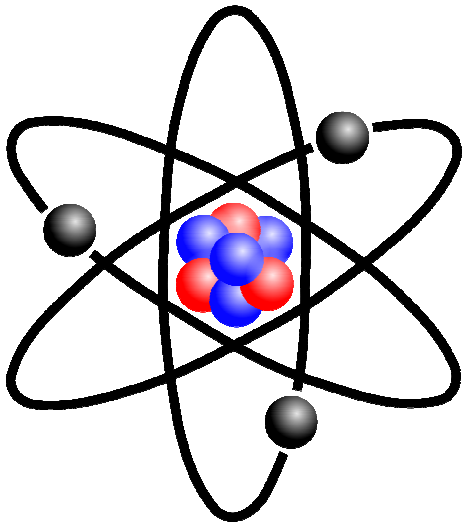
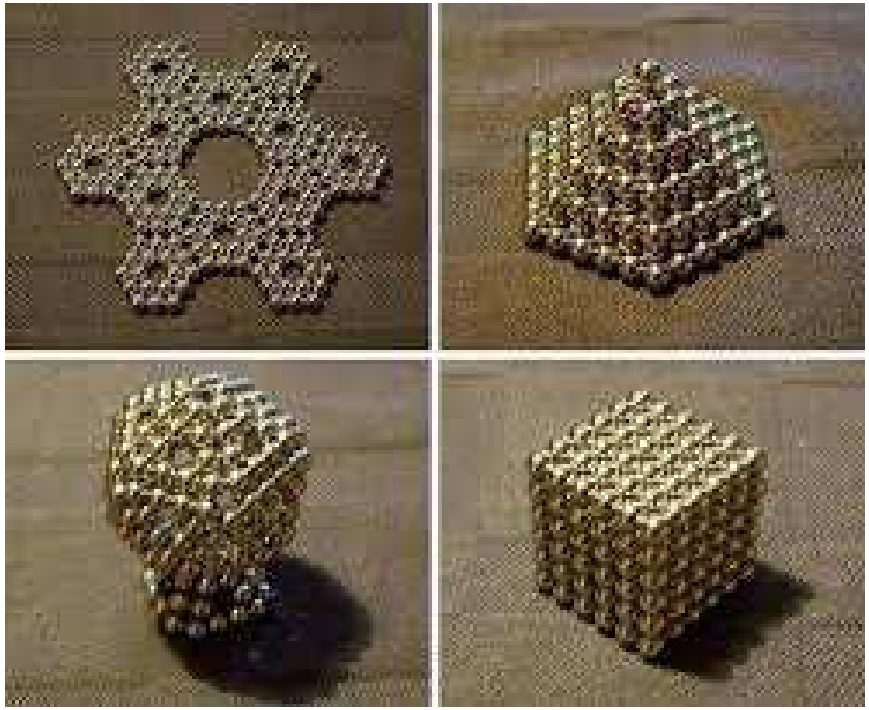
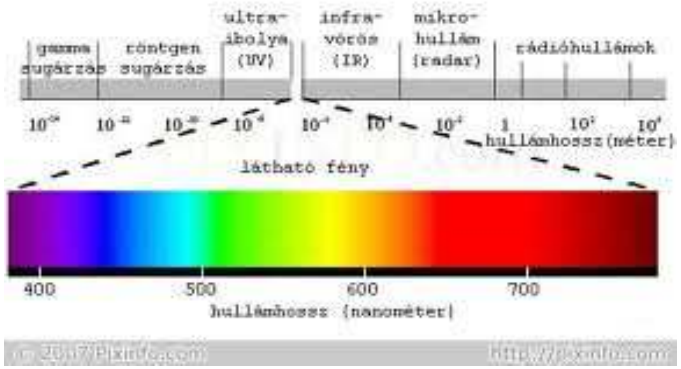


Fizika 112

18. Előadás



A geometriai optika elvei I.

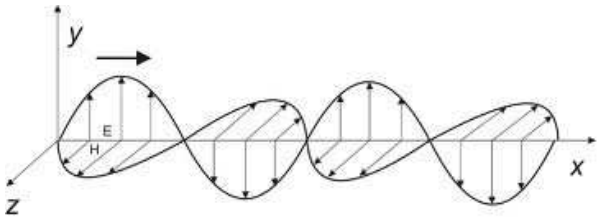


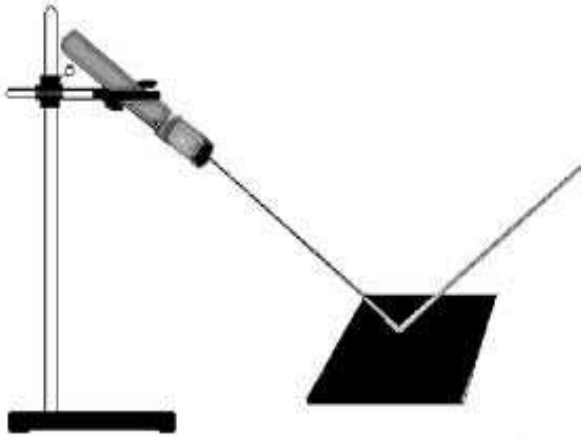
A látható tartomány (EMH): 400 nm < λ < 750 nm

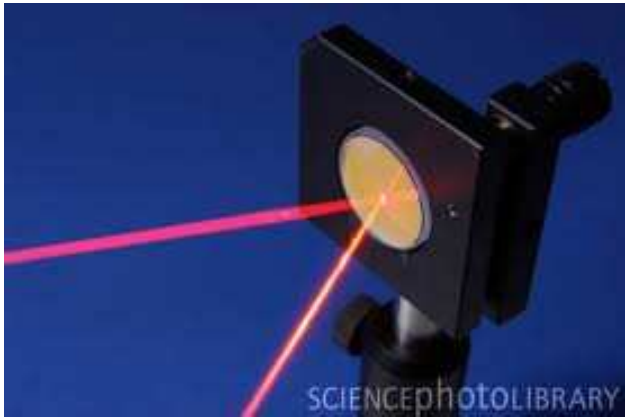
Láttuk, hogy a síkhullám egy olyan transzverzális hullám, amelyben az elektromos és mágneses térerősség-komponensek merőlegesek egymásra és a hullámnak a Poynting-vektor által meghatározott terjedési irányára.

A síkhullám szabad térben (vákuumban vagy levegőben, akadálymentes tartományban) egyenes vonalban terjed c fénysebességgel.

Fémes vezető sík felületéről úgy verődik vissza, hogy a beesési és a visszaverődési szög megegyezik.





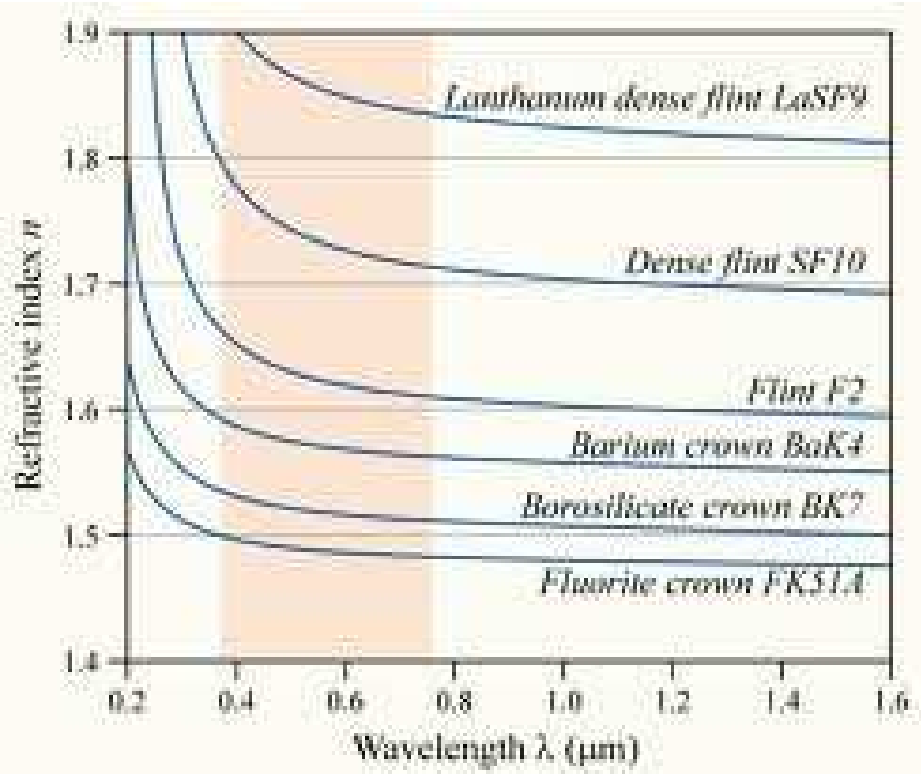


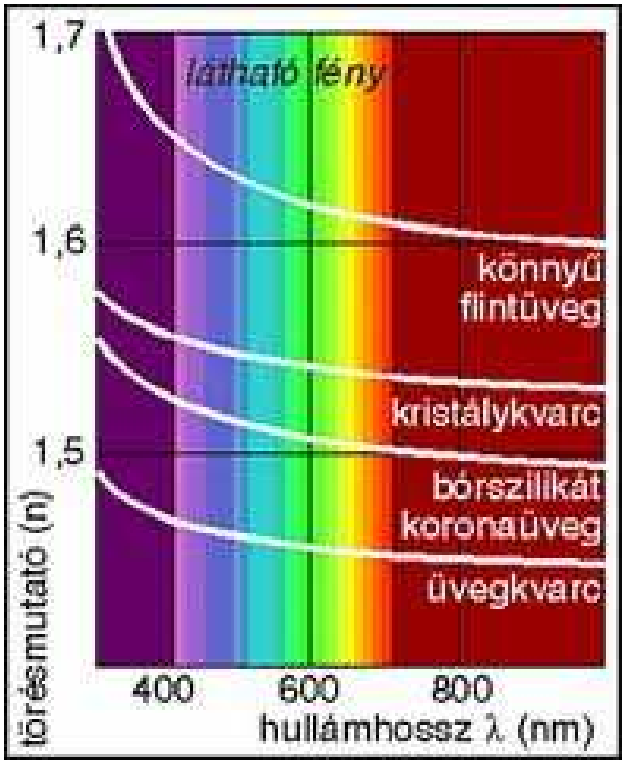
A geometriai optika elvei II.

