

# GEOMETRIAI OPTIKA

KELLERMAYER MIKLÓS

# Geometriai optika

---

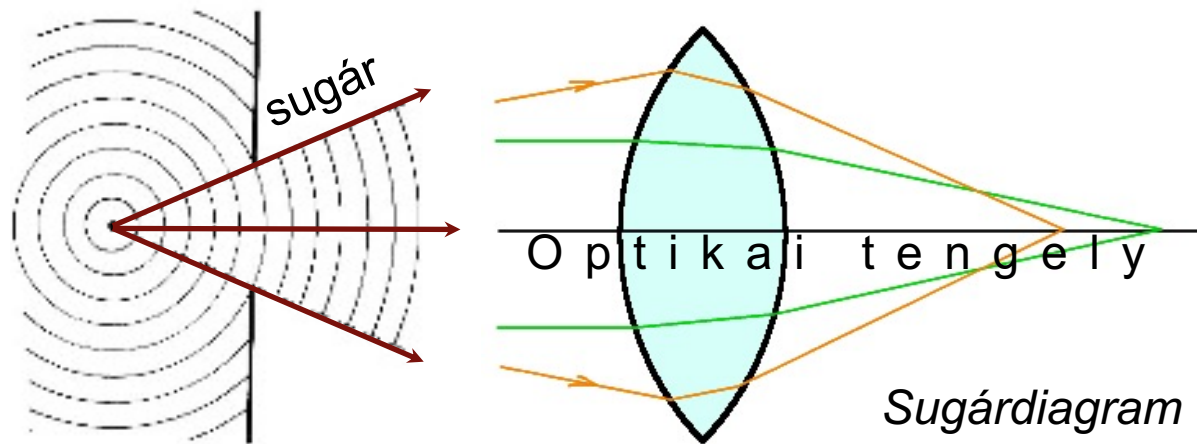
- Fényvisszaverődés, fénytörés, refraktometria
- Teljes belső visszaverődés, endoszkópia
- Fénytörés görbült felületen, optikai leképezés, lencsetörvény
- A fénymikroszkóp
- Az emberi szem optikája
- Mikromanipulálás fénytöréssel



# Geometriai optika

## Geometriai optika

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



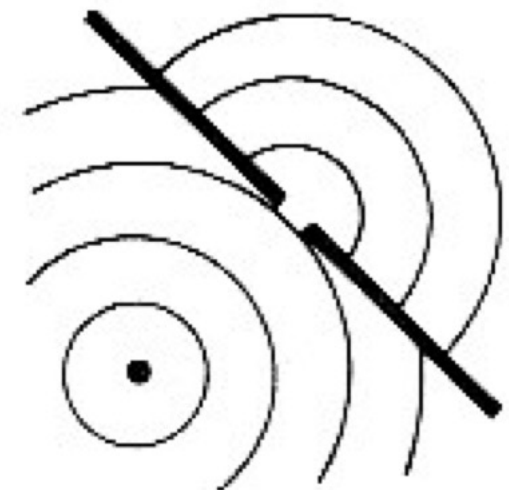
- Optikai nyaláb („fény sugar”): absztrakció, matematikai egyenes.
- A nyilak az energiaterjedés irányát jelölik.
- Optikai tengely: az optikai elemek (pl. lencsék) középpontján áthaladó egyenes.
- Reverzibilitás elve: az energiaterjedés (nyilak) iránya megfordítható.

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 ( $n_1$ ):

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

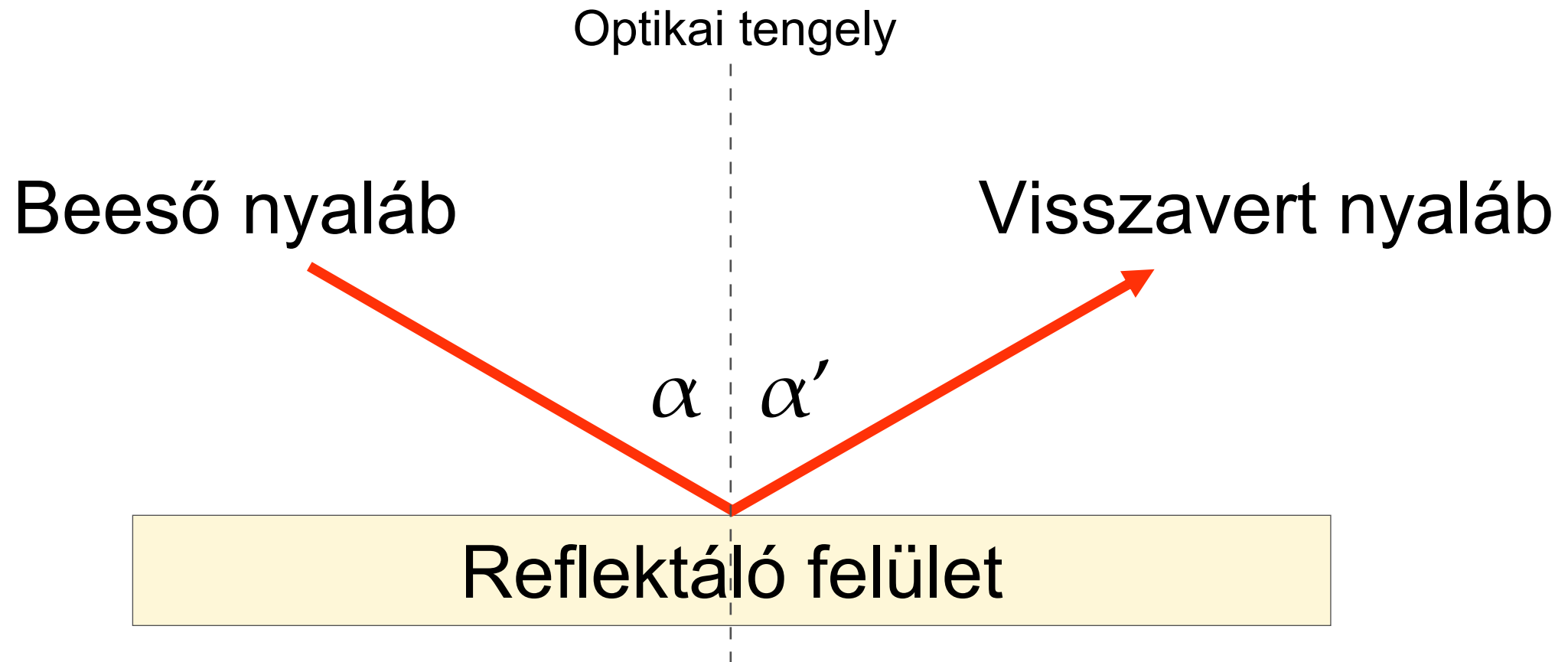
(megj.: hullámoptika -  
jövő hét)

