

A FÉNY TERJEDÉSE ÉS KÖLCSÖNHATÁSAI

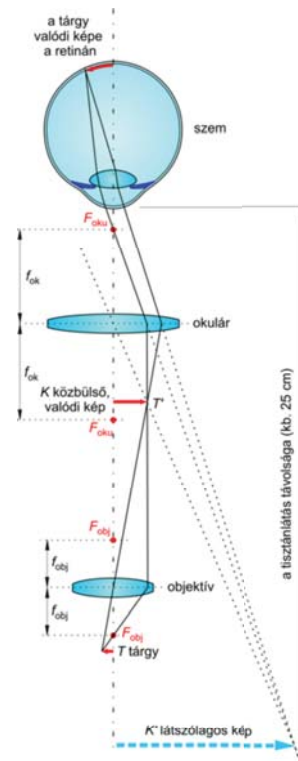
KELLERMAYER MIKLÓS

A fény terjedése és kölcsönhatásai

- A fénytörés (refrakció) alkalmazásai
- A fényhullám érzékelhető paraméterei
- A fényhullám fázisa; fáziskontraszt mikroszkópia
- Polarizáció, optikai anizotrópia, polarimetria
- Optikai leképezés az emberi szemben
- Akkomodáció
- A szem fénytörési hibái
- Az emberi szem feloldóképessége
- Színkódolás, színlátás

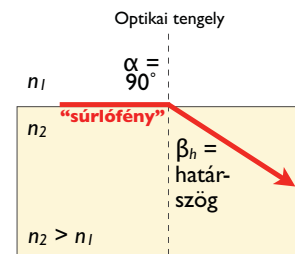
Fénytöréssel képet alkotunk a mikroszkópban

- Nagyított, fordított állású virtuális kép
- Leképezés feltétele: egy járulékos lencse (szemlencse) optikai útba helyezése



A fénytörés analitikai alkalmazása: Refraktometria

A fénytörés határeset



Mivel $\sin(90^\circ) = 1$, ezért a Snellius-Descartes-törvény alapján:

$$n_1 = n_2 \sin \beta_h$$

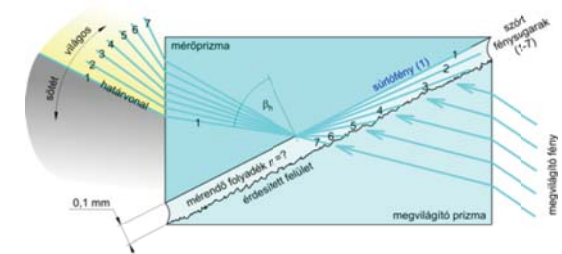
tehát n_2 ismeretében β_h megméréssel kiszámíthatjuk a beesési közeg törésmutatóját (n_1).

Refraktometria

Híg oldatok törésmutatója (n_1) koncentrációfüggő (c):

$$n_1 = n_0 + k \cdot c$$

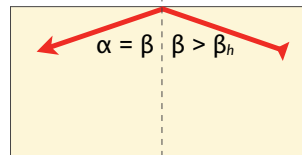
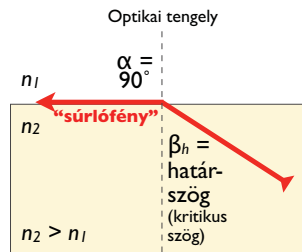
n_0 = oldószer törésmutatója, k = konstans



Alkalmazás feltételei:

- A minta folyadék
- A minta átlátszó
- A minta törésmutatója kisebb mint a mérőprizmáé

Teljes belső visszaverődés



Fényvisszaverődés az optikailag sűrűbb közegben



Teljes belső visszaverődés alkalmazása: optikai fényvezetés

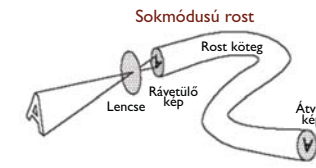
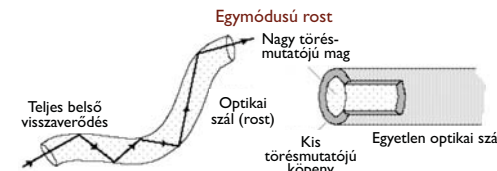
Endoscopia

CÉLOK

1. Diagnosztika: lokális inspekció, biopszia, kontrasztanyag beadás
2. Terápia: sebészet, kauterizáció (vérzéscsillapítás), idegentest eltávolítás

TÍPUSOK

Arthroscopia (izületek); **Bronchosopia** (égutak); **Colonoscopia** (colon); **Colposcopia** (vagina és cervix); **Cystoscopia** (cysta, ureter, urethrán keresztül); **ERCP** (endoskópia retrográd cholangiopancreatographia, kontrasztanyag bejuttatása az epeutakba és a ductus pancreaticusba); **EGD** (Esophago-gastrooduodenoscopia); **Laparoscopia** (abdominalis szervek vizsgálata a hasfalon keresztül); **Laryngoscopia** (larynx); **Proctoscopia** (rectum, sigma); **Thoracosopia** (pleura, mediastinum, pericardium a mellkassalon keresztül).



