

# Hullám terjedése közegben

Amikor az elektromágneses hullám valamilyen közegben terjed, akkor a vákuumbeli sebességéhez képest lelassul.

Vákuumban:  $v = c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  (ez a fény terjedési sebessége vákuumban)

Valamilyen nem ferromágneses szigetelő közegben:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu_0}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon_r \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{c}{n} \quad \rightarrow \quad n = \frac{c}{v}$$

Itt  $n$  az adott közeg abszolút törésmutatója, ami megadja, hogy hányad részére csökken le a hullám (fény) sebessége a vákuumbeli sebességhez képest.

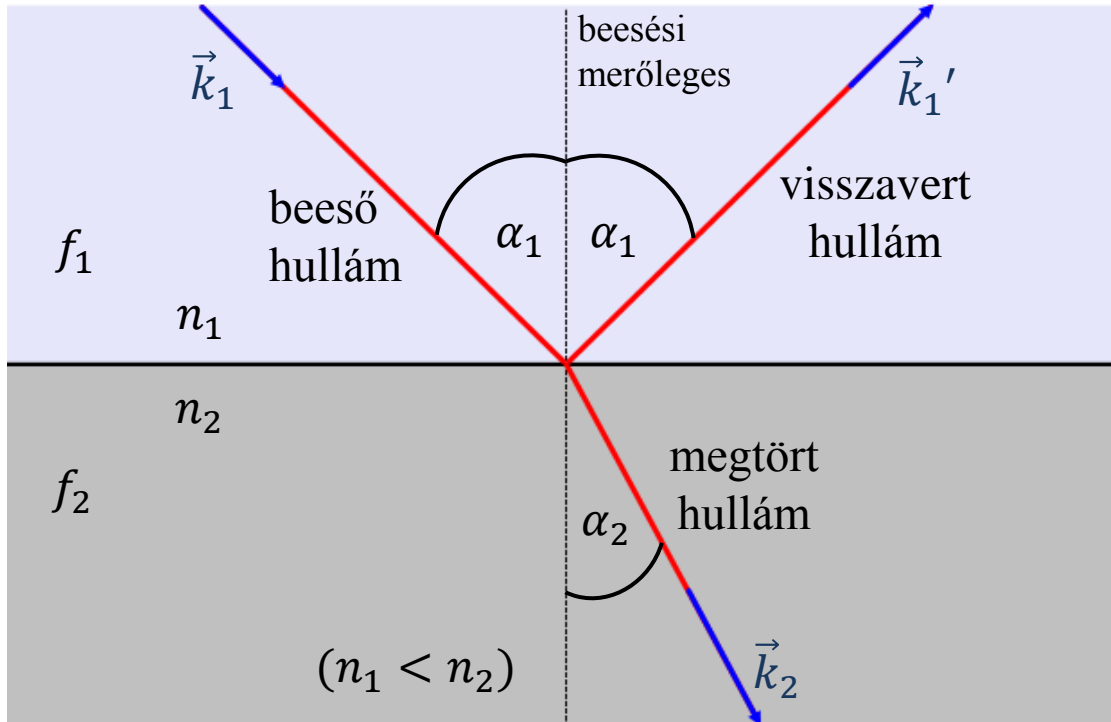
Két közeg egymásra vonatkoztatott relatív törésmutatója az abszolút törésmutatók hányadosa:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c/v_2}{c/v_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

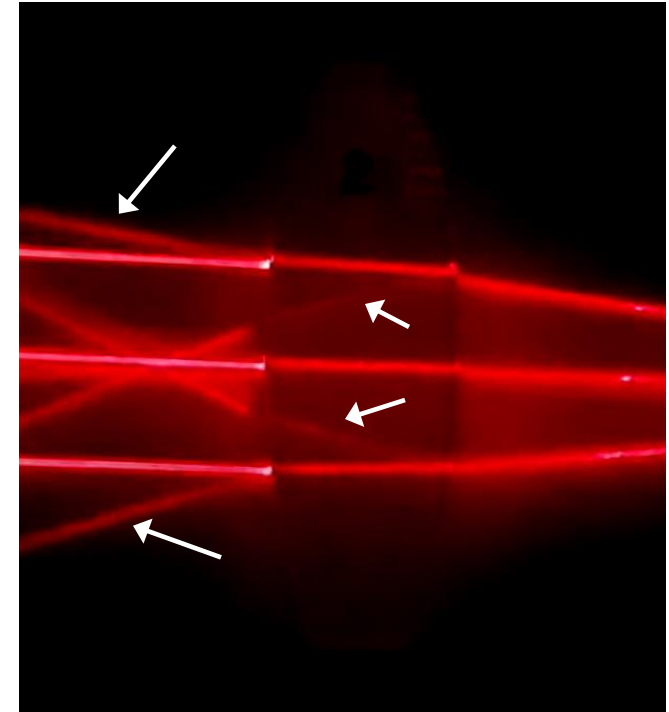
Tehát a törésmutatók hányadosára mindig írhatjuk, hogy:  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$

# Hullámok viselkedése két közeg határán

Két különböző közeg határához érve a hullám egy része mindig visszaverődik, a másik része pedig megtörve behatol a másik közegbe. Bizonyos esetekben a hullám teljes mértékben visszaverődik.



[VIDEÓ IDEKATTINTVA!](#)



A visszaverődési szög megegyezik a beesési szöggel.

A törési szög és beesési szög kapcsolatát a **Snellius-Descartes törvény** adja meg.

A hullám **frekvenciája ugyanaz** a két közegben:  $f_1 = f_2 = f$

Felhasználva, hogy minden hullám esetén:  $v = \lambda f$

A hullámhosszakra:  $\lambda_1 = v_1/f$  és  $\lambda_2 = v_2/f$

Tehát a hullámhossz optikailag sűrűbb közegben kisebb.

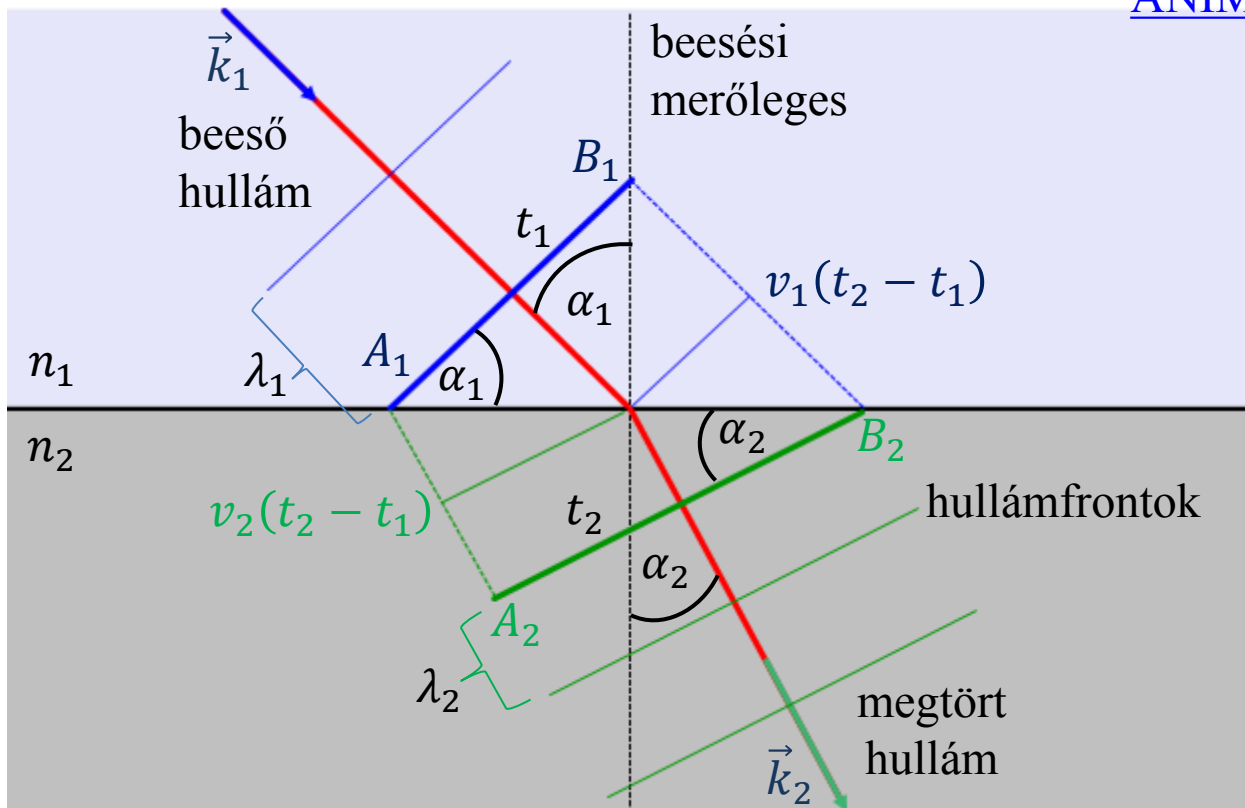
$$\rightarrow \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{v_1/f}{v_2/f} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

# Snellius-Descartes törvény

Az  $A_1B_1$  vonal jelzi a hullám fázisfelületét a  $t_1$  időpontban.

