

ORVOSI BIOFIZIKA

A FÉNY MINT HULLÁM ÉS RÉSZECSCKE

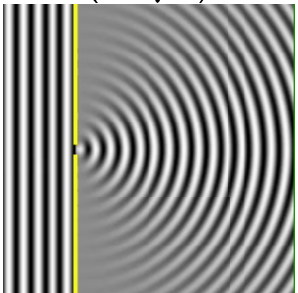
KELLERMAYER MIKLÓS

A fény mint hullám és részecske

- A fény mint hullám. Hullámjelenségek.
- Elektromágneses sugárzás, spektrum.
- A fény mint részecske. Fényelektromos hatás.
- Fény kettős természete.
- Anyaghullámok, az elektron mint hullám.
- Alkalmazások.

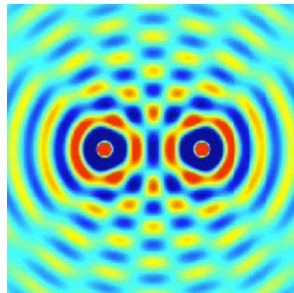
Fény mint hullám: “hullámjelenségeket” mutat

Diffrakció
(elhajlás)



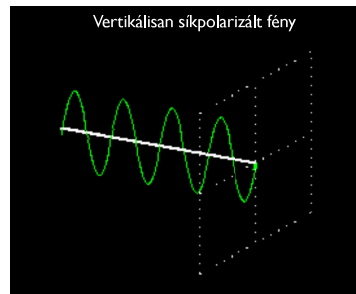
A fény nem várt helyekre “hajlik”

Interferencia



Kis és nagy amplitudójú területek tér- és időbeli mintázata

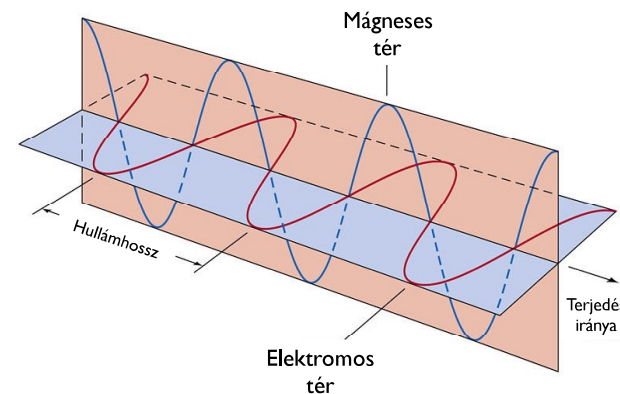
Polarizáció



A rezgés kitüntetett irányban történik

A fény: elektromágneses hullám

Térben tovaterjedő elektromágneses zavar.
Rugalmas közeg nem szükséges a terjedéséhez.



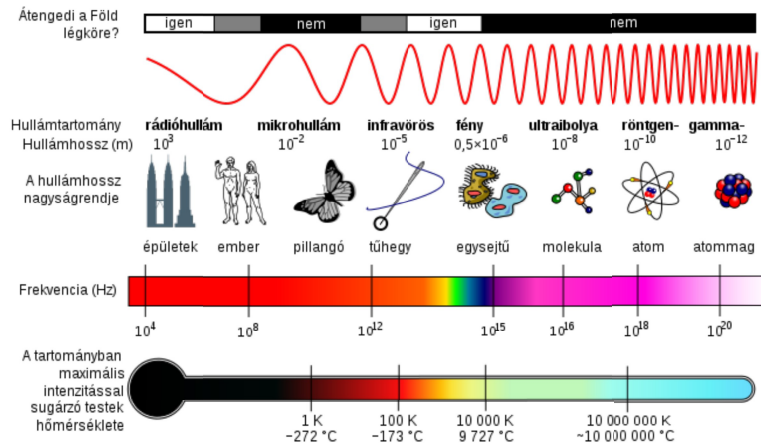
James Clerk Maxwell
(1831-1879)

Terjedési sebessége:

$$c = \lambda f$$

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

Az elektromágneses spektrum



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

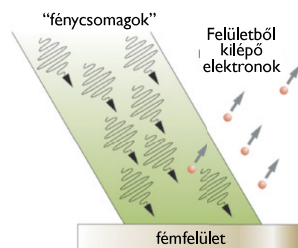
Fotoelektromos hatás: Magyarázat

1905: "Annus mirabilis"

- fotoelektromos hatás
- diffúzió
- speciális relativitáselmélet



Albert Einstein (1879-1955)



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

E_{kin} = kilépő elektron mozgási energiája
 h = Planck állandó ($6.62 \cdot 10^{-34}$ Js)
 f = frekvencia
 hf = fényszerke = fény kvantum, "foton"
 W_{ex} = kilépési munka

Foton:
• fényszerke (c) terjed vákuumban
• impulzus rendelhető hozzá
• nyugalmi tömege 0.

