

# Orvosi biofizika

1. félév: [1,5 (ea.)+2 (gyak.)] óra, 2. félév: [2+2] óra

SE Biofizikai és Sugárbiológiai Intézet  
igazgató: Prof. Kellermayer Miklós  
tanulmányi felelős: Dr. Voszka István  
<http://biofiz.sote.hu>

- bevezetés: mi az az orvosi biofizika?
- a biológiai természet méretskálája
- atomfizika, atommodellek

2013.09.12 KAD

## I. félév

1. Az élő anyag szerkezete, méretskálája. Atomfizika
2. Elektromágneses sugárzás. A fény kettős természete. Anyaghullámok
3. Az atommag. Radioaktivitás. Magsugárzások
4. Elektromágneses sugárzás kölcsönhatása az anyaggal
5. Radioaktív sugárzás az orvosi gyakorlatban. Dozimetria, nukleáris medicina
6. Lumineszcencia
7. Lézer és orvosi alkalmazása
8. Röntgensugárzás
9. Sokatomos rendszerek. A Boltzmann-eloszlás
10. Molekuláris biofizika. Víz, makromolekulák, biopolimérek
11. Nukleinsavak és fehérjék. RNS és fehérjegyombolyódás
12. Atomi és molekuláris kölcsönhatások. Pásztázó tűszondás mikroszkópia
13. Biomolekuláris szerkezet. Diffrakció, röntgenkrisztallográfia, fény- és elektronmikroszkópia. Tömegspektrometria, CD
14. Biomolekuláris szerkezeti dinamika. Fluoreszcencia, ESR, NMR. MRI alapjai

## II. félév

1. Gáztörvények. A légzés biofizikája
2. Termodinamika. Termodinamikai rendszer, főtételek
3. Egyensúly és változás. Kinetika. Entrópia és mikroszkópikus értelmezése
4. Irreverzibilis termodinamika. Transzportfolyamatok. Diffúzió, Brown-mozgás
5. A citoskeletális rendszer. Motorfehérjék. A biológiai mozgás mechanizmusai
6. Biomechanika. Biomolekuláris és szöveti rugalmasság
7. Folyadékáramlás. A vérkeringés biofizikája
8. Izomműködés. Harántcsikolt izom. Simaizom és simaizom-alapú szervek biofizikája
9. A szívizom biofizikája. A szív működése és munkája. A szív ciklus
10. Bioelektromos jelenségek. Nyugalmi potenciál
11. Akciós potenciál. Elektromosan aktív szövetek biofizikája. EKG, EMG, EEG. Érzékszervi receptorok működési elve
12. Hang, ultrahang. A hallás biofizikája
13. A szem optikája, a látás biofizikája
14. Kollektív folyamatok sokaságban. Komplex rendszerek. Hálózatok

előadások

komplexitás

gyakorlatok

FEJEZETCÍM	ALCÍM
1. BEVEZETŐ	Tartalomjegyzék, általános tudnivalók, jegyzőkönyv minta
2. MIKROSZKÓPIA I.	Optikai mikroszkópia alapjai, képképzés
3. MIKROSZKÓPIA II.	Speciális optikai mikroszkópok, feloldóképesség, kontraszt
4. REFRAKTOMETRIA	Koncentráció-meghatározások refraktométerrel,
5. FÉNYEMISSIONS	Emissziós spektroszkópia, fényforrások emissziós spektrumának vizsgálata
6. FÉNYABSORPCIÓ	A spektrofotometria orvosi, biológiai alkalmazásának fizikai alapjai, komplex-oldat abszorpciós spektrumának vizsgálata
7. POLARIMÉTER	Optikai aktivitás vizsgálata cukoroldatokban
8. A SZEM OPTIKÁJA	A szem optikája — egyéni látásélesség mérés
9. NUKLEÁRIS ALAPMÉRÉS	A nukleáris medicina mérés technikájának alapjai
10. GAMMA ABSORPCIÓ	$\gamma$ -sugárzás abszorpciója — $\gamma$ -sugárvédelem
11. GAMMA ENERGIA	$\gamma$ -energia meghatározás, mint a kettős izotópjelzés alapja
12. IZOTÓPDIAGNOSZTIKA	Az izotópdiaagnosztika egyes fizikai problémái
13. RÖNTGEN	Röntgensugárzás előállítása és elnyelődése
14. RÖNTGEN-CT	A számítógépes röntgentomográfia (CT) elve
15. DOZIMETRIA	A dozimetria és a sugárvédelem mérés technikájának alapjai
16. UV-DOZIMETRIA	Ultraibolya sugárzás biológiai hatások dózisának mérése