Ha az optikai szálak geometriája megtartott,
akkor a köteg a képet hűen továbbítja.



Arthroscopiás sebészet

Fénytörés során a foton impulzusa megváltozik

Einstein:
tömeg-energia
ekvivalencia

$$E = mc^2$$

Planck:
sugárzási
törvény
 $E = hf$

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

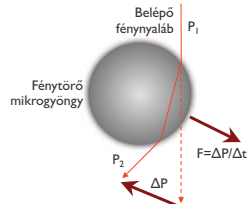


Louis-Victor-Pierre-Raymond, 7th duc de Broglie (1892-1987)

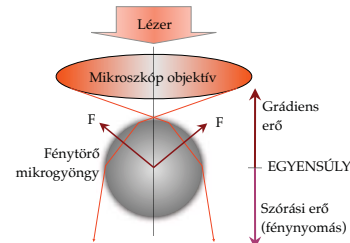
$$mc^2 = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

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

A refrakció fényimpulzus-változással (ΔP) jár:



Fénytörő részecskék "optikai erőkkel" megfoghatók:

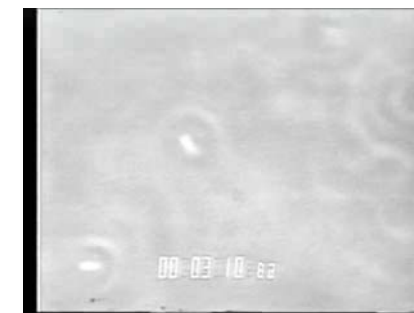


Az **optikai csipeszben** a fotonok és a fénytörő részecske között **impulzuscsere** lép fel



3 μm átmérőjű
latex (polistírol)
mikrogyöngyök
optikai csipeszben

Az optikai csipessel élő sejtek is megfoghatók



Baktérium csapdázása optikai csipesszel

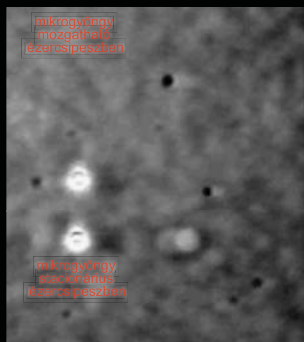
Csomókötés egyetlen molekulafonálra optikai csipesszel

Aktin filamentum

DNS

Fáziskontraszt kép

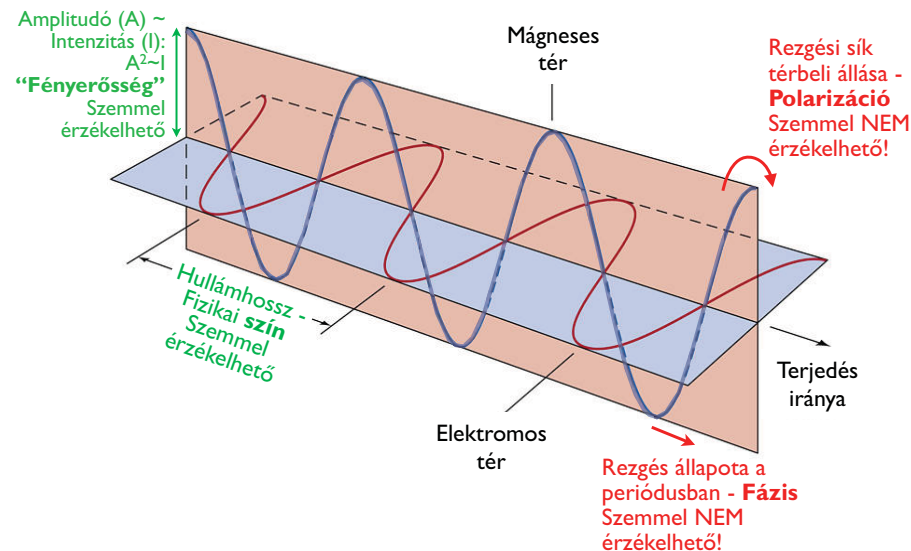
Fluoreszcencia kép



Fluoreszcencia kép

Arai et al. Nature 399, 446, 1999.

