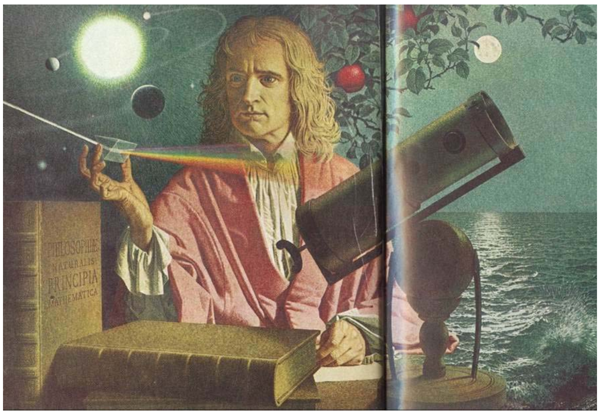
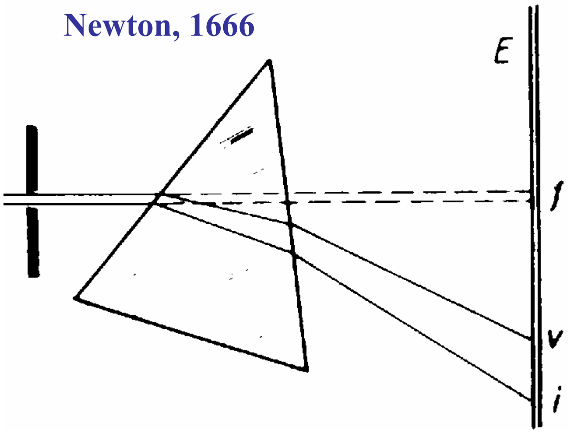
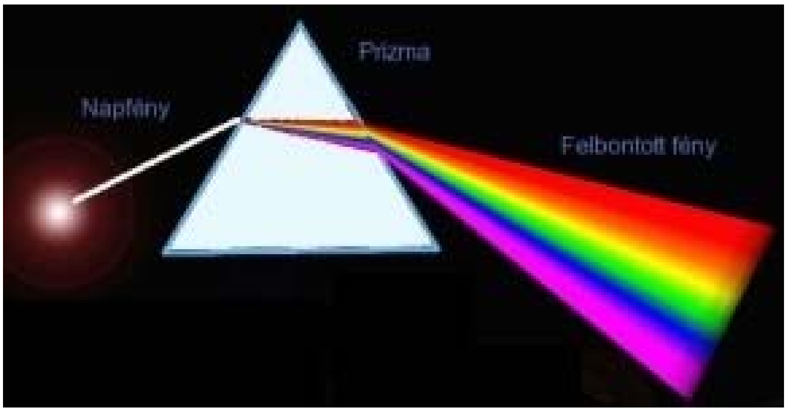
A fény diszperziója. Spektroszkóp, spektrum

Irodalom [3]: 251 §, 269 §

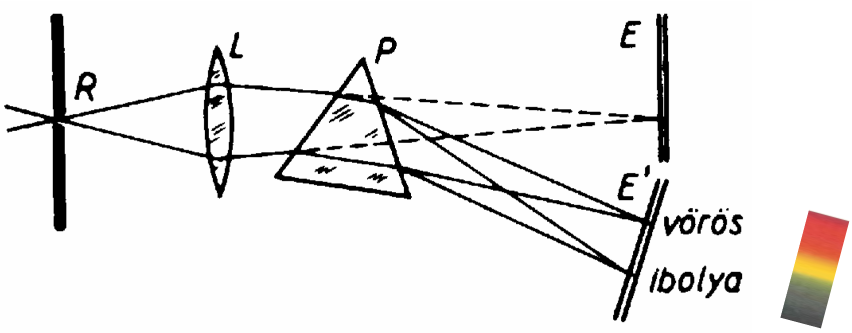


Newton, 1666

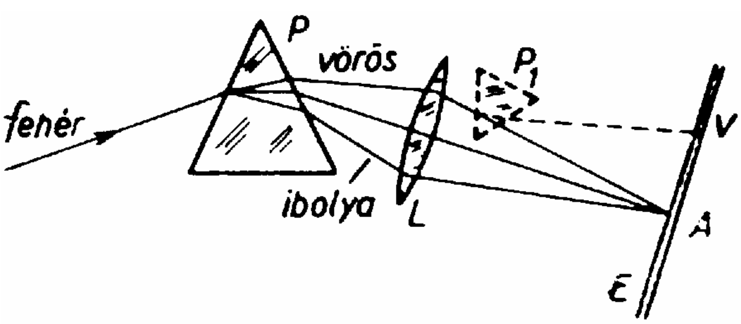




Tisztább, élesebb színképet ad a következő elrendezés



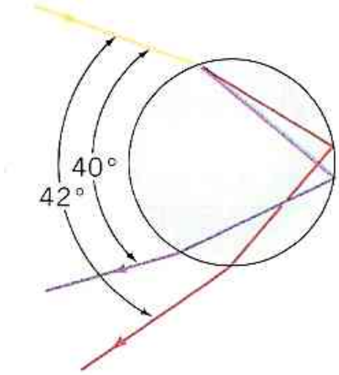
A spektrum színek tovább már nem bonthatók.

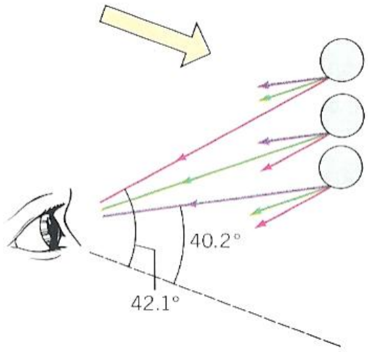


A spektrum színeket újra egyesítve fehér fényt kapunk.

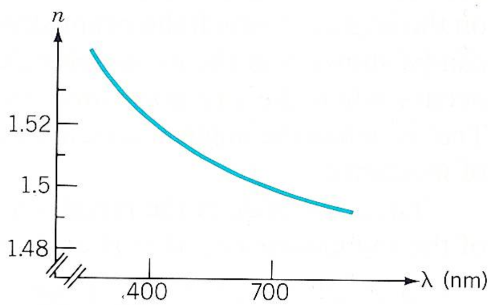
Szivárvány

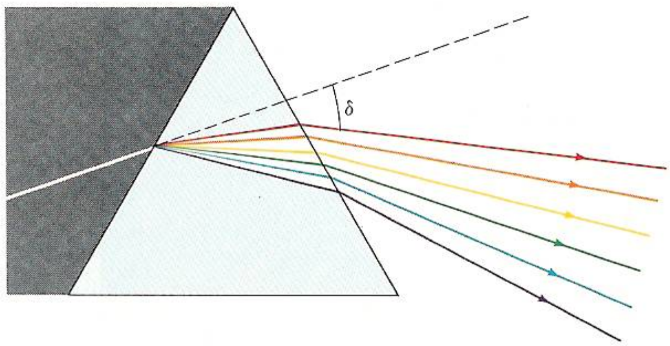
Newton Woolsthrope-i otthona





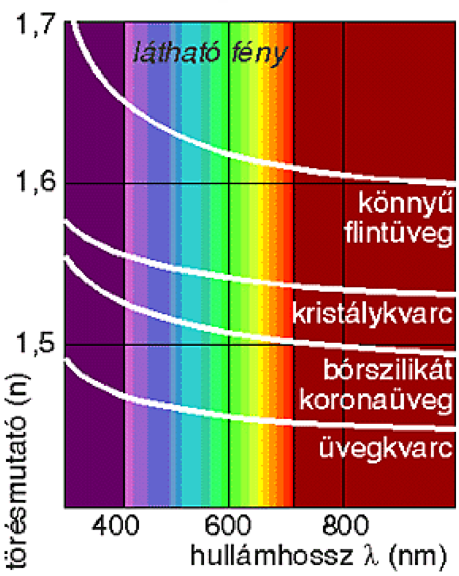
A jelenség oka: ***a törésmutató függ a fény színétől.***





A diszperziót jellemző fizikai mennyiségek

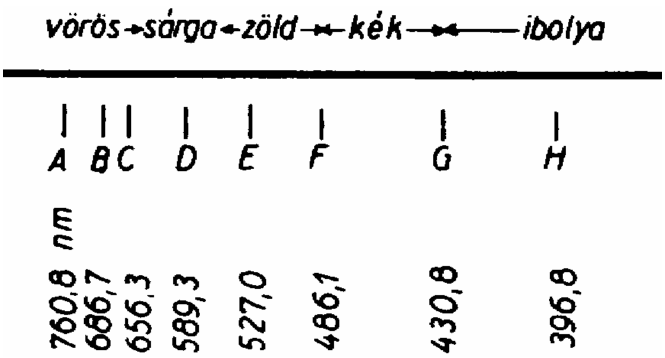
- a törésmutató hullámhossz szerinti deriváltja: $\frac{dn}{d\lambda}$
- relatív diszperzió: $\frac{n_F - n_C}{n_D - 1}$
- Abbe-féle szám: $\frac{n_D - 1}{n_F - n_C}$



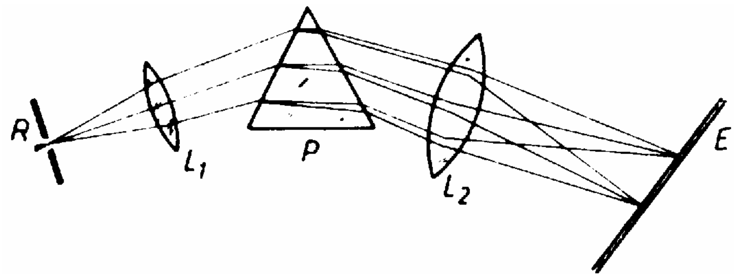
Fontosabb optikai közegek diszperziója

	n_A	n_C	n_D	n_F	n_H	$n_F - n_C$
Víz	1,329	1,331	1,333	1,337	1,343	0,006
Koronaüveg (BK 1)	1,505	1,508	1,510	1,516	1,527	0,008
Flintüveg (F 3)	1,603	1,608	1,613	1,625	1,645	0,017
Szénkéneg	1,609	1,618	1,628	1,652	1,699	0,034

Fraunhofer-féle vonalak.

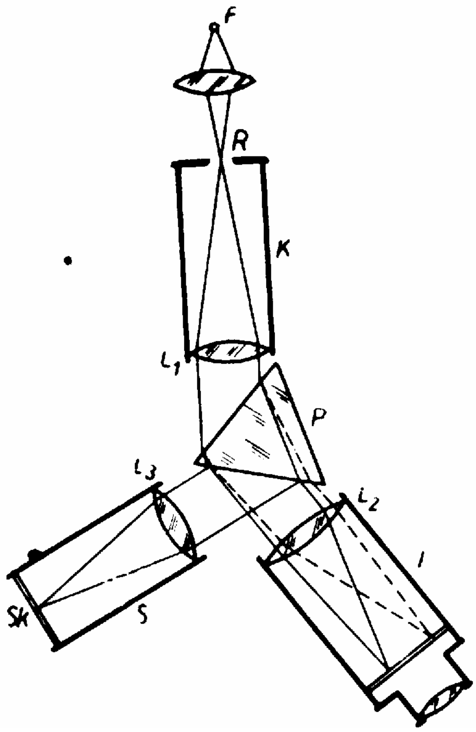


Prizmás spektroszkóp



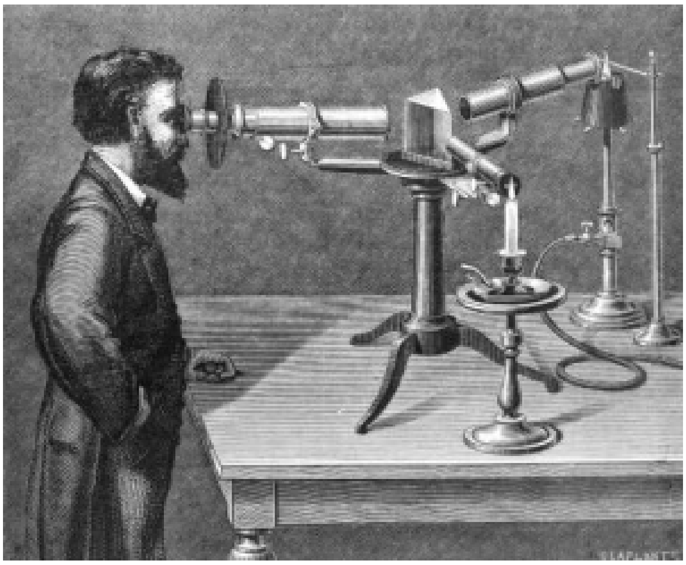
Spektroszkóp elemei

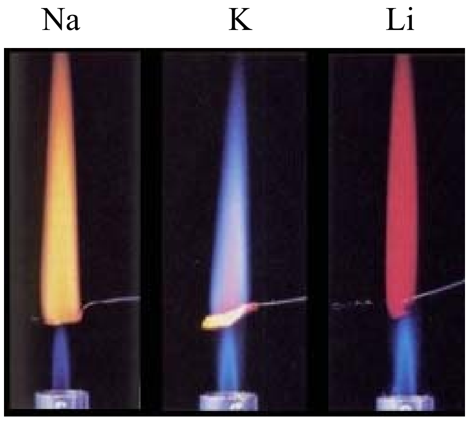
- belépő rés
- kollimátor
- prizma (bontó elem)
- objektív
- detektor

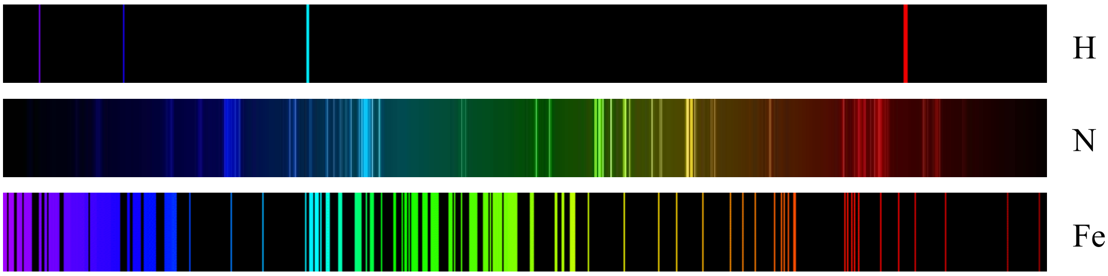


Bunsen, Kirchhoff (1859)

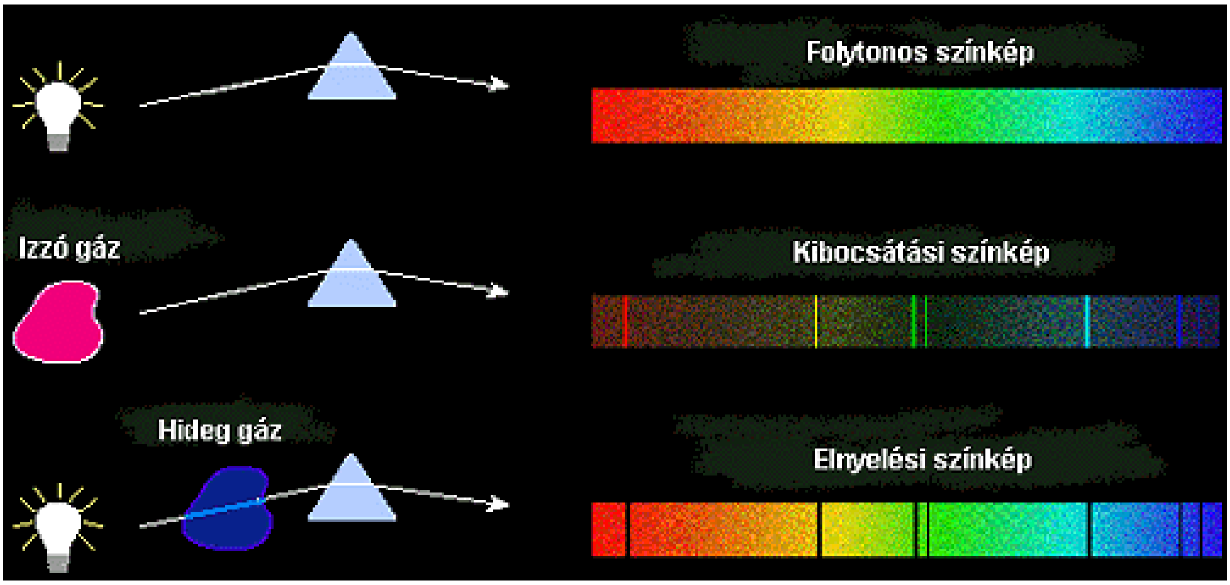
A fényforrás színképe jellemző a forrás anyagi minőségére!







