

FÉNYTAN I.-II.

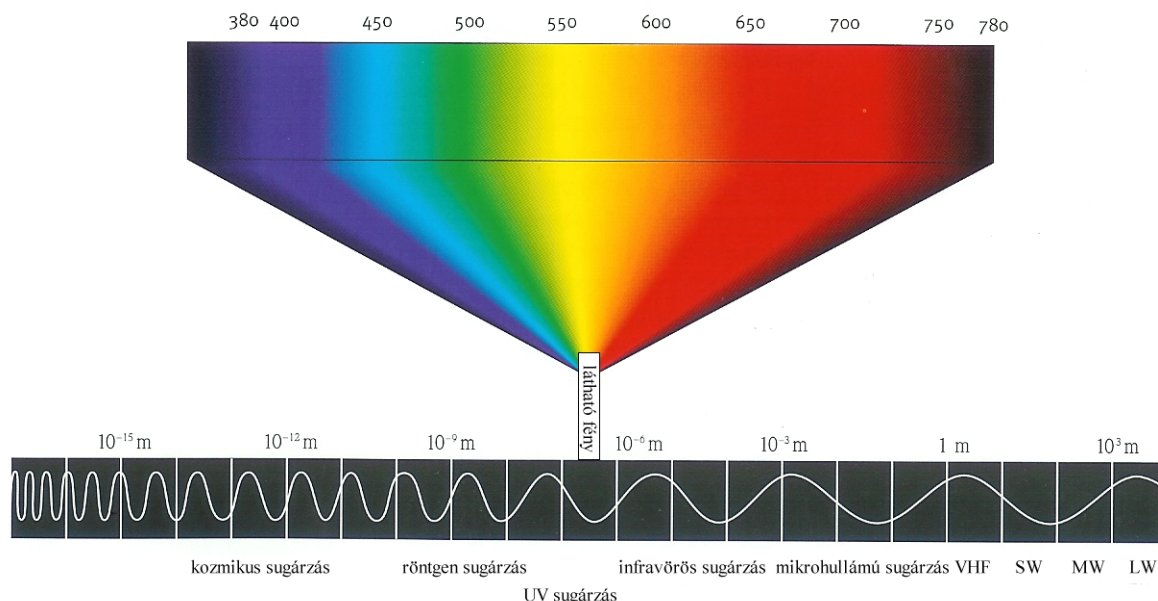
(1.-2. tétel)

A FÉNY

A **fény** az emberi szem számára érzékelhető elektromágneses sugárzás, amely a szemben fényérzetet kelt, és ez által látható

Alapmeghatározásai

- elektromágneses hullám
- frekvenciája meghatározható
- energia (energia által keletkezik és megszűnésekor energiává alakul)



A sugárzást csoportosíthatjuk a frekvencia (hullámhossz) és a láthatóság alapján.

A *frekvencia alapján* a következő sugárzásokat különböztetjük meg:

- **Monokromatikus sugárzás**, amelyet egyetlenegy frekvencia jellemez, vagy amelynek olyan kicsi a frekvencia-, ill. a hullámhossz-tartománya (sávja), hogy egyetlenegy frekvenciával jellemezhető.
- **Összetett sugárzás** az, ha a sugárzás egyidejűleg több hullámhosszon történik.

A *láthatóság alapján* a következő sugárzásokat különböztetjük meg:

Láthatatlan sugárzás az olyan elektromágneses sugárzás, amely közvetlenül nem képes látásérzetet keltetni, ilyen sugárzás

- az **infravörös sugárzás**, amely 1 mm-nél kisebb hullámhosszúságú monokromatikus sugarakból tevődik össze (a látható sugárzásénál nagyobb a hullámhossza);
- az **ultraibolya sugárzás**, amelynek hullámhossza kb. 1 - 400 nm (a látható sugárzásénál kisebb a hullámhossza).

Látható sugárzás az olyan elektromágneses sugárzás, amely közvetlenül képes látásérzetet keltetni.

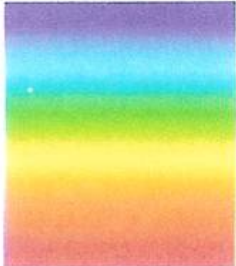
Csak azon elektromágneses sugárzások keltenek a szemben fényérzetet, melyek hullámhossza a 380 nm és 780 nm közé esik. A tartomány frekvenciahatárai: 750 ezer GHz – 375 ezer GHz.

Általánosságban azt mondhatjuk, hogy a látható fény szemünk számára az infravörös tartománytól az ultravioláig tart.

A **fény** a látható sugárzás érzékelés szerinti megfelelője. A szem által érzékelt, feldolgozott, vagy a szem szerint súlyozott elektromágneses hullámzás.

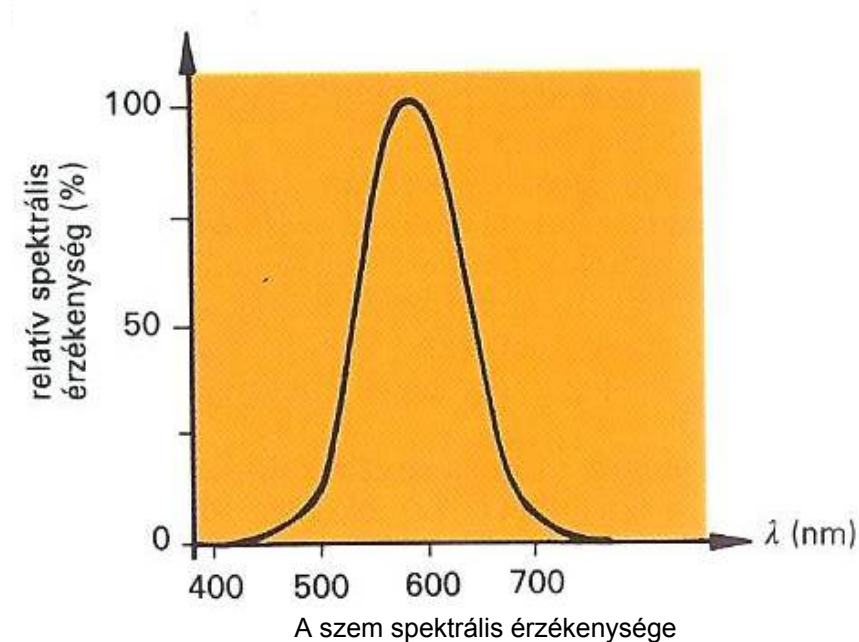
(A sugárzott energia elemi részecskéje (kvantuma) a **foton**, amely a h Plank-állandó és az elektromágneses sugárzás f frekvenciájának szorzata.)

