

ORVOSI BIOFIZIKA
A FÉNY MINT HULLÁM ÉS
RÉSZECSCSKE

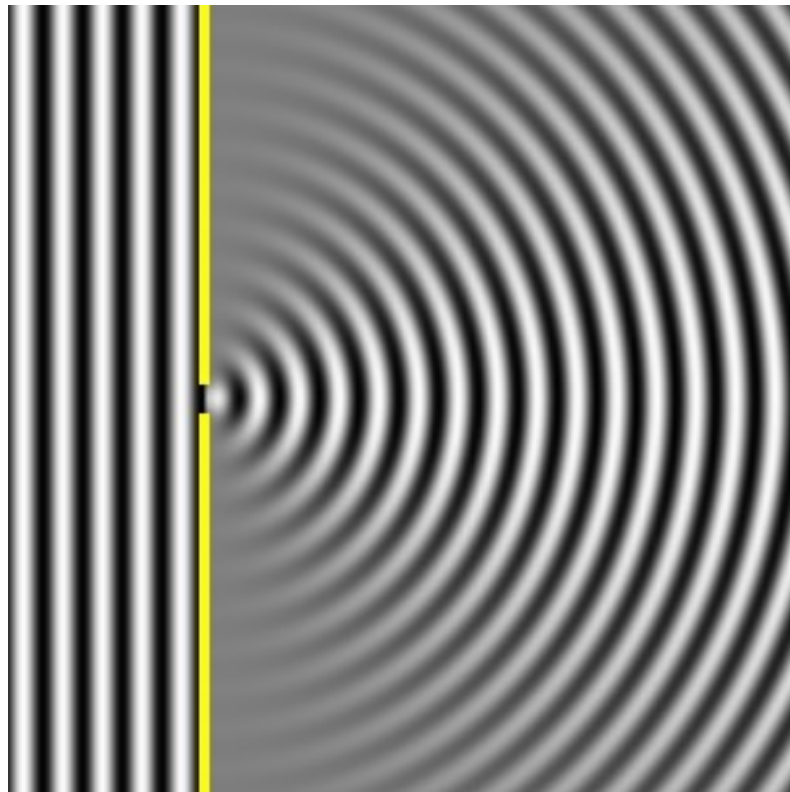
KELLERMAYER MIKLÓS

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

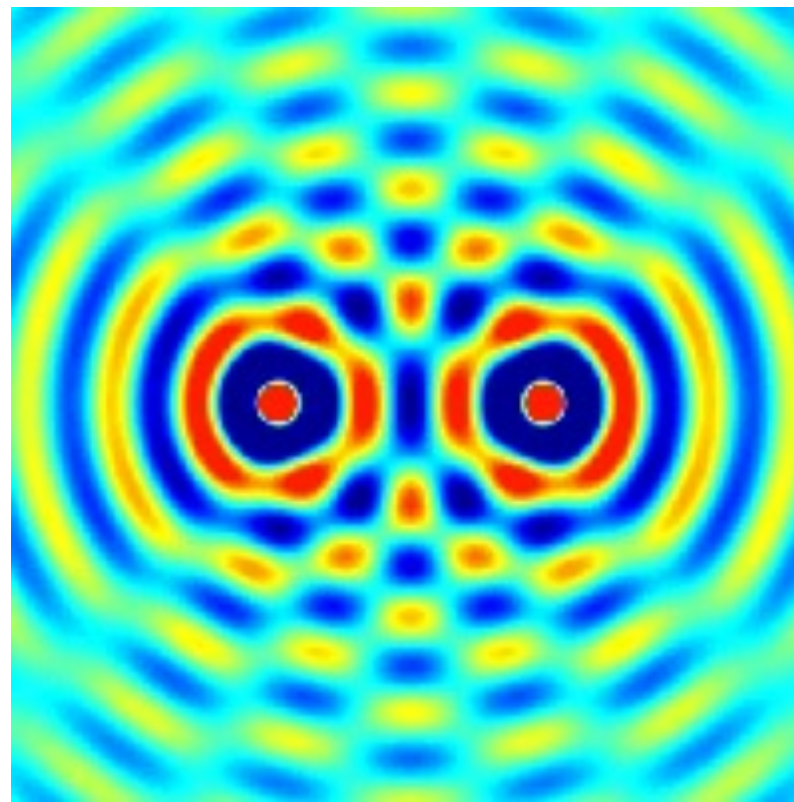
Fény mint hullám: “hullámjelenségeket” mutat

Diffrakció
(elhajlás)



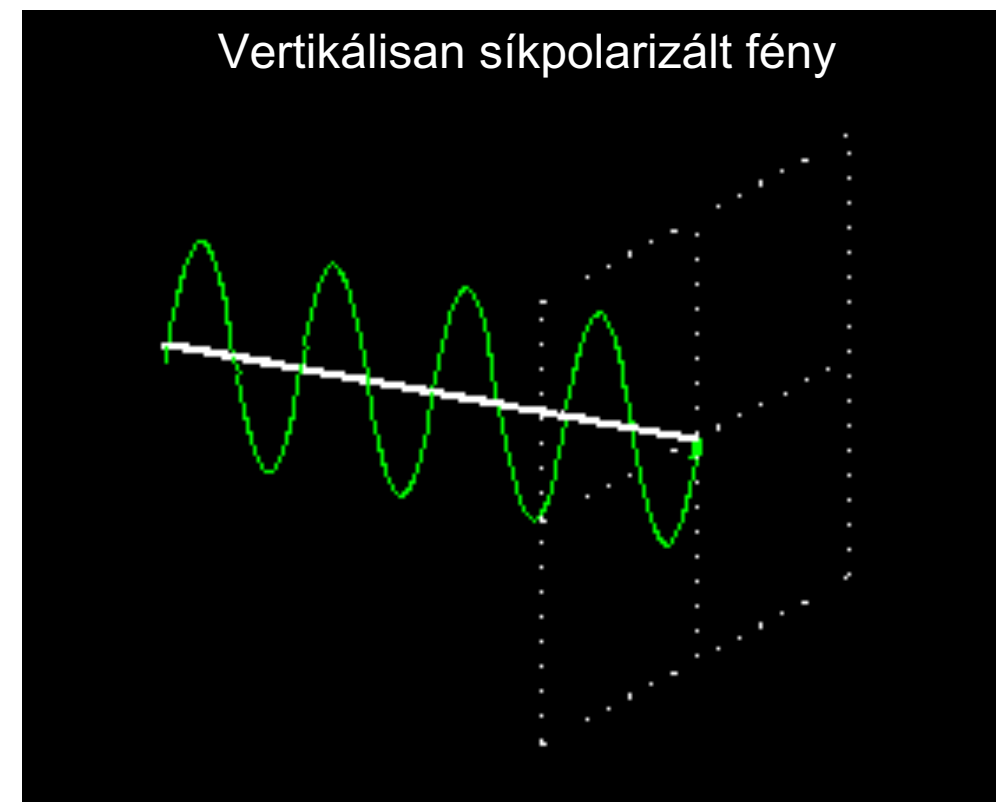
A fény nem várt helyekre “hajlik”

