

# ORVOSI BIOFIZIKA

## BEVEZETÉS

KELLERMAYER MIKLÓS

# A tudomány küldetése

A **valóság** minél pontosabb megismerése -  
a tudományos **igazságok** feltárása

“A valóság sokkal szebb, mint azt bárki elképzelhetné....!”  
Richard P. Feynman (Nobel-díjas)

Megközelítési módjaink:

### 1. Tudományos lelkiület:

- Rácsodálkozás (kíváncsiság)
- Kritikus gondolkodás (mások és önmagunk kritikája)
- Kérdés és kétkedés

### 2. Tudományos módszer:

- Megfigyelés
- Megfontolás
- Hipotézisfelállítás
- **Kísérlet**

„bármely tudományos igazság próbaköve a **kísérlet**”

## Orvosi Biofizika

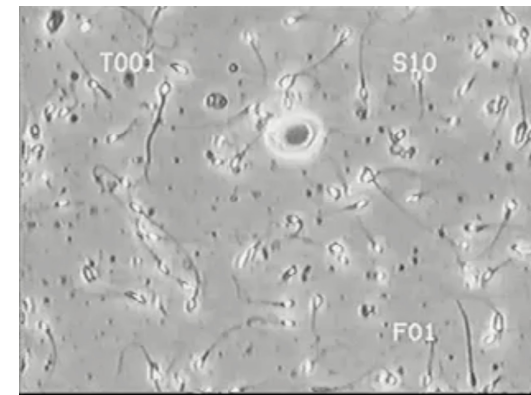
### Küldetése:

1. Orvosi és biológiai jelenségek, folyamatok *fizikai* leírása
2. *Fizikai* alapú orvosi módszerek megértése

### Módszertana:

- Az “élő” folyamatokat
1. számszerűsíti
  2. egyszerűsíti

## I. Biológiai jelenség fizikai leírása



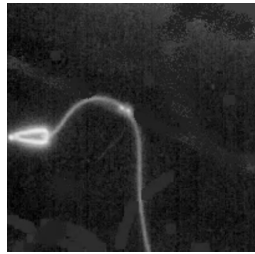
### Kérdések lehetnek például:

1. Mekkora erőt (F) kell kifejteni egy spermaticitának ahhoz, hogy adott (v) sebességgel mozogjon?
2. Hogyan történik mindez (mi a pontos mechanizmus)? Tudunk predikciós erejű modellt építeni?

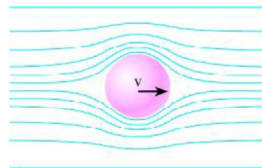
# A spermocita által érzékelt közegellenállás

Mekkora erőt ( $F$ ) kell kifejteni egy spermocitának ahhoz, hogy adott ( $v$ ) sebességgel mozogjon?

Spermium modell:  
kör keresztmetszetű tárgy



Stokes törvény:



$$F = \gamma v = 6r\pi\eta v$$

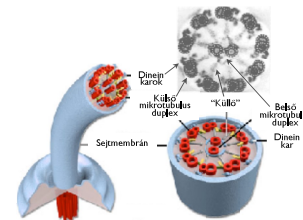
Súrlódási együttható:  $\gamma = 6r\pi\eta = 6 \cdot 1.6 \times 10^{-6}(\text{m}) \cdot \pi \cdot 10^{-3}(\text{Pas}) = 3 \times 10^{-8} \text{Ns/m}$

Erő:  $F = \gamma v = 3 \times 10^{-8} \text{Ns/m} \cdot 5 \times 10^{-5} \text{m/s} = 1.5 \times 10^{-12} \text{N} = 1.5 \text{pN}$

# Spermocita motilitás molekuláris mechanizmusa

Hogyan történik mindez (mi a pontos mechanizmus)? Tudunk predikciós erejű modellt építeni?

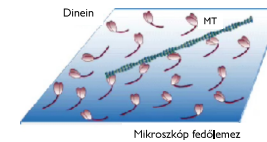
A flagellum szerkezete



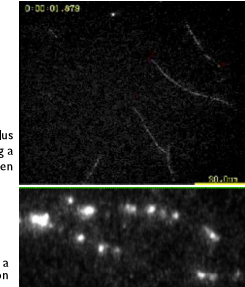
N.B.:

1. Gyűjtsük össze az összes releváns adatot a vizsgált rendszerről.
2. Fogalmazzunk meg tesztelhető kérdéseket.

Biomolekuláris funkcionális teszt:  
"In vitro motilitási próba"