A különböző hullámhosszúságú látható sugarakra szemünk érzékenysége más és más. Tehát nemcsak attól függően érzékeli a fényforrás által kibocsátott fénysűrűséget, mekkora kisugárzott teljesítménye, hanem attól függően is, hogy milyen a színösszetétele (hullámhossza).

SZÍN	SPEKTRUM	HULLÁMHOSSZ
ibolya		400 – 420 nm
kék		420 – 500 nm
zöld		500 – 570 nm
sárga		570 – 590 nm
narancs		590 – 600 nm
vörös		600 – 800 nm

A látható tartományba eső, különböző hullámhosszúságú fény a szemünkbe jutva látáskor különböző színérzetet kelt. Az egyes színekhez az alábbi hullámhossztartományok tartoznak:

A fehér fényben a látható tartományba eső valamennyi hullámhosszúságú fény megtalálható

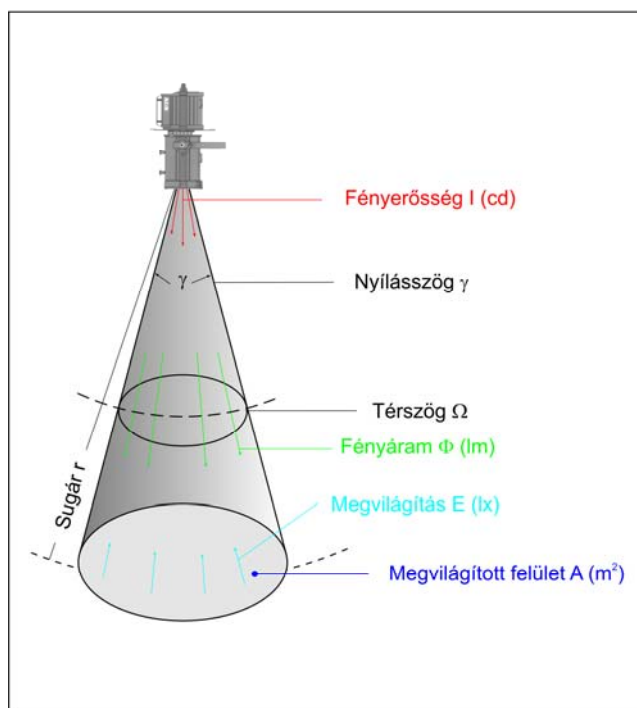


Azonos fizikai sugárteljesítmény mellett az 550nm hullámhosszú (zöld) fényt sokkal világosabbnak érzékelünk, mint a 400 nm (kék) vagy 700 nm (piros) hullámhosszat.

Fotometria

A fotometria szűkebb értelemben a 400 nm.-700 nm hullámhossz spektrumba eső, a szemmel látható vizuális fénynek a fényérzeten alapuló fénytechnikai hatását, mérési módszerét, alapfogalmait tárgyalja. A látható sugárzási mező fotometriai mennyiségekkel írható le.

A világítóberendezések fénytechnikai-optikai tulajdonságainak kiértékelésére bizonyos fogalmak és mértékegységek szolgálnak, melyek a világítástechnikában általánossá váltak. Ha ezekkel a fogalmakkal nem is mindennap találkozunk, mégis nagyobb fáradtság nélkül tudjuk azokat munkánk során segítségként felhasználni. Az alábbiakban a legfontosabb fénytechnikai törvényszerűségeket és mértékegységeket mutatjuk be, és láttatjuk őket egyszerű példák segítségével.



A fényvető fénytechnikai mértékegységeinek jellemzése

Fénytani alapfogalmak

Térszög

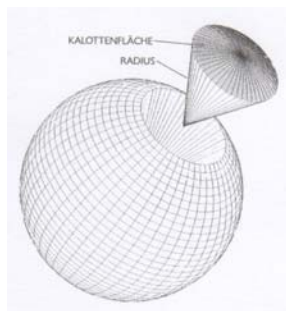
Térben meghatározott nagyságú, irányított tartományok jellemzésére szolgál.

A **térszög** nagysága az adott irányt tartalmazó térszöghöz tartozó gömbsüveg felületének és a gömbsugár négyzetének a hányadosával jellemezhető.

Jelölése: Ω (Omega)

Mértékegysége: **szteradián**

Jele: **sr**



$$\Omega = \frac{A}{r^2}$$

A = megvilágított felület (gömbsüveg) m²-ben

r = a fényforrás és megvilágított felület közötti távolság m-ben.

Fényáram

A **fényáram** a fényforrás minden irányban szétsugárzott fényteltjesítményének összessége..

A fényáram a fényerősség és a besugárzott térszög szorzata.

Minden egyéb világítástechnikai mértéket a fényáramhoz viszonyítanak.

Jelölése: Φ (Phi)

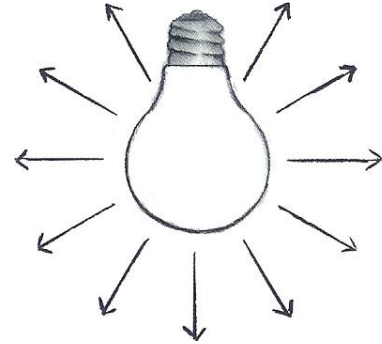
Mértékegysége: **Lumen** (1 lumen = 1 cd · sr)

Jele: **lm**

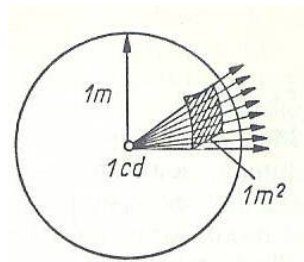
(Egy 100 Wattos, 220 Voltos általános izzólámpa által kibocsátott fényáram 1380 lm.)