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



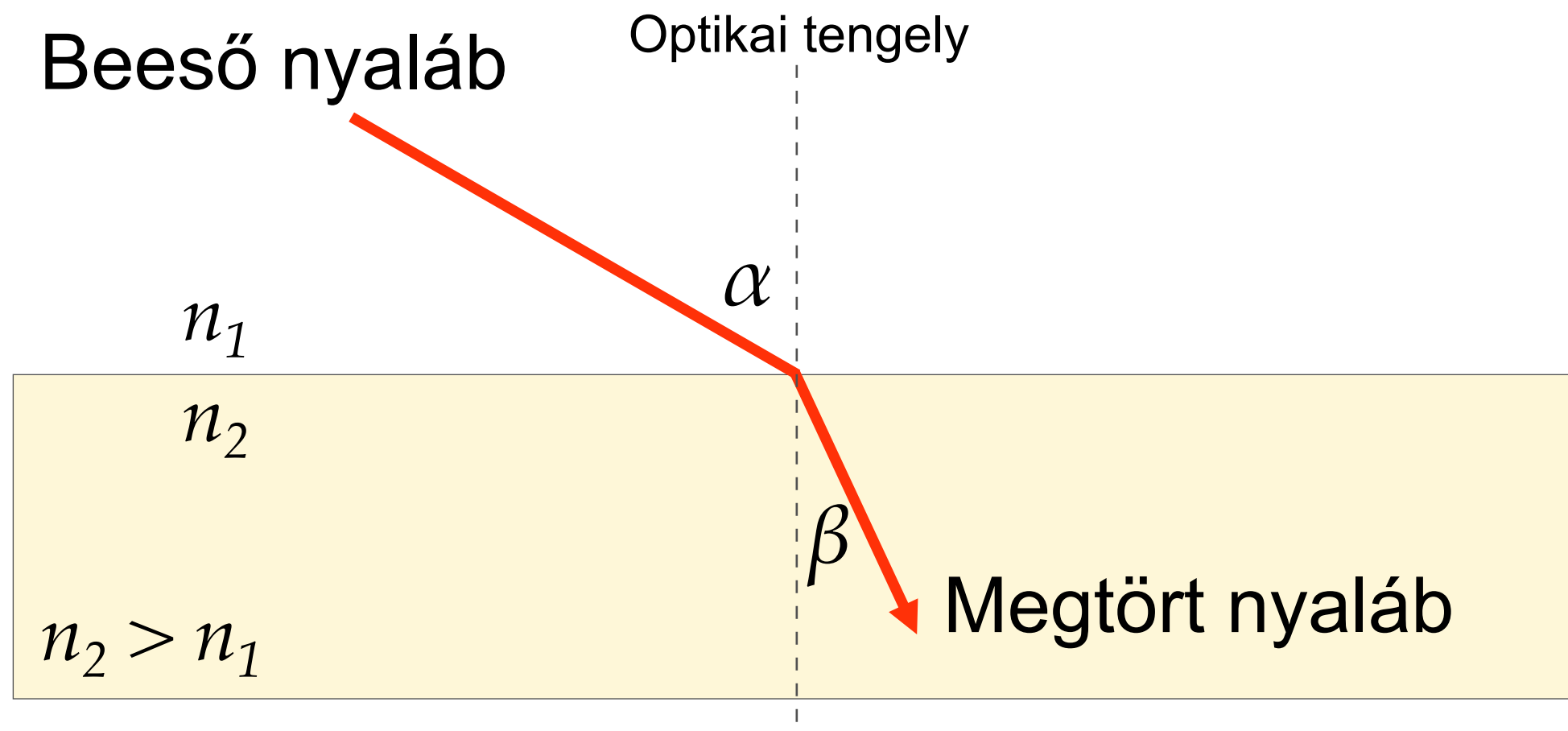
# Fényvisszaverődés: Reflexió

---



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

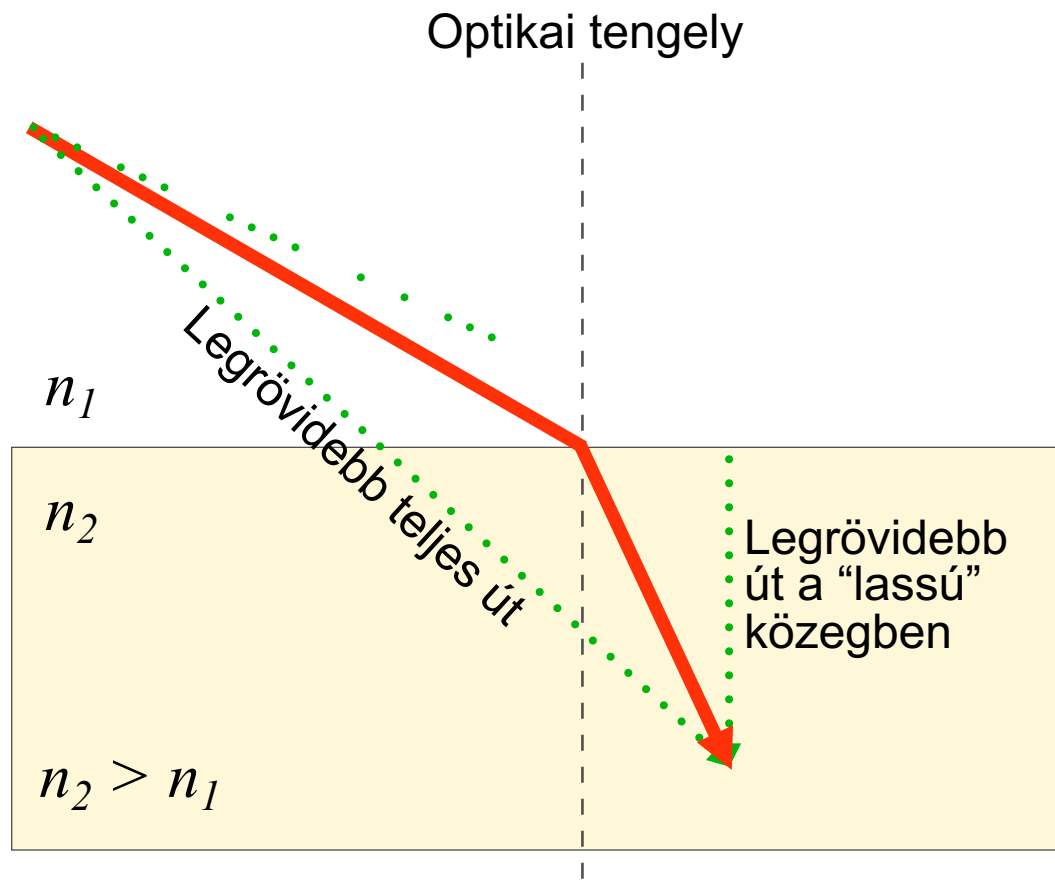
# Fénytörés



- $\alpha$  = beesési szög;  $\beta$  = 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!

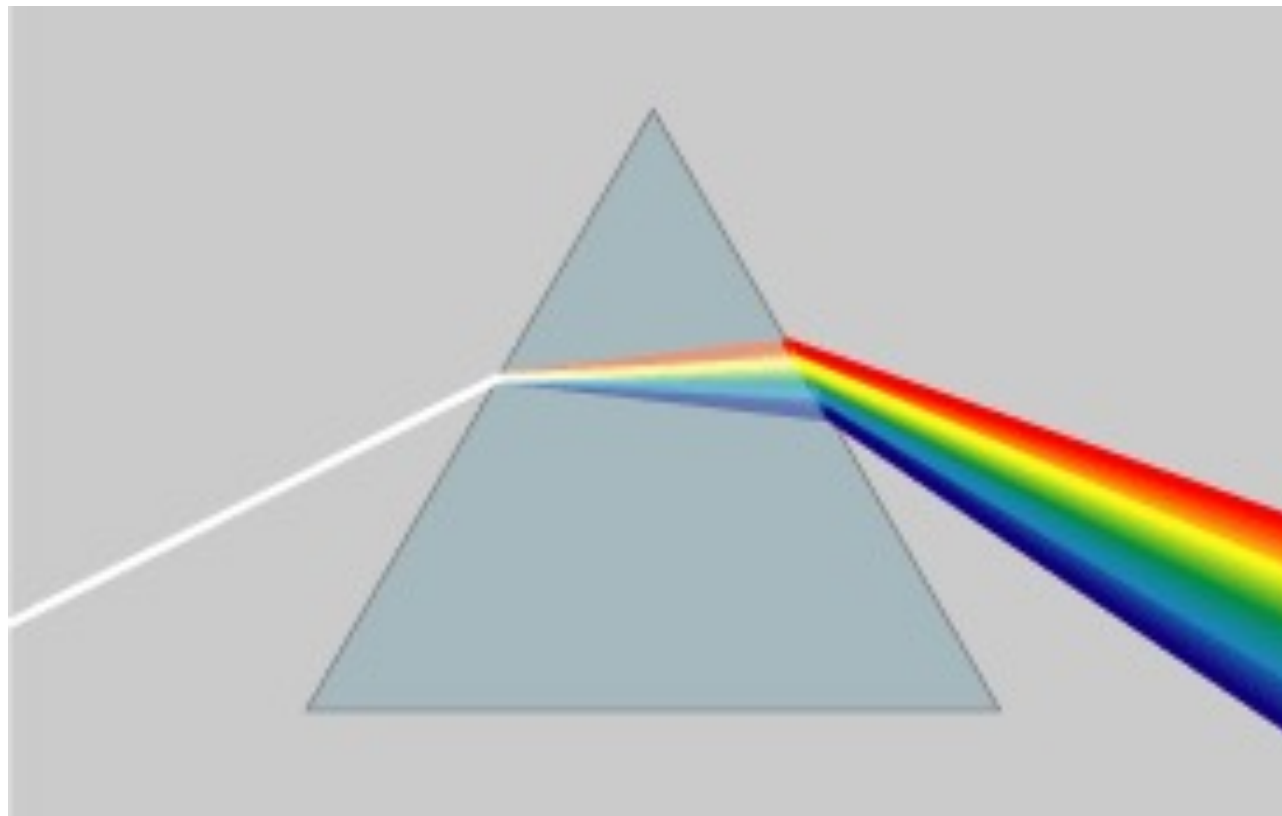


Hangyák (*Wasmannia auropunctata*) "útválasztása" különböző "ellenállású" közegek találkozásánál

# Diszperzió

---

A törésmutató frekvenciafüggő!