Az  $A_2B_2$  vonal jelzi a hullám fázisfelületét a  $t_2$  időpontban.

[ANIMÁCIÓ IDEKATTINTVA!](#)



$$\sin \alpha_1 = \frac{v_1(t_2 - t_1)}{A_1B_2}$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{v_2(t_2 - t_1)}{A_1B_2}$$

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

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

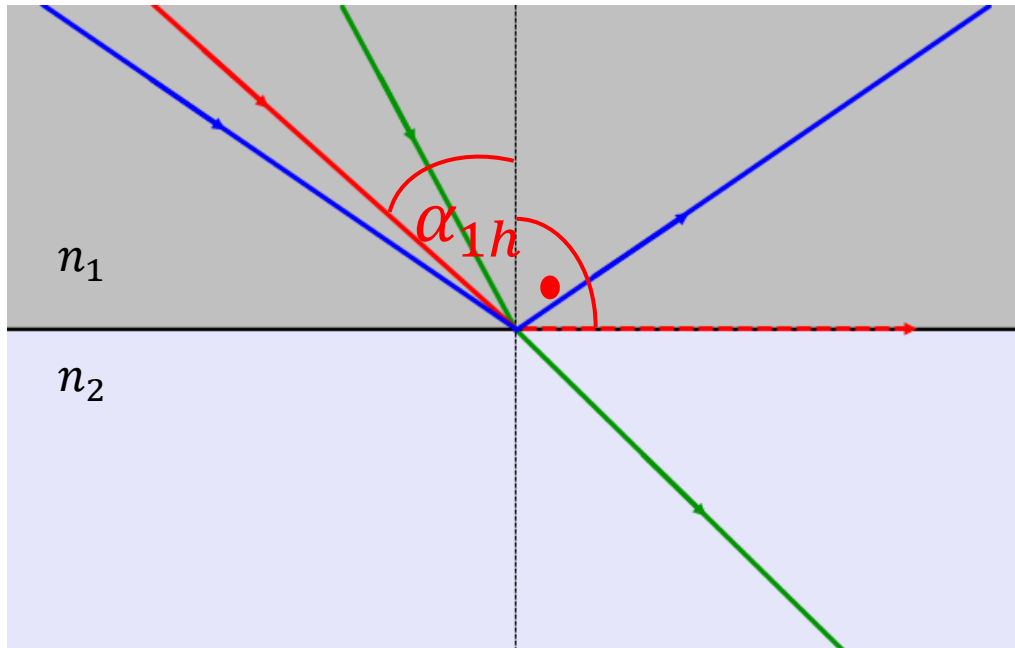
Ha a hullám optikailag sűrűbb közegbe érkezik, akkor a törési szög kisebb, mint a beesési szög.

Ha a hullám optikailag ritkább közegbe érkezik, akkor a törési szög nagyobb, mint a beesési szög.

# Teljes visszaverődés

Amikor a hullám optikailag sűrűbb közegből lép át optikailag ritkább közegbe ( $n_1 > n_2$ ), akkor az  $\alpha_1$  beesési szöget növelve a törési szög egyre jobban megközelíti a derékszöget, a megtört hullám intenzitása pedig egyre csökken.

Amikor a beesési szög meghaladja az  $\alpha_1$  határszöget, teljes visszaverődés áll fent.

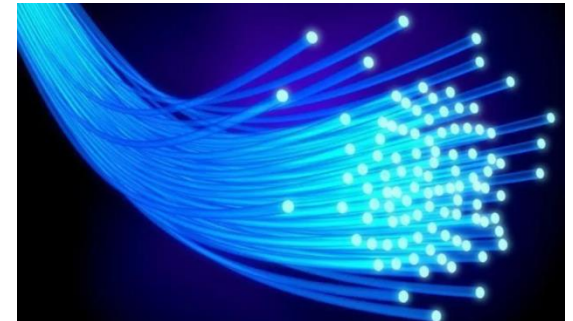


A határszögre:

$$n_1 \sin \alpha_{1h} = n_2 \sin 90^\circ$$

$$\sin \alpha_{1h} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

Ezt a jelenséget optikai szálakban hasznosítják.



[VIDEÓ IDEKATTINTVA!](#)

# Geometriai optika

Egy átlátszatlan test nyílásából indulva a fény egyenesekkel határolt **fénynyaláb** formájában terjed. A minden határon túl elvékonyodott fénynyalábot **fénysugár**nak nevezük, és egy irányított egyenesnek fogjuk fel.

A **geometriai optika** keretében erre a fénysugárra használunk egyszerű matematikai és geometriai módszereket.

Homogén közegben a fény **egyenes vonalban** terjed.

Két közeg határfelületén a beeső fény egy része **visszaverődik**, másik része  **megtörik** és behatol a másik közegbe.

A fényvisszaverődés törvényei:

- a beeső fénysugár, a beesési merőleges, a visszavert fénysugár egy síkban vannak
- a beesési szög egyenlő a visszaverődési szöggel

A fénytörés törvényei:

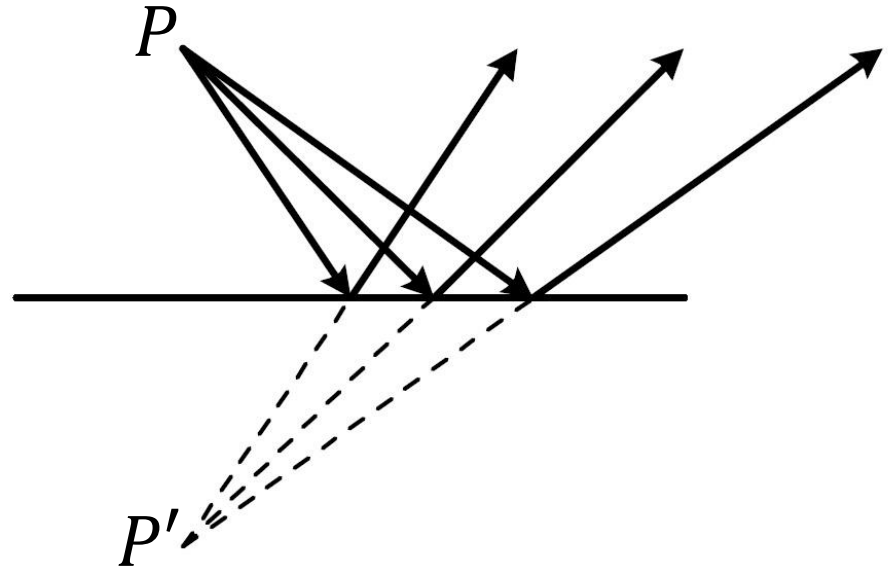
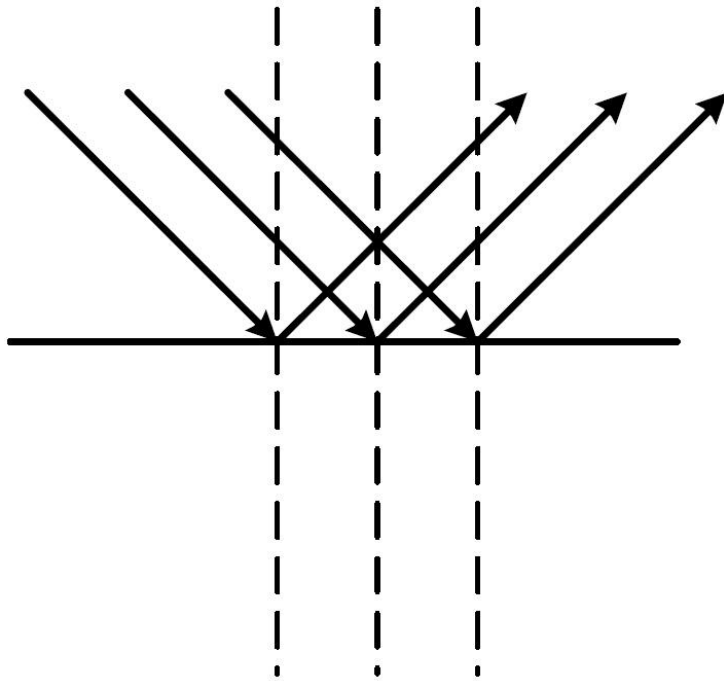
- a beeső fénysugár, a beesési merőleges, a megtört fénysugár egy síkban vannak
- a beesési szög és a törési szög kapcsolatát a Snellius-Descartes törvény adja meg:

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

# Visszaverődés sík határfelületen (síktükör)

A párhuzamos fénysugarak párhuzamosan verődnek vissza.

