tau}{D} \text{ viskozitás}$$

$$\eta \sim e^{-\frac{E}{RT}} \text{ „foly. kristály”}$$



$$F_t = F_s$$

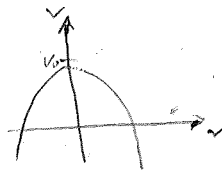
$$\Delta p \cdot \pi R^2 = \eta \frac{2 \cdot \pi R \Delta l}{A} \frac{\Delta v}{\Delta r}$$

balra $v_0 = \text{max.}$

jobbra $v=0$

EVE $\rightarrow \Sigma F = 0 \rightarrow$ véglapok többlete $= F_{szel.}$ a palástban

$$\frac{\Delta v}{\Delta r} = \frac{\Delta p}{2 \eta \Delta l} r$$



\downarrow

\uparrow

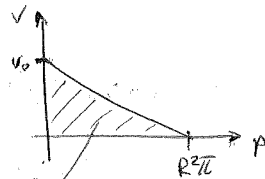
$$v = v_0 - \frac{K}{2} r^2 \rightarrow \text{parabolikus sebességprofil!}$$

2. Hagen-Poiseuille-tör. matematikája a 1. ből is a szul.-eredetű ből

$$A = r^2 \pi$$

$$v = v_0 - \frac{K}{2} r^2$$

$$v = v_0 - \frac{K}{2\pi} A \rightarrow \text{lineáris függ.}$$



mivel $1_v = A \cdot \bar{v}$ (szakt.) \rightarrow görbe alatti ter. $= 1_v = \frac{v_0 R^2 \pi}{2}$

$$K = \frac{\Delta p}{2 \eta \Delta l}$$

$$v_0 = \frac{1}{2} K R^2$$

$$1_v = \frac{1}{2} \frac{K R^2 \cdot R^2}{2} = \frac{\pi R^4}{8 \eta} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta l} \text{ H-P tör. !}$$

3. H-P-tőv. károsítása az Ohm-törvényrel és teljesítmény a vízvesztés miatt

$$j_v = - \frac{\pi R^4}{8\eta} \cdot \frac{\Delta p}{\Delta l} \rightarrow -\Delta p = \left[\frac{8\eta \Delta l}{\pi R^4} \right] \cdot j_v \quad \text{analóg } U = R \cdot I$$

$$R_{\text{hid}} = 8\pi\eta \frac{\Delta l}{(\pi r^2)^2} \quad \text{(+ vö: } j = L \cdot x \text{ arány!)}$$

⇒ Értékelés:

- $j_v \sim R^4$
- $R_{\text{hid}} \sim \frac{1}{R^4}$

• analóg módon, mint a RT-éle
Kirchoff, Re-számítás

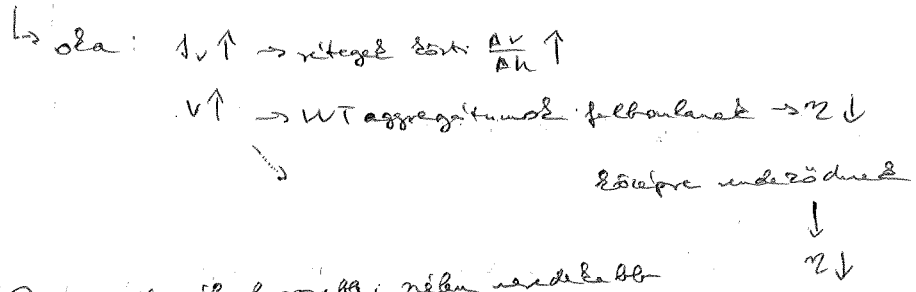
$$\frac{1}{R_e} = \frac{\eta}{R_{\text{hid}}}$$

$$R_e = 8\pi\eta \frac{\Delta l}{\pi A^2} = 8\pi\eta \frac{\Delta l}{A^2}$$

• Ateroziók miatt R_{max} } Δp_{max} } $n \uparrow$ de A_0^2 $n^2 \uparrow$
 → n arányos n^2 arányúval, mint $A_0 \uparrow$
 → n és n^2 arányos $\rightarrow A A$

⇒ H-P-tőv. értékesítési határai:

- vízvesztés elkerülése! $j_v \sim \frac{\Delta p}{\Delta l}$ lin. arányos a htc-értékkel függően
- $\eta \sim \frac{1}{T}$
- $\eta \sim \frac{\Delta v}{\Delta h}$ nagyságtól! → Newton-szállásos té. viselkedés!



- sebességprofil η -ja v_0 null károsítás, néha megváltozik
- ϕ stac. ← károsítás
- ateroszklerózis megjelenés felé $\rightarrow A$ pt bef!

45. A transzport folyamatok mikroszkopikus megfigyelése

1. Szabványos rendszer Boltzmann-eloszlása

- elvigátlási-tétel: ha egy rendszer termikus egyensúlyban van, ($T = \text{állandó}$), akkor a rendszer teljes E -ja úgy oszlik el a részecskék, ill. szabványos fokok között, h. átl. minden szabványos fokra $\frac{1}{2}kT$ -es energia jut.

$$\bar{E}_{kin} = \frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} kT \quad \text{ahol } f=3 \text{ szabványos fok}$$

- mikroállapot: a részecskék rendszer részecskéire jellemző mikroszkopikus paraméterei
- makroállapot: az egyes mikroállapotok sűrűsége, eloszlásuk összege
 \rightarrow makroszkopikus paraméterekhez a mikroszkopikus paraméterek eloszlását kell összeadni.
- betöltés: n_i : adott állapotban adott E_i -hez tartozó részecskék száma
 \Rightarrow termikus egyensúly esetén van egy legvalószínűbb $\{n_i\}$ sorozat, a rendszer mindig ebben a makroállapotban található!
- termodinamikai valószínűség: az egy makroállapothoz tartozó mikroállapotok száma.
 \Rightarrow ha a mikroállapotok egyformán valószínűek \rightarrow legvalószínűbb makroállapot az, amelyhez a legtöbb mikroállapot tartozik! \rightarrow V.Ö. 5

Boltzmann-eloszlás levezetése!

$$E = \sum_i n_i E_i$$

$$N = \sum_i n_i$$

$$n_i = \frac{N e^{-\frac{E_i}{kT}}}{\sum_j e^{-\frac{E_j}{kT}}}$$

\rightarrow összes részecske energiájának összege
 \rightarrow adott mikroállapothoz tartozó részecskék száma
 adott mikroállap. betöltési száma

ha adott egy n_0

$$n_0 = \frac{N e^{-\frac{E_0}{kT}}}{\sum_j e^{-\frac{E_j}{kT}}}$$

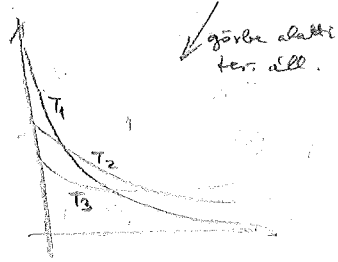
$$\frac{n_i}{n_0} = \frac{N e^{-\frac{E_i}{kT}} \cdot \sum_j e^{-\frac{E_j}{kT}}}{\sum_j e^{-\frac{E_j}{kT}} \cdot N e^{-\frac{E_0}{kT}}} \Rightarrow n_i = n_0 \cdot e^{-\frac{E_i - E_0}{kT}}$$

legvalószínűbb betöltéshelyzet állap.;
amelyhez a legnagyobb

→ Es vizsgálható:

45/2.

