

# Orvosi Biofizika

## Bevezetés

Kiss Balázs

Prof. Kellermayer Miklós nyomán

# 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 lelkület:**

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

**2. Tudományos módszer:**

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

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

# Orvosi Biofizika

## **Küldetése:**

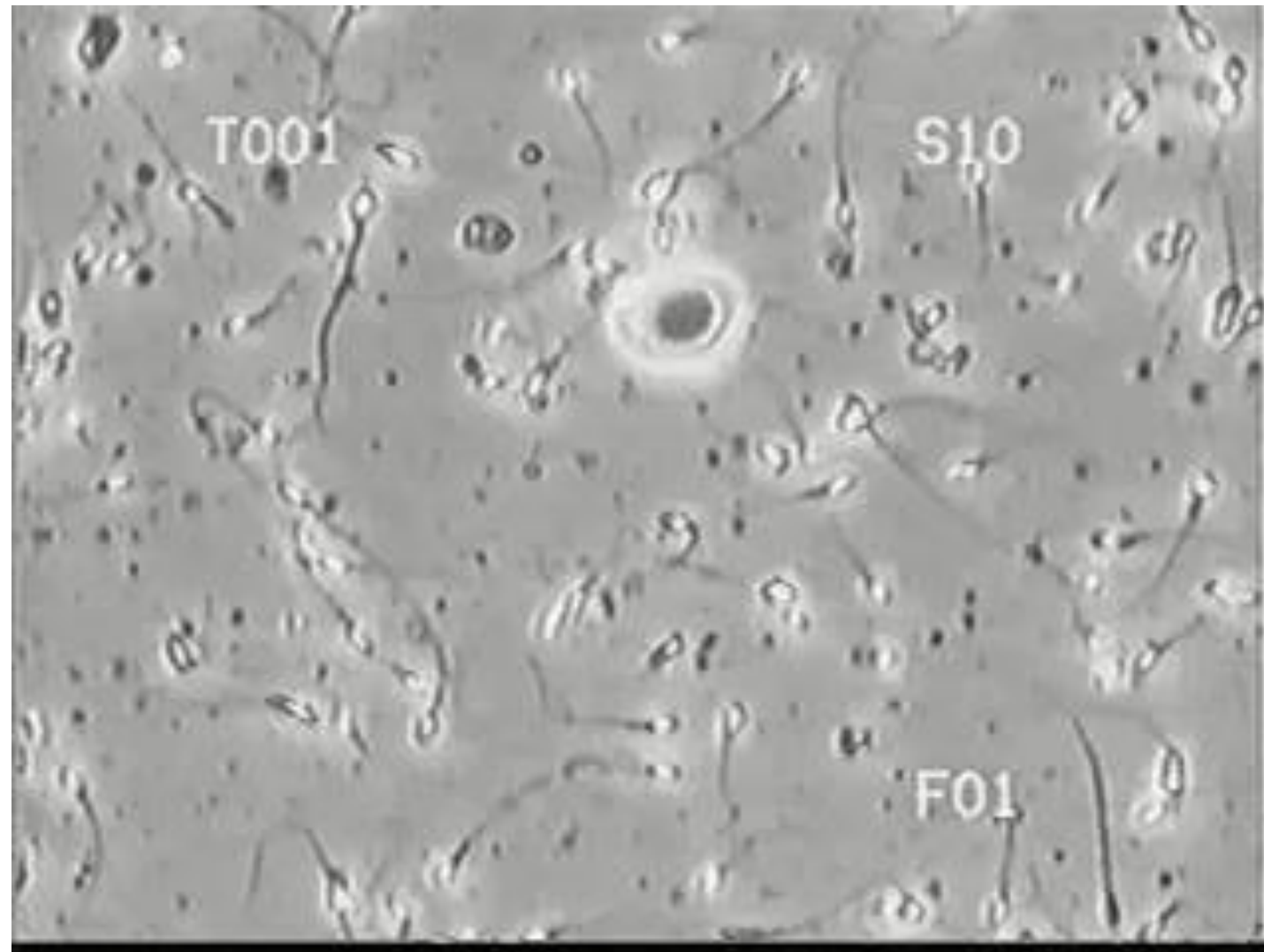
1. Orvosi és biológiai jelenségek, folyamatok *fizikai* leírása
2. *Fizikai* alapú orvosi módszerek megértése

## **Módszertana:**

Az “élő” folyamatokat

1. számszerűsíti
2. egyszerűsíti

# 1. Biológiai jelenség fizikai leírása



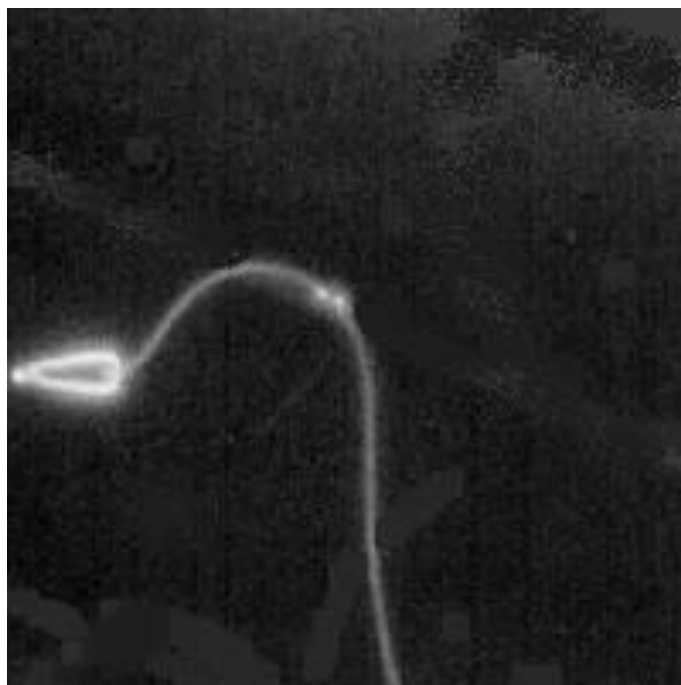
## **Kérdések lehetnek például:**

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

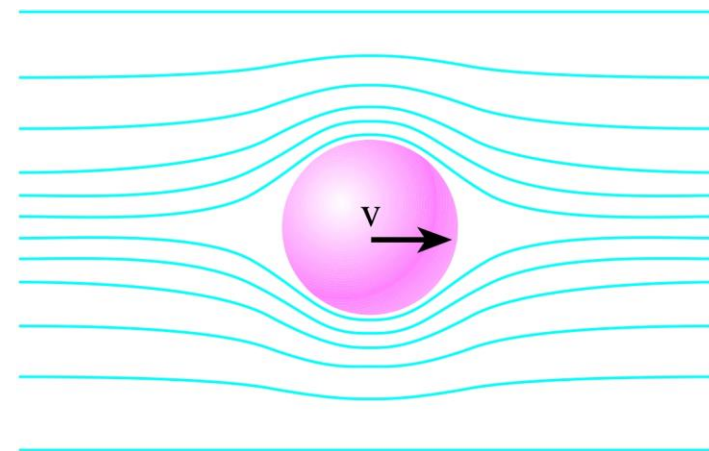
# A spermocita által érzékelt közegellenállás

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

Spermium modell:  
kör keresztmetszetű tárgy



Stokes törvény:



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

Súrlódási  
együttható:

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

Erő:

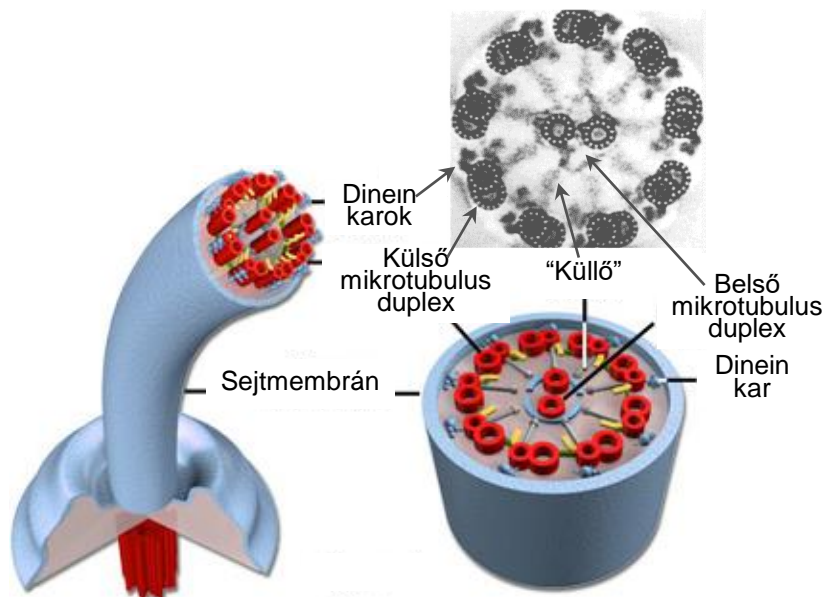
$$F = \gamma = 3 \times 10^{-8} Ns/m \cdot 5 \times 10^{-5} m/s = 1.5 \times 10^{-12} N = 1.5 pN$$



# Spermatoocita motilitás molekuláris mechanizmusa

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

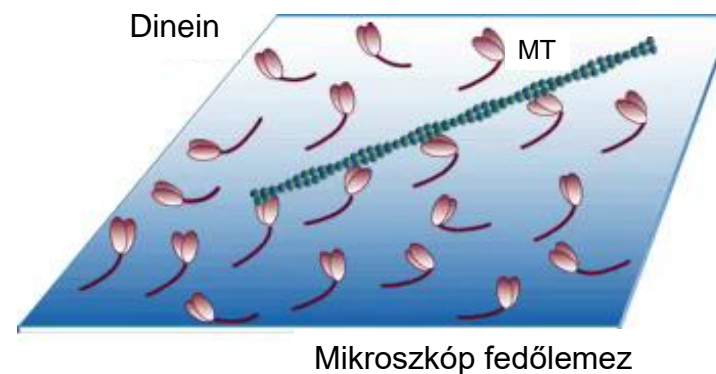
## A flagellum szerkezete



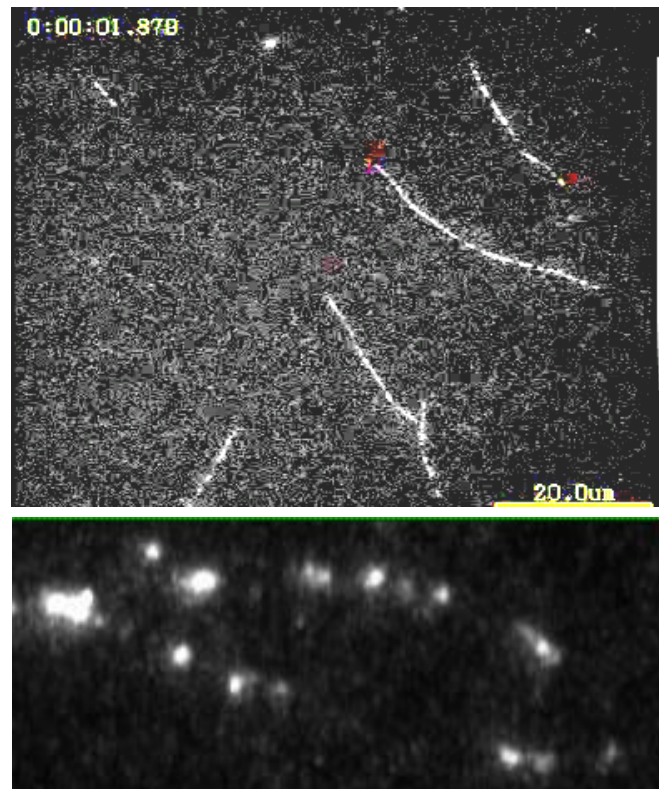
N.B.:

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

## Biomolekuláris *funkcionális* teszt: "In vitro motilitási próba"



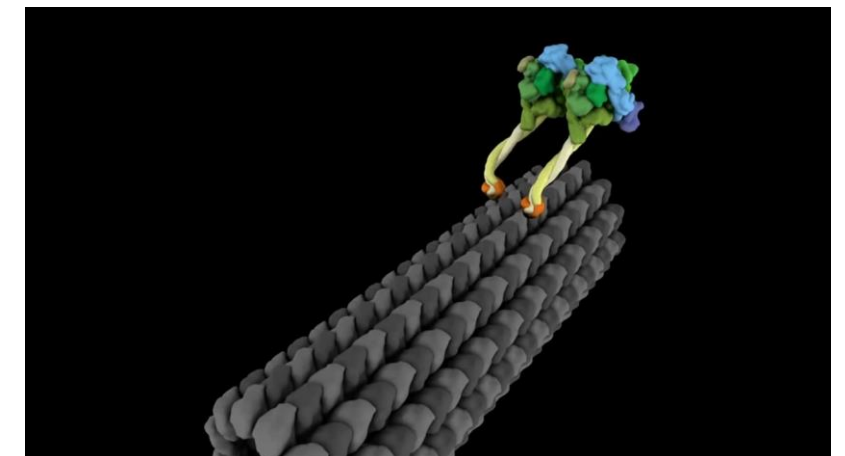
## Fluoreszcencia videomikroszkópia



Mikrotubulus  
mozog a  
dineinen

Dinein mozog a  
mikrotubuluson

## Prediktív modell



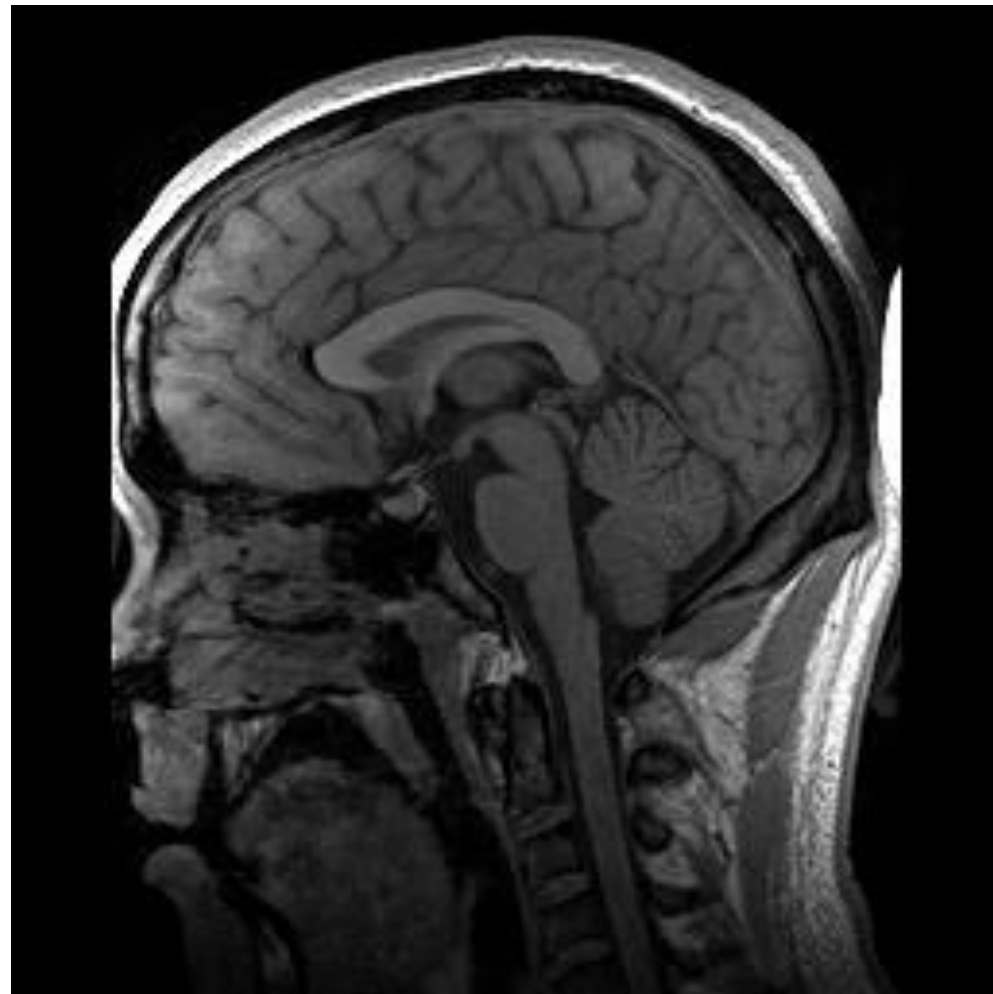
"Részeg tengerész" lépegetési  
mechanizmus