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

# Diszperzióval érdekes helyeken találkozhatunk...

---

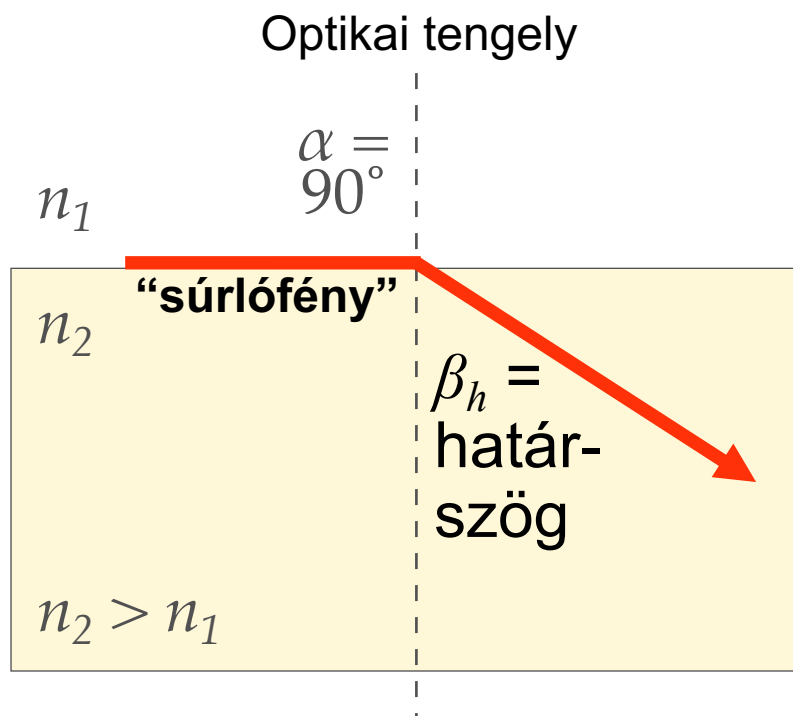


Pink Floyd: The Dark Side of the Moon



# A fénytörés analitikai alkalmazása: Refraktometria

## A fénytörés határesetete



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

$$n_1 = n_2 \sin \beta_h$$

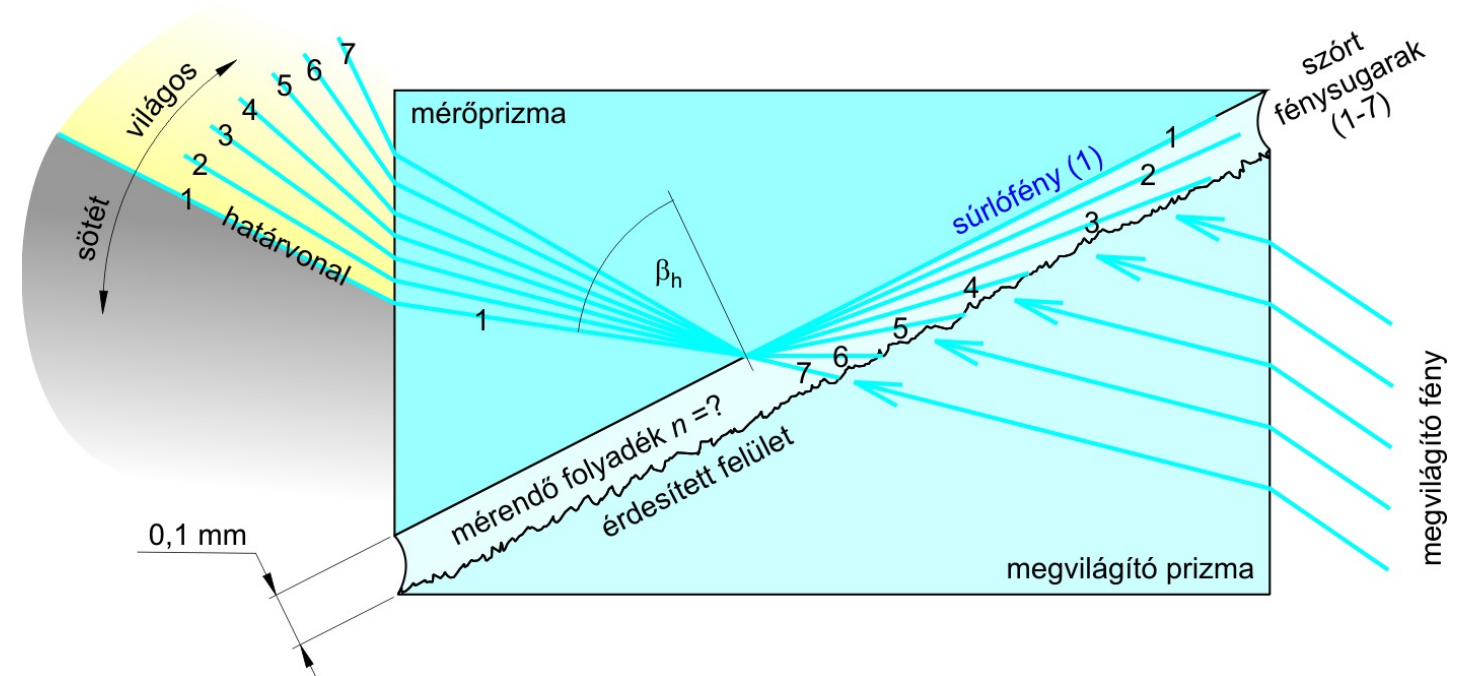
tehát  $n_2$  ismeretében  $\beta_h$  megméréssel kiszámíthatjuk a beesési közeg törésmutatóját ( $n_1$ ).

## Refraktometria

Híg oldatok törésmutatója ( $n_1$ ) koncentrációfüggő ( $c$ ):

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

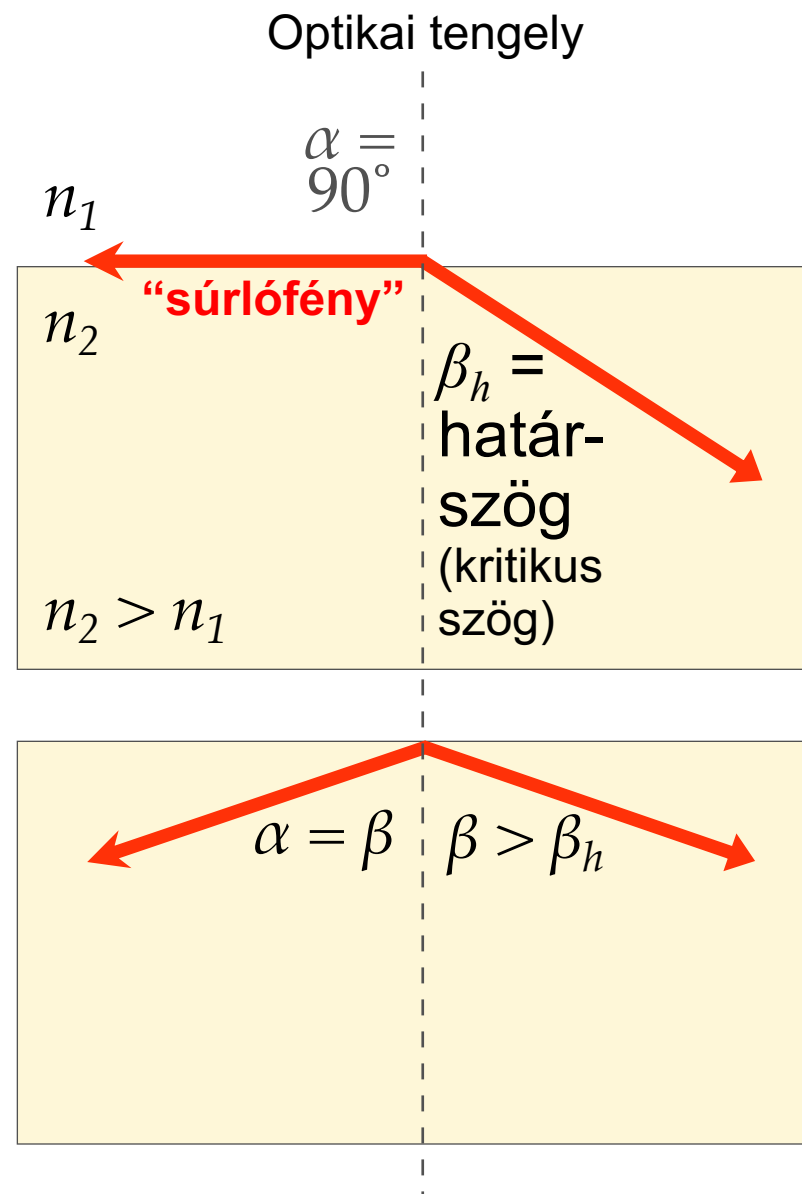
$n_1$  = oldószer törésmutatója,  $k$  = konstans



### Alkalmazás feltételei:

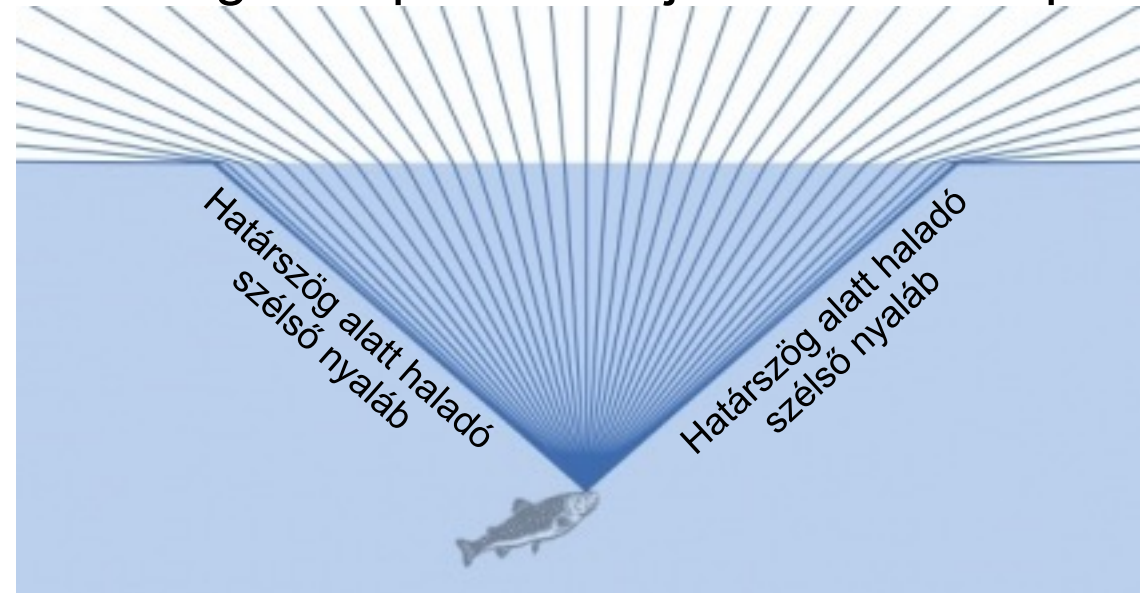
- A minta folyadék
- A minta átlátszó
- A minta törésmutatója kisebb mint a mérőprizmáé

