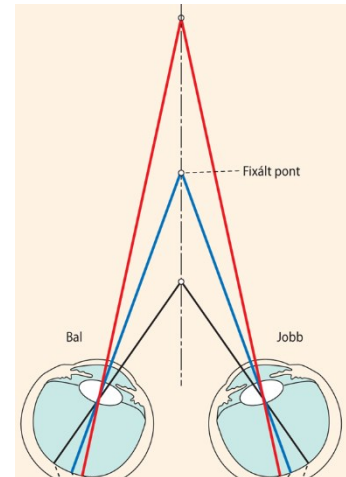


A látás

Az optikai eszközök működésének megértéséhez mindenképp azt kell értenünk, mit, miért, és hogyan látunk. Tudjuk, hogy a szemünk érzékeli a fényt, annak energiáját. Azt látjuk, amiről szemünkbe fény jut. A különböző tárgyakra fényforrásból jutó fény visszaverődik, és szemünkbe jut. Így látjuk a tárgyat. Két szemre a távolságok érzékeléséhez van szükségünk. A tárgy egy adott pontjáról két szemünkbe kissé eltérő irányú fénysugár érkezik. Ezen két fénysugár által bezárt szögből következtet agyunk az adott pont tőlünk mért távlatára. Ez tanult folyamat, csecsemőkorban alakul ki a távolságok érzékelése. Mindenki látott már csecsemőt, amint egy tárgyat szeretne megfogni, de elé vagy mögé nyúl. Ekkor tanulja az érzékelt információk alapján a távolság beazonosítását.

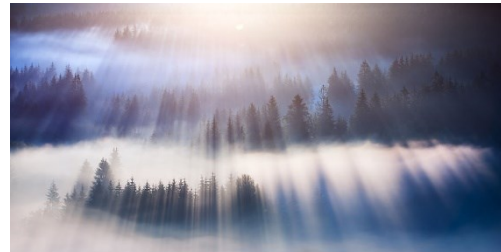


A kép forrása:

https://regi.tankonyvtar.hu/hu/rtalom/tamop425/2011_0001_52_4_Elettan/ch10s03.html

Egyenes vonalú terjedés

A lézerek, lézershowk idején mindenki látott már egyenes vonalban terjedő fénysugarat. Ilyet a modern technika eszközei nélkül is láthatunk, amikor a felhők között talál magának utat a fény.

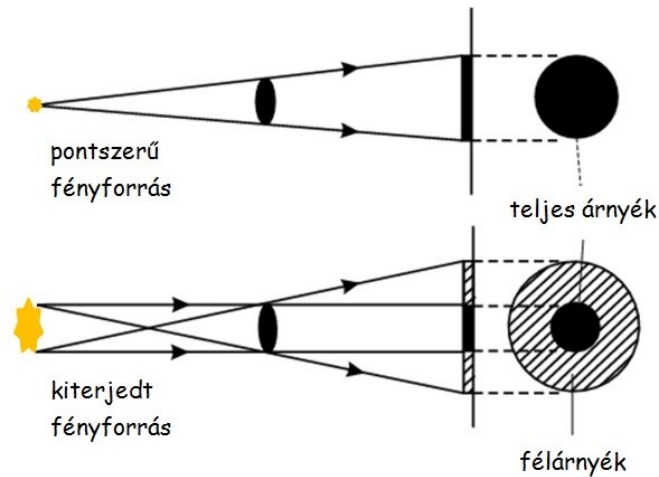


Árnyék

Az egyenes vonalú terjedés következménye az árnyék is. Egy bot árnyéka napos időben határozott, pontosan tudjuk követni, hová nem jutott fény. Ha azonban a fényforrás egy fénycső, kezünk árnyéka nem annyira jóldefiniált. Lesznek területek, ahová egyáltalán nem jut fény, és lesznek, ahová csak részben. Ilyen árnyékot és félárnyékot látunk a leander árnyékát mutató képen, míg a mellette található képen az ember árnyéka határozott.