17. OSZCILLOSZKÓP	Jelalakvizsgálat és feszültségmérés oszcilloszkóppal
18. ERŐSÍTŐ	Elektromos erősítő jellemzőinek vizsgálata
19. SZINUSOSZCILLÁTOR	Nagyfrekvenciás rezgések előállítása; orvosi alkalmazásai
20. ULTRAHANG	Az ultrahang diagnosztikai és terápiás alkalmazása
21. REZONANCIA	Rugalmasság, rezgések, rezonancia, az atomerő mikroszkópia alapjai
22. IMPULZUSGENERÁTOR	Elektromos impulzusok előállítása, impulzusszámlálás
23. COULTER SZÁMLÁLÓ	Elektronikus alakoselem-számlálás
24. BŐRIMPEDANCIA	Egyéni bőrimpedancia meghatározása
25. AUDIOMETRIA	Az audiometria fizikai alapjai, egyéni hallásküszöb mérés
26. SENZOR	A szenzoros működés (a fényérzékelés) modellezése, a Stevens - törvény ellenőrzése egyéni hangosság-mérés alapján
27. EKG	Az elektrokardiográfia fizikai alapjai
28. ÁRAMLÁS	Folyadékok áramlása — az érrendszer elektromos modellje
29. DIFFÚZIÓ	Anyagtranszport, diffúziós együttható meghatározása
30. FÜGGELÉK	Görög betűk, mértékegységek és prefixumok, állandók és adatok, laboratóriumi biztonsági rendszabályok, mm-papírok
31. FELADATOK	Feladatok és eredményeik

## Fizika az orvostudományban

### diagnosztika

röntgendiagnosztika, UH, optikai tomográfia, MRI, EKG, endoszkópia ...

### terápia

gamma-kés, fototerápia, lézersebészet, defibrillátor, vesekőzúzás .....

### orvosi kutatások

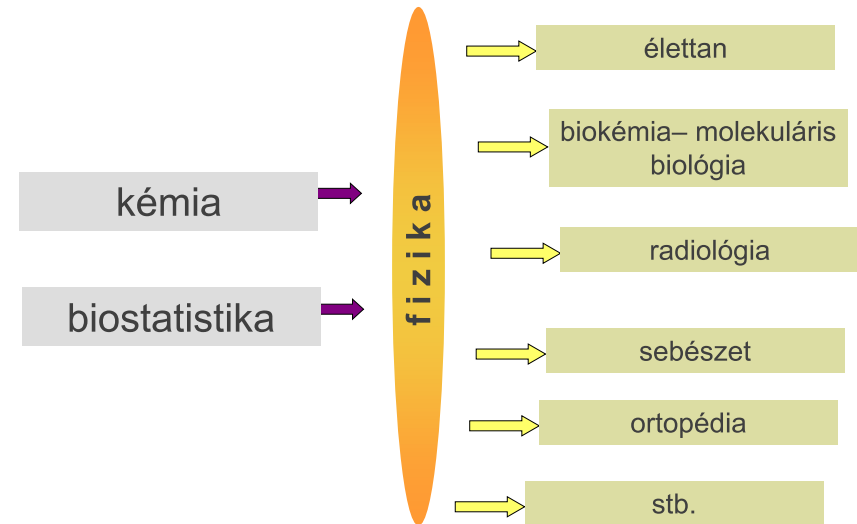
rtg-diffrakció, optikai spektroszkópia, mikroszkópok, tömegspektrometria, ...

### életfolyamatok

diffúzió, áramlások, emelők, hőszugárzás, elektromos áramok, ...