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

## MRI



### **Kérdések lehetnek például:**

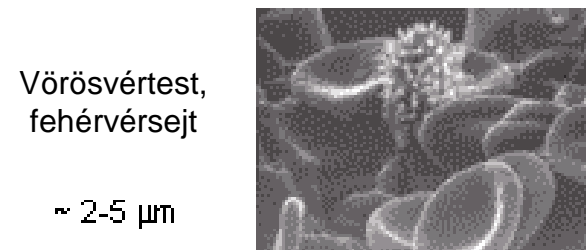
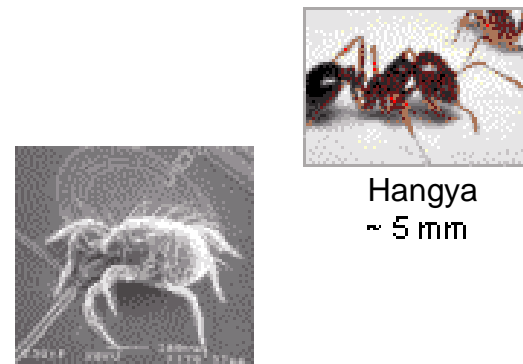
1. Ez micsoda? (Magnetic Resonance Imaging)
2. Milyen fizikai jelenségek kerülnek alkalmazásra? (mágnesség, sugárzások, stb.)
3. Mit mutat meg az MRI az emberi szervezetről? (szerkezet, működés, stb.)

# 1. Számszerűsítsünk...!

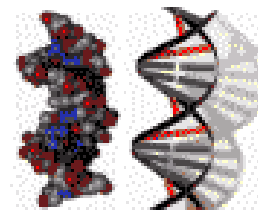
## Biomolekuláris rendszerek méretskálája

Termodinamika

$10^{23}$  Atom

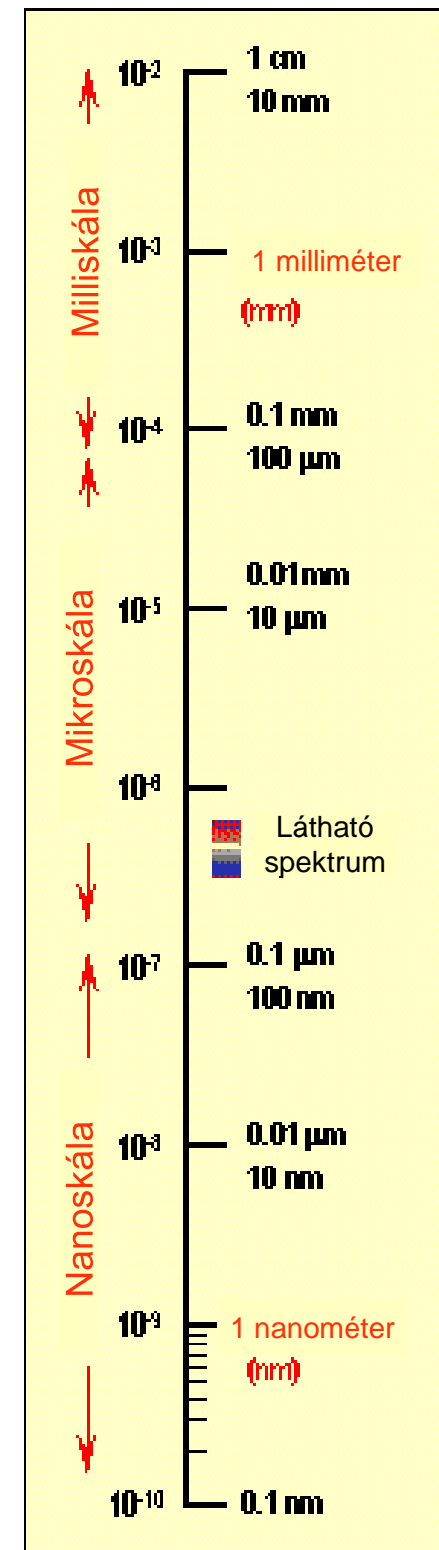
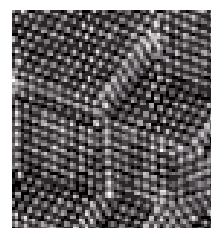