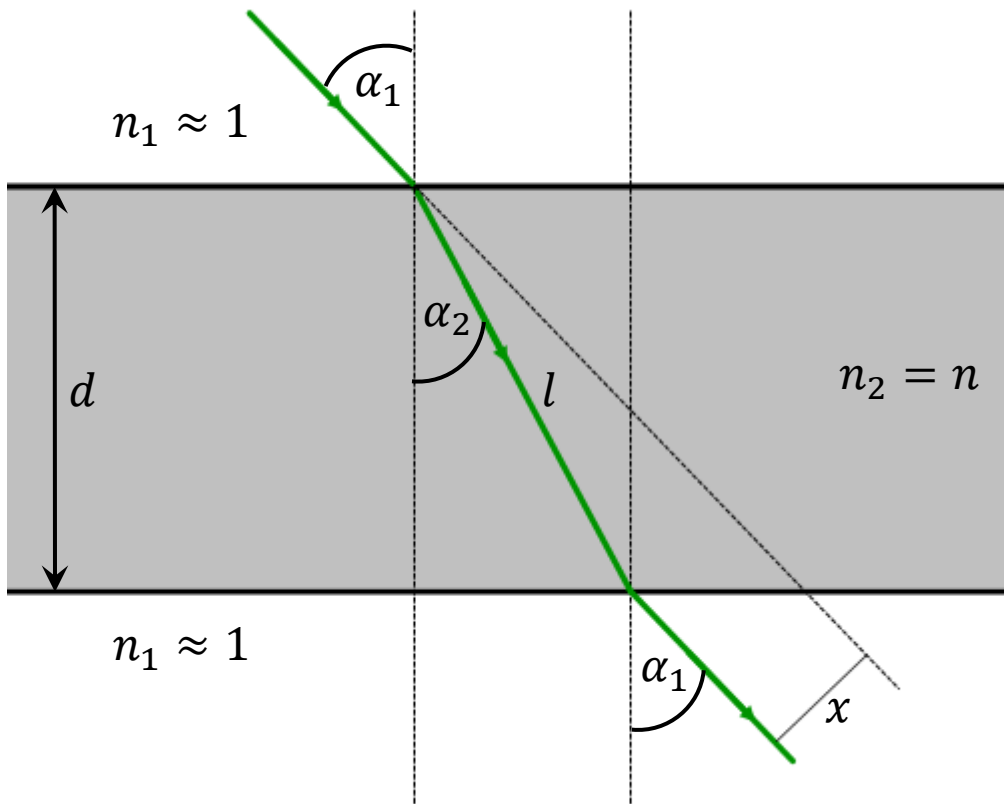
A széttartó vagy összetartó fénysugarak visszaverődés után is széttartóak, összetartóak.



A  $P$  pontszerű forrásból induló széttartó fénysugarakat visszafelé meghosszabbítva az egyenesek a  $P'$  pontban találkoznak. Ez a  $P$  fényforrás **látszólagos** képe.

# Áthaladás plánparalel lemezen

A  $d$  vastagságú plánparalel lemezen való áthaladás és két törés után a fénysugár az eredeti irányban halad tovább egy  $x$  távolsággal eltolva.



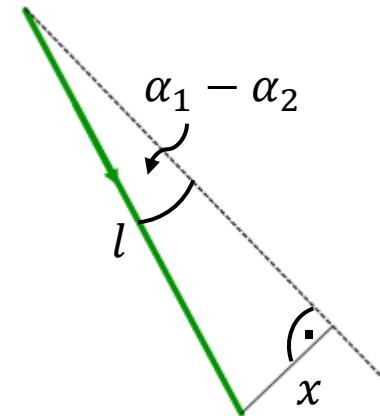
Snellius-Descartes törvény:

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

$$\sin \alpha_1 = n \sin \alpha_2$$

A lemezben megtett  $l$  távolság:

$$l = \frac{d}{\cos \alpha_2}$$

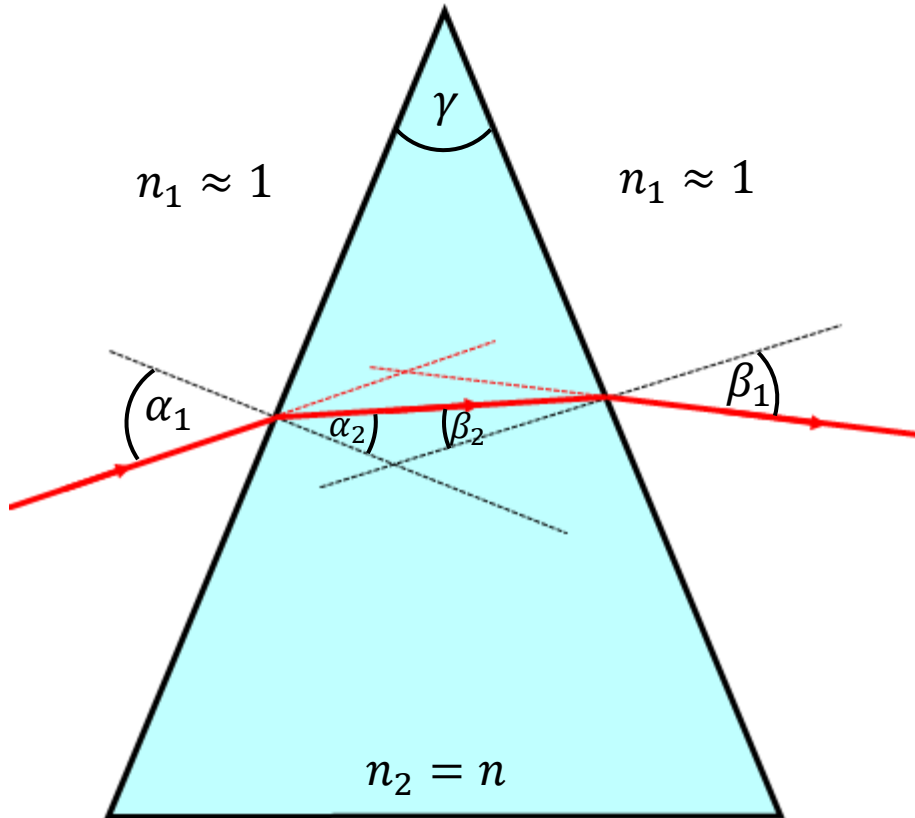


$$x = l \sin(\alpha_1 - \alpha_2)$$

# Fénytörés prizmában

A prizmán a fénysugár ugyancsak kétszer megtörve halad át.

A  $\gamma$  szöget a prizma törőszögének nevezik.



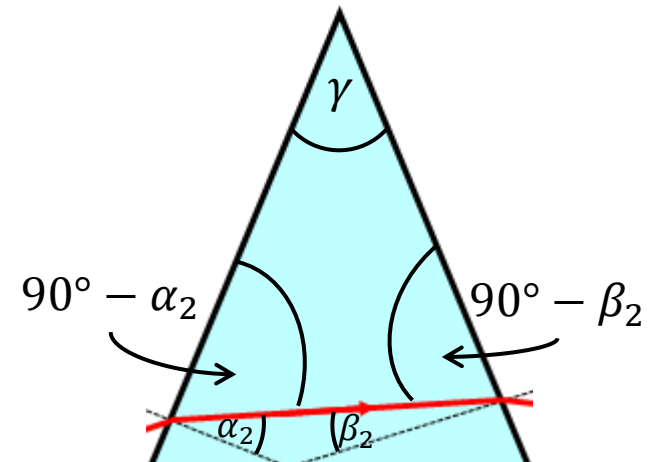
Snellius-Descartes törvény:

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

$$\sin \alpha_1 = n \sin \alpha_2$$

$$n_2 \sin \beta_2 = n_1 \sin \beta_1$$

$$n \sin \beta_2 = \sin \beta_1$$



A háromszög szögeire:

$$90^\circ - \alpha_2 + 90^\circ - \beta_2 + \gamma = 180^\circ$$

$$\gamma = \alpha_2 + \beta_2$$



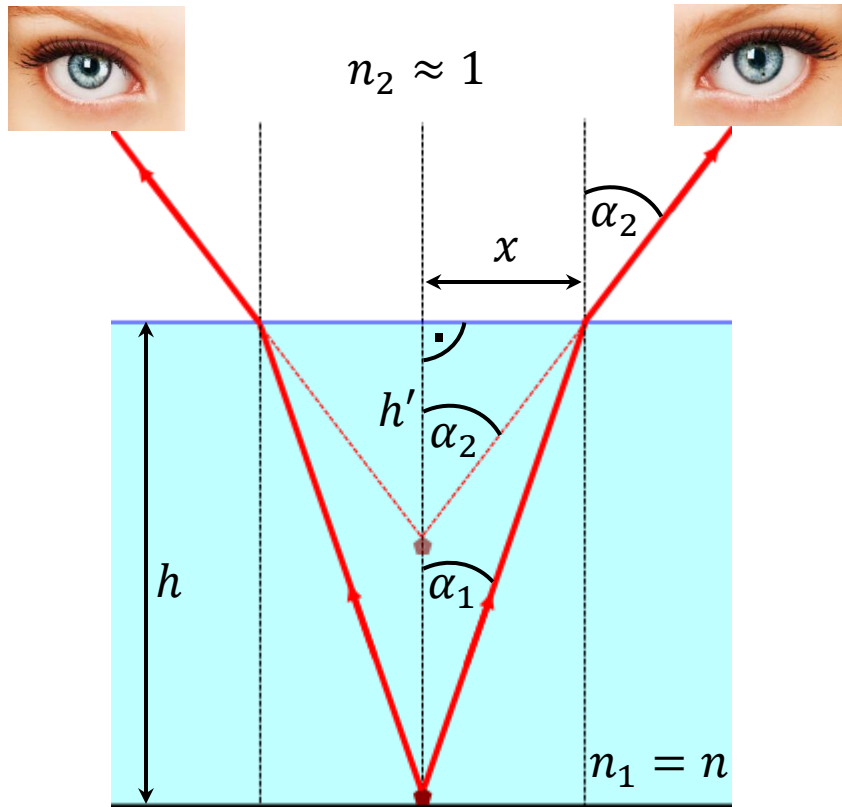
# Látszólagos mélység

Ha egy tó fenekén függőlegesen lefelé tekintve megfigyelünk egy követ, hogy az alapján megbecsüljük a tó mélységét, akkor az a valódi mélységnél **kiseb**nek tűnik.

A **nagyon kicsi** szögben kiinduló fénysugarakat felhasználva:

$$\sin \alpha_1 \approx \text{tg } \alpha_1 \approx \alpha_1$$

$$\sin \alpha_2 \approx \text{tg } \alpha_2 \approx \alpha_2$$



Snellius-Descartes törvény:

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

$$n_1 \alpha_1 = n_2 \alpha_2$$

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{n}$$

A két derékszögű háromszög alapján:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{x}{h} = \text{tg } \alpha_1 \approx \alpha_1 \\ \frac{x}{h'} = \text{tg } \alpha_2 \approx \alpha_2 \end{array} \right\} \frac{1/h}{1/h'} = \frac{h'}{h} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2}$$

A két eredményt összevetve:

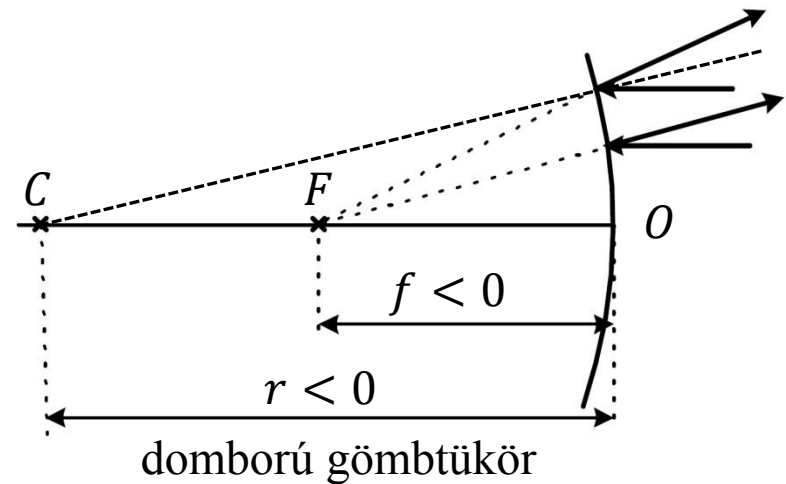
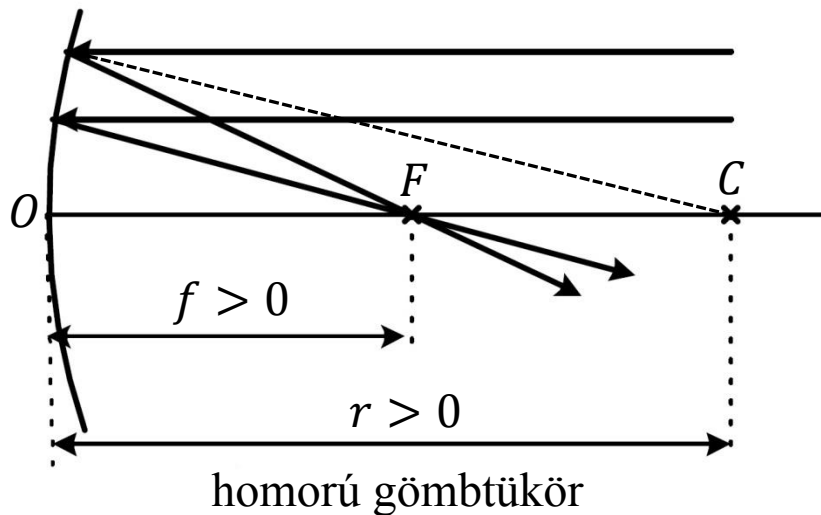
$$\frac{h'}{h} = \frac{1}{n} \rightarrow h' = \frac{h}{n}$$

víz esetén:  
 $n = 1,333$

# Fény visszaverődése gömbtükrőről

A **homorú gömbtükör** a ráeső **párhuzamos** fénysugarakat **összetartóvá**, a **domború gömbtükör** pedig **széttartóvá** teszi.

A beesési merőlegeseket a kör  $C$  középpontjából kell húzni.



A sugarak, illetve a meghosszabbításaik az  $F$  fókuszban találkoznak.

A fénysugarak az **optikai tengely**hez nagyon közel vannak, így a szögek is kicsik.

A gömbtükör nyílásszöge ennek megfelelően szintén kicsi.

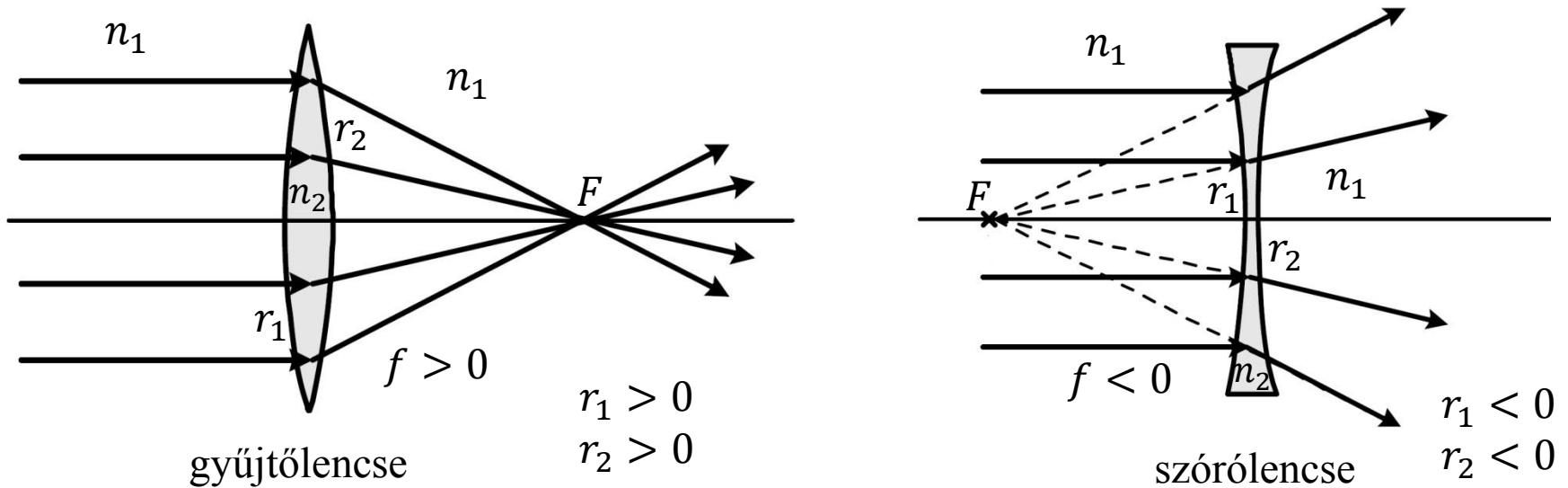
A domború gömbtükrőnél virtuális fókuszról beszélünk, ugyanis maguk a sugarak nem találkoznak egy pontban:  $f < 0$

Gömbtükrök fókusztávolsága:  $f = \frac{r}{2}$

[IDEKATTINTVA:](#)  
[BIZONYÍTÁS ÉS PÉLDÁK A VIDEÓN!](#)

# Fény törése vékony lencsékben

A **gyűjtőlencse** a ráeső **párhuzamos** fénysugarakat **összetartó**vá, a **szórólencse** pedig **széttartó**vá teszi.