Az árnyék és félárnyék keletkezését jól mutatja be az alábbi ábra, melynek forrása: [https://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%81rny%C3%A9k_\(optikai_jelens%C3%A9g\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/%C3%81rny%C3%A9k_(optikai_jelens%C3%A9g))

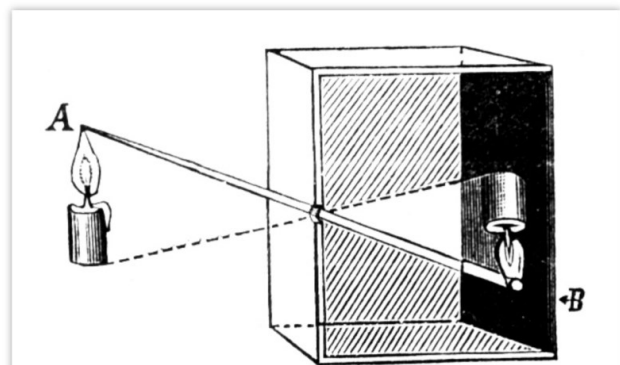


Lyukkamra

Szintén az egyenesvonalú terjedés az alapja a lyukkamra (camera obscura) működésének. Ehhez láttok magyarázó ábrát, diákok által készített darabot, illetve ennél nagyobb kivitelezésben készített „darabot”, ami az egeri Varázstoronyban található, és általa napos időben Eger teljes egészében láthatóvá válik egy fehér asztalon.

Így működik:

Ha egy (sötét) dobozba egy lyukon keresztül jut a fény, a doboz előtti tárgy képe a doboz hátulján fordított állású lesz. A fénysugarak útja az ábrán jól látható.



Egy papírdobozra vágott lyuk is lyukkamraként működik. Ha a fényforrással szemközi oldal zsírpapír/pauszpapír/sütőpapír, vagyis ernyőként működik, itt láthatóvá válik a kamra előtti tárgyak fordított állású képe. Esetünkben ez egy ablak, illetve az utca képe.



Az alábbi képeken az Egerben található Varázstorony sötétkamrája látható. A baloldali képen kedvezőbb fényviszonyok között a város képe, a jobboldalon a működés látható jobban. A karok mozgatásával az eszközt forgathatjuk, így „körbe nézhetünk” a városban. Több képet az eszköztől és a helyről az alábbi linken találtok:

<https://www.camaraoscuraworld.com/en/eye-of-eger/>



Törés

Ha a fény két felület határához érkezik, részben visszaverődik, részben megtörik. Hullámtanilag különböző lehet két közeg akkor is, ha ugyanazon anyag, de más hőmérsékletű rétegének a sűrűsége is más. A következőkben a töréssel foglalkozunk hang, fény és más elektromágneses hullámok esetén, illetve a közeg sűrűségének változása okozta jelenségekre is kitérünk.

Törésről beszélünk, mert a terjedés iránya megváltozik. A változást a beesési szög (α) és a törési szög (β) viszonyával írjuk le. *Beesési szög* alatt a terjedés irányának a beesési merőlegessel bezárt szögét, *törési szögnek* pedig az új közegben a terjedés iránya és a beesési merőleges között bezárt szöget értjük. A beesési merőleges a két közeg határára, illetve az ahhoz az átlépés pontjában illeszthető érintősíkra merőleges. A két szög viszonyát a két közeg minősége, azok viszonya határozza meg. Minden közeg jellemezhető hullámtani szempontból a rá jellemző *abszolút törésmutatóval*. Ez vákuum esetén 1, levegő esetén 1,00029, amit szintén 1-nek szoktunk tekinteni. A levegőnél hullámtanilag sűrűbb közegek törésmutatója 1-nél nagyobb, a hullámtanilag ritkább közegeké 1-nél kisebb mértékegység nélküli szám.

$$\frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

ahol n az abszolút törésmutató, 1-es index esetén az egyes közegé, vagyis amely közegből a hullám indul, 2-es index esetén a kettes közegé, vagyis amely közegbe a hullám átlép. n_{21} a kettes közeg egyes közegre vonatkoztatott törésmutatója, vagyis a *relatív törésmutató*.

Amennyiben a hullám a két közeg határára merőlegesen érkezik, irányváltoztatás nélkül folytatja útját. Ha a kettes közeg törésmutatója nagyobb, a relatív törésmutató 1-nél nagyobb, és a törési szög kisebb mint a beesési szög. Fordítva, ha a relatív törésmutató kisebb mint egy, a törési szög nagyobb mint a beesési szög.