A fényáram származtatott SI-egysége:

1 lumen (jele lm) = 1 cd · sr.



1 lumen az 1 cd fényerősségű pontszerű fényforrás 1 sr térszögbe kisugárzott fényárama.



1 lumen fényáramot létesít az 1 kandela fényerősségű, minden irányban egyenletesen sugárzó pontszerű fényforrás az 1 méter sugarú gömb 1 m² felületén.

Eszerint az $I = 1$ cd erősségű pontszerű fényforrás az 1 m sugarú gömb 4π m² felületen át a térbe $\Phi = 4\pi$ lm fényáramot sugároz, vagyis

$$\Phi = 4\pi I.$$

A fényáram és a fényerősség között a következő összefüggés áll fenn

$$\Phi = I\Omega.$$

A szem maximális érzékenységeinek megfelelő 550 nm hullámhosszúságú fénysugárzás 1 watt teljesítmény esetén 680 lumen fényáramot létesít.

Fényerősség

A **fényerősség** egy meghatározott irányban kisugárzott fény mértéke.

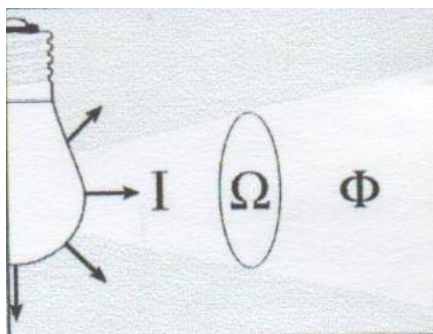
A fényerősség a fényforrás egységnyi térszögre sugárzott fényáram mennyiségét határozza meg

Jelölése: **I**

Mértékegysége: **Candela** (lm/sr)

Jele: **cd**

A fényerősség a kis térszögben kibocsátott fényáram és a térszög hányadosa.



$$I = \frac{\Phi}{\Omega}$$

A fényerősség a fényforrás által egy meghatározott irányban kibocsátott fénykisugárzás mértékét jelöli.

A fényerősség mértékegysége a kandela (jele cd), amely a nemzetközi mértékegységrendszer (SI) egyik alapegysége.

Egy kandela annak a sugárforrásnak a fényerőssége, amely $540 \cdot 10^{12}$ hertz ($\lambda=555$ nm) frekvenciájú monokromatikus sugárzást bocsát ki és a kibocsátás irányában, egységnyi térszögben 1/683 watt sugárerősséggel sugároz.

(Korábban a *Hefner* – gyertya (jele HK) volt a fényerősség egysége, amelyet FRIEDRICH VON HEFNER-ALTENECKRÖL(1845-1904) neveztek el. A Hefner – gyertya meghatározott körülmények között működő amilacetát-égő nyílt lángja.

Átszámítás: $1 \text{ cd} = 1,107 \text{ HK}$
 $1 \text{ HK} = 0,903 \text{ cd.}$

Ennek az etalonnak megfelelő 1 cd fényforrás segítségével hitelesítik a gyakorlati mérésekhez használt normálizzók fényerősségét, ill. ehhez viszonyítják a különböző fényforrások fényerősségét.

Néhány fényforrás fényerőssége

	cd
viaszgyertya	1
petróleumlámpa	30
100w-os kriptonizzó	120
vetítőlámpa	2.000
30 A-es ívlámpa	8.200
mozigép vetítőlámpa	20.000

Ha egy adott hullámhosszú fényre a relatív érzékenység 1/2, 1/3, akkor ugyanolyan fényérzet kiváltásához 2-szer, 3-szor nagyobb fényerősség szükséges.

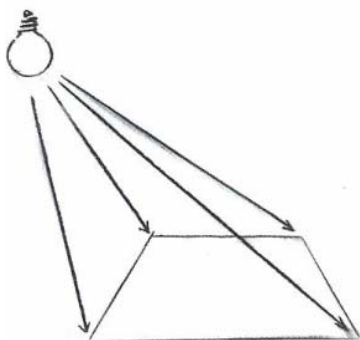
Megvilágítás

A **megvilágítás** a megvilágított A felületre eső Φ fényáram és a megvilágított A felület nagyságának hányadosa.

Jelölése: **E**

Egysége: **Lux** (lumen/m²)

Jele: **lx**



$$E = \frac{\Phi}{A}$$

A megvilágítási erősség a felületet érő fény mértéke.

Megadja, hogy egy adott felület mennyire van kivilágítva, vagyis mekkora fényáram jut 1m² felületegységre lumenban.

(Egy szabadon sugárzó 100 Wattos, 220 Voltos általános izzólámpa 1,5 m magasan felfüggesztve a lámpa alatti felületen hozzávetőleg 100 lx megvilágítási erősséget eredményez.)

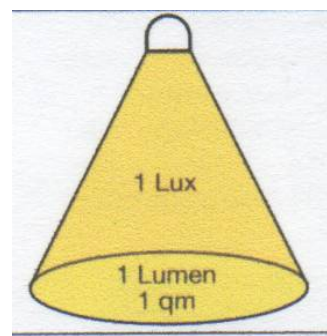
Tapasztalati tény, hogy egy fényforrás annál nagyobb megvilágítást létesít egy felületen, minél nagyobb a fényerőssége. Ha az A felületre Φ fényáram esik, akkor a megvilágítás

$$E = \Phi/A$$

vagyis számszerűen megegyezik az egységnyi (1m²) felületre eső fényárammal

Mivel 1 lm fényáramot 1 cd fényerősségű fényforrás az 1 m sugarú gömb 1 m² felületére sugároz, tehát 1 lx a megvilágítás az 1 cd fényerősségű pontszerű fényforrás körül az 1 m sugarú gömb belső felületén.

1 lux a megvilágítása annak a felületnek, amelynek 1 négyzetméterére merőlegesen és egyenletesen 1 lumen fényáram esik.