Dielektrikumokban: $v < c$

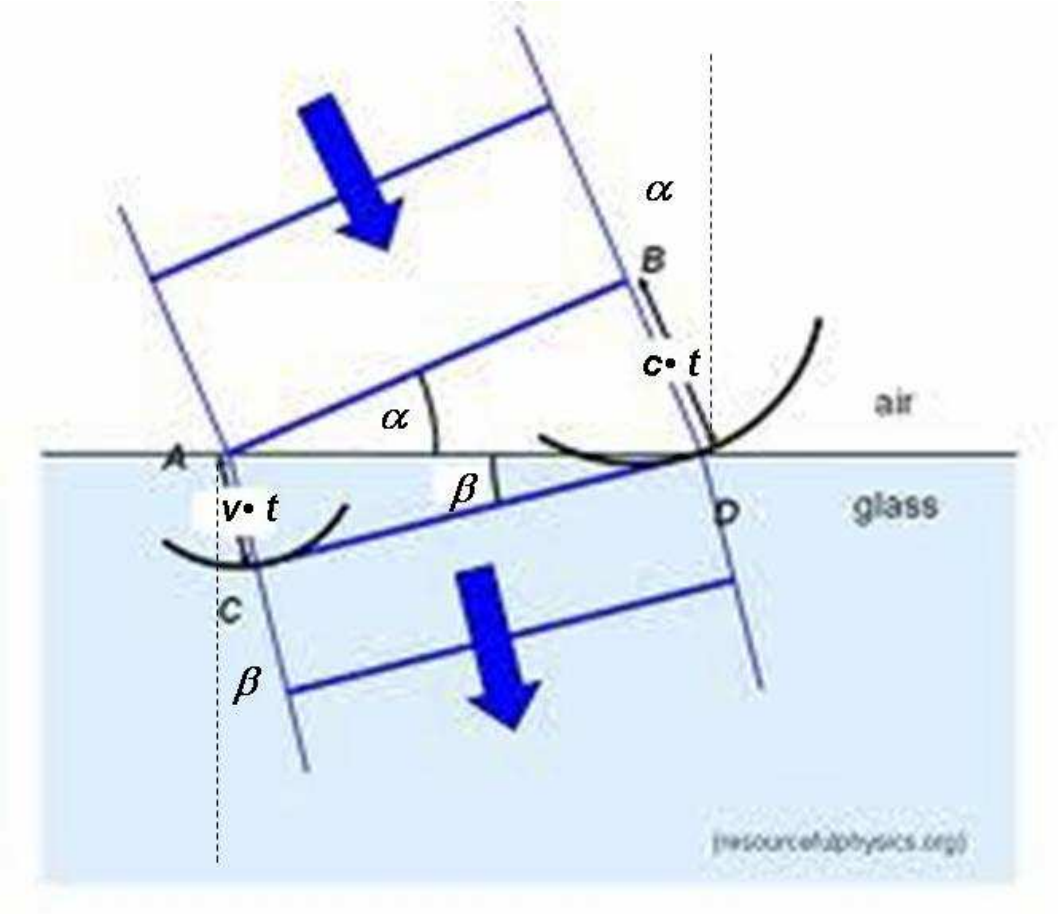
a fény frekvenciája nem változik:

Törésmutató: $n = \frac{c}{v}$ $\Rightarrow$ $\lambda' = vT = \frac{c}{n}T = \frac{\lambda}{n}$





A geometriai optika elvei III.
Fénytörés



$$vt = AD\sin\beta$$

$$ct = AD\sin\alpha$$

$$\boxed{c = nv}$$

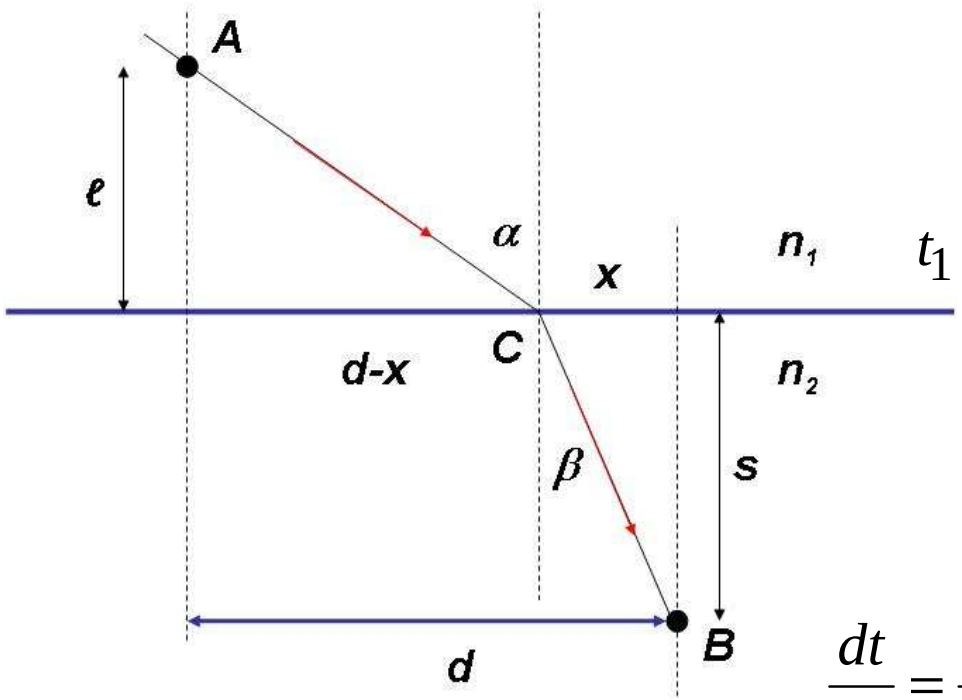
Schnellius-Descartes törvény:

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$$

Általános alakja:

$$n_1 \sin\alpha_1 = n_2 \sin\alpha_2$$

A geometriai optika elvei IV. Fénytörés



$$t_1 = \frac{AC}{v_1} \qquad t_2 = \frac{CB}{v_2}$$

$$t_1 = \frac{\sqrt{\ell^2 + (d-x)^2}}{v_1} \qquad t_2 = \frac{\sqrt{s^2 + x^2}}{v_2}$$

$$t = \frac{\sqrt{\ell^2 + (d-x)^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{s^2 + x^2}}{v_2}$$

$$\frac{dt}{dx} = \frac{x-d}{v_1\sqrt{\ell^2 + (d-x)^2}} + \frac{x}{v_2\sqrt{s^2 + x^2}} = 0$$

$$\sin\alpha = \frac{x-d}{\sqrt{\ell^2 + (d-x)^2}}$$

$$\sin\beta = \frac{x}{\sqrt{s^2 + x^2}}$$

$$\frac{\sin\alpha}{v_1} = \frac{\sin\beta}{v_2}$$

$$v = \frac{c}{n}$$

$$n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta$$

A geometriai optika elvei V.
Fénytörés

”A fény olyan pályán terjed az egyik pontból a másikba, amelyre az jellemző, hogy a hullámterjedéshez szükséges időtartam a legrövidebb.”

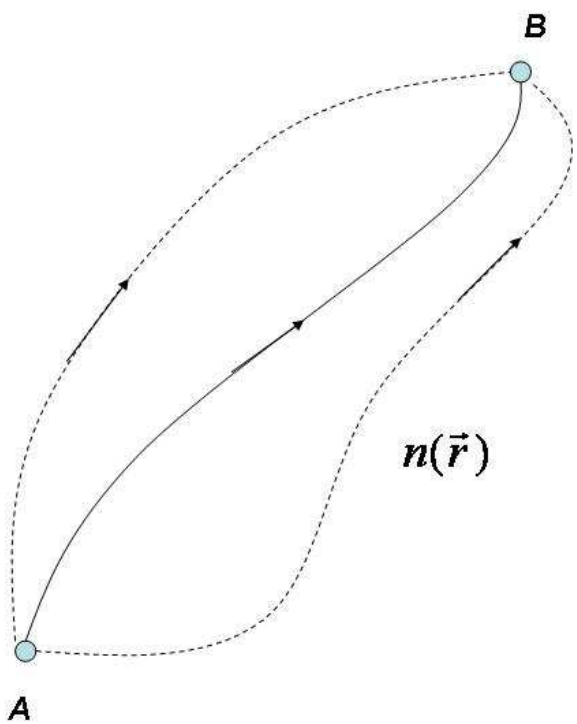
Ha: $n = n(\vec{r})$

$$\int_A^B dt = \int_A^B \frac{ds}{v} = \int_A^B \frac{n(\vec{r})}{c} ds = \min.$$

$$c = const.$$

Fermat-elv:

$$\boxed{\int_A^B n(\vec{r}) ds = \min.}$$



A geometriai optika elvei VI.

A geometriai optika törvényei fénysugarakra és azok terjedésére vonatkoznak.
Az elektromágneses hullámokról tanultak a $\lambda \rightarrow 0$ határátmenetben visszaadják a geometriai optika szabályait.

1. A fény(sugár) egyenes vonalban terjed.

2. Különböző közegek határfelületein a fénysugár egy része reflektálódik, más része fénytörést szenvedve behatol a másik közegbe.

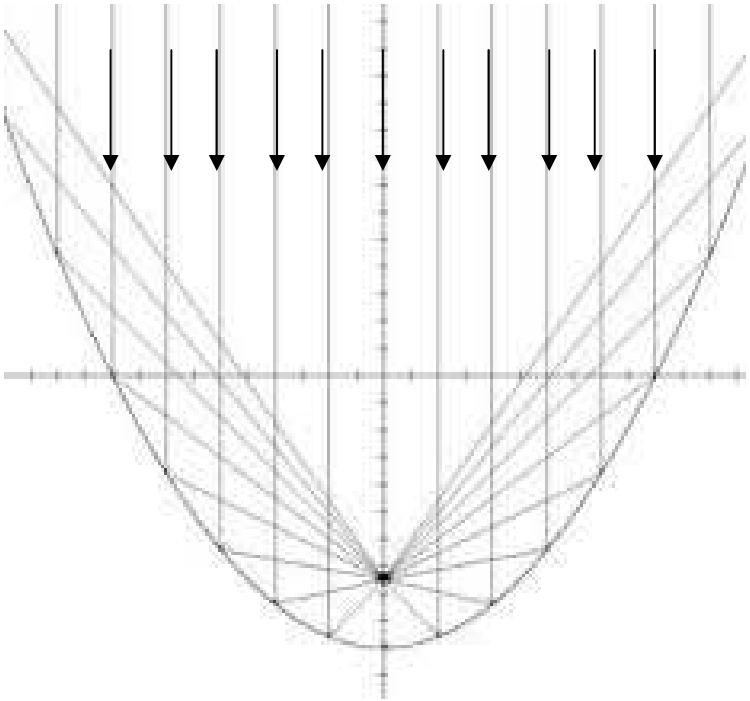
3. A szuperpozíció elvéből következően két vagy több fénynyaláb áthaladhat a tér egy pontján (tartományán) anélkül, hogy zavarnák egymást.

4. Amennyiben a fénysugár az egyik pontból a másikba egy meghatározott pályán halad, akkor visszafelé a második pontból az eredetibe ugyanazon az úton terjed a fény. (Fénysugarak megfordíthatóságának elve.)

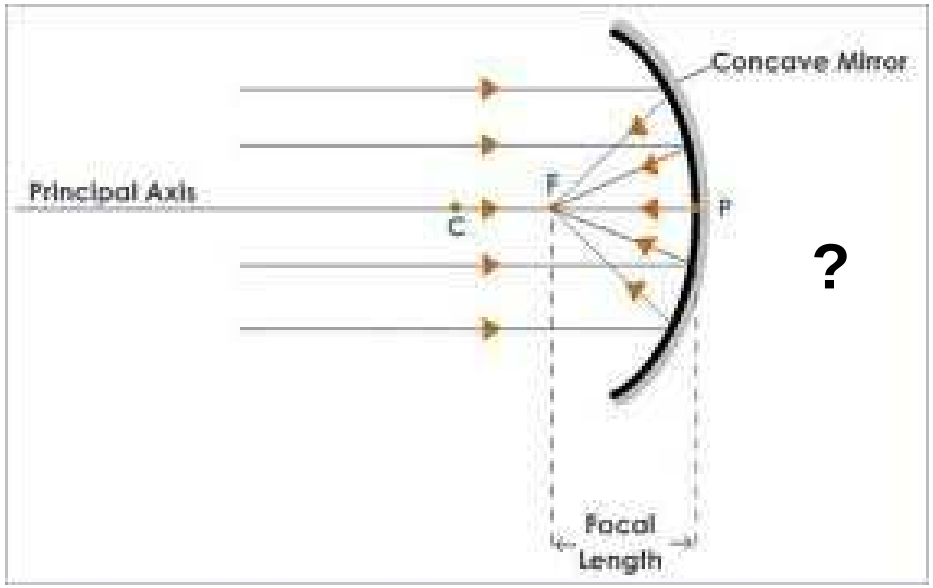
+ Fermat-elv

Képalkotás gömbtükörrel I.