A sugarak, illetve a meghosszabbításaik az  $F$  fókuszban találkoznak.

A fénysugarak az **optikai tengely**hez nagyon közel vannak, így a szögek is kicsik.

A lencse nagyon vékony, így a fénysugarak eltolódása elhanyagolható.

A szórólencsénél virtuális fókuszról beszélünk, ugyanis maguk a sugarak nem találkoznak egy pontban:  $f < 0$

Lencsék fókusztávolsága: 
$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_2}{n_1} - 1 \right) \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)$$

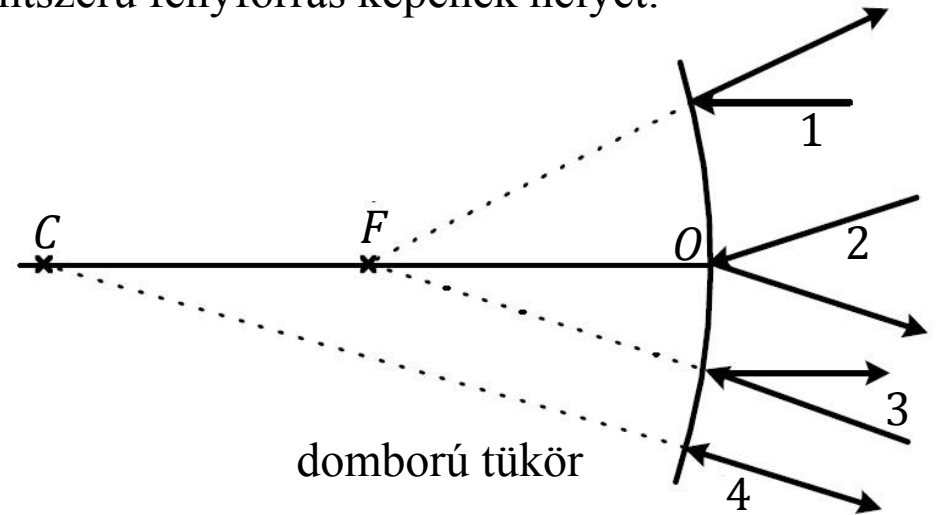
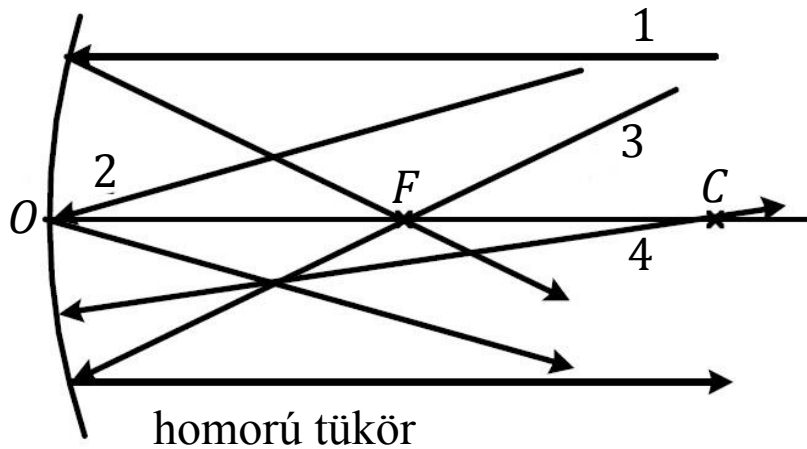
Dioptria: 
$$D = \frac{1}{f}$$

[IDEKATTINTVA BIZONYÍTÁS ÉS PÉLDÁK A VIDEÓN!](#)

(az  $f$  méterben!)

# Jellegzetes fénysugarak - gömbtükrök

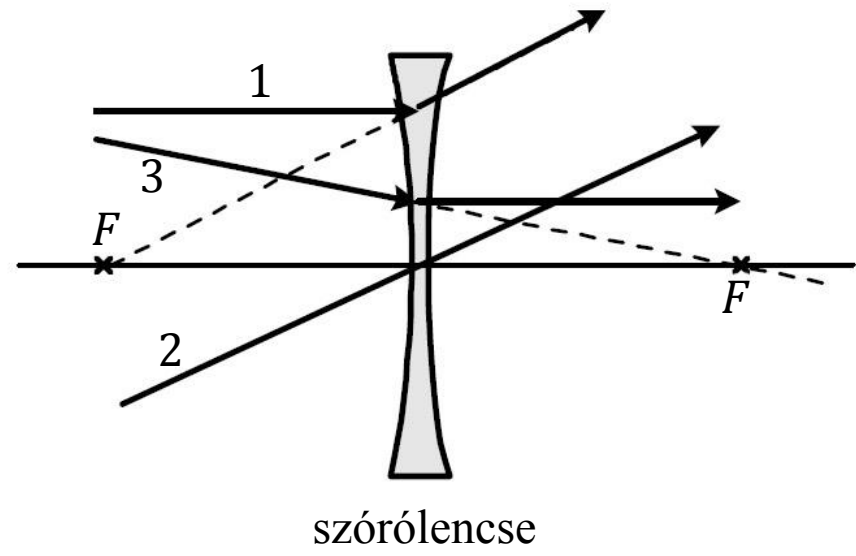
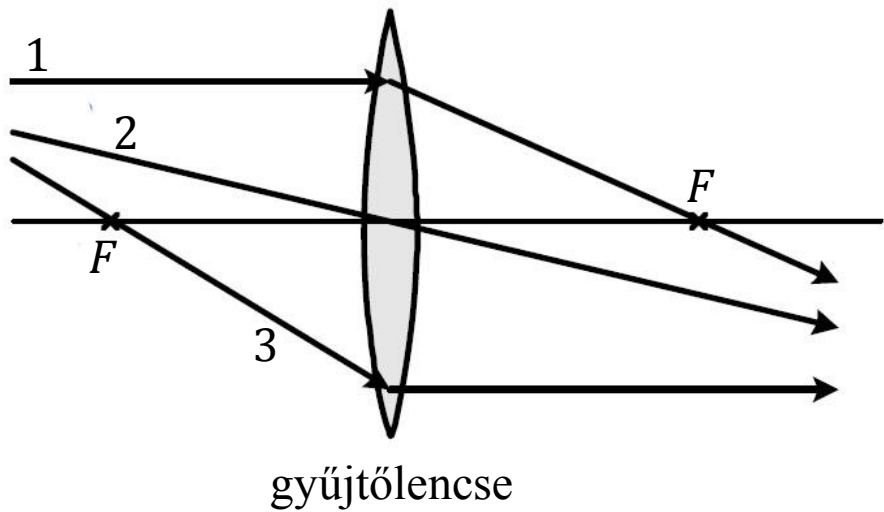
A kialakuló kép megszerkesztéséhez fel lehet használni néhány jellegzetes fénysugarat, amelyek metszéspontja megadja az adott pontszerű fényforrás képének helyét.



- 1: Az optikai tengellyel párhuzamos sugarak a fókuszon keresztül verődnek vissza. Domború tükörnél a sugaraknak a tükör mögötti meghosszabbításai mennek át a fókuszon.
- 2: Az optikai középpontba futó sugarak a visszaverődésük után ugyanakkora szöget zárnak be az optikai tengellyel, mint a beeséskor.
- 3: A fókuszponton áthaladó sugarak az optikai tengellyel párhuzamosan verődnek vissza. Domború tükörnél az olyan sugarak verődnek vissza az optikai tengellyel párhuzamosan, amelyek tükör mögötti meghosszabbításai átmennek a fókuszon.
- 4: A geometriai középponton átmenő sugarak önmagukban verődnek vissza. Domború tükörnél azok a sugarak verődnek önmagukban vissza, amelyeknek a tükör mögötti meghosszabbításai átmennek a geometriai középponton.

