

Orvosi Biofizika

A fény mint hullám és részecske

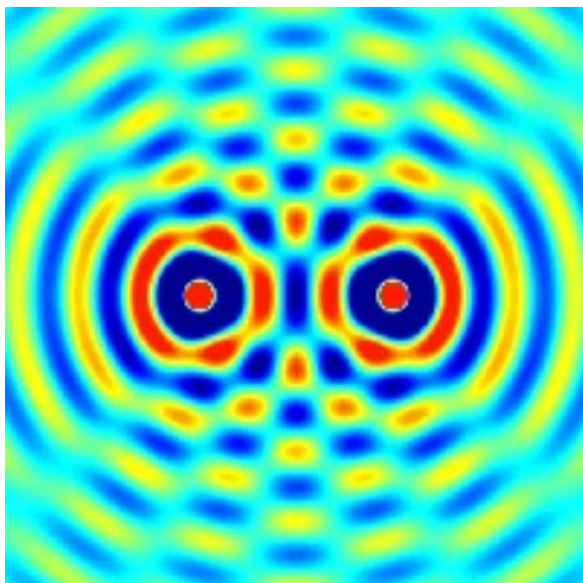
Mártonfalvi Zsolt

A fény biofizikája

- A fény mint hullám. Hullámjelenségek.
- Elektromágneses hullámok, spektrum.
- A fény mint részecske. A fotoelektromos hatás.
- A fény kettős természete.
- Anyaghullámok. Az elektron mint hullám.
- Alkalmazások

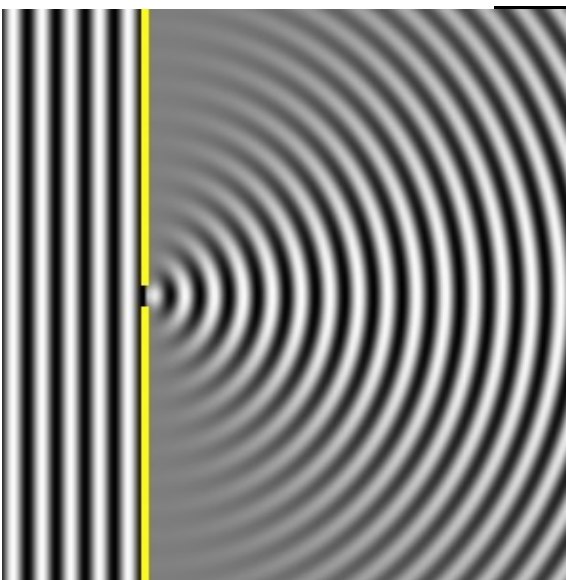
Fény mint hullám: “hullámjelenségeket” mutat

Interferencia



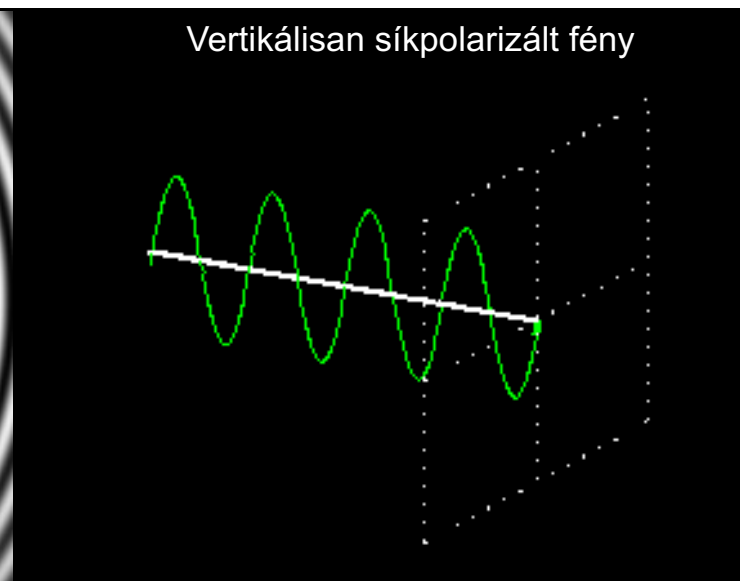
Kis és nagy amplitudójú
területek tér- és időbeli
mintázata

Diffrakció
(elhajlás)



A fény nem várt
helyekre “hajlik”