Tökéletes fókuszálás: parabola tükörrel

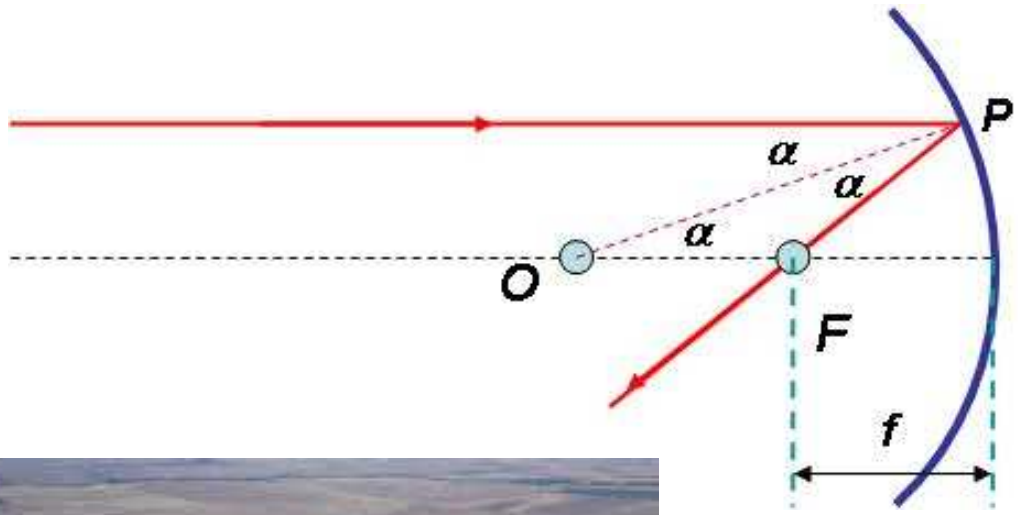


Fókuszálás humorú gömbtükörrel:



?

Képalkotás gömbtükörrel II.



OP = R (sugár)

$$2OF\cos\alpha = R$$

Kis szögek: $\alpha \ll 1$ ***rad***

$$\cos\alpha \approx 1$$

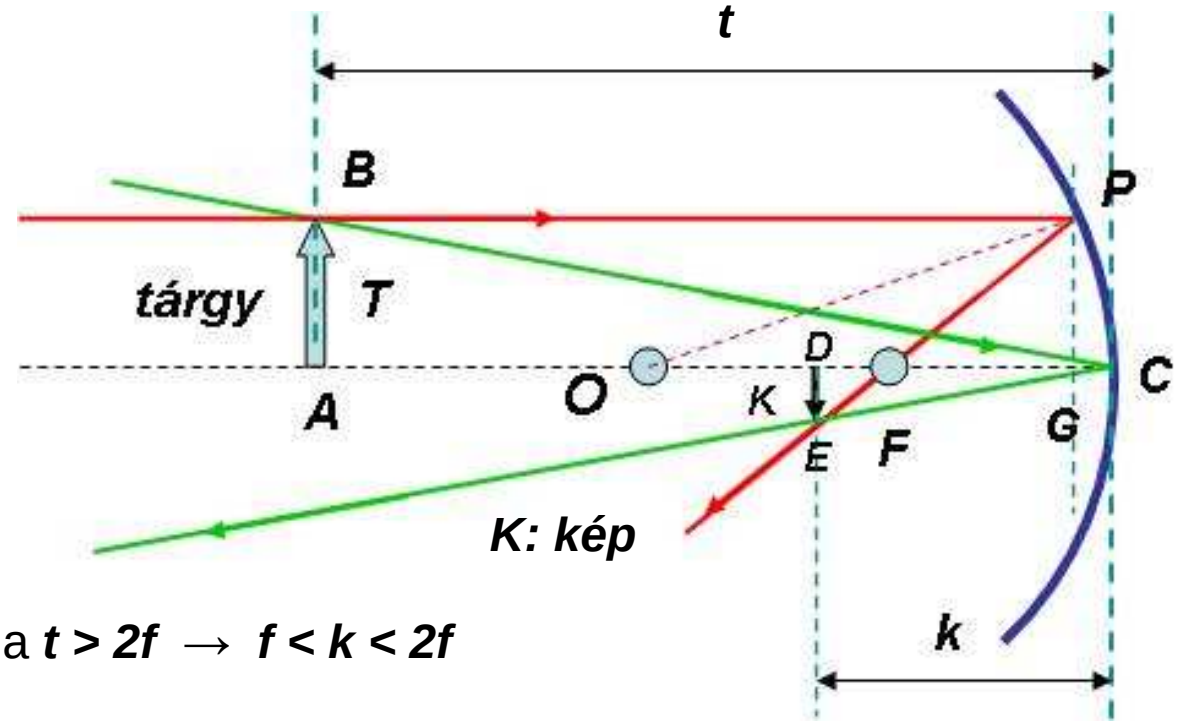
$$\Downarrow$$

$$f \approx \frac{R}{2}$$

Fókuszálás $\Rightarrow$ ***leképezés ???***

Képalkotás gömbtükörrel III.

Homorú tükör



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

$$\frac{K}{T} = \frac{k-f}{f}$$

ha ***t > 2f*** → ***f < k < 2f***

ha ***f < t < 2f*** → ***k > 2f***

ha ***t = 2f*** → ***k = 2f***

Az 1/f szabály:

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

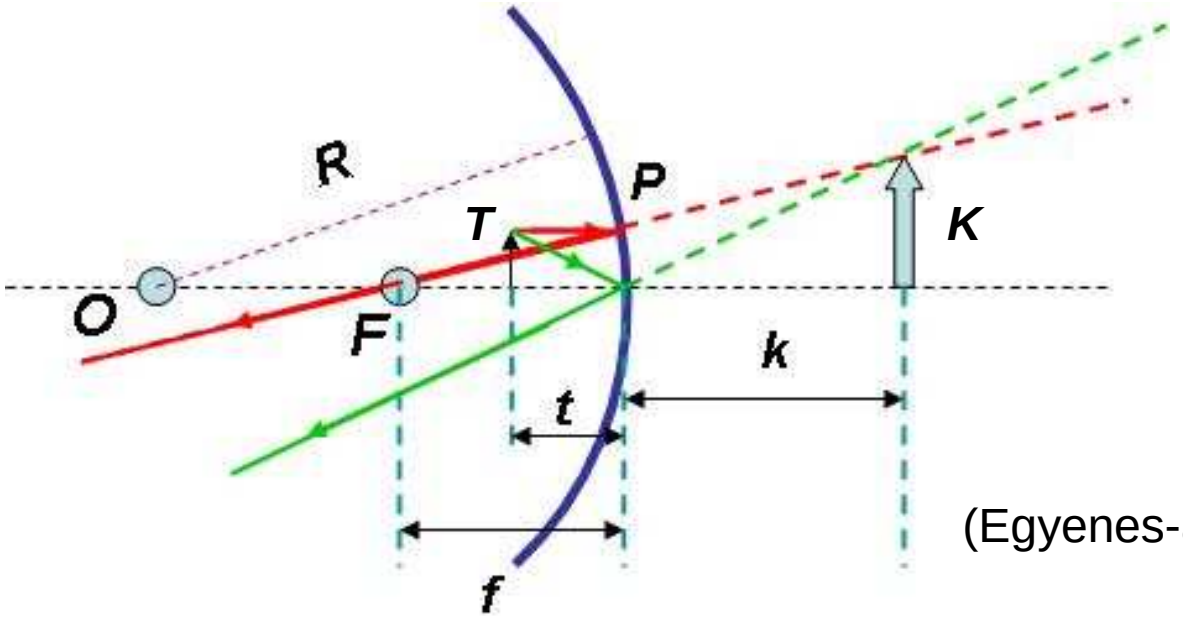
Nagyítás:

$$N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t} \longrightarrow N = \frac{f}{t-f}$$

(Fordított-állású, valódi kép.)

Képalkotás gömbtükörrel IV. *Homorú tükör*

Borotválkozó tükör



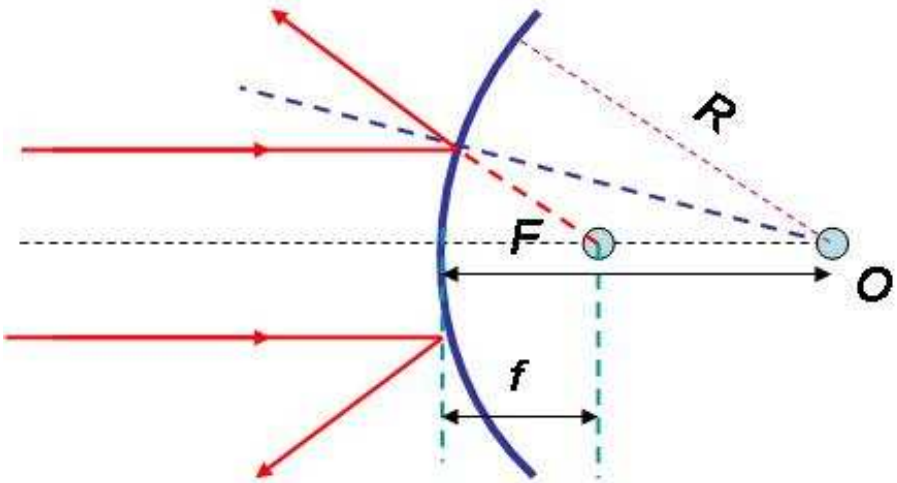
t < f

$$\frac{1}{t} - \frac{1}{k} = \frac{1}{f}$$

(Egyenes-állású, nagyított, virtuális kép.)

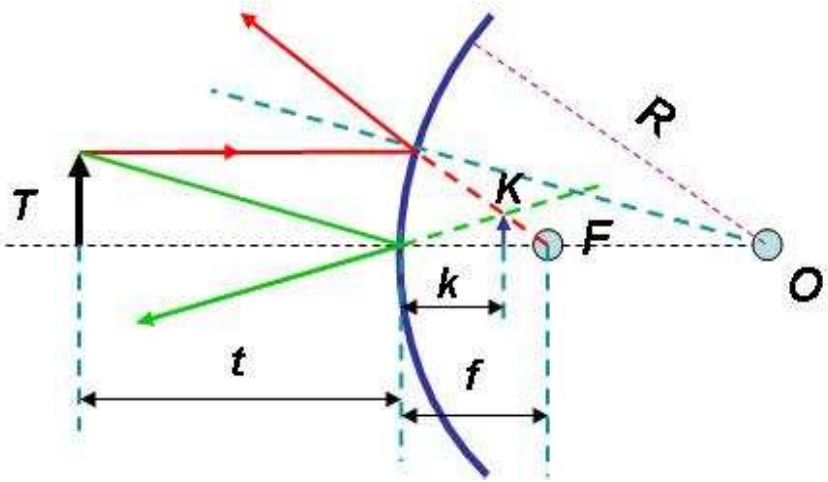
$$N = \frac{f}{f - t}$$

Képalkotás gömbtükörrel V.
domburú tükör



Kis szögek → az ***f*** ≈ ***R/2***

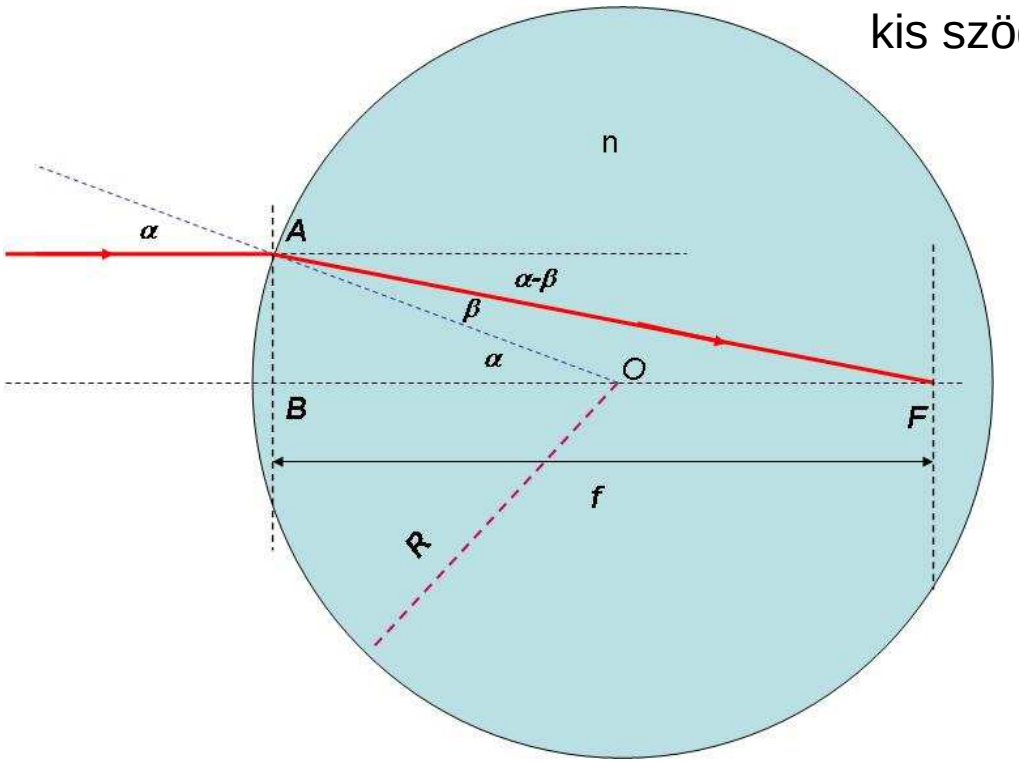
$$\frac{1}{t} - \frac{1}{k} = -\frac{1}{f}$$



(Egyenes-állású, kicsinyített, virtuális kép. Nagy látószög!!)

