

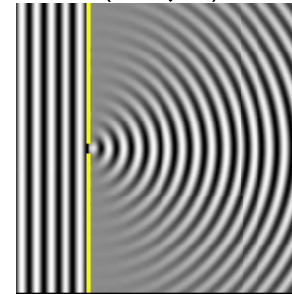
ORVOSI BIOFIZIKA

A FÉNY MINT HULLÁM ÉS RÉSZECSCKE

KELLERMAYER MIKLÓS

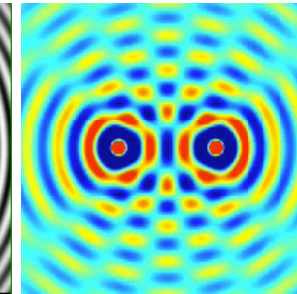
Fény mint hullám: “hullámjelenségeket” mutat

Diffракció
(elhajlás)



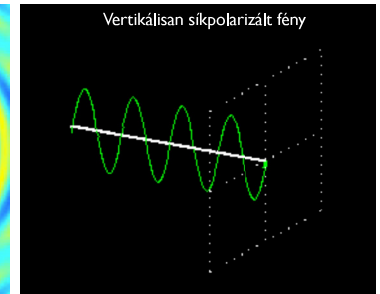
A fény nem várt helyekre “hajlik”

Interferencia



Kis és nagy amplitudójú területek tér- és időbeli mintázata

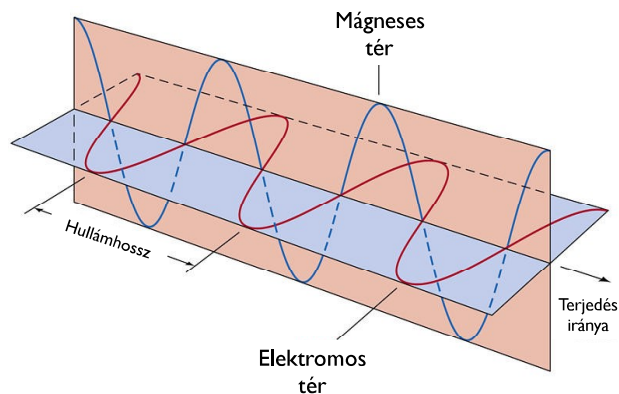
Polarizáció



A rezgés kitüntetett irányban történik

A fény: elektromágneses hullám

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



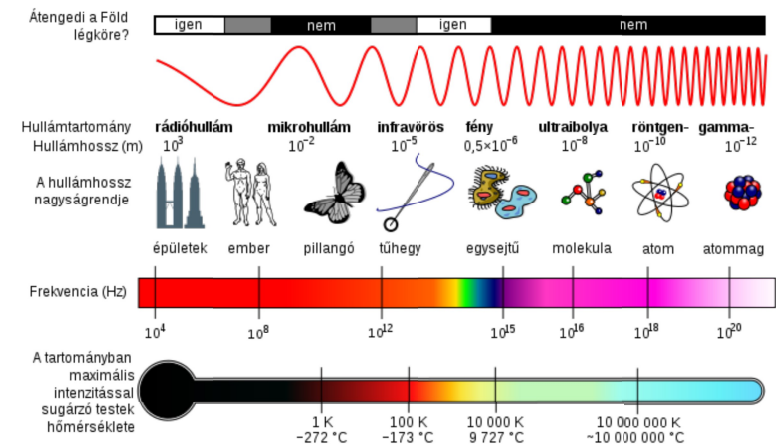
James Clerk Maxwell
(1831-1879)

Terjedési sebessége:

$$c = \lambda f$$

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

Az elektromágneses spektrum



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

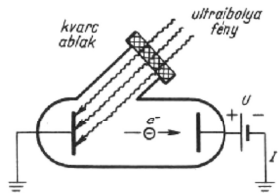
Mi történik, ha egy testet fénnel világítunk meg?