Teljes visszaverődés

A beesési szög növelésével a törési szög is növekszik, hiszen mindkettő 0° és 90° közé esik. Ugyanezért, a törési szög nem növelhető, csak 90° -ig, ami azt jelenti, hogy az $n_{21} < 1$ esetben a beesési szöghöz is találunk egy ennek megfelelő határértéket. Ha a hullám ennél nagyobb szögben érkezik a határfelülethez, nincs átlépő hullám, a hullám teljes egészében visszaverődik. Éppen ezért a jelenséget teljes visszaverődésnek hívjuk.

A teljes visszaverődésen alapuló eszközök, jelenségek



► Az optikai szálakba bejutó fénysugár a szál oldalfalánál mindig teljes visszaverődést szenved, így abból nem lép ki. Így vezeti a szál a fénysugarakat, illetve minden elektromágneses sugárzást.



► A képen látható dísz tárgyként használt eszköz is optikai szálakból áll, melyek a közös fényforrástól a szálak végéig vezetik a fénysugarakat.

A fentiekhez hasonló elv alapján működnek a jeltovábbításhoz, illetve a műtétek, vizsgálatok során használt, kamerával ellátott eszközök is.

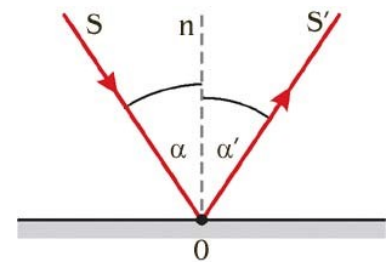
<https://hu.wikipedia.org/wiki/Délibáb>

teljes visszaverődés vízszugárban film: <https://www.youtube.com/watch?v=oZvs2rGxtWk>

Fényvisszaverődés, tükrök

A fény a mechanikai hullámokhoz hasonlóan, ugyanakkora szögben verődik vissza, amekkora a beesési szög. Ez az alapja a tükrök képalkotásának.

A kép forrása:

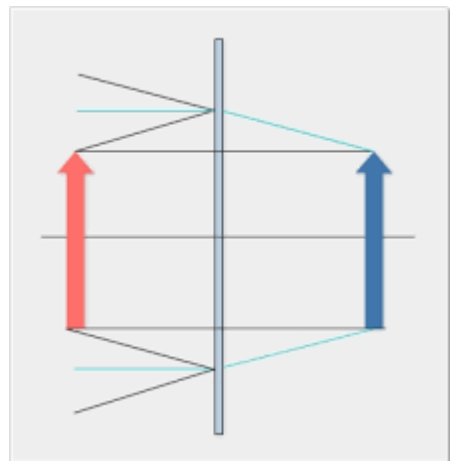


<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszettudomanyok/fizika/fizika-11-efolyam/fenyvisszaverodes/a-fenyvisszaverodes-torvenye>

Síktükör képalkotása

A képet a tárgyról a tükörbe, majd onnan visszaverődve a szemünkbe jutó fénysugaraknak köszönhetően látjuk. Agyunk a két szemünkbe különböző szögben érkező fénysugarak eredetét, vagyis metszéspontját keresi, azt az információt közvetíti, hogy a fénysugarak onnan származnak. Ezért „látjuk” a képet a tükör mögött. Ha a fénysugaraknak nincs valódi metszéspontja, agyunk a széttartó sugarak alapján alkot képet, virtuális, vagy látszólagos képről beszélünk. A síktükör alkotta kép tehát:

- egyállású
- ugyanakkora mint a tárgy ($K=T$)
- a tükörtől ugyanolyan távolságban van mint a tárgy ($k=t$)
- látszólagos (virtuális)



A kép forrása:

https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/ta mop412A/2010-0017_45_optika_es_latorendszerek/ch02.html

T a tárgy nagyságát, K a kép nagyságát, t a tárgytávolságot (tárgy távolsága a vizsgált optikai eszköztől), k a képtávolságot jelöli.

A kép forrásaként megjelölt linken a teljes anyagról találtak leírást.