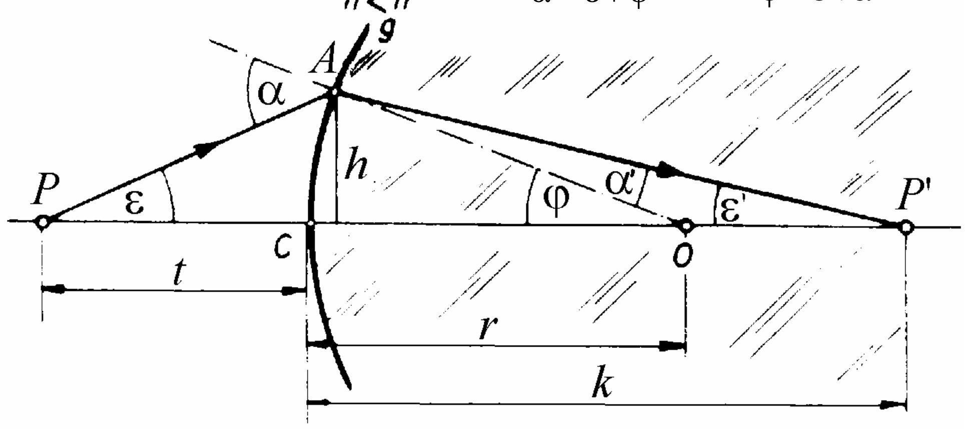
Emissziós és abszorpciós színképek



Az optikai kép fogalma. Optikai leképezés gömbfelületen való törés útján

Irodalom [3]: 252 §, 255 §

$\alpha = \varepsilon + \varphi$ $\qquad$ $\varphi = \varepsilon' + \alpha'$ $\qquad$ $n \sin\alpha = n' \sin\alpha'$



Paraxiális közelítés

$\sin\alpha \approx \alpha \qquad \cos\alpha \approx 1$

$\varepsilon = h/t$

$\varphi = h/r$

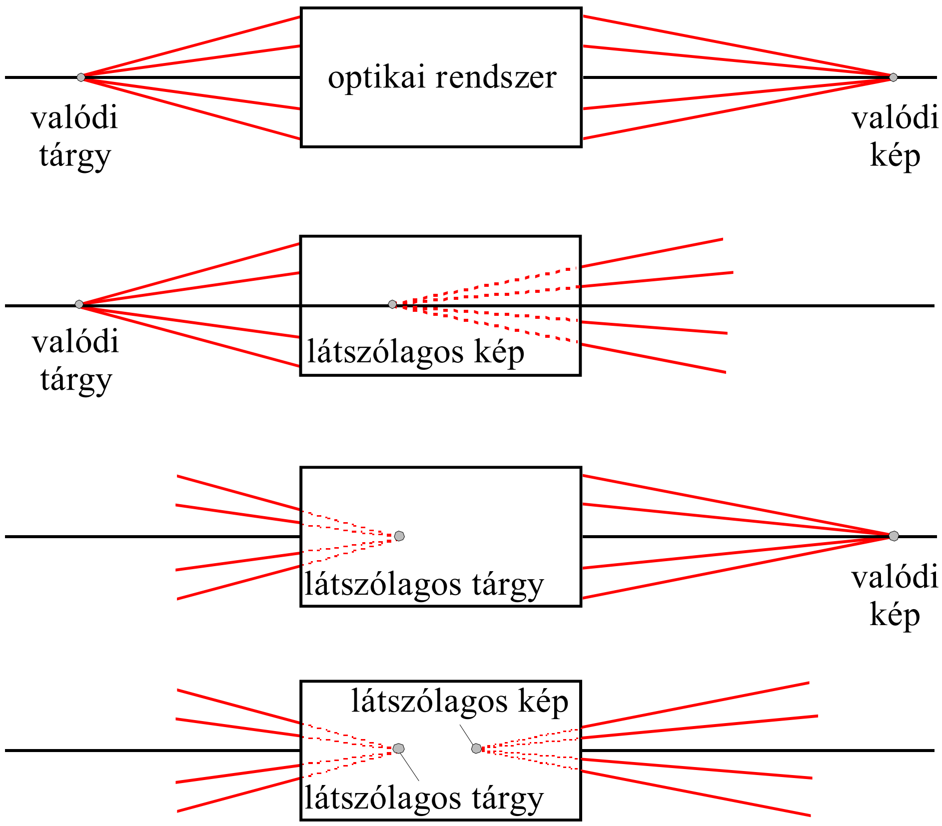
$\varepsilon' = h/k$

$$\left.\begin{array}{l} n\alpha = n\varepsilon + n\varphi \\ n'\alpha' = n'\varphi - n'\varepsilon' \\ n\alpha = n'\alpha' \end{array}\right] \Rightarrow n\varepsilon + n\varphi = n'\varphi - n'\varepsilon' \Rightarrow n\varepsilon + n'\varepsilon' = (n'-n)\varphi \Rightarrow n\frac{h}{t} + n'\frac{h}{k} = (n'-n)\frac{h}{r}$$

$$\boxed{\frac{n}{t} + \frac{n'}{k} = \frac{n'-n}{r}}$$ **leképezési egyenlet**

***P* pontból kiinduló összes sugár a törés után *P*' ponton halad keresztül!**

Optikai képalkotás



Fókusztávolságok

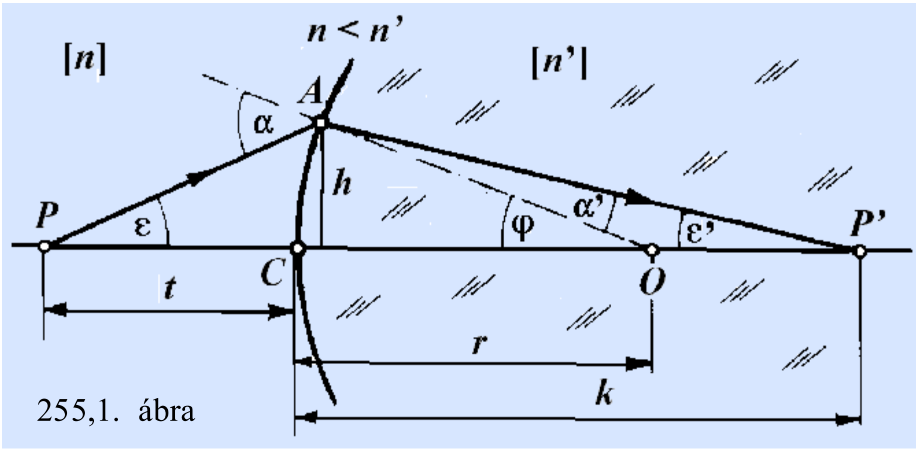
tárgy oldali

$t = f$

$k = \infty$

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

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



255,1. ábra

kép oldali

$t = \infty$

$k = f'$

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

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

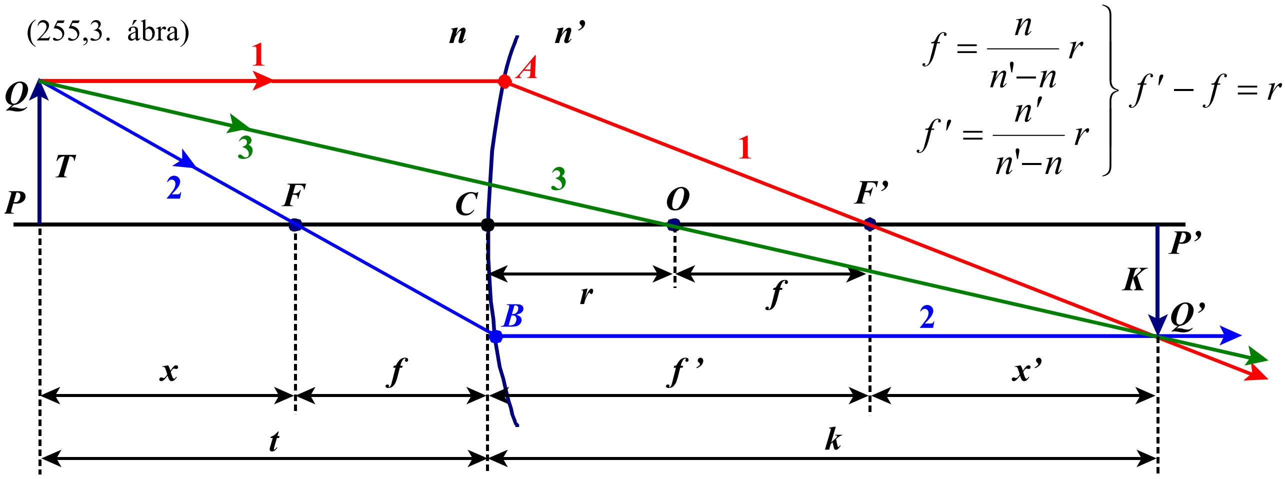
$$f' - f = r$$

Leképezési egyenlet

$$\frac{n}{t} + \frac{n'}{k} = \frac{n'-n}{r} \quad \Rightarrow \quad \frac{\frac{n}{n'-n} r}{t} + \frac{\frac{n'}{n'-n} r}{k} = 1 \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{f}{t} + \frac{f'}{k} = 1}$$

Képszerkesztés „nevezetes" sugarakkal

(255,3. ábra)



$$\left.\begin{aligned} f &= \frac{n}{n'-n} r \\ f' &= \frac{n'}{n'-n} r \end{aligned}\right\} f' - f = r$$

Newton-féle leképezési egyenlet

$$x = t - f \quad \Rightarrow \quad \frac{x}{t} = 1 - \frac{f}{t}$$

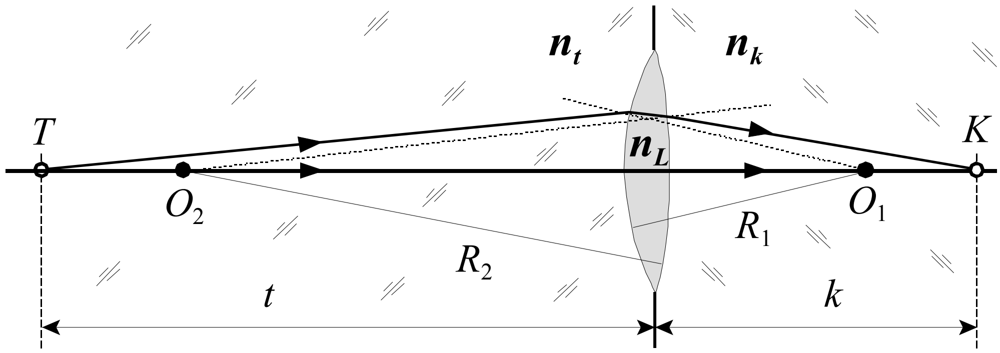
$$x' = k - f' \quad \Rightarrow \quad \frac{x'}{k} = 1 - \frac{f'}{k}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{x}{t} \cdot \frac{x'}{k} = 1 - \underbrace{\frac{f}{t} - \frac{f'}{k}}_{= 0} + \frac{f}{t} \cdot \frac{f'}{k} \quad \Rightarrow \quad \boxed{x \cdot x' = f \cdot f'}$$

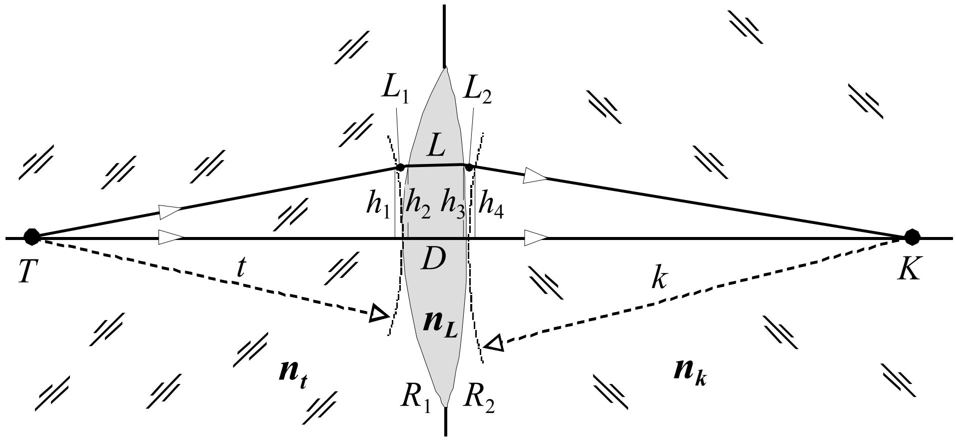
$$\frac{f}{t} + \frac{f'}{k} = 1$$

$$\boxed{N = \frac{K}{T} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'} = -\frac{n\,k}{n'\,t}}$$

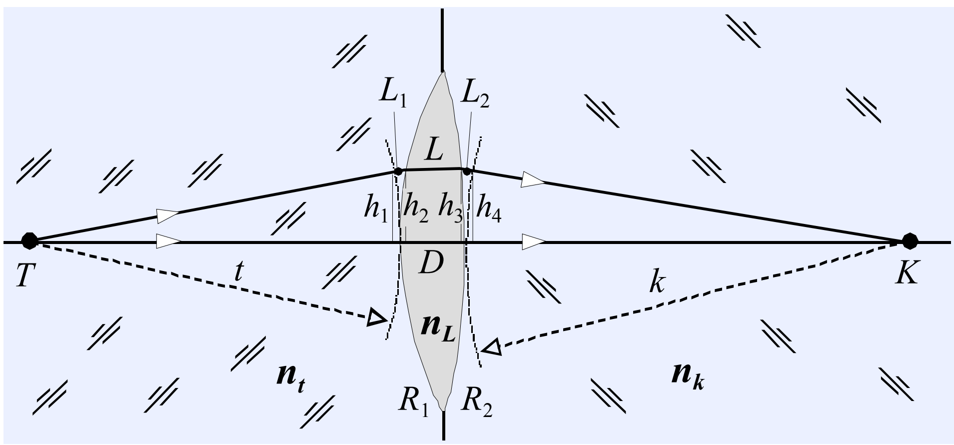
Lencsék (lencseegyenlet) tárgyalása a legrövidebb idő elve alapján



Cél: a tárgy és a képtávolság kapcsolatának a megtalálása (lencseegyenlet).



Egy tetszőleges sugár mentén kiszámítjuk a terjedési időt.



$$t_{TK} = \frac{t+L_1}{c_t} + \frac{L}{c_L} + \frac{L_2+k}{c_k}$$

$$n_t = c_0/c_t$$

$$n_L = c_0/c_L$$

$$n_k = c_0/c_k$$

$$c_0\, t_{TK} = n_t(t+L_1) + n_L L + n_k(L_2+k)$$

Képalkotás esetén

- T-ből kiinduló sugarak K-n mennek keresztül, azaz
- mindegyik sugár mentén terjed a fény!
- A legrövidebb terjedési idő (*Fermat*) elve miatt az összes sugárra azonosnak kell lenni a terjedési időnek,
- mert ha nem így lenne, akkor csak azon sugár mentén terjedne a fény, amelyen a legrövidebb a terjedési idő.

