

A FÉNY TERJEDÉSE ÉS KÖLCSÖNHATÁSAI II.

KELLERMAYER MIKLÓS

A FÉNY TERJEDÉSE ÉS KÖLCSÖNHATÁSAI II.

- Fényimpulzus-változás, optikai csipesz
- Fázis, fáziskontraszt mikroszkópia
- Polarizáció, optikai anizotrópia, polarimetria
- Optikai leképezés az emberi szemben
- Akkomodáció
- A szem fénytörési hibái
- Az emberi szem feloldóképessége
- Színkódolás, színlátás

A FOTON IMPULZUSA ÉS IMPULZUSVÁLTOZÁSA

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

Planck: sugárzási törvény
 $E = hf$

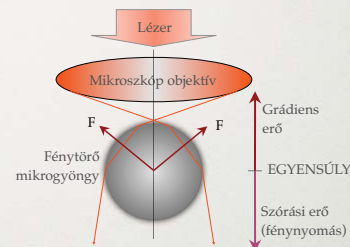
Maxwell: fény terjedési sebessége
 $c = \lambda f$

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

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

A foton impulzusa: $P = \frac{h}{\lambda}$

Fénytörő részecskék "optikai erőkkkel" megfoghatók:

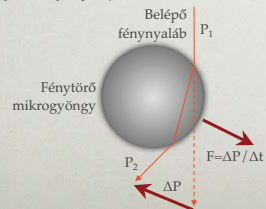


Az optikai csipesszen a fotonok és a fénytörő részecske között impulzuscsere lép fel

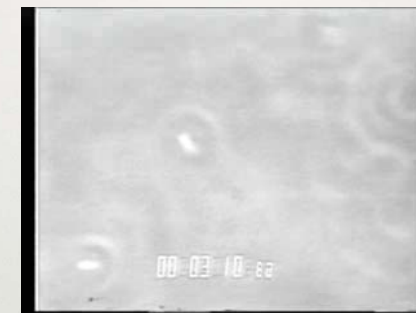


3 μm átmérőjű latex (polistirol) mikrogöngyök optikai csipesszen

A refrakció fényimpulzus-változással (ΔP) jár:



AZ OPTIKAI CSIPESSZEL SEJTEK IS MEGFOGHATÓK



Baktérium csapdázása optikai csipesszel

Csomókötés egyetlen molekulafonálra optikai csipesszel

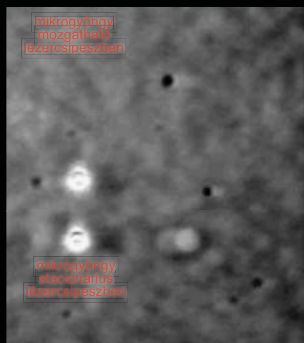
Aktin filamentum



Fluoreszcencia kép

DNS

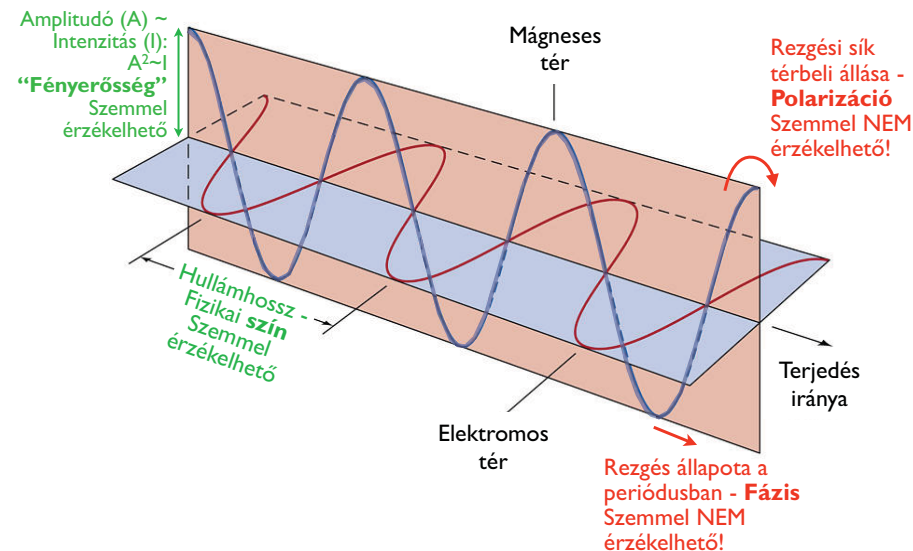
Fáziskontraszt kép



Fluoreszcencia kép

Arai et al. Nature 399, 446, 1999.

A fény mint hullám érzékelhető paraméterei

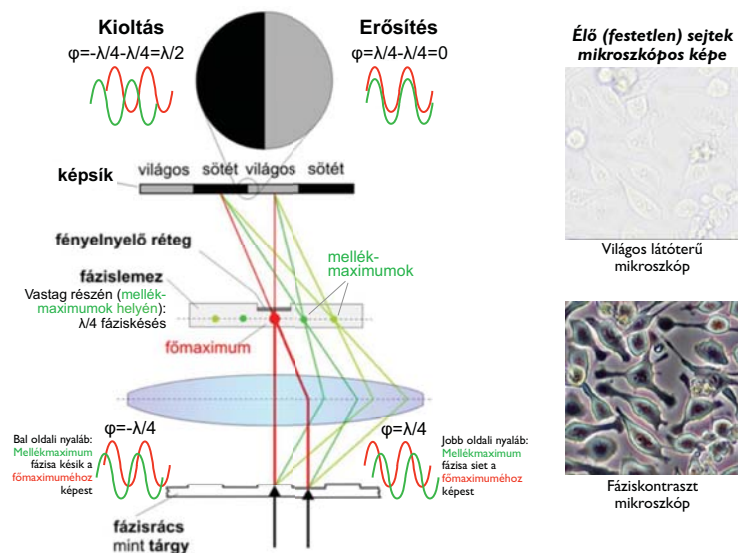


Fázis, fáziskontraszt mikroszkópia



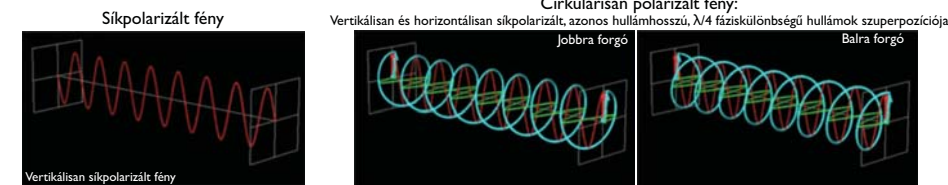
Frits Zernike (1888-1966) Nobel-díj

- Fázis: azt mutatja meg, hogy a teljes hullámmozgási periódus (2π) mely részén tart a rezgés.
- Fázisszöggel (φ) fejezzük ki.
- Hullámok egymáshoz viszonyított fáziskülönbsége: fáziseltolódás (késés v. sietés)

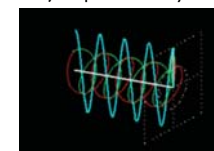


Polarizált fény és kölcsönhatásai

Rezgés (elektromos v. mágneses tér) kitüntetett irányú - rezgési sík kitüntetett állású



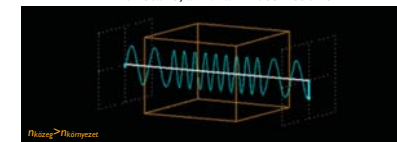
Jobbra és balra körkésen polarizált fény szuperpozíciója sikpolarizált fény eredményez:



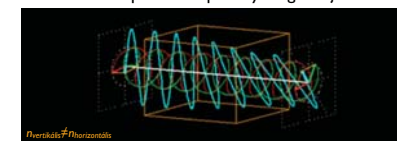
A rezgési sík orientációja a körkésen polarizált hullámok relatív fázisai függvénye

*Anizotrópia (kettőtörés): a törésmutató (~fény terjedési sebessége) irányfüggést mutat a mintában (különböző irányokban más értékeket vesz fel).

Optikailag sűrű közegben a fény lelassul - mivel a frekvencia konstans, a hullámhossz csökken

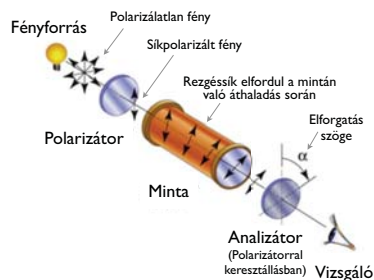


Anizotróp* közegben a körkésen polarizált komponensek között fáziseltolódás lép fel: a kilépő fény rezgési síkja "elfordul"



Polarizáció alkalmazásai

Polarimetria



Elforgatás szöge az optikailag aktív* anyag koncentrációjától (c) függ:

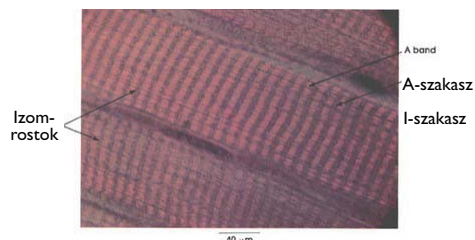
$$\alpha = [\alpha]_D^{20} \cdot c \cdot l$$

[α]=fajlagos forgatóképesség ("20": szobahő;
"D": Na spektrális vonala λ=589 nm)
l=retegvastagság (mintatartó hossza)

*Optikailag aktív anyag: *királis* molekulákat tartalmazó minta, amely a síkpolárizált fény rezgését elforgatja.

Polarizációs mikroszkópia

Harántcsikolt izomrost polarizációs mikroszkópban

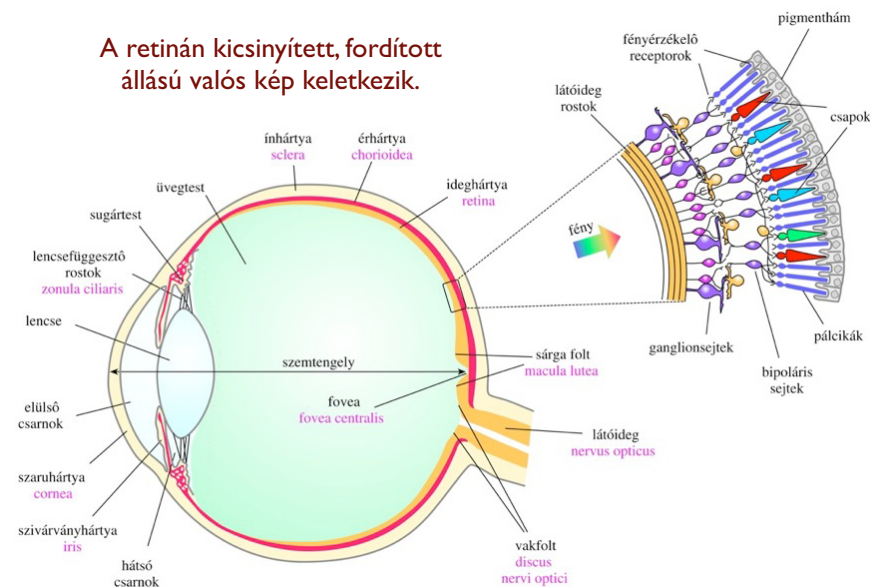


- A-szakasz: anizotróp (kettőtörő) szakasz (helikális filamentumokba rendezett miozinmolekulákat tartalmaz)
- I-szakasz: izotróp szakasz



Optikai leképezés az emberi szemben

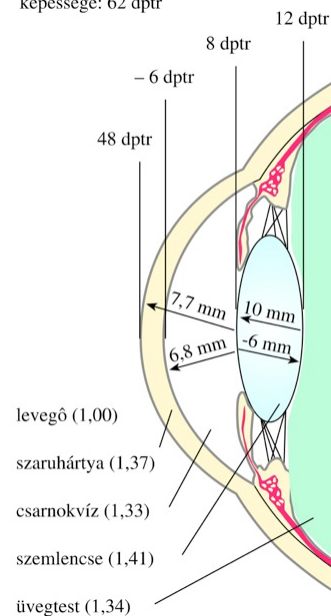
A retinán kicsinyített, fordított állású valós kép keletkezik.



Az emberi szem horizontális metszeti szerkezete

A szem optikája

A szem teljes törőképessége: 62 dptr



Szembe jutó optikai teljesítmény (P):

$$P = J\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$$

J=intenzitás (W/m²)
d=pupilla átmérő

A pupilla átmérő függvényében:

$$\frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \left(\frac{d_{\max}}{d_{\min}}\right)^2 = 16$$

$d_{\max}=8$ mm
 $d_{\min}=2$ mm

Törőfelületek törőképessége (D):

$$D = \frac{n - n'}{r}$$

$n-n'$ =határoló törőközegek (levegő, a szem optikai közegei) törésmutatókülönbsége
 r =törőfelület görbületi sugara

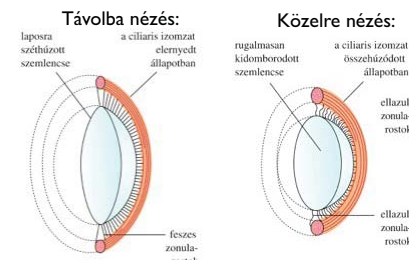
N.B.:

- 1) $n-n'$ legnagyobb a levegő-cornea határfelületen.
- 2) A törőképesség változtatására két mechanizmus kínálkozik (n' és r változtatása)!

Akkomodáció és refrakciós hibák

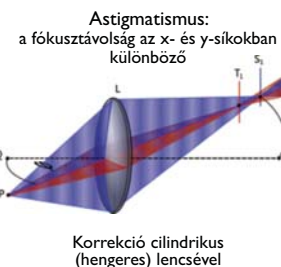
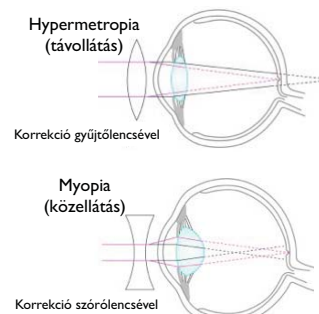
Akkomodáció:

- A szem törőképességének adaptálódása a tárgytávolsághoz.
- Alapja: a szemlencse görbületi sugarának megváltozása.
- Akkomodációs képesség: a közelpont és távolpont közötti, dioptriában kifejezett különbség.

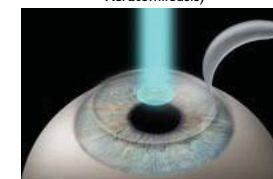


Presbyopia:

- Az akkomodációs képesség csökken.
- Kor előrehaladtával fokozódik (>45 év).
- Közellátás romlik.



Refrakciós hiba végleges javítása: LASIK (Laser Assisted In Situ Keratomileusis)

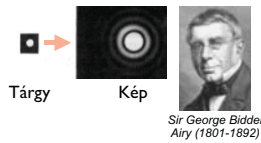


A szaruhártya lokális görbületi sugarát változtatjuk meg (lézertechnikai eljárással)

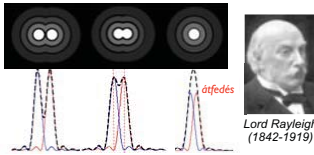
A szem feloldóképessége I.

Hullámoptikai korlát

Diffракció miatt: pontszerű tárgy képe elhajlási korong (Airy korong)



Rayleigh feltétel: a tárgypontok feloldhatók, ha nincs túl nagy átfedés a képek között



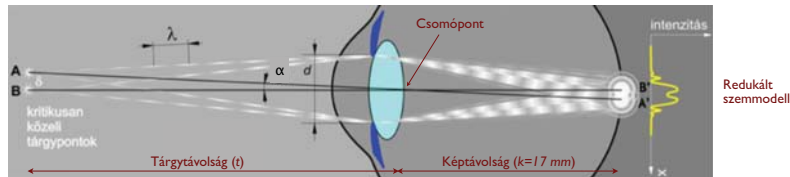
Legkisebb feloldott távolság behatárolt (Abbe-képlet):

$$d = \frac{0.61\lambda}{n \sin \alpha}$$

λ = hullámhossz
 n = közeg törésmutatója
 α = optikai tengely és legzselő nyáláb által bezárt szög (fénylásszög)



Az emberi szem hullámoptikai feloldóképessége:



Látószöghatár: $\alpha_H = 1.22 \frac{\lambda}{d}$

Az a legkisebb látószög, amelynél két különálló pontot meg tudunk különböztetni egymástól.
 Közepes hullámhossz (550 nm) és pupilla átmérő (4 mm) értékekre: 0.6'

A szem feloldóképessége II.

Biológiai korlát: receptorsejt-sűrűség

| Tárgy | Receptorokra eső kép | Látásérzet |
|-------|----------------------|------------|
| | | |
| | | |
| | | |

- Feloldás feltétele: legalább egy inaktív receptorsejt legyen két aktív receptorsejt között. Ekkor a legkisebb látószöghatár a redukált szemmodell alapján (α_B) $\approx 0.8'$.
- Az emberi szemben a hullámoptikai és biológiai feloldóképesség értékei nagyjából **egybeesnek**.

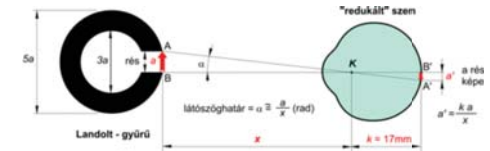
Látásélesség (visus, "Visual Acuity", VA):

$$\text{látásélesség} = \frac{1'}{\alpha}$$

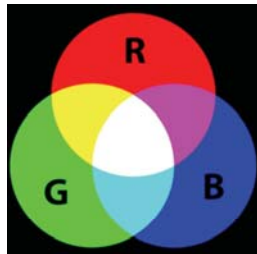
α = kísérleti (mért) látószöghatár

Normál látószöghatár egészséges emberben:
 1' (=100% visus)

Látásélesség mérése



Színkódolás, színlátás



Additív színkódolás

Bármely szín kikeverhető a három alapszín (R=vörös, G=zöld, B=kék) megfelelő súlyozású összekeverésével

$$X = rR + gG + bB$$

Emberi szemben:

- 3 különböző színérzékes receptor.
- Mindegyik receptor más-más színtartományban érzékeny, azaz más színeket nyel el (R=64%, G=32%, B=2%).

Emberi szem színérzékes receptorainak (csapok) abszorpciós spektrumai