Képalkotás lencsével I.

Vékony lencse



kis szögek: $\alpha \approx tg\alpha \approx \sin\alpha$ és $\beta \approx tg\beta \approx \sin\beta$

$$f = ?$$

$$\frac{AB}{f} = tg(\alpha - \beta) \approx \alpha - \beta$$

$$AB = R\sin\alpha \approx R\alpha$$

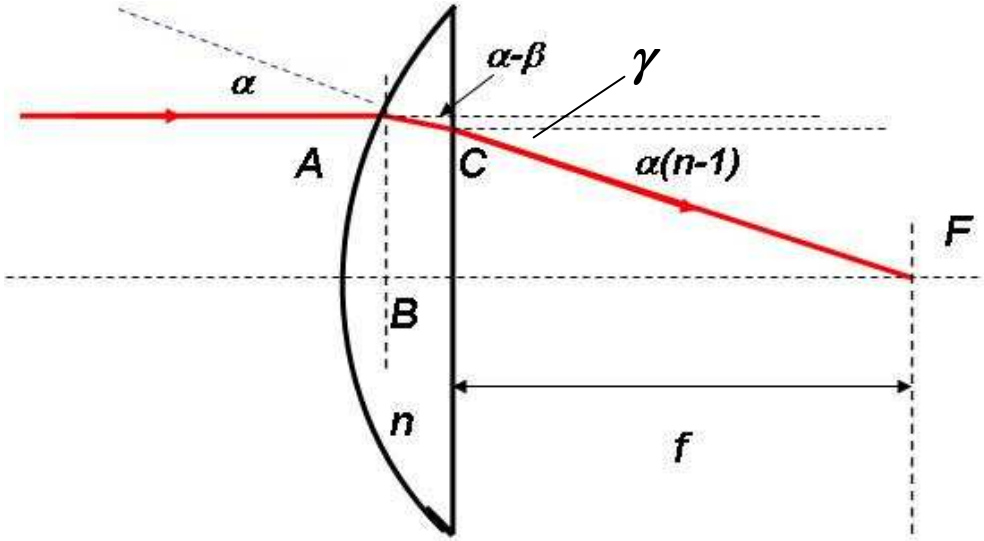
$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n \approx \frac{\alpha}{\beta}$$

$$f = \frac{Rn}{n-1}$$

Darwin-i evolúció: szem

Képalkotás lencsével II.

Vékony lencse



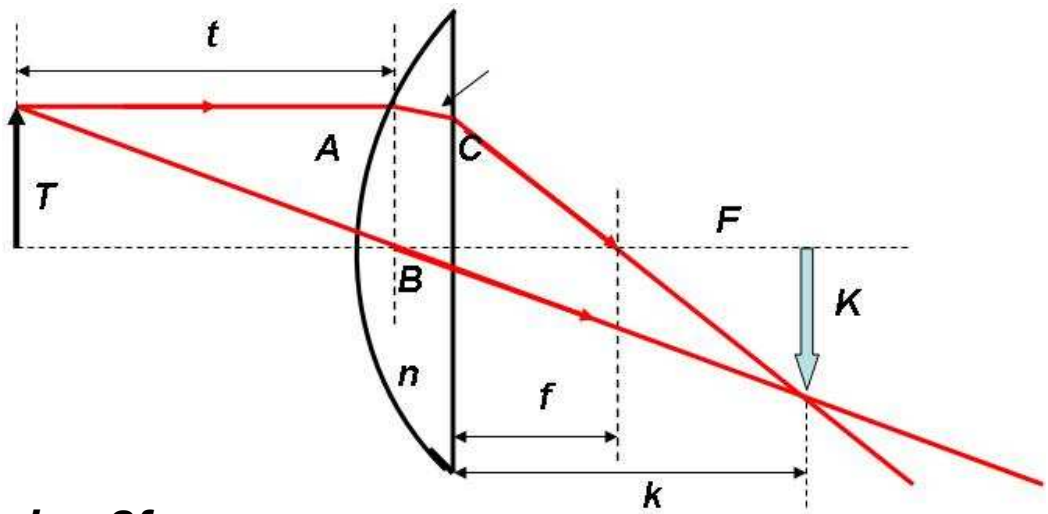
$$\frac{\sin\gamma}{\sin(\alpha-\beta)} \approx \frac{\gamma}{\alpha-\beta} \approx n \quad \Rightarrow \quad \gamma \approx n(\alpha-\beta) \approx n\left(\alpha - \frac{\alpha}{n}\right) \approx \alpha(n-1)$$

$$f \approx \frac{AB}{\alpha(n-1)} \approx \frac{R\alpha}{\alpha(n-1)} \approx \frac{R}{n-1}$$

Dioptria: $D = \frac{1}{f} = (n-1)\frac{1}{R}$

Képalkotás lencsével III.

Vékony lencse



ha ***t > 2f*** → ***f < k < 2f***

ha ***f < t < 2f*** → ***k > 2f***

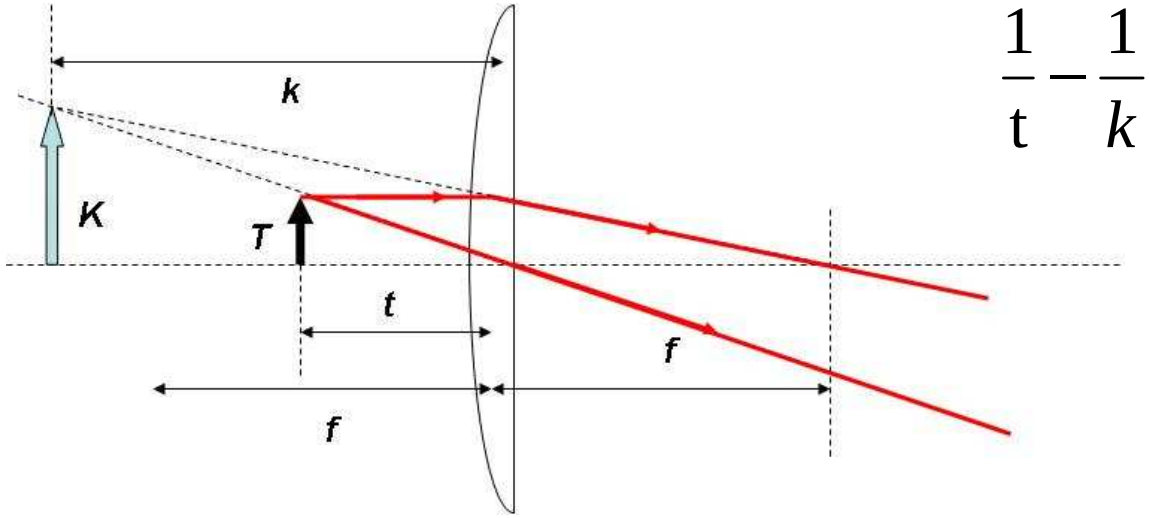
ha ***t = 2f*** → ***k = 2f***

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

Képalkotás lencsével IV.

Vékony lencse

A nagyító (lupe)



$$\frac{1}{t} - \frac{1}{k} = \frac{1}{f}$$

$$N = \frac{f}{f - t}$$

A lupe nagyítása:

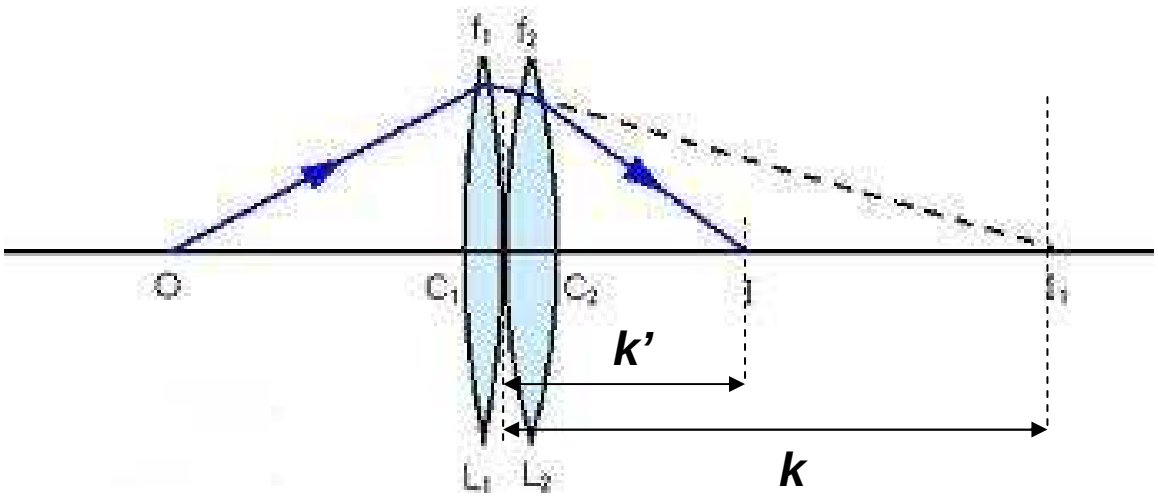
$$N = \frac{f + 0.25}{f}$$

Megállapodás szerint: a tisztánlátás távolsága 0.25 m

Egy gyűjtőlencse nagyítása jellemzően 2 és 8 közötti érték.

Képalkotás lencsével V.

Két lencse



$$\frac{1}{t}+\frac{1}{k}=\frac{1}{f_1} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{k}=\frac{1}{f_1}-\frac{1}{t}$$

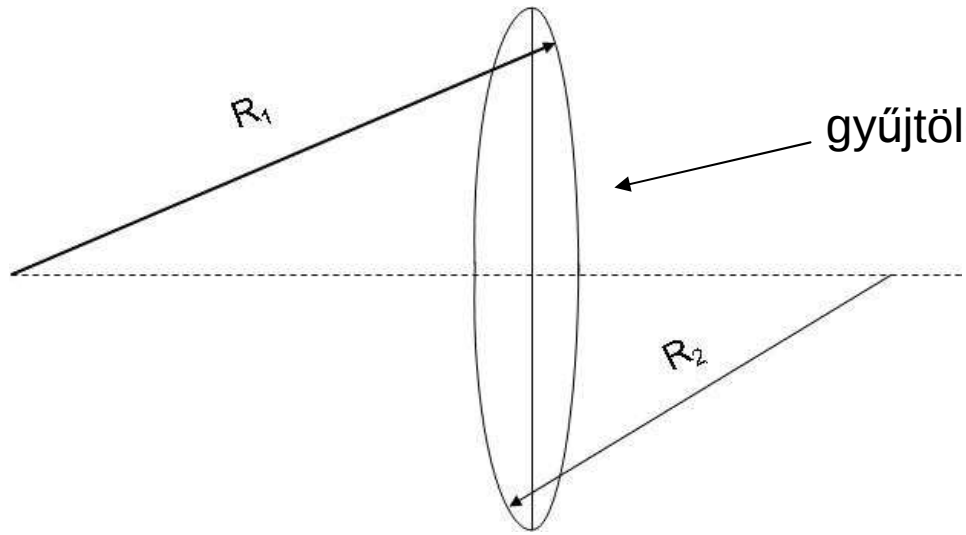
A második lencsénél ennek a képtávolságnak a (-1)-szerese lesz a tárgytávolság.