# Teljes belső visszaverődés



Fényvisszaverődés az optikailag sűrűbb közegben

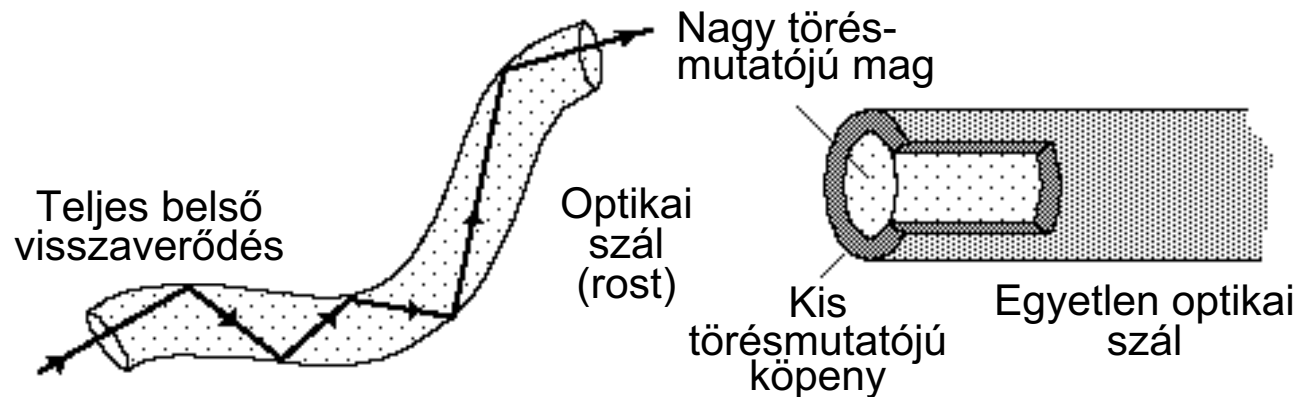
A befogott kúpban: a teljes horizont képe



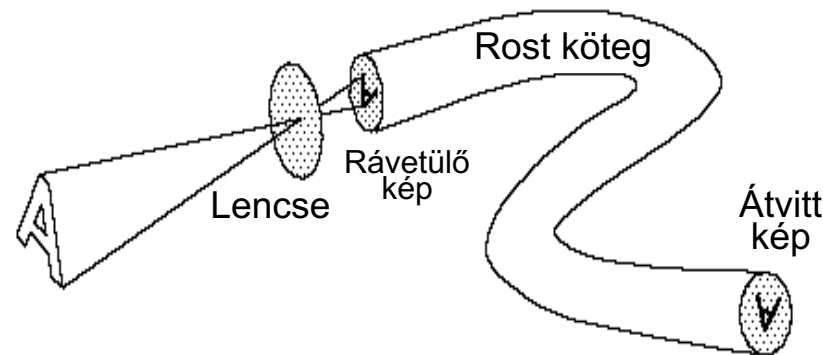


# Teljes belső visszaverődés alkalmazása: optikai fényvezetés

## Egymódusú rost



## Sokmódusú rost



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

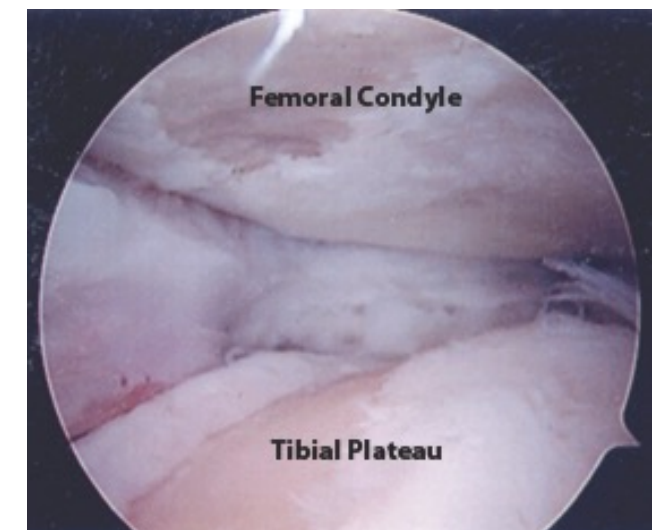
## Endoscopy

### CÉLOK

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

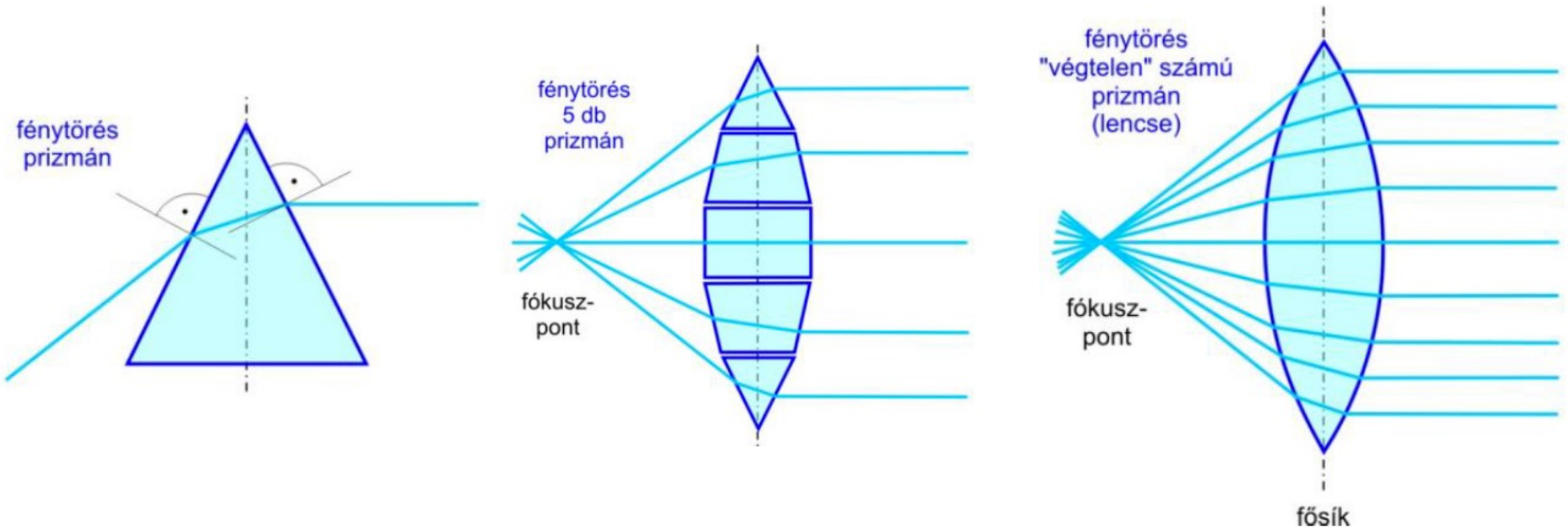
### TÍPUSOK

*Arthroscopia* (ízületek); *Bronchoscopy* (légutak); *Colonoscopy* (colon); *Colposcopy* (vagina és cervix); *Cystoscopy* (cysta, ureter, urethrán keresztül); *ERCP* (endoscopyás retrográd cholangio-pancreatographia, kontrasztanyag bejuttatása az epeutakba és a ductus pancreaticusba); *EGD* (Esophago-gastroduodenoscopya); *Laparoscopy* (abdominalis szervek vizsgálata a hasfalán keresztül); *Laryngoscopy* (larynx); *Proctoscopy* (rectum, sigma); *Thoracoscopy* (pleura, mediastinum, pericardium a mellkasfalán keresztül).