A tengely menti sugárra $L_1 = 0$, $L = D$ és $L_2 = 0$, ezért $c_0\, t_{TK} = n_t\, t + n_L\, D + n_k\, k$

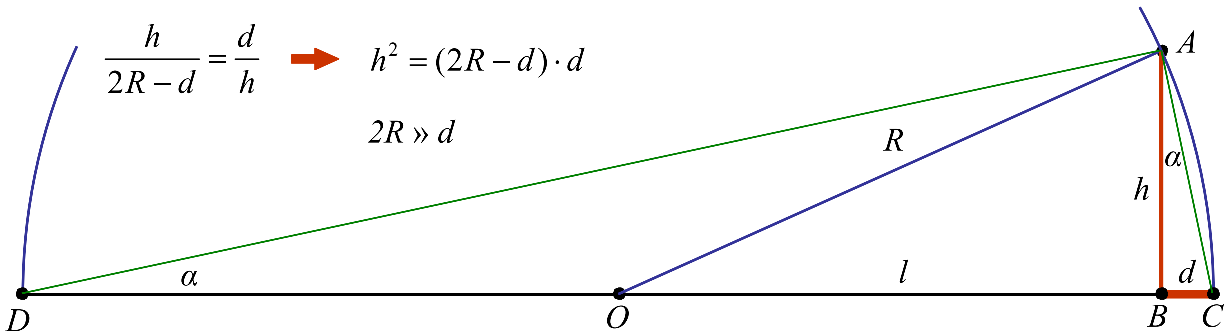
$$n_t\, t + n_L\, D + n_k\, k = n_t(t+L_1) + n_L L + n_k(L_2+k) \quad \Rightarrow \quad n_L(D-L) = n_t\, L_1 + n_k\, L_2$$

Paraxiális közelítés

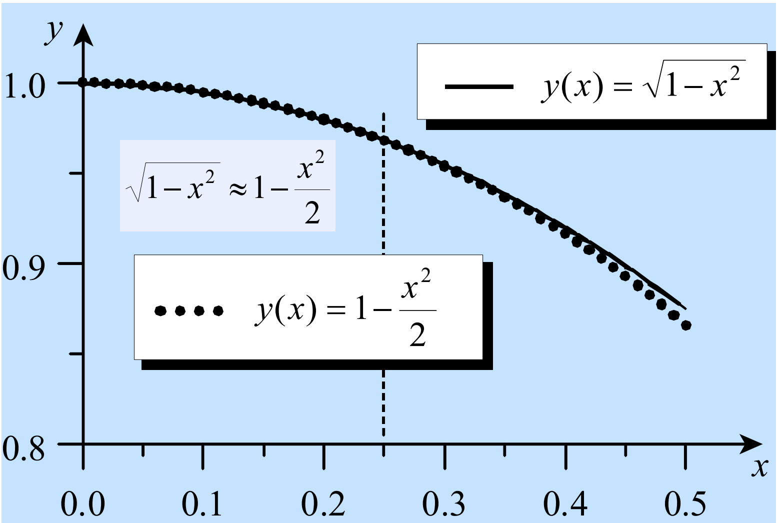
DBA és *ABC* derékszögű háromszögek hasonlók

$$\frac{h}{2R-d} = \frac{d}{h} \quad \Rightarrow \quad h^2 = (2R-d)\cdot d$$

$$2R \gg d$$



$$d \approx \frac{h^2}{2R}$$



Analitikus számolással:

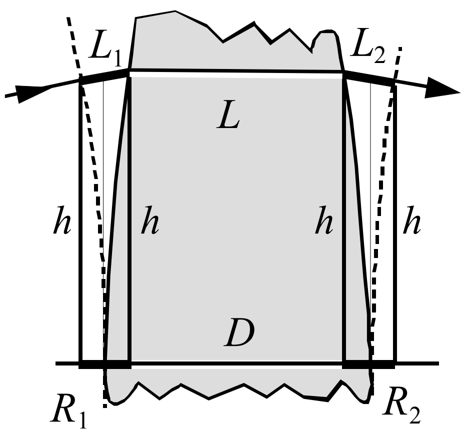
$$d = R - l = R - \sqrt{R^2 - h^2} =$$

$$= R - R\sqrt{1-(h/R)^2} =$$

$$= R\cdot\left(1-\sqrt{1-(h/R)^2}\right)$$

paraxiális közelítésben

$$d \approx \frac{h^2}{2R}$$



vékony lencsékre

$$h_1 = h_2 = h_3 = h_4 = h$$

paraxiális közelítés

$$L_1 = \frac{h^2}{2t} + \frac{h^2}{2R_1} = \frac{h^2}{2}\left(\frac{1}{t} + \frac{1}{R_1}\right)$$

$$L_2 = \frac{h^2}{2R_2} + \frac{h^2}{2k} = \frac{h^2}{2}\left(\frac{1}{k} + \frac{1}{R_2}\right)$$

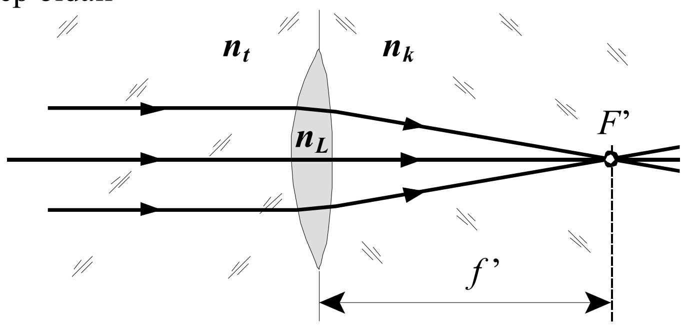
$$L = D - \frac{h^2}{2R_1} - \frac{h^2}{2R_2} = D - \frac{h^2}{2}\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

$$n_L(D-L) = n_t L_1 + n_k L_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{h^2}{2}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)\cdot n_L = \frac{h^2}{2}\left(\frac{1}{t}+\frac{1}{R_1}\right)\cdot n_t + \frac{h^2}{2}\left(\frac{1}{k}+\frac{1}{R_2}\right)\cdot n_k$$

$$\boxed{\frac{n_t}{t} + \frac{n_k}{k} = \frac{n_L - n_t}{R_1} + \frac{n_L - n_k}{R_2}}$$

A vékony lencsék gyújtótávolsága

kép oldali



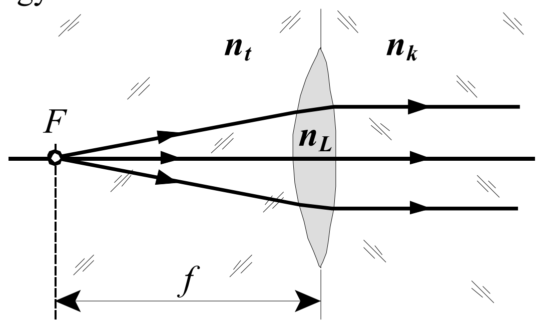
$$\frac{n_t}{t}+\frac{n_k}{k}=\frac{n_L-n_t}{R_1}+\frac{n_L-n_k}{R_2}=D_1+D_2$$

$t=\infty$

$k=f'$

$$\frac{n_k}{f'}=D_1+D_2 \rightarrow \boxed{f'=\frac{n_k}{D_1+D_2}}$$

tárgy oldali



$$\boxed{\frac{n_t}{f}=\frac{n_k}{f'}}$$

$t=f$

$k=\infty$

$$\frac{n_t}{f}=D_1+D_2 \rightarrow \boxed{f=\frac{n_t}{D_1+D_2}}$$

$$\frac{n_t}{t}+\frac{n_k}{k}=D_1+D_2 \rightarrow \frac{\frac{n_t}{D_1+D_2}}{t}+\frac{\frac{n_k}{D_1+D_2}}{k}=1 \rightarrow \boxed{\frac{f}{t}+\frac{f'}{k}=1}$$

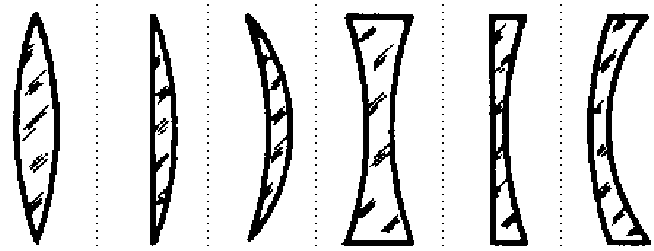
$$\frac{n_t}{f}=\frac{n_k}{f'} \rightarrow$$ Sokszor $n_t=n_k$ így ekkor $f=f'$ $$\rightarrow \frac{f}{t}+\frac{f}{k}=1 \rightarrow$$

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

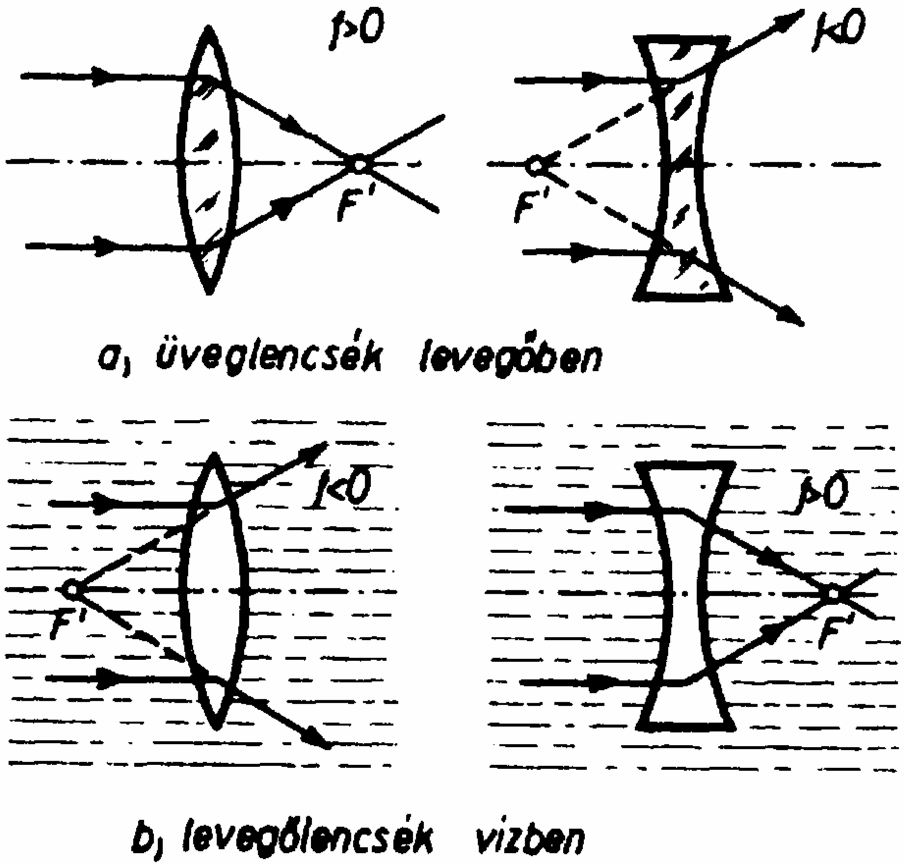
$$\frac{1}{f}=\frac{D_1+D_2}{n_t}=\frac{n_L-n_t}{n_t}\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)=(n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right) \rightarrow \boxed{\frac{1}{f}=(n-1)\cdot\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)}$$

ahol $n=\frac{n_L}{n_t}$

Lencse típusok



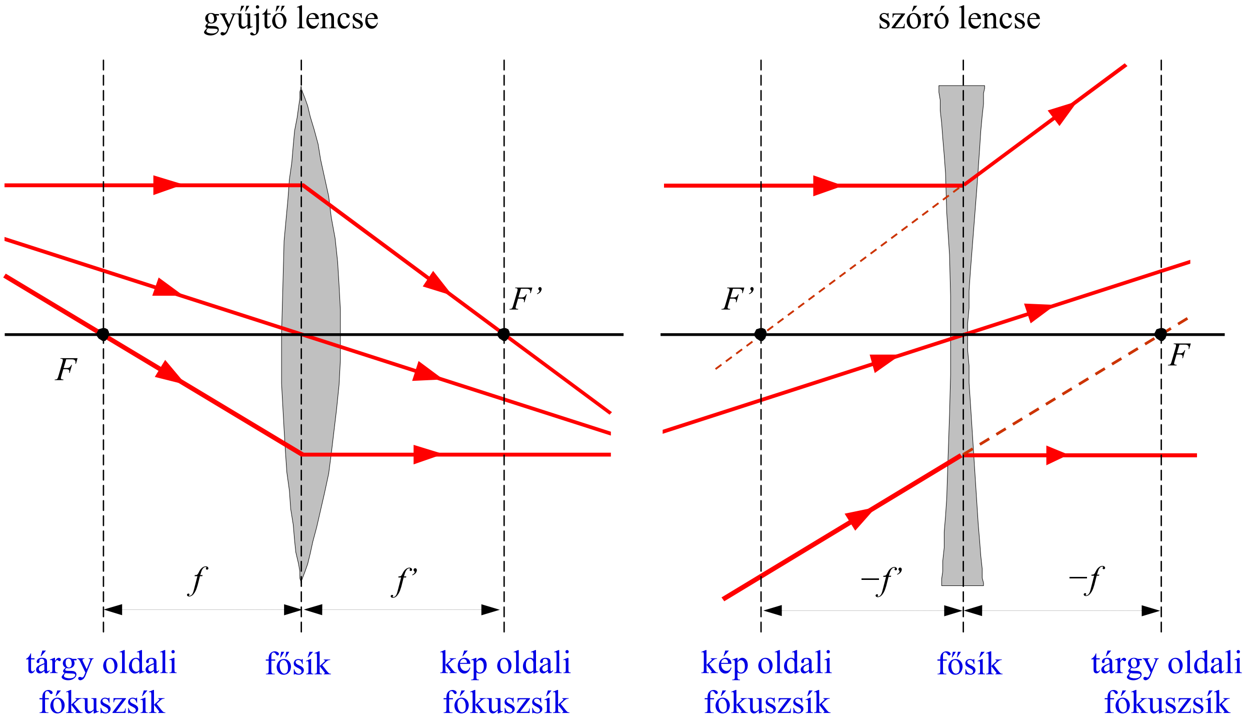
	a)	b)	c)	d)	e)	f)
R_1	+	4	!	!	4	+
R_2	+	+	+	!	!	!



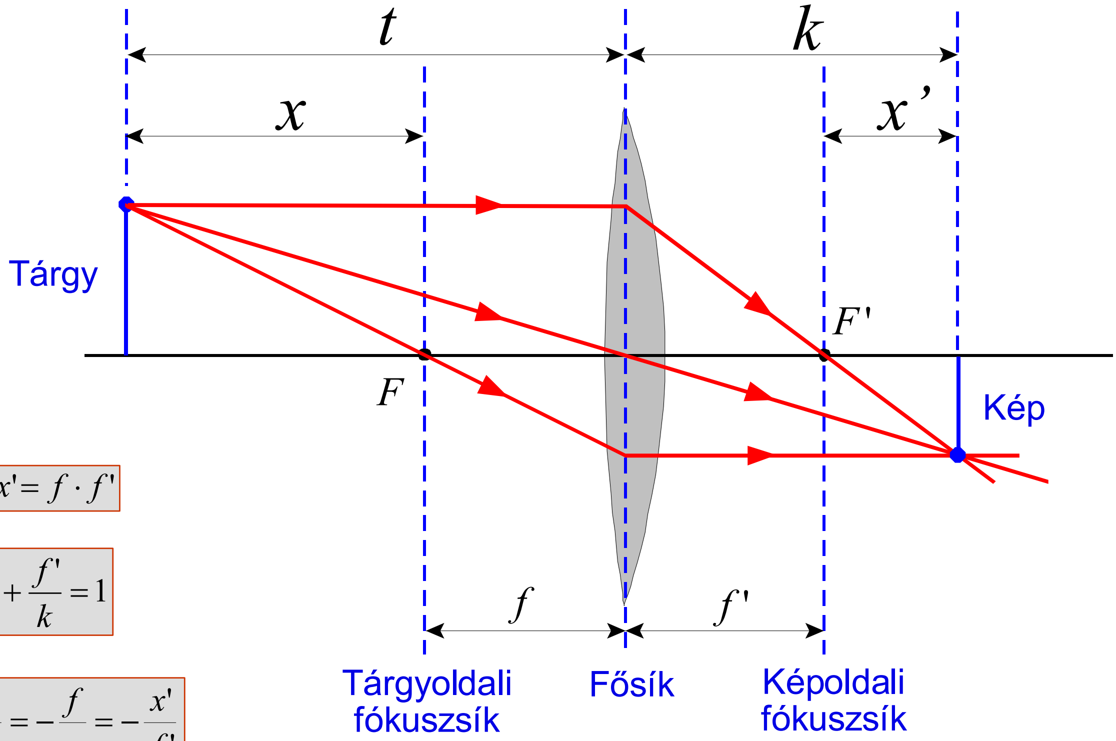
Képszerkesztés nevezetes sugármenetekkel, lencseegyenlet