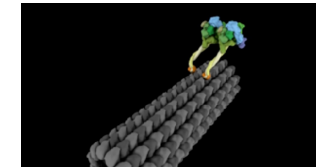
Fluoreszcencia videomikroszkópia



Mikrotubulus mozog a dineinen

Dinein mozog a mikrotubuluson

Prediktív modell



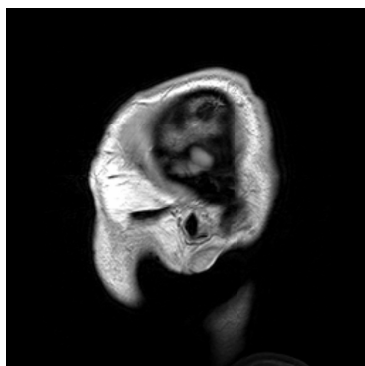
"Részeg tengerész" lépegetési mechanizmus

N.B.:

1. Modell - megjeleníti a rendszer bizonyos fontos (de nem az összes) tulajdonságát.
2. Prediktív - általános körülményekre vonatkozó állításokat tud tenni.

## 2. Fizikai alapú orvosi módszer megértése

Hogy működik az MRI?

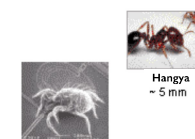


Kérdések lehetnek például:

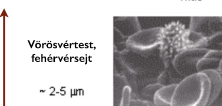
1. Ez micsoda? (Magnetic Resonance Imaging)
2. Milyen fizikai jelenségek kerülnek alkalmazásra? (mágnesség, sugárzások, stb.)
3. Mit mutat meg az MRI az emberi szervezetről? (szerkezet, működés, stb.)

## I. Számszerűsítsünk...! Biomolekuláris rendszerek méretskálája

Termodinamika



Hangya ~ 5 mm  
Poratka 200 µm



Mezokála

Kvantumkémia

Kvantumfizika

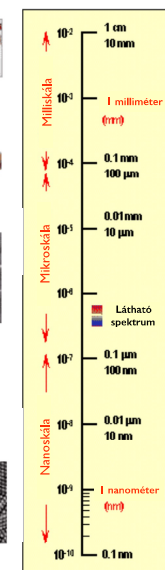
$10^{23}$  Atom

$10^{10}$  Atom

$10^3$  Atom

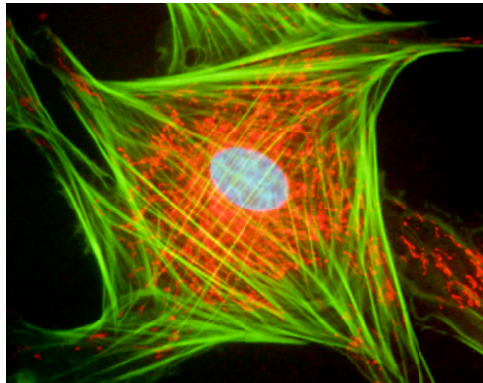
$10^1$  Atom

$10^0$  Atom



## 2. Egyszerűsítsünk...! Az élő sejt (és egy molekula) modellje

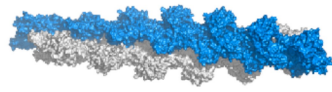
Rudolf Virchow (1855): "Omnis cellula e cellula"



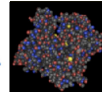
Egyszerűsített  
sejtmmodell: kocka



	<b>Sejt:</b> 20 $\mu\text{m}$ oldalalú kocka	<b>Analógia - Tanterem:</b> 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	~ $10^9$	~ $10^9$
Kálium ionok átlagos távolsága	~20 nm	~2 cm



Aktin filamentum ( $d=7$  nm)



G-aktin  
( $d=5$  nm,  
 $cc \sim 100 \mu\text{M}$ )



Kálium ion  
( $d=0.15$  nm,  
 $cc \sim 150 \text{ mM}$ )

A modell hiányosságai:

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

## Orvosi biofizika: előadástematika

### I. félév

1. Bevezető. Sugárzások.
2. Geometria optika
3. Hullámoptika
4. A fény kettős tulajdonsága
5. Anyagszerkezet, anyaghullám
6. Sokrészecskés rendszerek. A Boltzmann-eloszlás. Folyadékok
7. Gázok, szilárd anyagok
8. Fényszóródás, abszorpció
9. Termikus sugárzás. Lumineszcencia.
10. Fényerősítés. Lézer
11. Atommag. Radioaktivitás
12. Dozimetria
13. Nukleáris medicina
14. Jelfeldolgozás. Elektromos alapáramkörök. Jelátalakítás