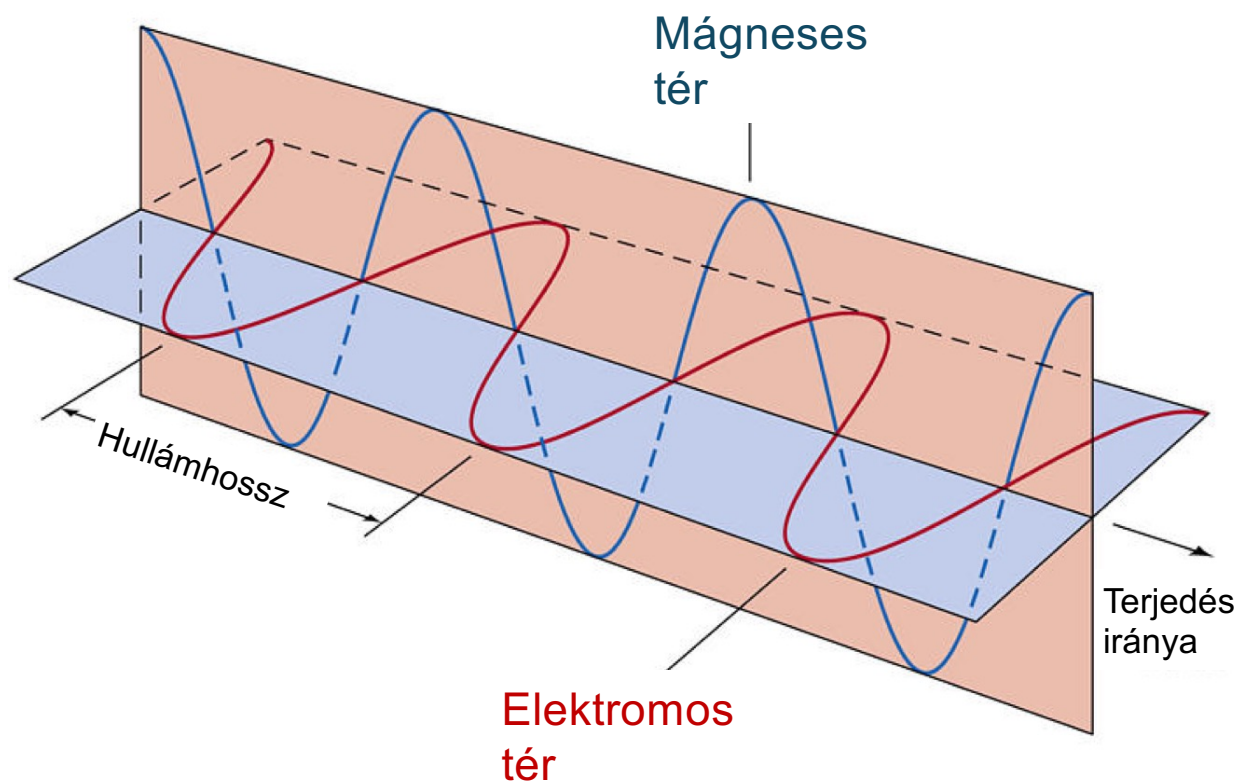
Polarizáció



A rezgés kitüntetett
irányban történik

A fény: elektromágneses hullám

Térben tovaterjedő elektromágneses zavar.
Közeg nem szükséges a terjedéséhez.



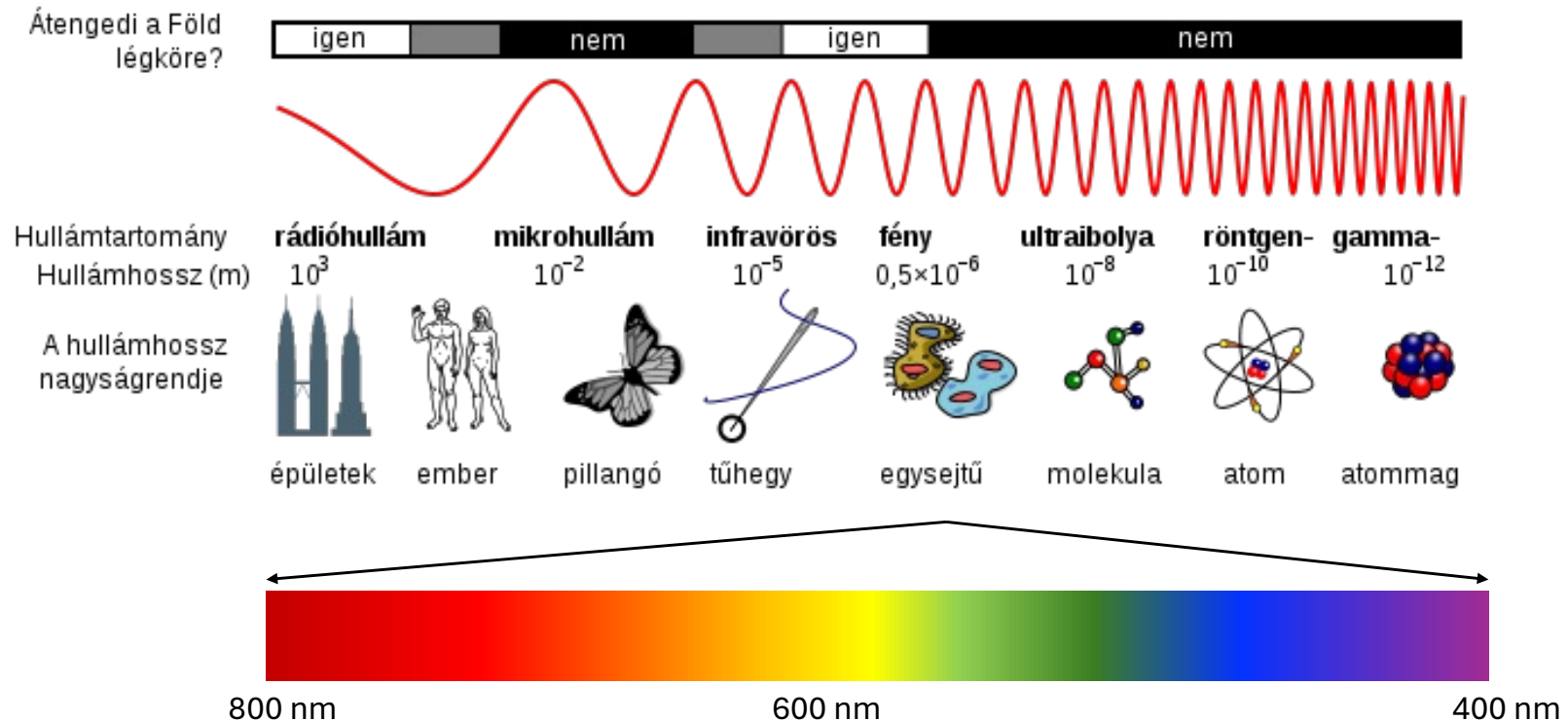
James Clerk Maxwell
(1831-1879)