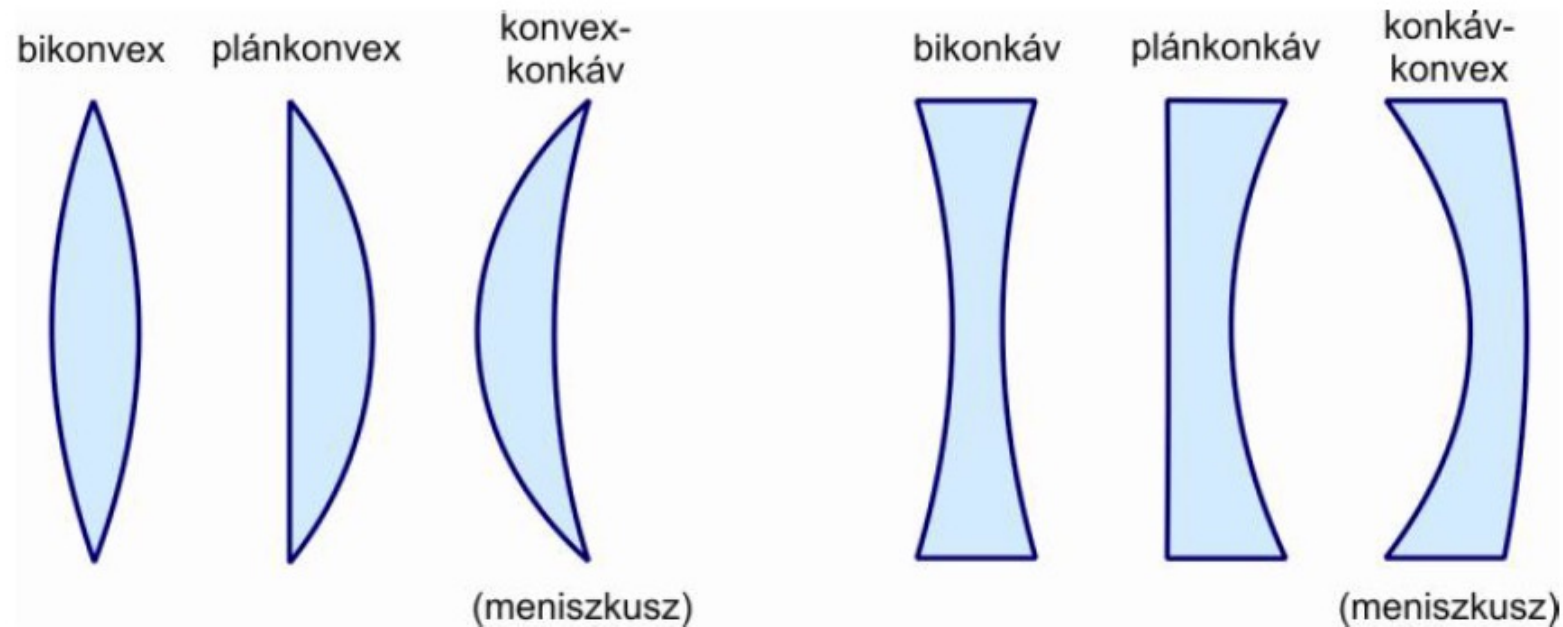


Arthroscopiás sebészet

# Fénytörés görbült felületen



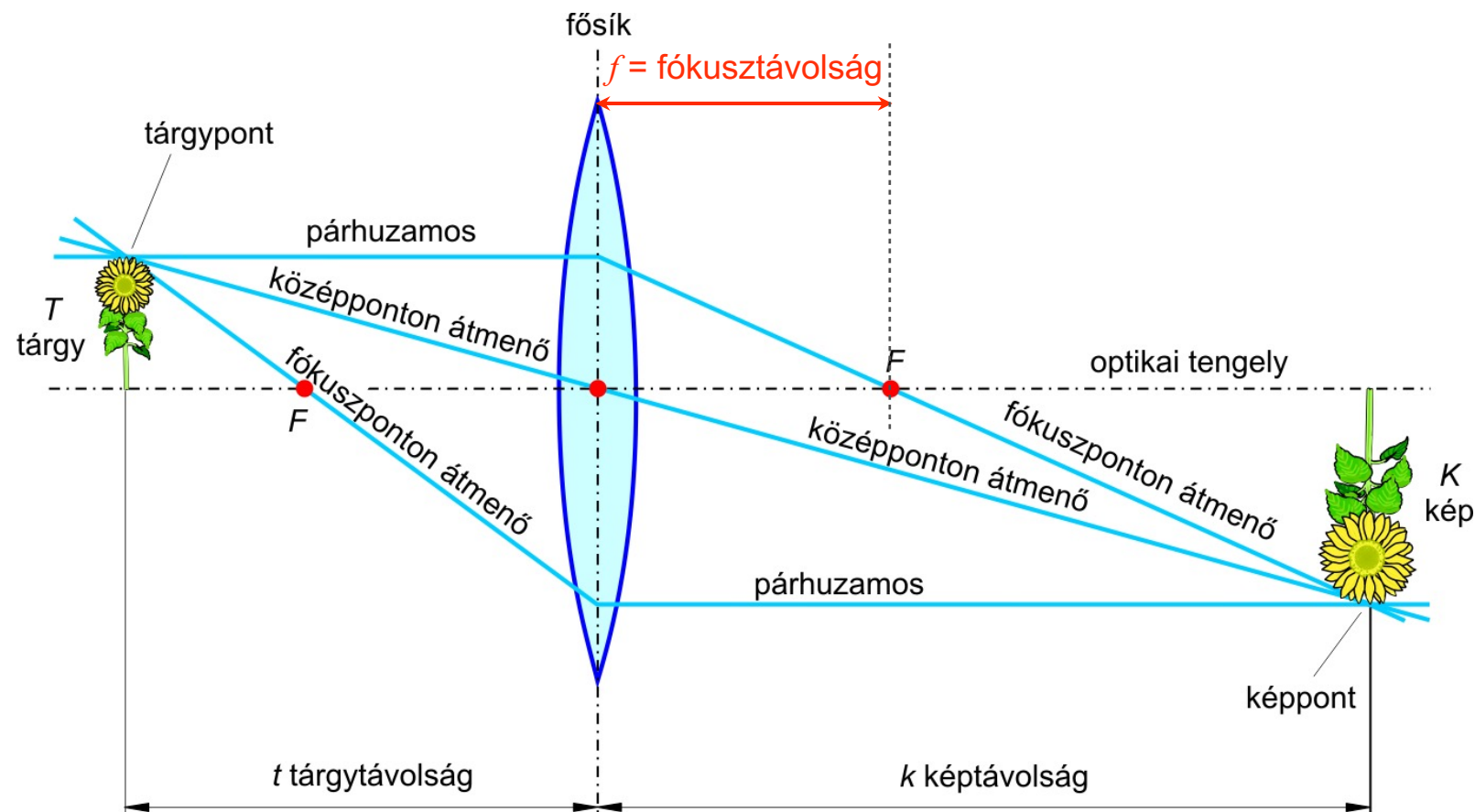
Lencsetípusok:





# Optikai leképezés

Görbült felületű törőközeggel leképezést végezhetünk (egy tárgypontból 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

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

$D$  = törőképesség (dioptria,  $\text{m}^{-1}$ )

