

GEOMETRIAI OPTIKA

KELLERMAYER MIKLÓS

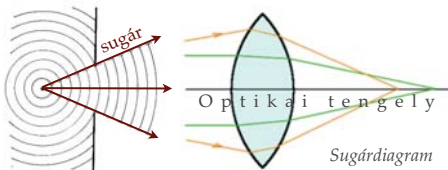
GEOMETRIAI OPTIKA

- Fényvisszaverődés, fénytörés, refraktometria
- Teljes belső visszaverődés, endoszkópia
- Fénytörés görbült felületen, optikai leképezés, lencsetörvény
- A fénymikroszkóp
- Az emberi szem optikája
- Mikromanipulálás fénytöréssel

GEOMETRIAI OPTIKA

Geometriai optika

Ha a fény a hullámhossznál sokkal nagyobb résen halad át, a hullámfront (fázis) terjedése egy egyenessé ("sugár") egyszerűsíthető.

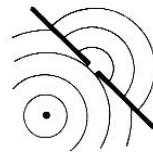


- Optikai nyaláb ("fény sugar"): absztrakció, matematikai egyenes.
- A nyilak az energiaterjedés irányát jelölik.
- Optikai tengely: az optikai elemek (pl. lencsék) középpontján áthaladó egyenes.
- Reverzibilitás elve: az energiaterjedés (nyilak) iránya megfordítható.

A fény terjedési sebessége *vákuumban*: $c = 2,99792458 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$
Optikailag sűrűbb közegben a fény terjedési sebessége csökken (c_1). Ez kifejezhető az abszolút törésmutatóval (n_1):

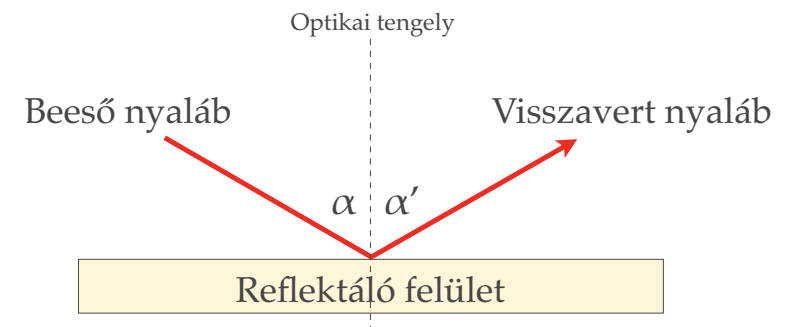
(megj.: hullámoptika - jövő hét)

Ha a fény a hullámhossznál kisebb vagy azzal összemérhető résen halad át, a hullámtermészetet figyelembe kell venni.



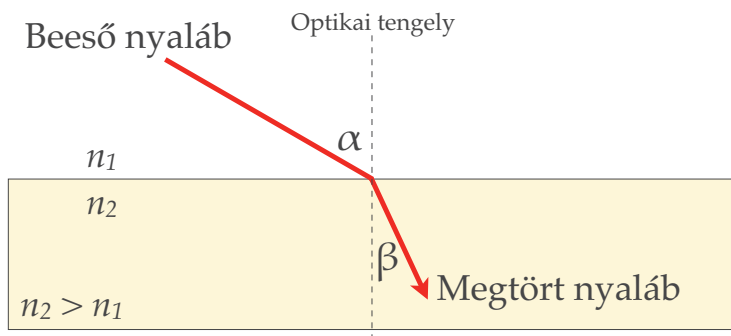
$$n_1 = \frac{c}{c_1}$$

FÉNYVISSZAZVERŐDÉS: REFLEXIÓ



- α = beesési szög; α' = visszaverődési szög.
- Beeső és visszavert nyalábok azonos síkban vannak.
- Beesési és visszaverődési szögek azonosak ($\alpha = \alpha'$).

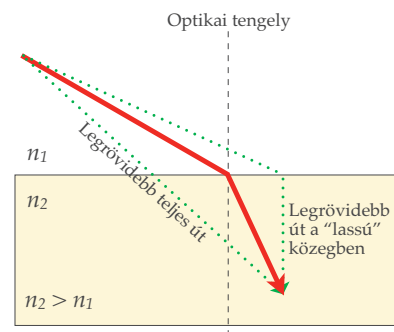
FÉNYTÖRÉS



- α = beesési szög; β = törési szög.
- Beeső és megtört nyalábok azonos síkban vannak.
- Snellius-Descartes törvény:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

A FÉNYTÖRÉS MAGYARÁZATA: A LEGRÖVIDEBB IDŐ FERMAT-FÉLE ELVE



A fény azt az utat járja be, amelyet a leggyorsabban (i.e., **legrövidebb idő** alatt) tud megtenni.