Mezoscála



Kvantumkémia

Kvantumfizika



$10^{10}$  Atom

$10^3$  Atom

$10^1$  Atom

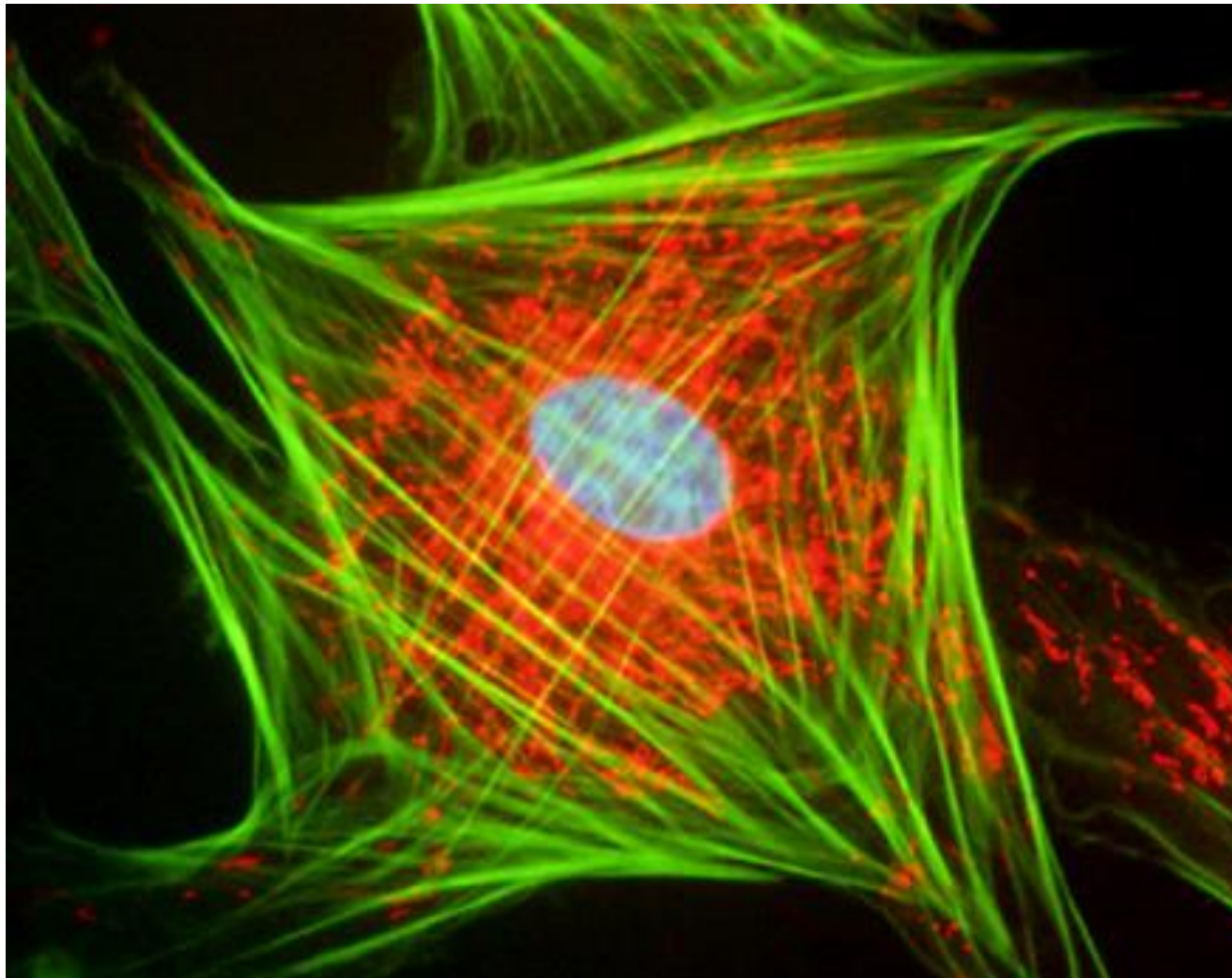
$10^0$  Atom



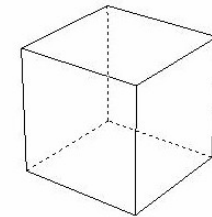
# 2. Egyszerűsítsünk...!

## Az élő sejt (és egy molekula) modellje

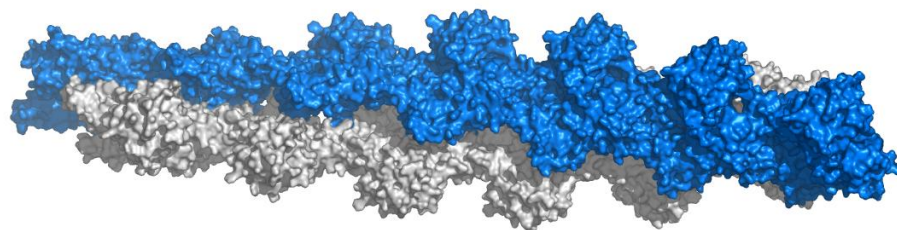
Rudolf Virchow (1855): “*Omnis cellula e cellula*”



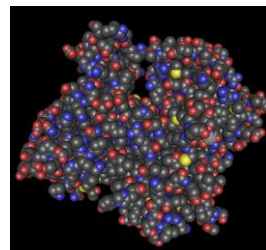
Egyszerűsített  
sejtmodell: kocka



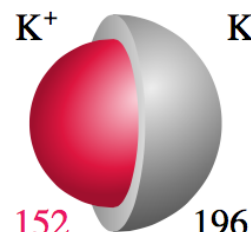
	<b>Sejt:</b> 20 $\mu\text{m}$ oldalfalú kocka	Analógia - <b>Tanterem:</b> 20 m oldalfalú kocka
Aktinmolekula mérete	5 nm	5 mm
Aktinmolekulák száma	~500 millió	~500 millió
Aktin átlagos távolsága	~25 nm	~25 mm
Kálium ion mérete	0.15 nm	0.15 mm
Kálium ionok száma	~ $10^9$	~ $10^9$
Kálium ionok átlagos távolsága	~20 nm	~2 cm



Aktin filamentum ( $d=7\text{ nm}$ )



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



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

A modell hiányosságai:

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

# Orvosi biofizika: előadástermatika

## I. félév

1. Bevezető. Sugárzások.
2. Geometriai 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



H-atom emissziós spektruma



Orion Nebula

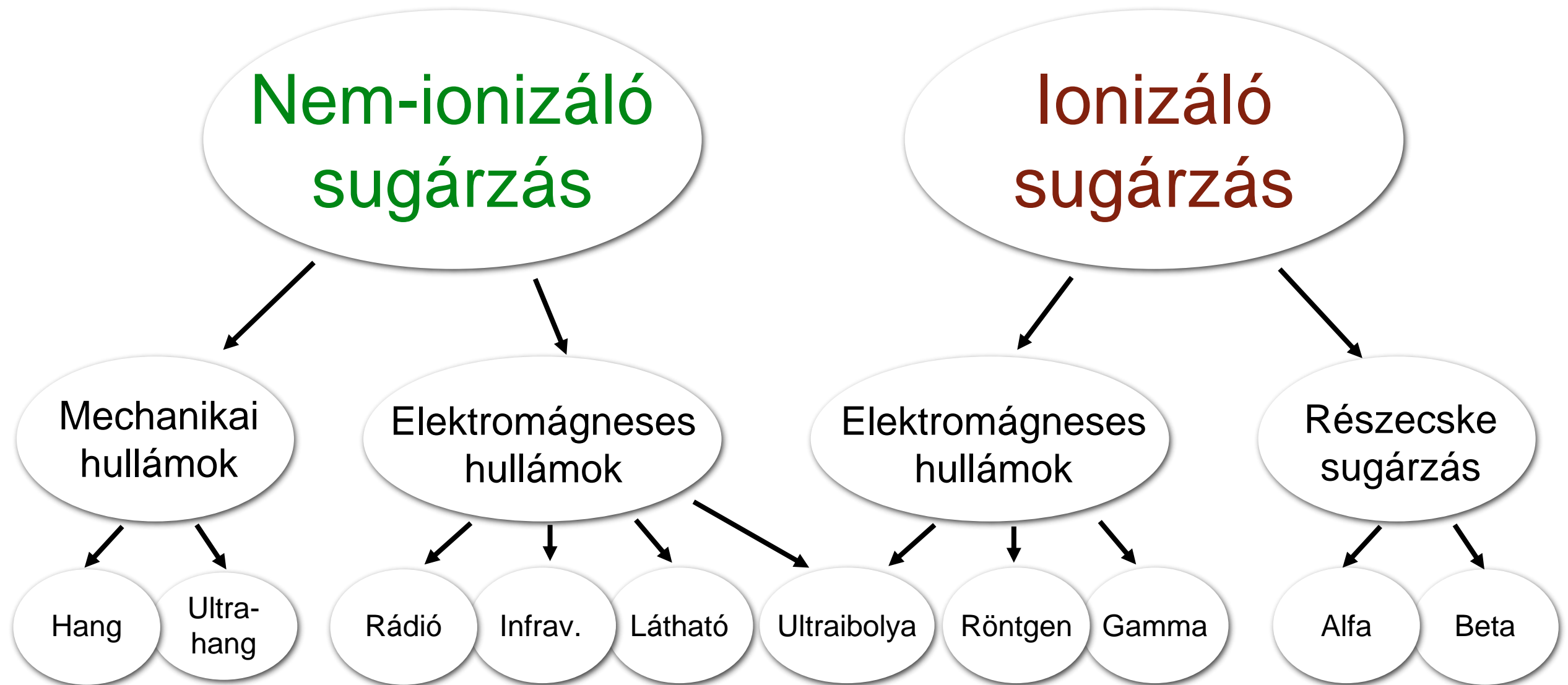


Krepuszkuláris sugarak



Forrás → Sugárzás → Besugárzott test

# Sugárzások fajtái





# Minden sugárzásban *energia* terjed

Hullámok vagy részecskék formájában.