Jellegzetes fényerők

Szükségvilágítás

1 lux

függőlegesen 0,2 m magasságból

Folyosó

50 lux

függőlegesen

Iroda

500 lux

függőlegesen

TV-stúdió/kamera

800 lux

vízszintes

Napfény nyáron

100 000 lux

Napfény télen

10 000 lux

Átlagos nap nyáron

5 000-10 000 lux

Átlagos nap télen

1 000-2 000 lux

Telihold

0,2 lux

Holdfogyatkozás éjjel

0,0003 lux

Színérzékelés határa

3 lux

Megvilágítási szintek

1500 x 2000 lx

1000-1500 lux

500-1000 lux

200-500 lux

50-200 lux

1-50 lux

Nagyon erős megvilágítás, nagyon kis felbontással és csekély kontraszttal

Erős megvilágítás, kis felbontással és csekély kontraszttal

Normál megvilágítás, nagy felbontással és közepes kontraszttal

Gyenge megvilágítás, nagy felbontással és nagy kontraszttal

Tájékoztató fény, tájékoztatás, tartózkodóhely megvilágítás

Járásfény, járás-megvilágítás, vészvilágítás

Fénysűrűség

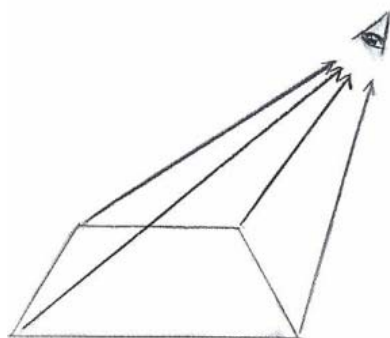
A **fénysűrűség** az a mérték, mely az emberi szemben a világító vagy a megvilágított felületek által keltett fényérzetet határozza meg.

Jelölése: **L**

Mértékegysége: **Candela/m²**

Jele: **cd/m²**

A fénysűrűség értékét úgy kapjuk meg, ha egy fényforrás fényerősségi értékét elosztjuk a mérési távolságból mért megvilágítandó felülettel.



$$L = \frac{I}{A}$$

A fénysűrűség határozza meg a szubjektív fényérzetet.

A **fénysűrűség** azon fénybehatás mértéke, melyet az emberi szem egy önvilágító vagy mesterségesen megvilágított felületről hív elő

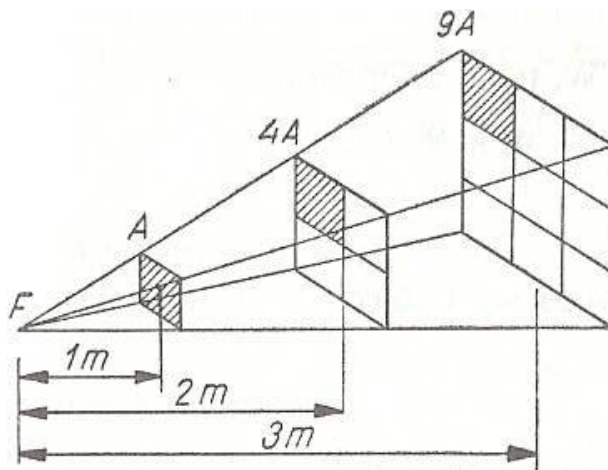
A relatív fénysűrűségkülönbséget szokás kontrasztnak nevezni.

Egyes fényforrások fénysűrűsége

Éjszakai égbolt	10 ⁻⁷	cd/m ²
Hold	0,25	cd/m ²
Szürke égbolt	0,3	cd/m ²
Kék égbolt	1	cd/m ²
Gyertyafény	1	cd/m ²
Izzólámpa / matt /	5-40	cd/m ²
Izzólámpa / víztiszta /	200-3000	cd/m ²
Napfény a láthatáron	600	cd/m ²
Izzólámpa-szál	180 000	cd/m ²
Napfény napközben	150 000	cd/m ²
Xenon-gáztöltésű lámpa	50 000-100 000	cd/m ²

A fotometrikus távolság törvénye

Ez a törvény kimondja, hogy a fényforrás által létrehozott megvilágítás egyenesen arányos a fényforrás fényerősségével, viszont fordítottan arányos a felület és a fényforrás közötti távolság négyzetével, és függ a fény beesési szögétől.



A megvilágítás erőssége a fényerősséggel (I) egyenesen, a távolság (r) négyzetével fordítottan arányos

Mivel $\Phi = 4\pi I$ és az r sugarú gömb felszíne $A = 4\pi r^2$, tehát merőleges beesés esetén

$$E = \Phi/A = 4\pi I / 4\pi r^2 = I/r^2$$

Egy fényforrás által megvilágított felület megvilágítási erőssége a fényforrás és a felület távolságának növekedésével arányosan csökken. Ezt a fotometria távolsági törvénye mondja ki.

$$E = \frac{I}{r^2}$$

E = A megvilágított felület fényerősségét mutatja lx-ban, merőleges fénybeesésnél.

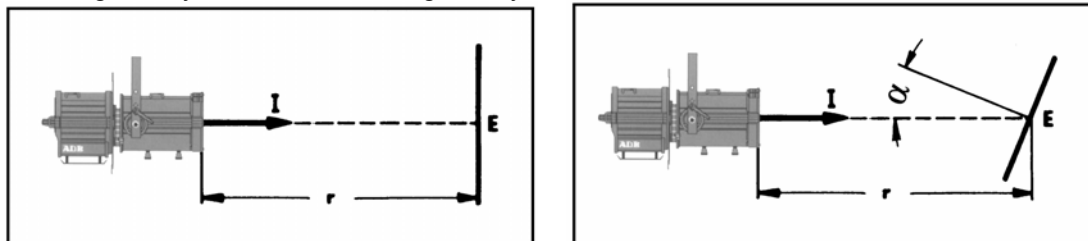
I = A fényforrás a megvilágított felület irányában kibocsátott fényereje cd-ben

r = Fényforrás és megvilágított felület közti távolság m-ben

Ez az összehasonlítás csak a megvilágított felületen a merőleges fénybeesésre vonatkozik.

Egy szabadon égő 100 Wattos, 220 Voltos általános izzólámpa 1,5 m magasan felfüggesztve a lámpa alatti felületen hozzávetőleg 100 lx megvilágítási erősséget mutat, míg 3m magas felfüggesztés esetén csak 25 lx-ot.