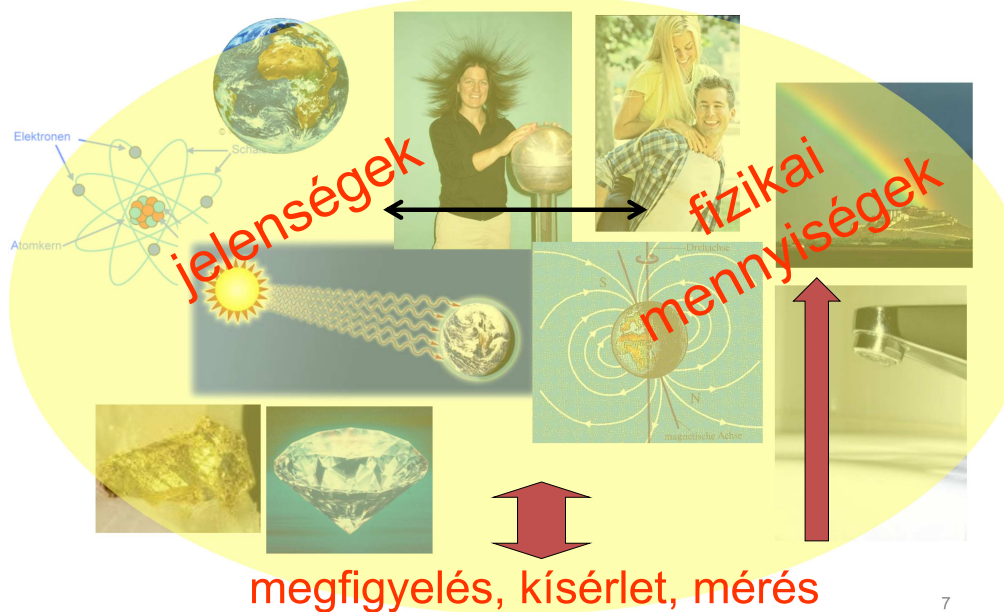
5

## Fizika az orvoscépzés kurrikulumban



6

## Röviden a természettudományos gondolkodásról

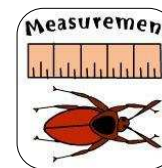


7

fizikai mennyiség = számérték · mértékegység

alpmennyiségek és  
alpmértékegységek

származtatott mennyiségek  
és egységek



$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

megfigyelés, kísérlet, mérés

összefüggések, törvények

8

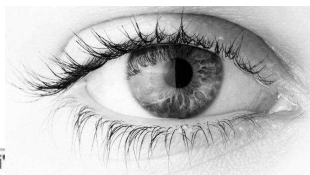
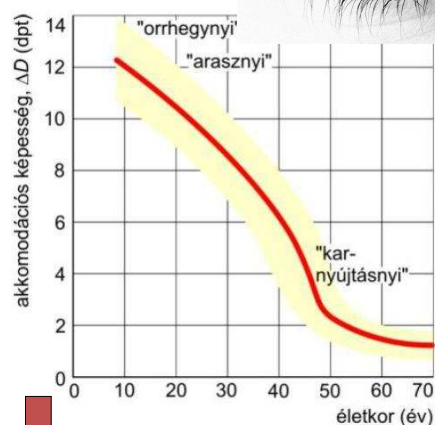
# Összefüggések, törvények

képlet

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



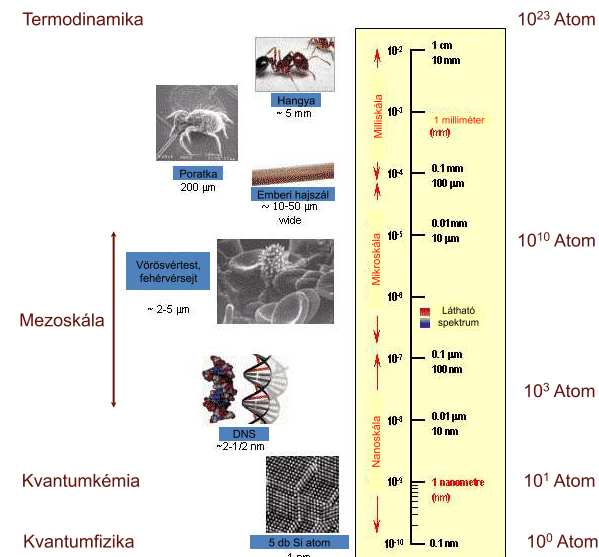
diagramm



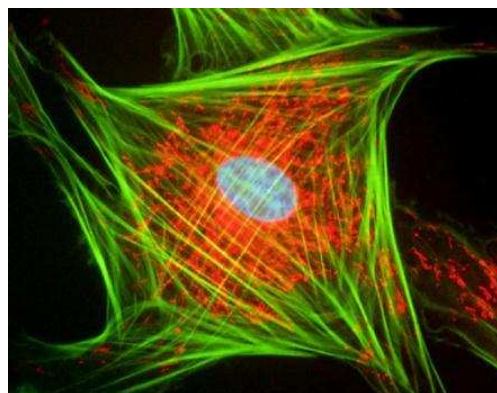
alkalmazások

9

## Biomolekuláris rendszerek méretskálája



## A sejt méretskálája



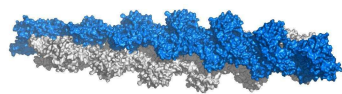
Egyszerűsített sejtmodell: kocka



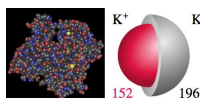
	Sejt: 20 μm oldalalú kocka	Analógia - Tanterem: 20 m oldalalú kocka
Aktinmolekula mérete	5 nm	5 mm
Aktinmolekulák száma	~500 ezer	~500 ezer
Aktin átlagos távolsága	~250 nm	~25 cm
Kálium ion mérete	0.15 nm	0.15 mm
Kálium ionok száma	~10 <sup>9</sup>	~10 <sup>9</sup>
Kálium ionok átlagos távolsága	~20 nm	~2 cm

A modell hiányosságai:

- a koncentrációk lokálisan változnak
- dinamika: állandó mozgás, ütközés
- kölcsönhatások, a dinamika miatt sokféle



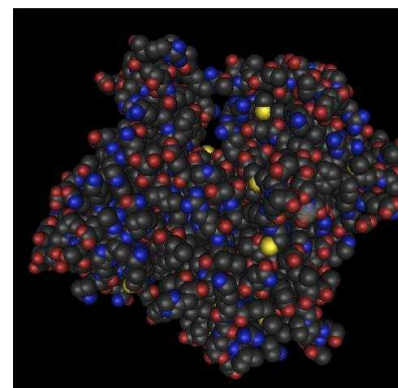
Aktin filamentum (d=7 nm)



G-aktin (d=5 nm, cc~100 μM)  
Kálium ion (d=0.15 nm, cc~150 mM)

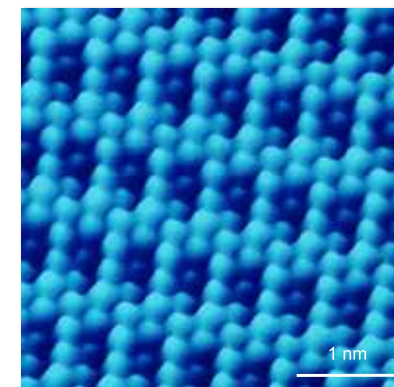
## Vizsgálhatók-e a biológiai rendszer legkisebb részletei?

modell



globuláris aktin fehérjemolekula szerkezeti modellje  
szürke - C; piros - O; kék - N; sárga - S

“valóság”  
(mérési eredmény)



oxigén atomok rhodium egykristály felületén  
(pásztázó tűszondás mikroszkóp felvétel)

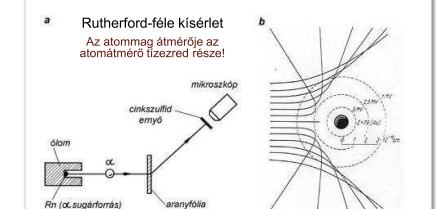
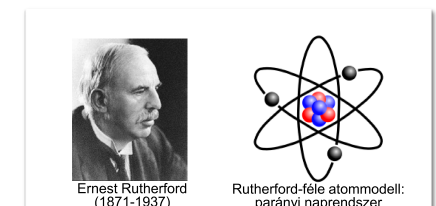
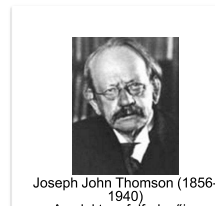
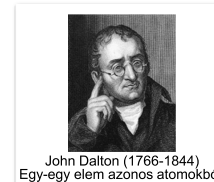


“Ha egy világkatasztrófa következtében minden tudományos ismeretanyag megsemmisülne és csak egyetlenegy mondat maradna örökségül a következő civilizációra, mi lenne az a mondat, amely a legtömörebb megfogalmazásban a legtöbb információt sűrítene magában? Úgy vélem ennek a mondatnak az atomok hipotézisét (vagy ha úgy tetszik, az atomok létezésének tényét) kellene tartalmaznia: azt, hogy **minden dolog atomokból épül fel - állandóan mozgó kis részecskékből, amelyek vonzzák egymást ha kis távolságra vannak, és taszítják egymást, ha egyiket a másikba préselik.**

...ez a megállapítás hihetetlen mennyiségű információt tartalmaz a világról, csupán egy kis logika és fantázia kell hozzá.”

Richard P. Feynman, Nobel-díjas fizikus

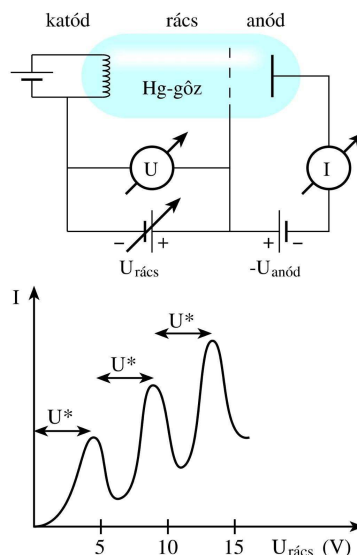
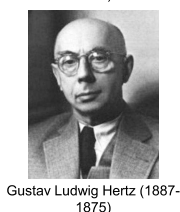
## Korai atomelméletek



Probléma:  
-instabil atom  
-elektronok: centripetális gyorsulás - sugárzás - energiavesztés - atommagra zuhanás

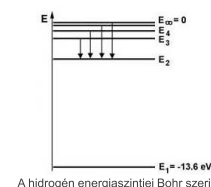
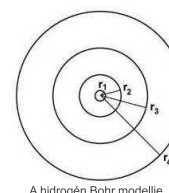
## Az atom energiája kvantumokban változik

Franck-Hertz kísérlet (1914)



A rácsfeszültséggel felgyorsított elektronok a Hg atomokkal való rugalmatlan ütközés során mozgási energiájukat diszkrét adagokban (“kvantum”) veszítik el.

## Bohr-féle atommodell



Bohr-féle posztulátumok\*

1. Kvantumfeltétel:

- \*Az atom elektronjai csak meghatározott pályákon keringhetnek.
- \*Ezek a pályák az elektron nem sugároz, energiája állandó.
- \*A pályákon keringő elektron impulzusmomentuma (perdület, L) a  $h/2\pi$  egész számú többszöröse:

$$L = mvr = n \frac{h}{2\pi}$$

$$r_n = n^2 r_1$$

$n$  = főkvantumszám. Az elektronpályák sugarai kiszámíthatóak. Az első pálya sugara  $r_1 = 5,3 \cdot 10^{-11}$  m (“Bohr-rádusz”). A további pályák sugarai:

2. Frekvenciafeltétel:

- \*Az atom csak akkor sugároz (i.e., fényt bocsát ki), ha az elektron az egyik pályáról a másikra ugrik.
- \*A kisugárzott energia nagysága a két pályaeenergia különbsége:

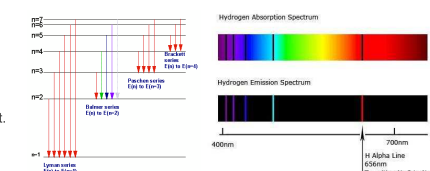
$$E_{foton} = h\nu = E_2 - E_1$$

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

A pályaeenergiák kiszámíthatóak. Az első pálya energiája  $E_1 = -13,6$  eV. A további pályaeenergiák:

Jelentőség

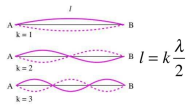
- Megmagyarázta a hidrogén spektrumvonalait. De csak a hidrogénét.



\*N.B.: posztulátum: alapkövetelmény, kikötés

# Az elektron mint hullám

Kvantálttság kifeszített húron  
kialakuló állóhullámokban

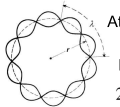


## Elektron mint hullám



Louis V. de Broglie (1892-1978)

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e v}$$



Atomi elektron mint  
állóhullám

Kvantumfeltétel:  
 $2\pi r = n\lambda = n \frac{h}{mv}$

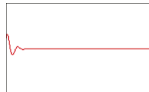
## Elektronhullám terjedési törvénye



Erwin Schrödinger (1887-1961)

### $\Psi$ (pszi) hullámfüggvény:

- $[\Psi(x,t)]$ : elektronhullám helytől (x) és időtől (t) függő amplitudóját adja meg.
- $\Psi^2$ : megadja az elektron találati valószínűségét.
- $\Psi^2$ : integrálva a teljes térre = 1 (i.e., az elektron valahol biztosan megtalálható).
- $\Psi$  a Schrödinger egyenlet segítségével megadja az elektron energiáját.
- Szabad elektronra  $\Psi$  szinuszfüggvény: impulzus pontosan meghatározott ( $p=h/\lambda$ ), hely (x) teljesen bizonytalan (határozatlansági reláció!)



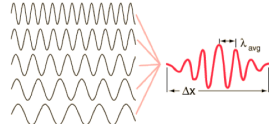
Szabadon terjedő részecske hullámfüggvénye  
(helyzeti energia = 0)

## Határozatlansági reláció



Werner Heisenberg (1901-1976)

A helymeghatározás pontosításához különböző hosszúságú ( $\lambda$ ) hullámokat szuperponálunk:



Minél szélesebb  $\lambda$  eloszlása ( $\Delta\lambda$ ), annál pontosabb a helymeghatározás ( $\Delta x$  csökken), azonban annál jobban szétkenődik az impulzus ( $\Delta p$  nő):

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}$$