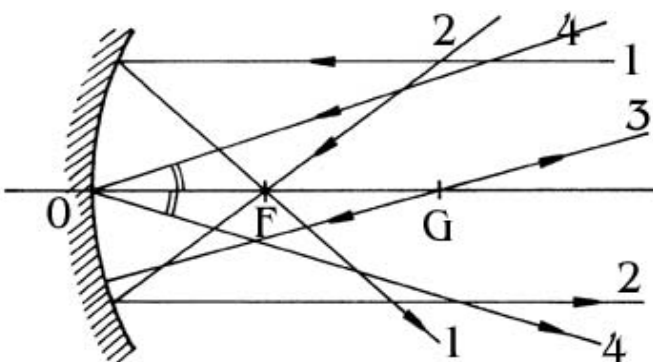
Az alábbi linken egy mécses két tükör alkotta rendszerben keletkező képei láthatók:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_zrcadla&l=hu

Gömbtükrök

Gömbtükör esetén a visszaverő felület gömbfelület. Homorú tükörről beszélünk, ha a visszaverőfelület homorú, domború tükörről, ha domború. Mielőtt a képalkotásukat vizsgáljuk, nézzük meg néhány kitüntetett helyzetű fénysugár visszaverődését. Ezeket nevezetes fénysugaraknak hívjuk.

Nevezetes fénysugarak, homorú tükör



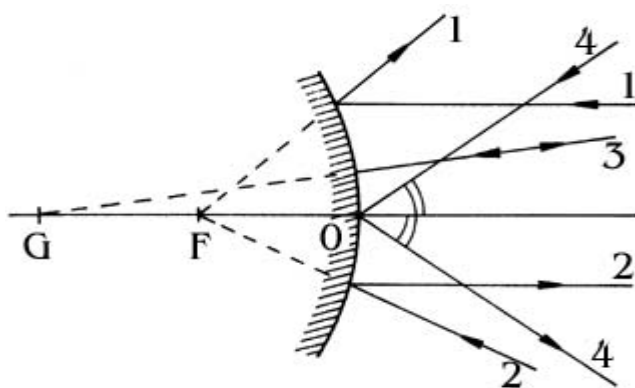
G a geometriai középpont, ez a gömb középpontja. O az optikai középpont, ez a tükör középpontja. Az OG egyenest optikai tengelynek hívjuk. Az ezzel párhuzamosan érkező fénysugarak (kis nyílásszögű tükör esetén) egy pontban metszik egymást, ezt a metszéspontot (F) fókuszának hívjuk, a tükörtől mért távolsága a fókusz távolság (f). Ez éppen az OG távolság fele. A kép forrása:

<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/fizika/fizika-11-efolyam/optikai-kepgyujtemeny/homoru-gombtukor-nevezetes-sugarmenetei>

A **nevezetes sugarmenetek:**

1. Az optikai tengellyel párhuzamosan beeső fénysugár a fókuszon keresztül verődik vissza.
2. A fókuszon keresztül beeső fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan verődik vissza.
3. A geometriai középponton keresztül beeső fénysugár önmagában verődik vissza.
4. Az optikai középpontba beeső fénysugár a tengellyel ugyanakkora szöget bezárva verődik vissza.

Nevezetes fénysugarak, domború tükör



A jelölések a fentiekkel megegyeznek, de itt a fókusz a tükör mögé esik.

A kép forrása:

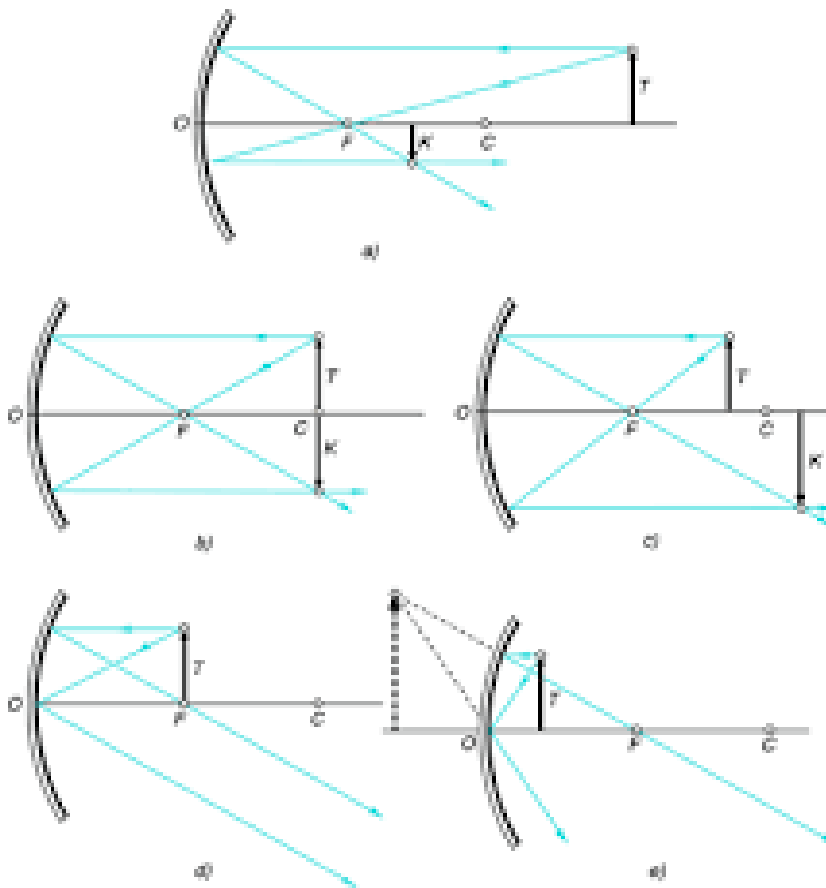
<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/fizika/fizika-11-efolyam/optikai-kepgyujtemeny/domboru-gombtukor-nevezetes-sugarmenetei>

A **nevezetes sugarmenetek:**

1. Az optikai tengellyel párhuzamosan beeső fénysugár úgy verődik vissza, mintha a fókuszról indulna.
2. A fókusz felé beeső fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan verődik vissza.
3. A geometriai középpont felé beeső fénysugár önmagában verődik vissza.
4. Az optikai középpontba beeső fénysugár a tengellyel ugyanakkora szöget bezárva verődik vissza.

Film a sugarmenetekről: <https://www.youtube.com/watch?v=sMDUOkCqCmA>

Homorú tükör képképződése



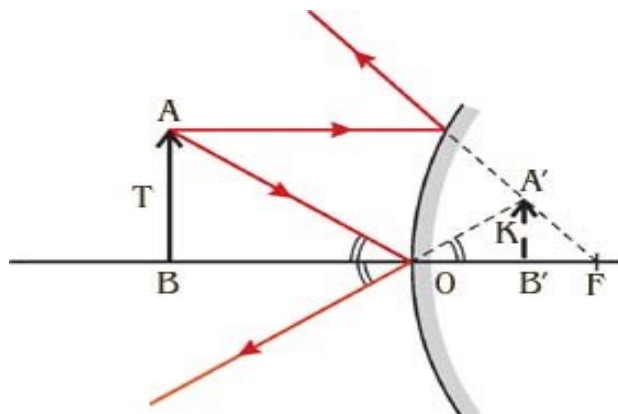
A kép forrása: https://mersz.hu/dokumentum/m24f__306

Homorú tükör esetén a kép tulajdonságai függenek a tárgytávolságtól (t). Az ábrán az összes eset látható.

1. **Ha a tárgy a G-on kívül van, a kép:**
 - fordított állású
 - kicsinyített
 - $k < t$
 - valódi
- 2.
- 3.
4. **Ha a tárgy éppen a fókuszban van:** A visszaverődő fénysugarak párhuzamosak, nincs metszéspontjuk, vagyis nem keletkezik kép.
5. **Ha a tárgy a fókuszon belül van, a kép:**
 - egyállású
 - nagyított
 - $t < k$
 - látszólagos

Itt találtok szimulációt, ahol a tárgy mozgásával változik a kép, elméleti leírást, és quizt is: <https://www.scoilnet.ie/physics/light/concave/>

Domború tükör képképződése



Domború tükör esetén a kép mindig:

- egyállású
- kicsinyített
- $k < t$
- látszólagos

A kép forrása:

<https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termesztudomanyok/fizika/fizika-8-efolyam/a-domboru-tukor/domboru-tukor-kepalkotasa>

Matematikai leírás

A nagyítás (N) nevű mennyiség mutatja meg, hogy a kép nagysága (N) hányszorosa a tárgy nagyságának (T).

