

# Biofizika 1

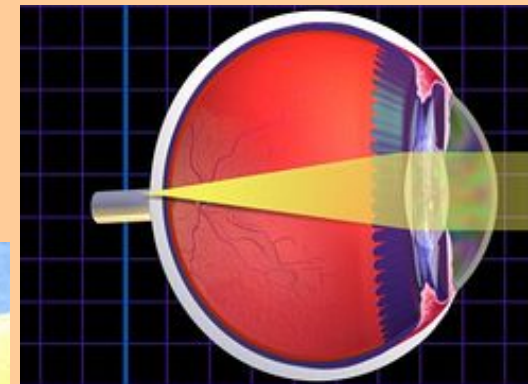
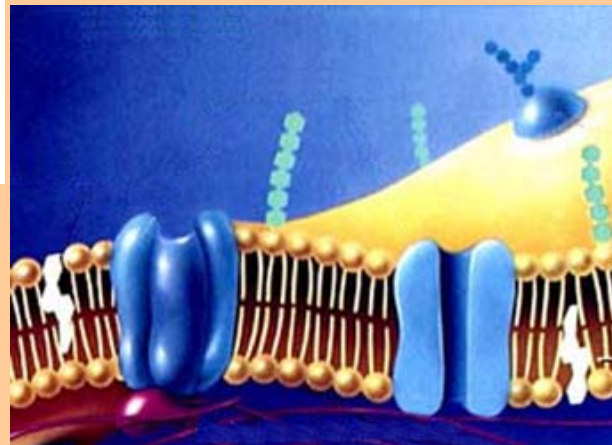
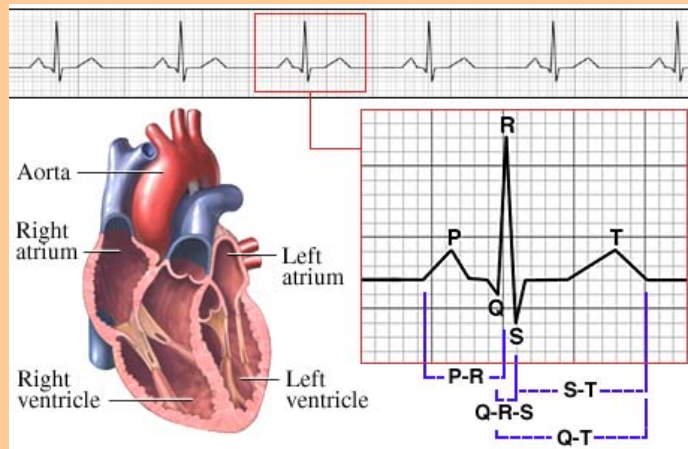
Liliom Károly

[liliom.karoly@med.semmelweis-univ.hu](mailto:liliom.karoly@med.semmelweis-univ.hu)  
[karoly.liliom.mta@gmail.com](mailto:karoly.liliom.mta@gmail.com)

# Mi a biofizika tárgya?

## Biológiai jelenségek fizikai leírása/értelmezése

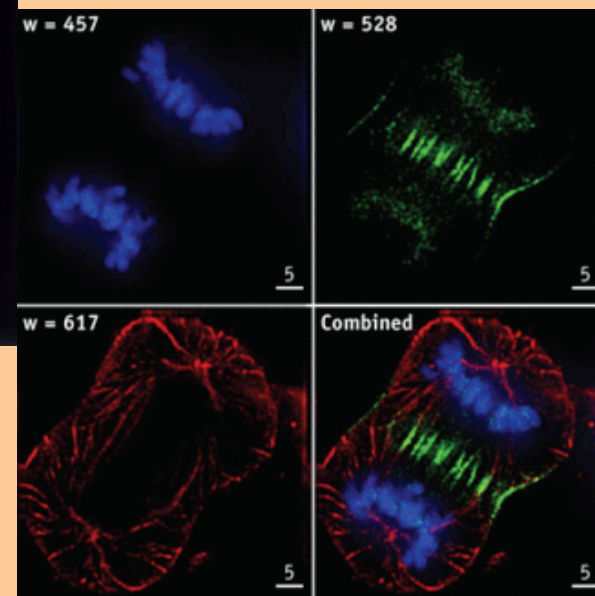
Pl. szívműködés, membránok szerkezete és működése, érzékelés stb.



# Mi a biofizika tárgya?

A biológiában és orvostudományban alkalmazott fizikai módszerek tárgyalása

Pl. EKG, röntgendiagnosztika, mikroszkópos technikák stb.



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

# Miről lesz szó az első félévben?

- |   |  |    |   |
|---|--|----|---|
| 3 | Sugárzások, jellemző mennyiségek; csoportosítás, elektromágneses spektrum; a fény kettős természete; fényelhajlás, interferencia; anyaghullám. | 8  | A lézerek működési elve, típusai, orvosi alkalmazásai   |
| 4 | A fény kölcsönhatásai I, a fénytörés, optikai eszközök, fénymikroszkóp, elektronmikroszkóp   | 9  | Modern mikroszkópos technikák   |
| 5 | A fény kölcsönhatásai II. visszaverődés, szóródás, abszorpció: az intenzitás gyengülésének törvénye  | 10 | A fény biológiai hatásai, orvosi alkalmazások   |
| 6 | Hőmérsékleti sugárzás; az emberi test emissziója, az infradiagnosztika alapjai   | 11 | Röntgensugárzás 1: előállítása, spektruma, a röntgensugárzás és anyag kölcsönhatása                                 |
| 7 | Lumineszcencia: a jelenség leírása, lumineszcens fényforrások, alkalmazások az orvostudományban  | 12 | Röntgensugárzás 2: a röntgendiagnosztikai módszerek fizikai alapjai; szummációs kép, fogászati röntgentechnikák, CT |
|   |  | 13 | Magsugárzások: fajtái, jellemzői; az izotópos nyomjelzés fizikai alapjai  |
|   |  | 14 | Magsugárzások klinikai alkalmazásai: a radioizotópos diagnosztikai eljárások alapjai                                |

# Sugárzások

Sugárzás: energia kibocsátás és terjedés

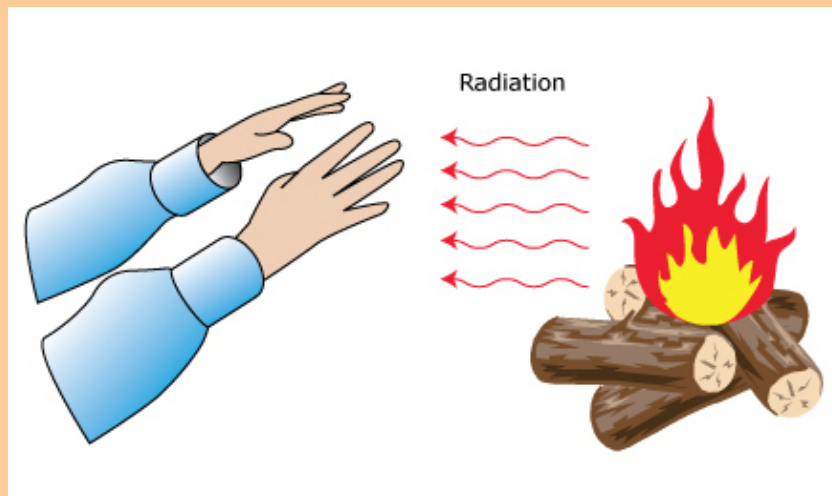
Milyen példákat tapasztalunk magunk körül?