Irodalom [3]: 256 §

Nevezetes sugármenetek



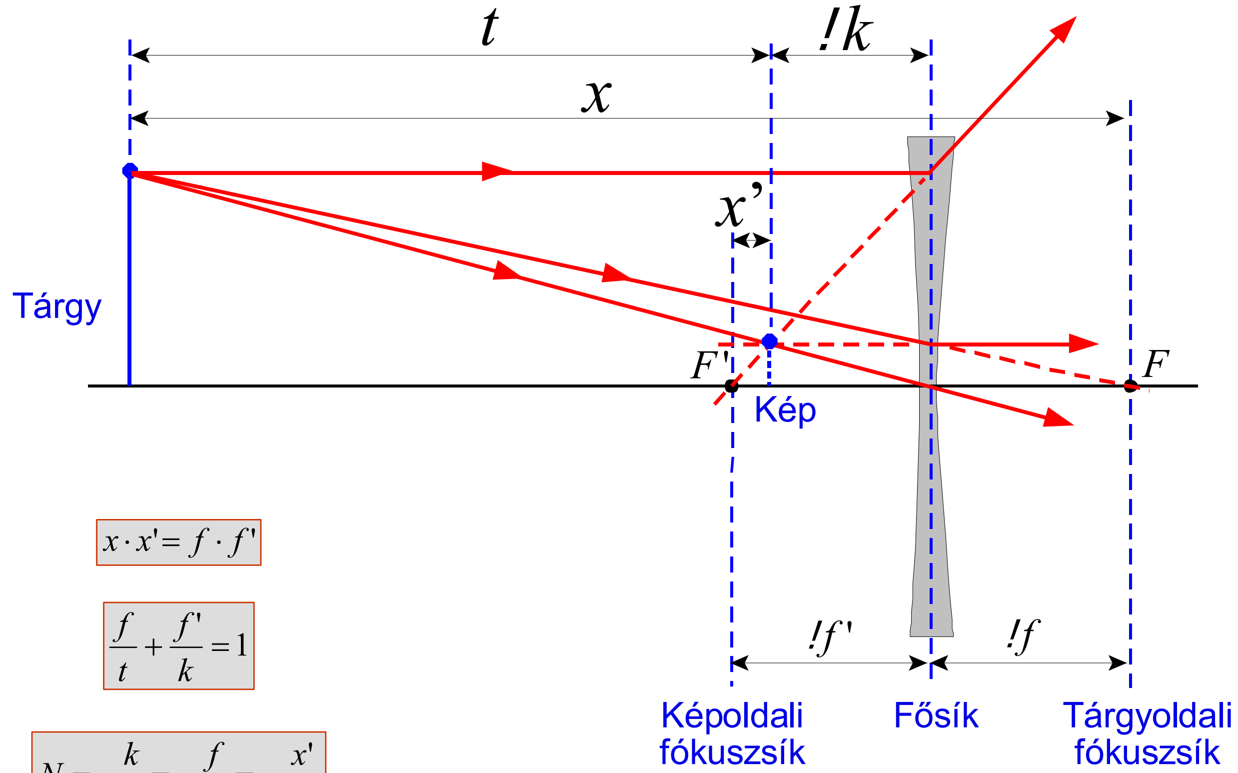
Képszerkesztés nevezetes sugármenetekkel



$$x \cdot x' = f \cdot f'$$

$$\frac{f}{t} + \frac{f'}{k} = 1$$

$$N = -\frac{k}{t} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}$$



$$x \cdot x' = f \cdot f'$$

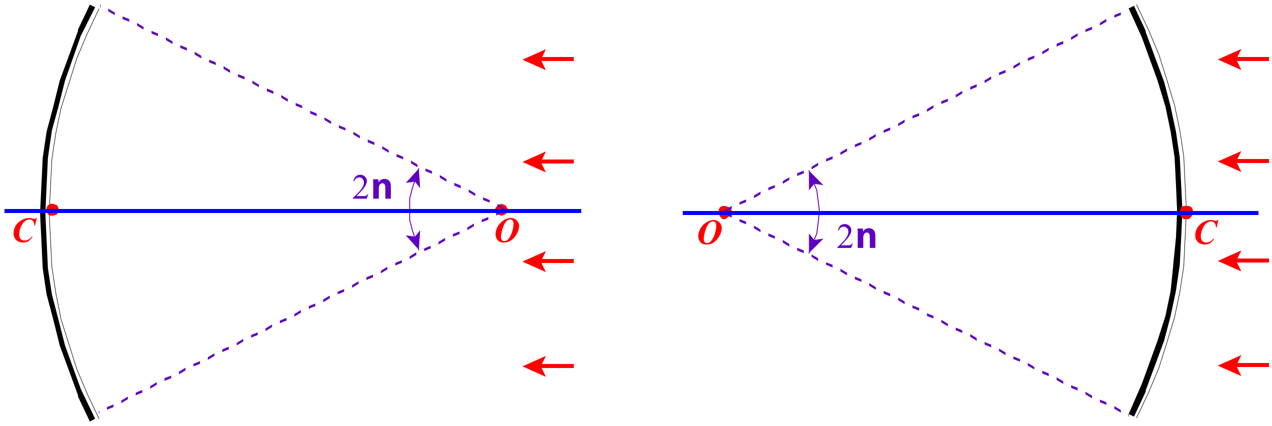
$$\frac{f}{t} + \frac{f'}{k} = 1$$

$$N = -\frac{k}{t} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}$$

Optikai leképezés gömbtükrökkel

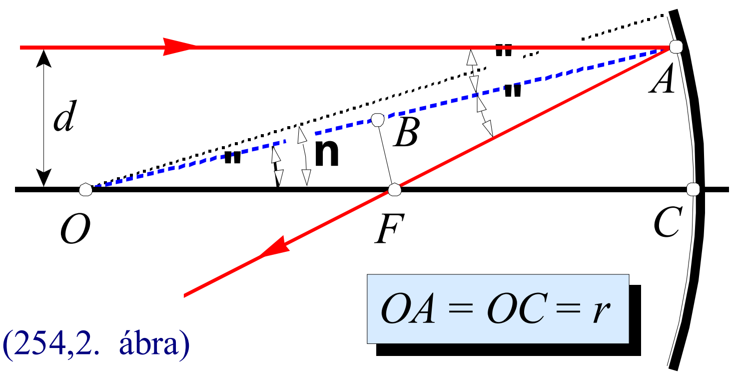
Irodalom [3]: 254 §

homorú tükör | domború tükör



O	a tükröző felület görbületi középpontja
φ	a tükör nyílásszöge
C	tetőpont a tükör optikai középpontja
OC	egyenes az optikai tengely (vagy főtengely)

Homorú tükör fókusztávolsága

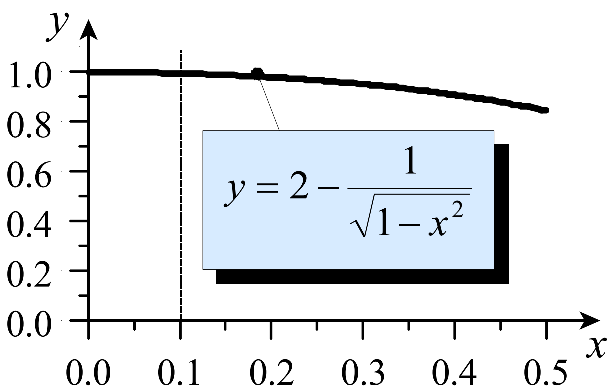


(254,2. ábra)

$$\left.\begin{aligned} OB &= \frac{r}{2} \\ \cos\alpha &= \frac{OB}{OF} \end{aligned}\right\} OF = \frac{r}{2\cos\alpha}$$

$$CF = r - OF = \frac{r}{2}\left(2 - \frac{1}{\cos\alpha}\right)$$

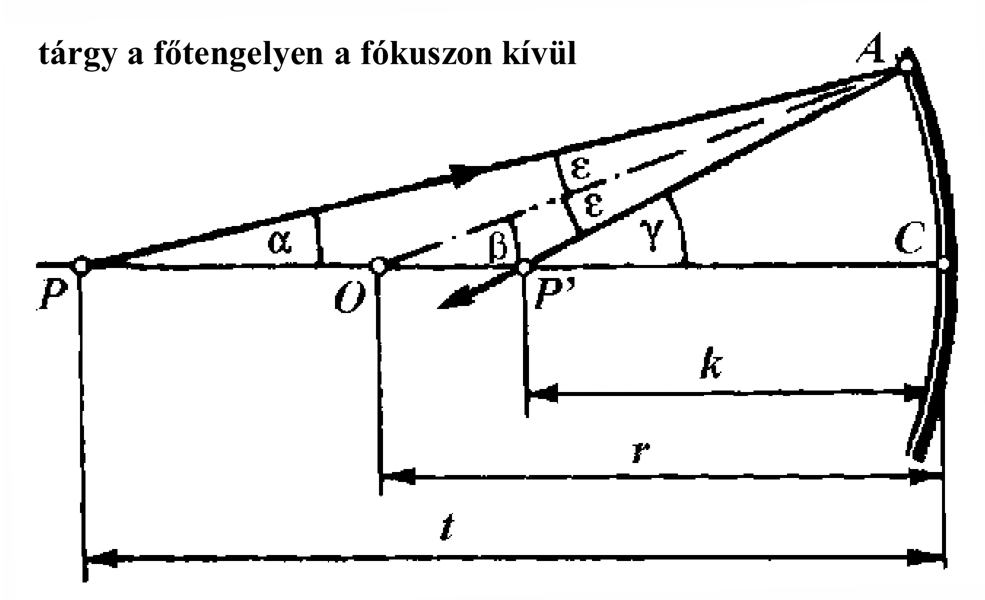
$$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = \sqrt{1-\left(\frac{d}{r}\right)^2}$$



$$\boxed{f = CF = \frac{r}{2}\left(2 - \frac{1}{\sqrt{1-(d/r)^2}}\right)}$$

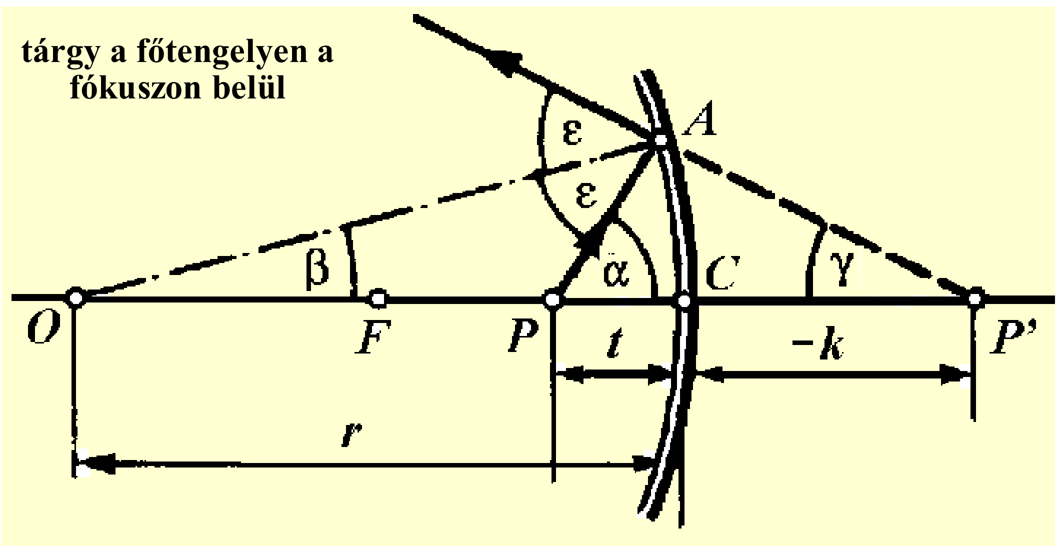
Paraxiális fókusztávolság: $f = \dfrac{r}{2}$

Leképezés paraxiális közelítésben



$$\alpha = \frac{CA}{t} \quad \beta = \frac{CA}{r} \quad \gamma = \frac{CA}{k} \quad f = \frac{r}{2}$$

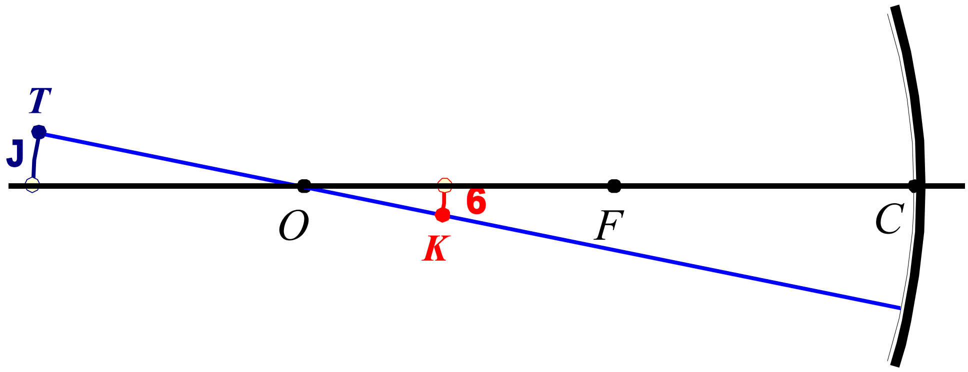
$$\left.\begin{aligned}\gamma &= \beta + \varepsilon \\ \beta &= \alpha + \varepsilon\end{aligned}\right\} \alpha + \gamma = 2\beta \quad \Leftrightarrow \quad \frac{CA}{t} + \frac{CA}{k} = 2\frac{CA}{r} \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f}}$$



$$\alpha = \frac{CA}{t} \quad \beta = \frac{CA}{r} \quad \gamma = \frac{CA}{-k} \quad f = \frac{r}{2}$$

$$\left.\begin{aligned}\alpha &= \beta + \varepsilon \\ 2\varepsilon &= \alpha + \gamma\end{aligned}\right\} \alpha - \gamma = 2\beta \quad \Leftrightarrow \quad \frac{CA}{t} - \frac{CA}{-k} = 2\frac{CA}{r} \quad \Leftrightarrow \quad \boxed{\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f}}$$

Nem a főtengelyen lévő pont leképezés paraxiális közelítésben

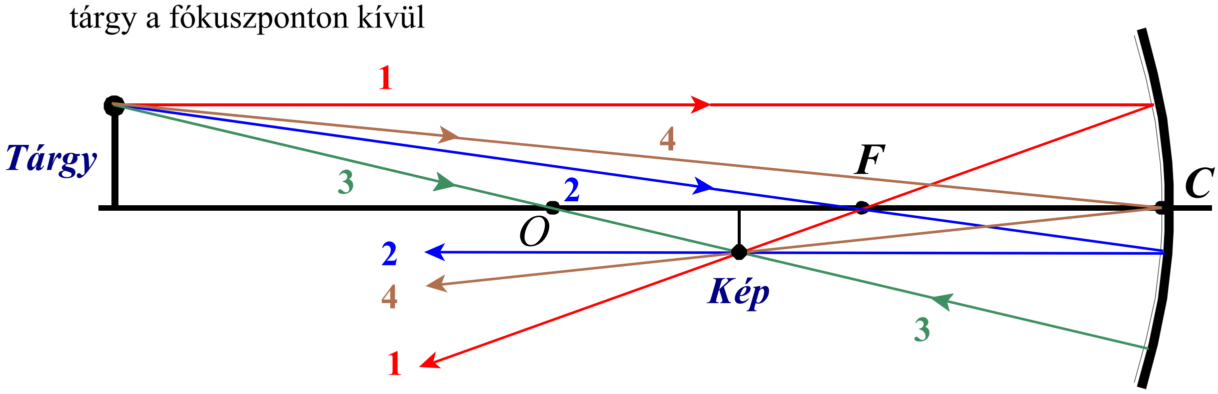


- *T* és az *O* ponton keresztül berajzoljuk a melléktengelyt.
- *T* képét megszerkeszthetjük az előbb látott módon.
- Hasonlóan kapjuk a kicsiny τ körív κ képét.
- Paraxiális közelítésben a kicsiny körív helyettesíthető az optikai tengelyre merőleges kicsiny szakasszal.
- Paraxiális közelítésben az optikai tengelyre merőleges kicsiny szakasz képe az optikai tengelyre merőleges kicsiny szakasz.
- A tárgy- és a képtávolságra érvényes a leképezés egyenlet:

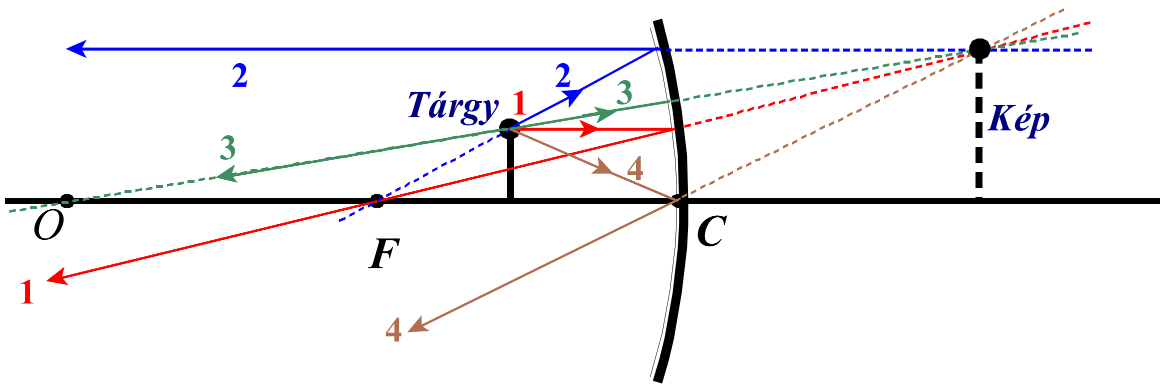
$$\boxed{\frac{1}{t}+\frac{1}{k}=\frac{1}{f}}$$