- egy illp. rel. betöltöttség n_2 a zT függvényben azt megvalósít fagy
- T_{min} → min. legelcsúszott illp.-ok betöltöttség
- $T \uparrow$ → magasabb illp.-ok is betölthet, de kisebb arányban



- $p_i = \frac{n_i}{N}$ annak a valószínűsége, h. az adott illp. a rendszerben megvalósul.

② Molekuláris mozgás

gázok } Brown-mozgás: hőmozgás, a részecskék véletlen mozgása
 víz oldatok

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} zT \rightarrow v_{rms} = \sqrt{\frac{3zT}{m}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \lambda: \text{élt utolsó részecskék ut. utolsó sőt} \\ l: \text{átl. szabad úthossz} \end{array} \right\} l = v \cdot \tau$$

• ha zúzó erőket vizsgálunk:

utóéreseket zúzó sodrásos arány → $v_{drift} = \frac{F}{m} \tau$

mozgásegyenlet: $u = \frac{v_{drift}}{F}$

$$\rightarrow u = \frac{\tau}{m}$$

→ ez mutat a rendszer minden részecskéje
 ra.

+ hőmozgás?

46 | A diffúzió jelensége

- diff. \sim Brown-mozg.
- Öndiffúzió: a diff. ált. mindkét komponense rést van, ha a rést komponens egyarából van: anyag \rightarrow öndiff.

1) fell. paraméterek és FCCI

- részecske-áramerősség

$$j_N = \frac{\Delta N}{\Delta t} \quad \left[\frac{1}{\text{sec}} \right]$$

- anyagáram-erősség

$$j_N = \frac{\Delta N}{\Delta t} \quad \text{ahol} \quad \Delta N = \frac{N}{N_A} \quad [\text{mol}]$$

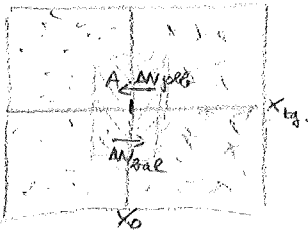
- anyagáram-sűrűség

$$j_V = \frac{j_N}{AA} = \left[\frac{\text{mol}}{\text{sec} \cdot \text{m}^2} \right]$$

- FCCI esetek:

Járaték \leftarrow algebrai előjelek

- FCCI levezetése:



adott A-felület az x_0 méter, x_0 helyen

$$\Delta N = \Delta N_{\text{bal}} - \Delta N_{\text{jobb}} \dots$$

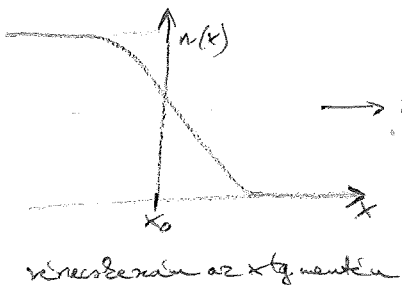
ha egy Δt időintervallumot vesszünk, azok jutnak át, akik az A területen $v \Delta t$ -x méter x_0 -tól

$$\hookrightarrow \boxed{n_{\text{bal}} v \Delta t A} \quad \text{és} \quad \boxed{n_{\text{jobb}} v \Delta t A}$$

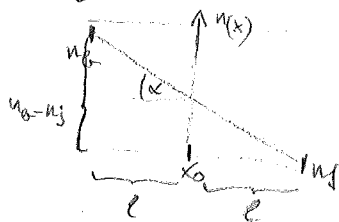
és de ez is 6 felé indultak (3D-s tér)

$$\Delta N = \frac{1}{6} n_{\text{bal}} v \Delta t A - \frac{1}{6} n_{\text{jobb}} v \Delta t A = \frac{1}{6} v \Delta t A (n_{\text{bal}} - n_{\text{jobb}})$$

\hookrightarrow ezt előre tudni!



\rightarrow x_0 zóny-éle Δt véle áradás!



$$n_b - n_j = 2l \cdot \text{tg } \alpha \quad (\text{A-ből})$$

$$\hookrightarrow \text{tg } \alpha = \frac{\Delta n}{\Delta x} \quad \text{érdemes}$$

$$n_b - n_j = 2l \cdot \frac{\Delta n}{\Delta x} \quad (\ominus, \text{ mert elő!})$$

→ wovon?!

46. / 1.

$$j_N = \frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{1}{6} v A (-z \ell \frac{\Delta n}{\Delta x}) = -\frac{1}{3} v \ell A \frac{\Delta n}{\Delta x}$$

$$/ : N_A \quad \frac{\Delta n}{\Delta x} = \Delta C \text{ conc. !}$$

$$j_N = \left(-\frac{1}{3} v \ell A \right) \frac{\Delta C}{\Delta x}$$

$$/ : A \rightarrow \boxed{j_N = -D \frac{\Delta C}{\Delta x}}$$

D diffusivität!

② D für Abgondolierung

$\frac{m}{m}$

$$D = \left| \frac{1}{3} v \ell \right| = \left| \frac{1}{3} v \cdot v \cdot \tau \right| = \left| \frac{1}{3} m v^2 \frac{\tau}{m} \right| = \left| \frac{1}{3} \frac{2T}{m} \cdot u \right| = \left| u \frac{2T}{3} \right|$$

$$\ell = v \cdot \tau$$

$$u = \frac{\tau}{m}$$

$$\frac{1}{2} m v^2 = \frac{3}{2} 2T \rightarrow m v^2 = 3 \cdot 2T$$

→ in Bezug auf τ

$$u = \frac{1}{6 \pi \eta r} \text{ volt} \Rightarrow \boxed{D = \frac{2T}{6 \pi \eta r}} \quad \text{Einstein-Stokes Zusammenhang!}$$

⇒ 25 verteilte!

(D → T)

~ u → rechnerisch

~ η Lösung

~ r in der abh.

DE! $D \propto T$, mit $\eta \propto \frac{1}{T}$ ist klar!

③ Fcc II. is az ált. kont. egyenlet

46. / 2

• konc. térbeli - időbeli Δ -alt inja a Fcc II.