Dioptriák összeadásának szabálya:

$$\frac{1}{t}-\frac{1}{f_1}+\frac{1}{k'}=\frac{1}{f_2} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{t}+\frac{1}{k'}=\frac{1}{f_1}+\frac{1}{f_2}=D_1+D_2=D_e$$

$$f=\frac{1}{D_e} \quad \Rightarrow \quad f=\frac{f_1 f_2}{f_1+f_2}$$

Képalkotás lencsével VI.

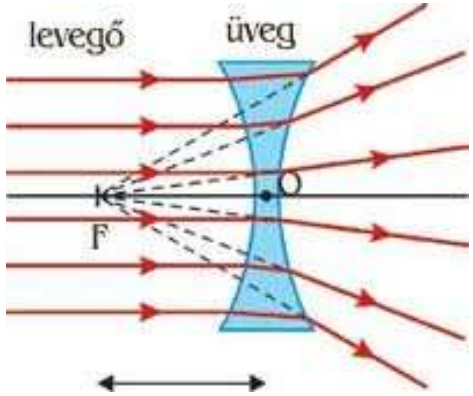


gyűjtölencse (nagyító)

szórólencse

$$\frac{1}{f_1} = (n-1)\frac{1}{R_1} \quad \text{és} \quad \frac{1}{f_2} = (n-1)\frac{1}{R_2}$$

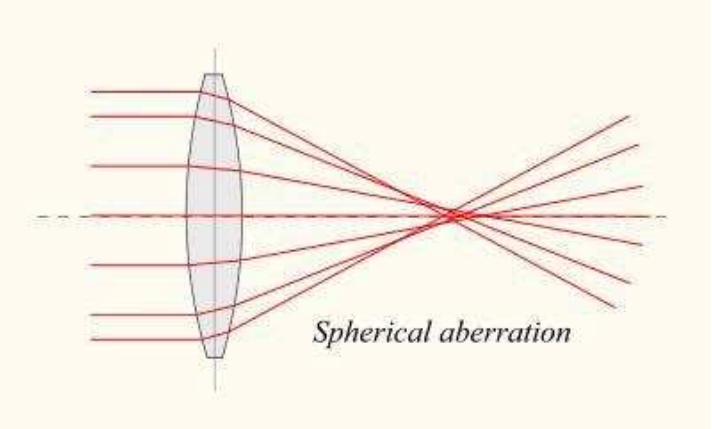
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} = (n-1)\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$



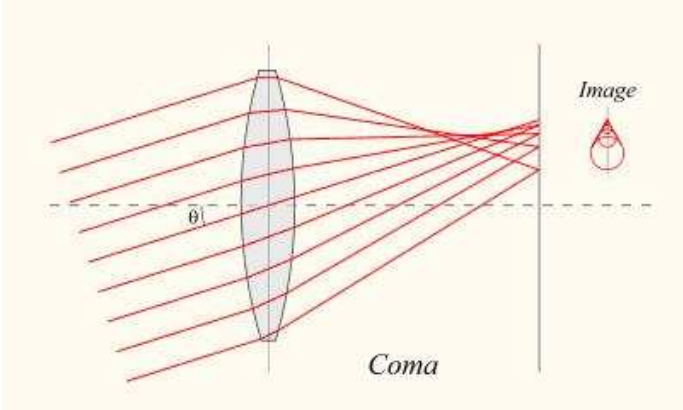
$$f < 0$$

Képalkotás lencsével VII. *Lencsehibák*

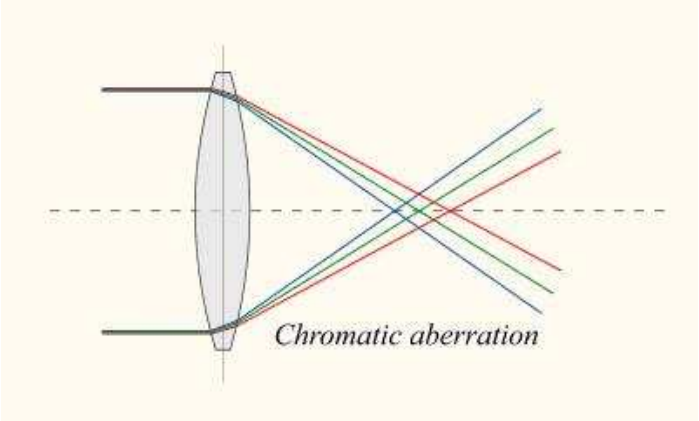
Szférikus aberráció:

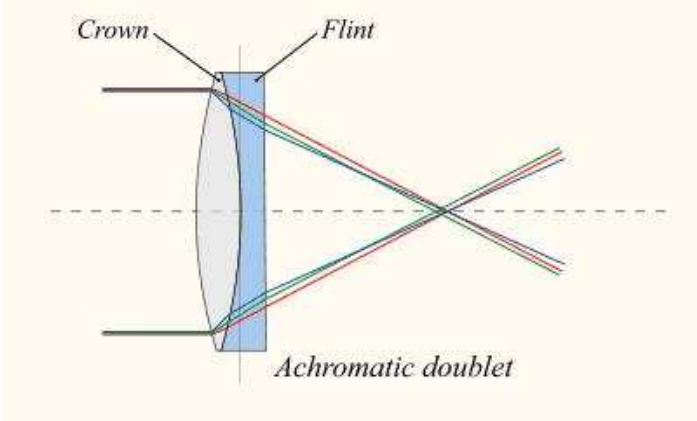


Kóma (vagy üstököshiba)



Kromatikus aberráció:



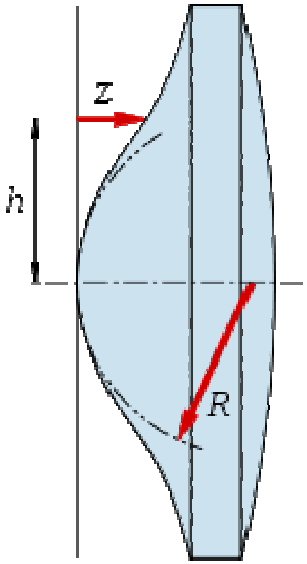


Képalkotás lencsével VIII.

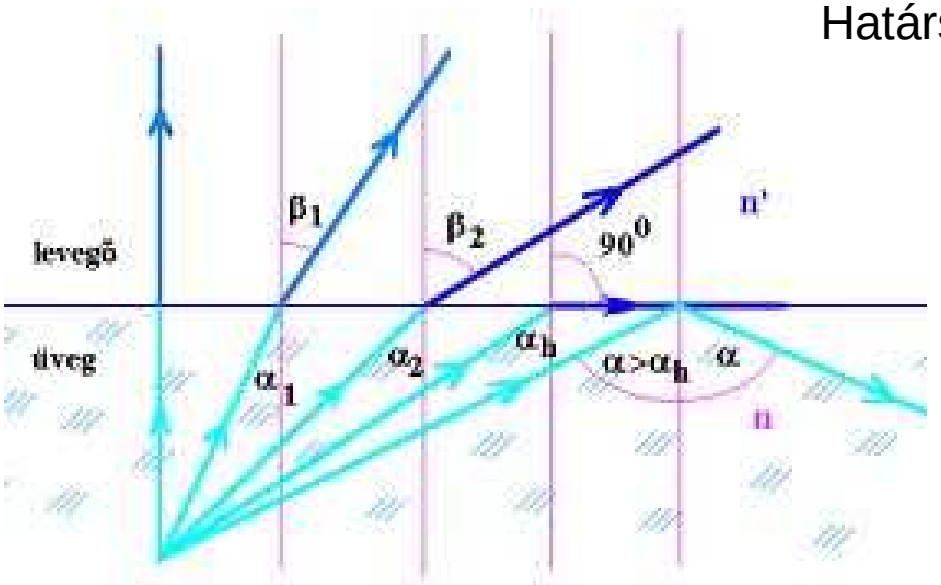
Lencsehibák korrigálása

Lencserendszer alkalmazása
(egymás hibáit ”kiejtik”)

Asphérikus lencsével

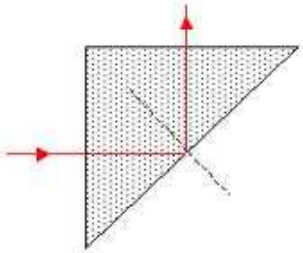


A teljes visszaverődés (totálreflexió)