hang

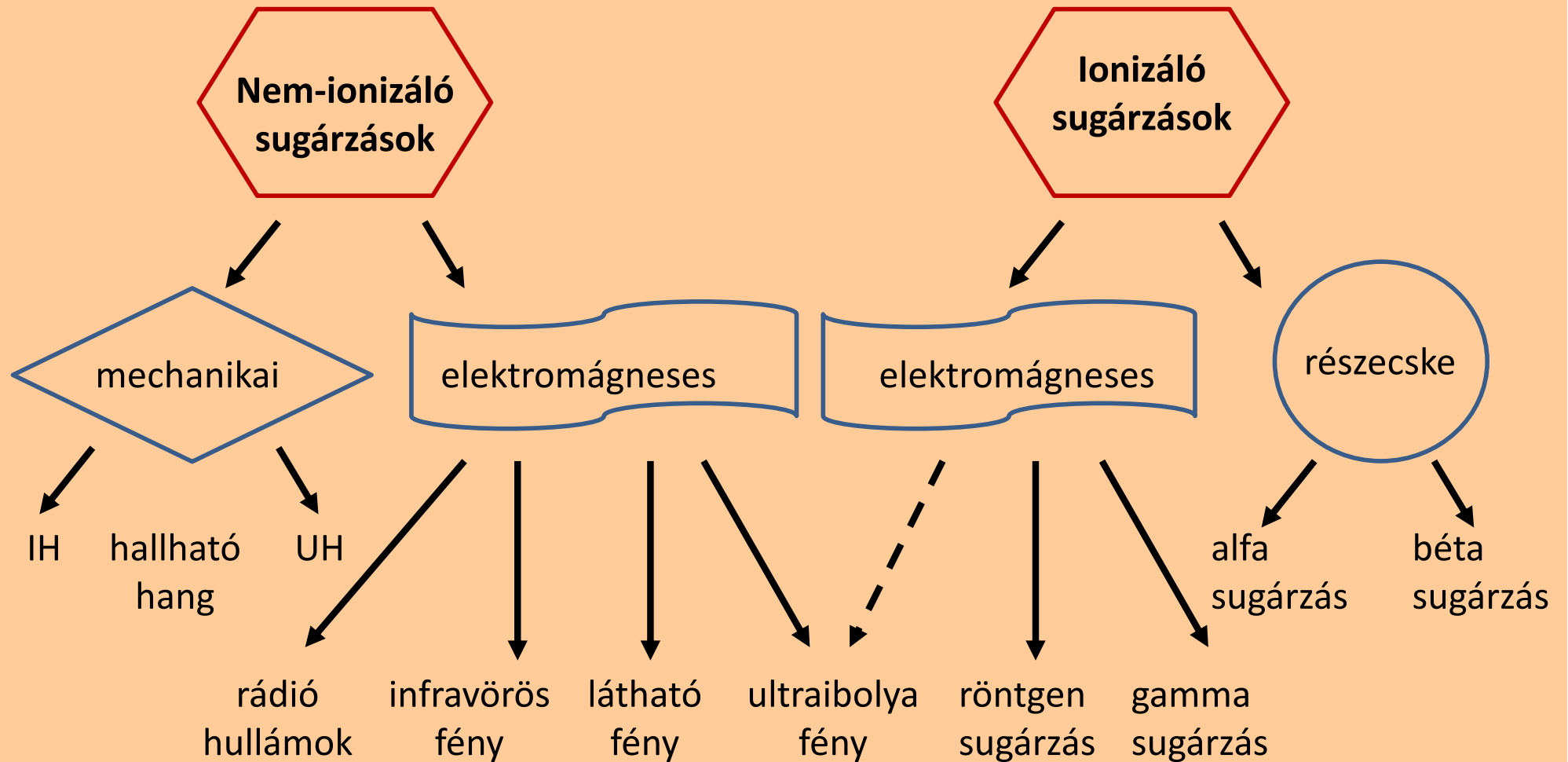
fény

rádióhullámok

magsugárzások



# Sugárzások





# Hullámok általános leírása

Rezgés v. oszcilláció következtében kialakuló, térben és időben periodikus 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*

$$E \sim A^2$$

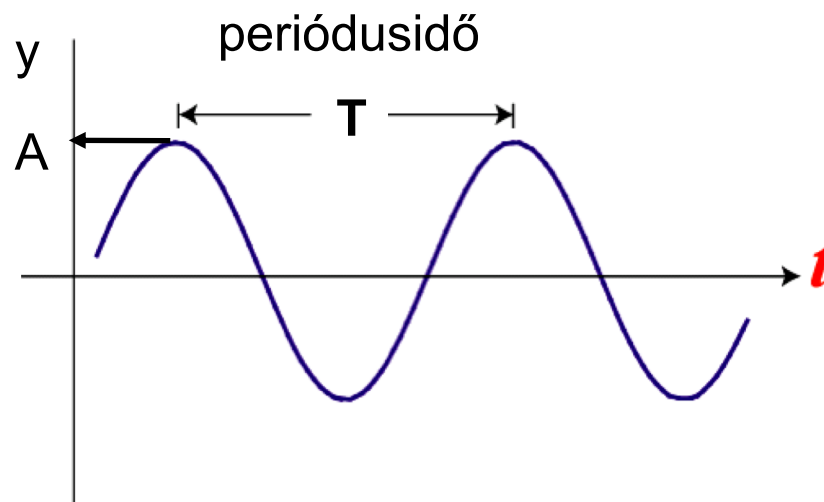
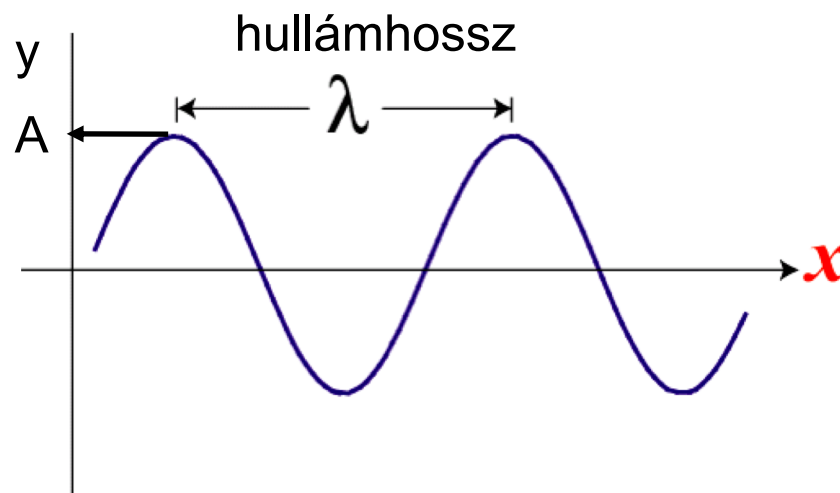
Időbeli periódicitás

- *periódusidő*

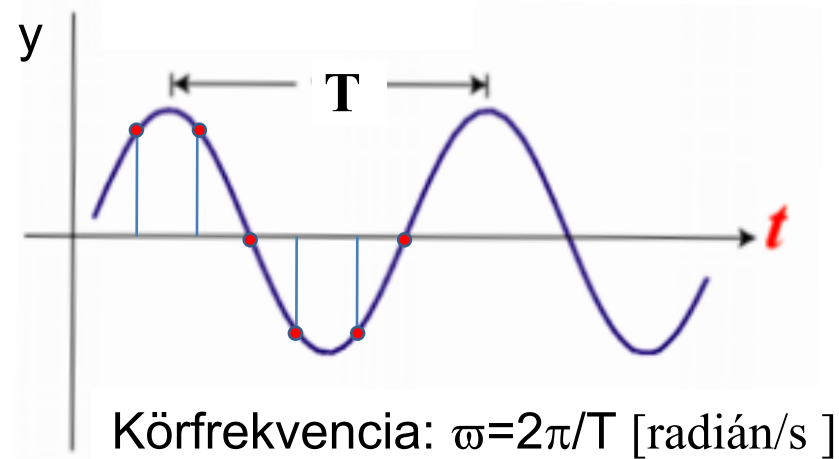
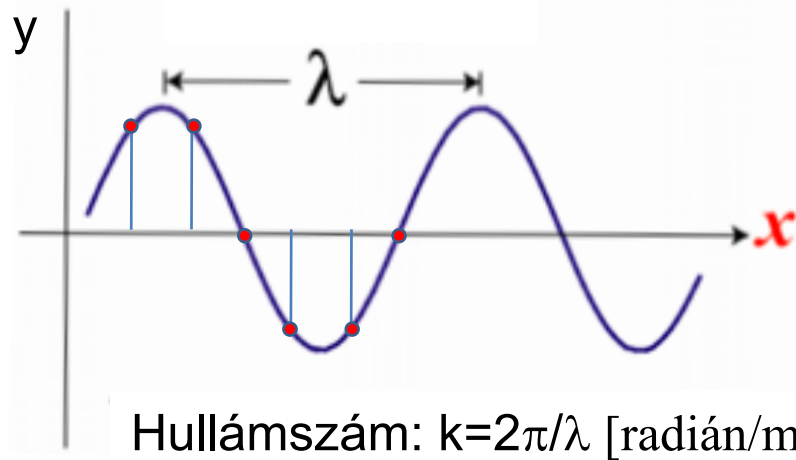
- *frekvencia*