Energia,  $E$ :

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

Energia-áram = teljesítmény:

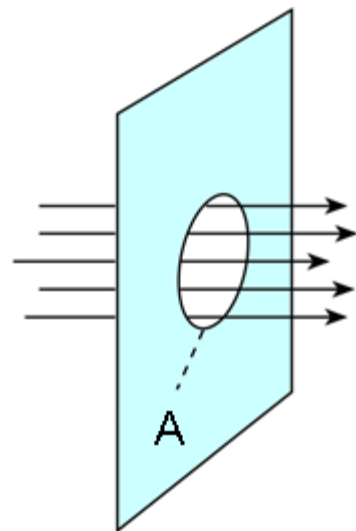
$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

$$[P] = \text{W (Watt)}$$

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

Energiaáram-sűrűség = teljesítmény-sűrűség:

$$[J] = \text{W/m}^2$$



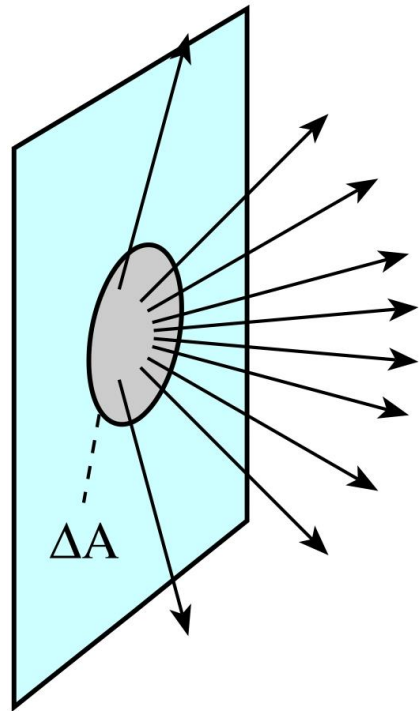
$$J = \frac{P}{A} = \frac{1}{A} \frac{\Delta E}{\Delta t}$$

A: felület (az energiaterjedés irányára merőleges)

# A radiometria mennyiségei

Kisugárzott felületi teljesítmény

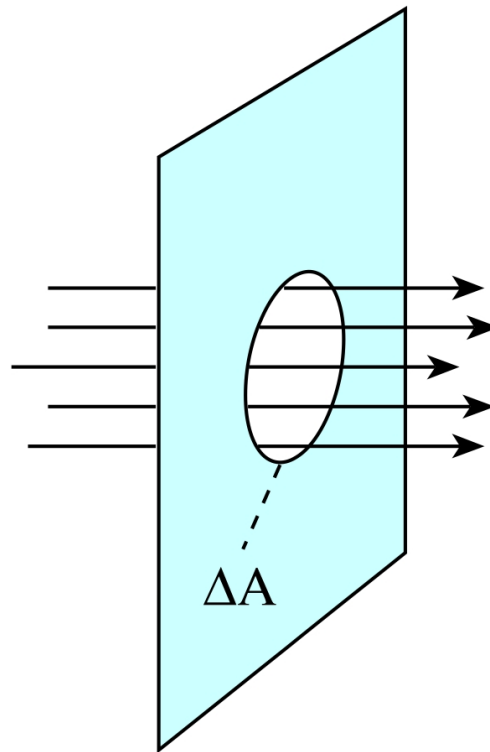
$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$



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

Sugárintenzitás

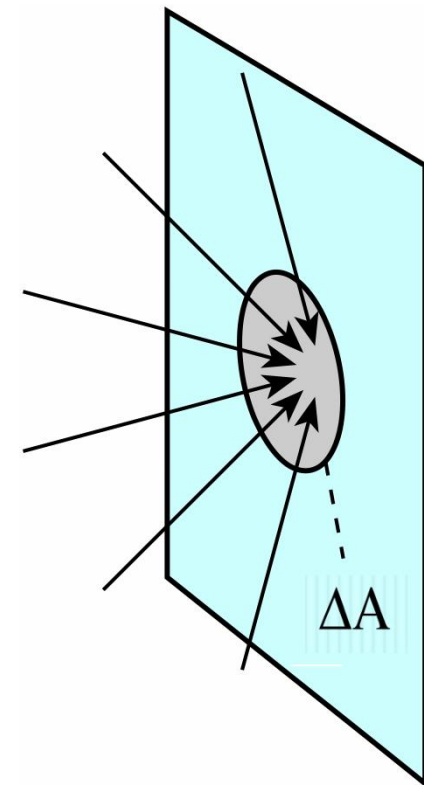
$$J_E = \frac{\Delta I_E}{\Delta A} \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right]$$