Terjedési sebessége:

$$c = \lambda f$$

$$c_{\text{vákuum}} = 2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

Az elektromágneses spektrum

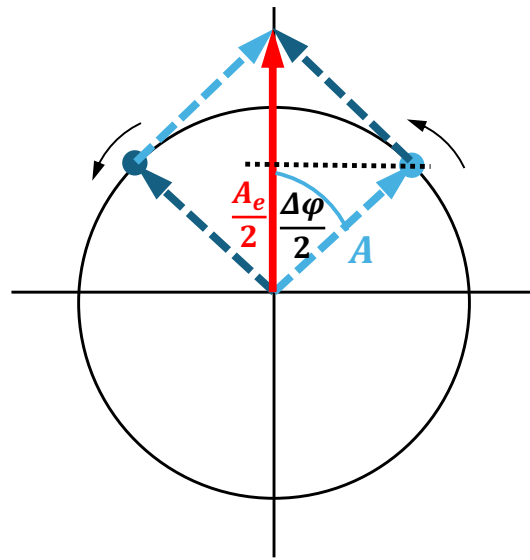


$$c = \lambda \cdot f$$

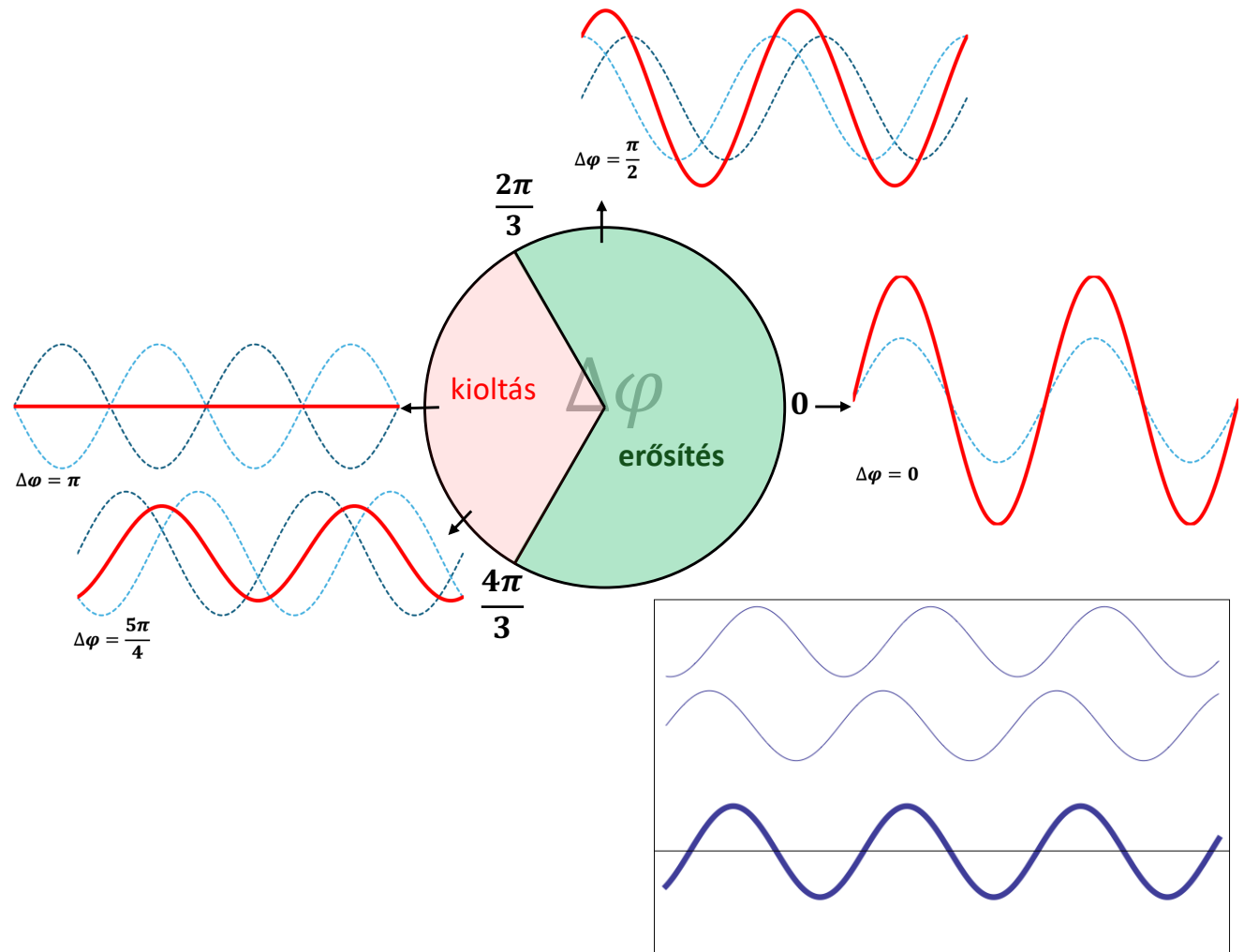
- N.B.: 1) “spektrum” = függvény (EM sugárzás intenzitása az energia függvényében)
2) “elektromágneses spektrum” = sugárzás fajtái az energia függvényében

Hullámjelenség I. Interferencia

Hullámok szuperpozíciójakor az amplitúdók összeadódnak.