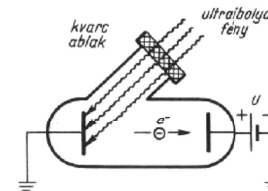
Mi történik, ha egy testet fénnel világítunk meg?

Fotoelektromos hatás: Megfigyelés

Hallwachs-effektus:
UV fény hatására negatív töltések távoznak a megvilágított fémfelületről



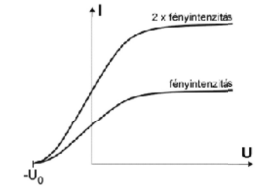
Wilhelm Hallwachs (1859-1922)



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

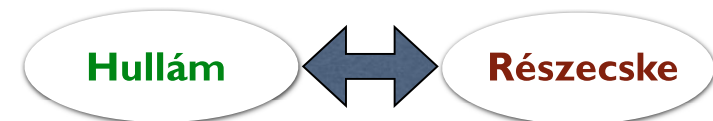
A fény egyszerre hullám és részecske



Christiaan Huygens (1629-1695)



Sir Isaac Newton (1643-1727)



Terjedés közben

- Diffrakció
- Interferencia
- Polarizáció

Kölcsönhatáskor

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

Ha a fény lehet részecske, egy részecske lehet hullám?

Anyaghullámok - az elektron mint hullám

Einstein:
tömeg-energia
ekvivalencia
 $E = mc^2$

Planck:
sugárzási
törvény
 $E = hf$

Maxwell:
fény terjedési
sebessége
 $c = \lambda f$



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"):

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

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



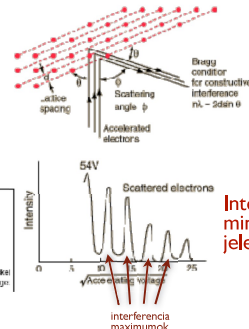
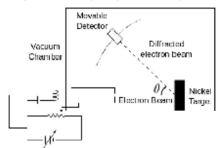
Puskagolyó: $m=1 \text{ g}$, $v=1 \text{ kms}^{-1}$
esetén $\lambda = 6 \times 10^{-34} \text{ m}!!$

Davisson-Germer kísérlet



Clinton Joseph Davisson (1881-1958)

Lester Halbert Germer (1896-1971)

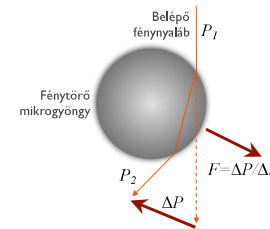


Interferencia
mintázat
jelenik meg!

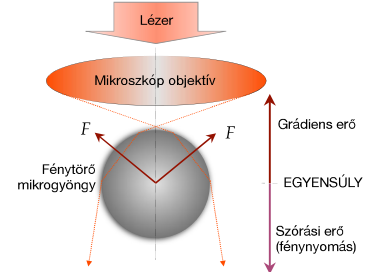
Az elektron hullám!

A fényimpulzus-változás alkalmazása: lézercsipesz

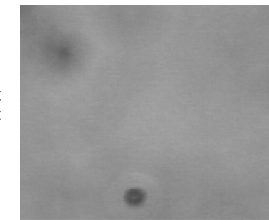
A fénytörés (refrakció) fényimpulzus-
változással (ΔP) jár:



Fénytörő részecskék "optikai erőkkel"
megfoghatók:



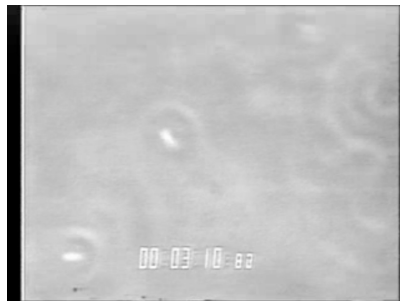
Az **optikai csipeszben** a fotonok
és a fénytörő részecske között
impulzuscsere lép fel