Egységnyi felületen mekkora teljesítmény áramlik át

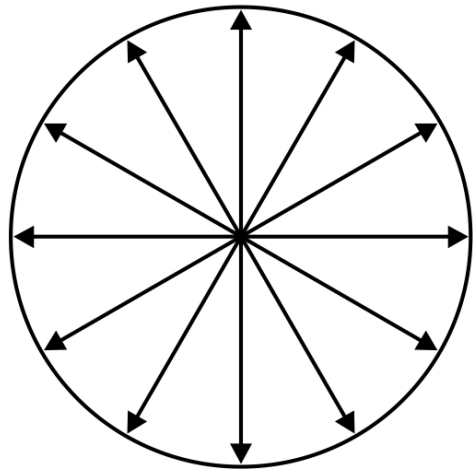
Besugárzott felületi teljesítmény

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

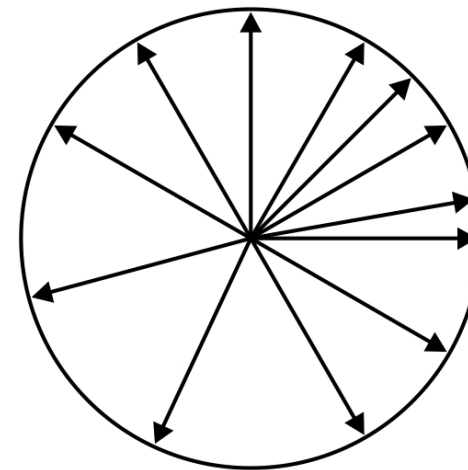


Egységnyi felületre eső teljesítmény, ha az minden irányból érkezhethet

# A sugárzás irányfüggősége



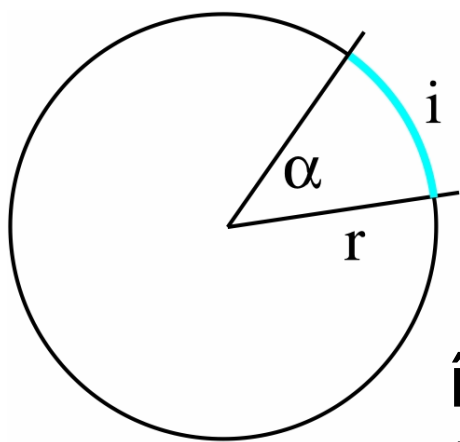
izotróp sugárzó



anizotróp sugárzó

---

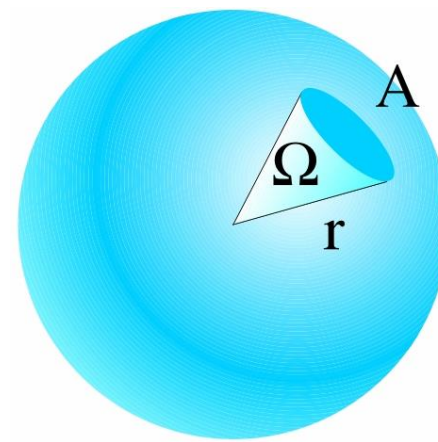
## Radián, szteradián



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

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

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

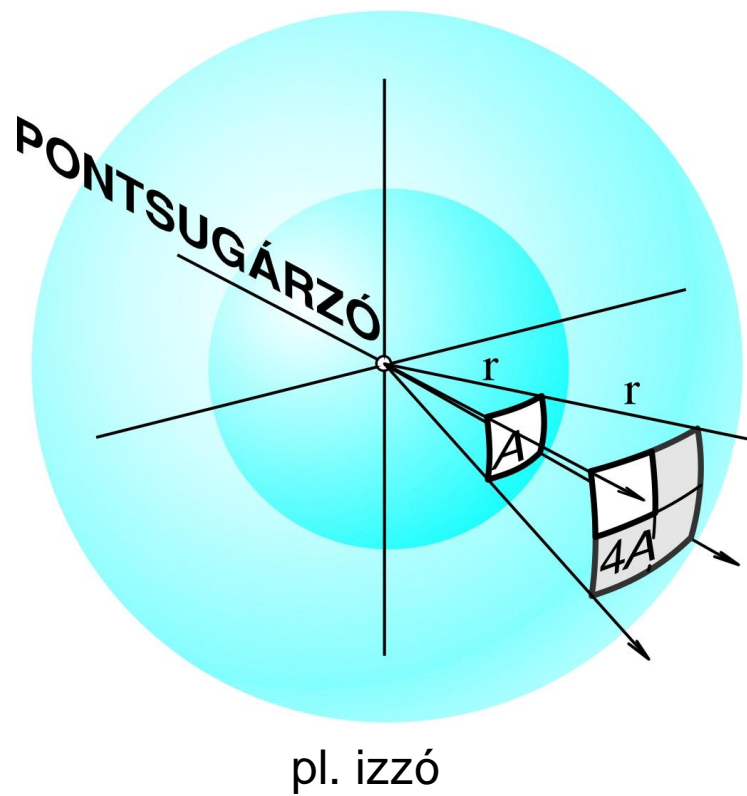


$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

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

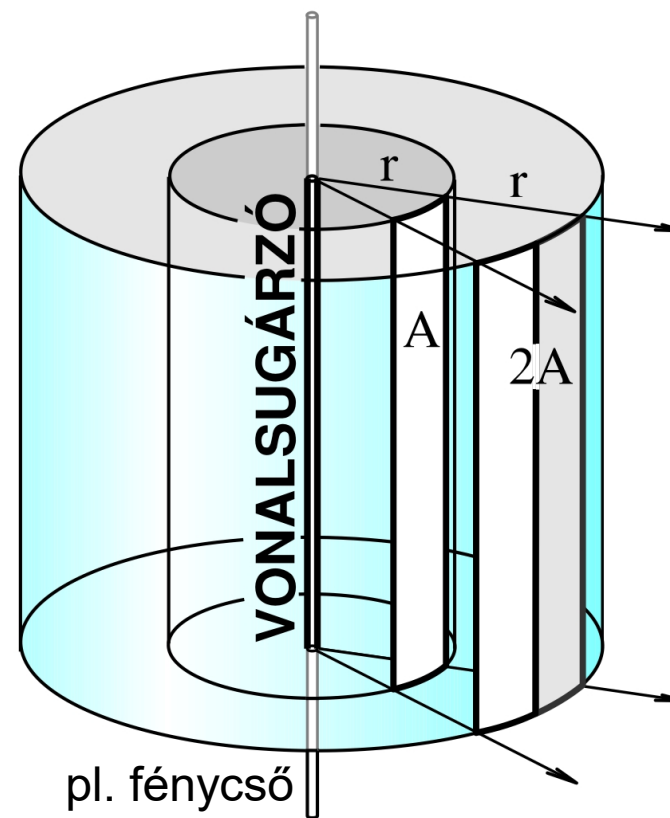
$$4r^2\pi/r^2 = 4\pi$$

# Felületi teljesítmény távolságfüggése különböző geometriájú sugárforrások esetén



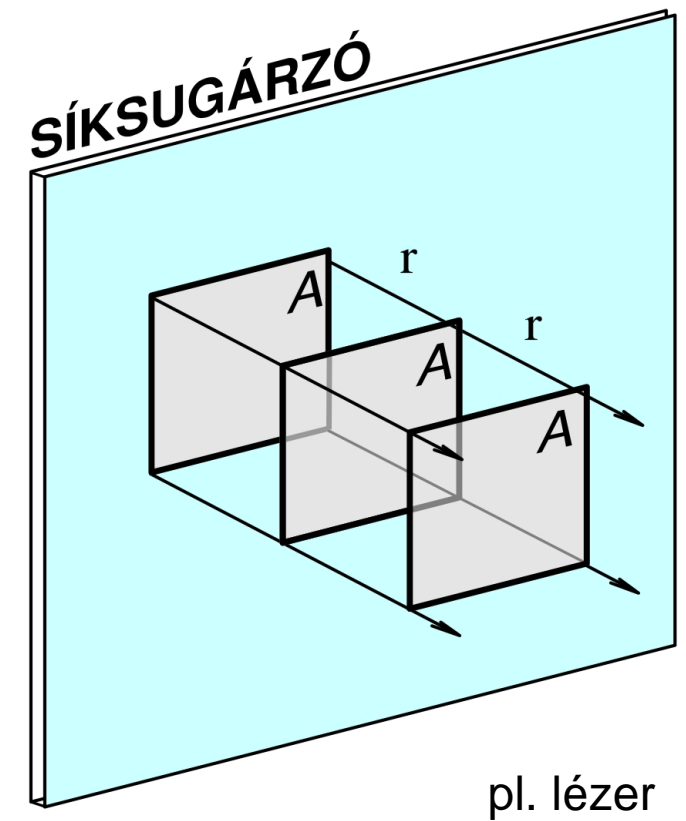
$$A_{\text{gömb}} \sim r^2$$

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



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

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

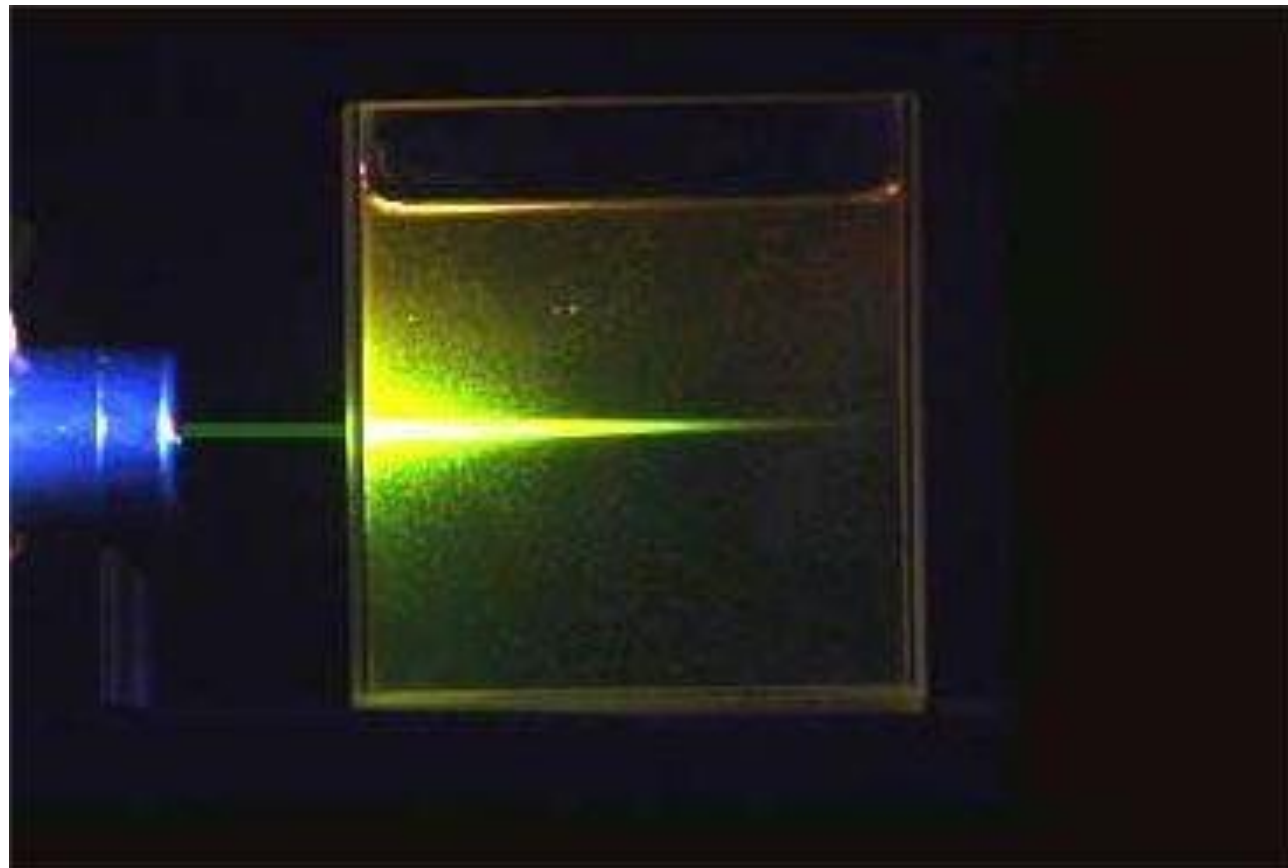


$$A = \text{konstans}$$

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



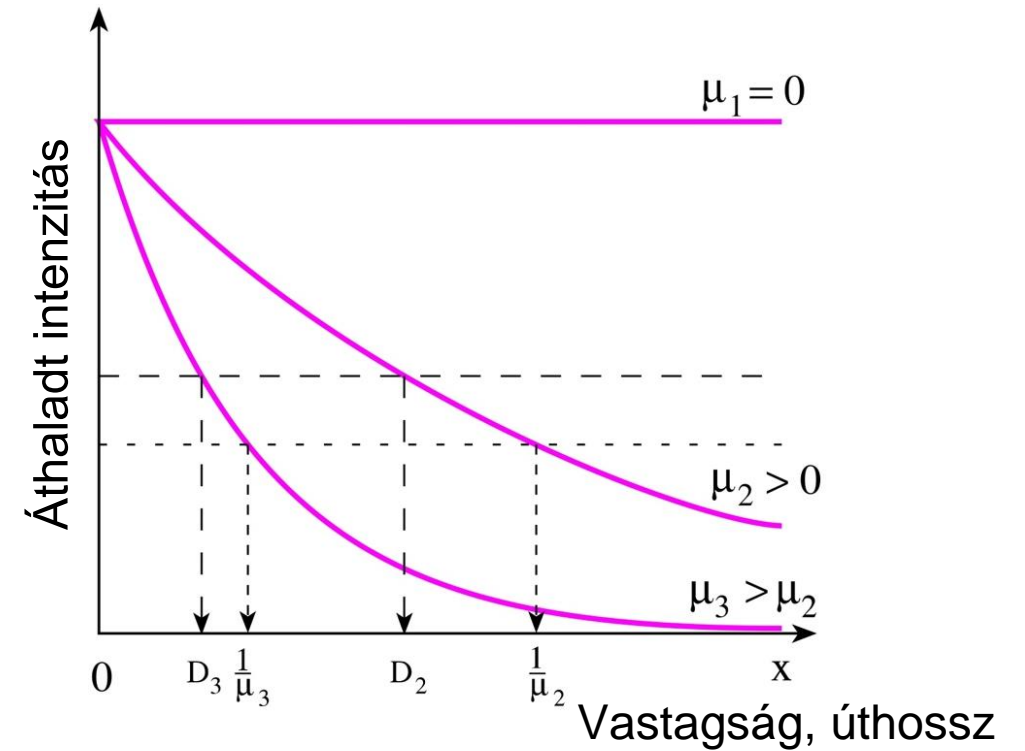
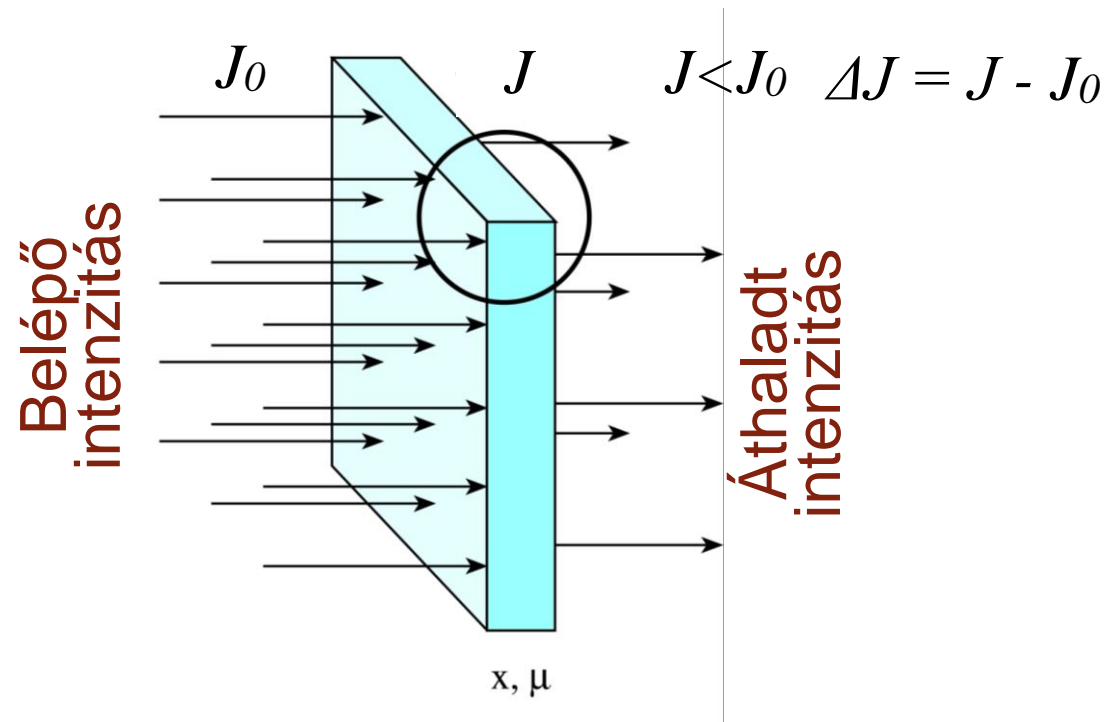
# Miközben a sugárzás áthalad az anyagon, intenzitása csökken



(A kilépő  
sugárzás  
“gyengébb”  
mint a belépő)

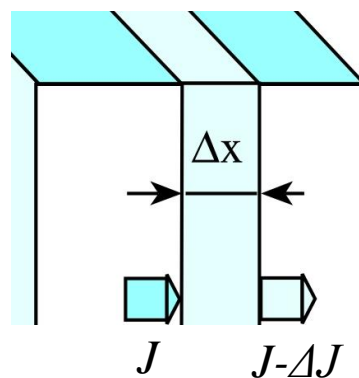
Le tudjuk írni ezt a jelenséget  
egyszerű törvényszerűséggel?

# Általános sugárgyengítési törvény



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

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



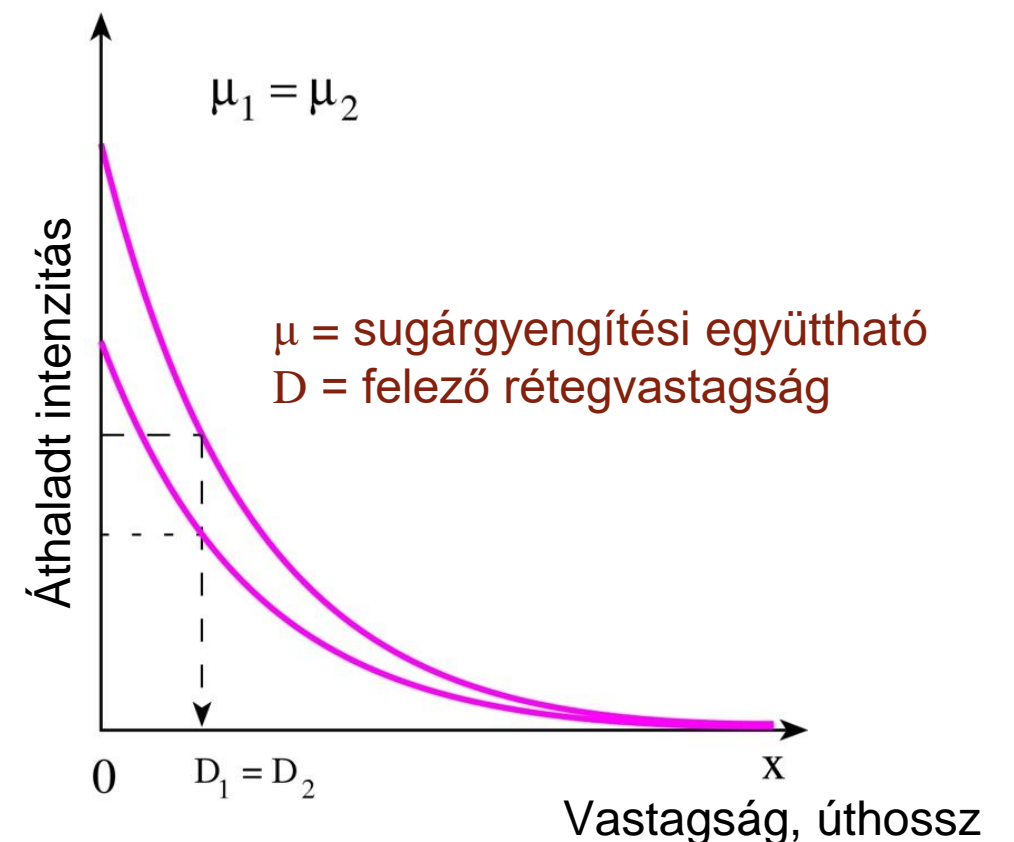
A mennyiség ( $J$ ) és annak változása ( $\Delta J$ ) egymással arányosak:

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



Exponenciális függvény:

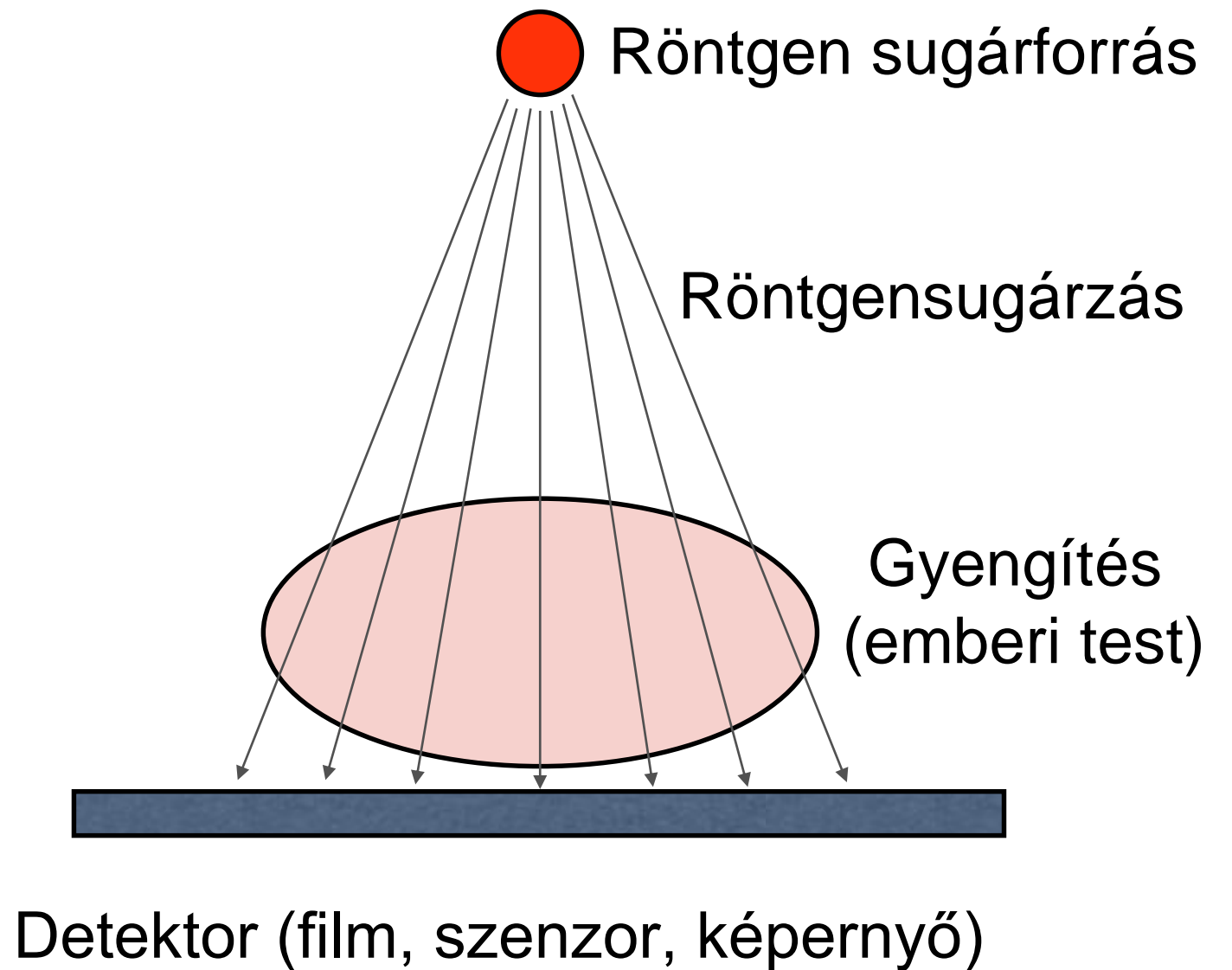
$$J = J_0 e^{-\mu x}$$



# Orvosi jelentőség



Mellkas röntgen felvétel



# FEEDBACK