• legyen a diff. stacionárius, tehát $\dot{v} = \text{all.}$ anyagáram ~~száma~~ \rightarrow kont.

$$v = f_v A = \text{all.} \rightarrow f_{v(a)} A = f_{v(b)} A \rightarrow f_{v(a)} A - f_{v(b)} A = 0$$

DE! \dot{v} még egy beáramlás, $c^?$

u.n. számok \dot{v} "ment be"

$$a = x \text{ is } b = x + \Delta x \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} f_v(x) - f_v(x + \Delta x) = -\Delta f_v \\ c(t + \Delta t) - c(t) = \Delta c \end{array} \right. \text{ változó anyagáram}$$

u.n. foly, csak 2 fele, adott ΔV -ben!

$$-\left[f_v(x) - f_v(x + \Delta x) \right] \Delta t = \left[c(t + \Delta t) - c(t) \right] A \Delta x$$

Δf_v a b közt ΔV b -hez jön c ΔV

$$\Rightarrow \left[-\frac{\Delta f_v}{\Delta x} = \frac{\Delta c}{\Delta t} \right]$$

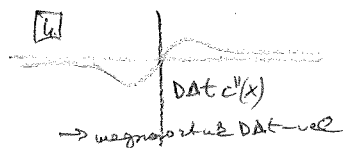
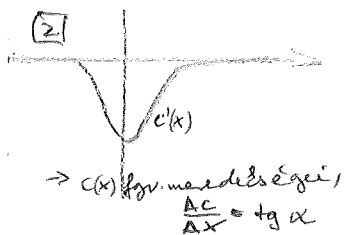
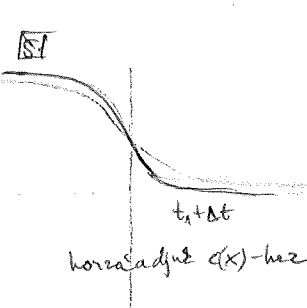
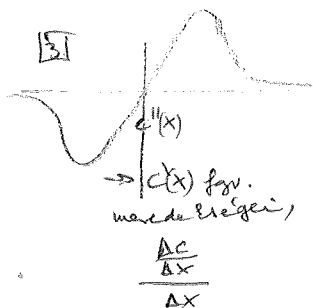
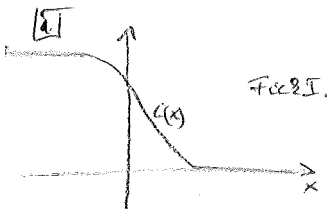
Ált. kont. egyenlet:

Adott felületen adott mennyiségű anyagáram ~~száma~~ változás analízis az adott négyzet adott időtartam alatt konc. Δ -val!

• ebbe beírva Fcc I-et:

$$D \frac{\Delta \left(\frac{\Delta c}{\Delta x} \right)}{\Delta x} = \frac{\Delta c}{\Delta t} \quad \text{Fcc II.}$$

\rightarrow grafikus levezetése Fcc I.-ből:



53. Nyugalmi membránpot. értelmezése

• membránon 3 félé transport:

- passzív diff.
- facilitált
- aktív

• permeabilitás: ill.:

a) - ha töltéssemleges diff. $\rightarrow j_m = -D \frac{\Delta C}{\Delta x} = -D_m \frac{C_{m2} - C_{m1}}{d}$ ahol $C_2 = \text{ext.}$
 (Fick) $C_1 = \text{int.}$
 $d = \text{szám. membránvastagság}$

$$P_m = \frac{D_m}{d} \left[\frac{m^2}{s} \cdot \frac{1}{m} = \frac{m}{s} \right]$$

$$\Rightarrow j_m = -P_m (C_{m2} - C_{m1})$$

- ha a diff. stuc. $\frac{C_{m1}}{C_{m2}} = \frac{C_{v1}}{C_{v2}}$

(egyensúlyra való áttérés)
 arányos konst. K (arányosság)

$$\rightarrow \frac{C_{m1}}{C_{v1}} = \frac{C_{m2}}{C_{v2}} = K$$

$$j_m = -P_m K (C_{v2} - C_{v1})$$

$$P = P_m K$$

- töltéssem. diff. további példa:

$$j = LX = L \cdot \left(\frac{\Delta \mu}{\Delta x} \right) \quad \text{Ozmosis aktív, nyitott transport}$$

is $\mu = \mu_0 + RT \ln c$ kémiail. pot.

$$j = -L RT \frac{\Delta \ln c}{\Delta x} = -L \frac{1}{c} RT \left(\frac{\Delta c}{\Delta x} \right)$$

\downarrow
 D utólag!

$$* L_2 = c_2 \frac{D_2}{RT} = \frac{c_2 v_2}{N_A}$$

vet.

$$\left[D_2 = \frac{1}{3} v_2 = v_2 \tau \right]$$

$$\left[N_A = \frac{RT}{\Sigma} \right]$$

by ismét passzív diff.

μ kémiail. pot. helyett μ_e elektro-kémiail. pot. kell!

$$\mu_{e2} = \mu + zF\varphi \quad j = L_2 X_2 = -L_2 \frac{-\Delta \mu_{e2}}{\Delta x}$$

$$\frac{\Delta \mu_{e2}}{\Delta x} = \frac{\Delta \mu}{\Delta x} + zF \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} = \left[\frac{1}{c} RT \frac{\Delta c}{\Delta x} \right] + zF \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} \Rightarrow \left[j_2 = v_2 RT \left(\frac{\Delta c_2}{\Delta x} + c_2 \frac{zF}{RT} \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} \right) \right]$$

\uparrow
 előzőből

-30-100 mV olda: belöl: felsője anionok + $K^+_1 + Na^+_1 + Cl^-_1$

ésről: $K^+_2 + Na^+_2 + Cl^-_2$

→ konvergencialepp:

$$[K^+]_1 > [K^+]_2$$

$$[Na^+]_1 > [Na^+]_2$$

$$[Cl^-]_1 < [Cl^-]_2$$

a)

Goldmann-Hodgkin-Katz-egyenlet:

a fenti pot. belöl-ek ill. elektrochimiai pot. esetét eredményeznek a membrán 2 oldalán, így ill. koncentrációk függvényében!

