

# Biofizika

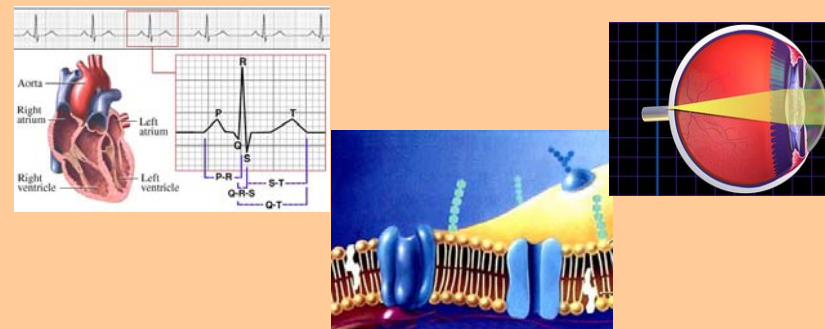
Csik Gabriella

[gabriella.csik@eok.sote.hu](mailto:gabriella.csik@eok.sote.hu)

## Mi a biofizika tárgya?

Biológiai jelenségek fizikai leírása/értelmezése

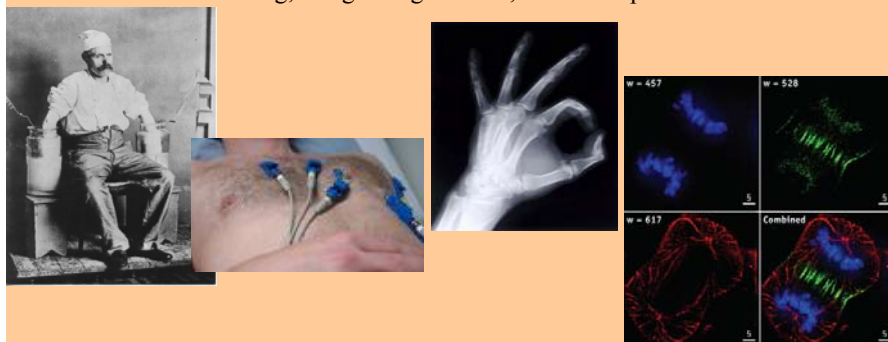
Pl. szívműködés, membránok szerkezete és működése, érzékelés stb.



## Mi a biofizika tárgya?

A biológiában és orvostudományban alkalmazott fizikai módszerek tárgyalása

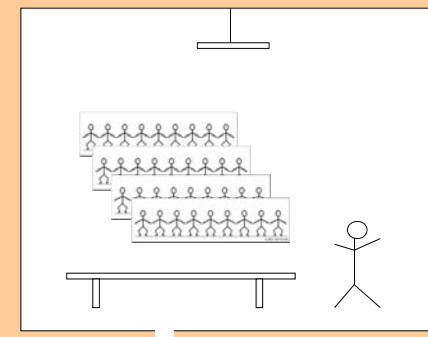
Pl. ekg, röntgendiagnosztika, mikroszkópos technikák stb.



## Sugárzások

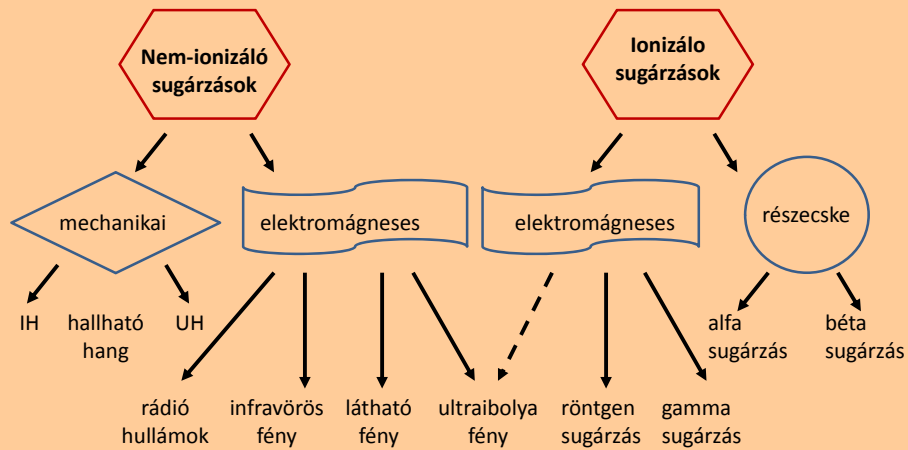
Milyen példákat tapasztalunk magunk körül?

hang  
fény  
rádióhullámok  
magsugárzások



Sugárzás: energia kibocsátás és terjedés

# Sugárzások



## A fény természete

Hullám?



**Christiaan Huygens**

(1629 - 1695)

*Traité de la lumière*  
1690

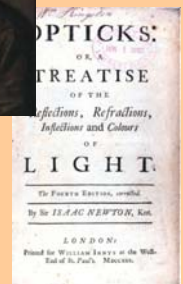
Részecske?