Fotoelektromos hatás: Megfigyelés

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



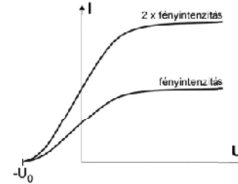
Wilhelm Hallwachs (1859-1922)



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

Fotoelektromos hatás:

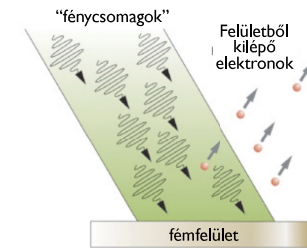
Magyarázat

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 = fényenergia = fény kvantum, "foton"

W_{ex} = kilépési munka

Foton:

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

A fény egyszerre hullám és részecske



Christiaan Huygens
(1629-1695)



Sir Isaac Newton
(1643-1727)

Hullám

Terjedés közben

- Diffrakció
- Interferencia
- Polarizáció

Részecske

Kölcsönhatásokor

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

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"):

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

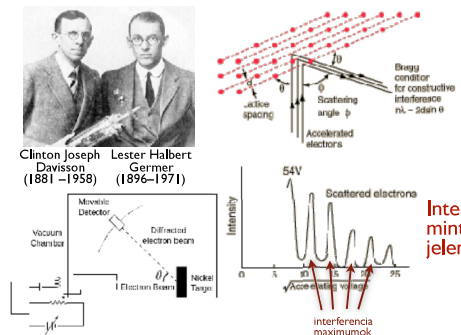
Miért nem érzékeljük makroszkopikus testek hullámtermészetét (pl. puskagolyó)?

Davisson-Germer kísérlet



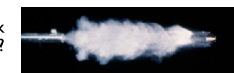
Clinton Joseph Davisson
(1881-1958)

Lester Halbert
Germer (1896-1971)



Interferencia
mintázat
jelenik meg!

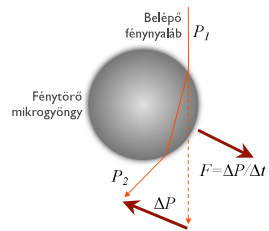
Az elektron hullám!



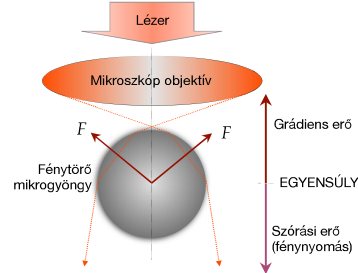
Puskagolyó: $m=1$ g, $v=1$ kms⁻¹
esetén $\lambda = 6 \times 10^{-34}$ m!!

Alkalmazás I: lézercsipesz

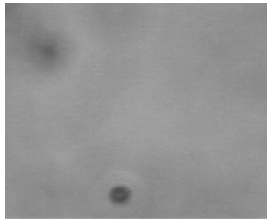
A fénytörés (refrakció) fényimpulzus-változással (ΔP) jár:



Fénytörő részecskék "optikai erőkkel" megfoghatók:



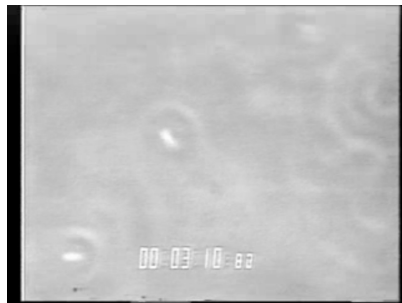
Az optikai csipeszben a fotonok és a fénytörő részecske között impulzuscsere lép fel



3 μm átmérőjű latex (polistirol) mikrogöngyök optikai csipeszben

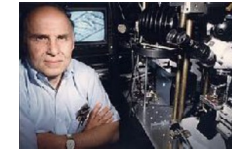
N.B.: lézercsipesz, optikai csipesz, optikai csapda szinonimák

A lézercsipeszsel élő sejtek is megfoghatók



Baktérium csapdázása optikai csipeszsel

A lézercsipesz fontosabb történeti állomásai



Arthur Ashkin (Nobel-díj 2018)

1970: Arthur Ashkin: lézercsipesz

1991: J.Spudich, T.Yanagida, J.Molloy, egyedi miozin mechanika

1994: T.Yanagida, egyetlen ATP turnover miozinon

1994: K.Svoboda, S. Block, egyedi kinesin mechanika

1996: C.Bustamante, D.Bensimon, DNS molekula megnyújtása

1997: S. Chu, W.D. Phillips és C. Cohen-Tanoudji (Nobel-díj): lézeres atomhűtés,

1997: M.Kellermayer, M.Rief, L.Tskhovrebova, titin megnyújtás (első fehérje)

2000: Galajda P., Ormos O., Mikrofabrikáció lézercsipeszsel, optikailag hajtott gépek

2001: J.Liphardt, C.Bustamante, RNS megnyújtása

2002: Holografikus lézercsipesz (spatial light modulator, SLM)

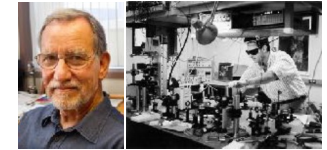
2008: Bustamante, Tinoco: riboszóma mechanika