Képszerkesztés nevezetes sugarakkal

tárgy a fókuszponton kívül



tárgy a fókuszponton belül

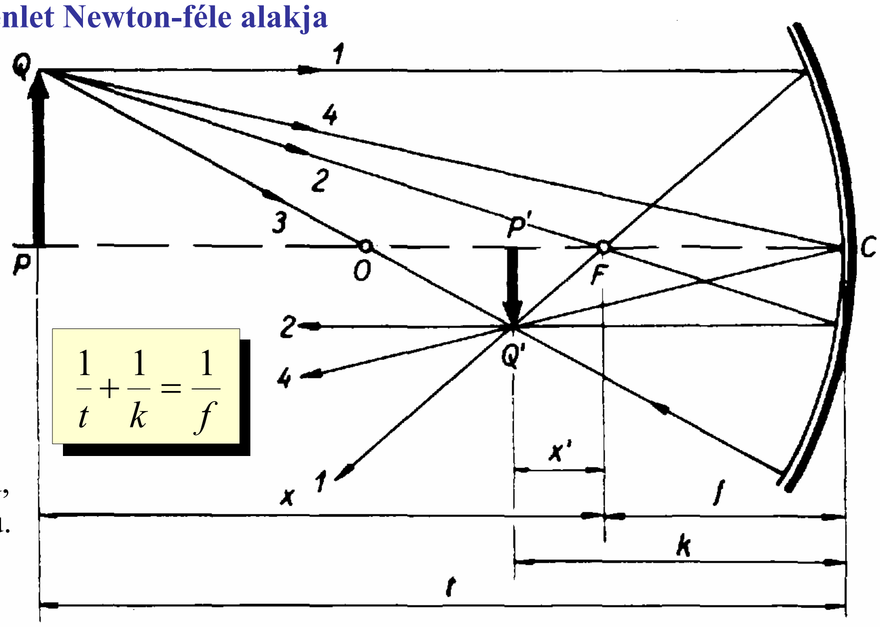


Nagyítás és a leképezési egyenlet Newton-féle alakja

Nagyítás: $|N| = \frac{\overline{P'Q'}}{\overline{PQ}}$

CPQ és *CP'Q'* háromszögek hasonlók

$$\frac{\overline{P'Q'}}{|k|} = \frac{\overline{PQ}}{|t|} \quad \Rightarrow \quad |N| = \frac{|k|}{|t|}$$



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

Előjel megállapodás:
- $N > 0$, ha kép egyenes állású,
- $N < 0$, ha kép fordított állású.

$$\boxed{N = -\frac{k}{t}}$$

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad -N = \frac{k}{t} = \frac{k}{f} - 1 = \frac{k-f}{f} = \frac{x'}{f} \quad \Rightarrow \quad N = -\frac{x'}{f}$$

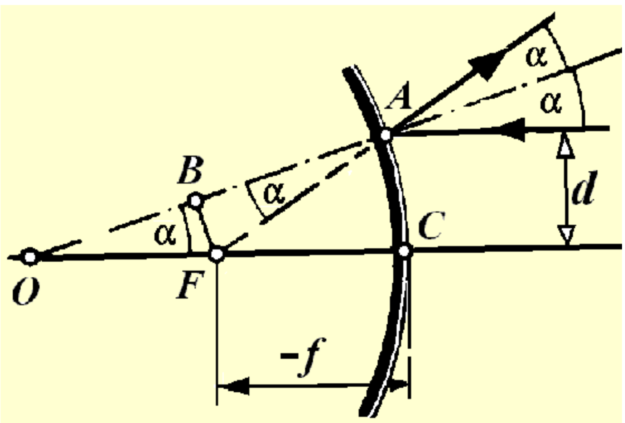
$$\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f} \quad \Rightarrow \quad -\frac{1}{N} = \frac{t}{k} = \frac{t}{f} - 1 = \frac{t-f}{f} = \frac{x}{f} \quad \Rightarrow \quad N = -\frac{f}{x}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{f}{x} = \frac{x'}{f}$$

$$\boxed{x \cdot x' = f^2}$$

Fókuszon belüli tárgy esetén ugyanezek az összefüggések érvényesek.

Domború tükör fókusztávolsága



$$\left.\begin{array}{l} OB = \frac{r}{2} \\ \cos\alpha = \frac{OB}{OF} \end{array}\right\} OF = \frac{r}{2\cos\alpha}$$

$$CF = r - OF$$

$$-f = CF = \frac{r}{2}\left(2 - \frac{1}{\cos\alpha}\right)$$

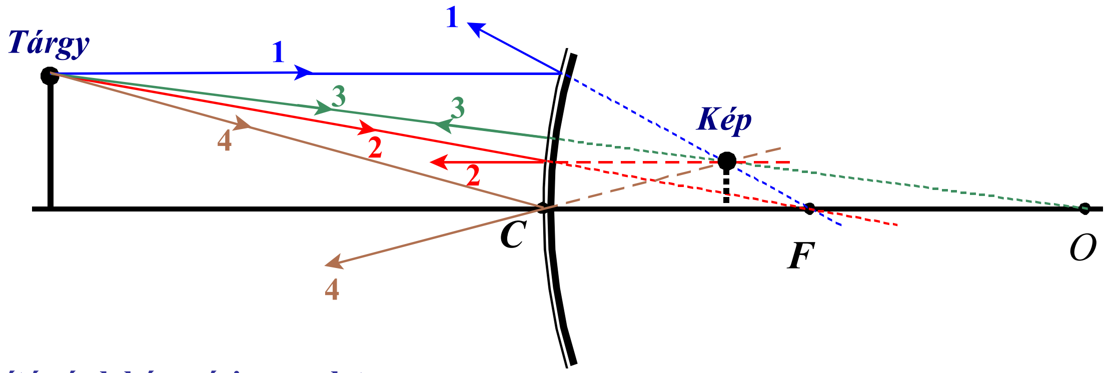
$$\cos\alpha = \sqrt{1-\sin^2\alpha} = \sqrt{1-\left(\frac{d}{r}\right)^2}$$

$$\boxed{f = -CF = -\frac{r}{2}\left(2 - \frac{1}{\sqrt{1-(d/r)^2}}\right)}$$

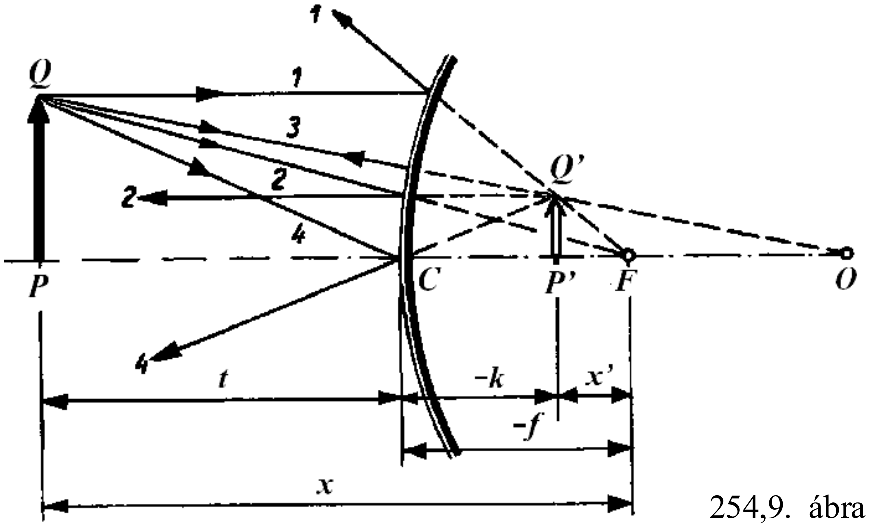
Az optikai tengely közelében haladó ($d/r < 0.1$) párhuzamos sugarak jó közelítéssel egy pontban metszik egymást.

Paraxiális fókusztávolság: $\boxed{f = -\frac{r}{2}}$

Képszerkesztés nevezetes sugarakkal



Nagyítás és leképezési egyenlet



254,9. ábra

CPQ és *CP'Q'* háromszögek hasonlók

$$N = -\frac{k}{t} = -\frac{x'}{f} = -\frac{f}{x}$$

$$x \cdot x' = f^2$$

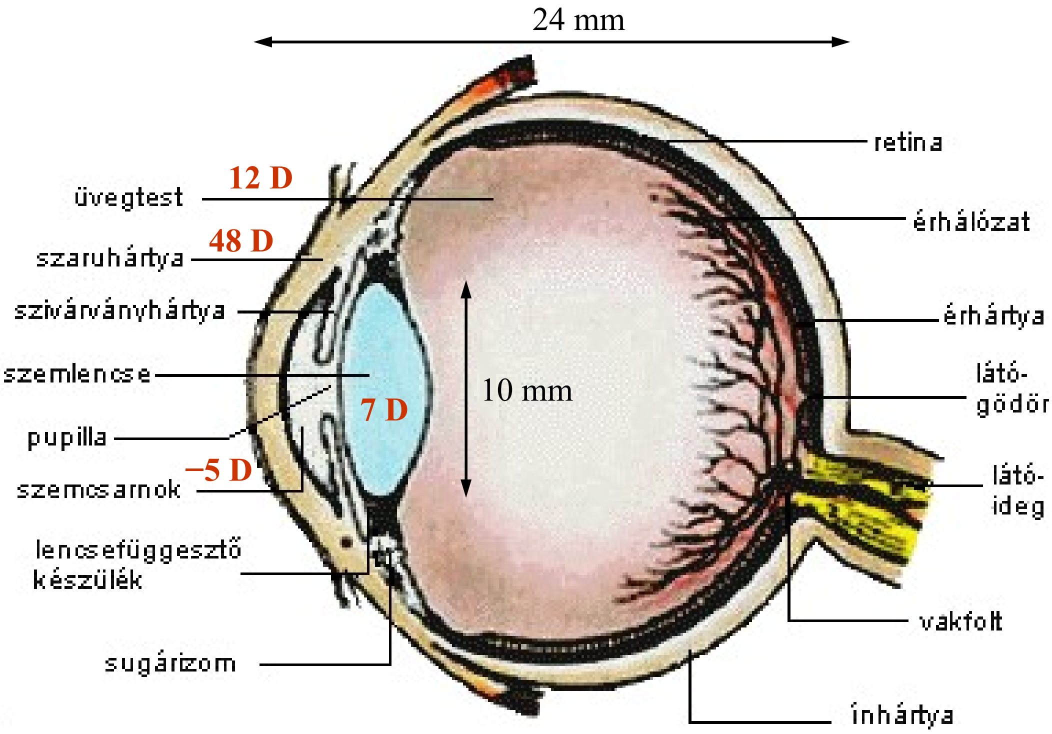
$$\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f}$$

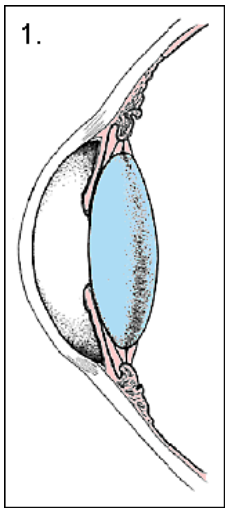
A szem és a látás. A szem optikai hibáinak korrigálása

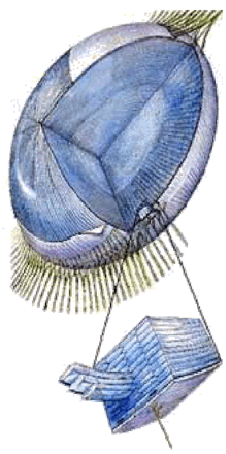
Irodalom [3]: 261 §

A szem vázlatos szerkezete

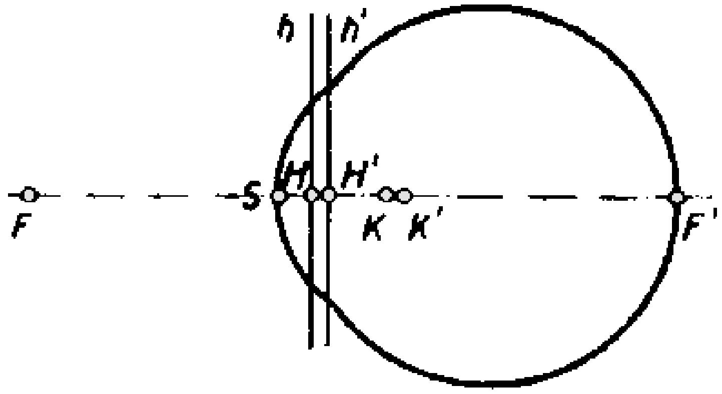
(vízszintes síkmetszet)





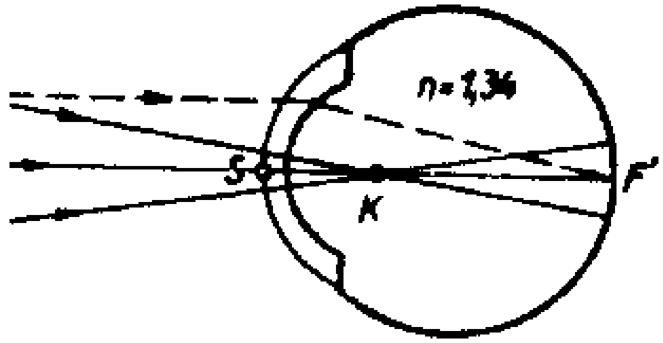


A szem alappontjai



261,3. ábra

Redukált szem



261,4. ábra

A szem érzékenysége, adaptáció

Sugárzásmérés és fénymérés

Fizikai (vagy objektív) fotometria [optikai sugárzásmérés]

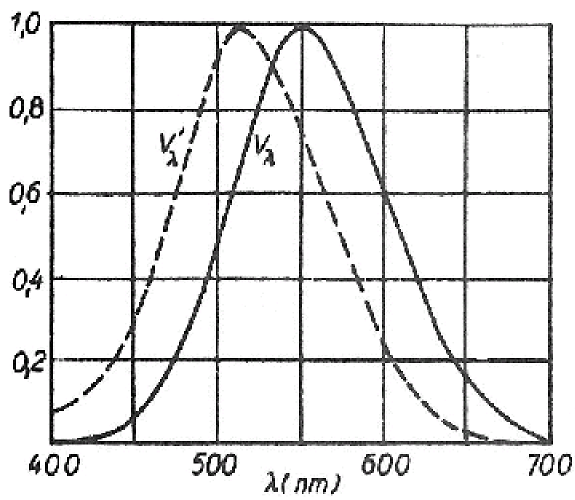
- A mérésekhez fényérzékeny eszközöket használnak,
- a kapott eredmények függetlenek az emberi szem érzékenységétől.

Vizuális (vagy szubjektív) fotometria [fénymérés]

- A méréseknél figyelembe veszik az emberi szem érzékenységét.

Fizikai és vizuális fotometriai mennyiségek közötti kapcsolatot a szem érzékenysége határozza meg.