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

A fókusz távolság (f) és tárgytávolság (t) ismeretében a képtávolság (k) a **leképezési törvény** alapján számolható:

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

Minden, ami a tükör mögött van, negatív, vagyis az összefüggés akkor igaz, ha **a képtávolság látszólagos kép esetén negatív**, illetve **a fókusz távolság domború tükör esetében szintén negatív**.

Homorú tükrök a mindennapi életben:

<https://www.netfizika.hu/homoru-tukrok-a-mindennapi-életben>

Domború tükrök a mindennapi életben:

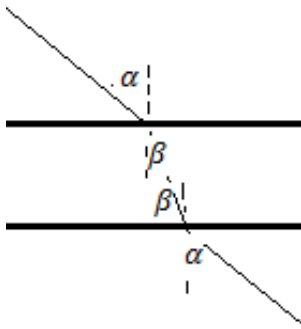
<https://www.netfizika.hu/domboru-tukrok-a-mindennapi-életben>

A teljes anyagról videó: <https://www.youtube.com/watch?v=nHr2Dy0r0gc>

Fénytörésen alapuló optikai eszközök

Planparalel lemez

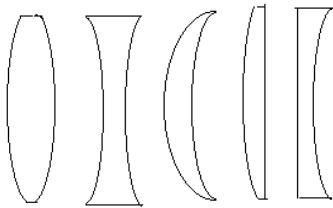
Plan vagyis sík, paralel, vagyis párhuzamos. Planparalel lemeznek a két párhuzamos síkkal határolt lemezt hívjuk. Az ábrán látható módon a beeső fénysugár először a levegőből a lemez anyagába hatoláskor, majd a kilépéskor törik. Mivel a belépéskor és kilépéskor felírható relatív törésmutatók egymás reciprokai, a kilépő fénysugár terjedésének iránya párhuzamos a belépő fénysugár terjedésének irányával, de ahhoz képest eltolódott. Az eltolódás mértéke függ a lemez és az azt körülvevő közeg anyagától, a lemez vastagságától, és a beesési szögtől.



► A planparalel lemezen áthaladva, a két törés következtében a fénysugár eredeti egyenesével párhuzamosan, de ahhoz képest eltolódva halad tovább.

Lencsék

Lencsének a görbült felületekkel, az általunk leírt esetekben gömbfelületekkel határolt eszközöket hívjuk. Matematikai leírást az úgynevezett *vékony lencsék*re adunk, ahol a lencse vastagsága elhanyagolható másik két kiterjedéséhez képest. A lencse felülete lehet domború, vagyis konvex, illetve homorú, vagyis konkáv.



► Két domború felülettel határolt lencsét **bikonvex**, vagyis kétszeresen domború, két homorú felülettel határolt lencsét **bikonkáv**, vagyis kétszeresen homorú, egy homorú és egy domború lencsét pedig **konvexkonkáv** vagy **homorúan domború** lencsének hívunk. Ha a lencsét határoló egyik felület sík, a lencse lehet **plankovex**, vagyis síkdomború, vagy **plankonkáv** vagyis síkhomorú.

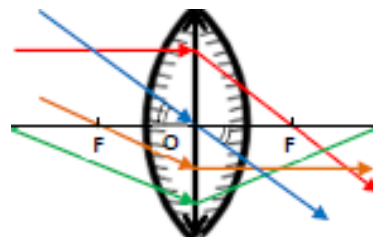
A lencse síkjára merőleges szimmetriatengelye az *optikai tengely*, ez a lencse *optikai középpontján* halad át.

A lencsének azt az oldalát, ahonnan a fénysugarak érkeznek **tárgyoldalnak**, a másikat **túloldalnak** hívjuk, mert a fényforrással azonos oldalon lévő tárgyat nézzük a lencse túloldaláról. A **gyűjtőlencsére** érkező, az optikai tengellyel párhuzamos fénysugarak a lencse túloldalán egy pontban metszik egymást, ez a pont a **fókusz**. **Szórólencse** esetén az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugarak a lencse túloldalán úgy haladnak tovább, mintha a tárgyoldalon egy pontból, a *fókuszból* indultak volna. A fókusztávolsága az optikai középponttól a **fókusztávolság**, ez éppen a **dioptria** reciproka.