# Jellegzetes fénysugarak - lencsék

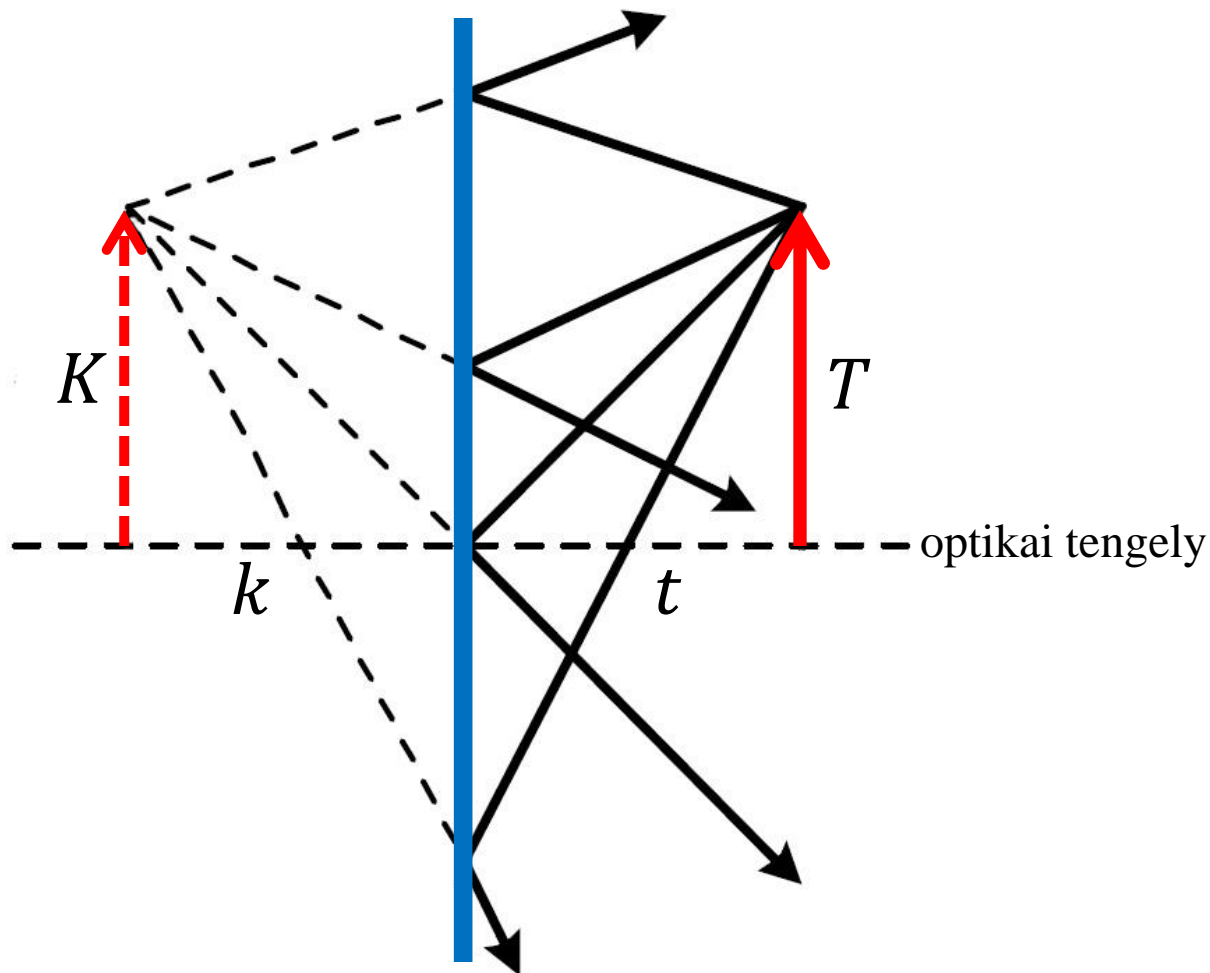
A kialakuló kép megszerkesztéséhez fel lehet használni néhány jellegzetes fénysugarat, amelyek metszéspontja megadja az adott pontszerű fényforrás képének helyét.



- 1: Az optikai tengellyel párhuzamos sugarak a fókuszon keresztül haladva törnek meg. Szórólencsénél a sugaraknak a visszafelé meghosszabbításai mennek át a fókuszon.
- 2: Az optikai tengelyre érkező sugarak egyenesen haladnak tovább.
- 3: A fókuszponton áthaladó sugarak az optikai tengellyel párhuzamosan haladnak a törés után. Szórólencsénél az olyan sugarak haladnak a törés után az optikai tengellyel párhuzamosan, amelyek meghosszabbításai mennek át a fókuszon.

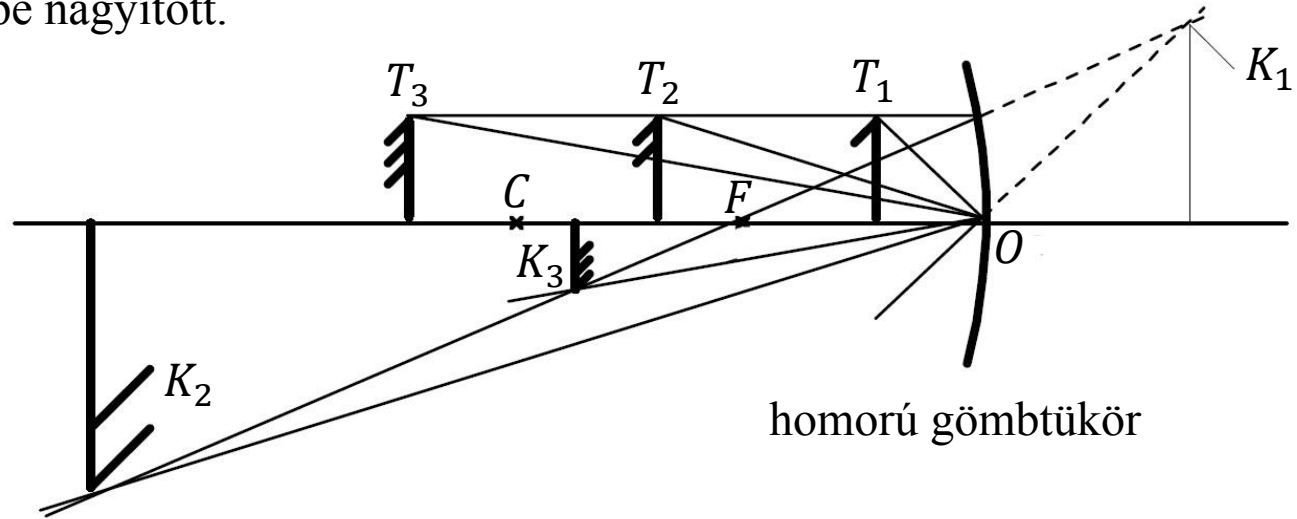
# Optikai leképezés síktükörrel

A síktükör tökéletesen pontszerű és torzításmentes leképezést biztosít. A létrejött virtuális, egyenes állású kép és a tárgy, a tükör síkjára szimmetrikus.

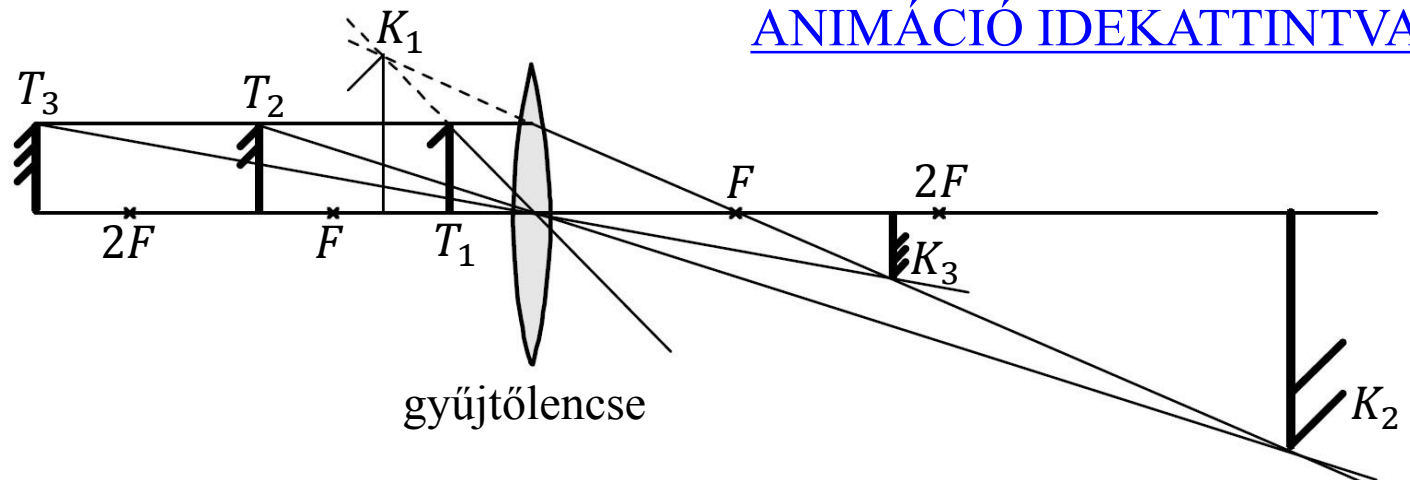


# Homorú gömbtükrő és gyűjtőlencse képalkotása

A fókuszon kívül elhelyezett tárgyról valódi, a fókuszon belül levő tárgyról pedig virtuális kép keletkezik. A valódi kép fordított, a virtuális kép egyenes állású. A geometriai középponton, illetve a kétszeres fókusztavon kívül elhelyezett tárgy képe kicsinyített, az azon belül elhelyezett tárgy képe nagyított.