C.Bustamante



J.Molloy



J.Spudich

J.Finer



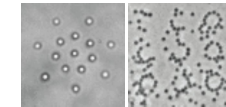
S. Chu, W.D. Phillips és C. Cohen-Tanoudji



S. Block



Mikrofabrikált propeller

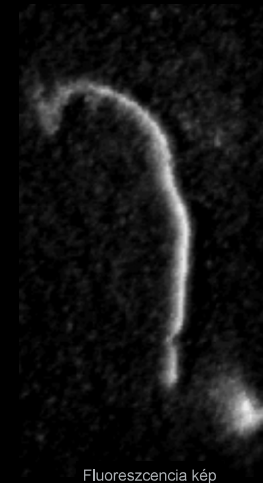


Sok részecske egyidejű manipulálása holografikus lézercsipeszsel

Csomókötés egyetlen molekulafonálra optikai csipeszsel

Aktin filamentum

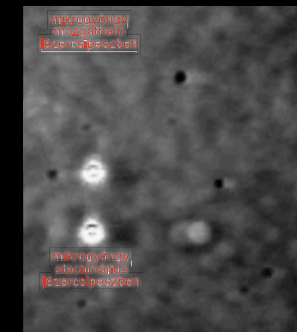
DNS



Fluoreszcencia kép

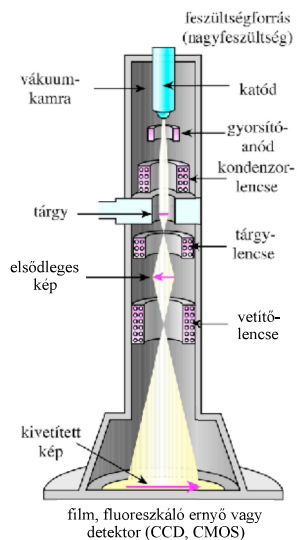
Fáziskontraszt kép

Fluoreszcencia kép



Alkalmazások 2.

Anyaghullámok: Elektronmikroszkóp



Transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM)

Sugárforrás:
elektronágyú

Fókuszálás:
elektronnyaláb
kiterítése
mágneslencsével

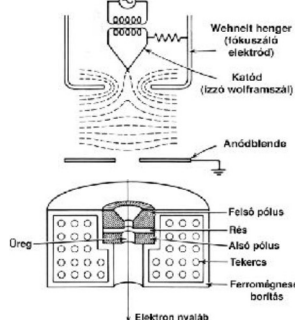
$$F = eBV_e \sin \alpha$$

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

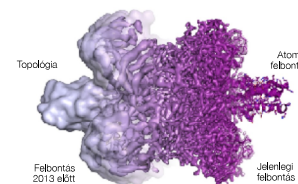
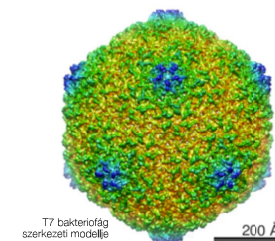
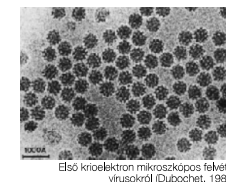
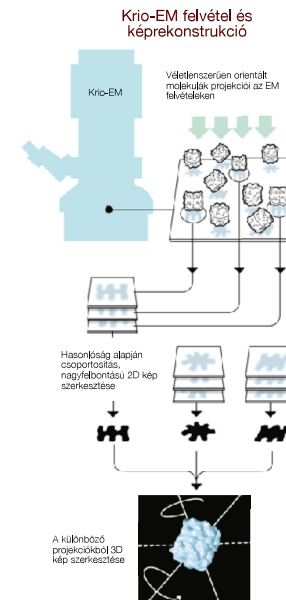
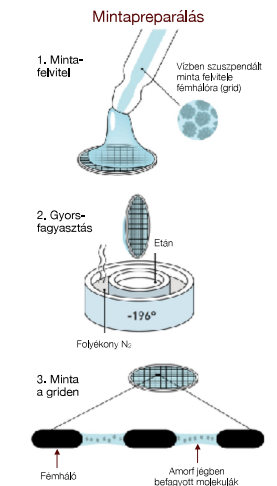
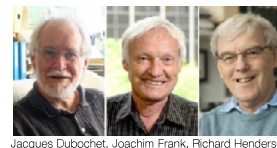
Feloldóképesség: $d = \frac{\lambda}{\alpha}$

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