Nevezetes fénysugarak

Gyűjtőlencse esetén:

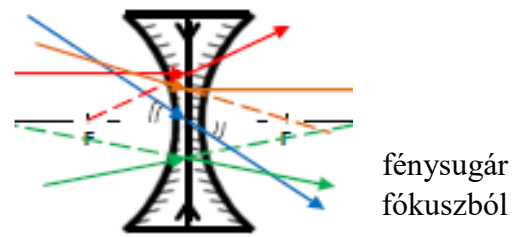
1. Az optikai tengelyen beeső fénysugár irányváltoztatás nélkül halad tovább.
2. Az optikai középpontba beeső fénysugár irányváltoztatás nélkül halad tovább.
3. Az optikai tengellyel párhuzamosan beeső fénysugár a túloldali fókuszon keresztül halad tovább.



4. A tárgyoldali fókuszon keresztül beeső fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan halad tovább.

Szórólencse esetén:

1. Az optikai tengelyen beeső fénysugár irányváltoztatás nélkül halad tovább.
2. Az optikai középpontba beeső fénysugár irányváltoztatás nélkül halad tovább.
3. Az optikai tengellyel párhuzamosan beeső úgy halad tovább, mintha a tárgyoldali indult volna.
4. A túloldali fókusz felé beeső fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan halad tovább.



fénysugár
fókuszról

Vigyázzatok, nem mindig a domborúlencse a gyűjtőlencse, és a homorúlencse a szórólencse, ezért figyelni kell a szóhasználatra. Képkalkotásnál majd mindig gyűjtő- és szórólencsét mondunk, a megállapítások ezekre vonatkoznak, függetlenül a lencsék alakjától.

Rövid filmek töréshez:

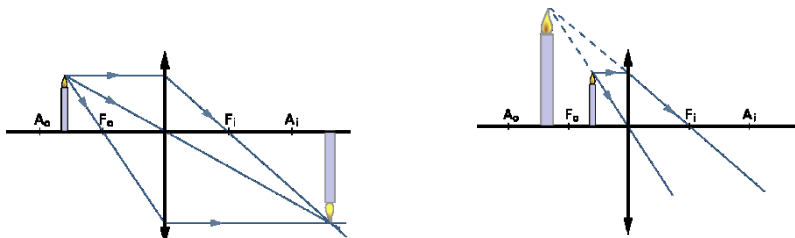
törés, teljes visszaverődés https://www.youtube.com/watch?v=mtVbb_MWNDg

teljes visszaverődés, optikai szál https://www.youtube.com/watch?v=Lic3gCS_bKo

kísérletezz otthon: <https://www.youtube.com/watch?v=a65hsrx3cbA>

Lencsék képkalkotása

A nevezetes fénysugarak közül legalább kettő felhasználásával a lencse képkalkotása vizsgálható, a kép szerkeszthető. Gyűjtőlencse fordított állású, valódi képet ad, ha a tárgy a fókuszon kívül van. A nagyítás (N) a kép nagyságának (K) és a tárgy nagyságának (T) a hányadosa. A tárgyat gyűjtőlencsén keresztül nézve a nagyítás 1-nél nagyobb, ha a tárgy a kétszeres fókuszon belül van, ilyenkor a lencsét *vetítőként* (projektor) használjuk. A nagyítás 1, ha a tárgy éppen a kétszeres fókuszban, és 1-nél kisebb, ha a kétszeres fókuszon kívül található. Ha a tárgy a fókuszon belül van, a kép egyállású, nagyított, és látszólagos, ilyenkor a lencsét *nagyítóként* (lupe) használjuk. Fókuszba helyezett tárgy esetén nem keletkezik kép.



► A gyűjtőlencse képkalkotása tehát függ a tárgy helyzetétől, a szórólencse azonban mindig egyállású, kicsinyített, látszólagos képet ad

A nagyítás a kép és tárgy nagyságának aránya, ami a piros háromszögek hasonlósága okán egyenlő a képtávolság és a tárgytávolság arányával. A kék háromszögek hasonlósága okán felírható:

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

A jobboldali egyenlőséget rendezve adódik a leképezési törvény:

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

ahol f a fókusz-távolság, k a képtávolság, t a tárgytávolság. A tárgyoldalon keletkező kép esetén a képtávolság negatív, illetve szórólencse dioptriája, így fókusz-távolsága is negatív.