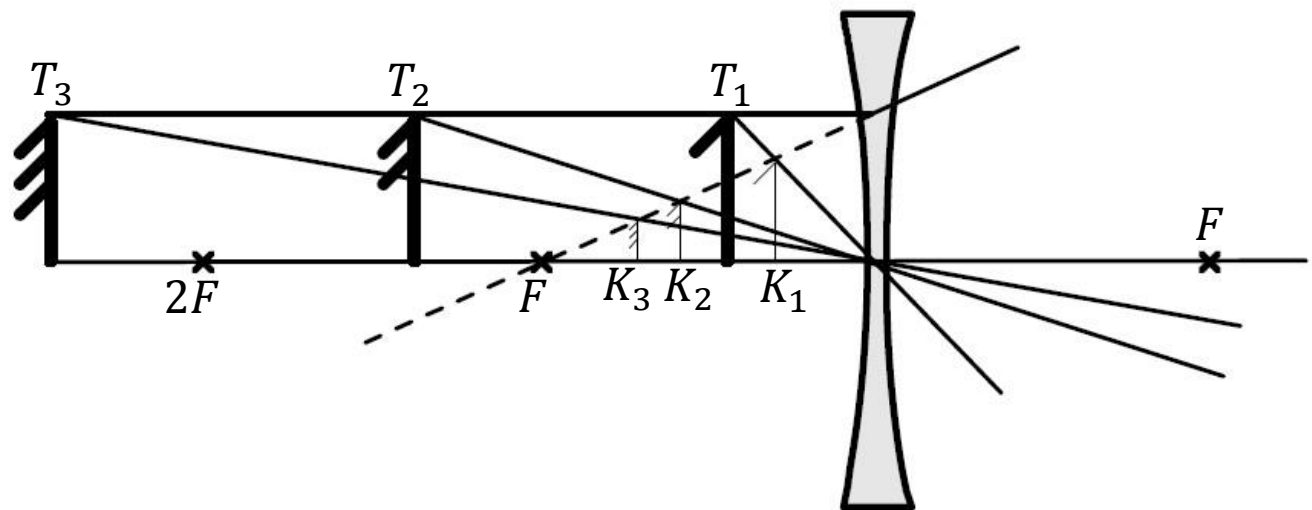
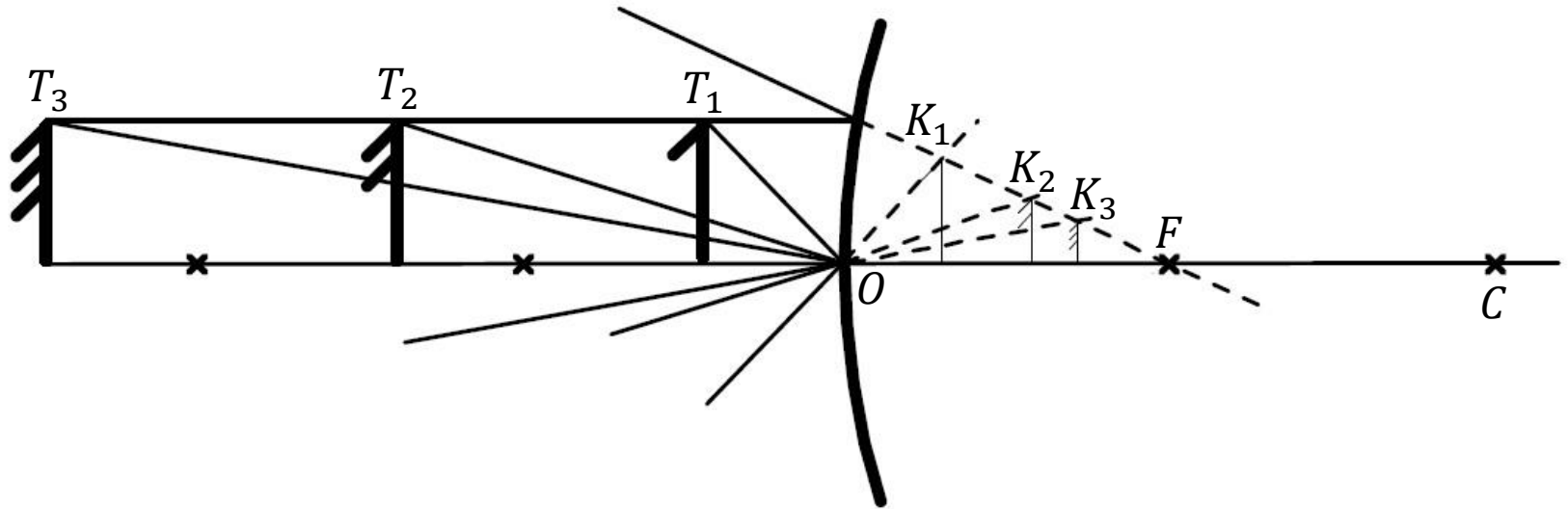


[ANIMÁCIÓ IDEKATTINTVA!](#)



# Domború gömbtükör és szórólencse képalkotása

A domború gömbtükör és a szórólencse minden esetben virtuális, kicsinyített és egyenes állású képet alkot.





# Képzőeszközökre vonatkozó törvények

A kis nyílásszögű gömbtükrök és a vékony lencsék leképezési törvénye a leképező eszköztől mért tárgy- és képtávolság, valamint a fókusz távolság közötti összefüggést adja meg:

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

$$\frac{1}{f} = \sum \frac{1}{f_i} \quad D = \sum D_i$$

több lencse esetén

A nagyítás a kép és a tárgy méreteinek arányát adja meg:

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

egyenes állású képnél  $N > 0$ , mert  $K > 0$   
fordított állású képnél  $N < 0$ , mert  $K < 0$

A hasonló háromszögek felhasználásával a nagyítás szintén kifejezhető a tárgy- és képtávolsággal:

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

## Előjel konvenciók:

- az  $r$  és  $f$  pozitív, ha a tükör homorú és negatív, ha a tükör domború.
- a  $t$  pozitív, ha a tükörhöz vagy lencséhez érkező sugarak széttartanak (valódi tárgy) és negatív, ha összetartanak (látszólagos tárgy).
- a  $k$  pozitív, ha a kép valódi és negatív, ha a kép látszólagos.
- vékony lencsénél az  $r$  pozitív, ha a gömbfelület kívülről nézve domború és negatív, ha kívülről nézve homorú.
- síkfelület esetén a görbületi sugár végtelen.
- gyűjtőlencsék fókusz távolsága pozitív, szórólencséké negatív.