Interferencia



Kis és nagy amplitudójú területek tér- és időbeli mintázata

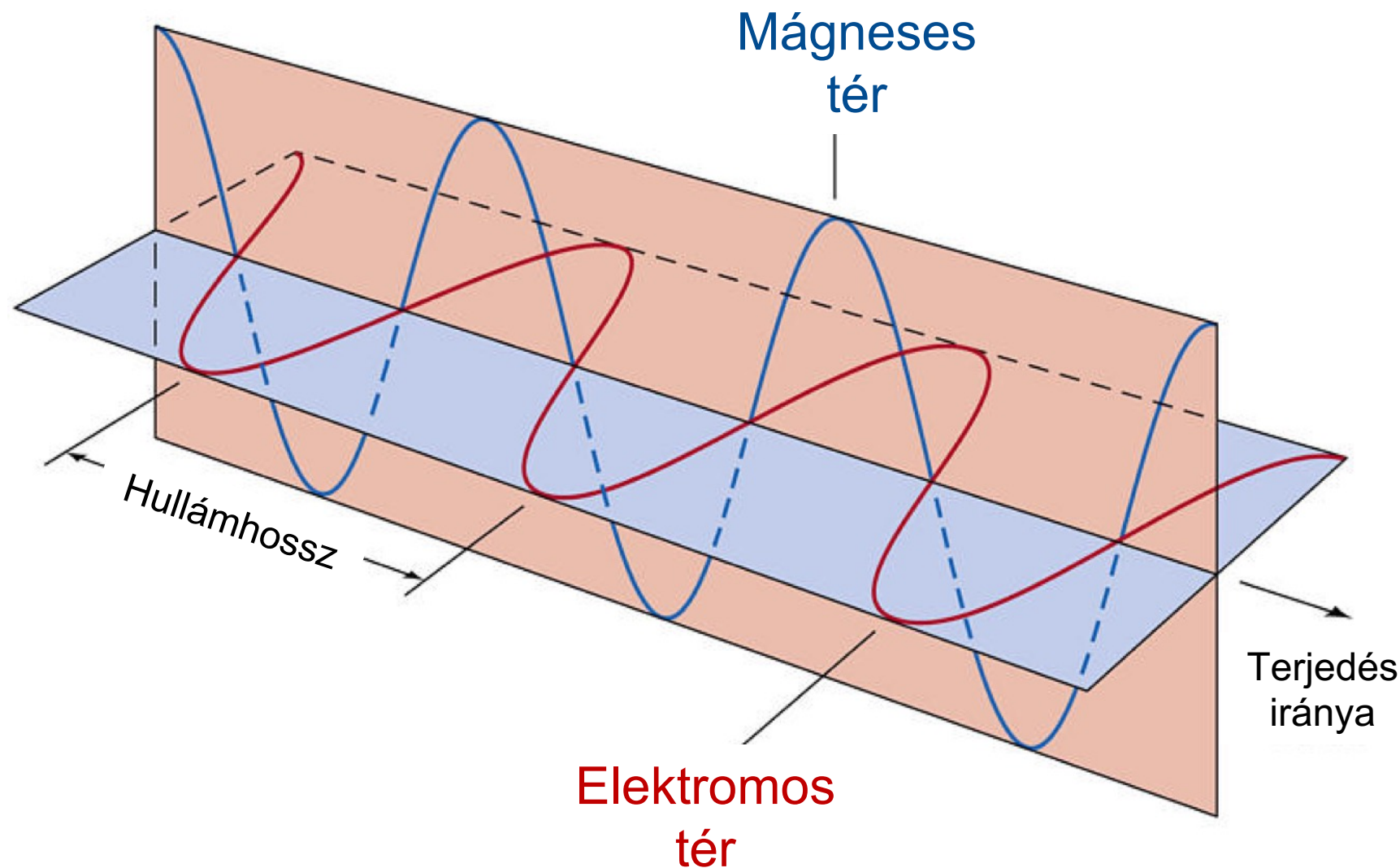
Polarizáció



A rezgés kitüntetett irányban történik

A fény: elektromágneses hullám

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



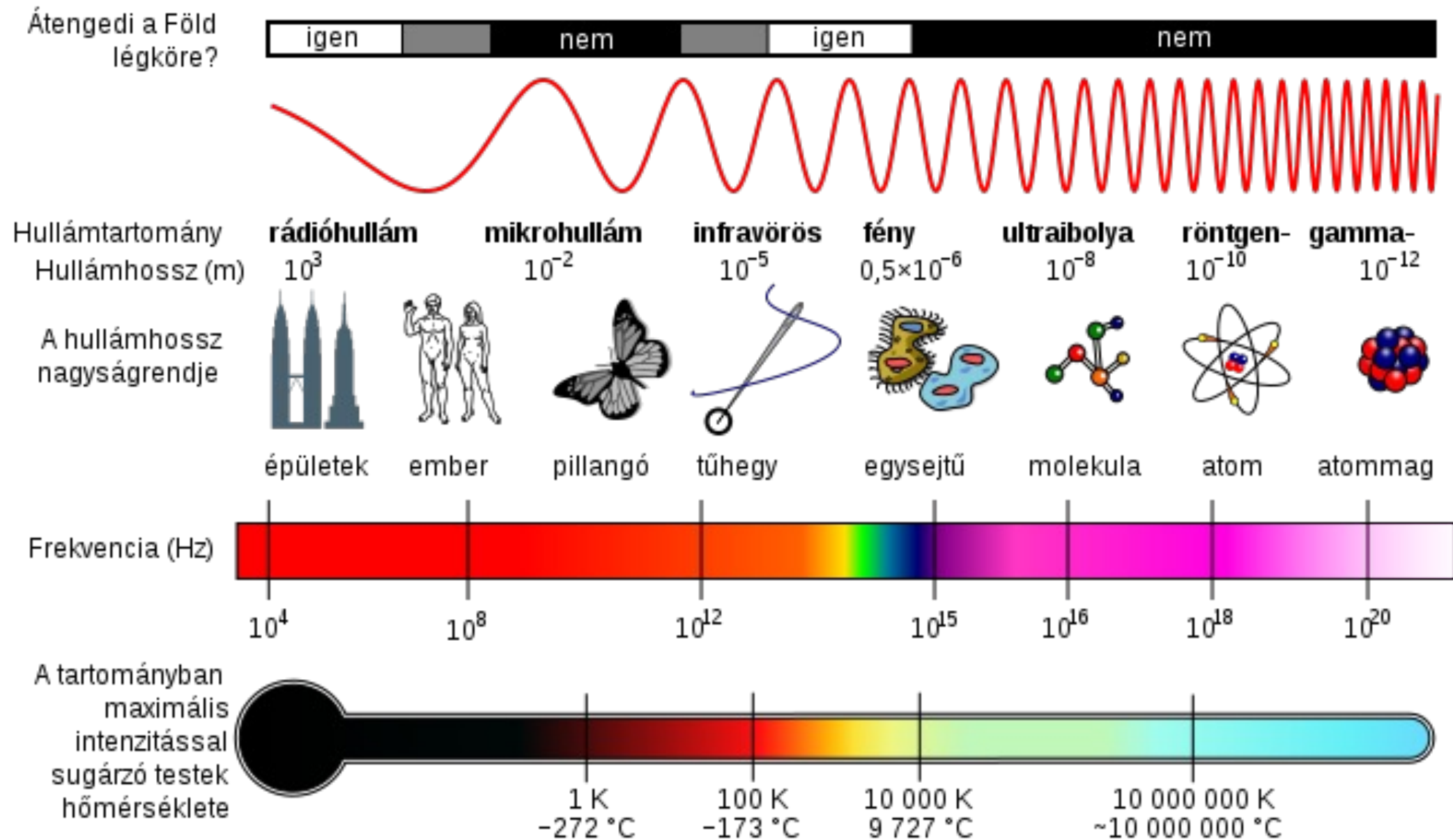
James Clerk Maxwell
(1831-1879)

Terjedési sebessége:

$$c = \lambda f$$

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

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 fénnnyel világítunk meg?