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

hullámsebesség:  $c = \lambda/T = \lambda f$



*Fázis* : kitérés állapot



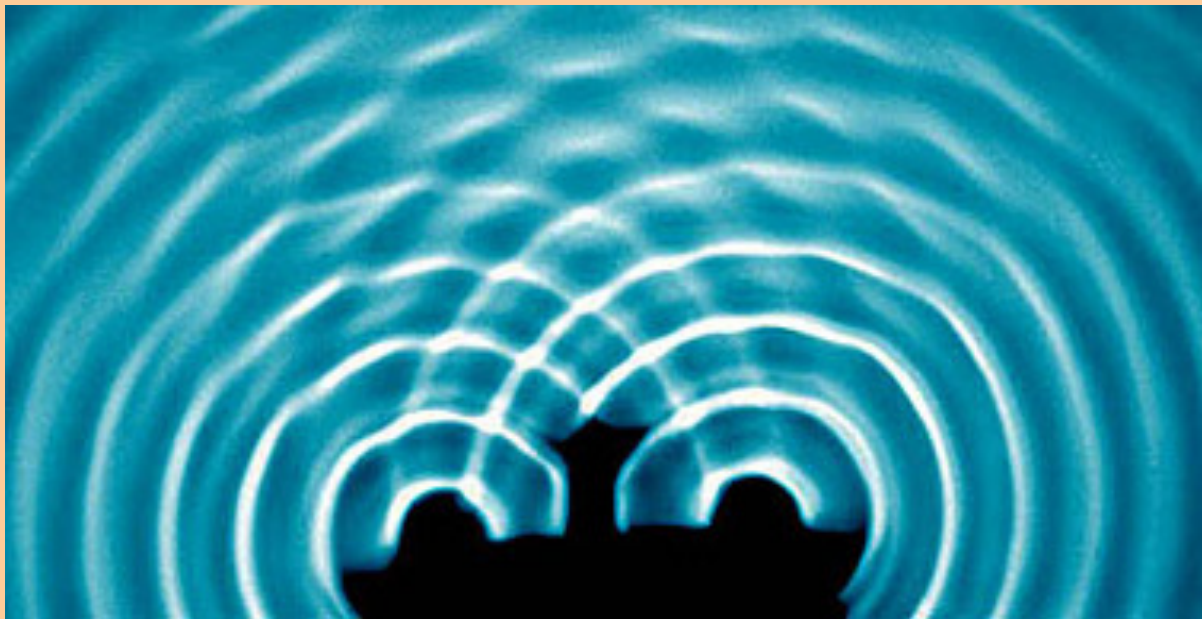
$$\phi(x)=kx+\phi_0$$

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

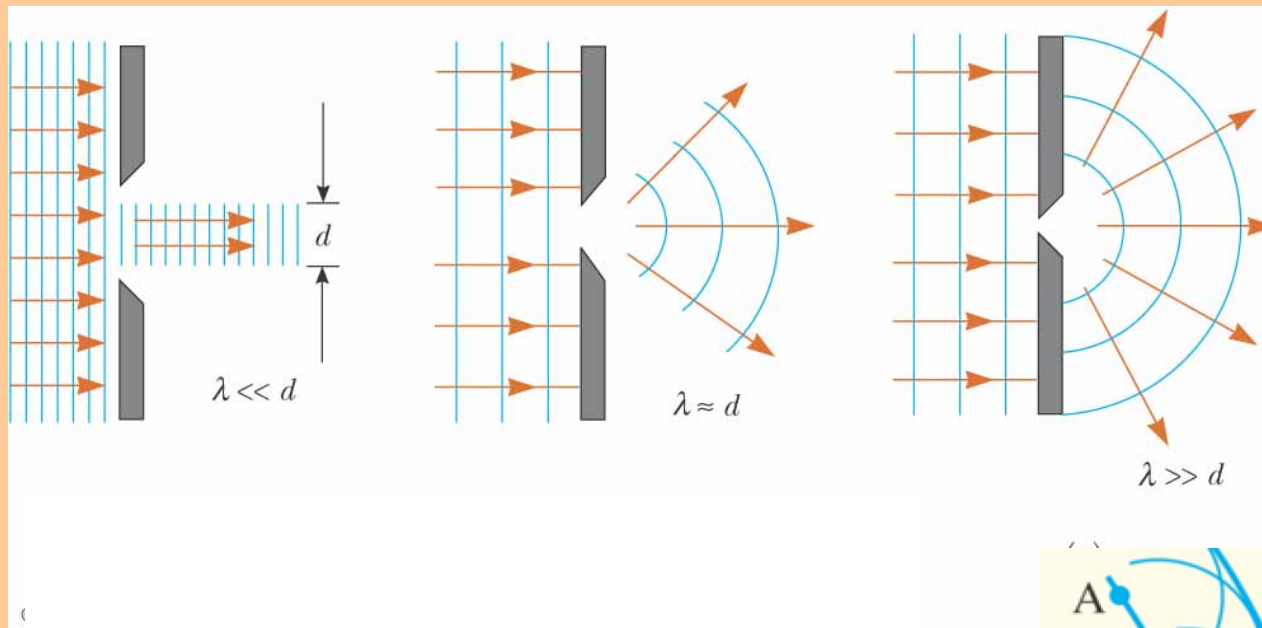
$$\phi=\omega t+kx+\phi_0$$

# Hullámtermészetet bizonyító jelenségek:

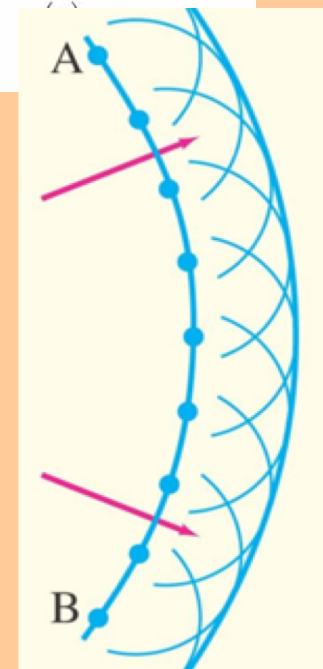
- elhajlás
- szuperpozíció/interferencia
- polarizáció



# Hullámok elhajlása

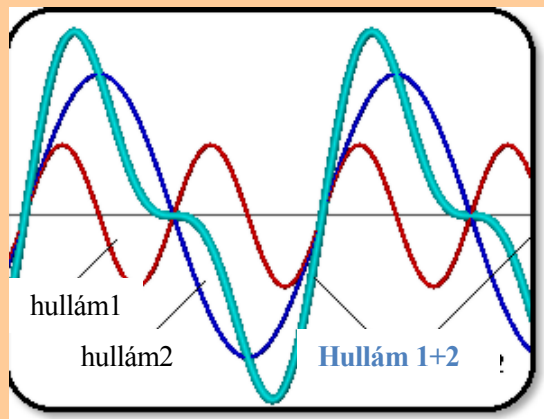


Huygens-elv: egy hullámfelület minden pontjából elemi hullámok indulnak ki. Az új hullámfelület ezen hullámok burkolófelülete.

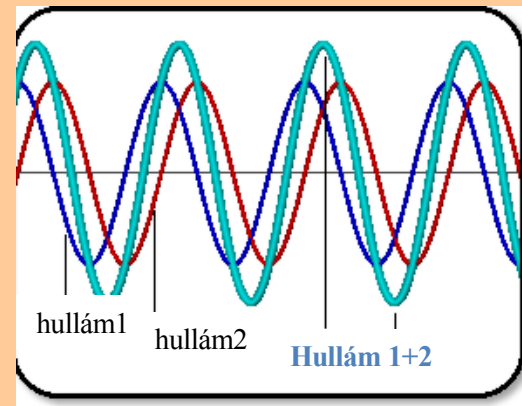


*Szuperpozíció:* az eredő kitérés a találkozó

hullámok kitéréseinek összege, azaz a tér egyes pontjaiban a jelenlevő rezgések összeadódnak