Távolságtörvény ábrázolása merőleges fénybeesés esetén



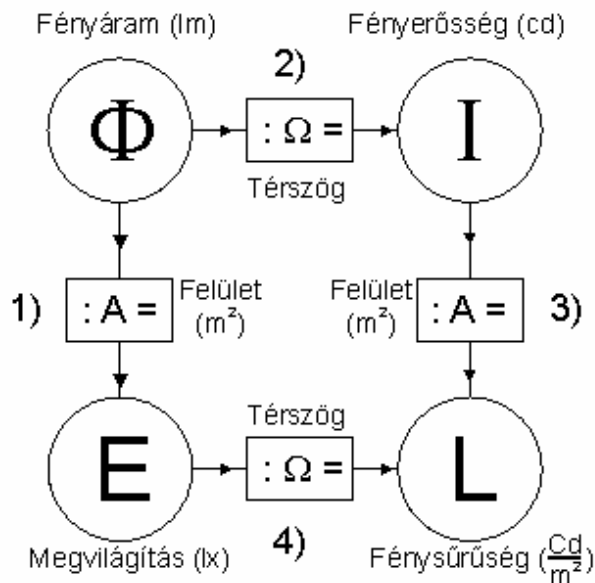
Ferde megvilágítás esetére vonatkozó távolsági törvény ábrázolása

Ferde irányú fénybeesés érzékeltesére az alábbi ábra szolgál (a megvilágított felület normál felületével szemben mért fénybeesési α szög)

$$E = \frac{I}{r^2} \cdot \cos \alpha$$

Világítástechnikai mértékegységek összefüggése

Négy összefüggés a fénytechnikai mértékek között

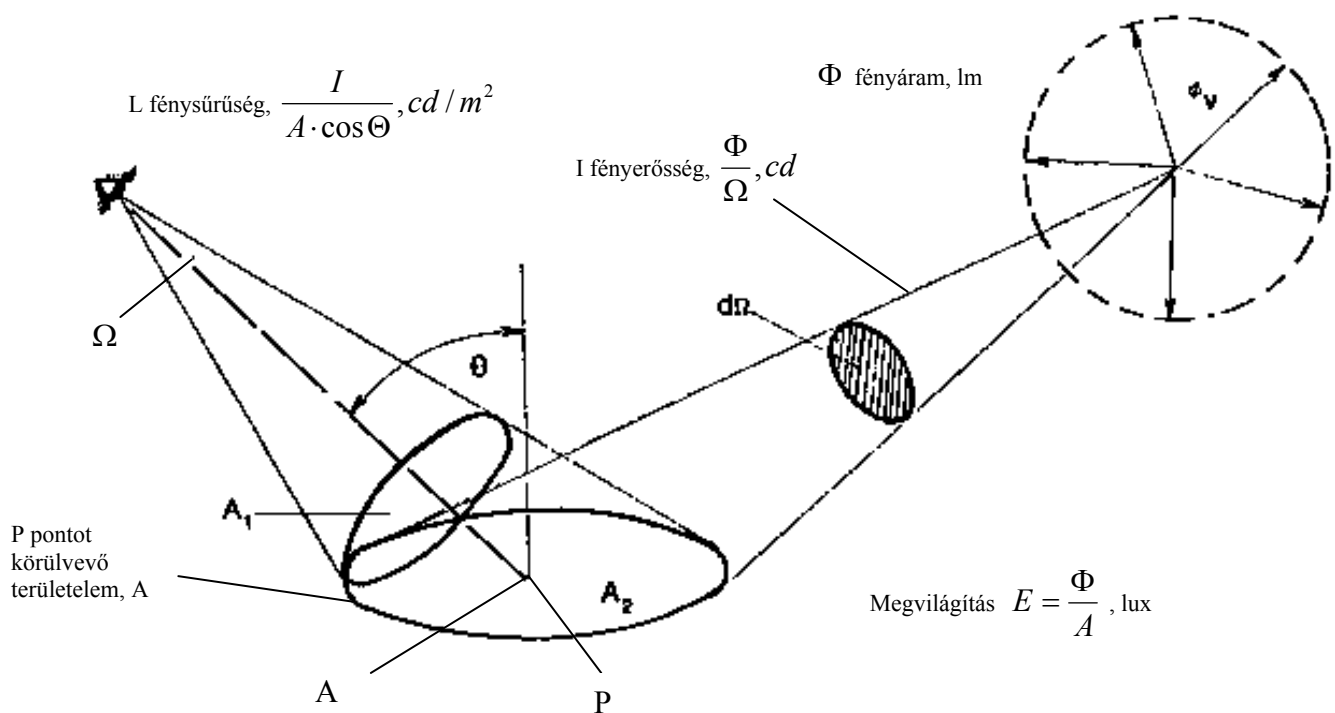


$$1) \frac{\Phi}{A} = E$$

$$2) \frac{\Phi}{\Omega} = I$$

$$3) \frac{I}{A} = L$$

$$4) \frac{E}{\Omega} = L$$



A fény terjedése.

Fényforrások.

Az ember csak úgy képes a látásra, ha fény érkezik a szemébe. A látáshoz tehát szükséges valamilyen **fényforrás**.

A világító test az ún. elsőrendű fényforrás, közvetlen energiasugárzó; a megvilágított test pedig, ha a ráeső energiát visszaveri, ún. másodrendű (közvetett) fényforrás. Természetes fényforrás a Nap, és az állócsillagok. Fényt adnak az izzó testek, a ritkított gázzal töltött fénycsövek elektromos áram hatására stb. (mesterséges fényforrások).

A fényforrásból kiinduló fénysugarak homogén közegben gömbhullámként, minden irányban egyenes vonalban, egyenletesen, elektromágneses hullámok formájában terjednek.

Vákuumban a fény sebessége megközelíti a 300 000 km/s sebességet. ($c = 299792458 \text{ m/s}$)

A fényterjedés sebessége levegőben vagy átlátszó közegen áthatolva csökken az adott közeg törésmutatójától függően.