A fény mint hullám érzékelhető paraméterei

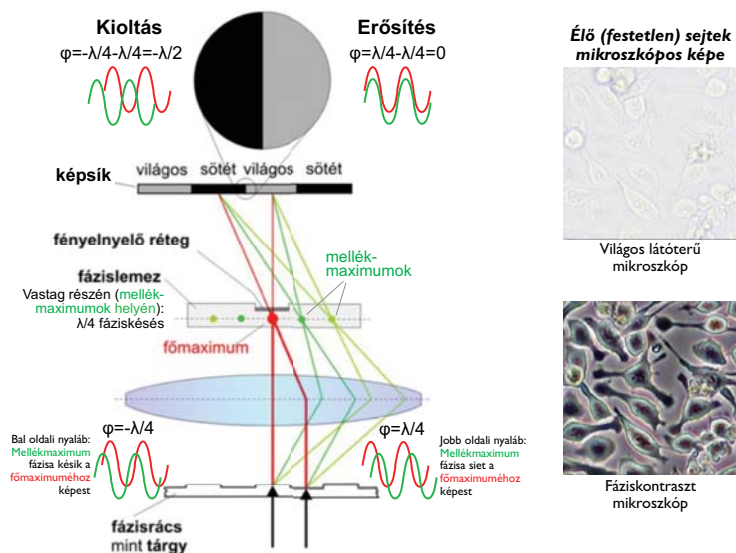


Fázis, fáziskontraszt mikroszkópia



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)

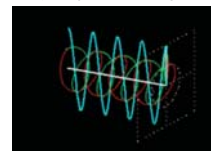


Polarizált fény és kölcsönhatásai

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



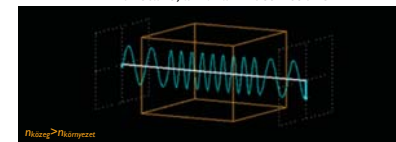
Jobbra és balra cirkulárisan polarizált fény szuperpozíciója sikpolarizált fény eredményez:



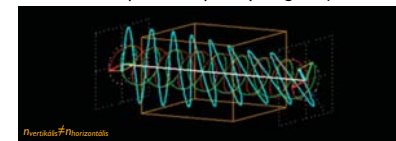
A rezgési sík orientációja a cirkulárisan polarizált hullámok relatív fázisai függvénye

*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

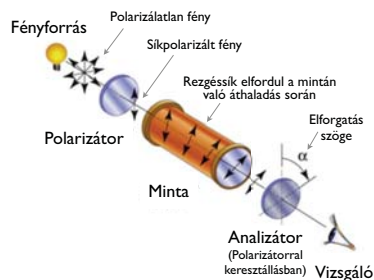


Anizotróp* közegben a cirkulárisan polarizált komponensek között fáziseltolódás lép fel: a kilépő fény rezgéssíkja "elfordul"



Polarizáció alkalmazásai

Polarimetria



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

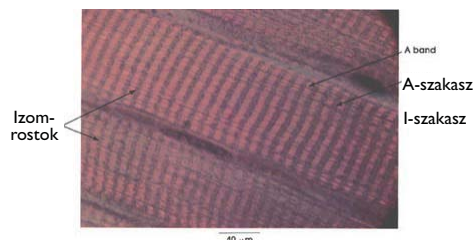
$$\alpha = [\alpha]_D^{20} \cdot c \cdot l$$

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

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

Polarizációs mikroszkópia

Harántcsikolt izomrost polarizációs mikroszkópban

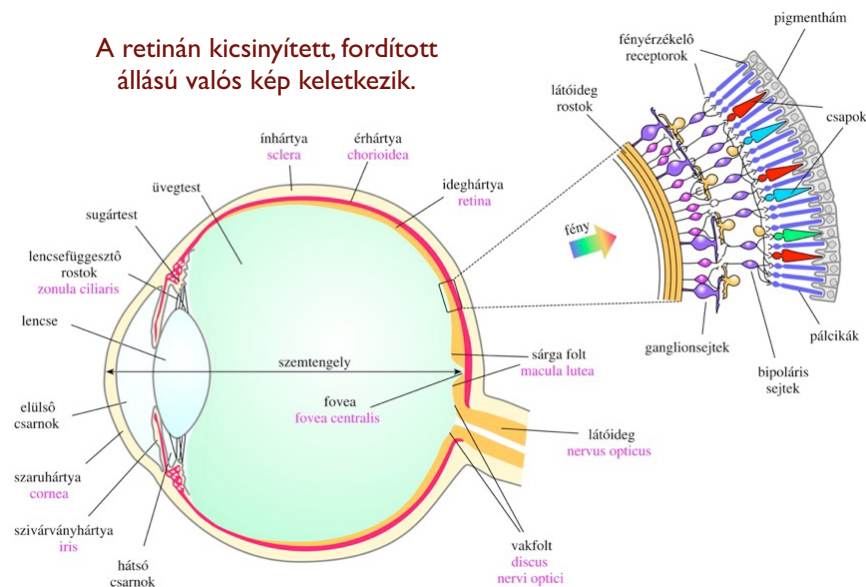


- A-szakasz: anizotróp (kettőtörő) szakasz (helikális filamentumokba rendezett miozinmolekulákat tartalmaz)
- I-szakasz: izotróp szakasz



Optikai leképezés az emberi szemben

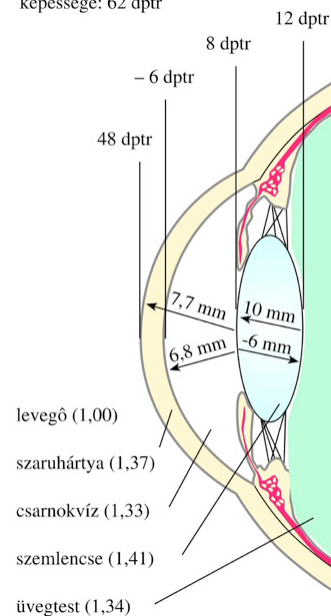
A retinán kicsinyített, fordított állású valós kép keletkezik.



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

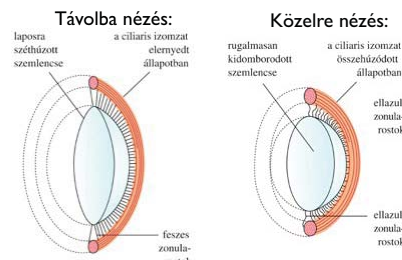
N.B.:

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

Akkomodáció és refrakciós hibák

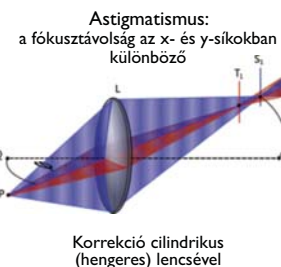
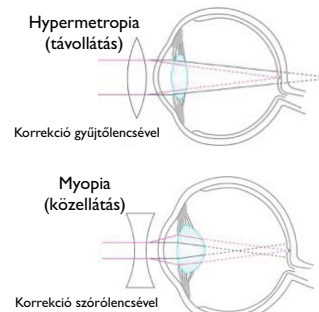
Akkomodáció:

- A szem törőképességének adaptálódása a tárgy távolságához.
- 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)

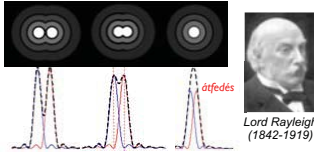
A szem feloldóképessége I.

Hullámoptikai korlát

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



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



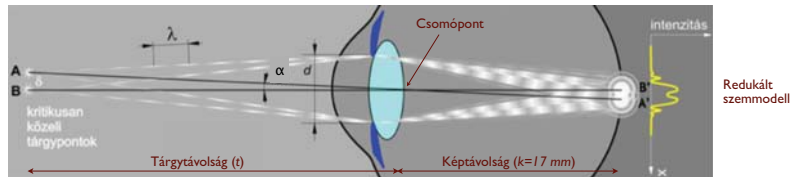
Legkisebb feloldott távolság behatárolt (Abbe-képlet):

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

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**.

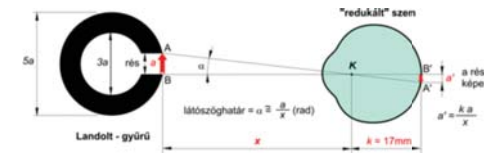
Látásélesség (visus, "Visual Acuity", VA):

$$\text{látásélesség} = \frac{1'}{\alpha} 100\%$$

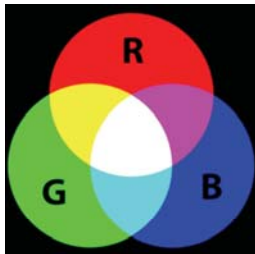
α = kísérleti (mért) látószöghatár

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