- Fehér ernyőt megvilágítva azonos sugárzási teljesítményű, de különböző színű fénnyel más megvilágítás érzet jön létre szemünkben.
- Ezt jellemzi az ú.n. $V(\lambda)$ láthatósági görbe.



normális megvilágítás

gyenge megvilágítás

fényáram

sugárzási teljesítmény

$$\Phi(\lambda) = K(\lambda)\,\Phi_e(\lambda) = K_m\,V(\lambda)\,\Phi_e(\lambda)$$

$$K(\lambda) = K_m\,V(\lambda)\,, \quad \text{ahol } K_m = 683\ \frac{\text{lm}}{\text{W}}$$

Fotometriai alapmennyiségek

Fizikai (objektív)

Sugárzási teljesítmény

Ha a fénynyaláb keresztmetszetén kicsiny dt idő alatt dW_e energia áramlik át, akkor a felületen a sugárzási teljesítmény, vagy energiaáram:

$$\Phi_e = \frac{dW_e}{dt}$$

SI egysége: Watt (W)

Sugárzáserősség [Watt/szteradián (W/sr)]

Ha a forrás a *PP'* irányba kicsiny $d\omega$ térszögbe $d\Phi_e$ sugárzási teljesítménnyel sugároz, akkor a *PP'* irányba a sugárzás erősség:

$$I_e = \frac{d\Phi_e}{d\omega}$$

Vizuális (szubjektív)

Fényáram

Ha a fénynyaláb sugárzási teljesítményének a láthatóság szempontjából érzékelhető része. A fényáram és a sugárzási teljesítmény közötti kapcsolta:

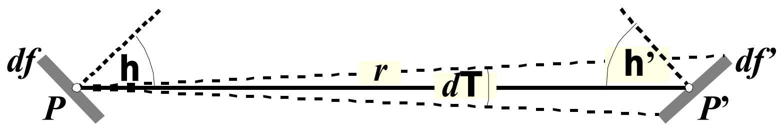
$$\Phi = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Phi_e$$

SI egysége: lumen (lm),
a kandelából (cd) származtatott mennyiség

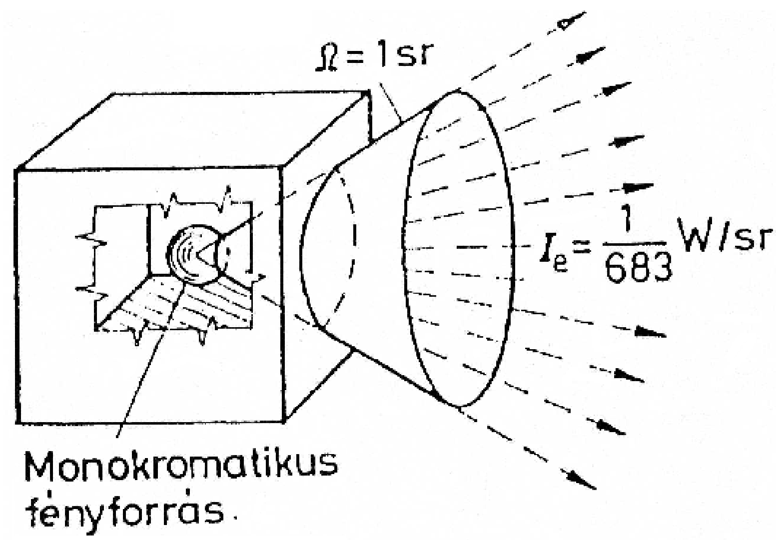
Fényáram [kandela (cd), SI alapmennyiség]

A forrás által *PP'* irányba kicsiny $d\omega$ térszögbe kisugárzott $d\Phi$ fényáram és a $d\omega$ térszög hányadosa:

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}$$

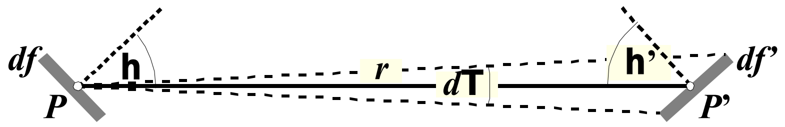


1 kandela olyan fényforrás erőssége, amely az adott irányba 540 THz frekvenciájú (555 nm, zöld színű) fényt sugároz ki 1/683 W/sr sugárzáserősséggel..



- 1 kandela nagyjából egy közönséges gyertya fényerőssége vízszintes irányból figyelve.
- 1 kandela fényerősséggel sugároz a platina dermedési hőmérsékletén (2042 K-on) egy fekete test sugárzó 1/60 cm^2 nagyságú felülete a felületre merőleges irányba. (ez a régebbi definíció).

Fizikai (objektív) **Vizuális (szubjektív)**



fényforrás **ernyő**

Sugárzássűrűség [W/(sr·m²)]

A forrás kicsiny *df* felületének a *PP*’ irányú I_e sugárzáserősségének és a felületelem látszólagos nagyságának hányadosa:

$$B_e = \frac{I_e}{df \cos\vartheta}$$

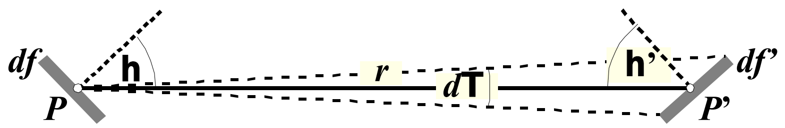
Fénysűrűség [nit, sb (stilb)]

A forrás kicsiny *df* felületének a felületi fényességét adja meg adott *PP*’ irányból figyelve. A fényforrás *I* fényerősségének és a *df* felületelem látszólagos nagyságának hányadosa:

$$B = \frac{I}{df \cos\vartheta}$$

1 nit = 1 cd/m² , 1 sb = 1 cd/cm² = 10 000 nit

Fizikai (objektív) **Vizuális (szubjektív)**



fényforrás **ernyő**

Besugárzott fajlagos teljesítmény [W/m²]

A sugárzást felfogó ernyő kicsiny *df'* felület-elemére eső $d\Phi_e$ sugárzási teljesítmény és felületelem nagyságának hányadosa:

$$E_e = \frac{d\Phi_e}{df'}$$

$$E_e = \frac{I_e}{df'} \cdot d\omega = \frac{I_e}{df'} \cdot \frac{df' \cos\vartheta'}{r^2}$$

$$\boxed{E_e = \frac{I_e}{r^2} \cdot \cos\vartheta'}$$

Megvilágítás [lux]

A sugárzást felfogó ernyő kicsiny *df'* felület-elemére eső $d\Phi$ fényáram és felületelem nagyságának hányadosa:

$$E = \frac{d\Phi}{df'}$$

1 lux = 1 cd/m²

$$\boxed{E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos\vartheta'}$$

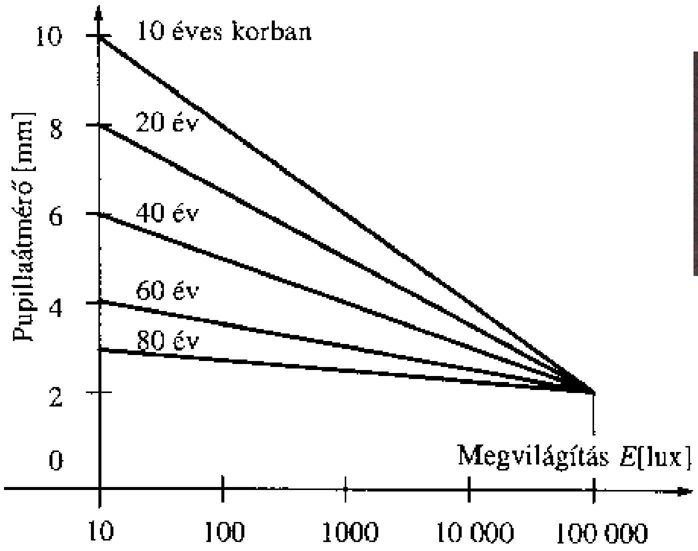
Fotometriai távolságtörvény, Lambert-féle 1. koszinustörvény

Adaptáció:
a világosságra és a sötétre történő alkalmazkodás.

Az adaptáció több együttes folyamat eredménye

- A pupilla tágulása és szűkülése.
- Kétféle receptor rendszer (csapok és pálcikák).
- A pigment anyagok folytonos bomlása és termelődése.

A pupilla tágulása és szűkülése



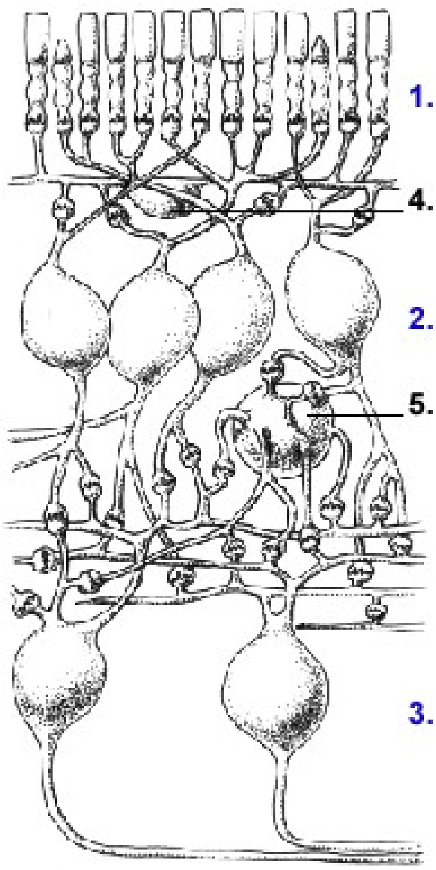
Retina (ideghártya) felépítése

A retinát három sejtréteg alkotja:

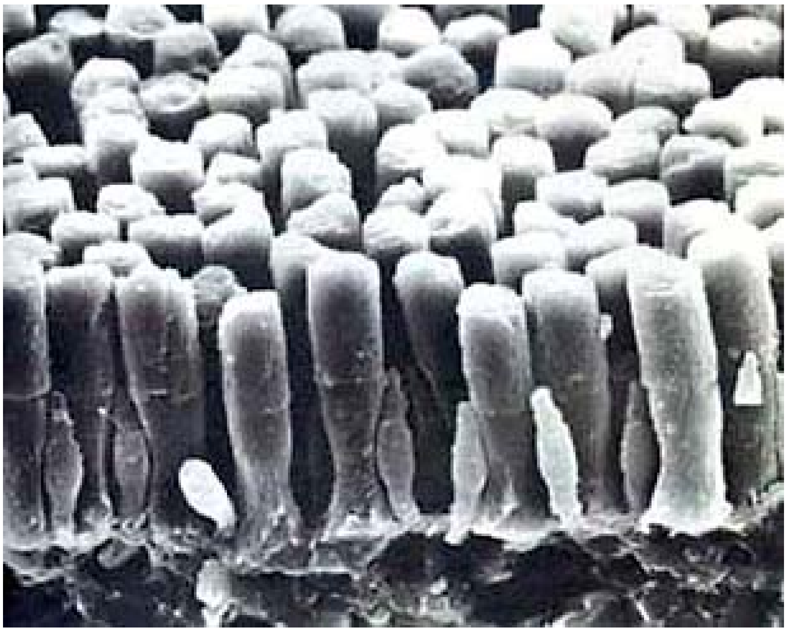
1. A fény energiáját kémiai és elektromos energiává alakító fényérzékelő sejtek: **a pálcikák és csapok**;
2. A bipoláris sejtek, amelyek a jeleket továbbítják;
3. A ganglionsejtek (dúcsejtek), amelyek axonjainak együttese képezi a látóideget.

Ezek között a sejtek között még két sejtfajta:

4. a horizontális és
5. az amakrin sejtek teremtenek párhuzamos kapcsolatot.



Retina elektronmikroszkópos képe



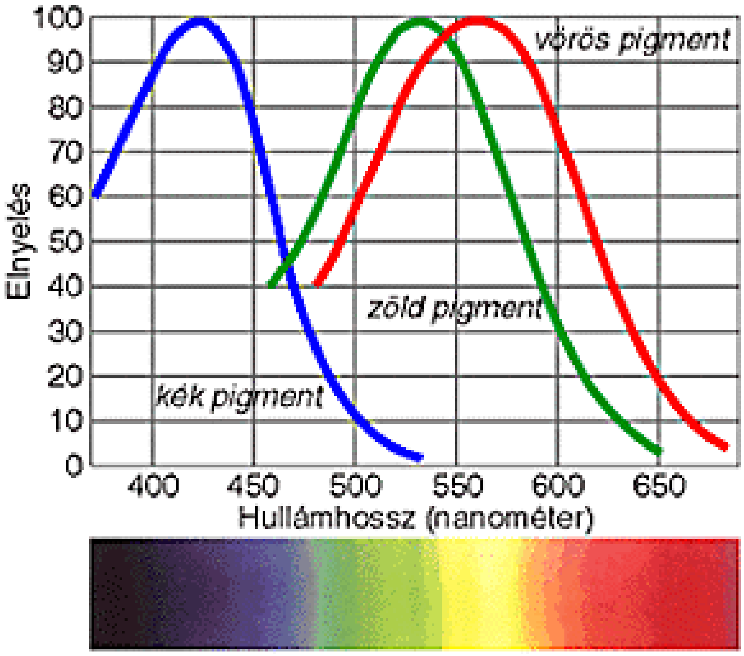
pálcika

csap

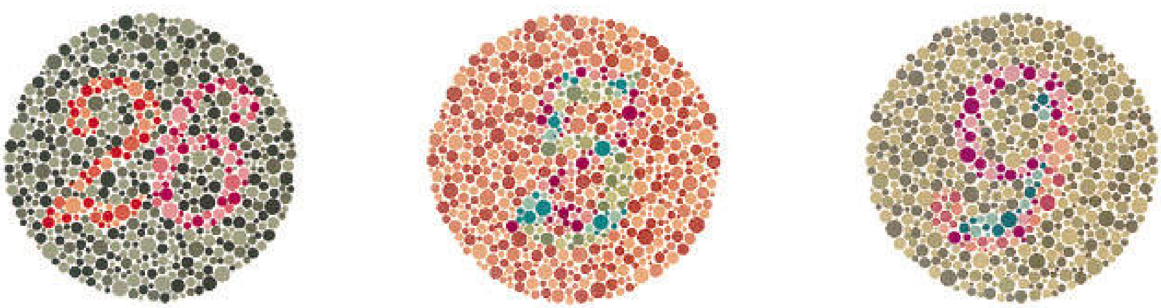
Fekete-fehér szürkületi látás érzékelése

Nappali színes látás érzékelése

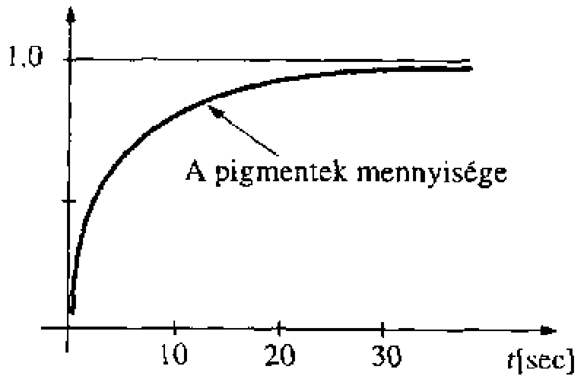
A csapok érzékenysége



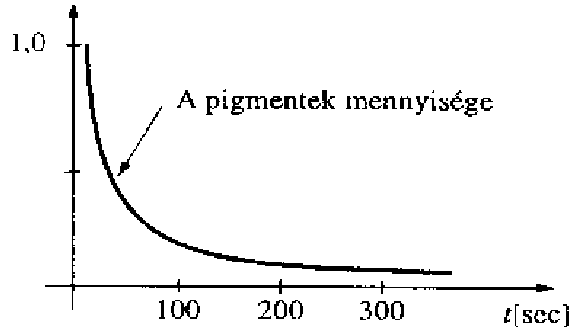
színtévesztés



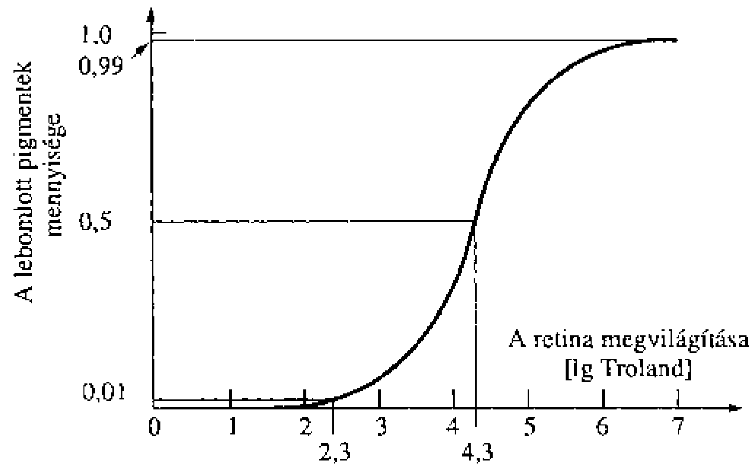
A rodopszin termelődése az idő függvényében megvilágítatlan retina esetén



A rodopszin bomlása az idő függvényében megvilágított retina esetén



A folytonos bomlás és termelődés hatására adott fényintenzitás mellett egy bizonyos idő után (dinamikus) egyensúly áll be.



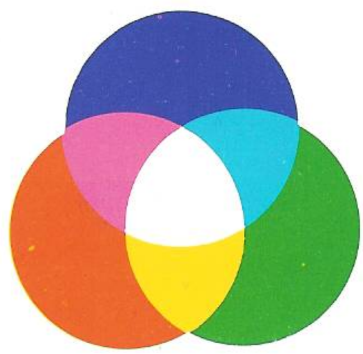
Színkeverés

Kiegészítő (komplementer) színek

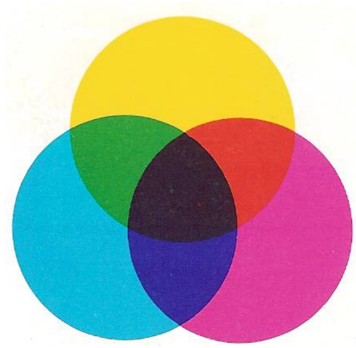
- Két szín egymás kiegészítő színe, ha együttesen fehér színt eredményeznek
- A kiegészítő egyik szemléltetési módja a színkör, ahol a kiegészítő színek egymással szemben helyezkednek el.
- A tapasztalat szerint három, a színkörön egymással 120°-os szög alatt elhelyezkedő színből tetszőleges szín kikeverhető.
- Három ilyen színt nevezzünk alapszíneknek.

A színkeverés típusai

- Összeadásos (additív)
- Kivonásos (szubtraktív)

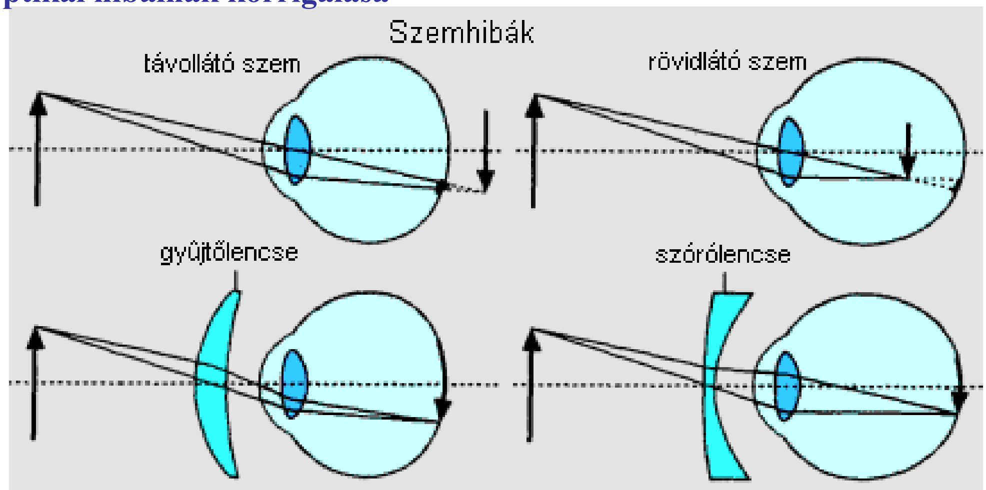


additív színkeverés



szubtraktív színkeverés

A szem optikai hibáinak korrigálása



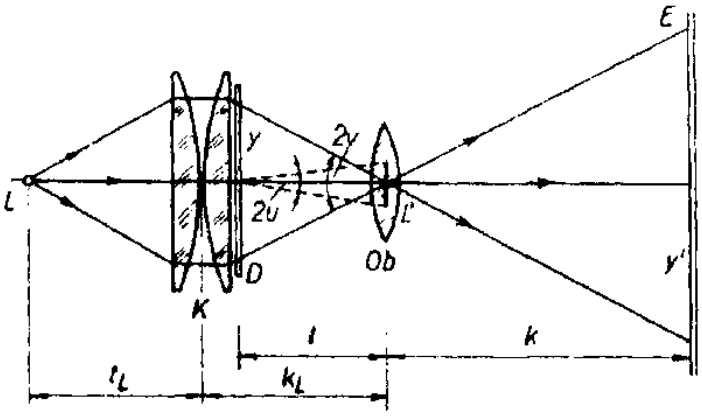
Leképezési hibák

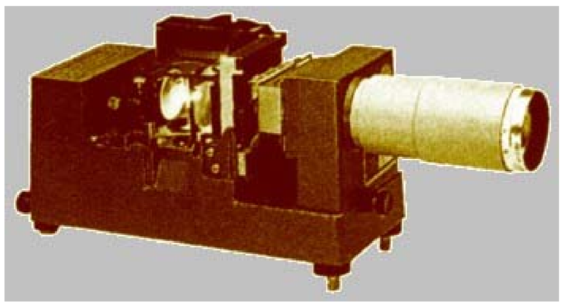
- Szférikus aberráció
- Asztigmatizmus
- Kóma (üstököshiba)

Fontosabb optikai eszközök működése I.: vetítő, fényképezőgép, nagyító

Irodalom [3]: 263-265 §

Diavetítő





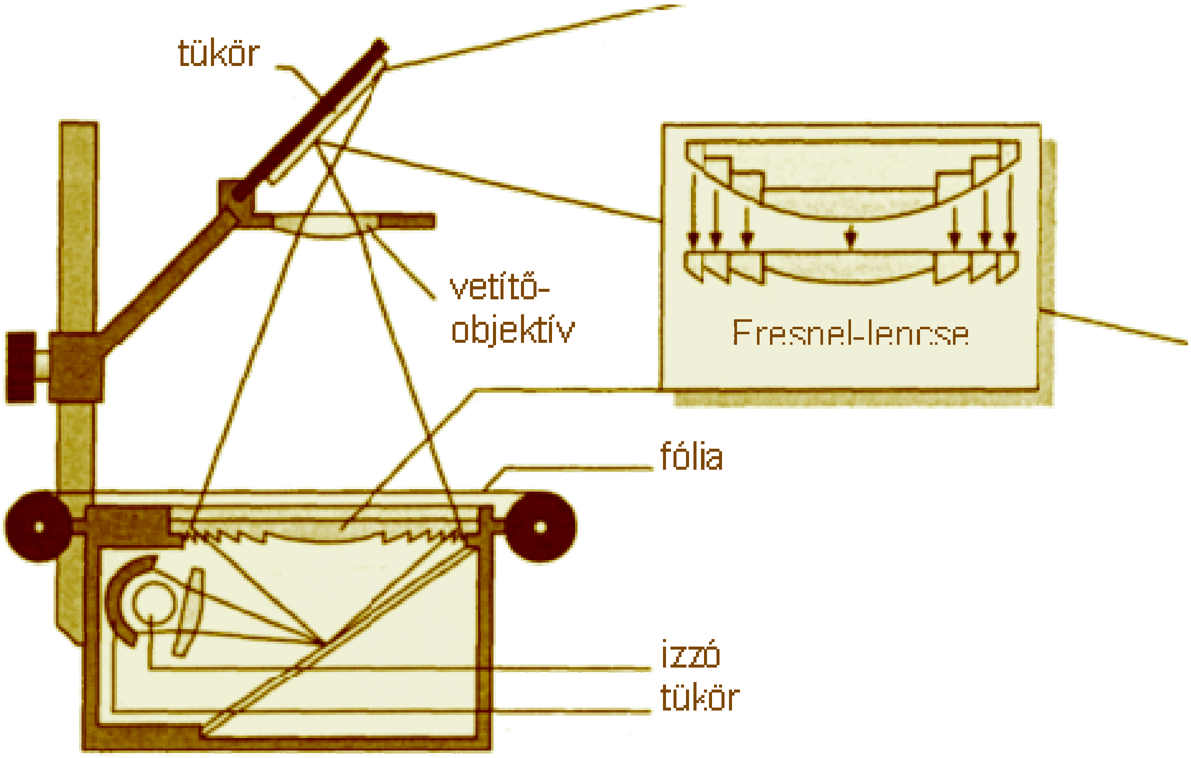
A kép az ernyőn akkor a legvilágosabb, amikor a filmet megvilágító összes fénysugár részt vesz a leképezésben:

$$\frac{1}{t_L} + \frac{1}{k_L} = \frac{1}{f_K}$$

A kép élességének feltétele:

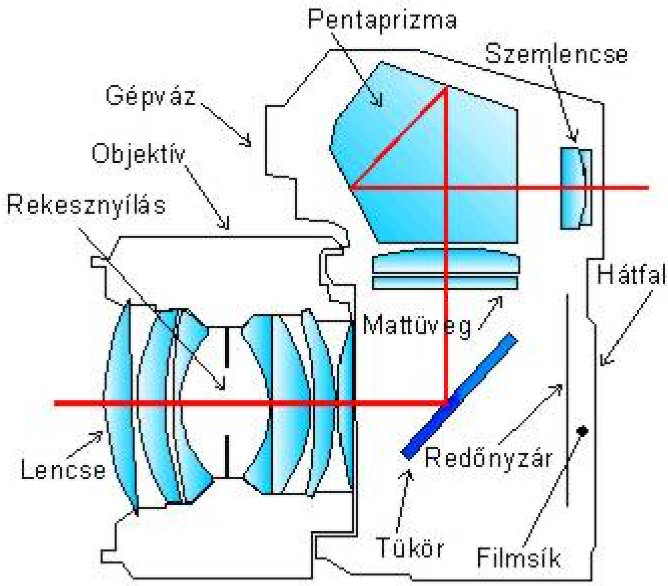
$$\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f}$$

Írásvetítő



Fényképezőgép

- Objektív fényereje (nyílásviszony): *d*/*f*
- 1: *x* alakban szokás megadni, ahol *x* a rekeszszám.
- A kép megvilágítása a fényerő négyzetével arányos:
- Ezért az expozíciós idő hozzávetőlegesen a fényerő négyzetével fordítva arányos.
- A mélységélesség a rekesz szűkítésével nő.



Egy modern digitális változat

Vizuális optikai eszközök nagyítása

Mitől függ a látott tárgyak látszólagos nagysága?

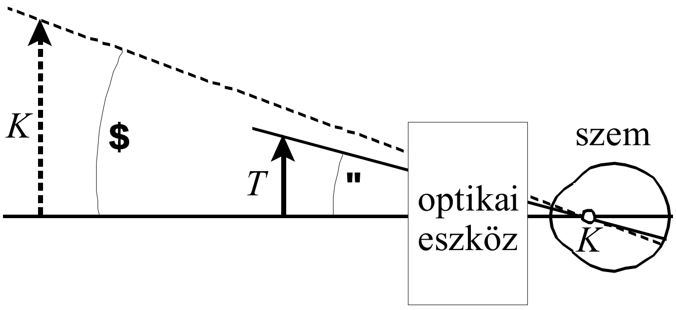
- A látszólagos nagyság nyílván attól függ, hogy a retinán mekkora kép keletkezik.
- Ezt pedig az a szög határozza meg, amekkora szög alatt látjuk a tárgyat.
- Vagyis, **a tárgyak látszólagos nagyságát a látószögük határozza meg!**

Mikor bontja fel a szemünk egy tárgy részletét?

- Szemünk akkor képes két pontot még megkülönböztetni, azaz feloldani, ha a látószögük nagyobb, mint 1 ívperc (0,3 mrad).

Hogyan növelhetjük meg a látószöget?

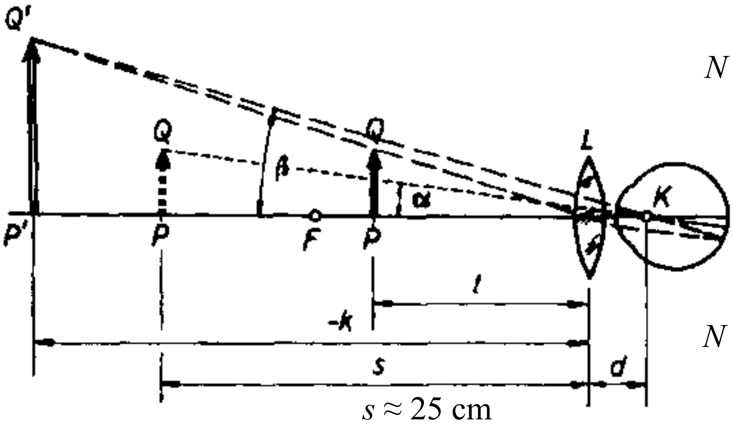
- Közelebb megyünk. A tisztalátás távolságánál (kb. 25 cm-nél) nem érdemes közelebb menni!
- Ha ez nem lehetséges távcsövet használunk.
- Ha megközelíthetjük a tárgyat, akkor is gyakran előfordul, hogy a látószög a tisztalátás távolságában is a felbontás határa alatt marad.
- Ekkor nagyítót és (vagy) mikroszkópot alkalmazhatunk a látószög növelésére.



Látószög nagyítás

$$\boxed{N = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha}}$$

Nagyító



$$N = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{\overline{P'Q'}}{-k+d}\Big/\frac{\overline{PQ}}{s+d} = \frac{\overline{P'Q'}}{\overline{PQ}}\cdot\frac{s+d}{-k+d}$$

szokásos használatánál $d = 0$

$$N = \frac{\overline{P'Q'}}{\overline{PQ}}\cdot\frac{s}{-k} = \frac{-k}{t}\cdot\frac{s}{-k} = \frac{s}{t} = s\cdot\left(\frac{1}{f} - \frac{1}{k}\right)$$

A szem akkomodációjának megfelelően a nagyító és a tárgy elhelyezésének módjai:

a) A kép a tiszta látás távolságában keletkezik: $-k = s$.

b) A kép végtelenben keletkezik: $k = \infty$.

(a) $\boxed{N = 1 + \frac{s}{f}}$ **(b)** $\boxed{N = \frac{s}{f}}$

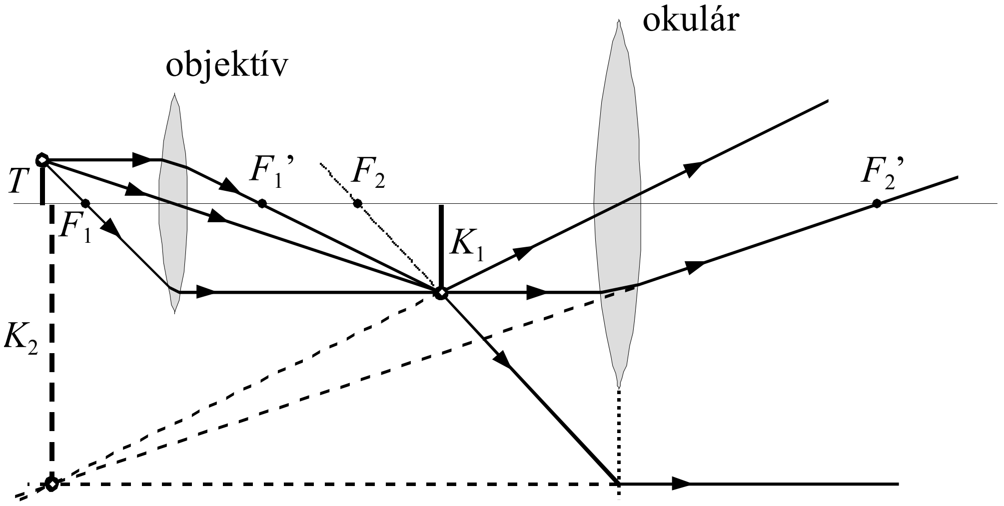
20-30 szorosnál nagyobb látószög nagyításhoz már célszerű a nagyítást több lépésben végezni. Ezt valósítja meg a mikroszkóp!

Fontosabb optikai eszközök működése II.: mikroszkópok, távcsövek

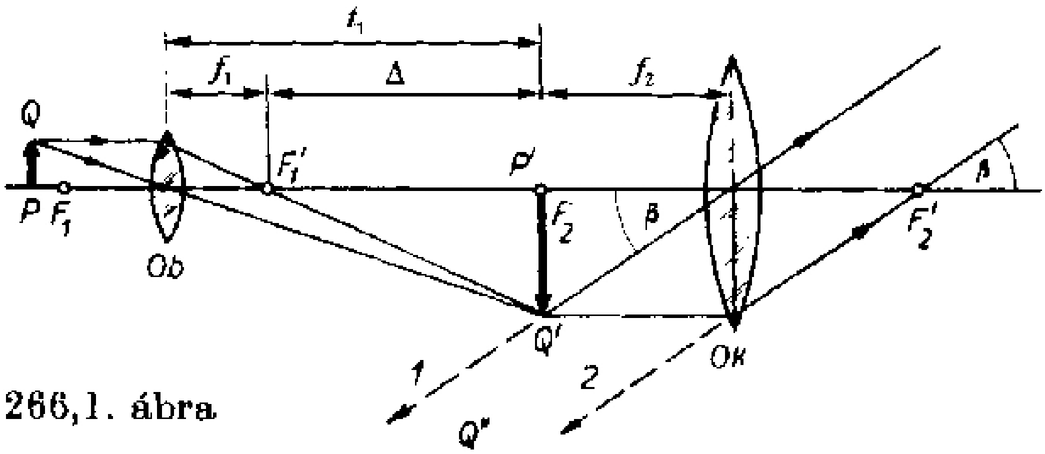
Irodalom [3]: 266-267 §

Mikroszkóp

A mikroszkóp elvi felépítése és képalkotása



A mikroszkóp látószög nagyítása



266,1. ábra

$$N = \frac{\mathrm{tg}\beta}{\mathrm{tg}\alpha} = \frac{\overline{P'Q'}/f_2}{\overline{PQ}/s} = \frac{\overline{P'Q'}}{\overline{PQ}} \cdot \frac{s}{f_2} = |N_{Ob}| \cdot \frac{s}{f_2}$$

$$\left.\begin{aligned} k_1 &= f_1 + \Delta \\ \frac{1}{f_1} &= \frac{1}{k_1} + \frac{1}{t_1} \end{aligned}\right\} \frac{k_1}{f_1} = 1 + \frac{k_1}{t_1} = \frac{f_1+\Delta}{f_1} = 1 + \frac{\Delta}{f_1}$$

$$N_{Ob} = -\frac{k_1}{t_1} = -\frac{\Delta}{f_1}$$

s a tiszta látás távolsága.

$$\boxed{N = \frac{\Delta\, s}{f_1\, f_2} = \frac{s}{f}}$$

f a mikroszkóp (mint lencse-rendszer) fókusztávolsága.