3 μm átmérőjű latex
(polistírol) mikrogöngyök
optikai csipeszben

N.B.: lézercsipesz, optikai
csipesz, optikai csapda
szinonimák

A lézercsipesszel élő sejtek is megfoghatók



Baktérium csapdázása optikai csipesszel

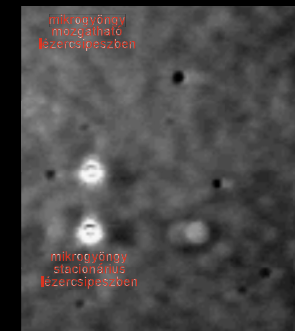
Csomókötés egyetlen molekulafonálra optikai csipesszel

Aktin filamentum

DNS

Fáziskontraszt kép

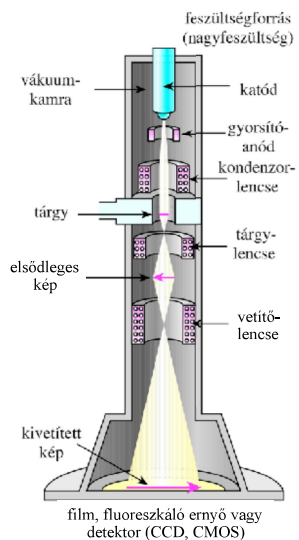
Fluoreszcencia kép



Fluoreszcencia kép

Alkalmazások 2.

Anyaghullámok: Elektronmikroszkóp



Transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM)

Sugárforrás:
elektronágyú

Fókuszálás:
elektronnyaláb
kiterítése
mágneslencsével

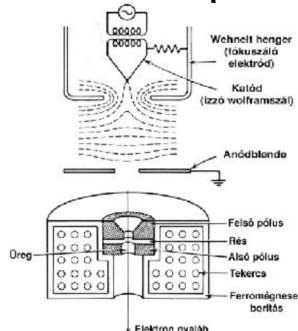
$$F = eBV_e \sin \alpha$$

F =elektronra ható erő; e =elektron töltése; B =mágneses térerő; V_e =elektron sebessége; α =optikai tengely és a mágneses tér iránya által bezárt szög

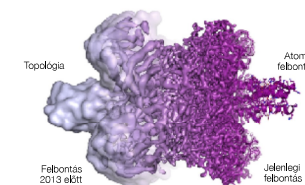
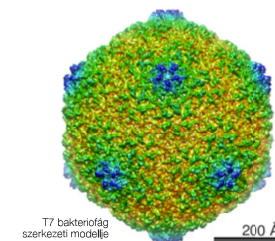
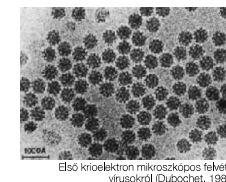
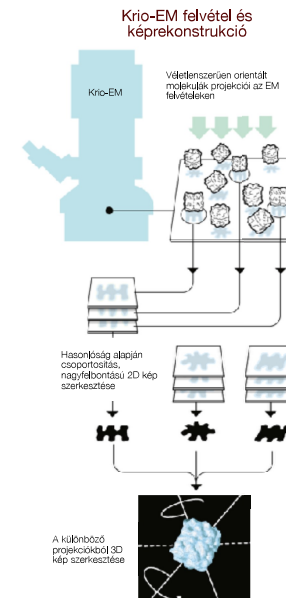
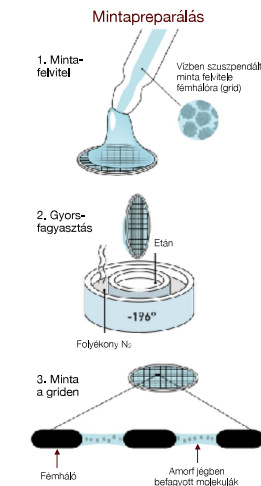
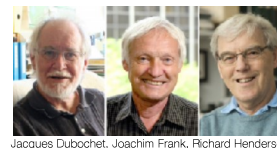
Feloldóképesség: $d = \frac{\lambda}{\alpha}$

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)



Kémiai Nobel-díj 2017: Krioelektron mikroszkópia



Alkalmazások 3.

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

Fénydetektálás,
képrögzítés, CCD
kamera

Fényenergia összegyűjtése,
átalakítása

Fényerősítés