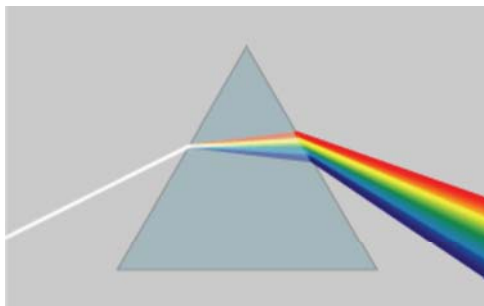
A Fermat-elv a természetben máshol is működik!



Hangyák (*Wasmannia auropunctata*) "útválasztása" különböző "ellenállású" közegek találkozásánál

DISZPERZIÓ

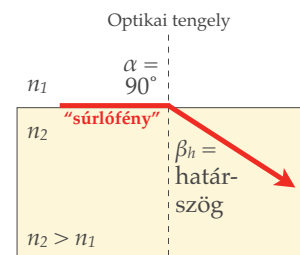
A törésmutató hullámhosszfüggő!



- Kisebb hullámhossz - nagyobb törésmutató
- A prizma hullámhossz (fizikai szín) szerinti komponensekre bontja a fehér fényt

A FÉNYTÖRÉS ANALITIKAI ALKALMAZÁSA: REFRAKTOMETRIA

A fénytörés határesetek



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

$$n_1 = n_2 \sin \beta_h$$

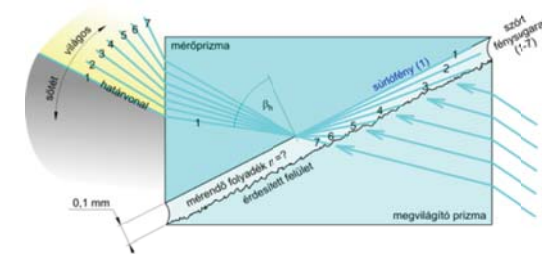
tehát n_2 ismeretében β_h megmérésével kiszámíthatjuk a beesési közeg törésmutatóját (n_1).

Refraktometria

Híg oldatok törésmutatója (n_1) koncentrációfüggő (c):

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

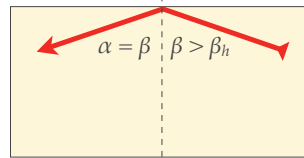
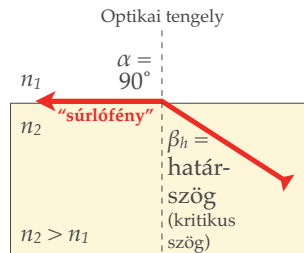
n_1 = oldószer törésmutatója, k = konstans



Alkalmazás feltételei:

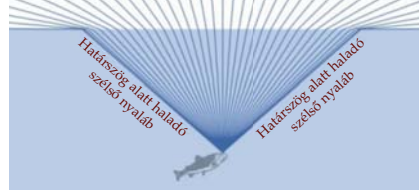
- A minta folyadék
- A minta átlátszó
- A minta törésmutatója kisebb mint a mérőprizmáé

TELJES BELSŐ VISSZAAVERŐDÉS



Fényvisszaverődés az optikailag sűrűbb közegben

A befogott kúpban: a teljes horizont képe



TELJES BELSŐ VISSZAAVERŐDÉS ALKALMAZÁSA: OPTIKAI FÉNYVEZETÉS

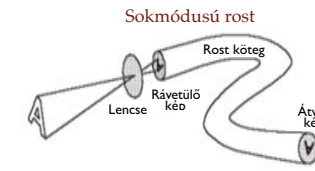
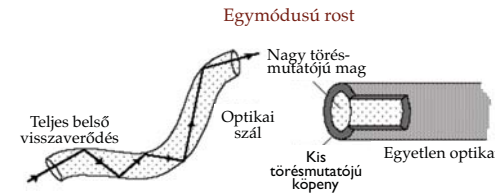
Endoscopy

CÉLOK

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

TÍPUSOK

Arthroscopia (izületek); *Bronchosopia* (légutak); *Colonosopia* (colon); *Colposopia* (vagina és cervix); *Cystosopia* (cysta, ureter, urethrán keresztül); *ERCP* (endoscopy retrograde cholangiopancreatography, kontrasztanyag bejuttatása az epeutakba és a ductus pancreaticusba); *EGD* (Esophago-gastroduodenosopia); *Laparosopia* (abdominalis szervek vizsgálata a hasfalán keresztül); *Laryngosopia* (larynx); *Proctosopia* (rectum, sigma); *Thoracosopia* (pleura, mediastinum, pericardium a mellkason keresztül).