• passzív: Na be, K és Cl ki
• pumpáló: Na ki, K és Cl be

$$U = (\varphi_2 - \varphi_1) = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]^2 + P_{Na} [Na^+]^2 + P_{Cl} [Cl^-]^1}{P_K [K^+]^1 + P_{Na} [Na^+]^1 + P_{Cl} [Cl^-]^2}$$

ez adja a membránpotenciált!

b)

Nernst-egyenlet:

$\phi = 0$, mert az koncentrációk ϕ függvényében!

egyensúlyi esetre $\mu_2^II - \mu_2^I = 0$ és

$$\mu_2 = \mu_2 + zF\phi_1$$

ahol

$$\mu_2 = \mu_2^0 + RT \ln c_2$$

$$\mu_2^0 + RT \ln c_1 + zF\phi_1 = \mu_2^0 + RT \ln c_2 + zF\phi_2$$

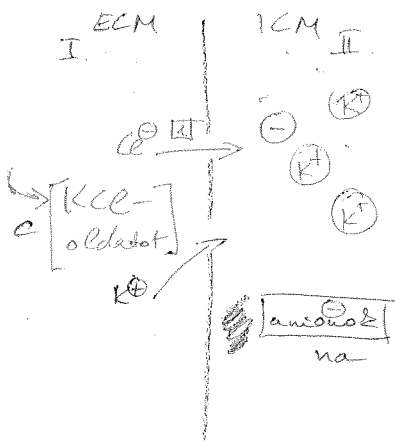
$$U = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_1}{c_2} \quad \text{Nernst}$$

DE! a membrán is bizony ϕ függvényében

ϕ zót

a koncentrációk membránpotenciál ϕ függvényében!

- az az egyensúly: Δc , amely egy membrán 2 oldalán lévő sóoldat közötti részt lezárja, ha az egyik oldalon átjutni képtelen polimezzel van.
- modellje:



1. KCl-be ECM-be

• $Cl^- \rightarrow$ ICM, mert belül nincs, és $\frac{\Delta c}{\Delta x}$ nagy

DE! ICM túl \ominus lesz $\rightarrow \Phi$ tud kiegyenlíteni

2.

• $K^+ \rightarrow$ ICM, $\frac{\Delta c}{\Delta x}$ -el nemben, hogy a belső \ominus -ot kompenzálja

\Rightarrow egyensúly: ha az elektromos erőtől által lezárva csak az oszlopban van az \Rightarrow szűk diff. árammal

mindkét oldalon semlegesítés kell:

ECM:

ICM:

$$[K^+]^I = [Cl^-]^I = c = [K^+]^{II} = [Cl^-]^{II} + na$$

$$\cancel{\mu_{K^+}^0} + RT \ln [K^+]^I + \cancel{\mu_{Cl^-}^0} + RT \ln [Cl^-]^I = \cancel{\mu_{K^+}^0} + RT \ln [K^+]^{II} + \cancel{\mu_{Cl^-}^0} + RT \ln [Cl^-]^{II}$$

$$c \frac{[K^+]^I}{[K^+]^{II}} = \frac{[Cl^-]^I}{[Cl^-]^{II}} = \gamma \rightarrow [K^+]^I = \gamma c$$

$$[Cl^-]^{II} = \frac{c}{\gamma}$$

\Rightarrow visszatér:

$$\frac{\gamma c}{\gamma} = \frac{c}{\gamma} + na \rightarrow \gamma^2 c - c - na \gamma = 0$$

$$\gamma = \frac{na + \sqrt{na^2 + (na)^2}}{2c}$$

• Ével értékek:

+ ha van anion, $\gamma > 1$

- valójában a konc. értékek is köl.-el \rightarrow Donnan-pot.

c. Diffúzió's membrán pot. 53/4.

- elfogadjuk a Donnan-egyensúlyt, de a molekulák réte. mozgásánakra nézve az egyensúly bálhátig a réte. ion mozgásából is a diff. pot. Δ!

$$j_K = u_2 zT \left(\frac{\Delta c_K}{\Delta x} + c_K \frac{F \Delta \varphi}{RT \Delta x} \right) \quad \frac{z e}{N_A} \quad z = \frac{R}{N_A}, \text{ is } c^+ + z e \text{ szemelvénye:}$$

$$\Rightarrow j^+ = - \frac{c^+ u^+}{N_A} \left[RT \left(\frac{\Delta c^+}{\Delta x} + F \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} \right) \right] \quad \text{és} \quad j^- = - \frac{c^- u^-}{N_A} \left[RT \left(\frac{\Delta c^-}{\Delta x} + F \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} \right) \right]$$

ha $j^+ = j^-$ $F \Delta \varphi = \frac{u^+ - u^-}{u^+ + u^-} RT \ln \frac{c^-}{c^+}$

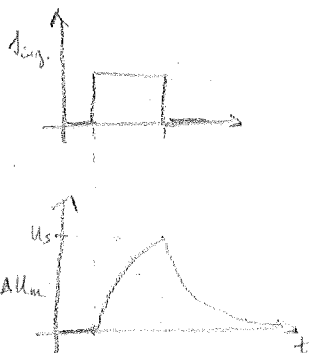
⇒ Évezet-értékelés: az itt diffundáló anyag jellemzői is a diff. pot. törté. kapcs.

ez is a GHK-egyenlethez jut!

- nyugalmi membrán pot. Δ vizsgálására:

- vizsgálási körülmények alatt: valamilyen anyag az egyensúlytal

- valamilyen idejű négyzetimpulzus esete:



- időben elhúzó hatás valamilyen

- befutása az RC-körhöz hasonló

↳ membrán kapacitív tulaj.

↳ egyes anyagokhoz nézve réte. $\frac{1}{R}$

⇒ párhuzamos RC kör,

melben σ vez. réte. \rightarrow permeabilitás

• $U^* \rightarrow \frac{\Delta c}{\Delta x}$ és $\frac{\Delta \varphi}{\Delta x}$

• teljes áramkörre vonatkozó Ohm-tv. érvényesül:

$$j_{\Sigma} = \frac{U_m - U_0}{R_f} \quad \text{konduktív áram}$$

- kapacitív áram:

$$\Delta Q = \Delta Q = C \Delta U_m \text{ -bol}$$

$$j_c = C \frac{\Delta U_m}{\Delta t}$$

- mivel egyensúly áll be (stacionárius):

$$j_c = 0$$

$$j_c + j_{\Sigma} - j_{\text{sig}} = 0$$

$$C \frac{\Delta U_m}{\Delta t} + \frac{U_m - U_0}{R_f} - j_{\text{sig}} = 0$$

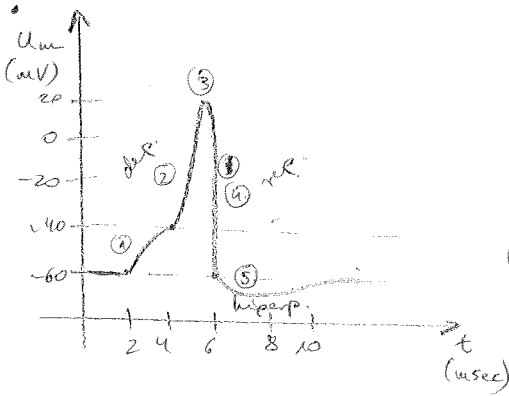
$$\Rightarrow U_m(t) = U_0 \left[1 - e^{-\frac{t}{R_f C_m}} \right]$$

ahol $R = R_m \parallel C_m$ időábr.