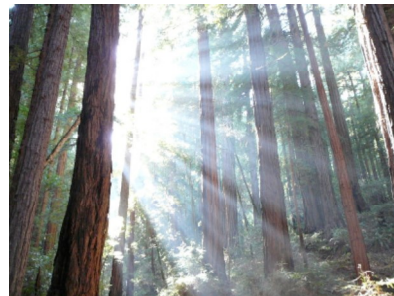
### II. félév

1. Röntgensugárzás előállítása és tulajdonságai
2. Röntgendiagnosztikai alapok
3. Termodinamika - egyensúly, változás, főtételek
4. Diffúzió, Brown-mozgás, Ozmózis
5. Folyadékok és gázok áramlása. A vér mint folyadék
6. Bioelektromosság. Nyugalmi potenciál
7. Hang, ultrahang
8. Érzékszervek biofizikája, látás, hallás
9. Az élő anyag építőkövei: víz, makromolekulák, szupramolekuláris rendszerek
10. A biológiai mozgás molekuláris mechanizmusai. Biomechanika, biomolekuláris és szöveti rugalmasság
11. A biomolekuláris szerkezet és dinamika vizsgálómódszerei. Rtg-diffrakció, tömegspektrometria, IR spektroszkópia
12. A biomolekuláris szerkezet és dinamika vizsgálómódszerei. Az MRI alapjai
13. A vérkeringés és szívműködés biofizikája
14. A légzés biofizikája. A fizikális vizsgálat biofizikai alapjai

Komplexitás

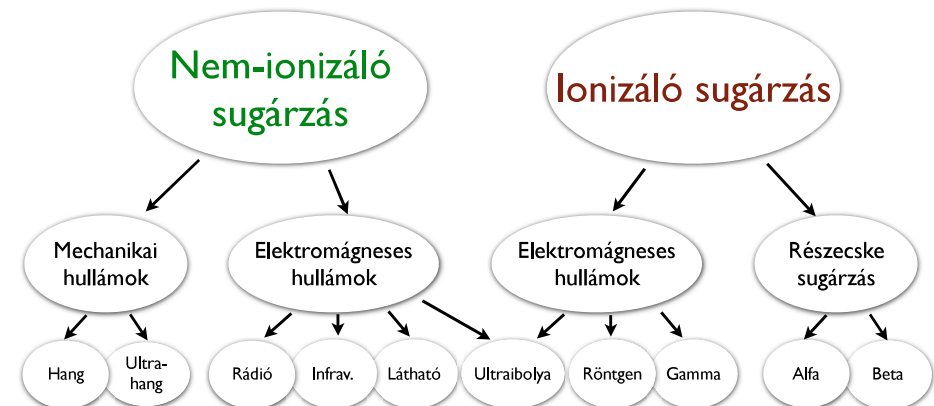


## Sugárzások: mindenütt



Forrás → Sugárzás → Besugárzott test

## Sugárzások fajtái



# Minden sugárzásban **energia** terjed

Hullámok vagy részecskék formájában.

Energia,  $E$ :  $[E] = \text{J (Joule)}$

Energia-áram = teljesítmény:  $P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$   $[P] = \text{W (Watt)}$

$\Delta E$ : a  $\Delta t$  idő alatt szállított energia

Energiaáram-sűrűség = teljesítmény-sűrűség:  $[J] = \text{W/m}^2$

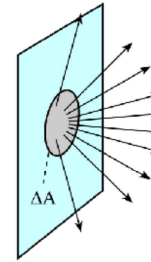
$J = \frac{P}{A} = \frac{1}{A} \frac{\Delta E}{\Delta t}$

A: felület (az energiaterjedés irányára merőleges)

# A radiometria mennyiségei

Kisugárzott felületi teljesítmény

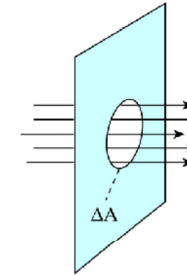
$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$



Egységnyi felület által  $2\pi$  térszögben mekkora a kisugárzott teljesítmény

Sugárintenzitás

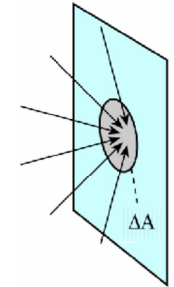
$$J_E = \frac{\Delta I_E}{\Delta A} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$