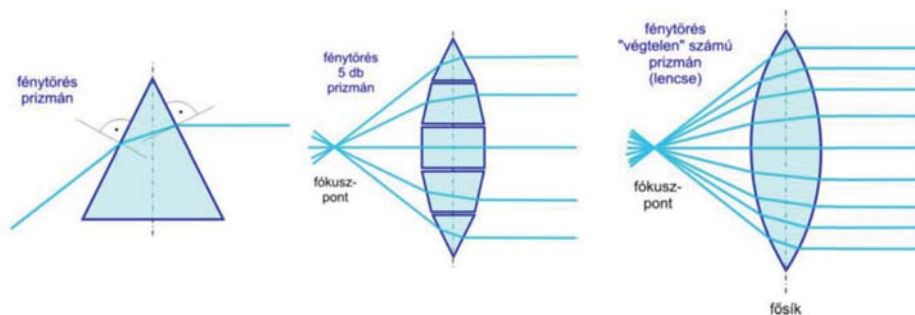


Ha az optikai szálak geometriája megtartott, akkor a köteg a képet hűen továbbítja.

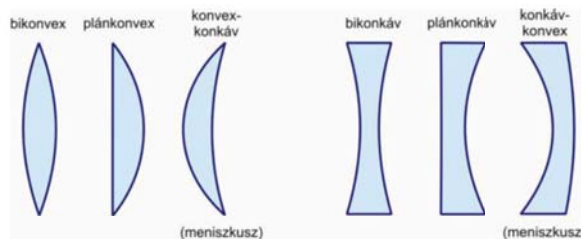


Arthroscopias sebészet

FÉNYTÖRÉS GÖRBÜLT FELÜLETEN

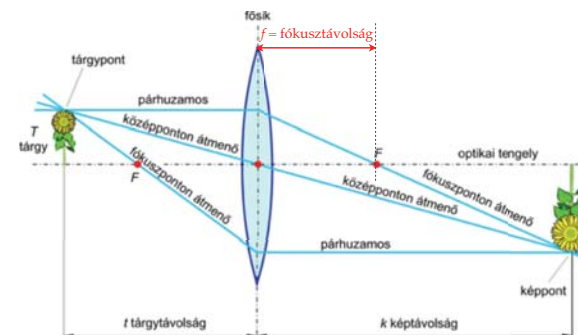


Lencsetípusok:



OPTIKAI LEKÉPEZÉS

Görbült felületű törőközeggel leképezést végezhetünk (egy tárgyponttól a tér egy másik pontján képet alkothatunk)



- Valós kép: kivetíthető
- Virtuális kép: járulékos lencsével leképezhető
- Nagyítás > 1 , ha a tárgy $2f$ -en belül

Nagyítás

$$N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t}$$

Lencsetörvény

$$D = \frac{1}{f} = \frac{1}{t} + \frac{1}{k}$$

$D =$ törőképeség (dioptria, m^{-1})

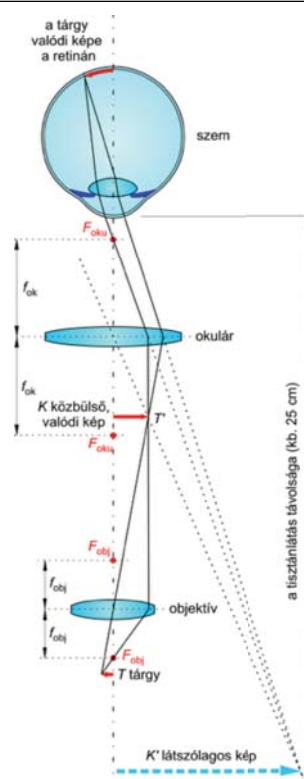
Törőfelület törőképesége

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

$n - n' =$ törőközegek törésmutató-különbsége
 $r =$ törőfelület görbületi sugara

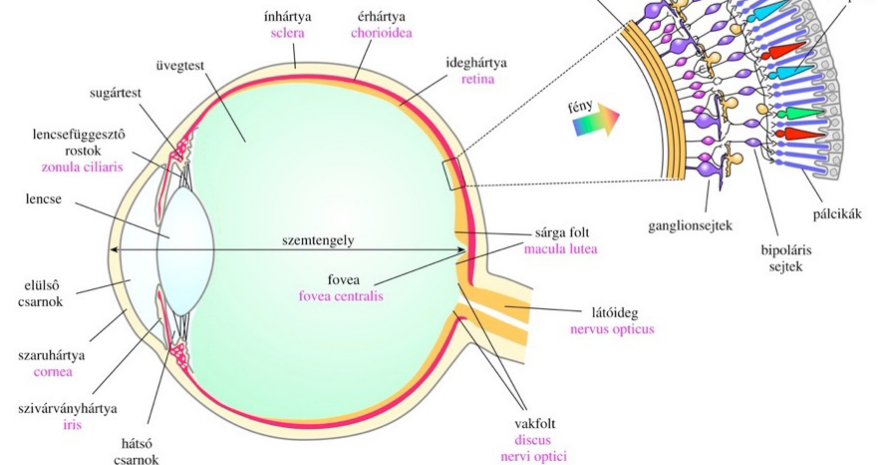
KÉPALKOTÁS AZ ÖSSZETETT FÉNYMIKROSKÓPBAN