**Isaac Newton**

(1642 - 1727)

*Opticks*  
1704



## Hullámok általános leírása

Rezgés v. oszcilláció következtében kialakuló,  
térben és időben periódikus jelenség, amelyben energia terjed



de a hullámok különbözhetnek  
az energia fajtája  
az energia mennyisége  
a terjedés mechanizmusa szerint

A hullám forrása szerint:

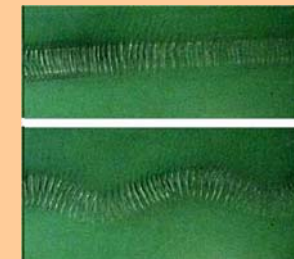
mechanikai

elektromágneses

Az oszcilláció relatív iránya szerint:

longitúdinalis

transzverzális



## Jellemző mennyiségek

Térbeli periodicitás - hullámhossz

$\lambda$  [m] vagy [nm]

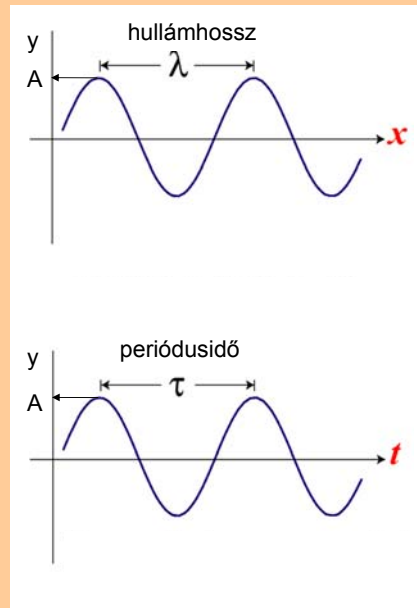
Maximális kitérés - amplitúdó

$$E \sim A^2$$

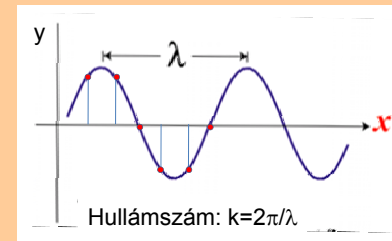
Időbeli periódicitás

- periódusidő  
- frekvencia

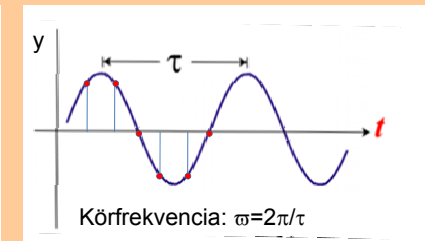
$$f = \frac{1}{\tau} \left[ \frac{1}{s} \right]$$



Fázis : kitérés állapot



$$\phi(x) = kx + \phi_0$$



$$\phi(t) = \omega t + \phi_0$$

$$\phi = \omega t + kx + \phi_0$$

## A fény természete

Hullám?

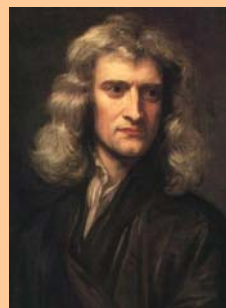


**Christiaan Huygens**

(1629 - 1695)

*Traité de la lumière*  
1690

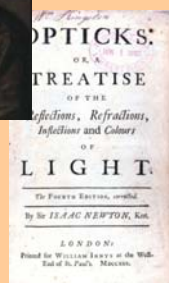
Részecske?



**Isaac Newton**

(1642 - 1727)

*Opticks*  
1704

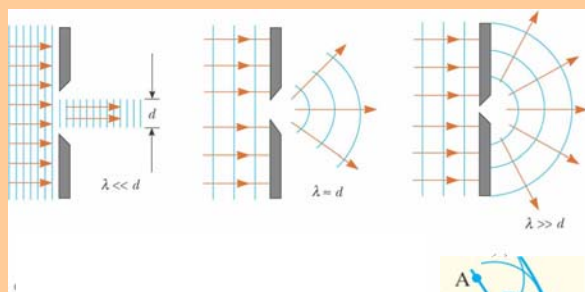


Hullámtermészetet bizonyító jelenségek:

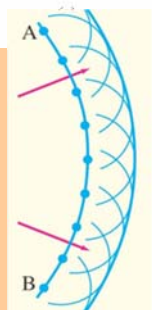
- elhajlás
- szuperpozíció/interferencia
- polarizáció



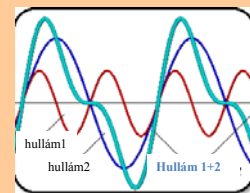
## Elhajlás



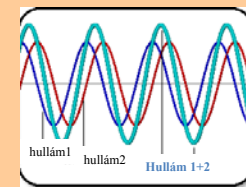
Huygens-elv : egy hullámfelület minden pontjából elemi hullámok indulnak ki. Az új hullámfelület ezen hullámok burkolófelülete.



**Szuperpozíció:** az eredendő amplitúdó a találkozó hullámok amplitúdóinak összege, azaz a tér egyes pontjaiban a jelenlevő rezgések összeadódnak



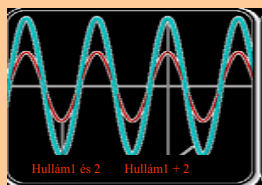
nem azonos frekvencia



azonos frekvencia

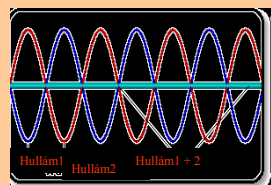
## Interferencia - koherens hullámok szuperpozíciója

A két hullám összegződése időben állandó hullámképet (intenzitáseloszlást) hoz létre



azonos fázis  
pozitív interferencia

$$\Phi = 0^\circ$$



ellentétes fázis  
negatív interferencia

$$\Phi = 180^\circ$$



Thomas Young  
(1773-1829)

A fény  
hullám vagy részecske?

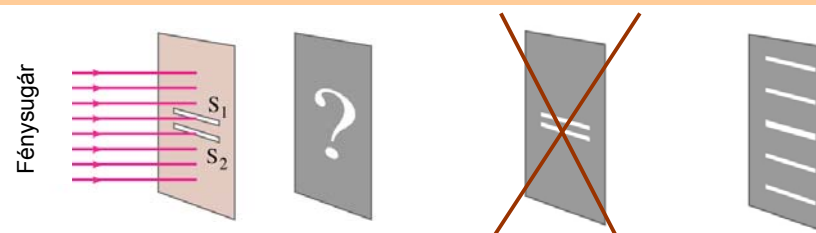
Kísérlet két réssel



Mit látunk az ernyőn?

ha részecske

ha hullám

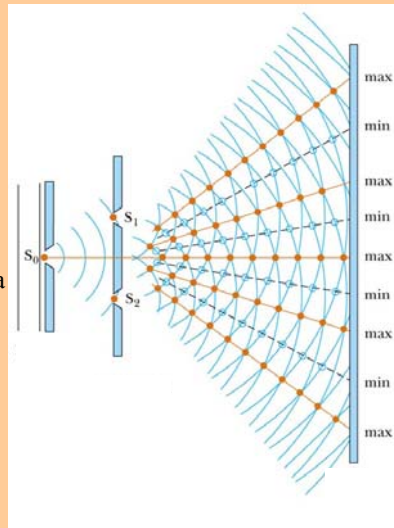


## Young kísérletének magyarázata

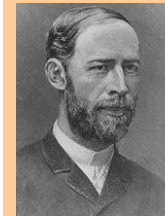
$S_1$  és  $S_2$  rések elemi hulláforrások

A résekből kiinduló hullámok ugyanabból a hullámfrontból származnak, tehát azonos fázisban vannak

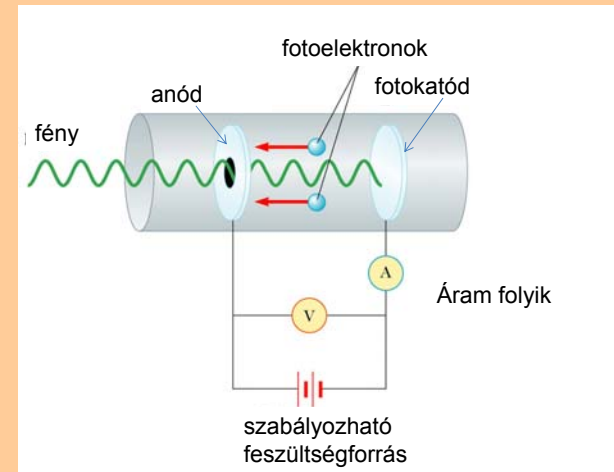
⇓  
**interferencia**



## Fotoelektromos effektus



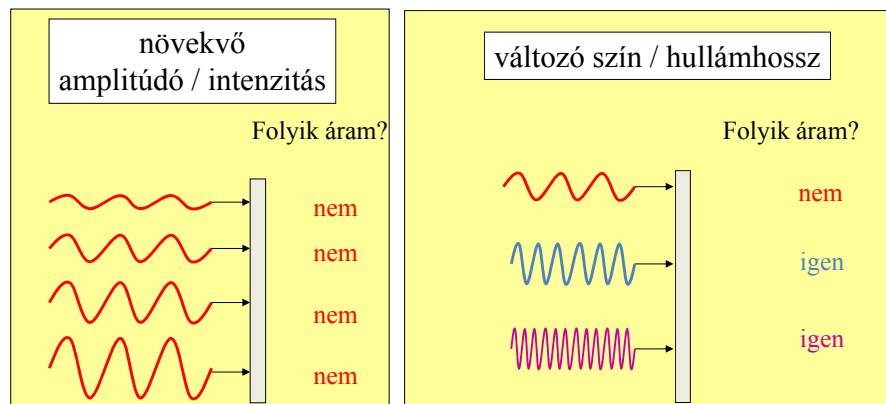
Heinrich Hertz  
1887



### Megvilágító fény

azonos szín / hullámhossz

azonos amplitúdó



Nincs elektronkilépés, amíg a frekvencia nem halad meg egy kritikus értéket

### Fotoelektromos effektus értelmezése?

	Mit kell tapasztalnunk		
	ha hullám	ha részecske	kísérleti eredmény
<b>Növekvő intenzitás</b>			
Kilépő elektronok száma	nő	nő	nő
Elektronok mozgási energiája	nő	változatlan	változatlan
<b>Növekvő frekvencia</b>			
Kilépő elektronok száma	változatlan	változatlan	változatlan
Elektronok mozgási energiája	változatlan	nő	nő

## Magyarázat ?

- A jelenség értelmezése a hullámtermészettel nem lehetséges
- Plank – a kvantumfizika kezdetei - hullámoknak az energiája csak diszkrét értékeket vehet fel

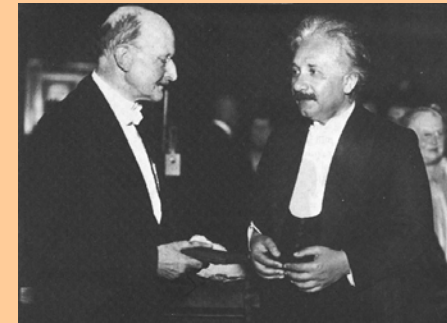
$$E = hf$$

- Einstein – magyarázata a kvantumelmélet alapján

*"Én úgy vagyok, hogy már száz ezer éve nézem, mit meglátok hirtelen"*

József Attila

Max Planck



Albert Einstein

Fizikai Nobel-díj 1918  
a kvantumelméletért

Fizikai Nobel-díj 1921  
a fotelektromos hatás magyarázataért

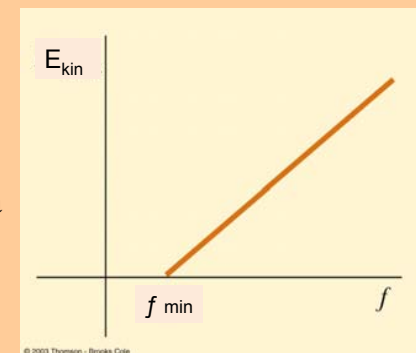
## Einstein magyarázata

- A fény kvantált természetű, energia csomagokban terjed
- A foton energiája:  $E = hf$
- A foton az elektronnal való ütközéskor annak átadja teljes energiáját, ha ez az energia *legalább akkora*, mint az elektron kilépési munkája ( $A$ ).
- Ha az energia kisebb, mint a kilépési munka (v. ionizációs energia), nincs kölcsönhatás
- 1 foton – 1 elektron kölcsönhatás
- A kilepő foton mozgási energiája:  $E_{kin} = hf - A$

## Einstein magyarázata és a határfrekvencia

A kilepő elektron mozgási energiája egyenesen arányos a sugárzás frekvenciájával

Metszete az  $x$  tengellyel kijelöli a kölcsönhatáshoz szükséges legkisebb frekvenciát



Ez az érték a fotokatód anyagára jellemző:

$$A = hf$$



## A fény kettős természetű

**Részecske** – energiája kvantált, egy “csomagja” a foton

Egy foton energiája:  $E = hf = h \frac{c}{\lambda}$

Planck állandó:  $h = 6.62 \cdot 10^{-34} \text{ Joule} \cdot \text{s}$

Nincs nyugalmi tömege

Vákuumban is terjed

## Fotonenergia kiszámítása

$$E = h \times \frac{c}{\lambda}$$

Ha  $\lambda = 400 \text{ nm}$

$$E = 6.6 \times 10^{-34} \text{ Js} \times \frac{3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{4 \times 10^{-7} \text{ m}} = 4.95 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$E = \frac{4.95 \times 10^{-19} \text{ J}}{1.6 \times 10^{-19}} = 3.1 \text{ eV}$$

$$E_{\text{VIS}} = 1.6 - 3.1 \text{ eV}$$

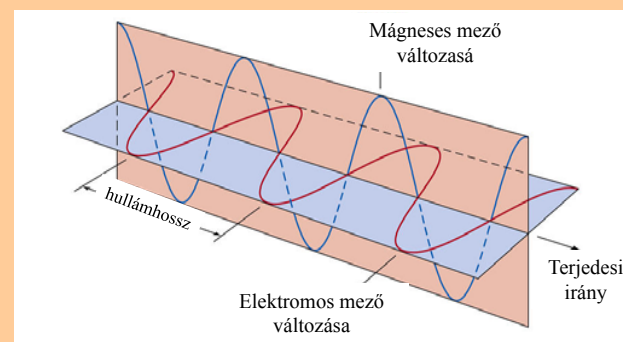
*Mennyi is.....?*

- 1 TeV: a repülő szúnyog mozgási energiája
- 200 MeV:  $^{235}\text{U}$  atom atom maghasadásakor felszabaduló energia
- 13.6 eV: hidrogén atom ionizációs energiája
- 2.5 eV: kékeszöld színű fény fotonenergiája
- 1/40 eV: kT energia szobahőmérsékleten

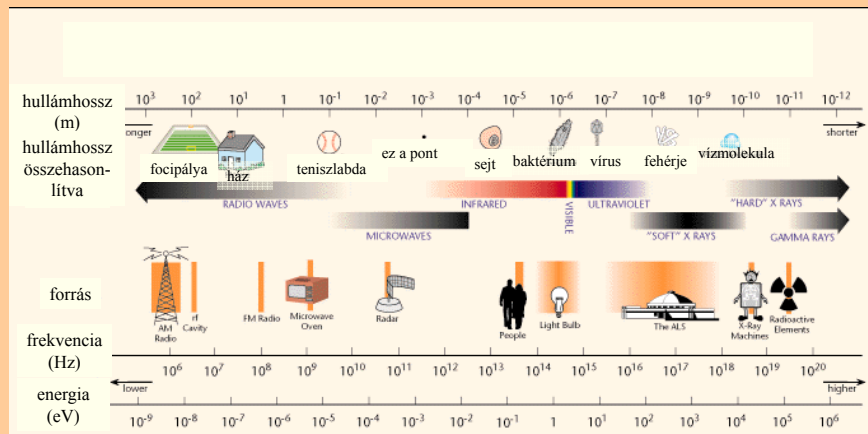
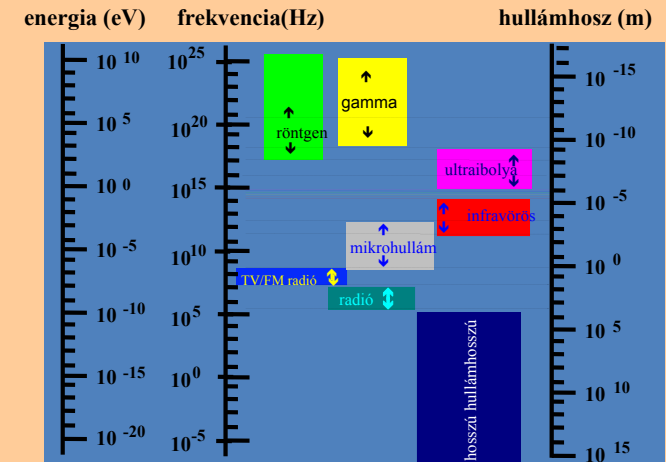
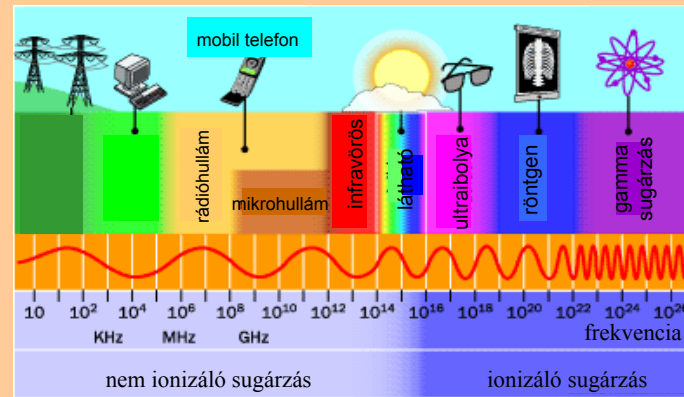
## A fény kettős természetű

**Hullám** – transzverzálisan, szinuszosan változó elektromos és mágneses tér

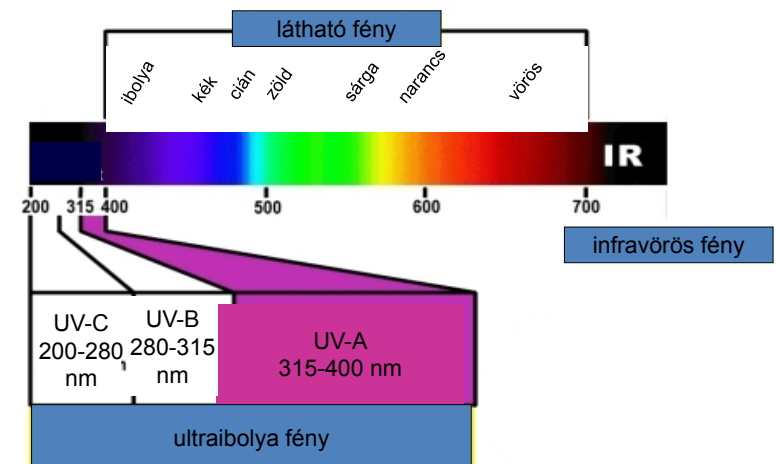
### Elektromágneses sugárzás



## Az elektromágneses spektrum



## Az optikai tartomány





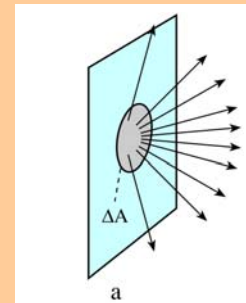
## Az elektromágneses sugárzás kölsönhatása az anyaggal

A fény kölsönhatása az anyaggal

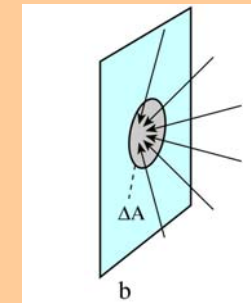
## Radiometriaiai alapfogalmak

Kisugárzott felületi teljesítmény

Besugárzott felületi teljesítmény



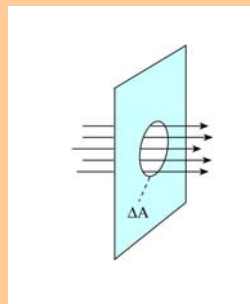
$$M = \frac{\Delta P}{\Delta A} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$



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

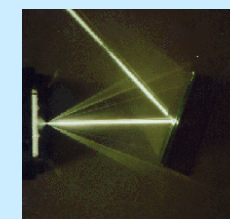
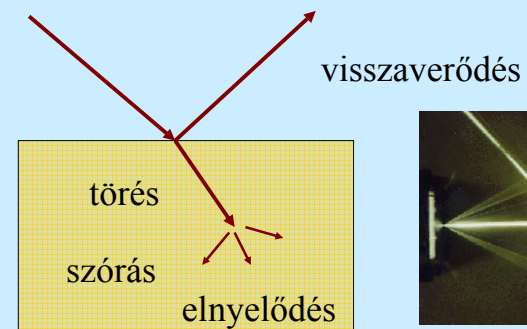
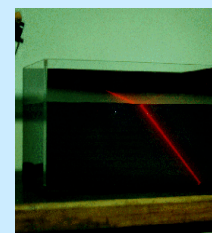
## Radiometriaiai alapfogalmak

Energiaáram sűrűség v. intenzitás



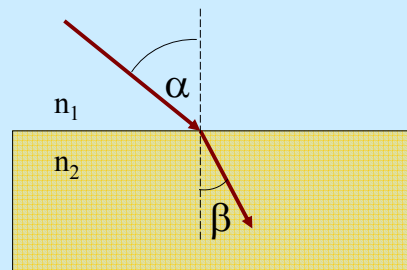
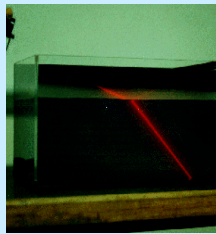
$$J_E = \frac{\Delta I_E}{\Delta A} \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

## A fény kölsönhatása az anyaggal



# Fénytörés

Ismétlés: Fermat-elv a legrövidebb időről



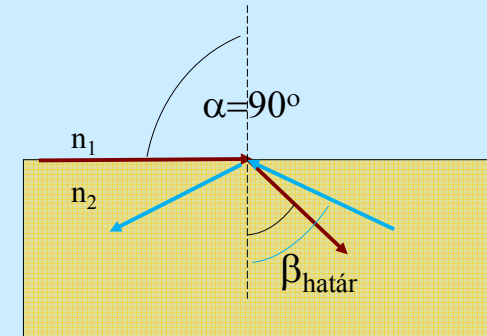
$$n_1 < n_2$$

$$\alpha > \beta$$

Snellius –Descartes törvény

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

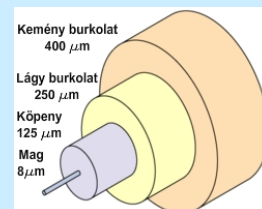
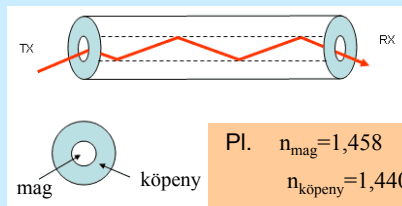
# Határszög – teljes visszaverődés



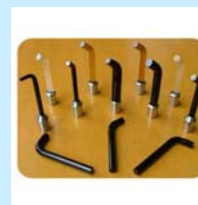
$$\beta > \beta_{\text{határ}}$$



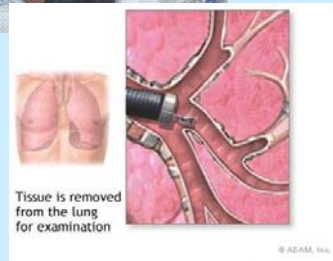
# Optikai szál



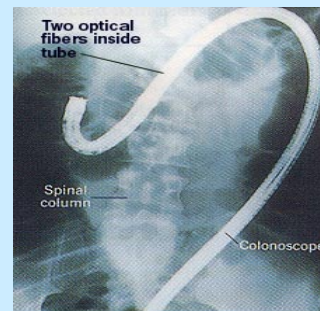
# Példák a fogorvosi alkalmazásra



## Példák az orvosi alkalmazásra



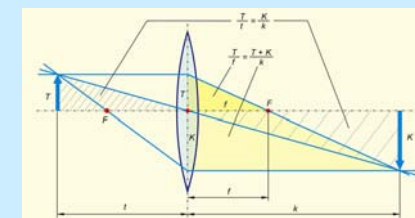
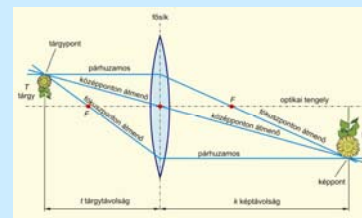
**Bronchoszkópia**



**Colonoszkópia**

## Vékony gömbi lencsék képképzése

Kép szerkesztése a nevezetes sugarak segítségével

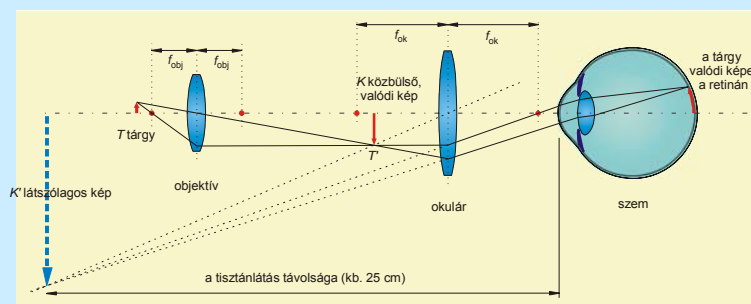


lencsetörvény

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{t} + \frac{1}{k} = (n-1) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

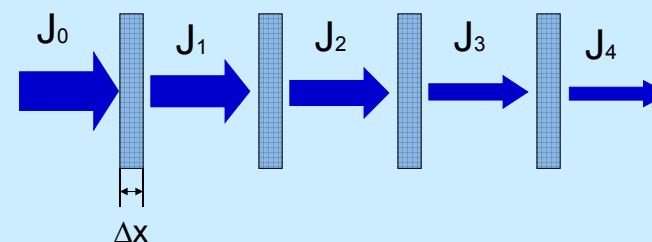
**D – törőerősség (dioptria):** a méterben kifejezett fókusz távolság reciproka

## Mikroszkópi képképzés alapjai



A keletkezett kép nagyított  
fordított állású  
látszólagos

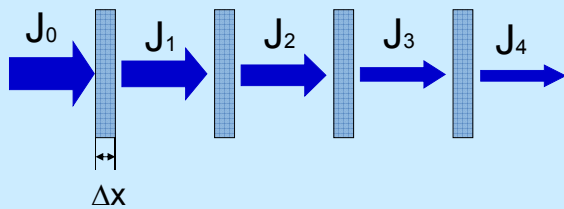
## Elnyelődés



A közegen áthaladó sugárzás intenzitása csökken

## Az intezitás gyengülésének törvénye

$$\Delta J = J_0 - J_1 = J_1 - J_2 = \dots$$



$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -\mu \times J$$

**Differenciális alak**

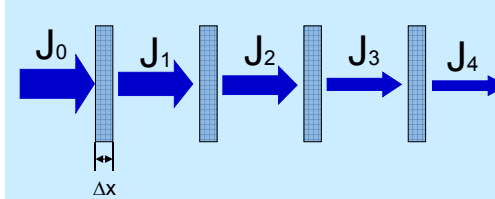
$J$  : a közegbe belépő sugárzás intenzitása [ $\text{W/m}^2$ ]

$\Delta J$  : az intenzitás megváltozása  $\Delta x$  rétegen való áthaladáskor

$\mu$ : gyengítési állandó [ $1/\text{m}$ ]

A közegen áthaladó sugárzás intenzitásának megváltozása arányos a közegbe belépő intenzitással

## Az intezitás gyengülésének törvénye

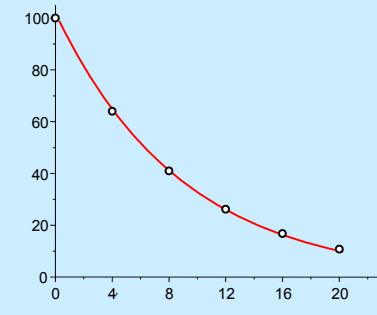


$$\frac{\Delta J}{\Delta x} = -\mu \times J$$

megoldása

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

**Integrált alak**



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

A közegen áthaladó sugárzás intenzitása a rétegvastagság exponenciális függvénye

$J_0$ : a rétegbe belepő intenzitás [ $\text{W/m}^2$ ]

$J$ : intenzitás  $x$  [m] rétegvastagság után

$\mu$ : gyengítési állandó [ $1/\text{m}$ ]

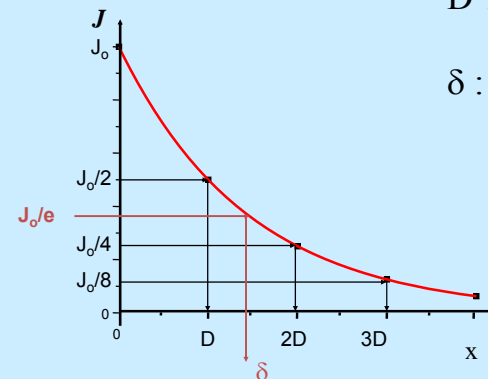
A gyengítési állandó függ: a foton energiájától  
az abszorbens anyagi minőségétől  
az abszorbens sűrűségétől

## Grafikus megoldás

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

$D$  : felező rétegvastagság

$\delta$  : e-edelő rétegvastagság



Mind a kettő  
-jellemző az adott sugárzás és az  
adott anyag kölcsönhatására  
-függ a sugárzás frekvenciájától,  
az abszorbens anyagi minőségétől  
és aktuális sűrűségétől

## A gyengítési állandó definíciója

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

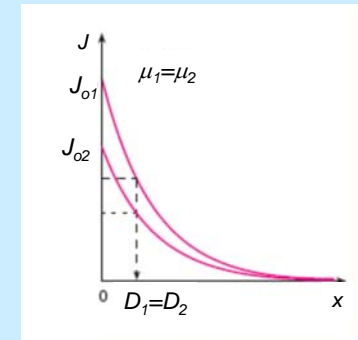
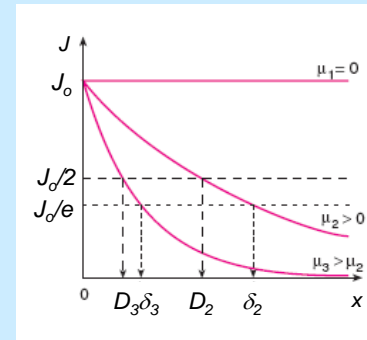
$$\text{Ha } x = D \longrightarrow J_0 / 2 = J_0 e^{-\mu D}$$

$$\mu = \frac{\ln 2}{D} = \frac{0.693}{D}$$

$$\text{Ha } x = \delta \longrightarrow J_0 / e = J_0 e^{-\mu \delta}$$

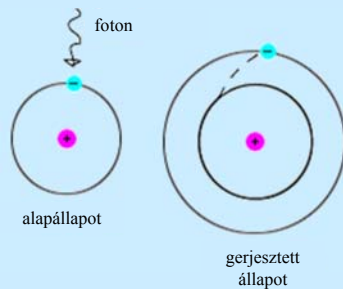
$$\mu = \frac{1}{\delta}$$

$\mu$  függ mindazoktól a tényezőktől, amelyektől  $D$  és  $\delta$ .



## A fényabszorpció mechanizmusa

(Ismétlés: atomszerkezet)

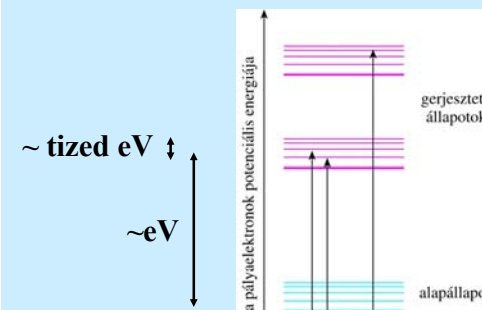


$$hf = \Delta E = E_{n+1} - E_n$$

$$E_{\text{VIS}} = 1.6 - 3.1 \text{ eV}$$

külső héjon lévő elektronok gerjesztési energiáját fedezheti

## Molekula pályaelektronok energiaállapotai a rezgési szintekkel



Egy adott molekula különböző, egymáshoz „közelebbi” energiával rendelkező fotonokat is képes elnyelni

*A gerjesztett elektronok további sorsára még visszatérünk*

## A fényabszorpció gyakorlati alkalmazása

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

$$\lg \frac{J_0}{J} = \mu \cdot x \cdot \lg e$$

Híg oldatok esetén:  
 $\mu \sim$  koncentráció

$$\mu \lg e = \varepsilon_{(\lambda)} c$$

$$\lg \frac{J_0}{J} = \varepsilon_{(\lambda)} \cdot c \cdot x$$

*Lambert – Beer törvény*

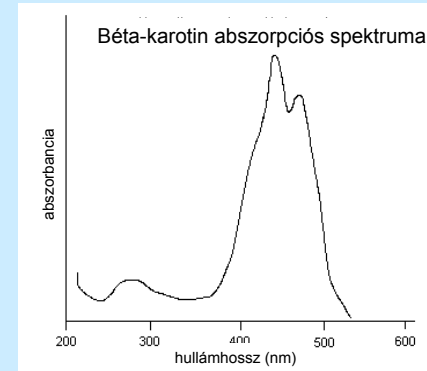
Abszorbancia  
v.  
Optikai denzitás

dekadikus  
molaris extinkciós állandó

moláris koncentráció

$$\lg \frac{J_0}{J} = \varepsilon_{(\lambda)} \cdot c \cdot x$$

Abszorbancia – függ a hullámhossztól



**Abszorpciós spektrum:**

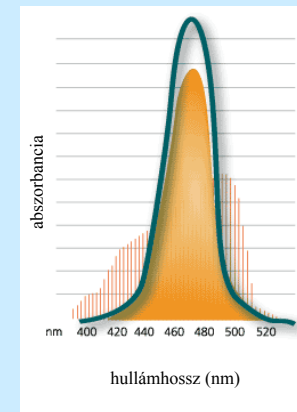
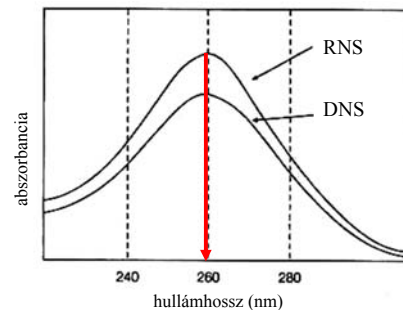
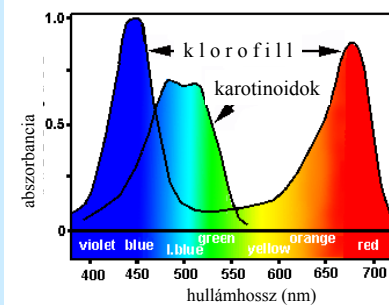
az abszorbancia a hullámhossz függvényében