Egy hullám terjedési sebessége „c” megegyezik a hullám hosszának λ (lambda) és frekvenciájának f (nű) szorzatával.

$$c = \lambda \cdot f$$

A sugárzás hullámhossza λ az az út, amelyet az elektromos hullám egy teljes rezgés (tehát két hullámhegy csúcspontja) alatt megtesz.

A hullámhossz legegyszerűbb egysége a világítástechnikában:

1 Nanométer (nm) =

$$10^{-9} \text{ m} = 1/1.000.000.000 \text{ m}$$

A frekvencia f mértékegysége a Hertz (Hz), mely az egy fix ponton 1 sec. alatt megtett teljes rezgések számát mutatja.

A geometriai optika alapelve az, hogy a fény az összes lehetséges út közül azt választja, melynek megtételéhez a legrövidebb időtartam szükséges.

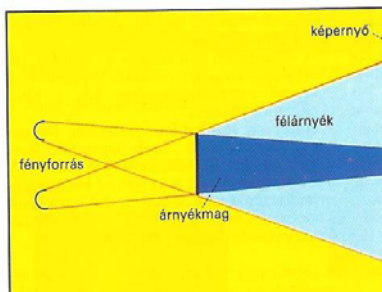
A fény terjedésének három alaptörvénye:

- Homogén közegben a fénysugarak egyenes vonalban terjednek.
- A fénysugarak útja megfordítható.
- A fénysugarak függetlenek egymástól, közöttük nincs kölcsönhatás még akkor sem, ha egymás útját keresztezik.

A **sugárnyalábok** a gömbhullámokból lehatárolt fénykúpok. A gömb középpontjából indulnak ki és véges nyílásszögük van.

A **fénysugarak** végtelenül keskeny sugárnyalábok.

A **központi sugár** pontosan a sugárnyaláb középvonalában halad, a **határoló** (marginális) **sugarak** pedig a palástján.



Az egyenes vonalú terjedés megmagyarázza az árnyék jelenségét is: a fény nem kerüli meg az útjában álló testet. Ha a test nem átlátszó, mögéje nem jut fény, így árnyék keletkezik. Az árnyék az akadály vetülete.

Akadály híján a gyertyalángot minden irányból látjuk, mert a lángból minden irányba indulnak ki fénysugarak. De hogyan látjuk a poharat?

Csak úgy láthatjuk, hogy valami megvilágítja. A pohár visszaveri a ráeső fény egy részét. Ez a **visszavert fény jut a szemünkbe**.

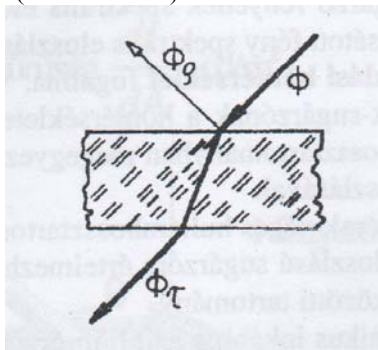
Egy tárgyat akkor látunk, ha az általa kibocsátott vagy a róla visszavert fény a szemünkbe jut.

Fényhullámok visszaverődése és törése új közeg határán

A fény nem kerüli meg a testeket, viszont némelyiken átmegy. Az ablaküveg, a víz, a levegő **átlátszó**. Az átlátszó anyagból készült elég vastag réteg már nem átlátszó: **elnyeli** a beléje hatoló fényt. Az óceánok fenekén ezért van teljesen sötét.

A ködön, tejüvegen, zsírpapíron átjön a fény, de rajtuk keresztül nem tudjuk pontosan kivenni a tárgyakat. Ezeket **áttetsző** anyagoknak mondjuk.

Ha egy fényáteresztő felületre fény esik, a felület a ráeső fény egy részét visszaveri (reflexió), egy részét elnyeli (abszorpció), egy részét pedig átbocsátja (transzmisszió).



Fényvisszaverés (reflexió)

A sugárzás visszatérítése valamely felületről anélkül, hogy monokromatikus összetevőinek frekvenciája megváltoznék

Mennyiségi jellemzője a **visszaverődési tényező**

jele: Q (ró)

a visszavert és a visszaverő felületre beeső fényáram aránya.

$$Q = \frac{\Phi_r}{\Phi_o}$$

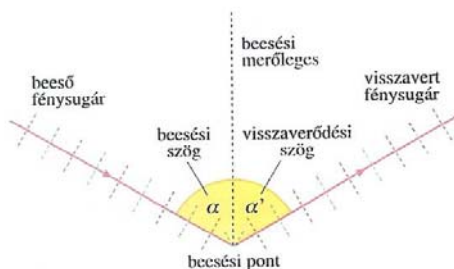
Ahol a Φ_r a visszavert fényáram, Φ_o a beeső fényáram.

Q függ a felület anyagi minőségétől, a felület szerkezetétől és a fény hullámhosszától.

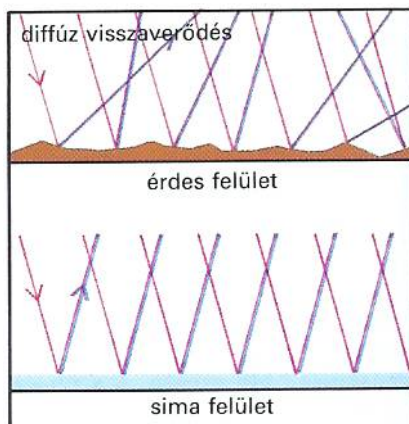
Az ezüstözött felületű tükör a beeső fény 92%-át visszaveri, tehát $Q = 0,92$. Tükröződő higanyfelület a beeső fénynek csak 71%-át veri vissza, tehát $Q=0,71$

A fényvisszaverődés törvényei:

- A beeső fénysugár, a beesési merőleges és a visszavert fénysugár egy síkban van.
- A beesési szög megegyezik a visszaverődési szöggel; $\alpha = \alpha'$



A visszavert felület érdességétől függően megkülönböztetünk rendezett (tükrös) és diffúz (szétszórt) visszaverődést.