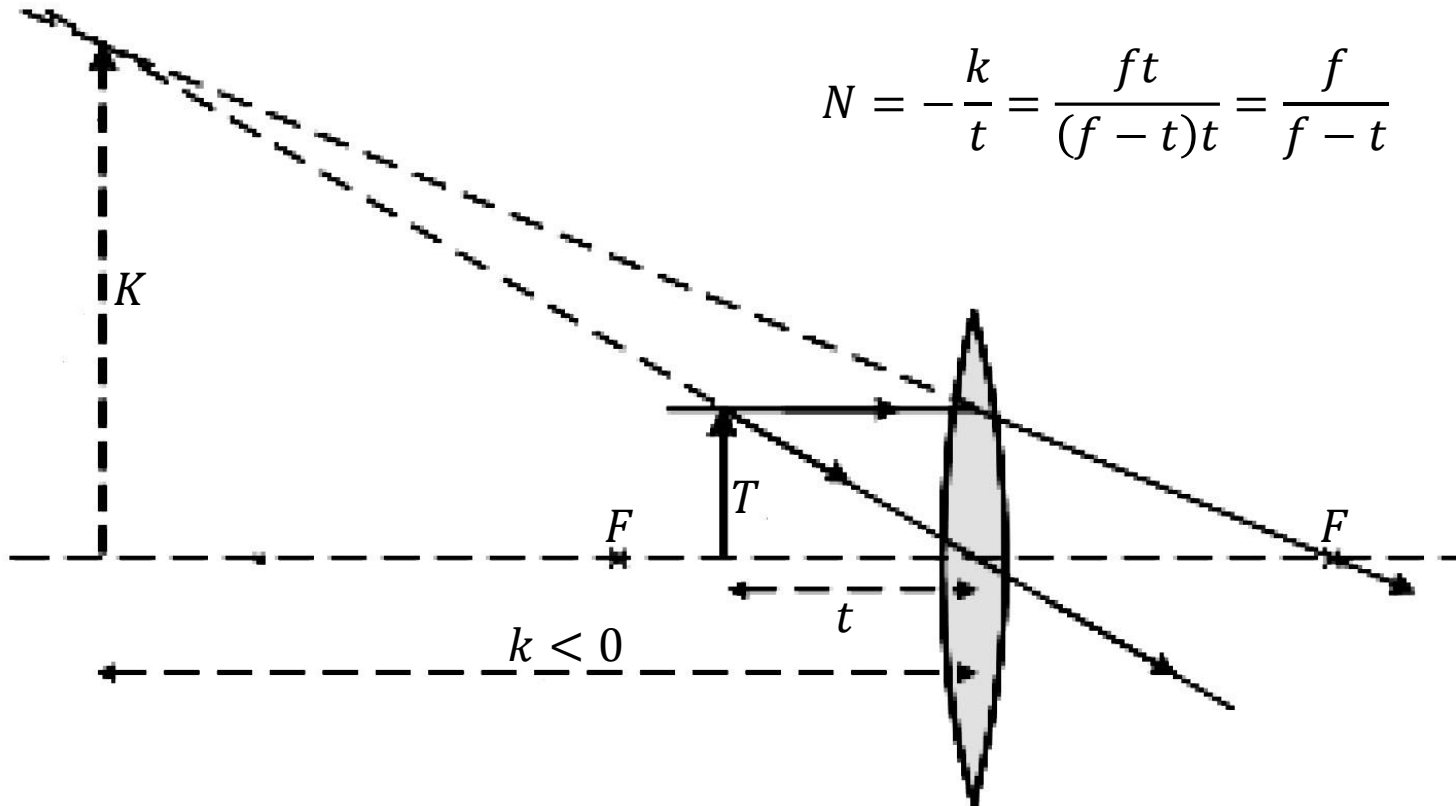
# Egyszerű nagyító

A gyűjtőlencse a fókuszpontján belül elhelyezkedő tárgyról látszólagos nagyított képet alkot.

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

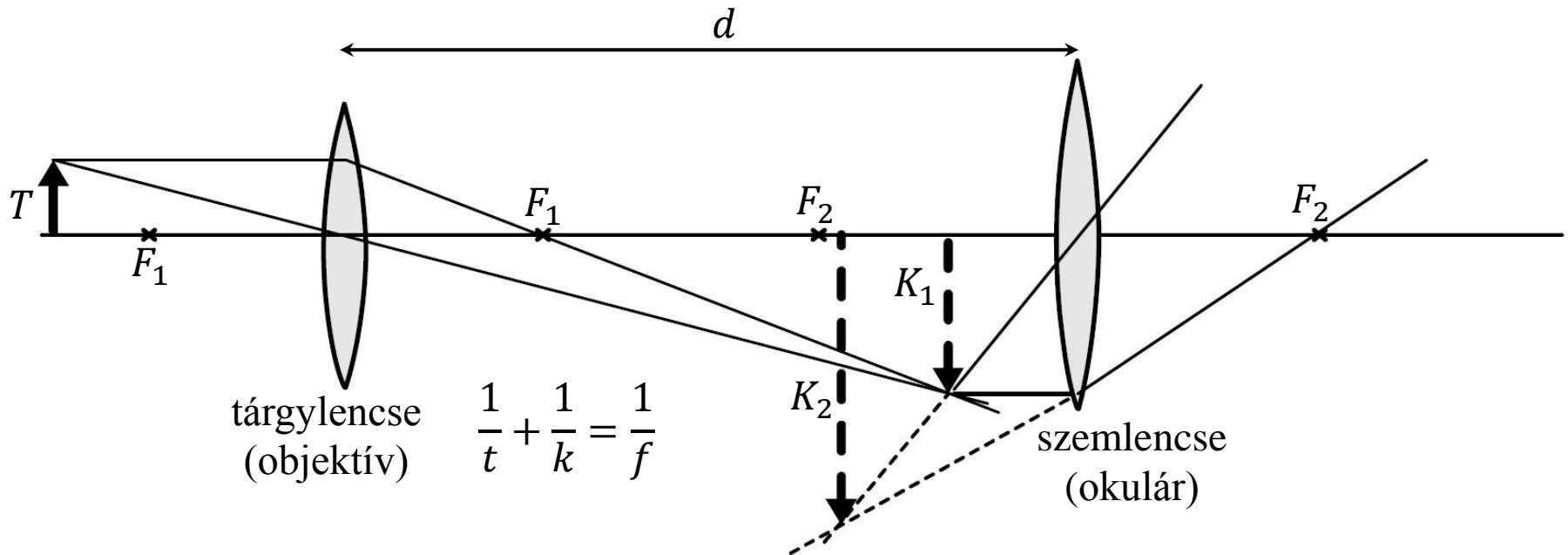
$$\frac{1}{k} = \frac{1}{f} - \frac{1}{t} = \frac{t - f}{ft} \quad \rightarrow \quad k = \frac{ft}{t - f}$$

$$N = -\frac{k}{t} = \frac{ft}{(f - t)t} = \frac{f}{f - t}$$



# Mikroszkóp

A tárgylencse fordított állású valódi nagyított képet alkot a tárgyról, és ezt a képet nézzük a szemlencsével, mint egyszerű nagyítóval. Az eredmény fordított állású virtuális nagyított kép.



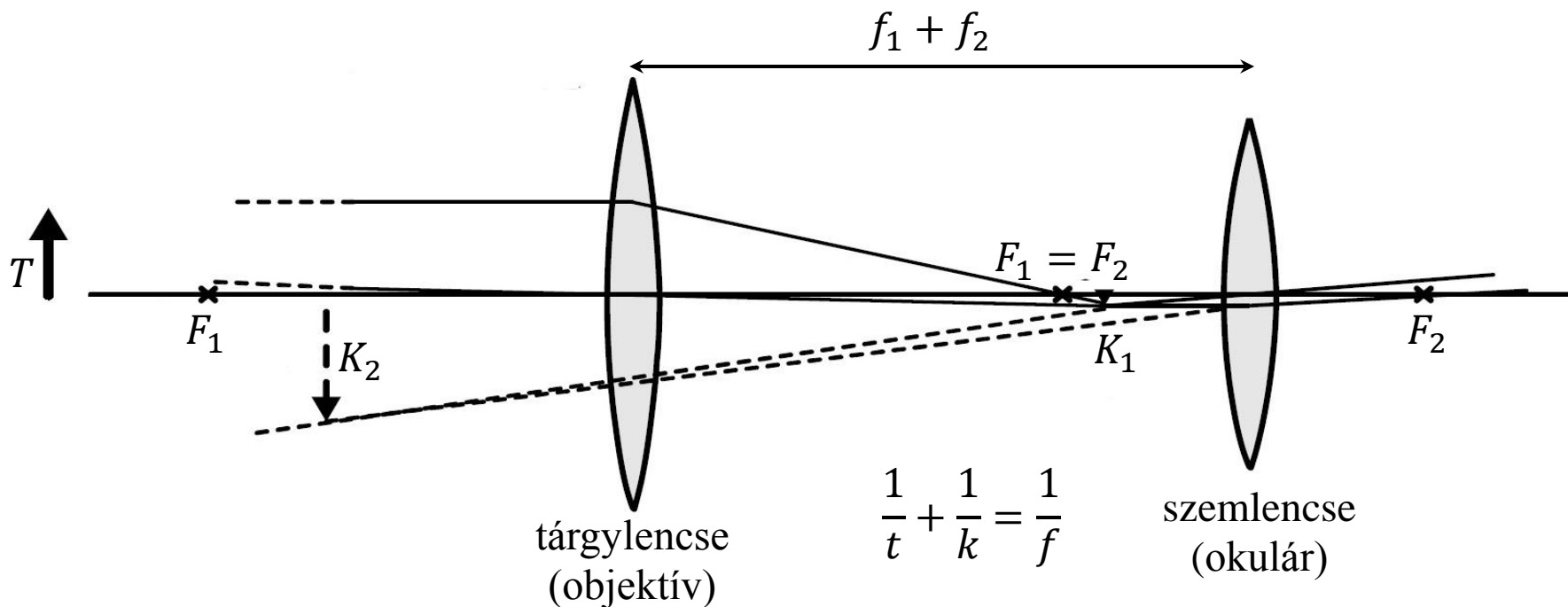
tárgylencse (objektív)  $\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f}$

$$T_2 = K_1$$

$$N = N_1 N_2 = \frac{k_1}{t_1} \cdot \frac{k_2}{t_2} = \frac{k_1}{t_1} \cdot \frac{k_2}{d - k_1}$$

# Távcső

A tárgylencse fordított kicsinyített képet létesít a nagyon távoli tárgyról, a két lencse **közös fókuszának** közelében. A szemlencse egyszerű nagyítóként erről állít elő látszólagos képet (látószög nagyítás).



$$T_2 = K_1$$

$$N = N_1 N_2 = \frac{k_1}{t_1} \cdot \frac{k_2}{t_2} = \frac{k_1}{t_1} \cdot \frac{k_2}{f_1 + f_2 - k_1}$$

# Diszperzió

Egy közeg törésmutatója általában függ a rajta áthaladó fény hullámhosszától. Emiatt a különböző színű fénysugarak különböző mértékben törnek meg.

Az ilyen eszközökkel a fehér fény színeire bontható:

