

# Biofizika

Csik Gabriella

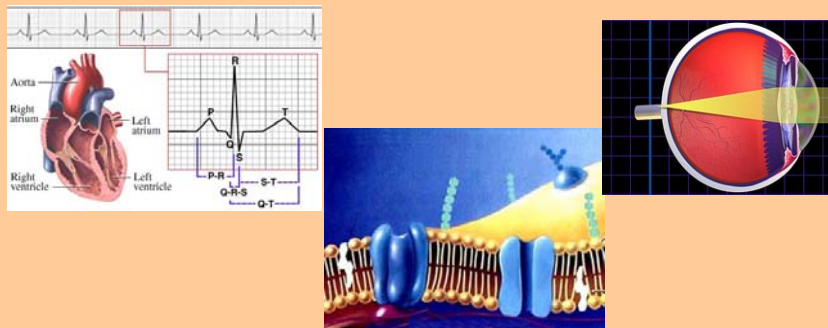
csik.gabriella@med.semmelweis-univ.hu

Eötvös Loránd kora diákjait tréfásan jellemzi : ... határozott céllal jön az egyetemre, ügyvéd, politikus vagy orvos akar lenni. Amint az egyetemre lép, kritizálja tanárait, s az egész tanítási rendszert. A kritikája rendszeren arra vezet, hogy az elméleti tantárgyakat életcéljaira haszontalanoknak nyilatkoztatja, «... nem fog soha fizikával vagy kémiával gyógyítani, mire való volna tehát e tantárgyak tanulására időt fecsérelni?»

## Mi a biofizika tárgya?

Biológiai jelenségek fizikai leírása/értelmezése

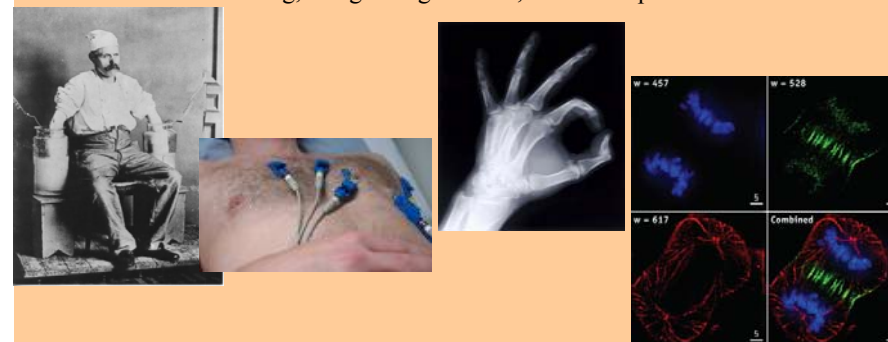
Pl. szívműködés, membránok szerkezete és működése, érzékelés stb.



## Mi a biofizika tárgya?

A biológiában és orvostudományban alkalmazott fizikai módszerek tárgyalása

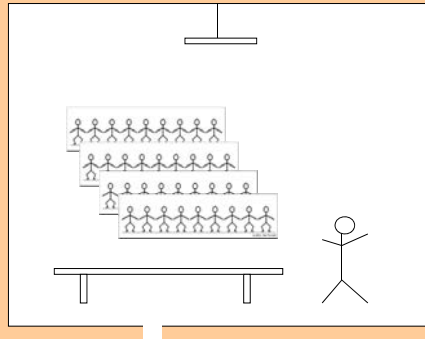
Pl. ekg, röntgendiagnosztika, mikroszkópos technikák stb.



# Sugárzások

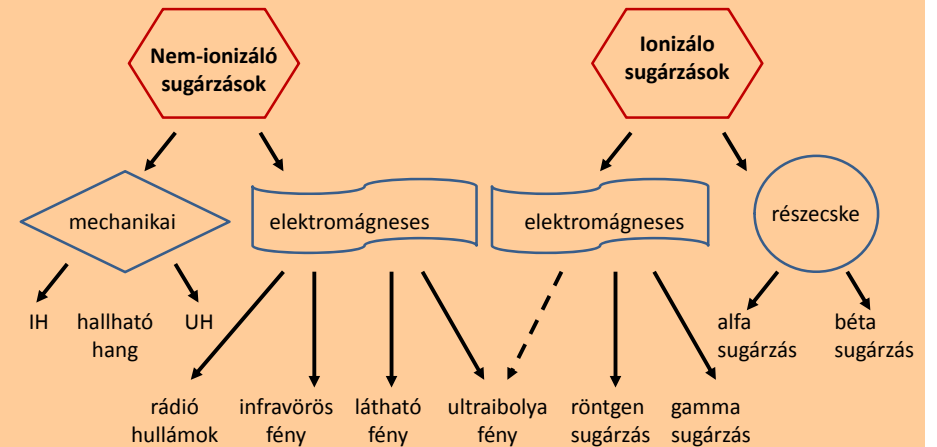
Milyen példákat tapasztalunk magunk körül?

hang  
fény  
rádióhullámok  
magsugárzások



Sugárzás: energia kibocsátás és terjedés

# Sugárzások



## A fény természete

Hullám?

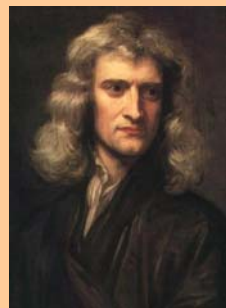


**Christiaan Huygens**

(1629 - 1695)

*Traité de la lumière*  
1690

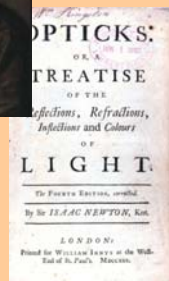
Részecske?



**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

## Jellemző mennyiségek

Térbeli periodicitás - hullámhossz

$\lambda$  [m] vagy [nm]

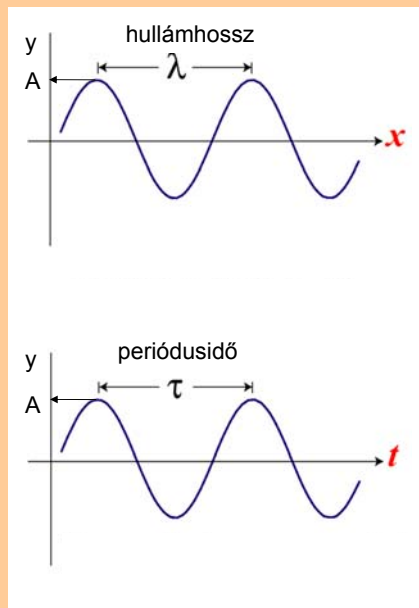
Maximális kitérés - amplitúdó

$$E \sim A^2$$

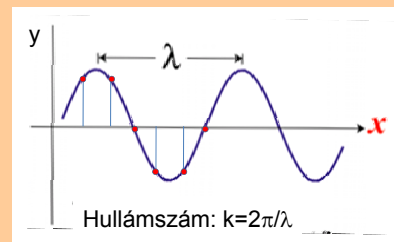
Időbeli periódicitás

- periódusidő  
- frekvencia

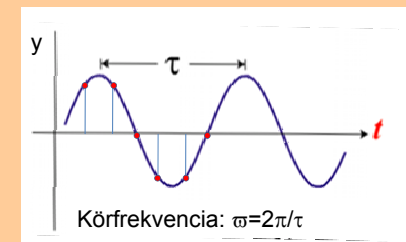
$$f = \frac{1}{\tau} \left[ \frac{1}{s} \right]$$



Fázis : kitérés állapot



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



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

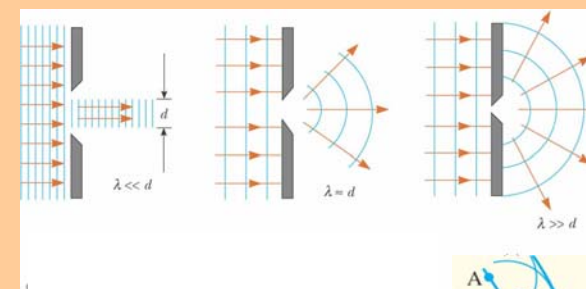
$$\phi = \omega t + kx + \phi_0$$

## Hullámtermészetet bizonyító jelenségek:

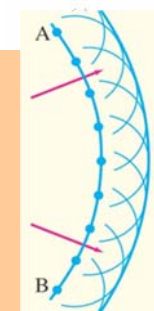
- elhajlás
- szuperpozíció/interferencia
- polarizáció



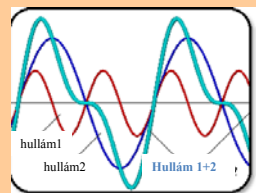
## Elhajlás



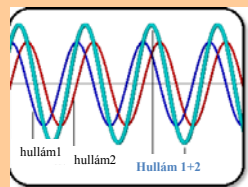
Huygens-elv : egy hullámfelület minden pontjából elemi hullámok indulnak ki. Az új hullámfelület ezen hullámok burkolófelülete.



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



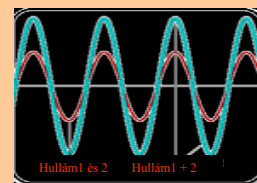
nem azonos frekvencia



azonos frekvencia

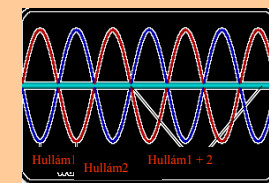
## Interferencia - koherens hullámok szuperpozíciója

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)

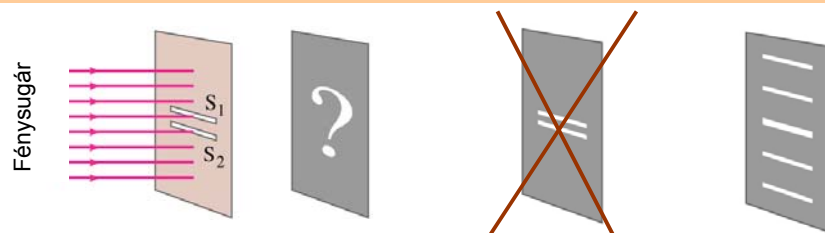
## A fény hullám vagy részecske?

### 1. Young kísérlete két réssel

Mit látunk az ernyőn?

ha részecske

ha hullám



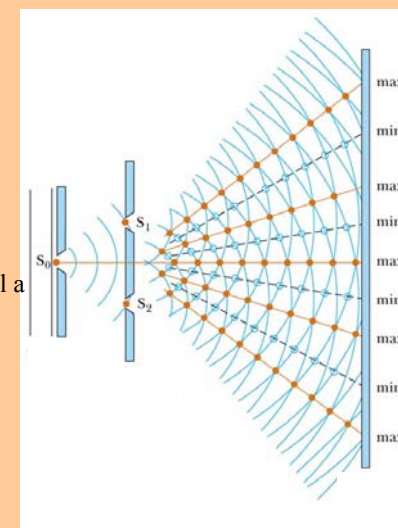
## Young kísérletének magyarázata

$S_1$  és  $S_2$  rések elemi hulláforrások

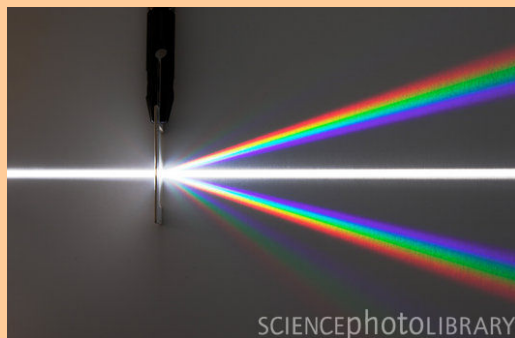
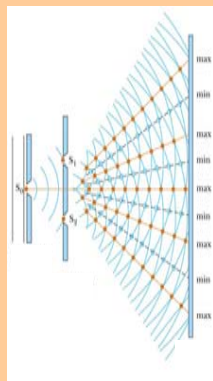
A résekből kiinduló **hullámok** ugyanabból a hullámfrontból származnak, tehát azonos fázisban vannak



**interferencia**



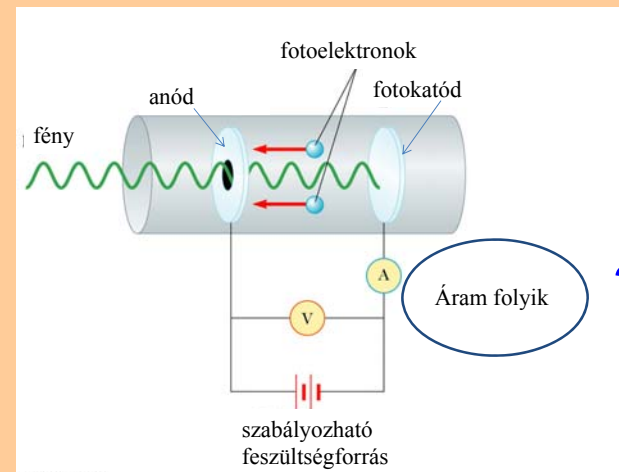
## Fehér fény felbontása rácccsal



## 2. Hertz - kísérlete a fotoelektromos hatásról



Heinrich Hertz  
1887



Fotoelektromos effektus

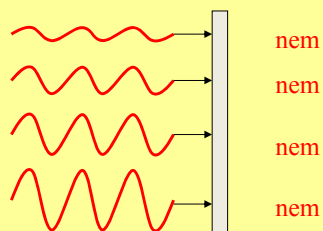
### Megvilágító fény

azonos szín / hullámhossz

azonos amplitúdó

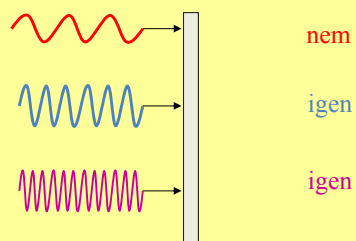
növekvő  
amplitúdó / intenzitás

Folyik áram?



változó szín / hullámhossz

Folyik áram?



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

### Fotoelektromos effektus értelmezése?

	Mit kell tapasztalnunk		kísérleti eredmény
	ha hullám	ha részecske	
<b>Növekvő intenzitás, de azonos frekvencia</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 ?

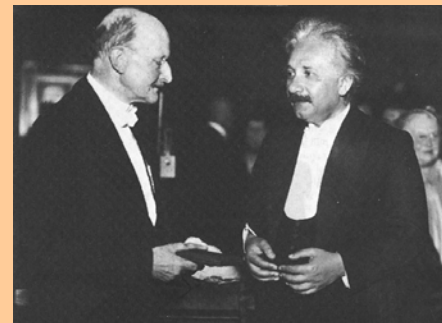
- A jelenség értelmezése a hullámtermészettel nem lehetséges
- Plank – a kvantumfizika kezdetei - hullámoknak az energiája csak diszkrét értékeket vehet fel

$$E = hf$$

- 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

*"in recognition of the services he rendered  
to the advancement of Physics  
by his **discovery of energy quanta**".*

Fizikai Nobel-díj 1921  
a fotoelektromos hatás magyarázatáért

*for his services to Theoretical Physics,  
and especially for his **discovery**  
of the law of the **photoelectric effect**".*

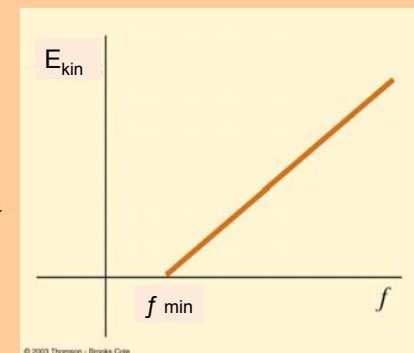
## Einstein magyarázata

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

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

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

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

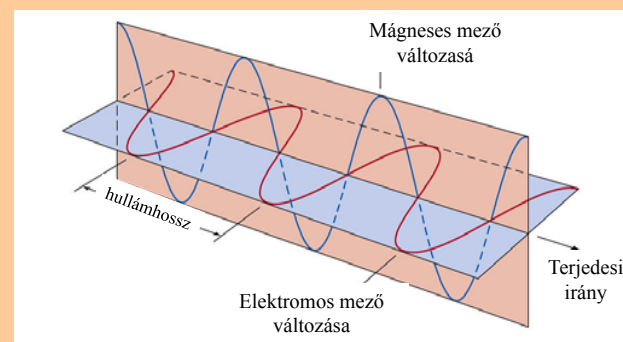
*Mennyi is.....?*

- 1 TeV: a repülő szúnyog mozgási energiája
- 200 MeV:  $^{235}\text{U}$  atom 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



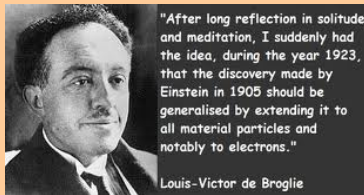
## Miért csak a fény lenne kettős természetű?

De Broglie hipotézise: *minden* anyagnak van hullámtermészete

Az elektron impulzusa:

$$p = m_e v$$

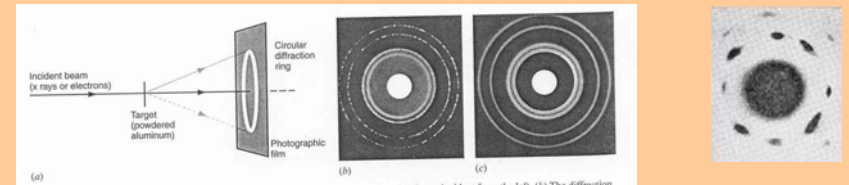
$$\lambda = h / p$$



Louis-Victor de Broglie

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

## A részecskék hullámtermészete



Az elektronnyaláb szóródik (elhajlás és szuperpozíció), elhajlási képet hoz létre, mint a fény



Clinton Joseph Davisson

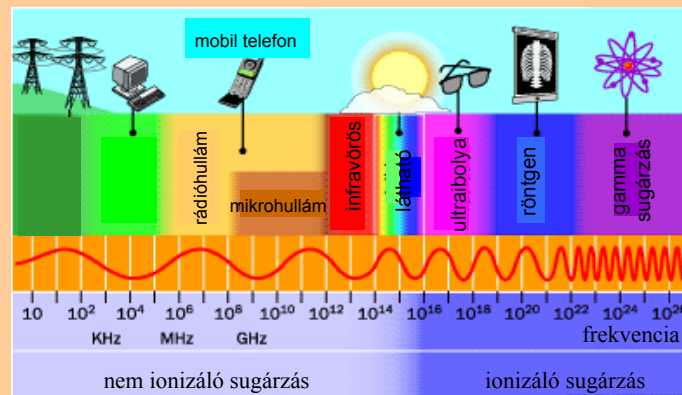


George Paget Thomson

**Nobel Prize in Physics 1937**

*"for their experimental discovery of the diffraction of electrons by crystals"*

## Az elektromágneses spektrum



Kérdés: minek a hossza/átmérője lehet akkora, mint a mikrohullám, a látható fény vagy a röntgen sugárzás hullámhossza? Keressen hétköznapi tárgyakat!

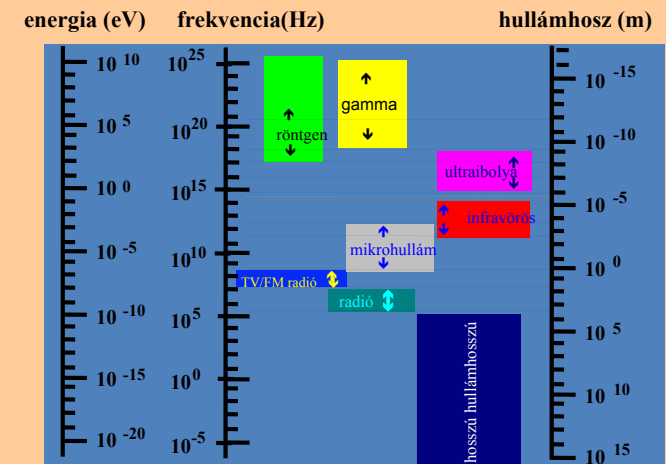
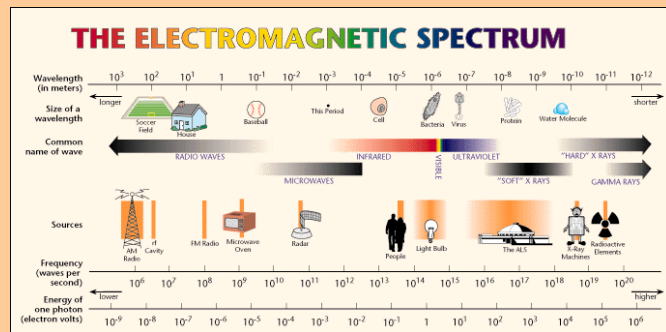
$10^{-5}$  eV – mikrohullám

2 eV – látható fény

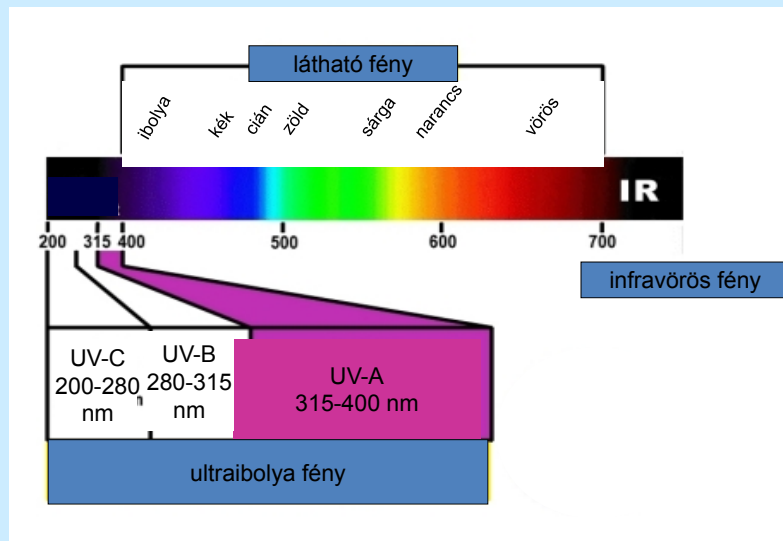
100 eV – röntgen



10-5 eV – mikrohullám  
2 eV – látható fény  
100 eV – röntgen



## Az optikai tartomány



Kapcsolódó fejezetek:

*Damjanovich, Fidy, Szöllősi: Orvosi Biofizika*

II. 2. 1.

- 2.1.1
- 2.1.2
- 2.1.3
- 2.1.4
- 2.1.5
- 2.1.8