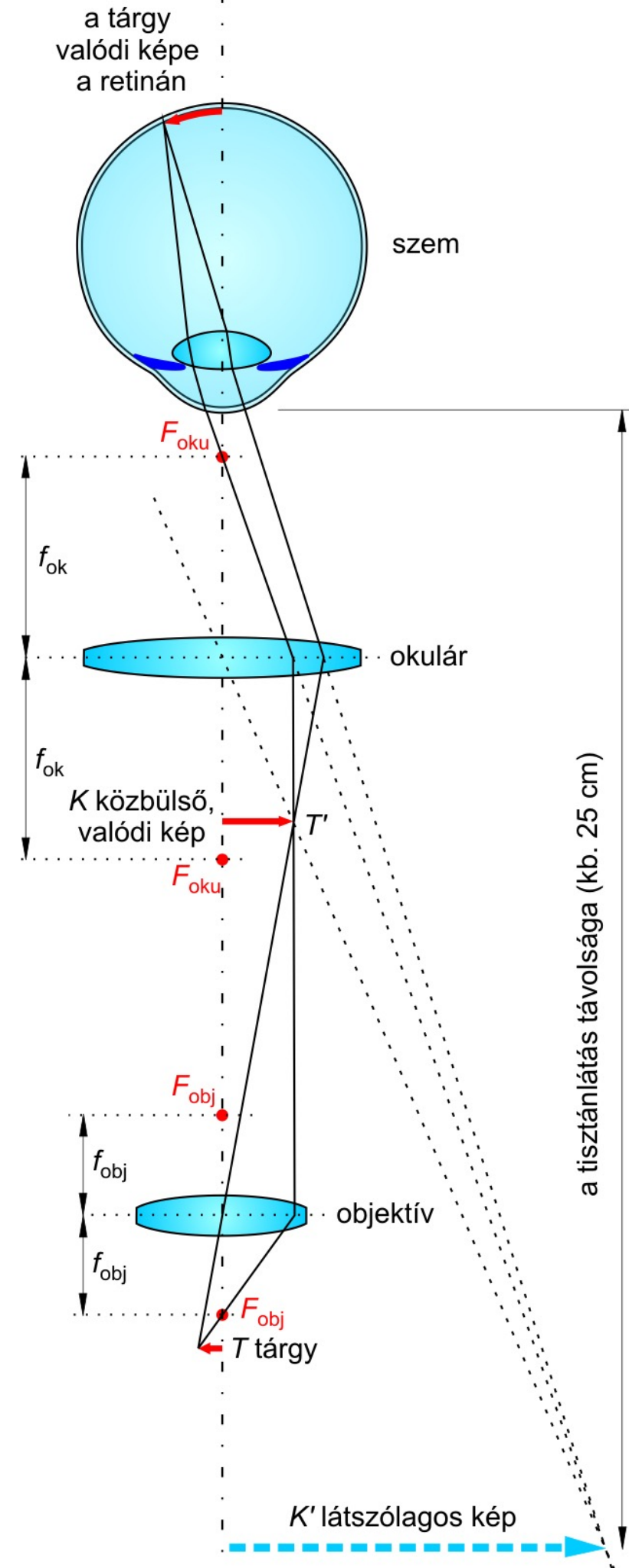
Törőfelület törőképessége

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

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

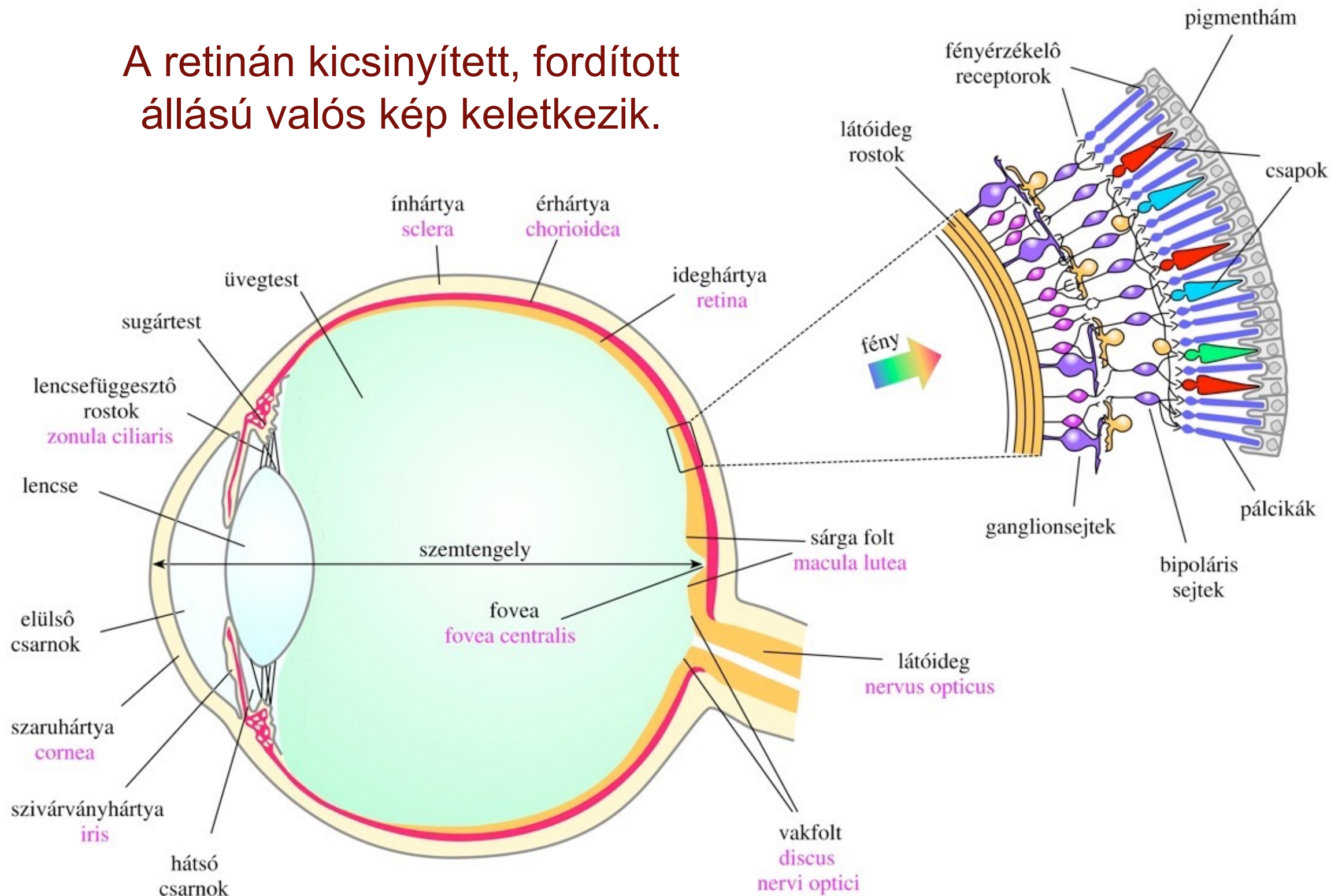
# Képzalkotás az összetett fénymikroszkópban

- 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.

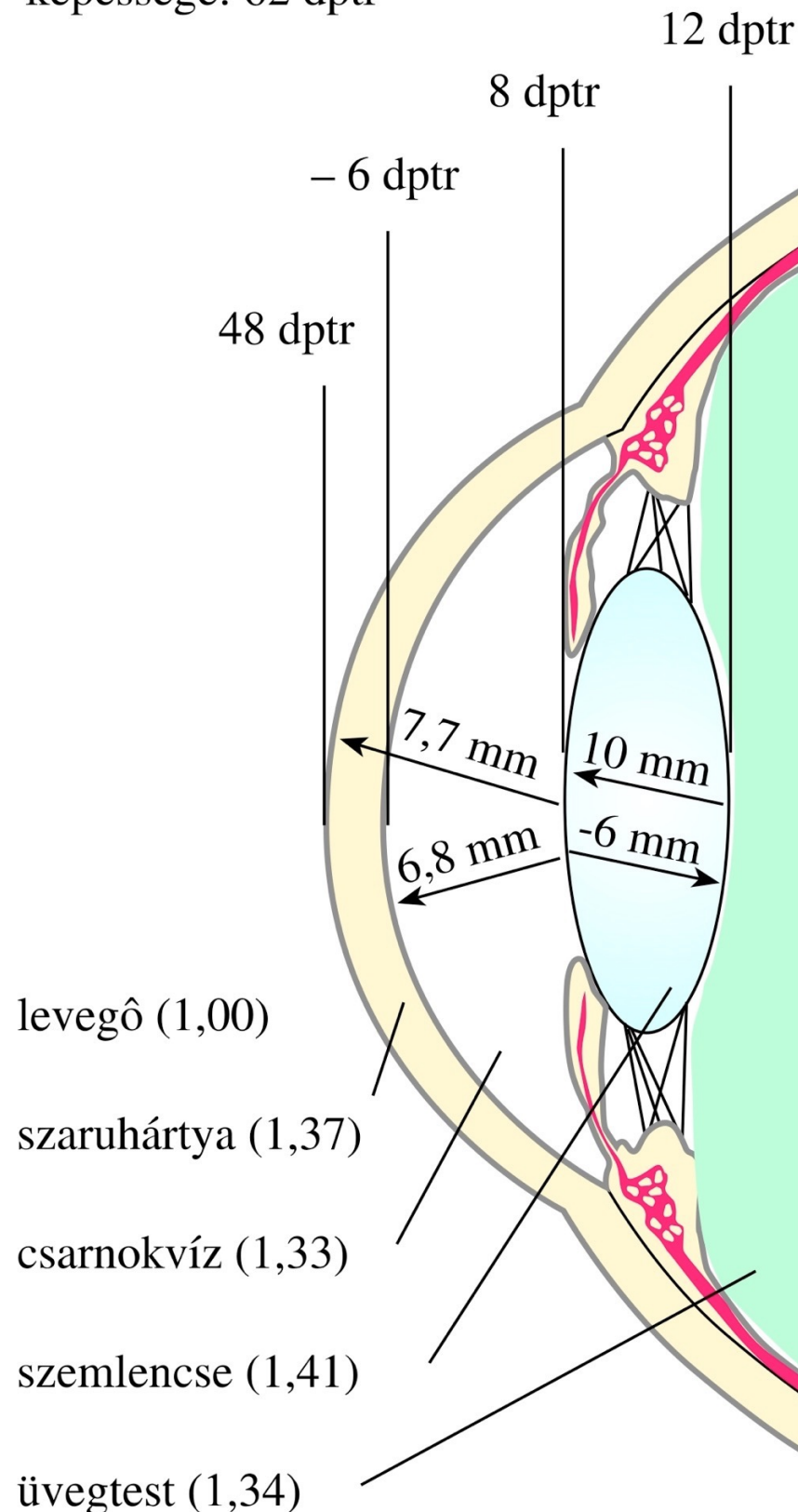


Az emberi szem horizontális metszeti szerkezete



# 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 ( $\text{W}/\text{m}^2$ )  
 $d$ =pupilla átmérő

A pupilla átmérő függvényében:

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

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

Törőfelületek törőképessége ( $D$ ):

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

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

N.B.:

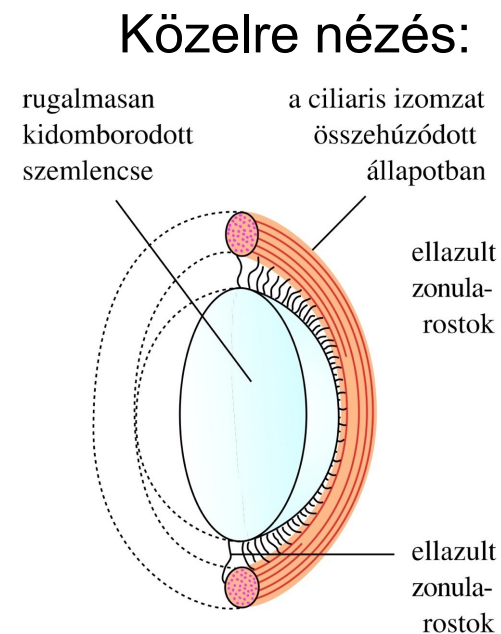
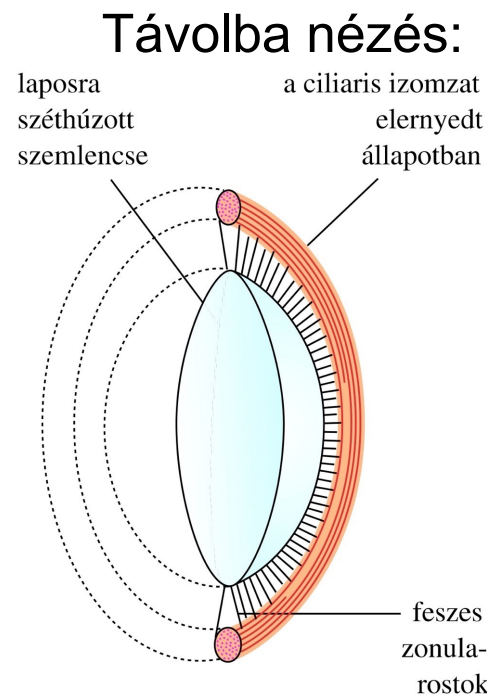
- 1)  $n-n'$  legnagyobb a levegő-cornea határfelületen.
- 2) A törőképesség változtatására két mechanizmus kínálkozik ( $n'$  és  $r$  változtatása)!