| | |
|-----------------|---|
| U_m | membrán |
| U_0 | adott con $\frac{\Delta \varphi}{\Delta x}$ |
| $\frac{1}{R_f}$ | permeabilitás |

54. Ázsós potenciál

• üzemeltetés / summit elv



- ① Na^+ nat. nyitk. $\rightarrow \text{Na}^+$ be
- ② K^+ nat. is nyitk., csak lassabban
- ③ Na^+ már zár
 K^+ még nyitva $\rightarrow \text{K}^+$ be \rightarrow ~~be~~ K^+
- ④ Na^+ inaktiválódik
 K^+ még nyitva \rightarrow hiperpolarizációhoz vezet
- ⑤ K^+ is átkötve zár

• depolarizációs küszöb Δ :

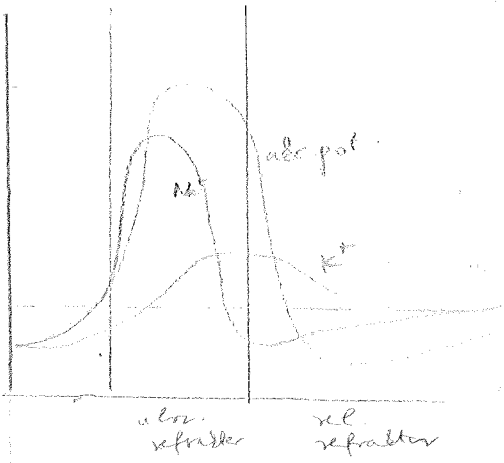
- először nyug. pot.
- küszöb. alatt még nem nagy \rightarrow abszolút refrakter szakasz
 \rightarrow leggy. újabb ingerlés ϕ lephet össze
- küszöb. után is még nagyobb, \rightarrow rel. refrakter szakasz
mint nyug. pot.
 \rightarrow ϕ rögtön új inger \rightarrow rögzítési haladás!

• terjedést list:

- rel. refrakter szakasz
- Na^+ - K^+ pumpa szabályozó hatása
- Na^+ szomszéd. zártása után Na^+ inaktivált állg.

• Voltage-clamp módszer

- mérő elektroda + feszültség elektroda
 \rightarrow aktuális U_m -et beállítjuk vele
- ha vésely van átkötőkészítségét blokkoló anyagot adunk
 \rightarrow megmérhetjük egyes csak áramot szelvény!



Axon sugárhossza határozza a vezetési sebességet:

$$\lambda \sim \sqrt{\frac{R_m}{R_i}} \quad \tau = C_m R_m \quad \text{ha } r \uparrow \rightarrow R_i \downarrow \left(\sim \frac{1}{r^2} \right)$$

$$R_m \downarrow \left(\sim \frac{1}{r} \right)$$

$$\Rightarrow \tau \downarrow \lambda \uparrow$$

→ vezetési sebesség növekedése: ha $C_m \downarrow \rightarrow$ gyorsabb töltés és elág!

→ myelinizáció $R_m \uparrow \rightarrow$ nagyobb térfogatú /
 $C_m \downarrow \rightarrow$ és időtartam.

→ szabatosabb vezetés!

Eljellemezhető határolás a jelátvitel során:

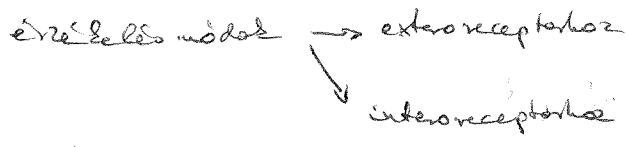
- térfelületi sűrűség → 1 időben több ponton egy. érzést alatti ingerek eredője
- időbeli → 1 ponton egy érzést alatti ingerek eredője

55. A neuvasos működés profilja I-II.

56.

a) ingerel felvétel

| | számberek | Éváltás |
|--------|--|---|
| fény | $10^9 \text{ lux} - 10^5 \text{ lux}$ 400-800nm | működés működés |
| hang | $10^{12} \text{ u/m}^2 - 10^4 \text{ u/m}^2$ | szélesség, hangnyomás hang-irány, hangszín |
| c fély | 20-20000 Hz | |
| c gáz | 26 zmmol/l | |
| P | víz pára 9 mg/l | |
| P | "levegő pára" | |
| T | $T_{\text{szv}} \pm 1^\circ\text{C}$ | |



modális: fiz.-kém. inger észlelése

Éváltás - pszichofizikai éret / bizonyítás

kvantitás: erőssége

ingerek típusa - faj, dalom típusok

- ingerek elődölgye:
- modális
 - intenzitás
 - időtartam
 - lokalizáció

$\Sigma \psi = f[\Sigma \phi]$

pszich. éret fiz. inger

abszolút érzékelési küszöb ϕ_0

rel. ————— $\Delta \phi = \phi_r - \phi_0$ érzékelési küszöb, ahol ϕ érzékelt érték

↳ Weber-törvény

$\Delta \phi = \Sigma \phi$ rel. érzékelési küszöb / a háttér intenzitás

$\Sigma = \frac{\phi_r - \phi_0}{\phi}$ Weber-tört

Weber-Fechner-törvény

$\Delta \psi = konst. \frac{\Delta \phi}{\phi}$ ingerek rel. megváltozása arányos az észlelési erősség megváltozásával.

↓
 $\psi = konst. \lg \frac{\phi}{\phi_0}$

↳ W-F törvény pszichofizikai alapja

$$\frac{\Delta \psi}{\psi} = \text{const.} \frac{\Delta \phi}{\phi} \quad \text{a rel. \Delta-os analízisé!}$$

$$\downarrow$$

$$\psi = \text{const.} \left(\frac{\phi}{\phi_0} \right)^n$$

$n < 1$ - kompresszió

$n > 1$ - expanszió

$$\lg \psi = \lg x + n \lg \phi - n \lg \phi_0 \quad \rightarrow \quad \boxed{\lg \psi = \text{const.} + n \lg \phi}$$

\downarrow
lineáris!

Receptorok

↳ extero - intero

receptorok → idegsejtben adé. pot.

analóg jelátvitel! → receptor/generátorpot. az elért egyet elektronos membrán potenciál látható!

receptorok a generátorpot. fig. e
+ adé. pot.

ontályozás:

a, érzék nemint: foto, zene, mechanos, baro, termo,

b, hely: extero, intero, proprio

↳ tévbeli elhelyezkedésről adnak infót

c, hangy. spec., állt.