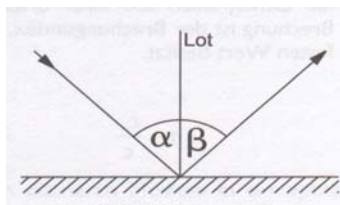
Visszaverődések

Ha fénysugár csiszolt (polírozott) felületre esik, akkor részben vagy teljes egészében visszaverődik. Ha siktükör előtt egy tárgy áll, a tükör mögött megjelenik a tárgy egyenes állású, a tárgyal egyenlő nagyságú képe, amelyben a tárgy jobb és bal oldala felcserélve látszik.

Diffúz visszaverődés: Ha egy sugárraláb érdes felületre esik, minden sugár más irányba verődik vissza.

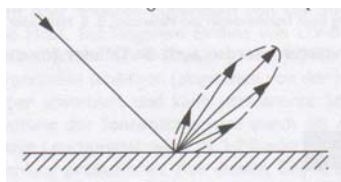
A fényvisszaverődés jellemző fajtái

Irányított



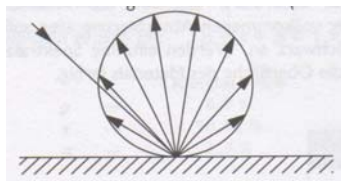
Irányítottnak nevezzük a fényvisszaverést akkor, ha a visszavert sugár irányított marad, és a fény beesési szöge egyenlő a visszaverődési szögével. Az ilyen tulajdonságú anyagok közé tartoznak a fémtükrök és az ezüstüvegtükrök.

Irányítottan szórt



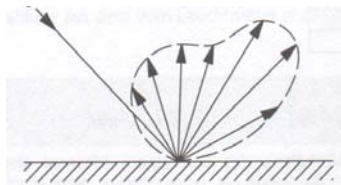
Irányítottan szórt a fényvisszaverés akkor, ha az anyag felülete a ráeső fényt szórtan veri vissza, de a legnagyobb érték iránya nem az anyag felületére merőleges, hanem a tükrözés törvényei szerint szabottan az irányított visszaverés vonalában van. (opálüveg, zománcozott felületek)

Szórt (diffúz)



Egyszerűen szórt visszaverésről beszélünk akkor, ha az eredeti beesési irány, mint kitüntetett irány nem ismerhető fel, a visszavert sugár minden irányban azonos intenzitású, a fényeloszlásról rajzolt test gömb alakú. (gipsz, kréta és mázolt felületek)

Vegyes

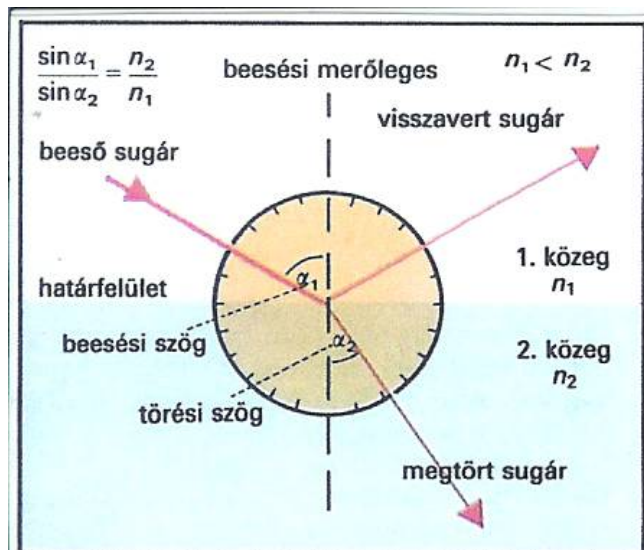


Vegyes (szórt és irányított) visszaverésről beszélünk, ha a szabályos visszaverés irányában ugyan maximális a visszavert sugárzás, de ezektől eltérő irányokban is észlelhető több-kevesebb sugárzás.

Fénytörés törvényei

Ha a fénysugár két, optikailag különböző közeg határfelületére esik, egy része visszaverődik, a másik része pedig (általában) irányát megváltoztatva behatol a közegbe, megtörik.

Ez utóbbi jelenség a fénytörés (**refrakció**)



A fénytörés törvénye

- A beeső fénysugár, a megtört fénysugár és a beesési merőleges egy síkban vannak.
- A határfelületre merőlegesen érkező fényhullám az új közegbe lépve nem törik meg, hanem irányváltoztatás nélkül halad tovább.
- Ha a fényhullám ferdén érkezik a határfelületre, akkor az α beesési szög szinusza egyenesen arányos az α_2 törési szög szinuszával, a két szög szinuszának hányadosa állandó, és megegyezik a két közegben mért terjedési sebességek arányával (n : **relatív törésmutató**)

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{c_1}{c_2} = n_{2;1}$$

A terjedési sebességek arányát a (2) közegnek az (1) közegre vonatkoztatott **törésmutatójának** nevezzük.

A fénytörés törvényét felfedezőiről **Snellius-Descartes- törvénynek** is nevezik.

Ha a törési szög nagyobb mint a beesési szög, így elérhetünk olyan beesési szöget, hogy a törési szög éppen 90° lesz. Ha **tovább növeljük** a beesési szöget, a fénysugár nem törik meg, hanem **visszaverődik!** Ezt **teljes visszaverődésnek** nevezzük.

A mérések szerint az átlátszó anyagi közegekben a fény kisebb sebességgel terjed, mint vakumban. Így például üvegekben a terjedési sebesség a vákuumbeli sebességhez képest mintegy 30-40%-kal kisebb.

Azt az anyagot nevezzük optikailag sűrűbbnek, amelynek törésmutatója nagyobb, vagyis amelyben kisebb sebességgel terjed a fény.

Fényáteresztés (transzmisszió)

A sugárzás áthaladása valamilyen anyagon anélkül, hogy monokromatikus összetevőinek frekvenciája megváltoznék.

Mennyiségi jellemzője a **áteresztési tényező**

jele: τ (tau)

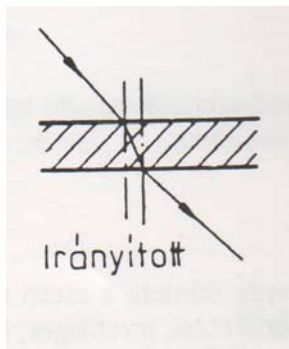
az átersztett és a beeső fényáram aránya.

$$\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi}$$

Ahol a Φ_r a visszavert fényáram, Φ a beeső fényáram.