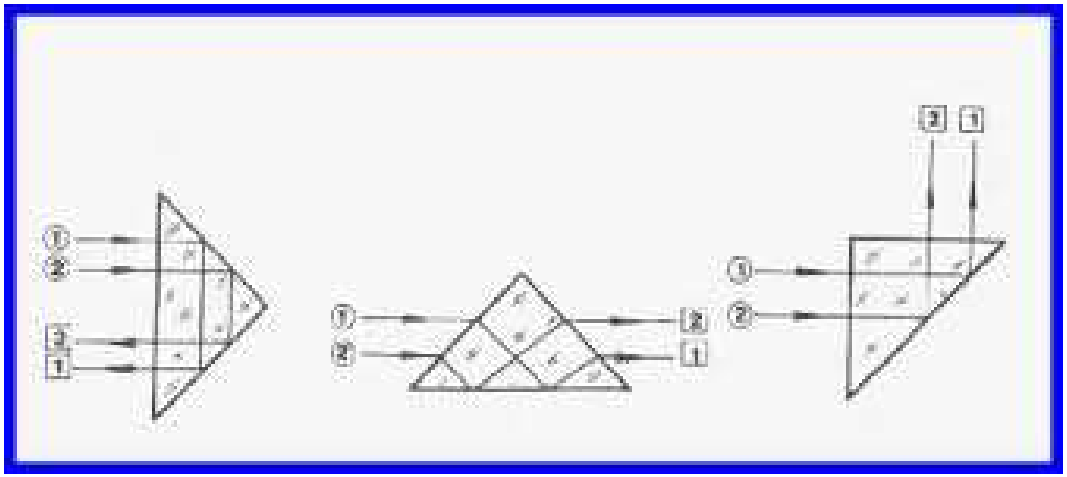


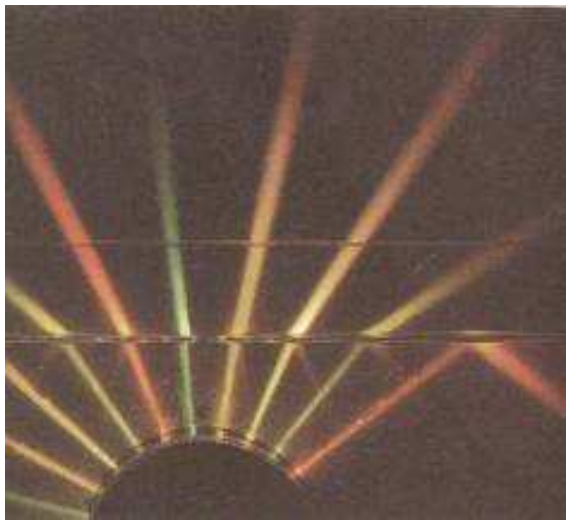
Határszög: α_h

$$\frac{\sin 90^{\circ}}{\sin \alpha_{\mathrm{h}}} = n$$



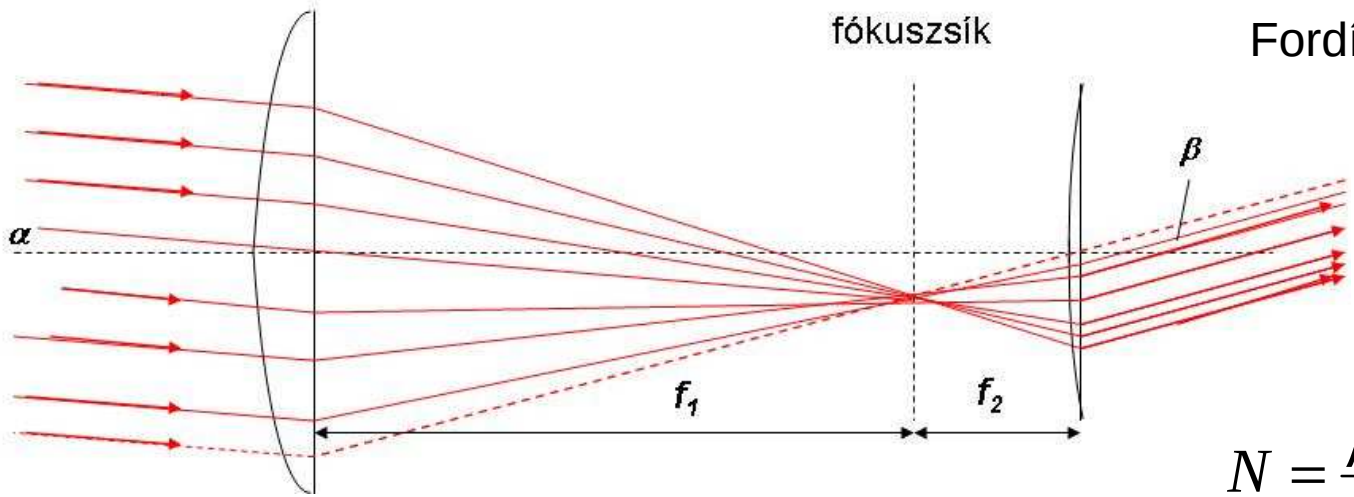
Totálreflexió: $\alpha \geq \alpha_h$





A távcső I.

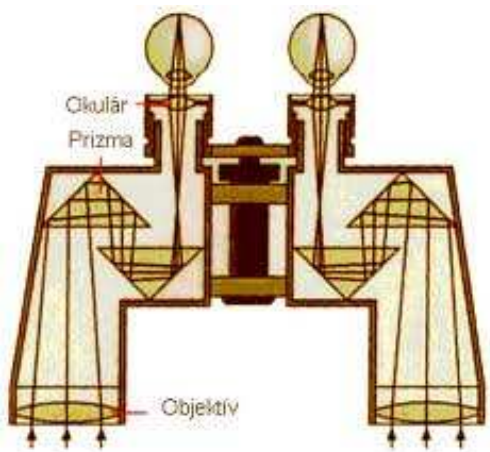
Kepler-rendszerű távcső:



Fordított állású kép:

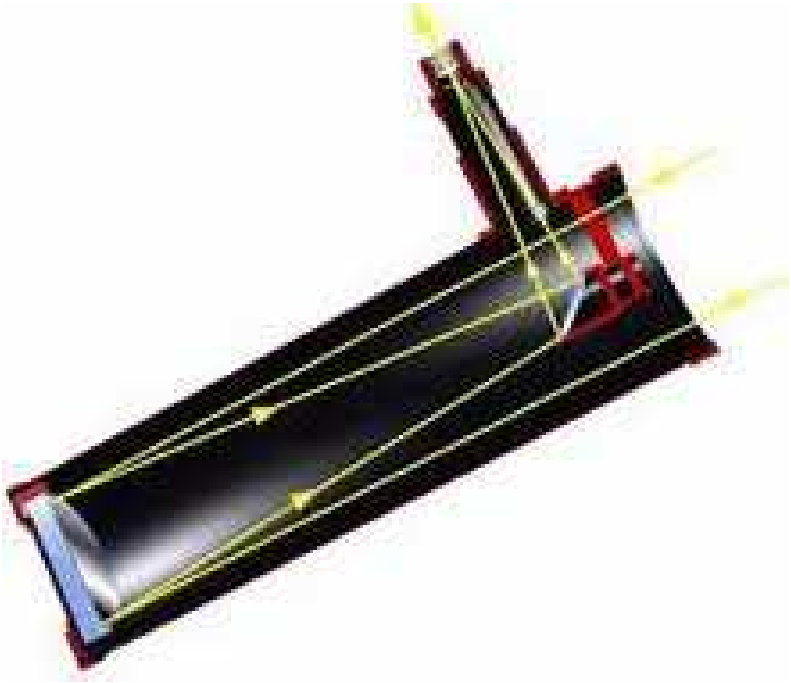
$$N = \frac{\beta}{\alpha} \approx \frac{tg\beta}{tg\alpha} = \frac{f_1}{f_2}$$

Egyenes állású kép:



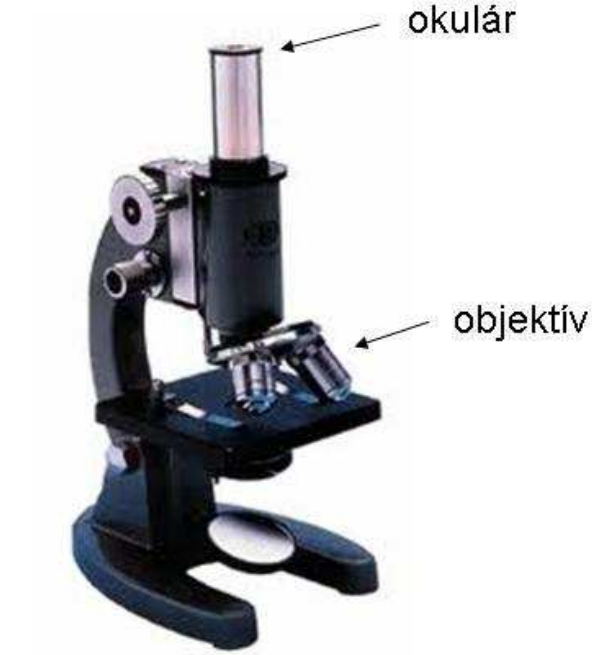
A távcső II.

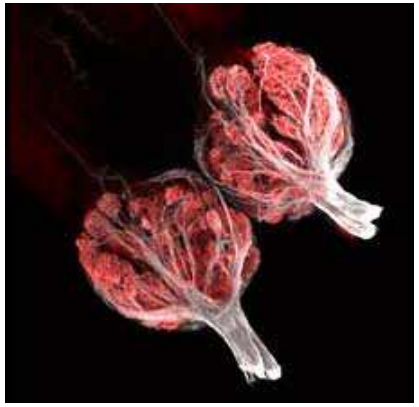
Newton-rendszerű távcső:

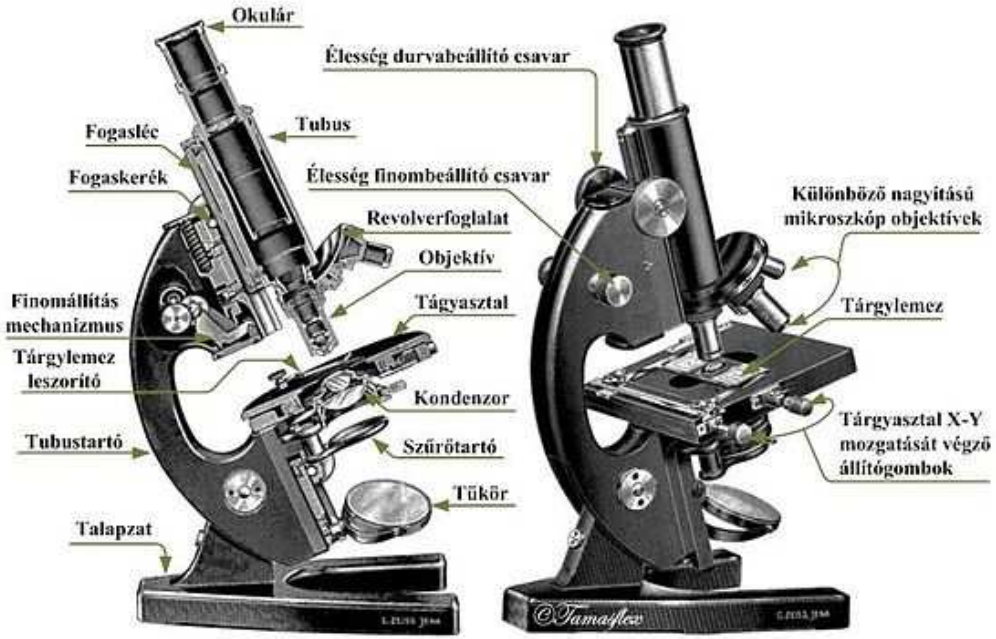


A mikroszkóp I.

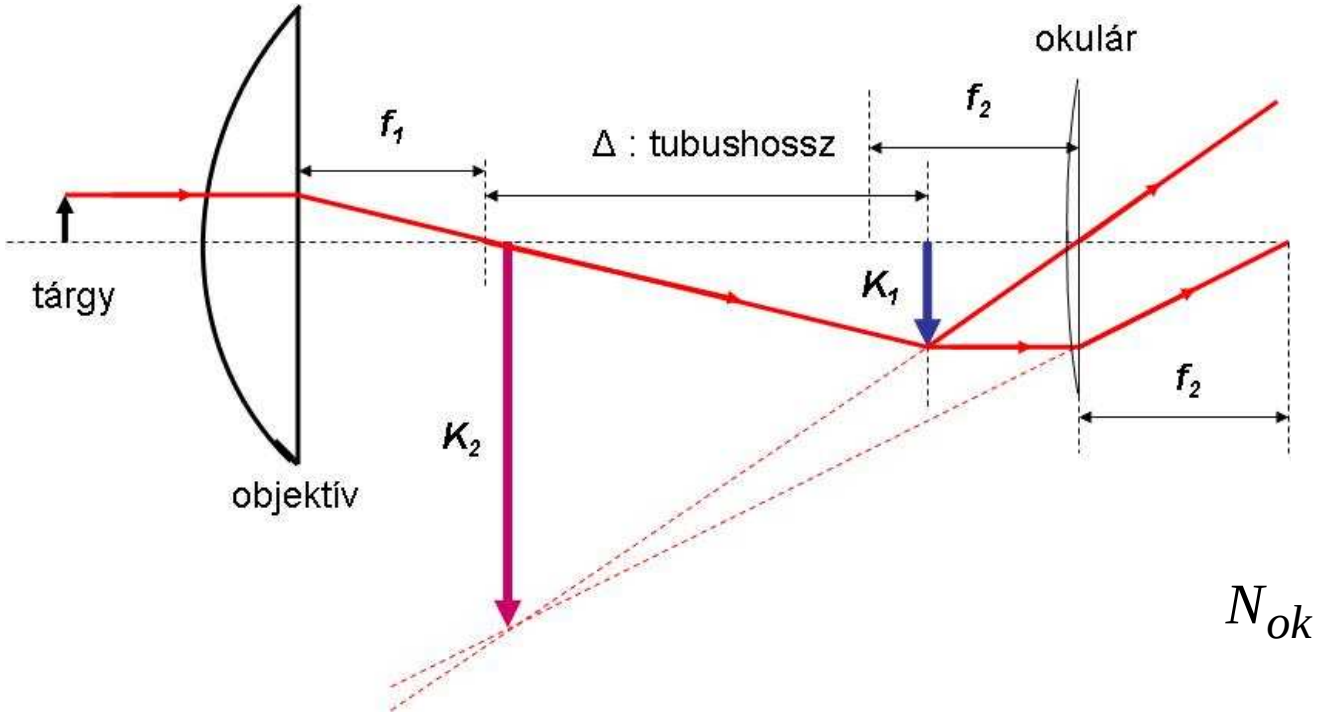
Két lencse: objektív, okulár







A mikroszkóp II.



$$N_{obj.} = \frac{\Delta}{f_1}$$

$$f_2 << 0.25\text{m}$$

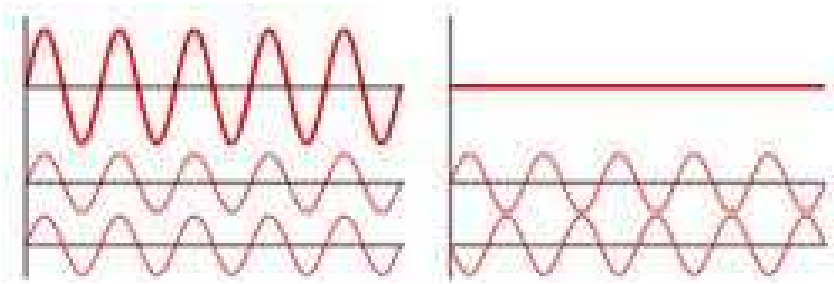
$$N_{ok.} = \frac{f_2 + 0.25}{f_2} \approx \frac{0.25}{f_2}$$

$$N = N_{obj.} N_{ok.} = \frac{0.25\Delta}{f_1 f_2}$$

Egy optikai mikroszkóp nagyítása jellemzően 50 és 3000 közötti érték.