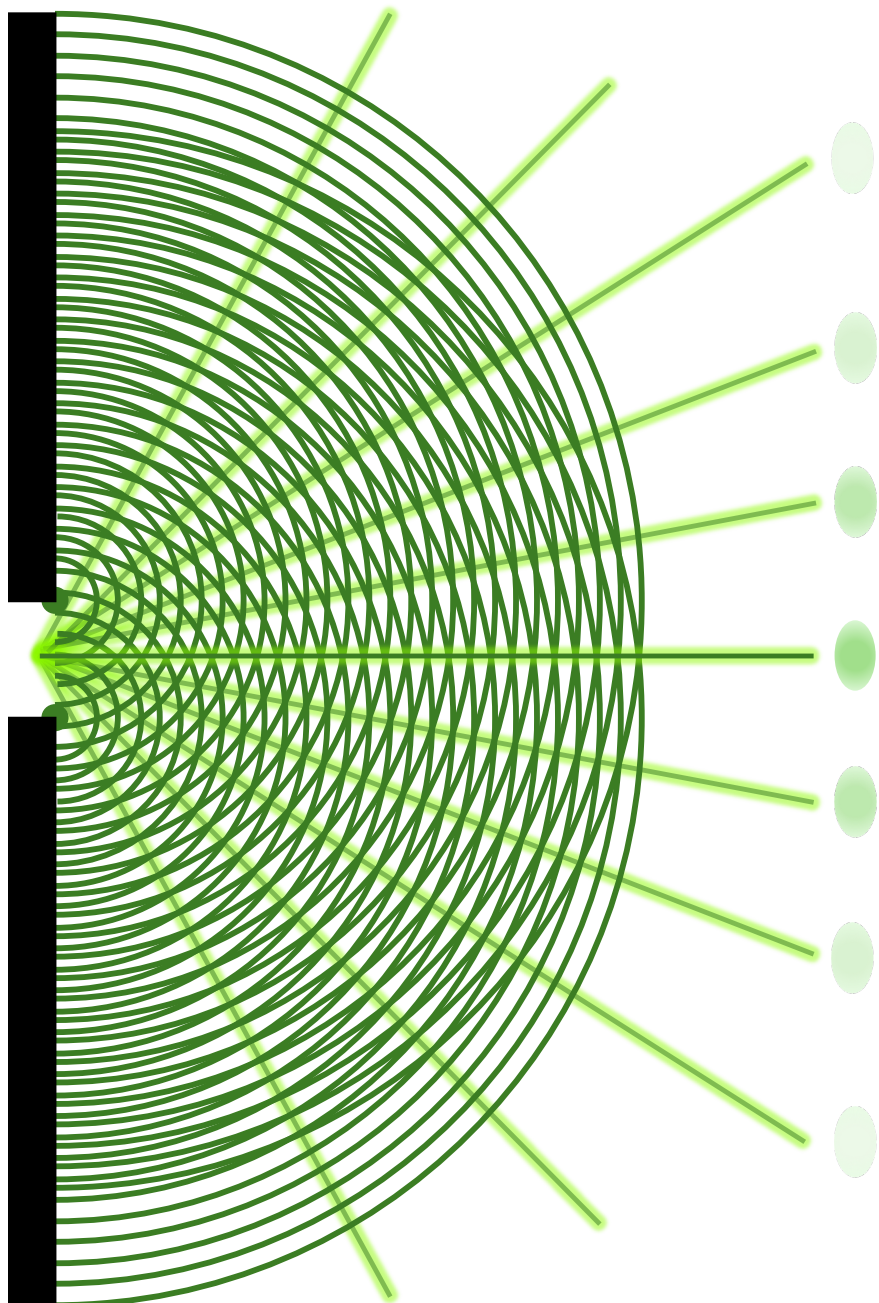
$$A_e = 2A \cdot \cos \frac{\Delta\varphi}{2}$$

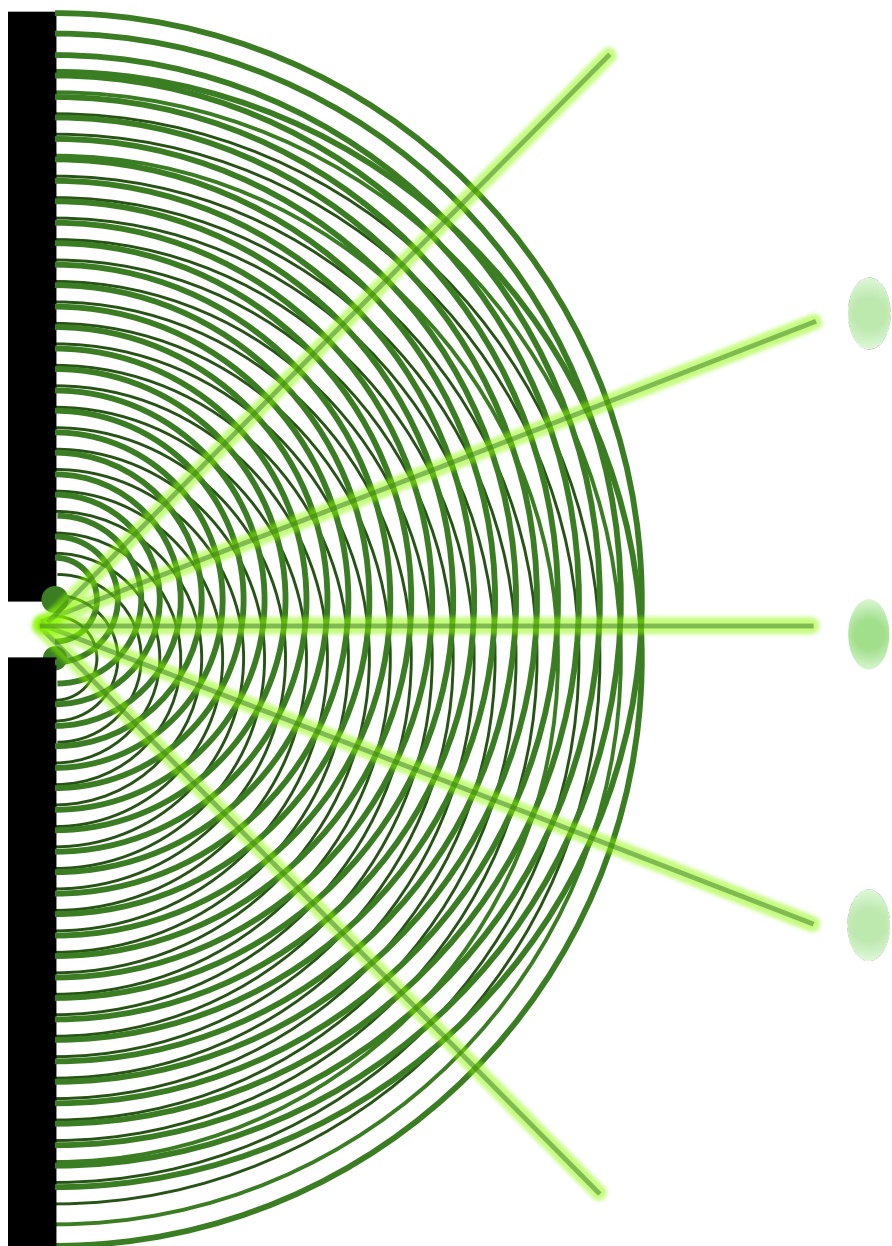


Hullámjelenség II. **Diffrakció**

A fény egy résen áthaladva nem várt helyekre hajlik.







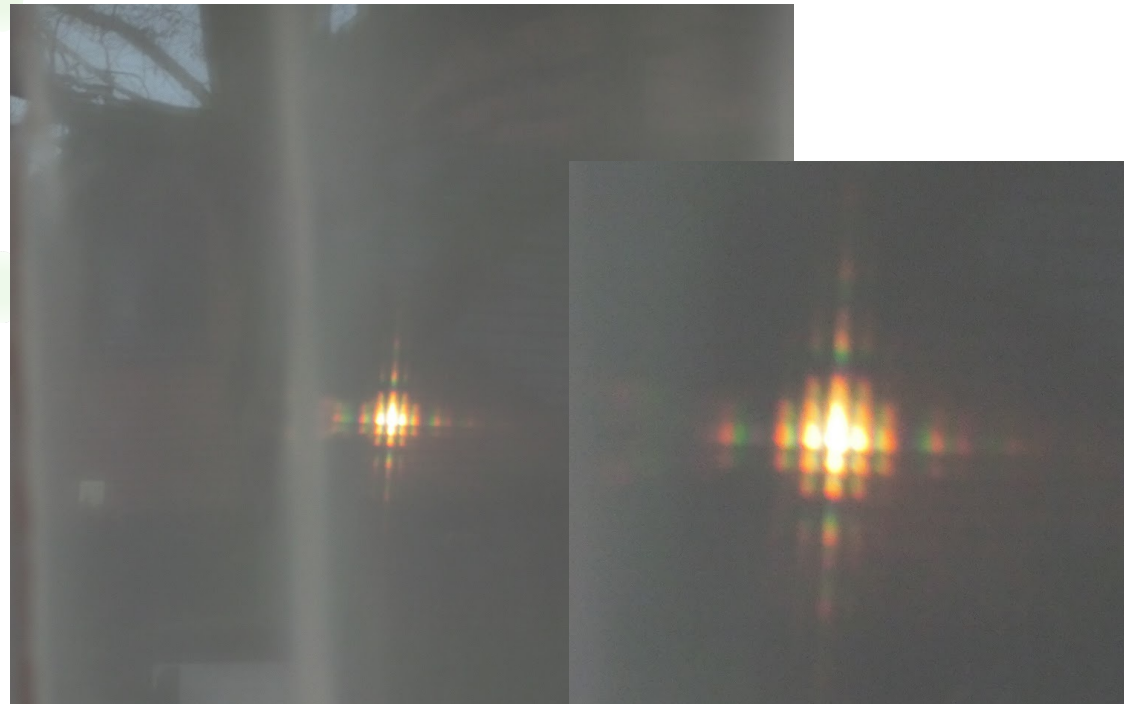
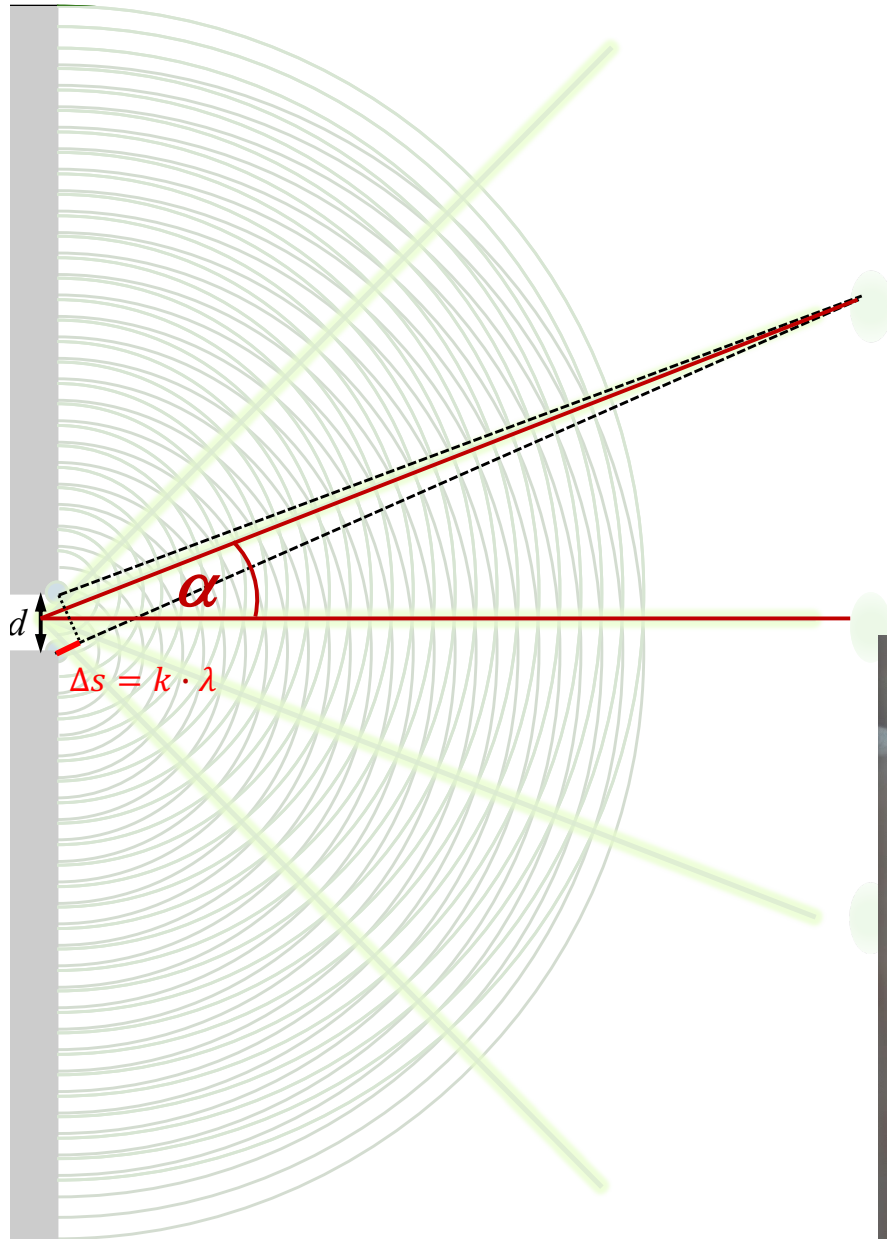
$$d \cdot \sin \alpha = k \cdot \lambda$$

d – rés mérete

α – diffrakciós szög

k – a mellékmaximum rendje (0, 1, 2, 3, ...n)

λ - hullámhossz



Mi történik, ha egy testet fénnnyel világítunk meg?

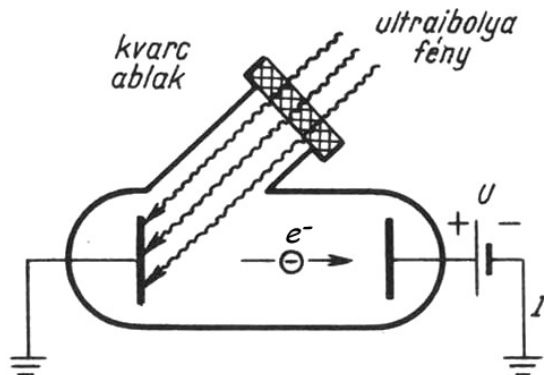
Fotoelektromos hatás: Megfigyelés

Hallwachs-effektus:

UV fény hatására negatív töltések távoznak a megvilágított fémfelületről



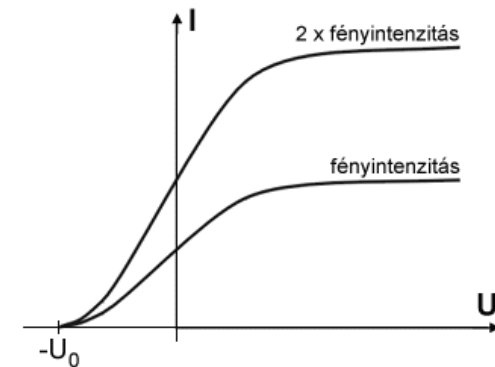
Wilhelm Hallwachs
(1859-1922)



Mérések, megállapítások



Philipp
Lenard/Lénárd
Fülöp
(1862-1947)



- Elektron emisszió: besugárzást azonnal követi
- Elektron emisszió csak nagyfrekvenciájú (pl. kék, UV) fényben
- Nincs elektron emisszió alacsony frekvenciájú (pl. vörös) fényben
- Fotoelektromos áram: fényintenzitás függvénye
- Fotoelektromos áram: nem függ a fény színétől

Fotoelektromos hatás:

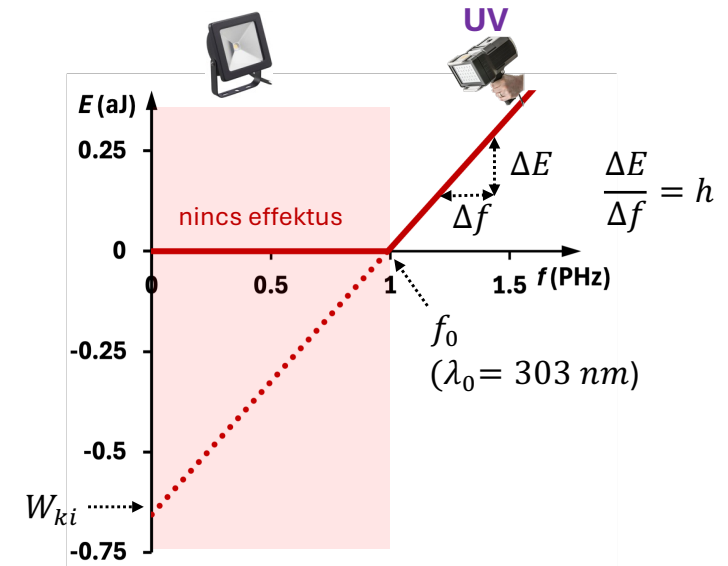
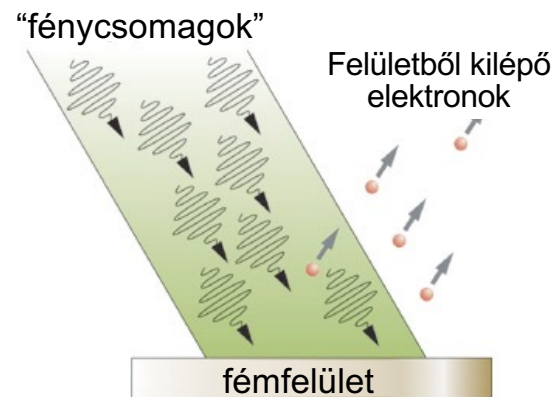
Magyarázat

1905: “Annus mirabilis”

- fotoelektromos hatás
- diffúzió
- speciális relativitáselmélet



Albert Einstein
(1879-1955)



$$E_{kin} = hf - W_{ki}$$

E_{kin} = kilépő elektron mozgási energiája

h = Planck állandó ($6.62 \cdot 10^{-34}$ Js)

f = frekvencia

hf = fényenergia = fény kvantum, **“foton”**

W_{ki} = kilépési munka

Foton:

- fénysebességgel (c) terjed vákuumban
- impulzus rendelhető hozzá
- nyugalmi tömege 0.

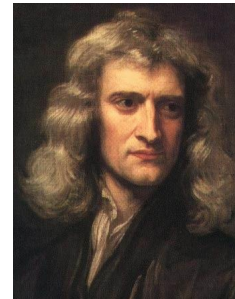
A fény **egyszerre** hullám és részecske



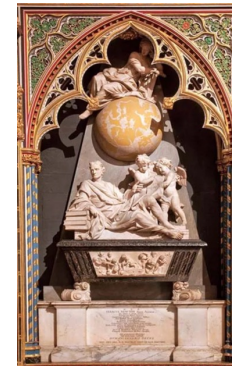
Grote Kerk church,
The Hague



Christiaan Huygens
(1629-1695)

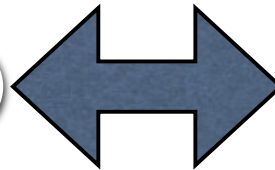


Sir Isaac Newton
(1643-1727)



Westminster abbey

Hullám



Részecske

Terjedés közben

- Diffrakció
- Interferencia
- Polarizáció

Kölcsönhatáskor

- Fotoelektromos hatás
- Fénytörés
- Gerjesztés, Ionizáció
- Compton-szórás
- Párkeltés

Ha a fény lehet részecske, egy részecske lehet hullám?

Anyaghullámok - az elektron mint hullám

Einstein:
tömeg-energia
ekvivalencia

$$E = mc^2$$

Planck:
sugárzási
törvény

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



Louis-Victor-Pierre-Raymond, 7th duc de Broglie (1892-1987)

$$mc^2 = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

Részecske (foton
is!) impulzusa:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

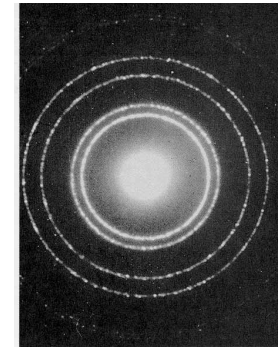
Részecske hullámhossza
("de Broglie hullámhossz"):

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

Davisson-Germer kísérlet



Clinton Joseph Davisson (1881 –1958) Lester Halbert Germer (1896–1971)



Interferencia
mintázat
jelenik meg!

Az elektron hullám!

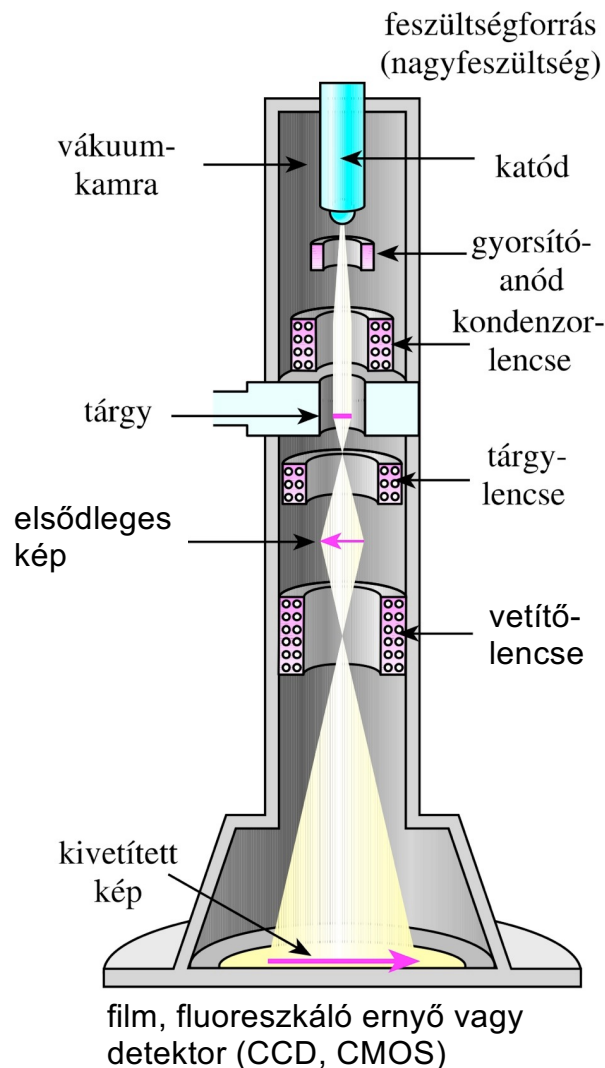
Miért nem érzékeljük makroszkopikus testek
hullámtermészetét (pl. puskagolyó)?



Puskagolyó: $m=1$ g, $v=1$ kms⁻¹
esetén $\lambda= 6 \times 10^{-34}$ m!!

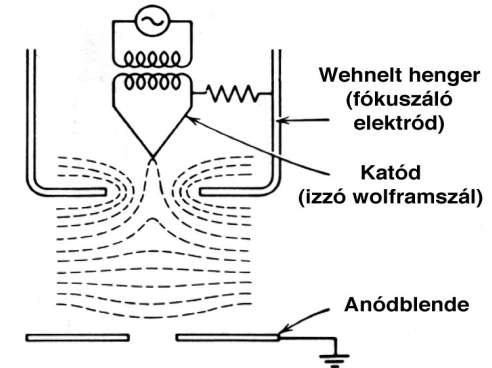
Alkalmazások

Anyaghullámok: Elektronmikroszkóp

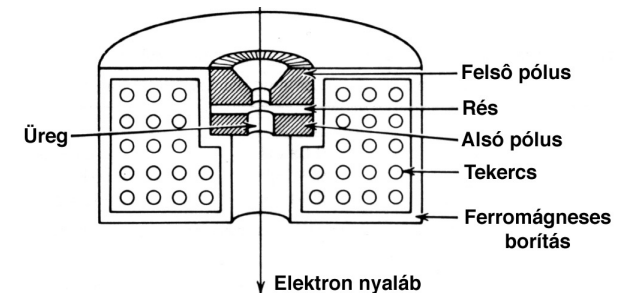


Transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM)

Sugárforrás:
elektronágyú



Fókuszálás:
elektronnyaláb
kitérítése
mágnestlencsével



Feloldóképesség: $d = \frac{\lambda}{\alpha}$

d = legkisebb feloldott távolság
 λ = "de Broglie" hullámhossz
 α = optikai tengely és a mágneses tér iránya által bezárt szög

de Broglie hullámhossz alapján elméleti $d \sim 0,005 \text{ nm}$ (=5 pm)

Alkalmazások

Fotoelektromos hatás: fotodetektálás, fotocella, CCD, stb, stb.....

Fénydetektálás,
képrögzítés, CCD
kamera



CCD mobiltelefon
kamerájában

Fényenergia
összegyűjtése,
átalakítása



Napelemek

Fényerősítés



A Bárányok hallgatnak "Buffalo Bill"
jelenete (fényerősítés csatornalemezes
fotoelektron-sokszorozóval)