↓
nem, fél,
am, uszli

↓
hő,
tapintás

58. Látás biológiája

(alunakéban, azaz az éj)

- retina ned: pigmentált
 csapok
 palackok
 horizontális sejtek
 bipoláris sejtek
 amakrin sejtek
 ganglionsejtek
 látó ideg - rostok

• sugárkés, jel konvergenciája → fókusz palackoknál

• csapok

behagyás membránok

φ cell retina belül
 abs. pot.

fotoprin

+ 3 féle
 féle érzék

120 millió

$1 - 10^5$ lux

focua centralisban
 S_{max}

• palackok

photoreceptív érzék

rodoprin

→ féle érzék. működés
 az abs. és S_{max} -at
 (látnak)

6,5 millió

$10^{-9} - 10$ lux

focua centralis mellett
 S_{max}

retin-akció

S_{max} nagyobb, de a konvergencia

→
 romabb idő és térbeli
 minimitás

érzékelés, de lassan, és sok
 cella egy befér

$X = rR + gb + bB$

additív

multiplikatív

integrálás

← piros, kék, zöld
 64% 2% 32%

magnusabb integrálás,
 de gyorsabb integrálás,
 érzékelés integrálása →
 elég

• optikai képek

$dA_{pupilla} = \{2 - 8 \text{ mm}\}$

$P = \int \pi \left(\frac{d^2}{2}\right)$

$D = \frac{n - n'}{r}$ minden tárgy felületre

$AD = \frac{1}{0,25} - \frac{1}{0,5} = 4D$

$\frac{1}{D} = \frac{n}{s} + \frac{n'}{s'}$

szám: jobb fényfelgyűjtés

$\frac{P_{max}}{P_{min}} = \left(\frac{d_{max}}{d_{min}}\right)^2 = \left(\frac{8}{2}\right)^2 = 16$

• redukált szem

58/2.

$r = 5,1 \text{ mm}$ K csodpant
 $z = 17 \text{ mm}$

• látásélesség $\frac{1'}{x} \cdot 100\%$
 \hookrightarrow látószöghatár

• látószöghatár

\hookrightarrow hullámhosszai \rightarrow Acy-északok $\alpha_H = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{d}$
 \hookrightarrow pupilla
 $\alpha_{H \text{ min}} \approx 1,68^\circ$

\hookrightarrow hisztiológiai \rightarrow min. 3 receptorsejtre
 essen $\approx 4 \mu\text{m}$

$$\alpha_B = \frac{4 \mu\text{m}}{1,7 \cdot 10^4 \mu\text{m}} \approx 0,8^\circ$$

• fotoreceptorai foly-ol

pálcás receptorok:

① rodopin a felületén \rightarrow opsin



② transzducin felaktiválódik



③ foszfo-diesteráz



④ cGMP-molekulát hidrolizál



⑤ cGMP konc. $\downarrow \rightarrow$ Na^+ csatornák bezáródnak



⑥ szét hiperpolarizálódik



⑦ transzmitter szabadon

\hookrightarrow alapszintben glutamát,

receptorsejt, mint erősítő

gátló neurotransmitter van! \rightarrow gátló gátló

$$E_{\text{jel}} = h \frac{c}{\lambda} \quad E_{\text{jel}} = \{1,5 - 3 \text{ eV}\}$$

300 Na^+ ion. zárolás $\rightarrow 10^5 - 10^6 \text{ Na}^+$ -ion beáramlását gátolja

$$E_{\text{con}} = n q_e \Delta \varphi$$

\swarrow ΔNa^+ \swarrow ΔNa^+ \swarrow membránpot. Δ
 elvált $\Delta \varphi$ töltés

$$E_{\text{con}} = \{6 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^4 \text{ eV}\}$$

\hookrightarrow (még) hiperpolarizáció!

$$A = \frac{E_{\text{jel}}}{E_{\text{con}}} = \frac{\{1,5 - 3\}}{\{6 \cdot 10^3 - 6 \cdot 10^4\}} = \{2 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-4}\}$$

59. Az emulzió első fizetése

① vér paraméterei

$V \approx 5,6 \text{ l}$

$w_{tc} = 0,4 - 0,5$

$\eta_{ste} = 5 \text{ mPas}$

$n_{WT} =$

$S_{ste} = 1,05 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

$Re_{\text{v}} = 1160$

② vércenézítést bef.

a, w_{tc} -csökkentés

$\lg \eta = A + B(w_{tc})$

b, plazma felenged

"szelvény" $\uparrow \rightarrow \eta \uparrow$

c, WT- Σ deformálhatósága

ha túl sokat emelünk \rightarrow nempermeábilis hirteleny kenne!

d, WT- Σ aggregációja

v_{zsin} \rightarrow nagyobb hirteleny

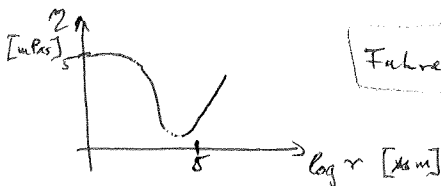
"pénzteleni hely"

bef. η -t is így \uparrow -t is

e, Δh -csökkentés

$A \downarrow \rightarrow$ axialis migráció: WT- Σ kibeszorba állnak $\rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta h}$ az onkoló közellben \downarrow

erővel mekkor \uparrow



Fahrus-kegyszeres-effektus

$\eta \downarrow$, mert az Δh \uparrow , elmozdított

\downarrow
 $\uparrow \uparrow \uparrow$

f, sebesség

$v \uparrow \rightarrow \eta \downarrow \rightarrow$ aggregáció felbontása

\rightarrow WT ax. migr.

③ Errendelés paraméterei

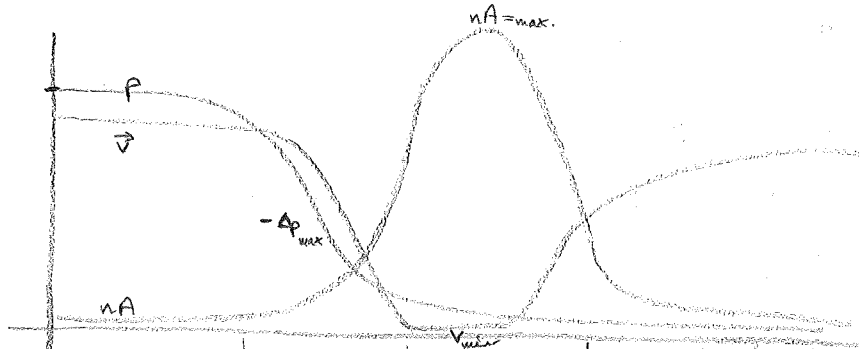
- Szív. az Ohm-tv.-el \rightarrow lsd. addig is
- artériális P_{max} } u \rightarrow $-A_{max}$
- Kirchoff, $R_e = \frac{u}{P_{max}}$ \rightarrow u
- $v_s = 5,6 \frac{cm}{sec}$ - paraterfogot

műfrekv. x pulzus terfogot = szív. \rightarrow paraterfogot
 $72 \times 70 ml \rightarrow \underline{5600 ml}$