Interferencia I.

EMH $\Rightarrow$ szuperpozíció



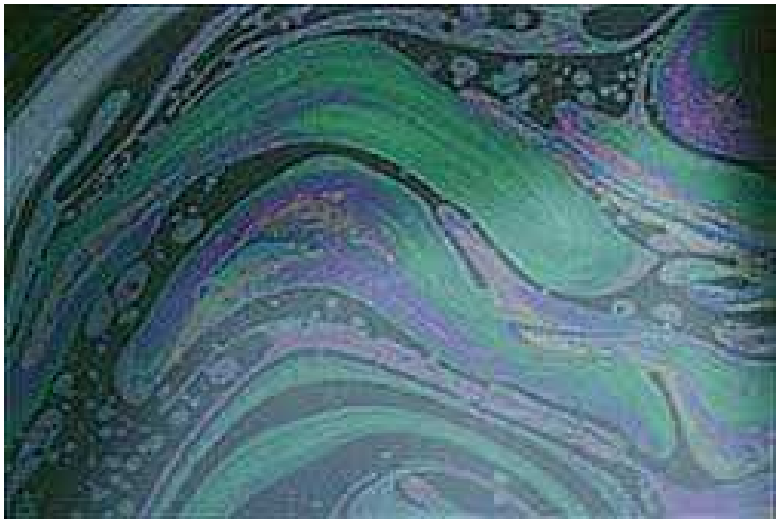
Konstruktív interferencia

$\Delta\varphi = n(2\pi)$

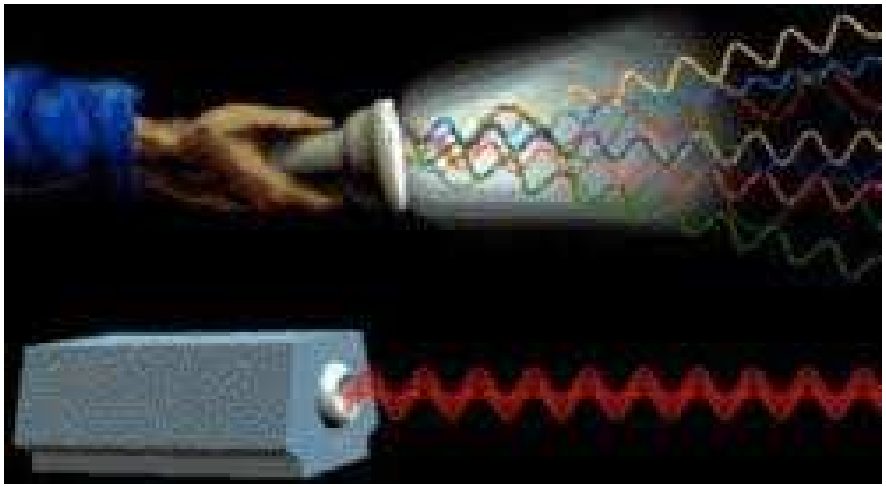
Destruktív interferencia

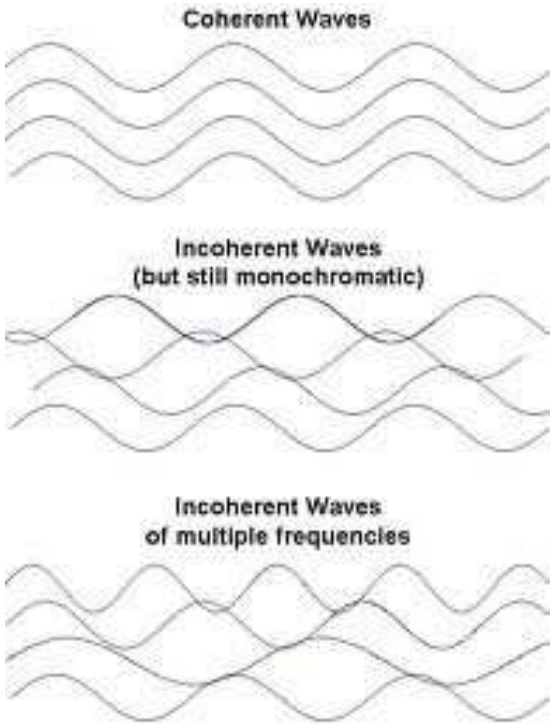
$\Delta\varphi = (2n+1)\pi$

Interferencia II.



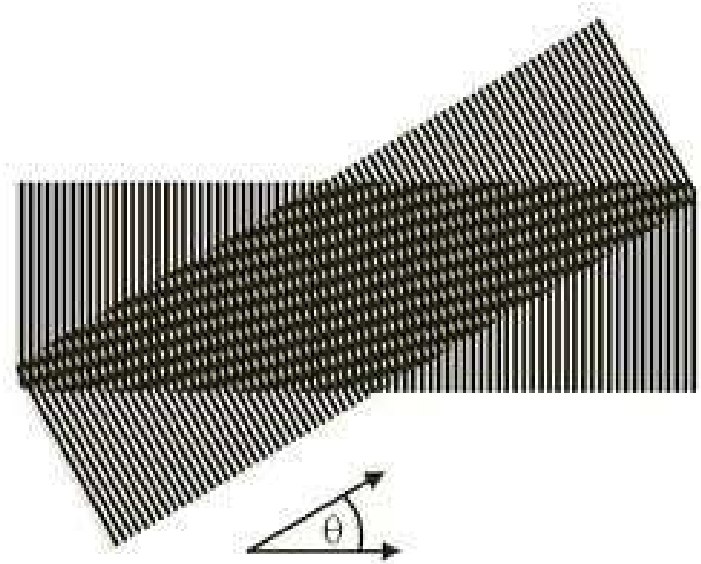
Látható interferencia feltétele: koherens hullámok



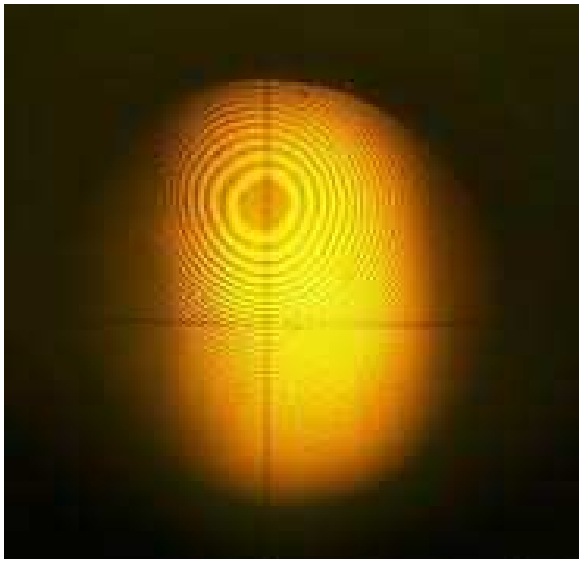


Interferencia III.

Síkhullámok interferenciája:

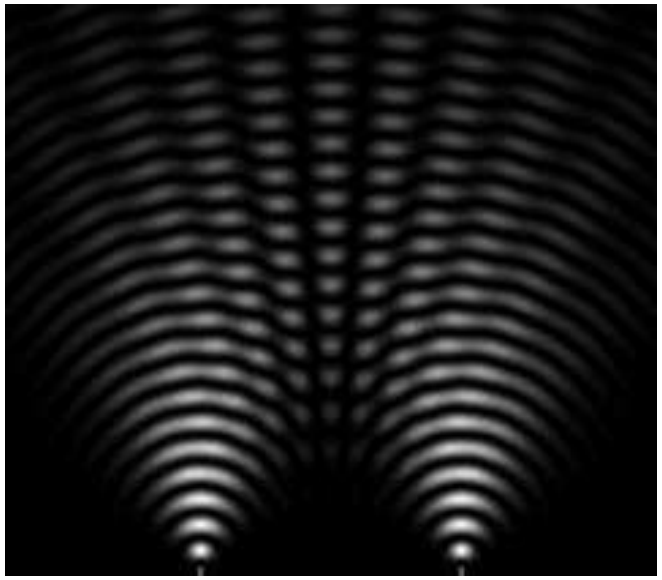


Gömbgullámok interferenciája:



(közös tengelyre merőleges ernyőn)

(demonstráció hanghullámokkal)



Interferencia IV.

Tanultuk (EMH elmélete):

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos(\Delta\varphi)$$

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\cos\left(\vec{k}_2\vec{r}_2 - \vec{k}_1\vec{r}_1\right)$$

Erősítés van (konstruktív interferencia): $\vec{k}_2\vec{r}_2 - \vec{k}_1\vec{r} = \frac{2\pi}{\lambda}s_1 - \frac{2\pi}{\lambda}s_2 = n\cdot 2\pi$

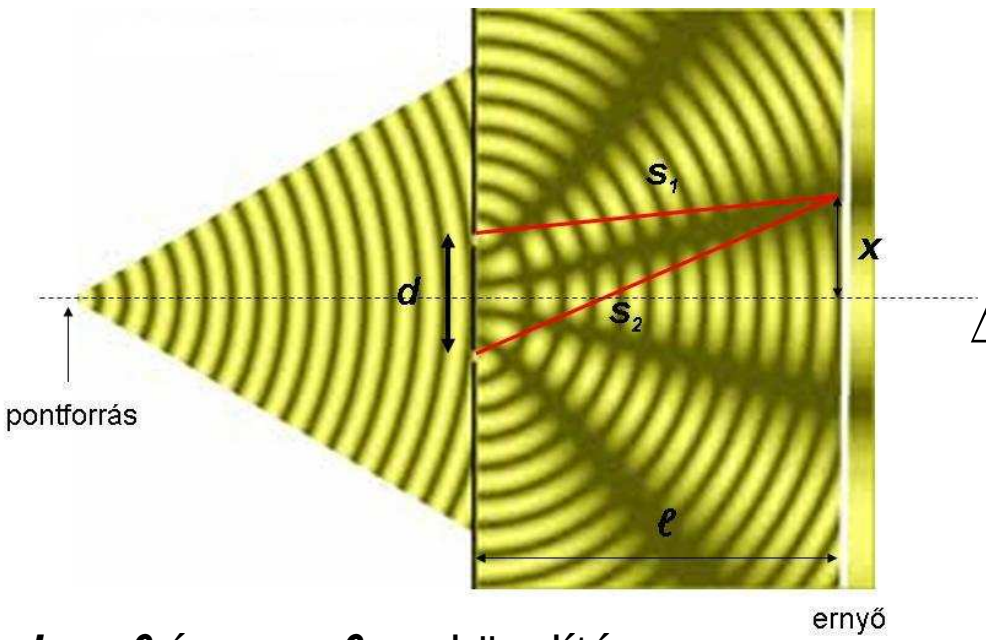
$n = 1,2,3,...$ azaz: $\Delta s = s_2 - s_1 = n\cdot\lambda$

Kioltás van (konstruktív interferencia): $\vec{k}_2\vec{r}_2 - \vec{k}_1\vec{r} = \frac{2\pi}{\lambda}s_1 - \frac{2\pi}{\lambda}s_2 = (2n+1)\frac{\pi}{2}$

azaz: $\Delta s = s_2 - s_1 = (2n+1)\cdot\frac{\lambda}{2}$

Interferencia V.