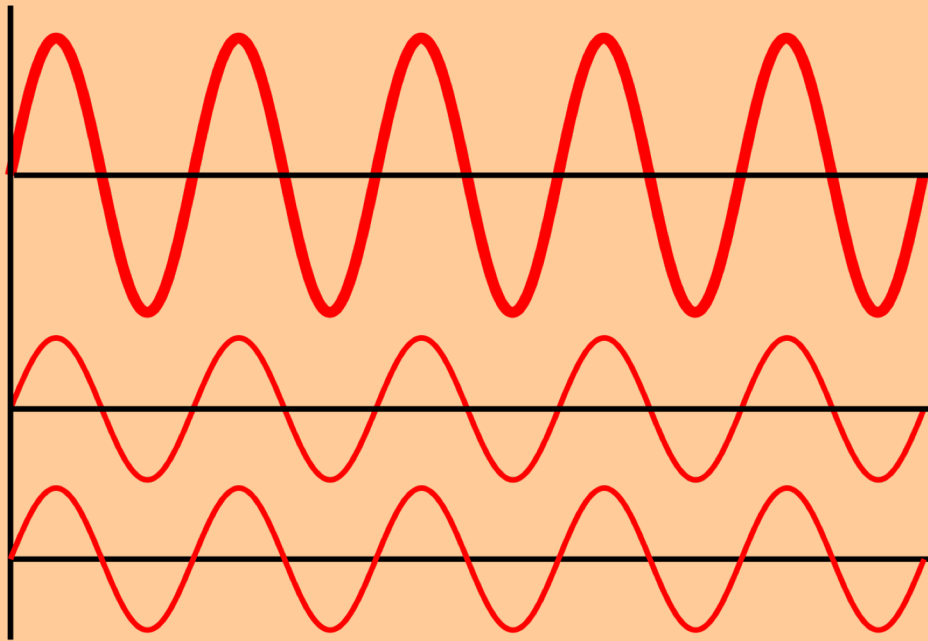


nem azonos frekvencia



azonos frekvencia

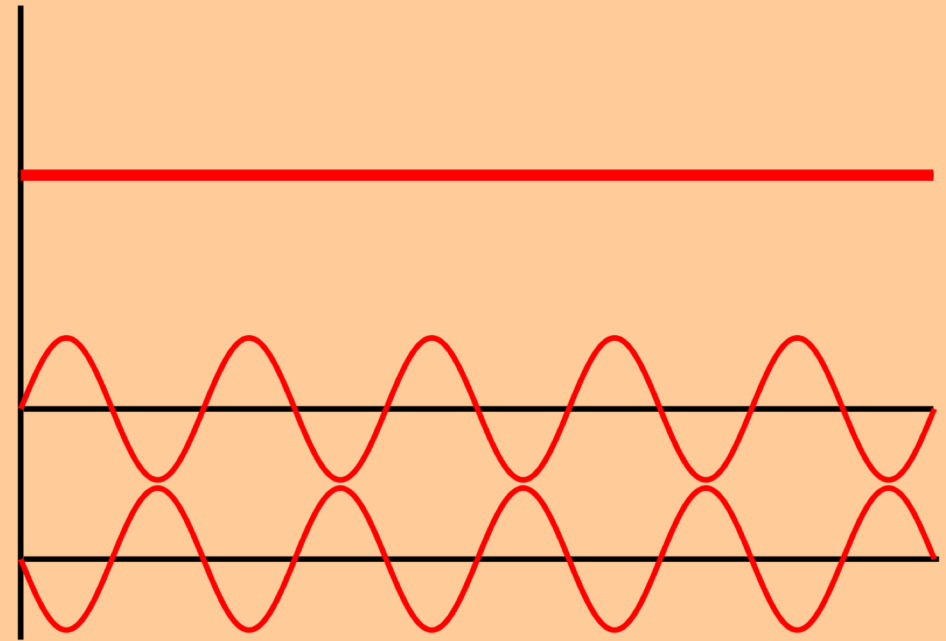
# *Interferencia* - koherens hullámok szuperpozíciója



azonos fázis

pozitív interferencia

$$\Delta\Phi = 0^\circ$$



ellentétes fázis

negatív interferencia

$$\Delta\Phi = 180^\circ$$



# A fény természete

Hullám?

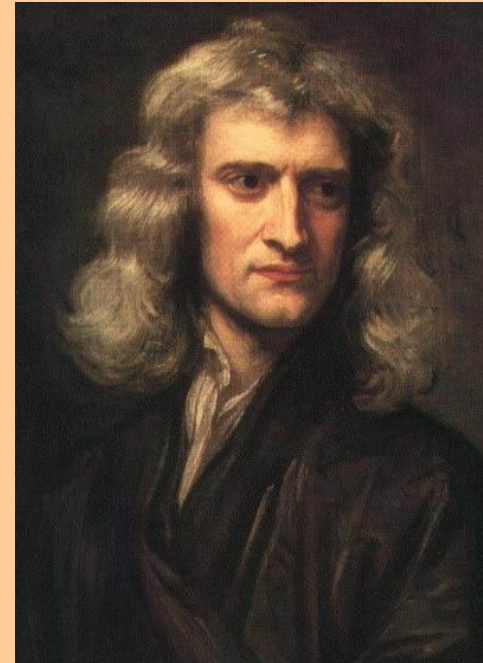


**Christiaan Huygens**

(1629 - 1695)

*Traité de la lumière*  
1690

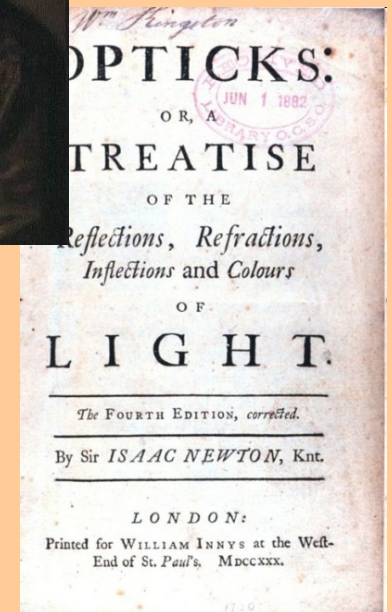
Részecske?



**Isaac Newton**

(1642 - 1727)

*Opticks*  
1704





**Thomas Young**  
(1773-1829)

# A fény hullám vagy részecske?

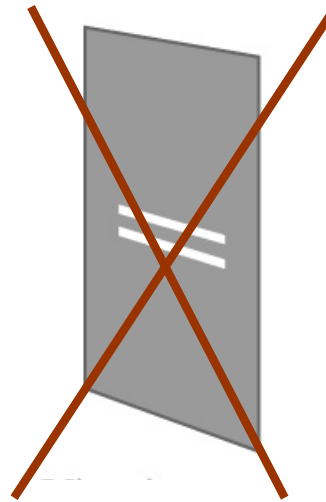
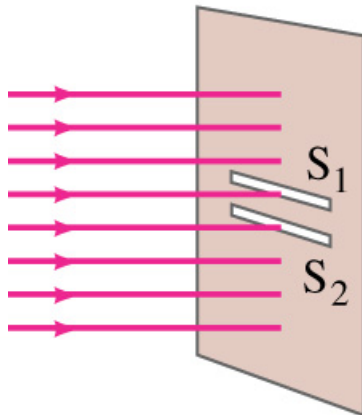
## 1. Young kétréses kísérlete

Mit látunk az ernyőn?