Gyűjtőlencséhez:

https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_spojka&l=hu

Szórólencséhez:

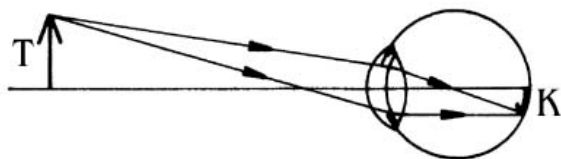
https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_rozptylka&l=hu

A fenti szimulációkban tudjátok változtatni a tárgy méretét, a tárgytávolságot és a fókusz-távolságot. (Az is állítható, hogy nyíl vagy nő legyen a tárgy.) Kiválaszthatjátok, hogy melyik nevezetes fénysugar jelenjen meg, vagy ne jelenjen meg.

És ami fontos: A fenti képeken is és a szimulációban is láthatjátok a lencsék helyes jelölését. A lencsét jelölő szakasz két végén kifelé mutató nyilak gyűjtő-, befelé mutató nyilak szórólencsét jeleznek. Két okból fontos ez a jelölés. Egyrészt vékony lencsét vizsgálunk, vagyis a vastagságuk elhanyagolható. Másrészt nem rajzolunk domború lencsét gyűjtőlencse helyett, mert tudjuk hogy a kettő nem ugyanaz.

A szem

A szemet egyszerűen modellezhetjük egy gyűjtőlencsével (szemlencse), ami a retinán hoz létre valódi, fordított állású képet. A képtávolság mindig a szemgolyó átmérője, körülbelül 2,5 cm. Mivel a tárgyak szemünktől mért távolsága változik, az éles képhez a fókusz-távolságot, vagyis a szemlencse felületeinek görbültségét kell változtatnunk. Ez a folyamat az *akkomodáció*. A folyamathoz a lencsét feszítő, összenyomó simaizmokra van szükség. Ha az izmok ernyedett állapotban vannak, a tőlünk kb. 25 cm távolságban, vagyis a *tiszta látás távolságában* lévő tárgyról éppen a retinán keletkezik kép.

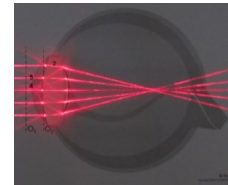


► A szemlencse képalkotásának modellezése. A valódi, fordított állású kép a retinán keletkezik.

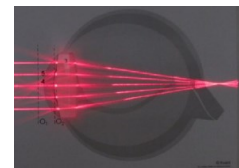
Részletesebben a <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/termeszet tudomanyok/fizika/fizika-11-evfolyam/optikai-lekepezes/az-emberi-szem> linken olvashatsz a szem működéséről, részeiről.

Eszerint a forrás szerint a szemlencse 50 és 70 dioptria között képes alkalmazkodni. Ez az életkor előre haladtával változik, a szemlencse egyre kevésbé rugalmas, egyre szűkebb az a tartomány, amin belül ez az érték változhat. Az adatokból a *közelpont* és a *távolpont* átlagos értéke számolható. (Az a legközelebbi, illetve legtávolabbi pont, amelyről szemünk éles képet tud előállítani a retinán.)

► *A rövidlátó szem a közeli tárgyakról ad éles képet a retinán, vagyis a tárgyról érkező sugarakat nagymértékben töri. Távoli tárgyak esetén az éles kép a retina előtt keletkezik. Hogy a fénysugarak túlságosan összetartó voltát korrigáljuk, szóró lencsét, vagyis negatív dioptriájú, „minuszos” szemüveget alkalmazunk.*



► *A távollátó szem a távoli képekről ad éles képet a retinán, közeli tárgyak esetén a kép a retina mögött keletkezik. Ebben az esetben a fénysugarak nagyobb mértékű törésének érdekében gyűjtőlencsét, vagyis „pluszos” szemüveget alkalmazunk.*



[Ezen a linken](#) a szemhibák működését értheted meg, korrekciójukat próbálhatod ki.

A fenti linken az asztigmatizmust (szemtengelyferdülés) korrigáló lencsét is láthatjátok. Ez nem része a tananyagnak, de a [Wikipédia](#) leírása jól érthető.