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



OPTIKAI LEKÉPEZÉS AZ EMBERI SZEMBEN

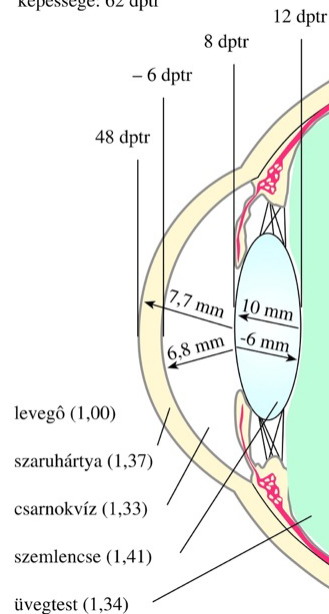
A retinán kicsinyített, fordított állású valós kép keletkezik.



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

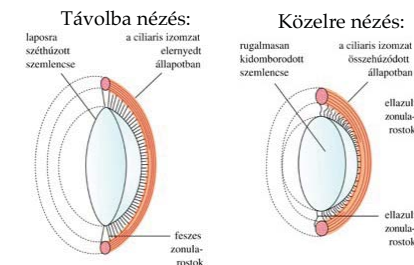
N.B.:

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

AKKOMODÁCIÓ ÉS REFRAKCIÓS HIBÁK

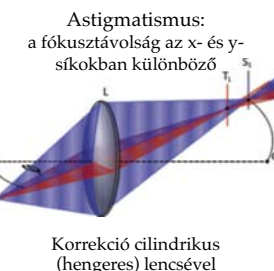
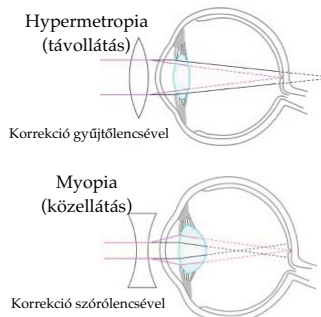
Akkomodáció:

- 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.



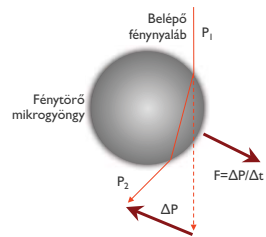
Refrakciós hiba végleges javítása: LASIK (Laser Assisted In Situ Keratomileusis)



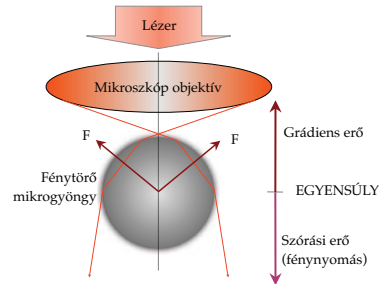
A szaruhártya lokális görbületi sugarát változtatjuk meg (lézsersebészeti eljárással)

MIKROMANIPULÁCIÓ REFRAKCIÓVAL

A refrakció fényimpulzus-változással (ΔP) jár
(elméleti magyarázat később):



Fénytörő részecskék "optikai erőkkel" megfoghatók:

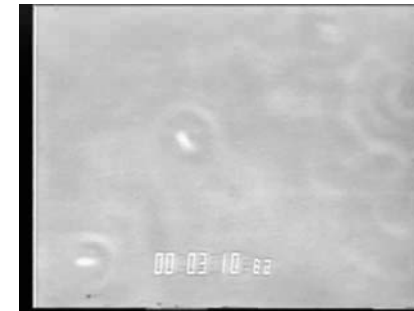


Az *optikai csipeszben* a fotonok
és a fénytörő részecske között
impulzuscsere lép fel



3 μm átmérőjű latex
(polistirol) mikrogöngyök
optikai csipeszben

AZ OPTIKAI CSIPESSZEL ÉLŐ SEJTEK IS MEGFOGHATÓK



Baktérium csapdázása optikai csipeszsel

Csomókötés egyetlen molekulafonálra optikai csipeszsel

Aktin filamentum

DNS



Fáziskontraszt kép

Fluoreszcencia kép