• Vérgyorsítás

$120/70 \Delta p \approx 50 \text{ Hgmm}$
 $16/11 \approx 5 \text{ kPa}$

• Artériusok paraméterei:



| nagy artériák | Éis artériák | kapillárisok | Éis vénák | nagy vénák |
|---------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|--------------------|
| 16-11 kPa | 11-4 kPa | 4-2 kPa | | 2-0 kPa |
| 23 $\frac{cm}{sec}$ | 0,25 $\frac{cm}{sec}$ | 0,027 $\frac{cm}{sec}$ | 2,5 $\frac{cm}{sec}$ | 6 $\frac{cm}{sec}$ |
| 4,5 cm^2 | 100 cm^2 | 4500 cm^2 | 10 cm^2 | 18 cm^2 |

④ Vérteljesítés segédjei

- simaíron fal / érfalok megkeményedése
- vénaálléltatás
- (= aorta álléltatás)
- phidrontakái, \ominus mellék p!
- izomvándorlás
- atrióventrikuláris sík fel-le mozgása

60 Szívminőség és profilizáció

• systole - diastole

→ ha pulzusidő ↑, systole marad, diastole rel. ↓

• bal kamra működése

1. Pre-egyensúly per.: vértelen szívben még zárt

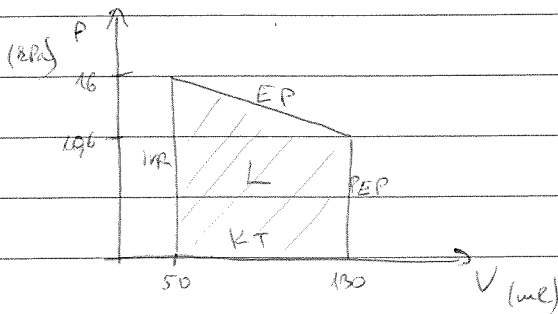
kamra p ↑

2. egyensúly per.: kamra ↓, p ↓ all.

vet. kilövés

3. involuntárius relaxáció: kamra diastole, p ↓, kék. - az involutív zárt

4. kamrai telítődés: vért p ↓ all. v ↑



W.L.H

$$L = p \cdot \Delta V + \frac{1}{2} m v^2$$

ΔV : pulzus térfogat

terfogat munka (statikus komponens) sebesség munka (din. komponens)

$$13,3 \cdot 10^{-3} \frac{N}{m^2} \cdot 0,08 \cdot 10^{-3} m^3 + \frac{1}{2} \cdot 0,08 kg \cdot \left(1 \frac{m}{s}\right)^2 = 1,1 f$$

• paraméterei:

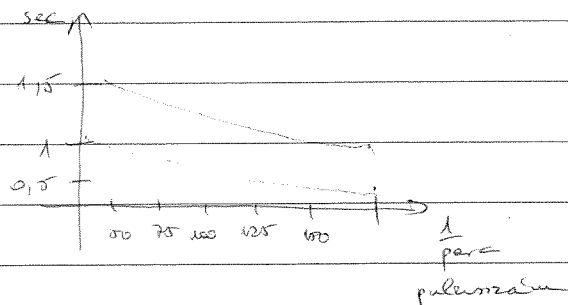
f ≈ 72/perc

$\Delta V \approx 70 ml$ / kilövés

Érkezési percheszfogot ≈ 5,6L → $f_v = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ terfogat / időmérés

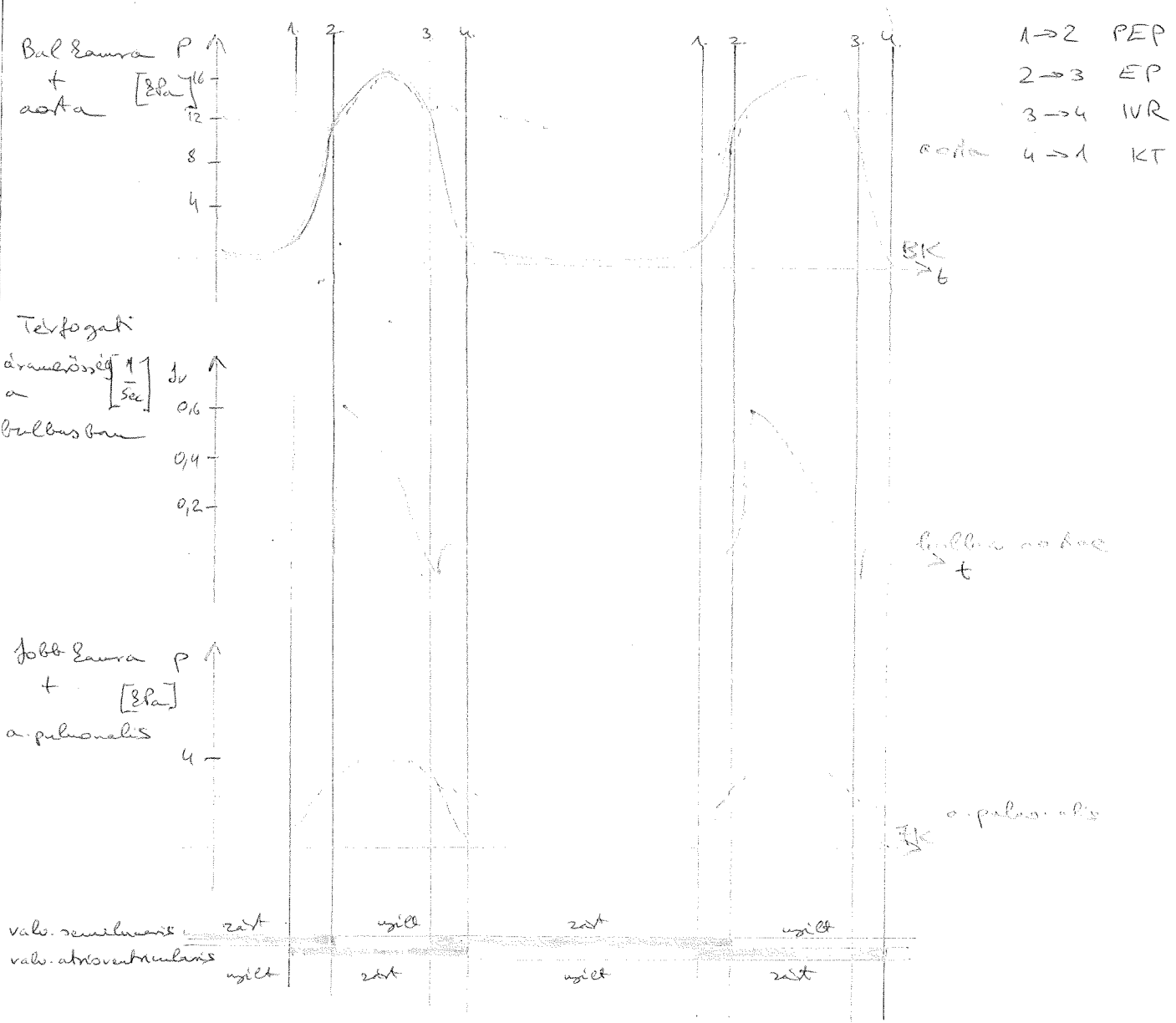
• működés

| | systole | diastole |
|-------|---------|----------|
| pihen | 0,1 s | 0,7 s |
| kamra | 0,3 s | 0,5 s |



Szívizületes eseményei

60/2.