Egységnyi felületen mekkora teljesítmény áramlik át

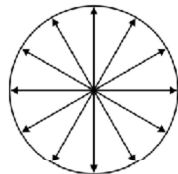
Besugárzott felületi teljesítmény

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

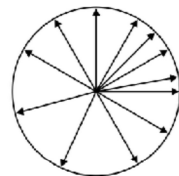


Egységnyi felületre eső teljesítmény, ha az minden irányból érkezik

# A sugárzás irányfüggősége

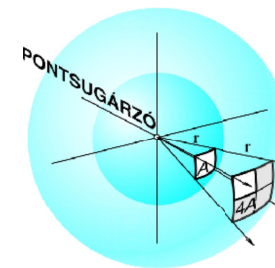


izotróp sugárzó



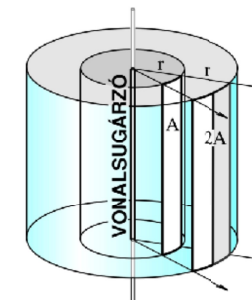
anizotróp sugárzó

# Felületi teljesítmény távolságfüggése különböző geometriájú sugárforrások esetén



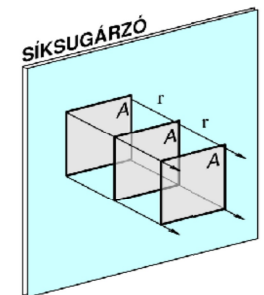
$$A_{\text{gömb}} \sim r^2$$

$$E_{\text{be}} \sim 1/r^2$$



$$A_{\text{henger}} \sim r$$

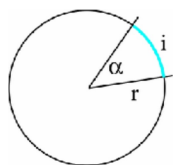
$$E_{\text{be}} \sim 1/r$$



$$A = \text{konstans}$$

$$E_{\text{be}} = \text{konstans}$$

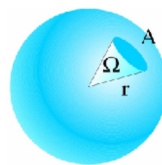
# Radián, szteradián



$$\alpha = \frac{i}{r}$$

ívmérték (radián):  
ív hossz/sugár;  
teljes kör:

$$2\pi r/r = 2\pi$$



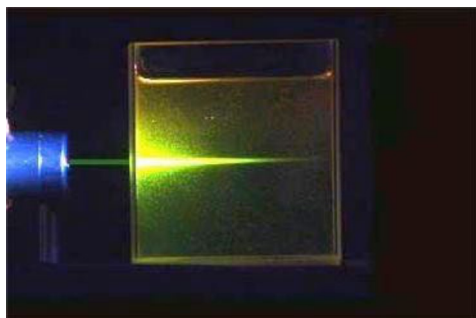
$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

térszög (szteradián):  
felület/sugárnégyzet;  
teljes térszög:

$$4\pi r^2/r^2 = 4\pi$$



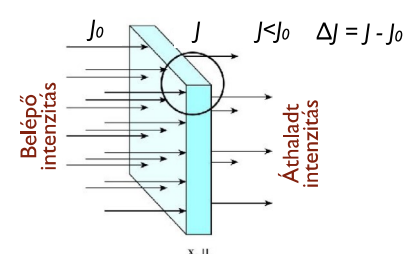
Miközben a sugárzás áthalad az anyagon, intenzitása csökken



(A kilépő sugárzás "gyengébb" mint a belépő)

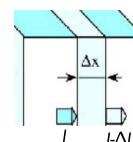
Le tudjuk írni ezt a jelenséget egyszerű törvényszerűséggel?

## Általános sugárgyengítési törvény



Általánosan elmondható, hogy a gyengülés mértéke függ a belépő intenzitástól, az úthossztól és az anyagi minőségtől:

$$\Delta J \sim J; \quad \Delta J \sim \Delta x; \quad \Delta J \sim \mu$$

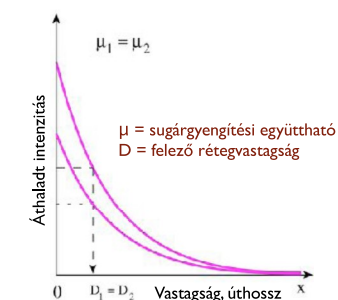
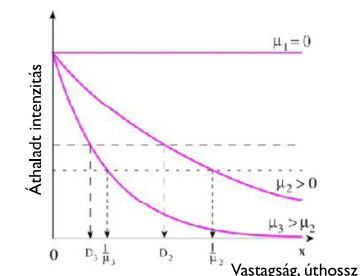


A mennyiség ( $J$ ) és annak változása ( $\Delta J$ ) egymással arányosak:

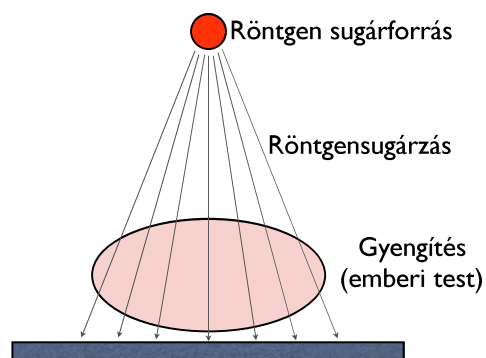
$$\Delta J = -\mu \Delta x J$$



Exponenciális függvény:  
 $J = J_0 e^{-\mu x}$



## Orvosi jelentőség



Detektor (film, szenzor, képernyő)



Mellkas röntgen felvétel