A Young-féle kétréses interferencia kísérlet:



$$s_1 = \sqrt{\ell^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$$

$$s_2 = \sqrt{\ell^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2}$$

$$\Delta s = \sqrt{\ell^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} - \sqrt{\ell^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$$

Maximális intenzitás → $\boldsymbol{\Delta s = n\lambda}$:

$$n\lambda = \sqrt{\ell^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} - \sqrt{\ell^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$$

d* << *ℓ és ***x* << *ℓ***. → közelítés:

$$s_1 = \sqrt{\ell^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2} \approx \ell\left(1 + \frac{1}{2}\frac{(x - d/2)^2}{\ell^2}\right)$$

$$s_2 = \sqrt{\ell^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} \approx \ell\left(1 + \frac{1}{2}\frac{(x + d/2)^2}{\ell^2}\right)$$

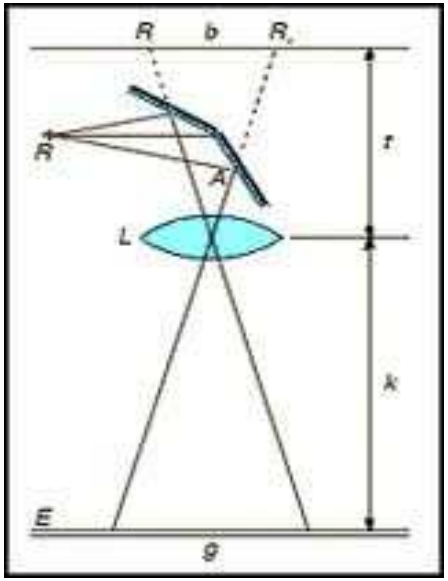
$$\Delta s \approx \frac{xd}{\ell}$$

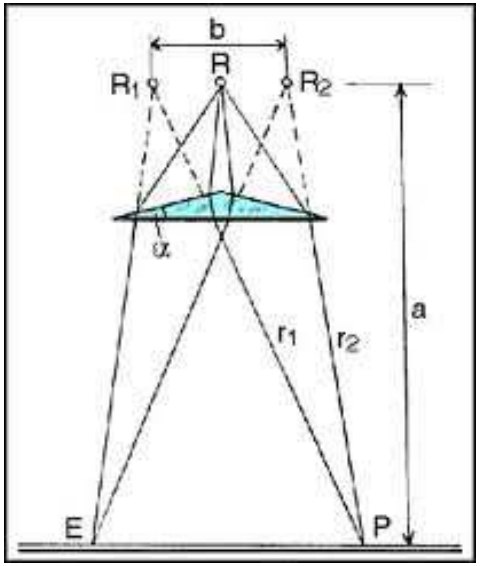
erősítés: $x_{\max.} \approx n\frac{\ell\lambda}{d}$

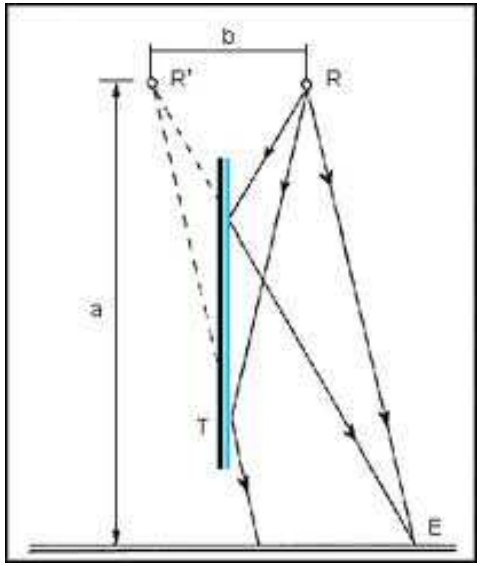
kioltás: $x_{\min.} \approx (2n+1)\frac{\ell\lambda}{2d}$

Interferencia VI.

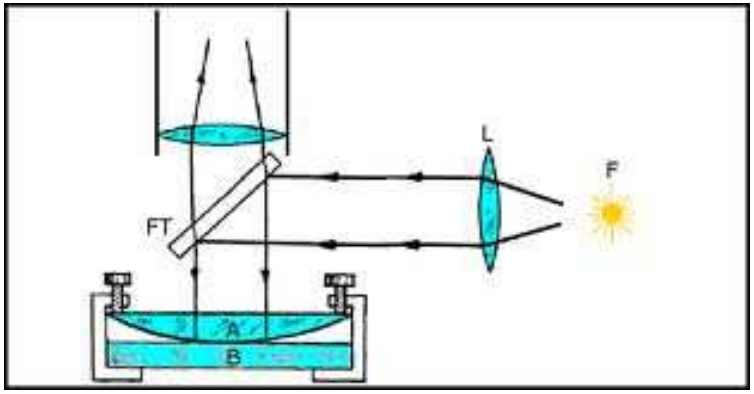
Interferométerek







Egy hullám reflexiónál ***$\Delta\varphi = \pi$ fázistolást szenved, ha ritkább közegből érkezik sűrűbb közeghez; viszont nincs fázisváltozás, amennyiben a sűrűbb közegből érkezik a közeghatárhoz.***

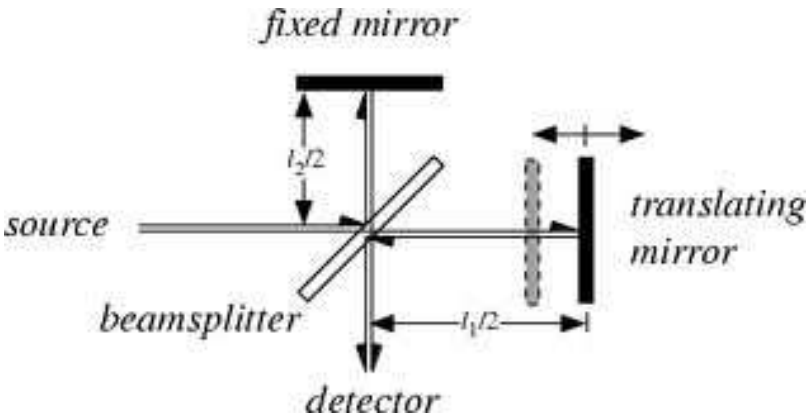


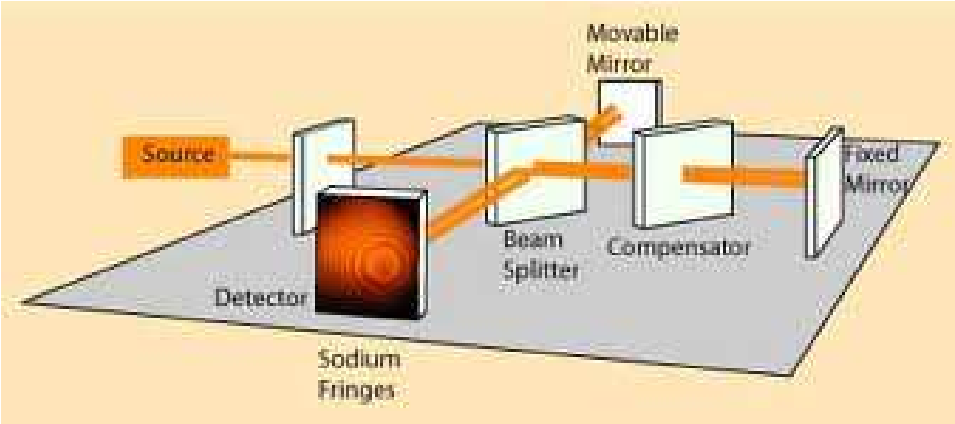
Newton gyűrűk

Interferencia VII.

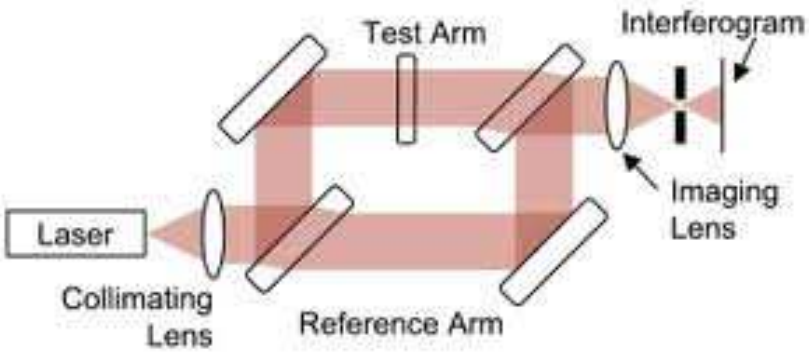
Interferométerek

Michelson interferométer:



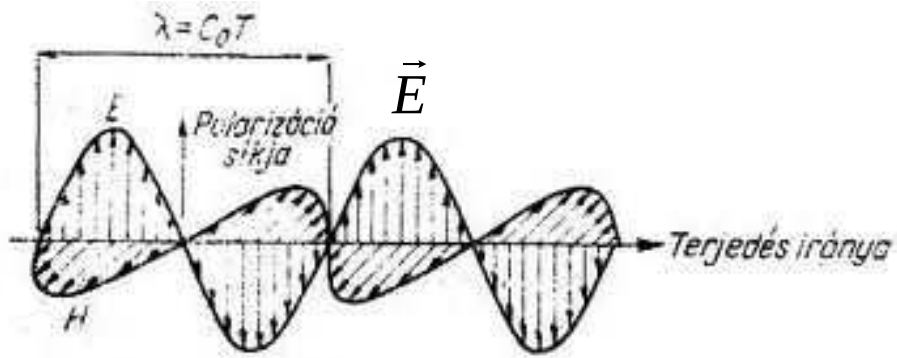


Mach-Zhender interferométer:

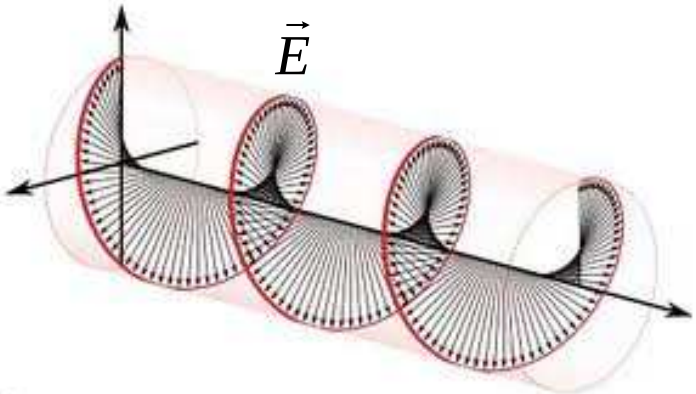


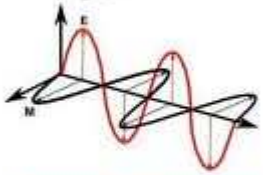
A fény polarizációja

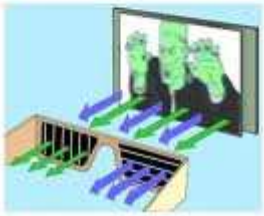
Lineárisan polarizált fény:



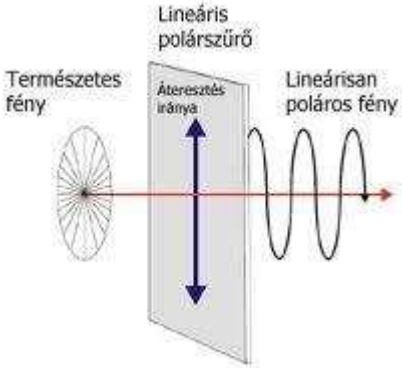
Cirkulárisan polarizált fény:







Polárszűrő:



Mahlus-törvény:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi$$