Fotoelektromos hatás: Megfigyelés

Hallwachs-effektus:

UV fény hatására negatív töltések távoznak a megvilágított fémfelületről

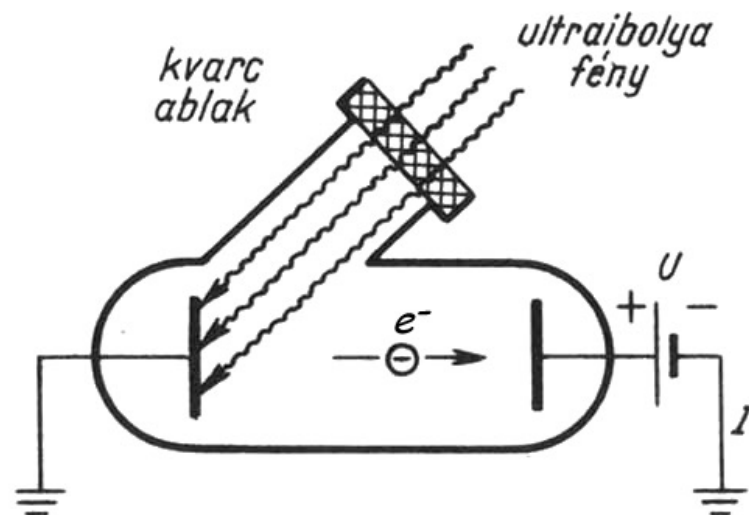
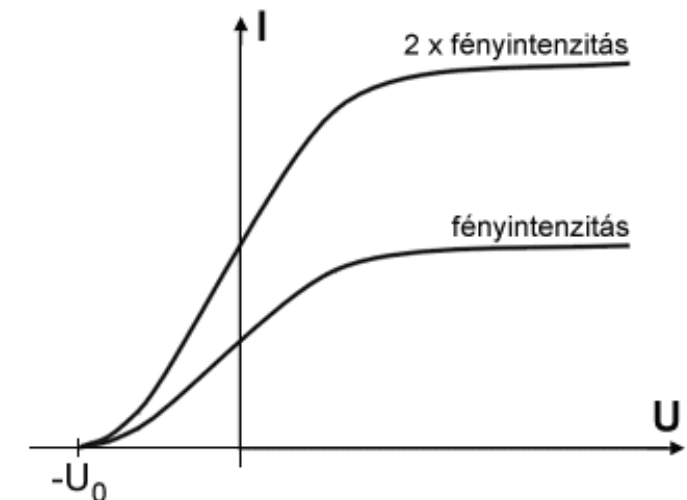


Wilhelm Hallwachs
(1859-1922)

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:

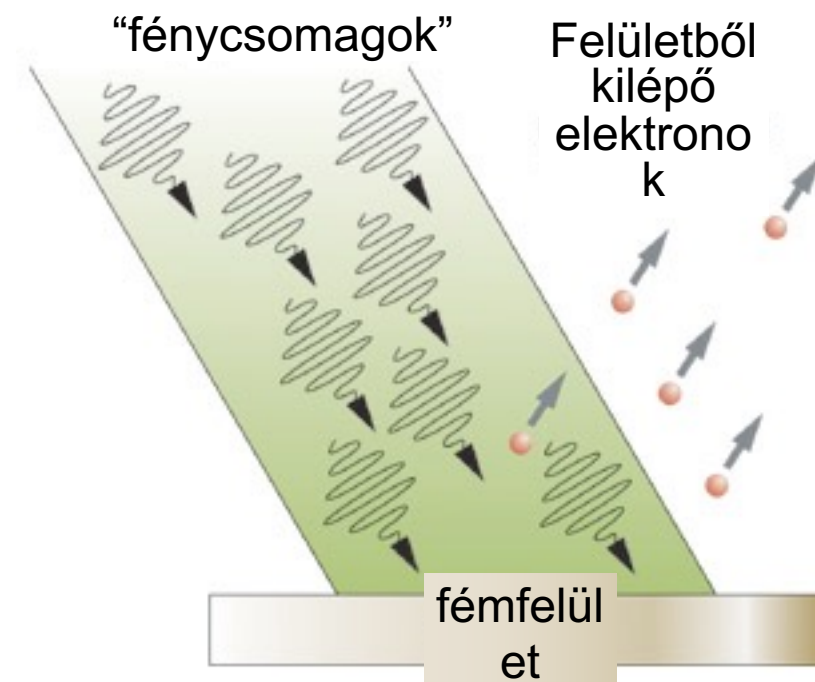
Magyarázat

1905: “Annus mirabilis”

- fotoelektromos hatás
- diffúzió
- speciális relativitáselmélet



Albert Einstein
(1879-1955)



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

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.

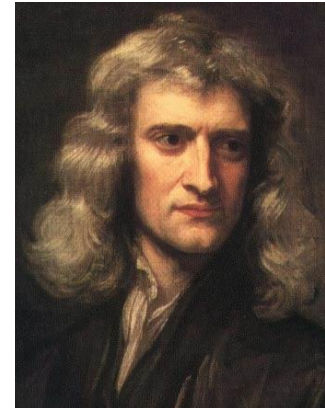
A fény egyszerre hullám és részecske



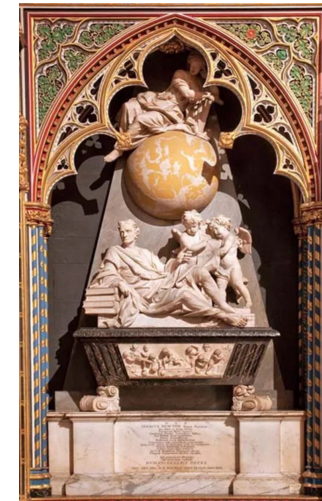
Grote Kerk church,
The Hague



Christiaan Huygens
(1629-1695)

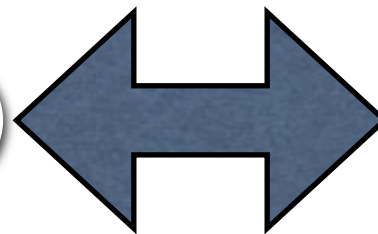


Sir Isaac Newton
(1643-1727)



Westminster abbey

Hullám



Részecske

Terjedés közben

- Diffrakció
- Interferencia
- Polarizáció

Kölcsönhatáskor

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

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

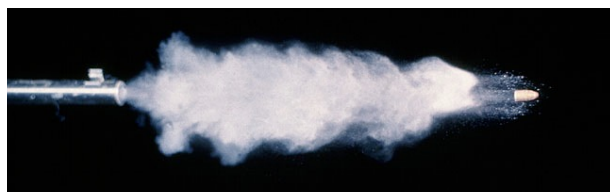
Részecske (foton
is!) impulzusa:

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

Részecske hullámhossza
("de Broglie hullámhossz"):

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

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

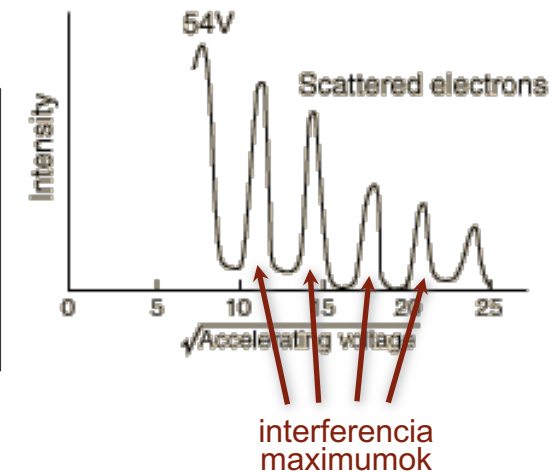
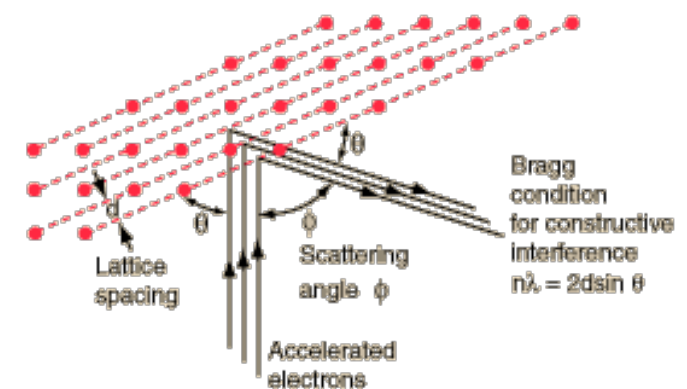
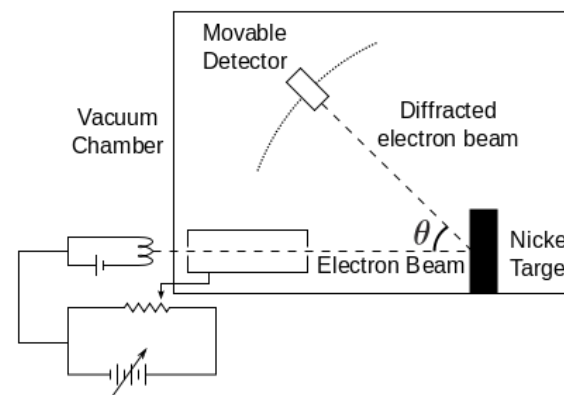


Puskagolyó: $m=1$ g, $v=1$ kms⁻¹
esetén $\lambda = 6 \times 10^{-34}$ m!!

Davisson-Germer kísérlet



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



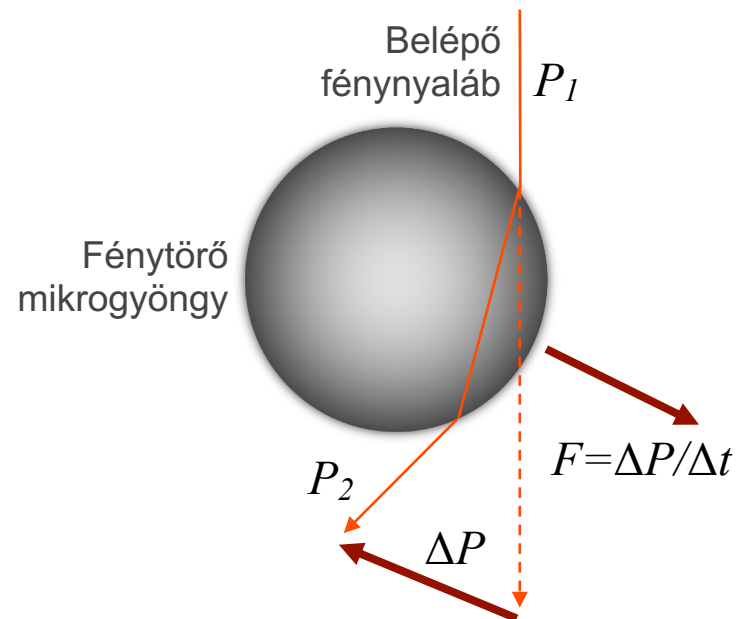
Interferencia
mintázat
jelenik meg!

Az elektron hullám!

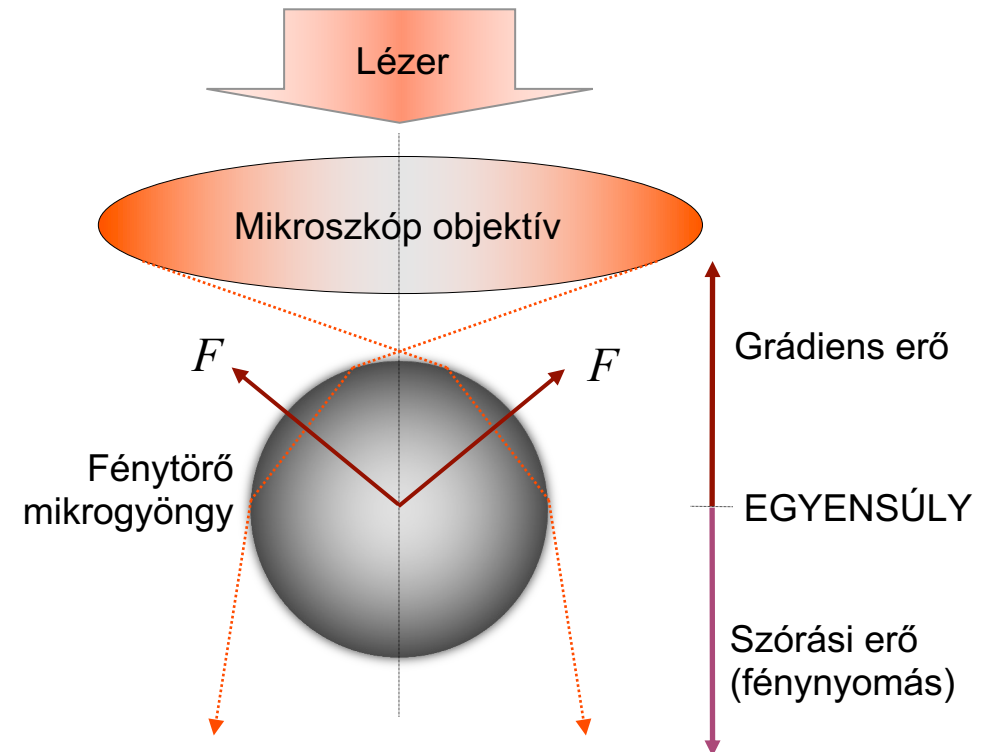
Alkalmazás I: lézercsipesz

(a részecske tulajdonság alapján könnyebben megérthetjük)

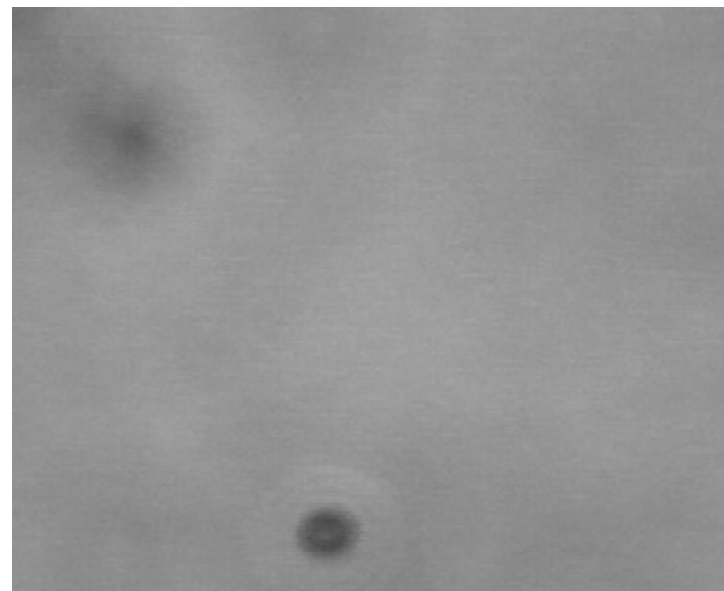
A fénytörés (refrakció) fényimpulzus-
változással (ΔP) jár:



Fénytörő részecskék "optikai erőkkel"
megfoghatók:

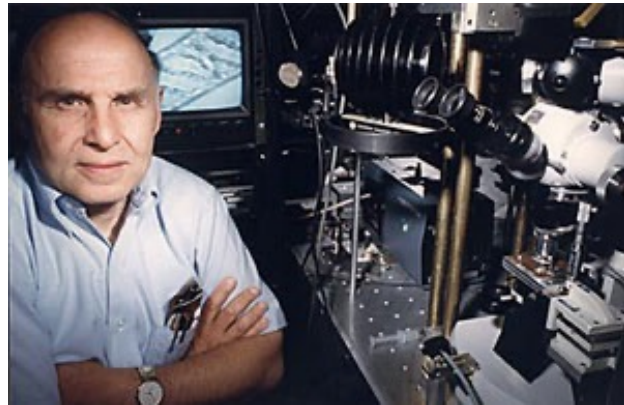


Az **optikai csipeszben** a fotonok
és a fénytörő részecske között
impulzuscsere lép fel



3 μm átmérőjű latex
(polistírol) mikrogöngyök
optikai csipeszben

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



J.Spudich



J.Finer

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 lézercsipeszszel, optikailag hajtott gépek

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

2002: Holografikus lézercsipesz (spatial light modulator, SLM)

2008: Bustamante, Tinoco: riboszóma mechanika



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



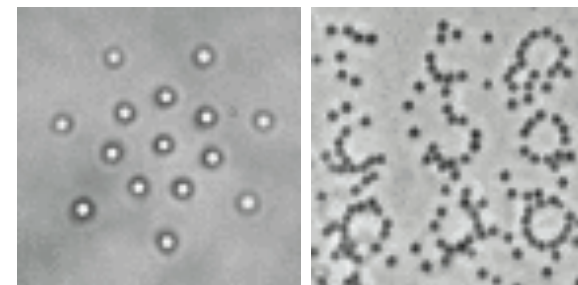
C.Bustamante



J.Molloy



Mikrofabrikált propeller

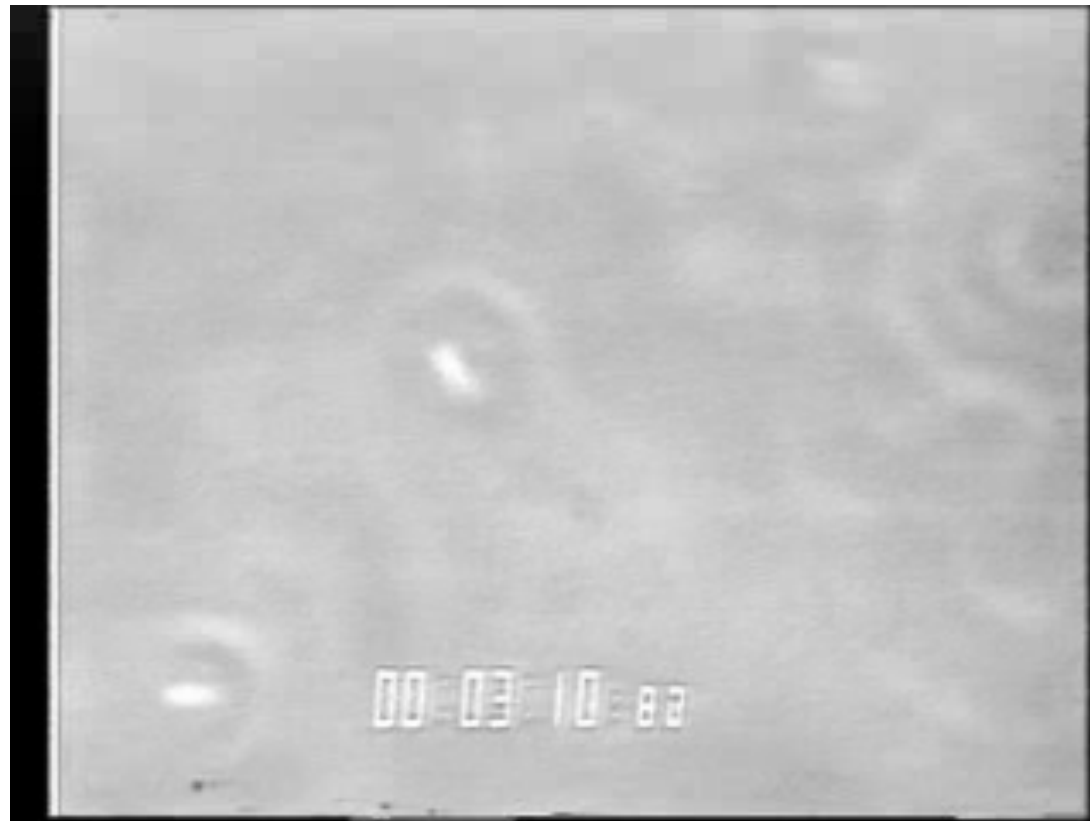


Sok részecske egyidejű manipulálása holografikus lézercsipeszszel



S. Block

A lézercsipesssel élő sejtek is megfoghatók



Baktérium csapdázása optikai csipesssel

Csomókötés egyetlen molekulafonálra optikai csipeszszel

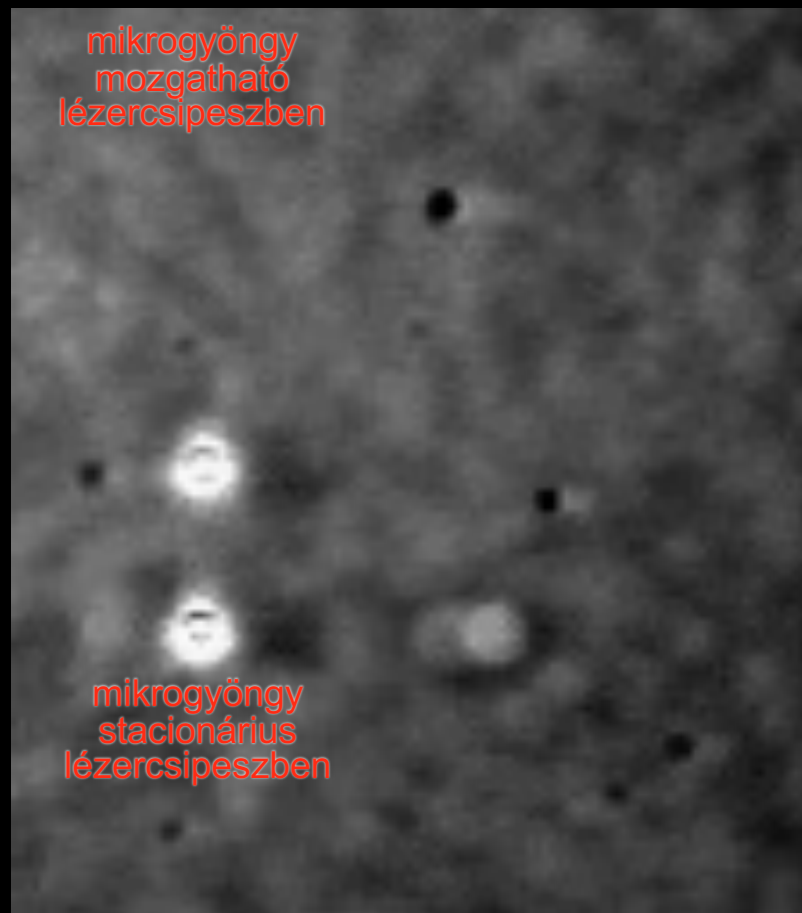
Aktin filamentum



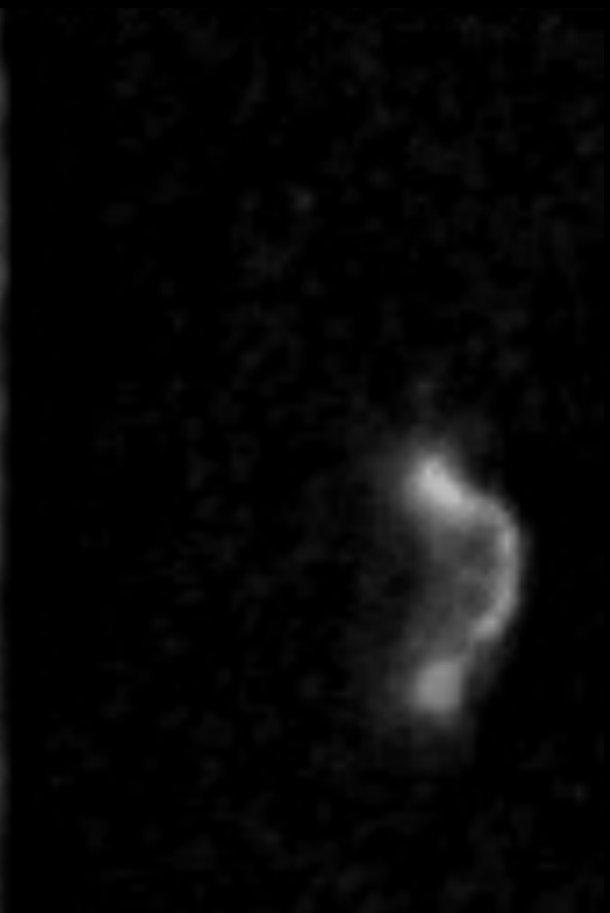
Fluoreszcencia kép

DNS

Fáziskontraszt kép

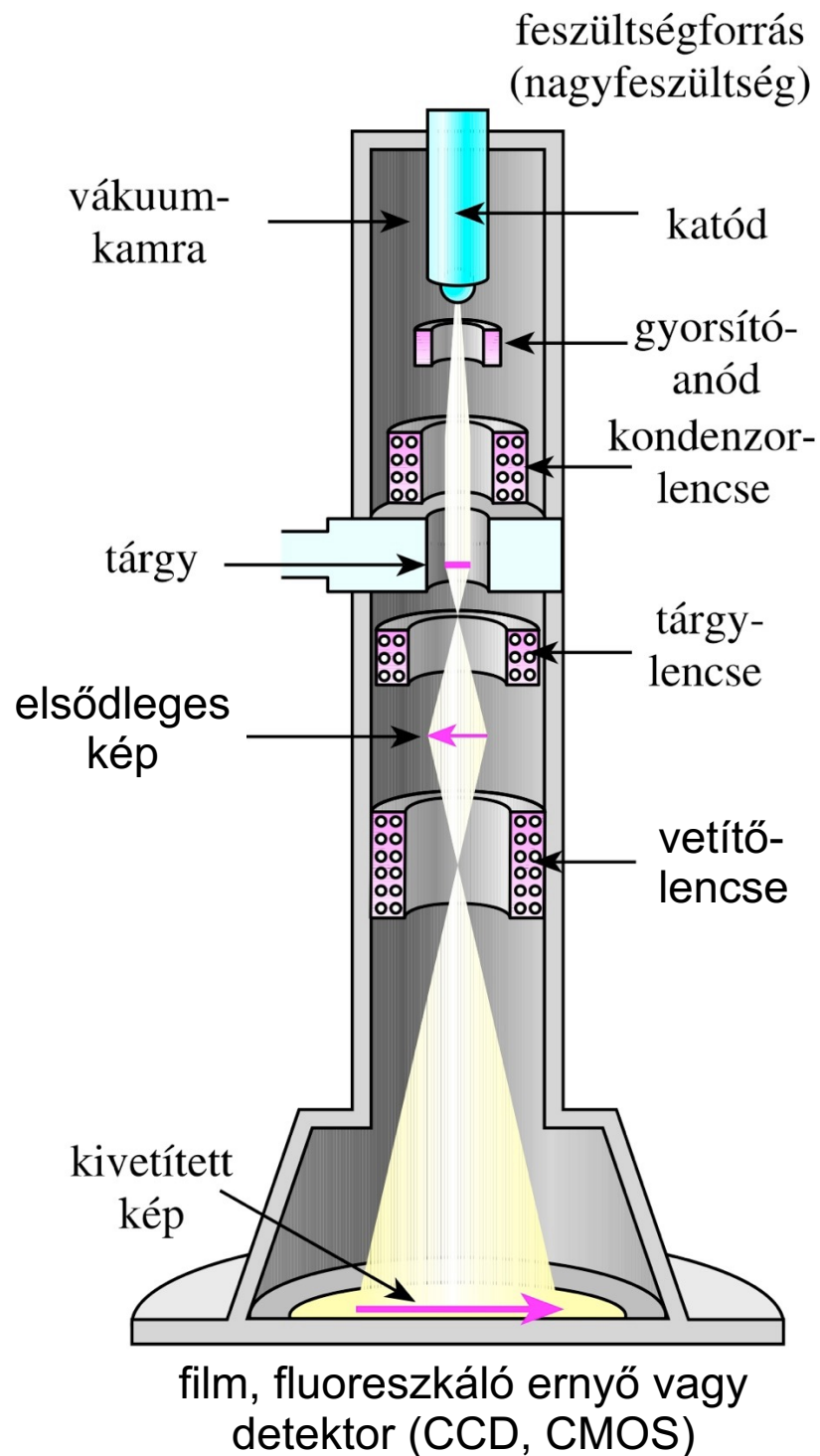


Fluoreszcencia kép

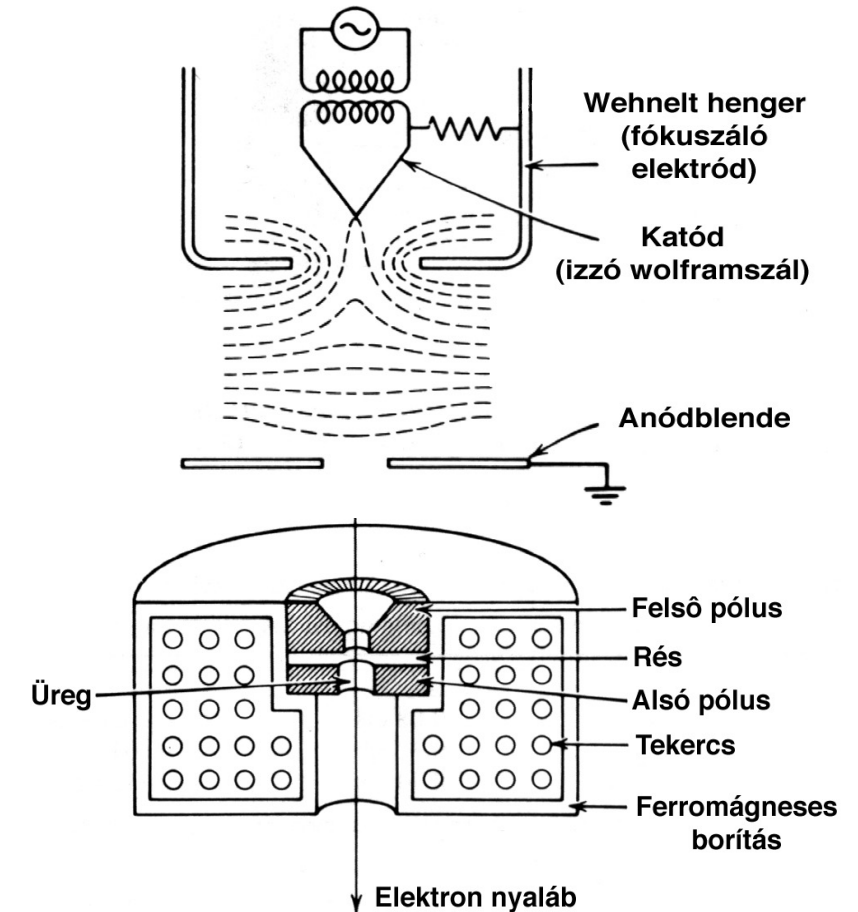


Alkalmazások 2.

Anyaghullámok: Elektronmikroszkóp



Sugárforrás:
elektronágyú



Fókuszálás:
elektronnyaláb
kitérítése
mágneslencsével

$$F = eBV_e \sin \alpha$$

F =elektronra ható erő; e =elektron töltése;
 B =mágneses indukció; 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

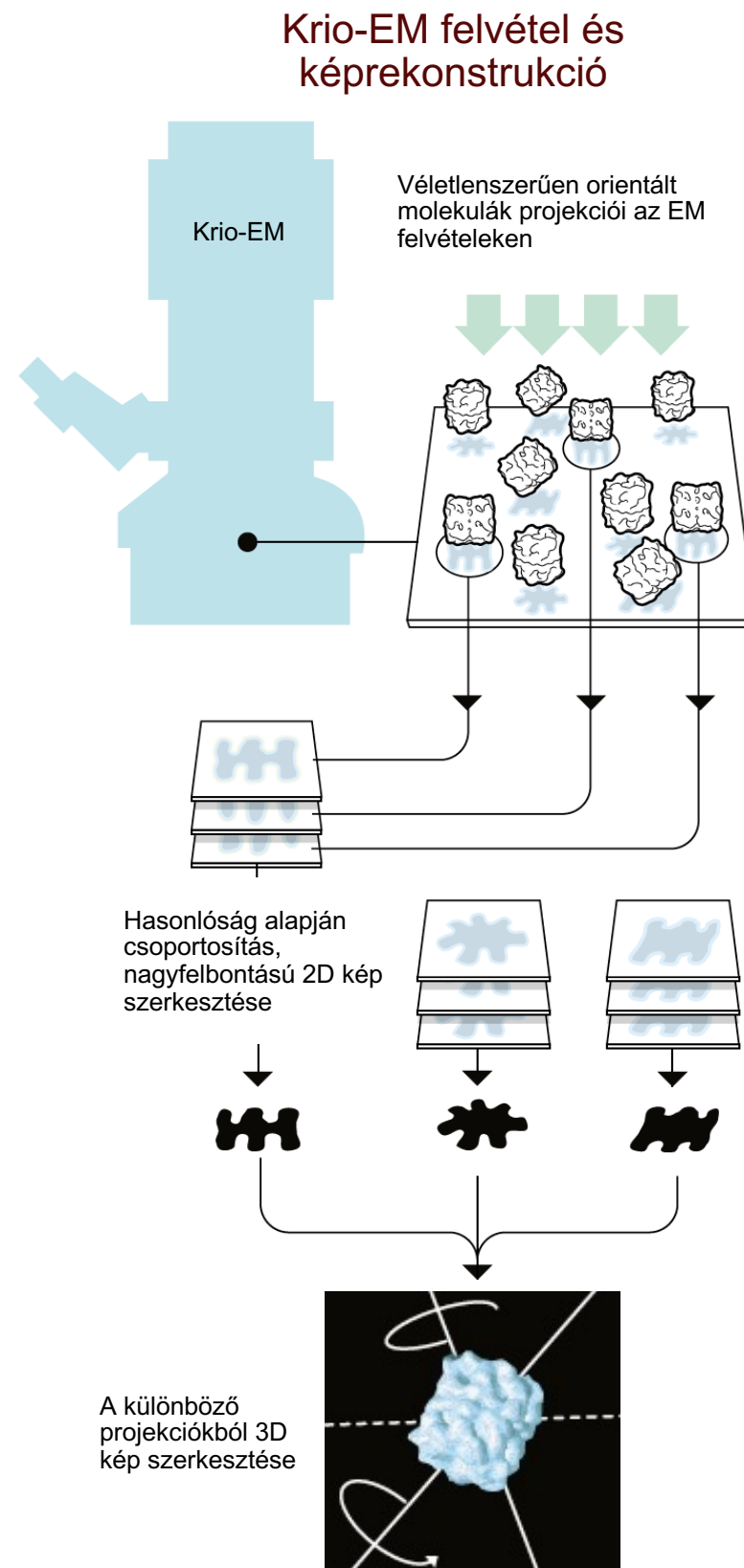
Transzmissziós elektronmikroszkóp (TEM)

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

Kémiai Nobel-díj 2017: Krioelektron mikroszkópia

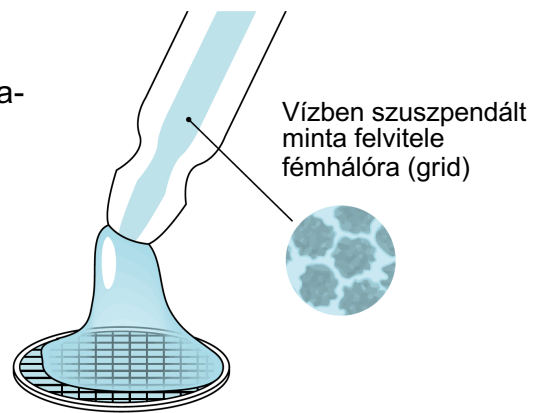


Jacques Dubochet, Joachim Frank, Richard Henderson

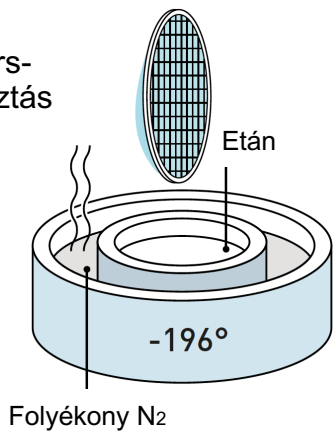


Mintapreparálás

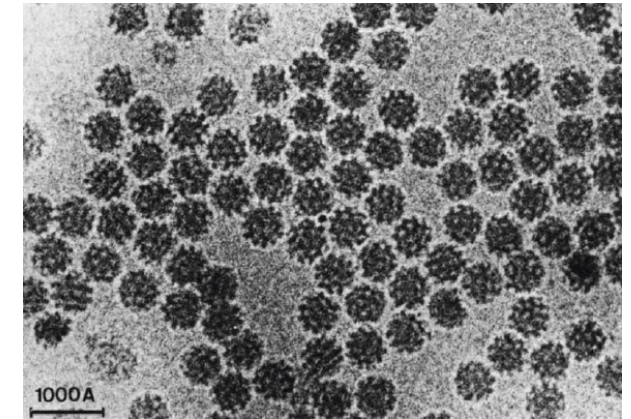
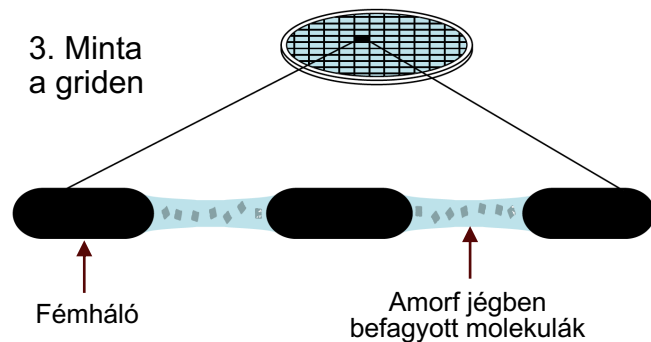
1. Minta-felvétel



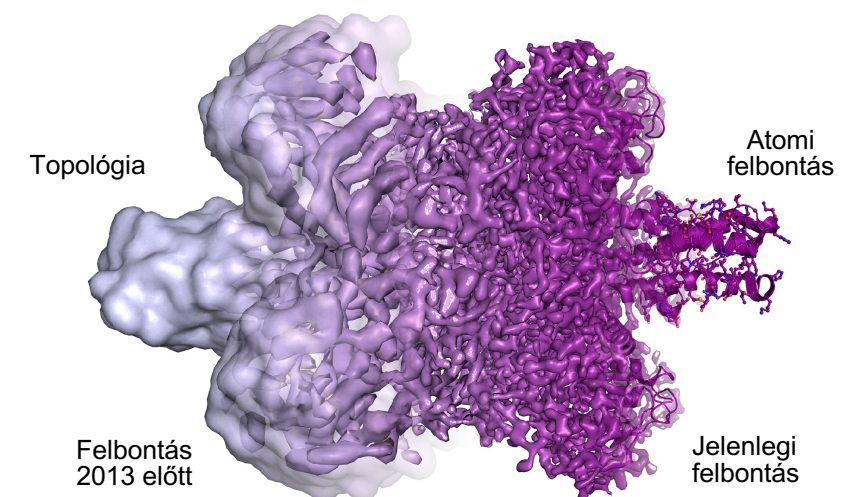
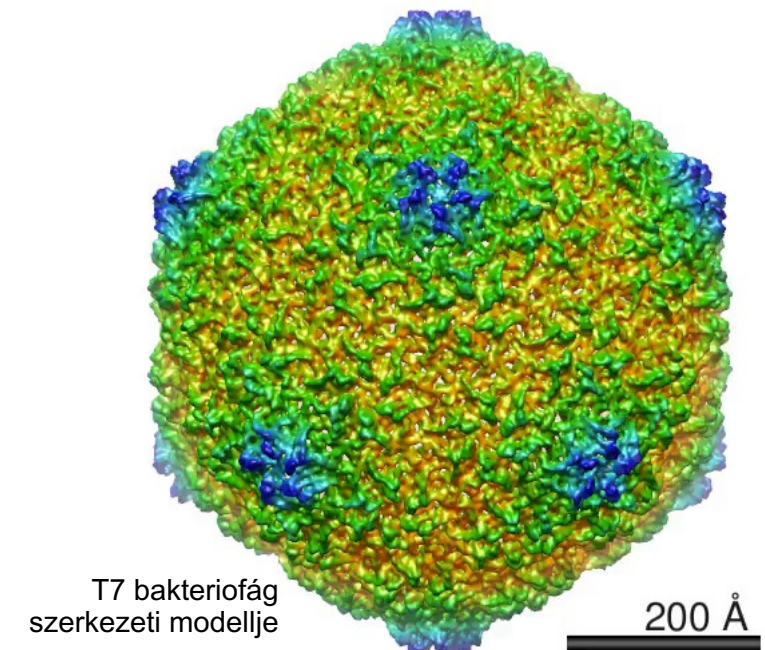
2. Gyors-fagyasztás



3. Minta a griden



Első krioelektron mikroszkópos felvétel vírusokról (Dubochet, 1984)



Alkalmazások 3.

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)*

OMHV



<https://feedback.semmelweis.hu/feedback/pre-show-qr.php?type=feedback&qr=O25T3ST2SBKNO8F4>