- $p_{FK} < p_{BK}$ → mitralis visszafolyás; regurgitáció
- $p_{FK} \ll p_{BK}$ → mitralis visszafolyás; mitralis regurgitáció

a) isófil. -modell

- aktív becsület a mielőtt kezd
- mielőtt kezd.

b) Event Rates - modell "rotating cross-bridge"

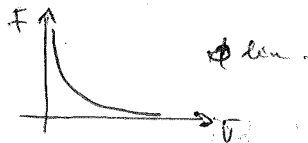
- "Event Rate": motor domain a mielőtt feji rész
- mielőtt kezd
- megfeszítés → hirtelen → dehisz → relax

c) hely.

$P = Fv$
↳ összehasonlás v

$P_{max} \sim \frac{v_{max}}{3}$

$\eta = 80\%$



$v_{max} = 6000 \text{ nm/sec}$

$F_{max} = 1/7 pN / \text{Event head}$

d) összehasonlás

- tropo miozin - tropo miozin rendszer + terbéli kísérési modell

• tropo miozin:

"coiled-coiled" dimer

aktinon oldalról kapcsol.

↳ aktin 205 hélix 20000 kórt végig
més dlagos estésellel

"lagrods": aktin ~ tropo miozin

mindkét kapcs. az aktin miozin-estéséhez,
és blokkolja a aktin

• tropo miozin - komplex

minden "lagrods" komplex tagjai:

~ C: Ca^{2+} -estő, young aktin-ban 1-vel

~ T: tropo miozin-estő, feji rész ~ komplexben
for és a másik tropo miozin kapcsol pontosság
vélés az aktinon

~ D: stabilizátor, mindkét végét

hely: edzési exp. → mekroplasma retikulumból Ca^{2+}

→ Ca^{2+} → megfeszítés vonzza 1-t → tropo miozin-
máskül → elcsúszás az aktinon

pl. szunac szoban

maximalis mikroen 2 faj szot esz elh.

↓
alt.:

regulacios es szunaclosa pontossagosa

↓
elh. szunac felvalad

63. Cetonkeletalis szunac.
(vonal adatok)

aj fel-ol mech. tall.

• szunac test → Hooke-tv.

$$\frac{F}{A} = E \frac{\Delta L}{L}$$

$\frac{F}{A} = \sigma$ hsz. feszultseg

$\frac{\Delta L}{L} = \epsilon$ fajl. megnyuläs

$E = [Pa]$ Young-modulus

• mgball.

$K = \frac{F}{\Delta L}$ → test alaja revent.

↙ hirtess

↘ hajlitas

→ hajlitosmerseleg

$$K = \frac{4\pi}{3} \frac{E r^4}{\rho^3}$$

• term. mg.

atboresek nivelo

$$\overline{R^2} = 2lpk$$

R : veg-veg talu

lp : persistenceahom: egyenes szunac (adott szunac)

L : szunac hossza (teljes)

→ ont. $lp < L$ flex.

$lp \sim L$ semiflex.

$lp \gg L$ merev

entropia max, entropikus mgp

6. Motorfehérjék

a) 3 alapvető fel:

- spec. káros. károsító felhoz
- fel. mentén AS vagy F köz.
- ATP / más E felhoz. → $\text{deinac E} \rightarrow \text{meh W}$

b) sor:

① mezenoz

- aktív
- superaktiv
- legfőbb \oplus jelű fel (Rev. VI. \ominus hoz)
- lineáris mozg.

② MAP-oz

↳ dezinak: \ominus fel

axoneális / citoplazmális

lineáris mozg.

↳ rezernek: \oplus fel

koncentricus / Φ form. izofoma (?)

↳ dinamikus: „széledő”

MT-aktív GTP-iz aktivitás

variábilis fel. változás

③ DNS-alapú motorok

- DNS, RNS-polimerázok, vírus kapsid mozgató

④ rotációs motorok

- pl. F₁FO ATP-iz
- forgó mozg.
- pl. bakteriális flagellum motor

c) szer.

N-termin. részen glob. fej → motor domain → univerzális köt./köt.

C-termin. → funkció köthely

↓ spec. köthely a fel.-hez

d) mutációk

$\text{köt} \rightarrow \text{hiz} \rightarrow \text{dim.} \rightarrow \text{relax}$
 γ_{be} γ_{ki}

$$v = \frac{\gamma_{be}}{(\gamma_{be} + \gamma_{ki})}$$

processivitás

→ $v \approx 1$ → egysz. után több lépés, esszenciál. $v \approx 1$ processív

↓ $v \approx 0$ → Φ proc., csak 1 lépés, max. esszenciál. $v \approx 0$ γ_{be}

b, polimerizáció

- mikroszálak:
 - lag → kiegészítő monomerek képz.
 - log → nő
 - eqm → egyensúly
- egyensúlyok:
 - taposódáson → aktin, tubulus
 - dinamikus instabilitás → MT
- erőhatások:
 - amolyan diffundál neki, és olyan közel van, hogy egy beépülő monomer mellett lesz ∞

c, for. ok adatai

| aktin | intermed | MT |
|--|--|--|
| d = 7 nm | 10 nm | 25 nm |
| G-aktin ↳ 375 AS 43 EDa | tubulus N-terminus centrális rés (α-hélix) G-aktin sűrűsége | α, β-tubulus ↳ 50 EDa ↓ 13 proto R. ↓ MT ↳ L = 10/μm |
| F-aktin ↳ 1-2 μm jobb/mendés/bal | semiflex. | semiflex. |
| taposód. | φ | den. instabilitás |
| ↓ | ↓ | ↓ |
| stercoacilium | novelt stabilitás | okt. orsó |
| pseudopodium | | cellitis |
| lamellopodium | | flagellum |
| halózat képz. | | ↓ cilium |
| 1) protusio | | 9+2 |
| 2) klapálás | | axonema |
| 3) tracto (húzás) | | |
| 4) retraktio (visszavonulás) | | |