# Akkomodáció és refrakciós hibák

## Akkomodáció:

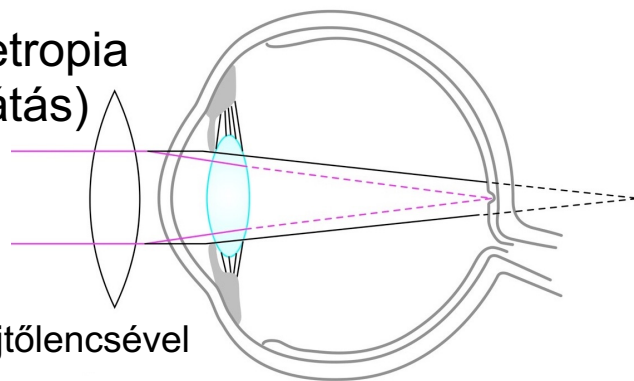
- A szem törőképességének adaptálódása a tárgytávolsághoz.
- Alapja: a szemlencse görbületi sugarának megváltozása.
- Akomodációs képesség: a közelpont és távolpont közötti, dioptriában kifejezett különbség.



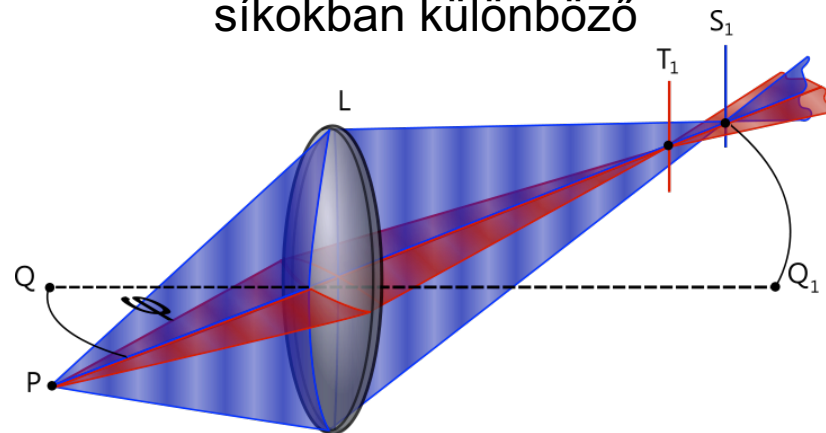
## Presbyopia:

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

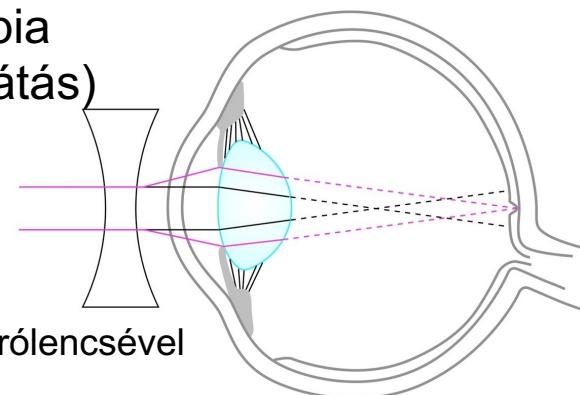
## Hypermetropia (távollátás)



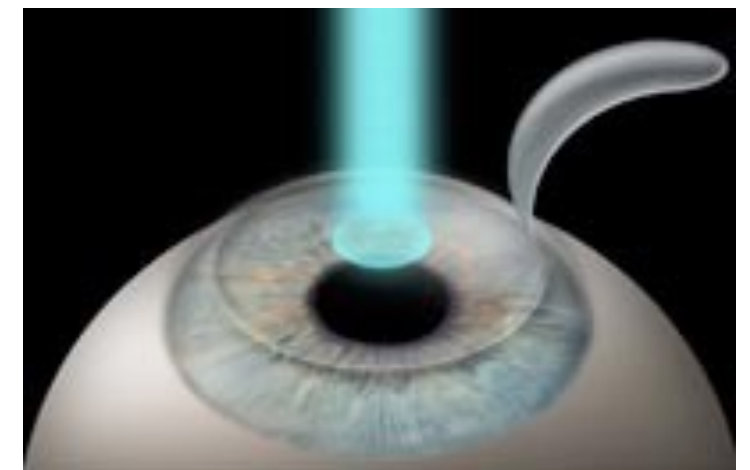
## Astigmatismus: a fókusz távolság az x- és y-síkokban különböző



## Myopia (közellátás)



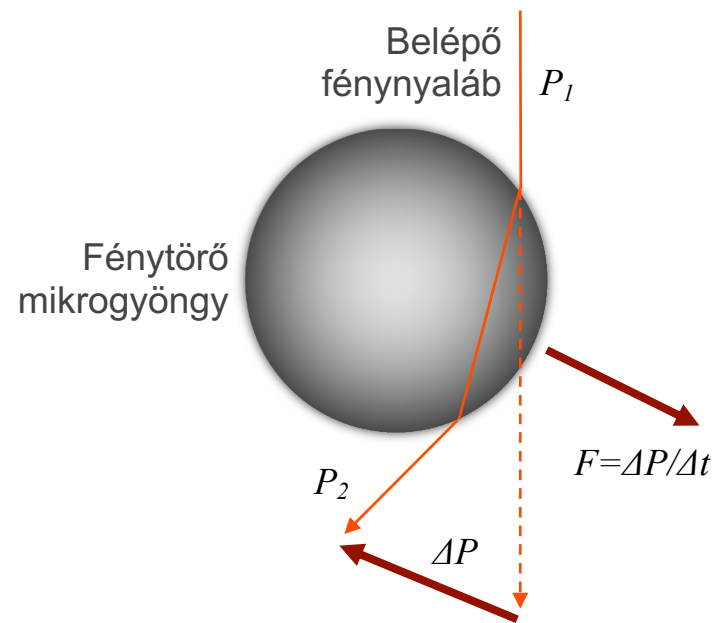
## Refrakciós hiba végleges javítása: LASIK (Laser Assisted In Situ Keratomileusis)



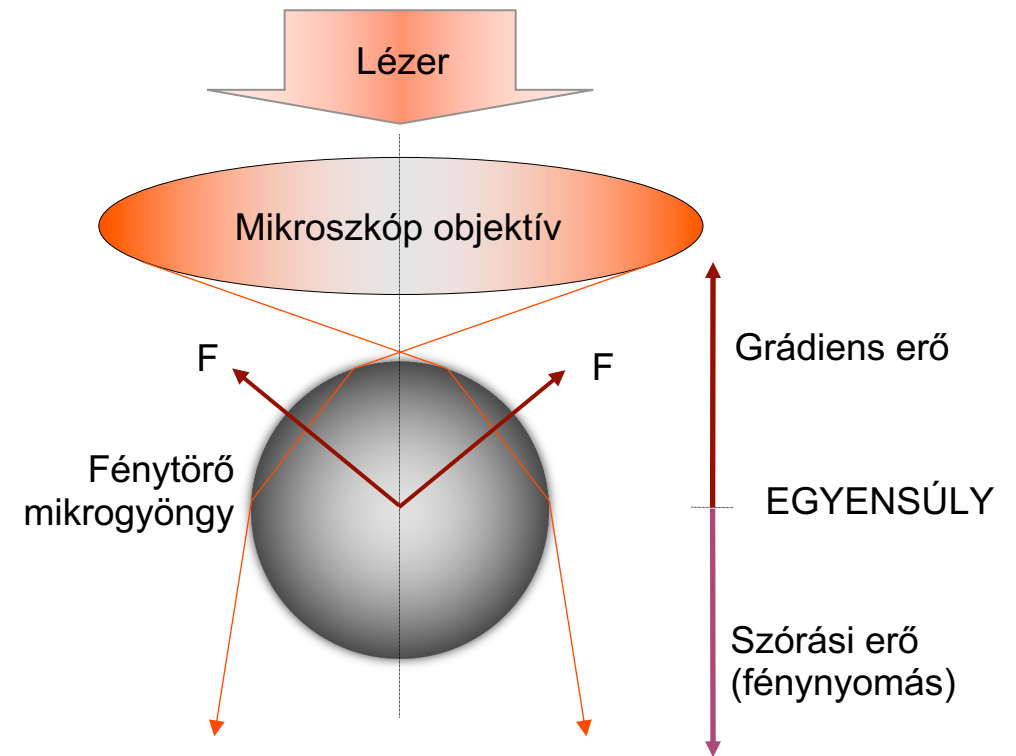
A szaruhártya lokális görbületi sugarát változtatjuk meg (lézersebészeti eljárással)