“Sávos” spektrum

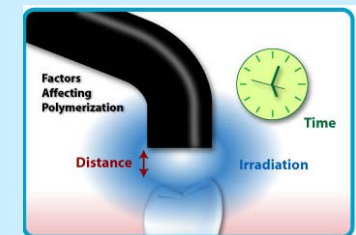
*Elhelykedése, alakja jellemző az elnyelő anyag elektronszerkezetére*

## Biológiailag fontos molekulák

abszorpciós spektruma



Példa a fogászati alkalmazásra



Kámfor-kinon

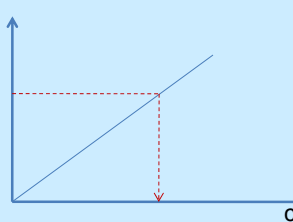
fényabszorpció hatására keményedő fogászati kötőanyag



$$\lg \frac{J_0}{J} = \varepsilon_{(\lambda)} \cdot c \cdot x$$

Az abszorbancia – híg oldatok esetén –  
egyenesen arányos a koncentrációval

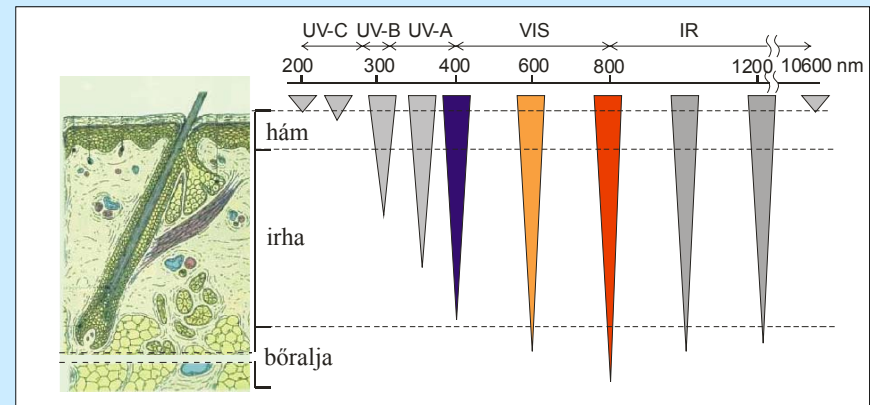
$\lg \frac{J_0}{J}$



Abszorbancia mérése koncentráció  
meghatározását teszi lehetővé



## A fény behatolási mélysége a bőrben



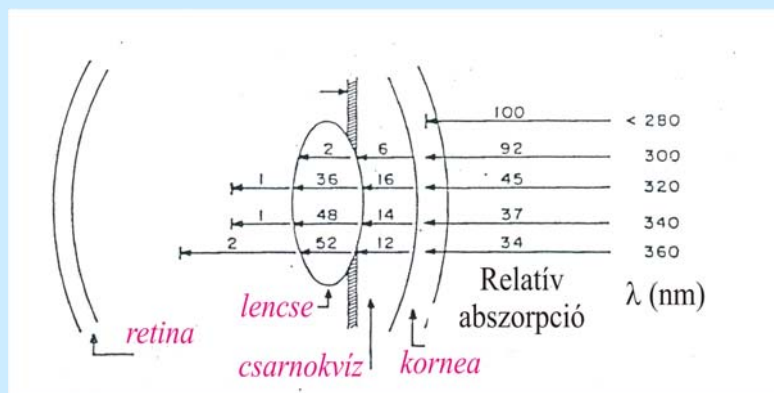
A fény intenzitása csökken a bőr rétegeiben.

Oka: abszorpció, reflexió, refrakció

A behatolási mélység függ a hullámhossztól.

A legnagyobb a vörös tartományban.

## A fény behatolási mélysége a szemben



A behatolási mélység hullámhosszfüggő  
(abszorpció, reflexió)

## Fényt elnyelő molekulák (kromofórok) az emberi szervezetben

### Endogén kromofórok

pl. nukleinsavak

fehérjék

melanin

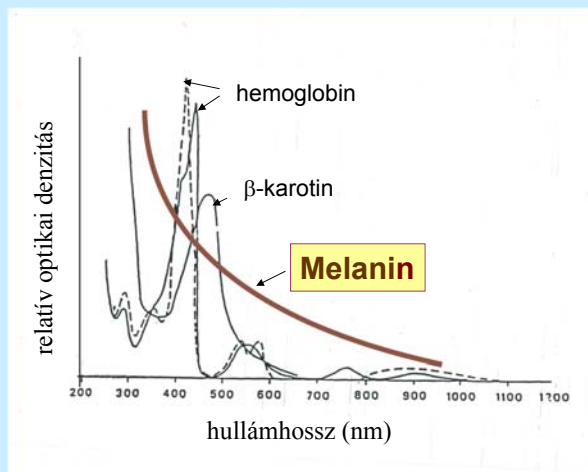
### Exogén kromofórok

pl. ételfestékek

kozmetikumok

gyógyszerek

## Endogén kromofórok a látható tartományban



## A fény kettős természetű

Hullám

Részecske

*terjedése során*

*kölcsönhatásai során*

Diffrakció  
Interferencia  
Polarizáció

Fotoelaktromos hatás  
Fénytörés  
Gerjesztés  
Ionizáció

## Kapcsolódó fejezetek:

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

II. 1.1.

1.1.1  
1.1.3

II. 2. 1.

2.1.1  
2.1.2  
2.1.3  
2.1.4  
2.1.5  
2.1.8

VI.3

3.1.1  
3.1.2