Távcsövek

- Lencsés távcsövek (refraktorok)
- Tükrös távcsövek (reflektorok)

Lencsés távcsövek

Kepler, 1611.

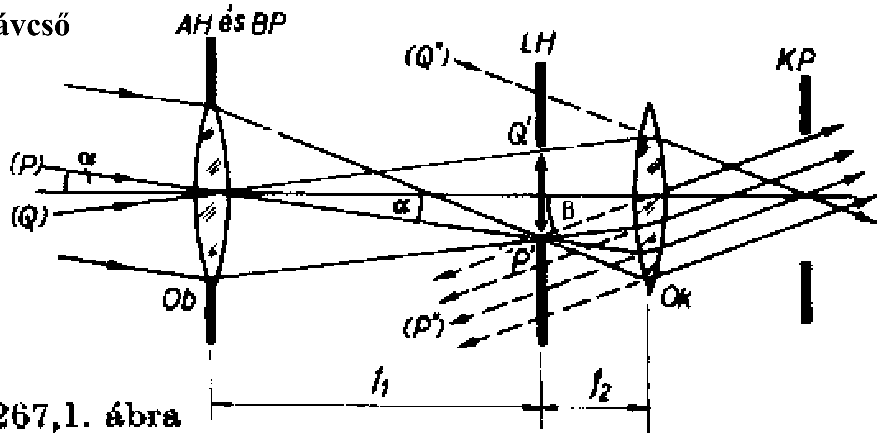
Kepler-féle (csillagászati) távcső

$$N = \frac{\operatorname{tg}\beta}{\operatorname{tg}\alpha} =$$

$$= \frac{\overline{P'Q'}/2}{f_2} \bigg/ \frac{\overline{P'Q'}/2}{f_1} =$$

$$= \frac{\overline{P'Q'}/2}{f_2} \cdot \frac{f_1}{\overline{P'Q'}/2}$$

$$\boxed{N = \frac{f_1}{f_2}}$$



267,1. ábra

$f_1 + f_2$ a távcsõ hossza

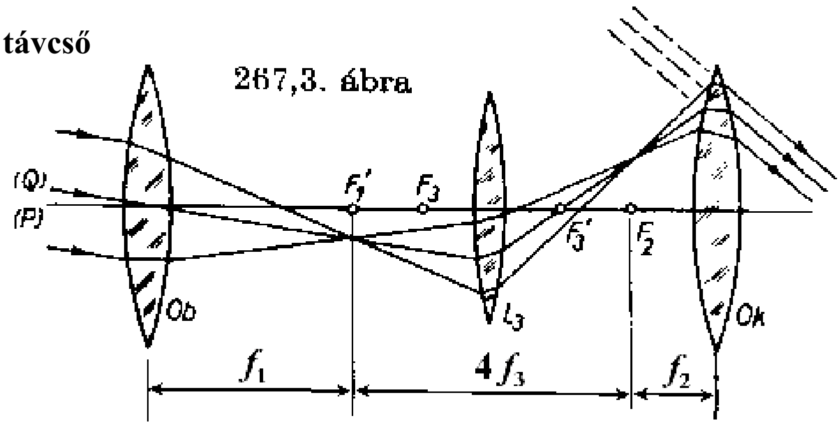
Belátható, hogy a távcső

- kiterjedt tárgy megfigyelésénél csökkenti a tárgy fényességét,
- pontszerű tárgy esetén viszont közel N^2 szeresére növekszik a megfigyelt fényesség!

A csillagászati távcső fordított képet ad, így földi használatra csak képfordítással alkalmas!

Földi távcső

Kepler, 1611.

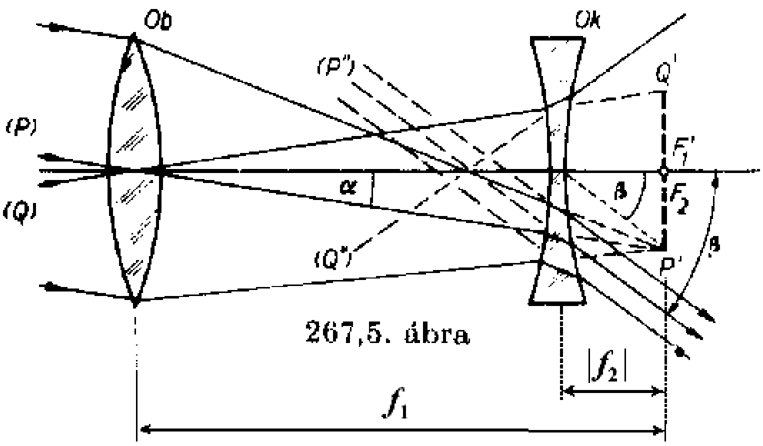


267,3. ábra

$$\boxed{N = \frac{f_1}{f_2}}$$

Galilei-féle (hollandi) távcső

Lipperhey, 1608.
Galilei, 1609.

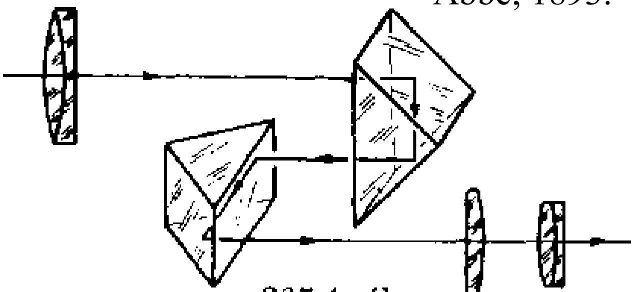


267,5. ábra

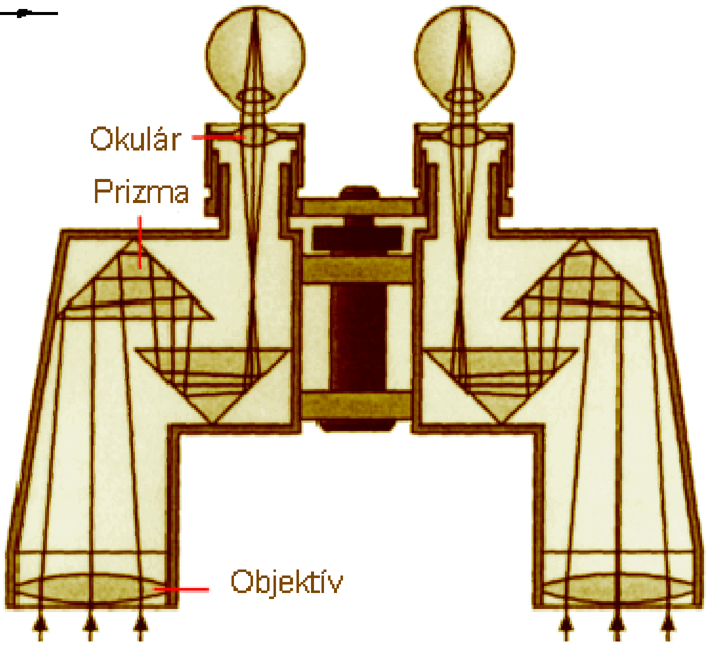
$$\boxed{N = \frac{f_1}{|f_2|}}$$

Prizmás távcső

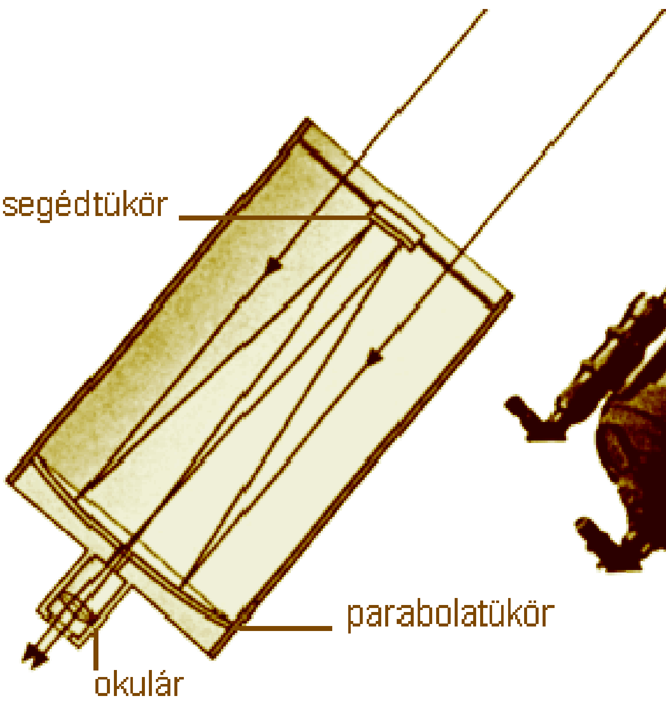
Porro, 1850.
Abbe, 1893.

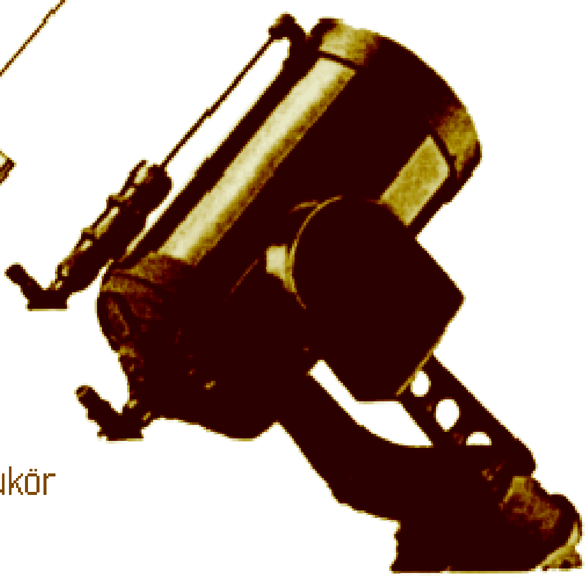


267,4. ábra



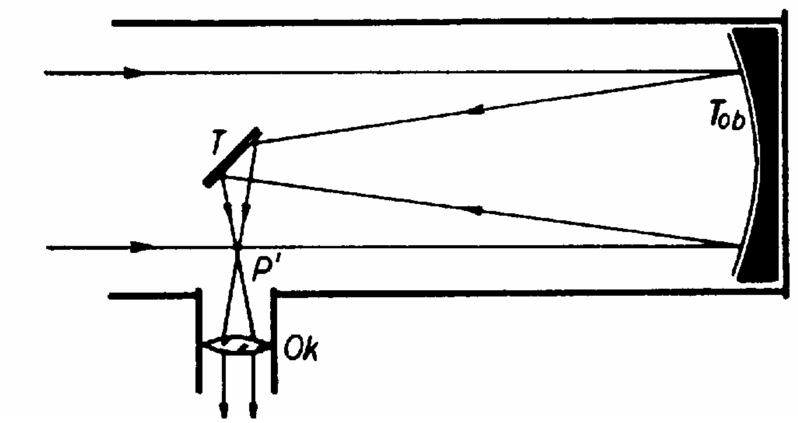
Tükrös távcsövek



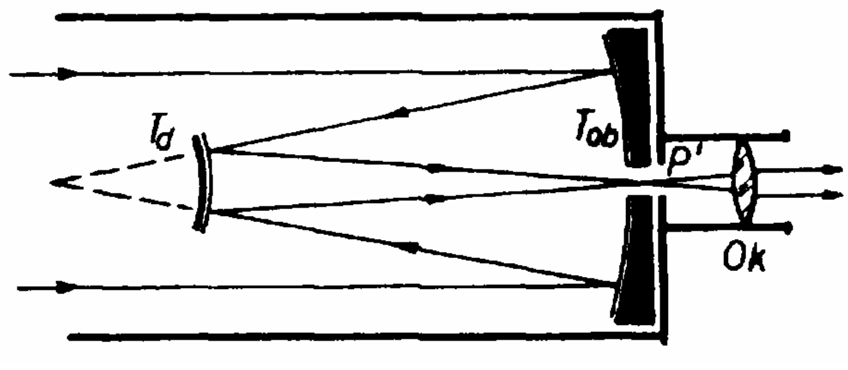


A Hubble űrtávcső tükre

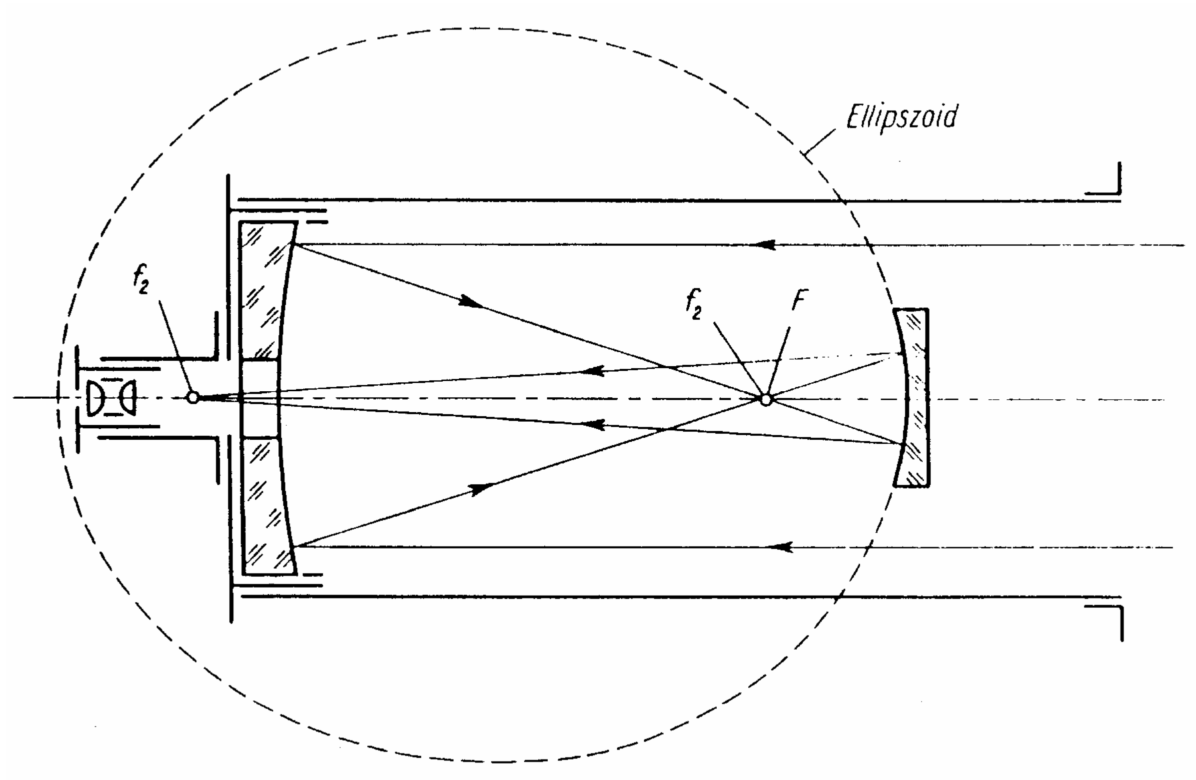
Newton-féle távcső (1671)



Cassegrain-féle elrendezés (1671)



Gregory-féle elrendezés



A tükrös távcsövek előnyei:

- mentes színi hibától.
- parabolikus tükörnél mentes a gömbi hibától (távoli tárgyakra).
- nagy átmérőnél is megfelelő minőségű tükör készíthető.

A tükrös távcsövek hátrányai:

- a főtengelytől távoli tárgyakra nagy az üstökös hiba és az asztigmatizmus,
- így éles képet csak a főtengely néhány ívperces környezetében kapunk.

A leképezési hibák csökkentésére korrekciós lemezt alkalmaznak.