ha részecske

ha hullám

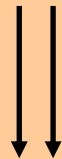
Fénysugár



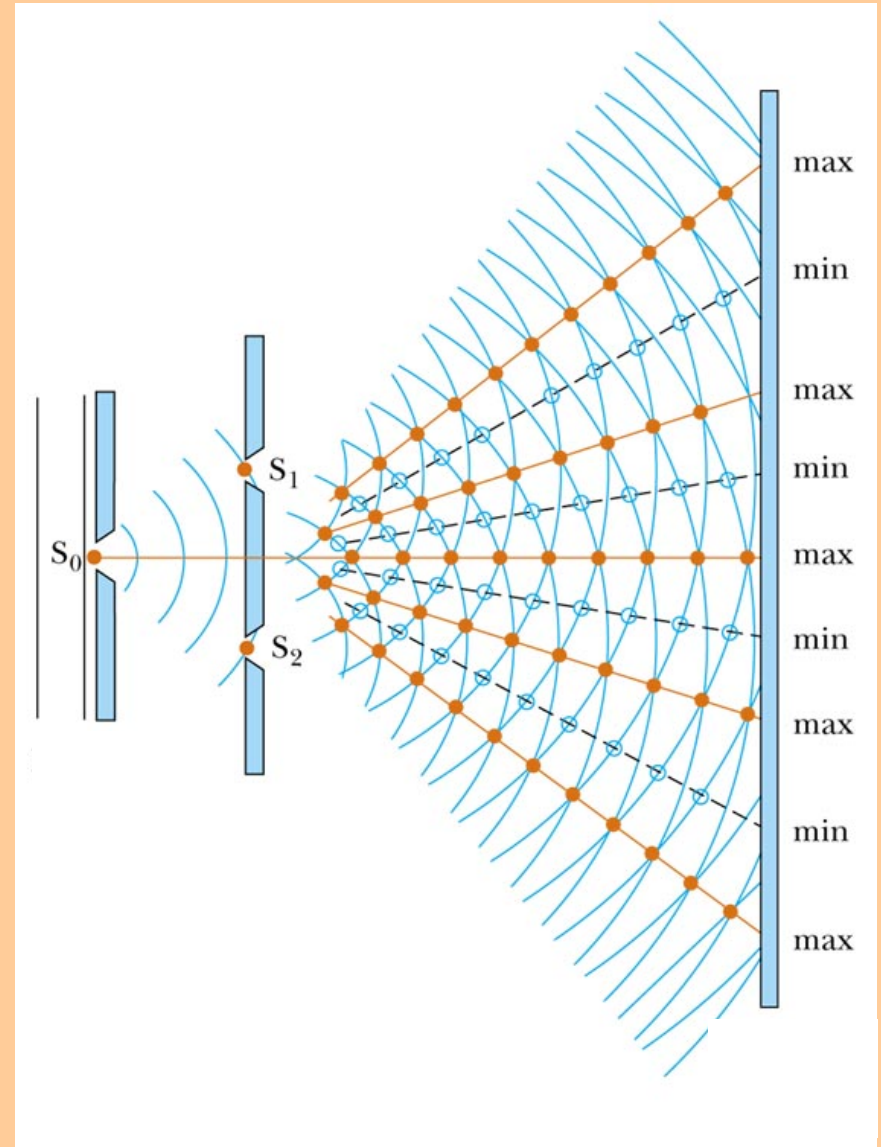
# Young kísérletének magyarázata

$S_1$  és  $S_2$  rések elemi hulláforrások

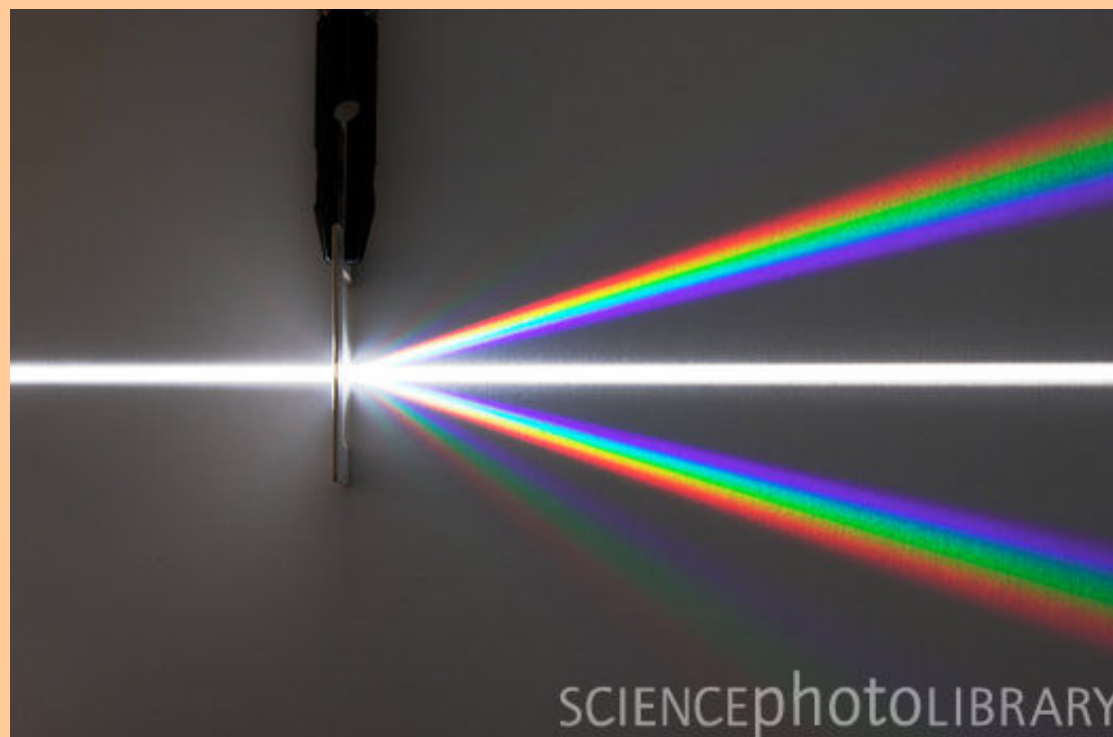
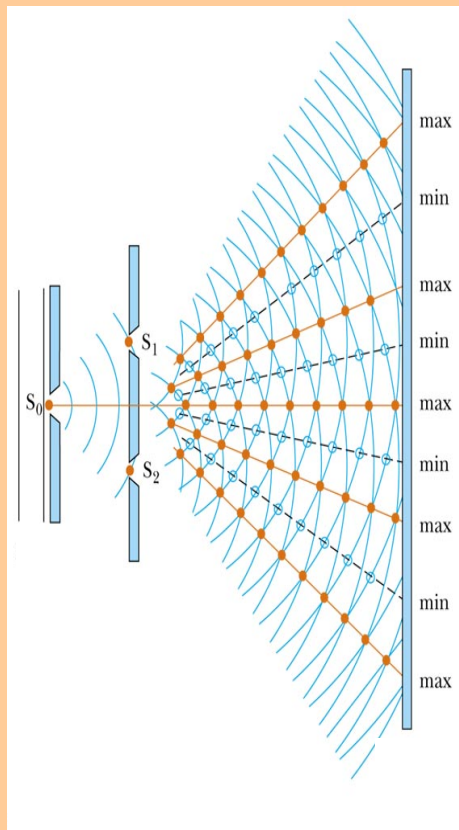
A résekből kiinduló **hullámok** ugyanabból  
a hullámfrontból származnak, tehát azonos  
fázisban vannak!



**interferencia**



# *Fehér fény felbontása optikai ráccsal*

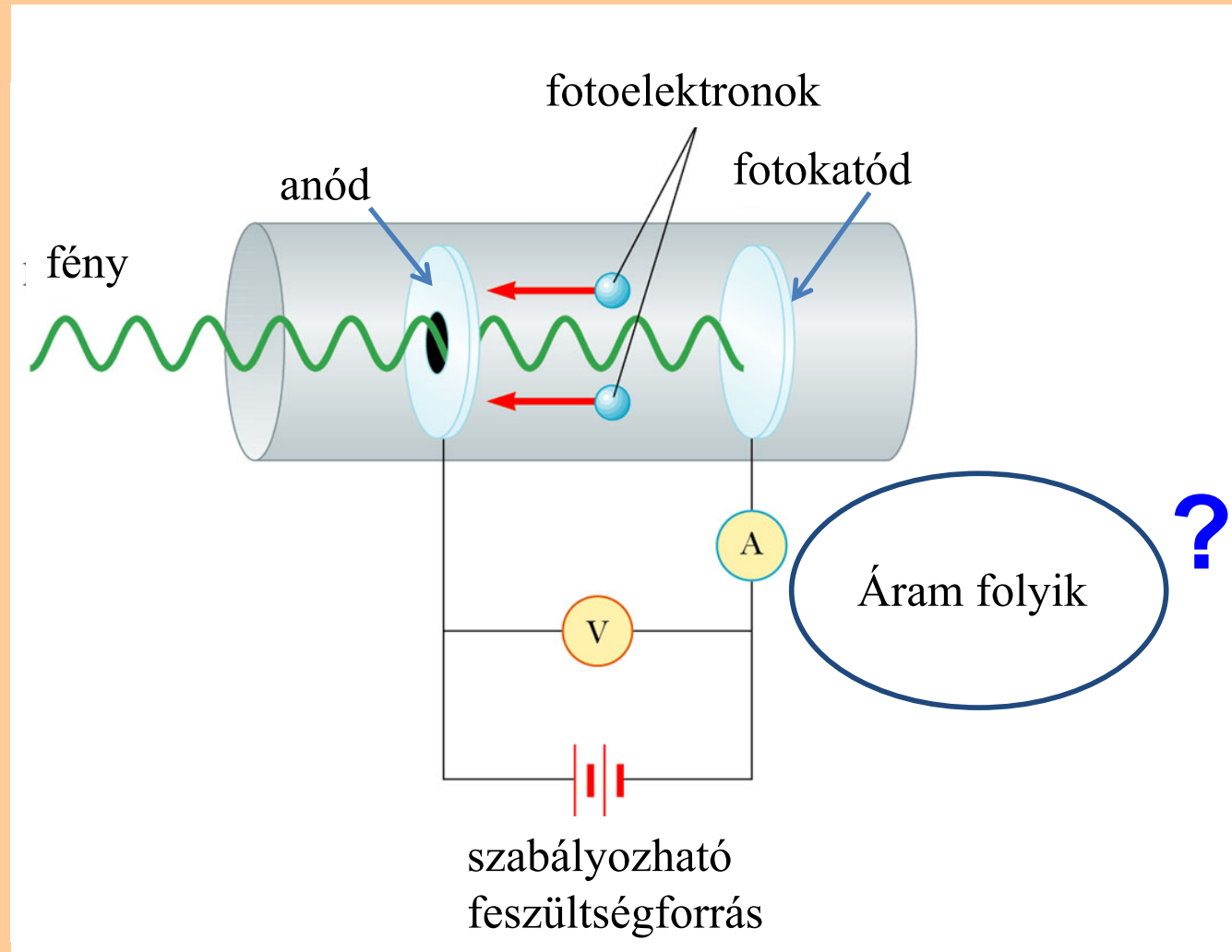


# A fény hullám vagy részecske?

## 2. Hertz kísérlete



Heinrich Hertz  
1887



Fotoelektromos effektus

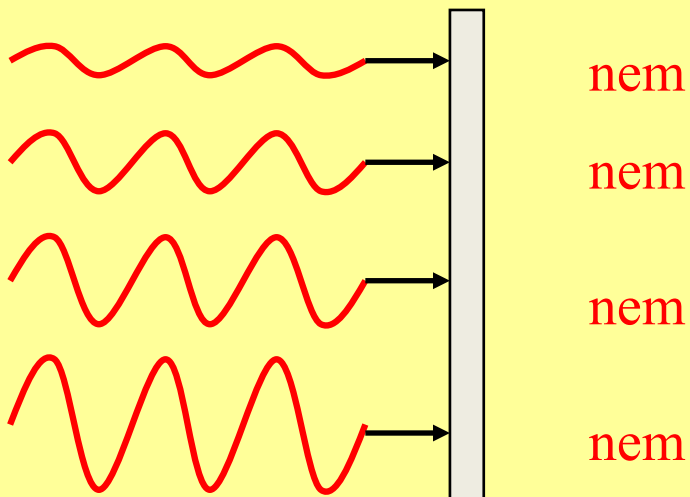
# Megvilágító fény

azonos szín / hullámhossz

azonos amplitúdó

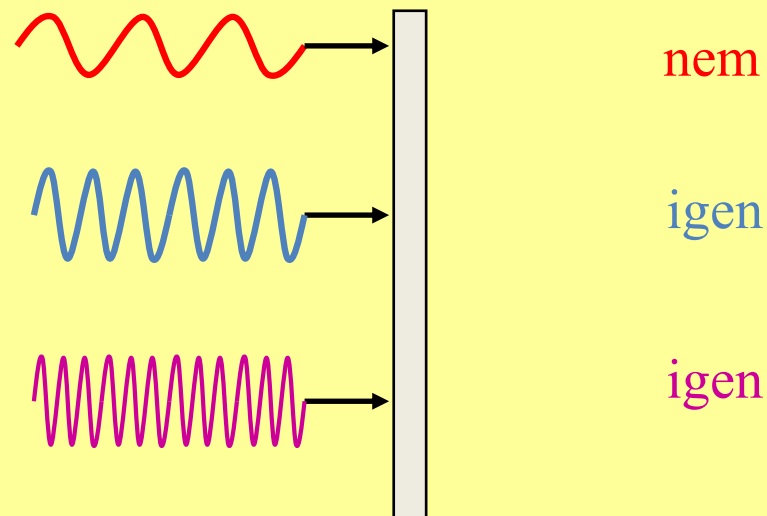
növekvő  
amplitúdó / intenzitás

Folyik áram?



változó szín / hullámhossz

Folyik áram?



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



# Magyarázat?

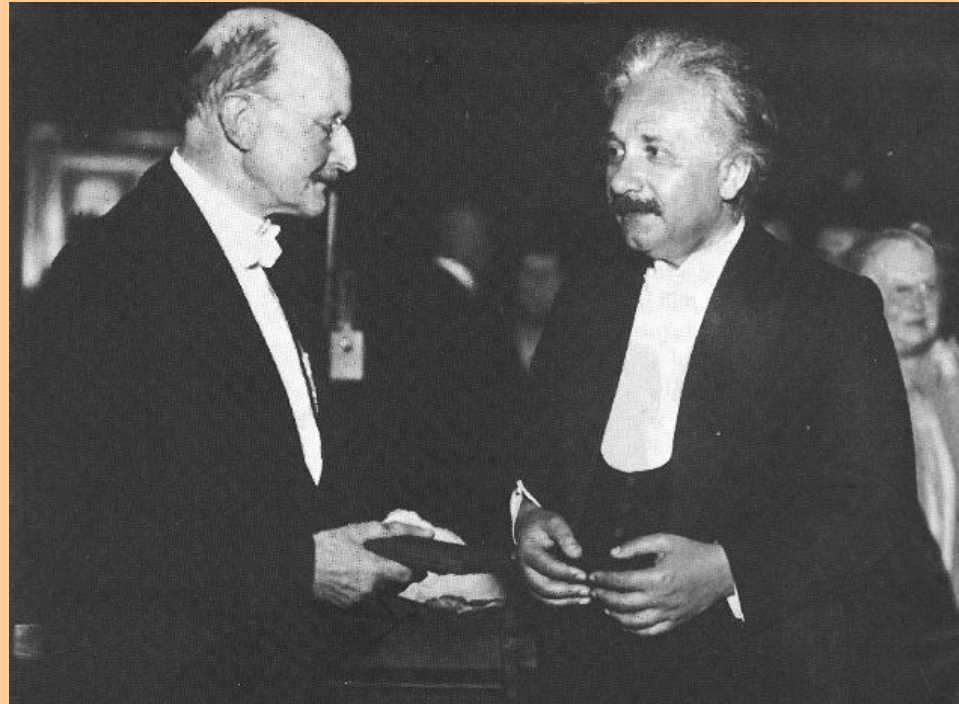
- A jelenség értelmezése a hullámtermészettel nem lehetséges

- Plank – a kvantumfizika kezdetei – az elektromágneses hullámok energiája csak diszkrét értékeket vehet fel (1900)

$$E = hf$$

- Einstein (1905) – magyarázat a kvantumelmélet alapján

**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 magyarázataért

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

## *Einstein magyarázata*

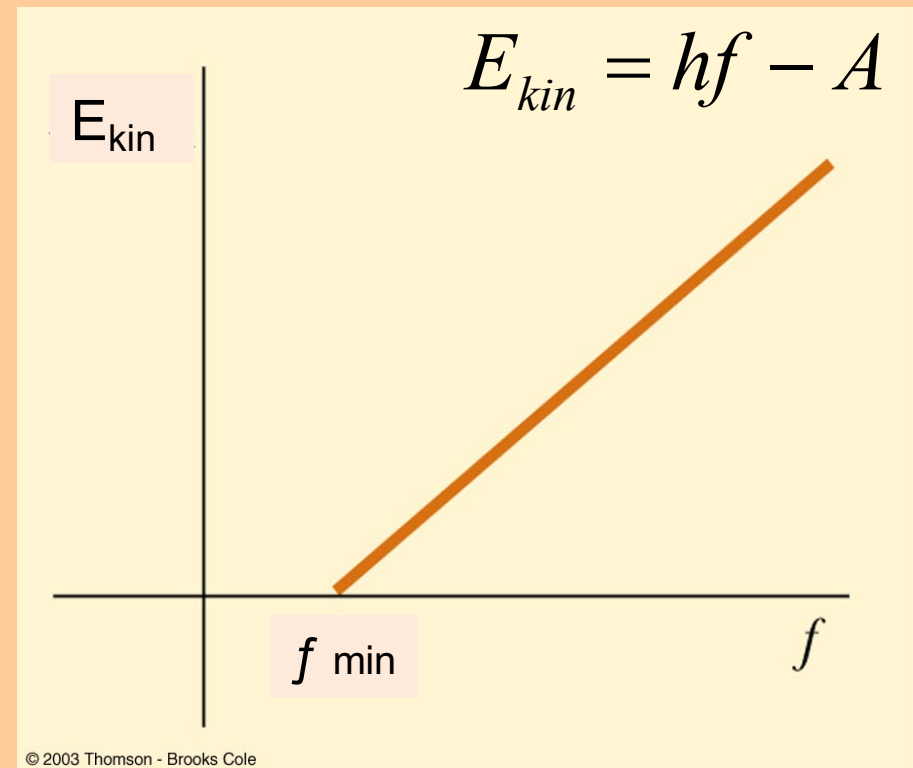
- A fény kvantált természetű, energiacsomagokban terjed
- A foton energiája:  $E = hf$
- A foton az elektronnal való ütközéskor annak átadja teljes energiáját, ha ez az energia *legalább akkora*, mint az elektron kilépési munkája ( $A$ )
- Ha az energia kisebb, mint a kilépési munka (v. ionizációs energia),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

## *Einstein magyarázata és a határfrekvencia*

A kilépő 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:

$$A = hf_{\min}$$


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

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

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

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

*800 nm – 400 nm*



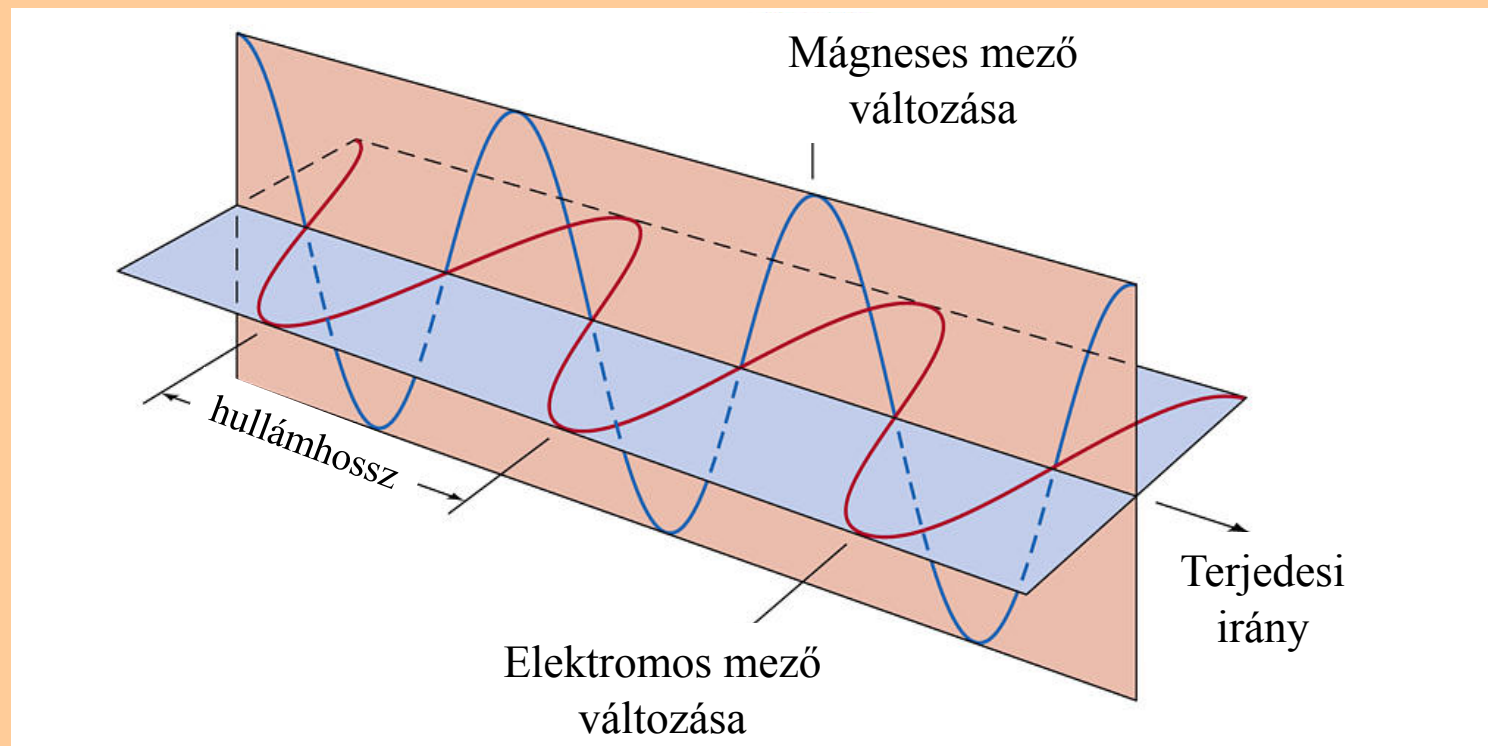
*Mennyi is.....?*

- 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

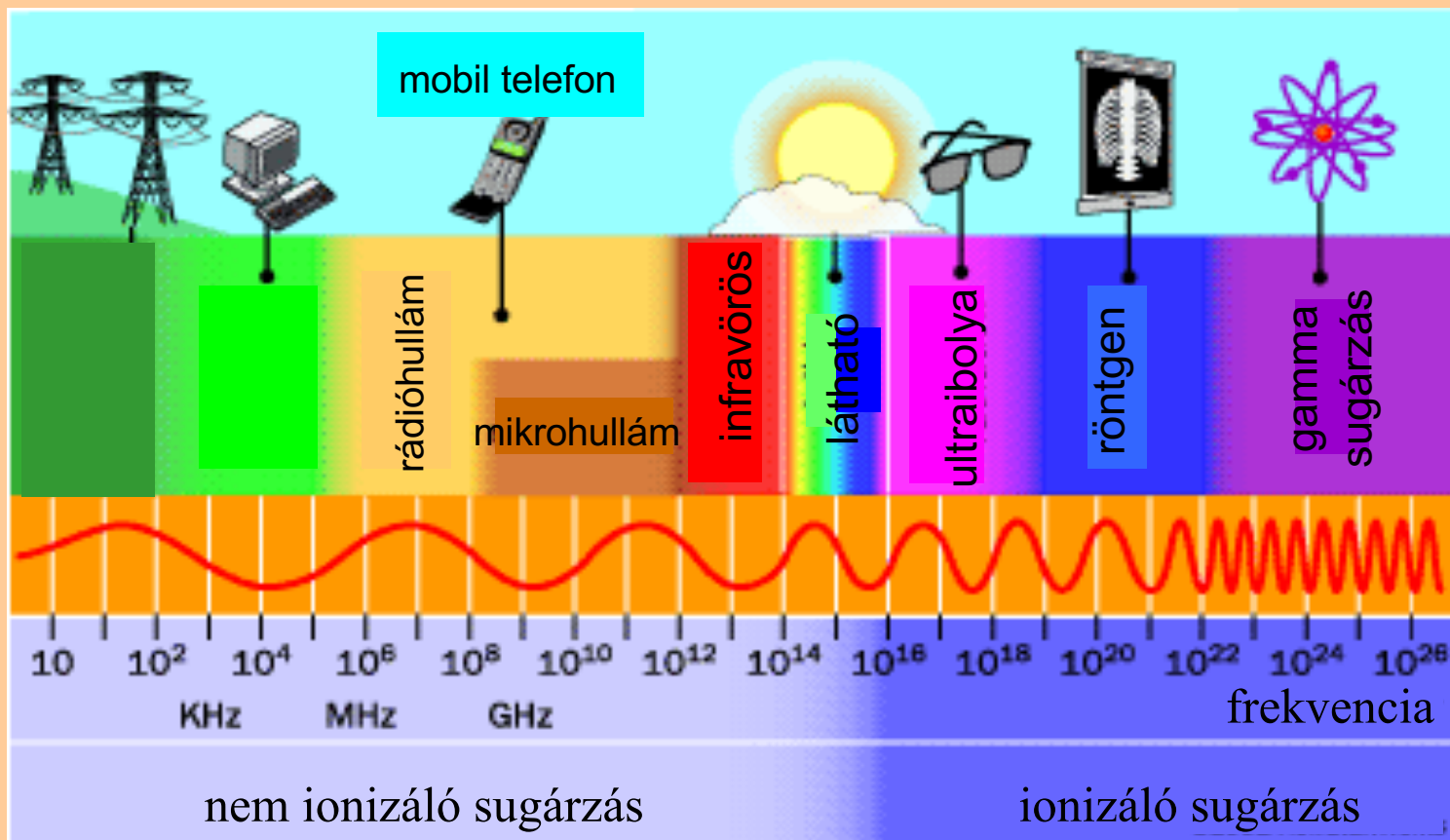
# A fény kettős természetű

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

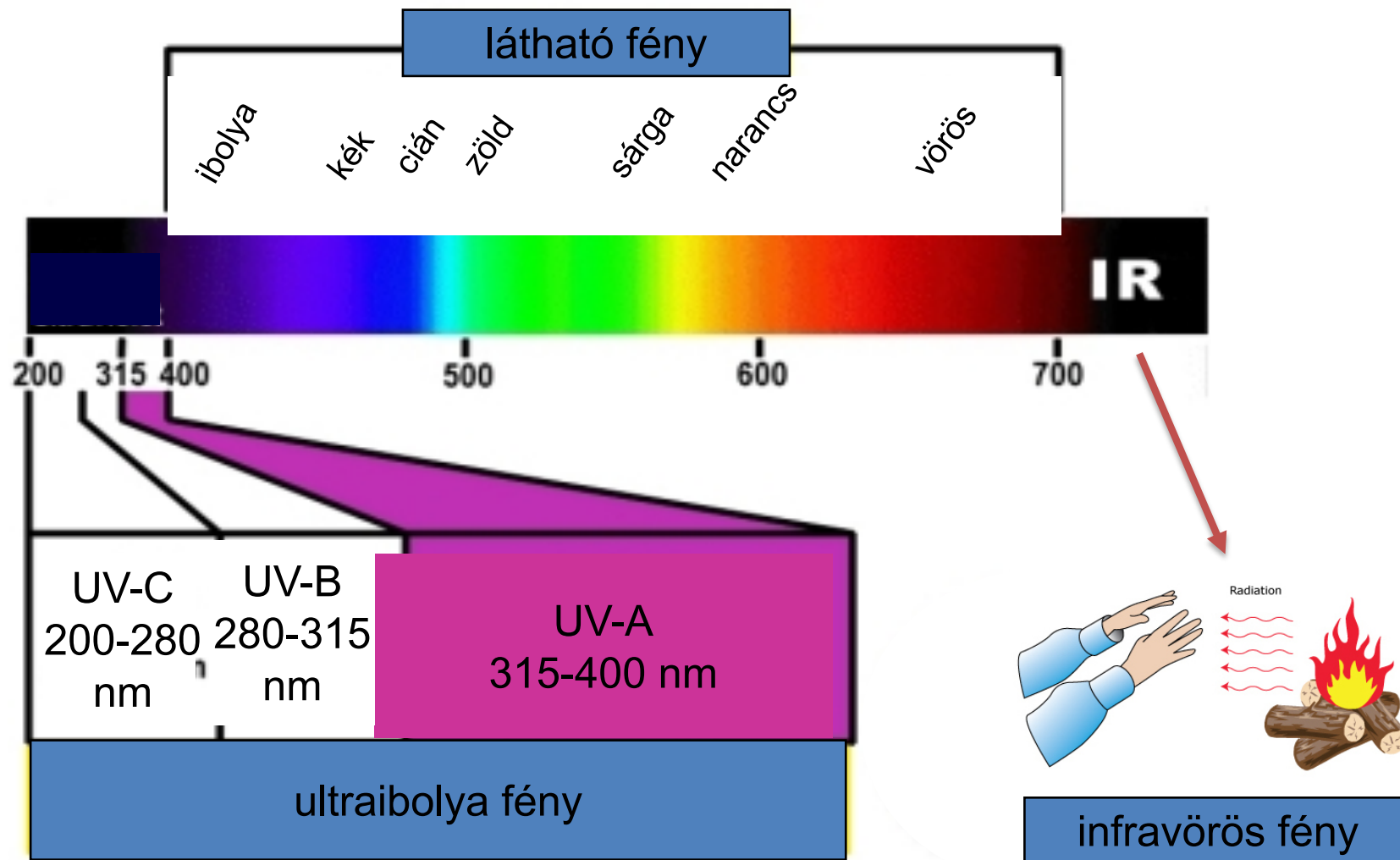
## Elektromágneses sugárzás



# Az elektromágneses spektrum



# Az optikai tartomány

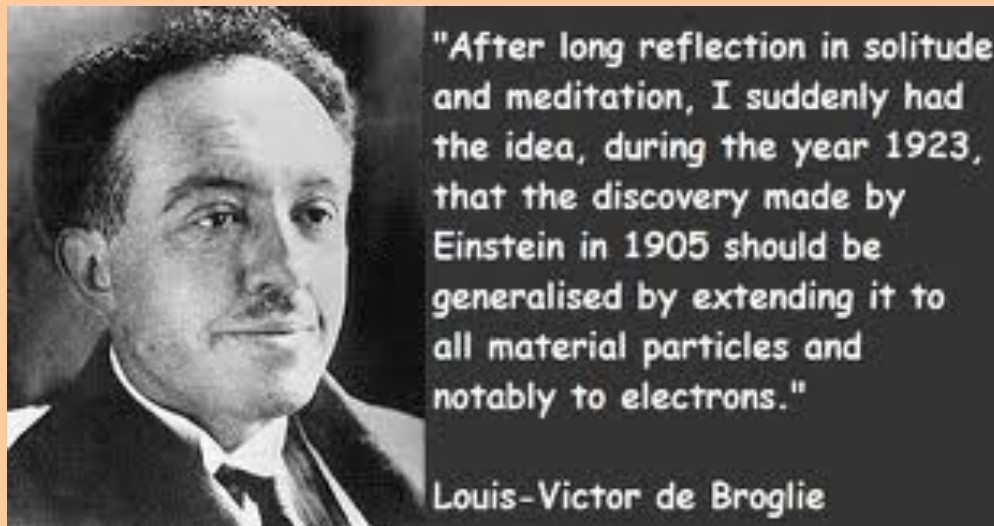


# Miért csak a fény lenne kettős természetű?

De Broglie hipotézise:

*minden* anyagnak van hullámtermészete

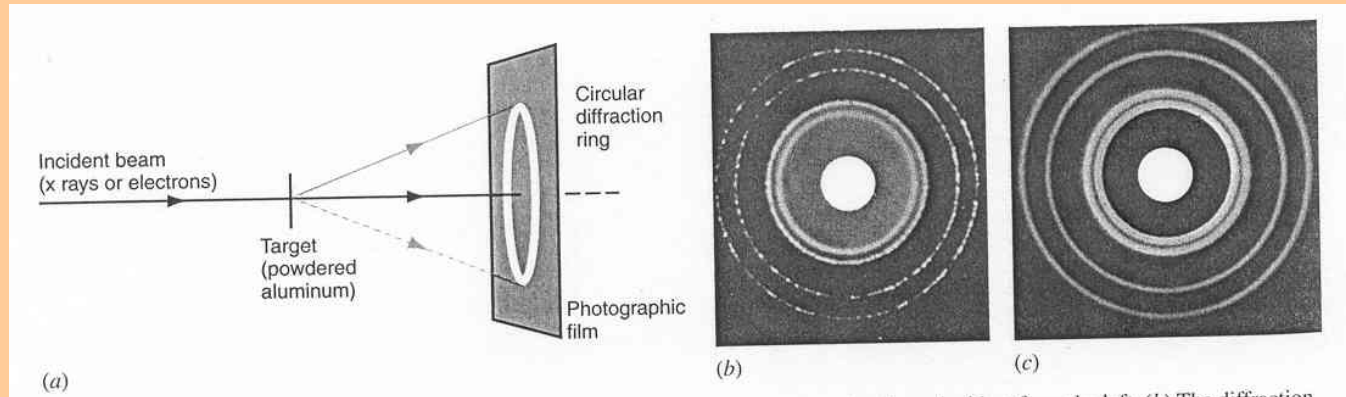
Az elektron impulzusa:  $p = m_e v$   
az elektronhullám hullámhossza:



$$\lambda = h / p$$

fizikai Nobel-díj: 1929

# A részecskék hullámtermészete



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



**Clinton Joseph  
Davisson**



**George Paget  
Thomson**

fizikai Nobel-díj, 1937

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



## Ellenőrző kérdések

A hullámok paraméterei

Mit jelent a fény kettős természete

Hogyan bizonyítható a fény hullámtermészete?

Hogyan bizonyítható a fény részecske természete?

Hogyan határozható meg a foton energiája?

Mit jelent az anyaghullám?

Fizikai mennyiségek és mértékegységük

hullámhossz

frekvencia

energia

intenzitás

momentum/lendület

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