# Mikromanipuláció refrakcióval

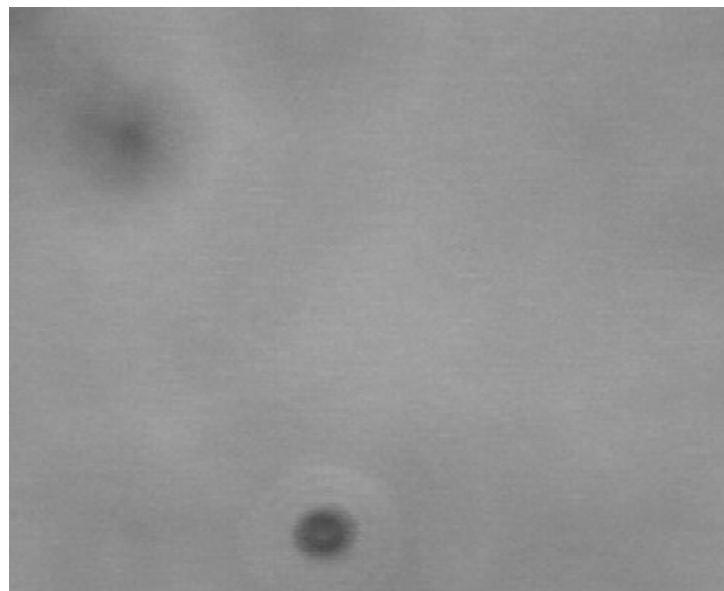
*A refrakció fényimpulzus-változással ( $\Delta P$ ) jár (elméleti magyarázat később):*



*Fénytörő részecskék "optikai erőkkel" megfoghatók:*

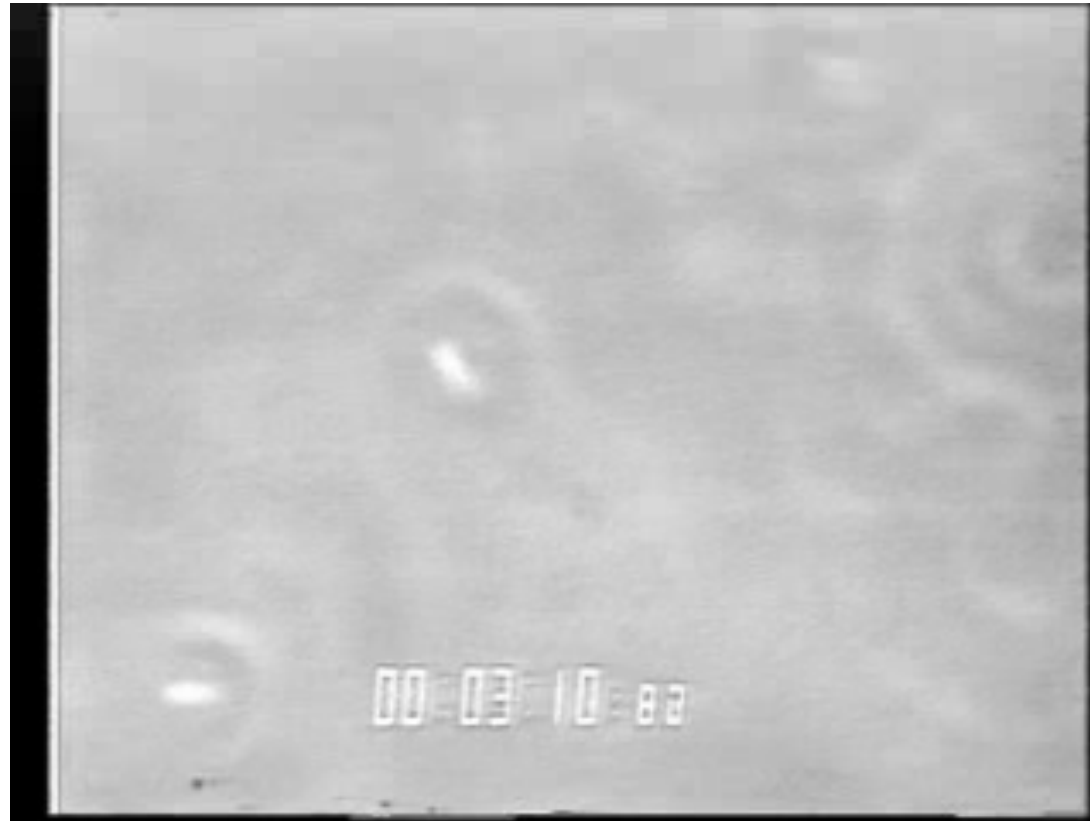


*Az **optikai csipeszben** a fotonok és a fénytörő részecske között **impulzuscsere** lép fel*



3  $\mu\text{m}$  átmérőjű latex (polistírol) mikrogöngyök optikai csipeszben

# Az optikai csipeessel élő sejtek is megfoghatók



Baktérium csapdázása optikai csipeessel

# Csomókötés egyetlen molekulafonálra optikai csipeszszel

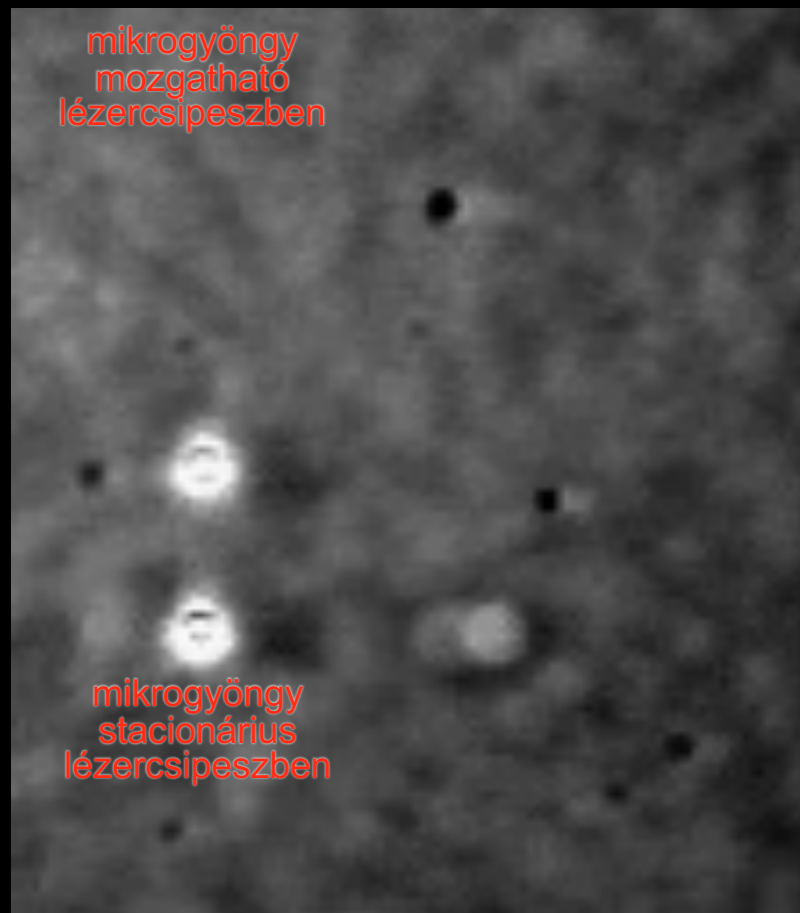
Aktin filamentum



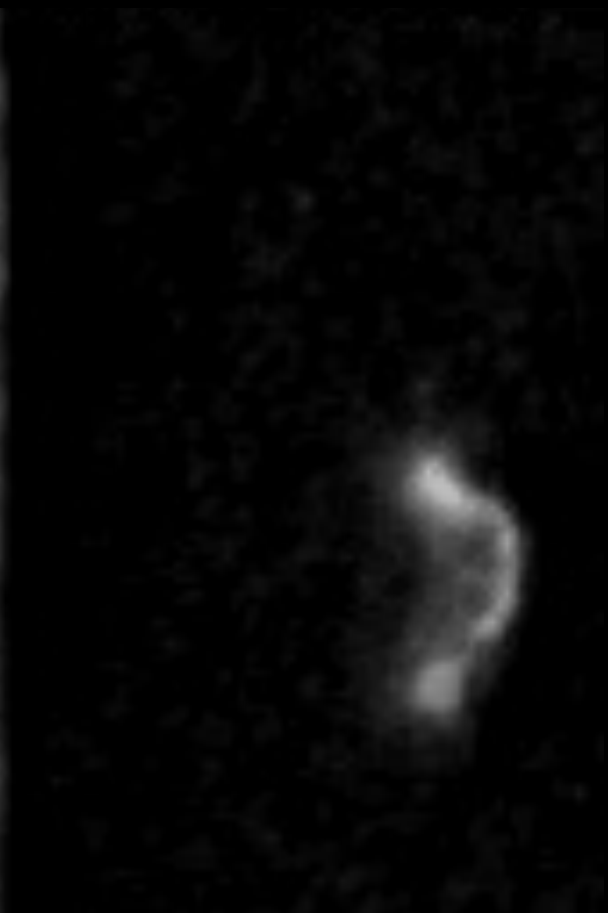
Fluoreszcencia kép

DNS

Fáziskontraszt kép



Fluoreszcencia kép





# OMHV



<https://chart.googleapis.com/chart?chs=450x450&cht=qr&chl=https://feedback.semmelweis.hu/feedback/index.php?feedback-qr=Z0KK7Y3ZYS7UZL2B>