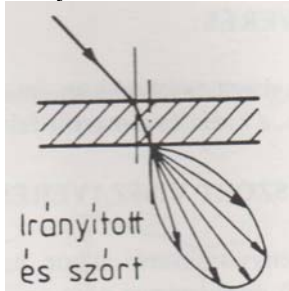
A fényáteresztés jellemző fajtái

Irányított



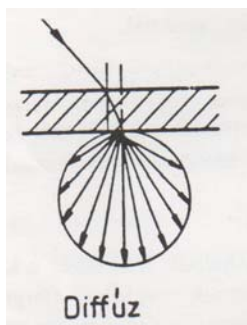
Az anyagon áthaladó fénysugár irányított marad és útját az anyagból való kilépés után a fénytörés szabályai szerint folytatja. (üveg, víz, szintelen átlátszó műanyagok).

Irányítottan szórt



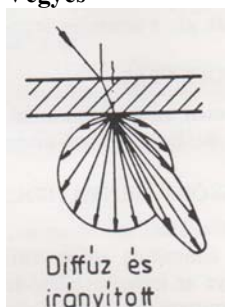
Az anyagon áthaladó fénysugár a kilépésnél az irányított fényátbocsátás irányában szórt fényeloszlási testet mutat, de legnagyobb értékének iránya a fénytörés szabályai szerint adódik. (homokkőfűvott üveg)

Szórt (diffúz)



Az anyagon áthaladó fénysugár a kilépésnél szóródik és fényeloszlási teste gömb alakot ölt. (opálüveg)

Vegyes



Az anyagon áthaladó fénysugár a kilépésnél egyrészt szórt módon, másrészt irányítva halad tovább. Ilyen anyagok esetén a szórt fényeloszlási test kiegészül a fénytörés szabályai szerint adódó irányított fényátbocsátási résszel. Felülete a ráeső fény egy részét szórt módon, más részét irányítottan veri vissza. (selyemhomályos üveg)

Fényelnyelés (abszorció)

Fényelnyelés esetén a fényáram egy része az anyagban energiaátalakulást szenved.

Fényszórás

Ha a fény közegen halad át, és közben nem nyelődik el, hanem csupán rendezetlen irányban elterül, akkor ezt a jelenséget **fényszórásnak** nevezzük.

Optikai eszközök

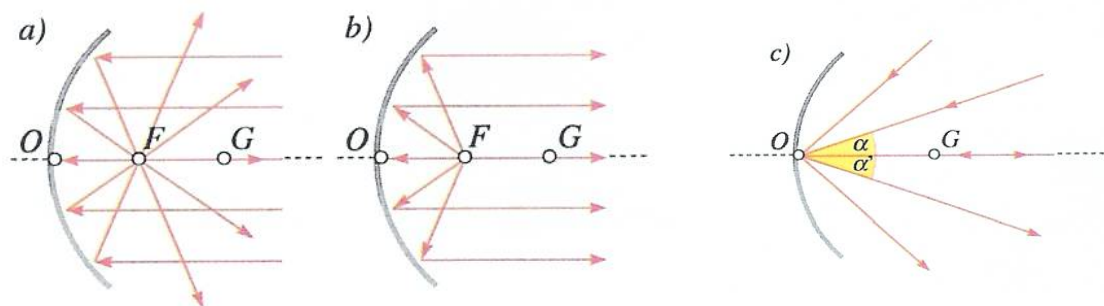
Gömbtükrök képalkotása

A homorú és domború gömbtükrök egy R sugarú gömb felületének részei.

A tükrökre eső és azon visszaverődő egyes fénysugarak útját könnyen nyomon követhetjük és megszerkeszthetjük, ha a gömbtükör adott kicsiny felületét érintő irányú kis síktükörnek tekintjük, melynek beesési merőlegese az adott ponthoz húzott görbületi sugár.

A homorú tükör nevezetes sugármenetei:

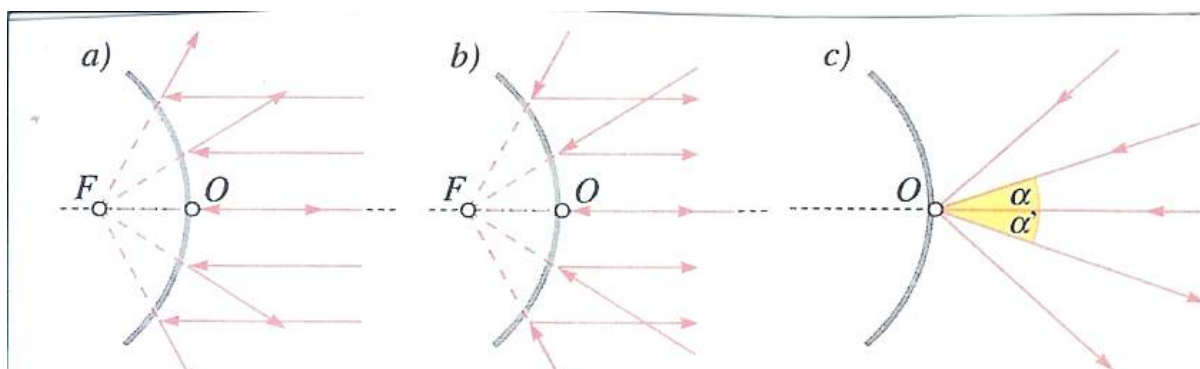
- A homorú tükörre a tükör szimmetriatengelyével (optikai tengely) **párhuzamosan beeső** fénysugarakat a tükör úgy veri vissza, hogy azok **egy pontban találkoznak**.
Ezt a pontot nevezzük **fókuszpontnak**. ($OF = \frac{1}{2} \cdot R$)
- A fény útjának megfordíthatóságából következik, hogy a **fókuszpontból kiinduló** fénysugarakat a homorú tükör az optikai tengellyel **párhuzamosan** veri vissza.
- A tükör O **optikai középpontjába** érkező sugarakat a tükör a szimmetriatengelyére **szimmetrikusan** veri vissza. ($\alpha = \alpha'$)



homorú tükrök nevezetes sugármenetei

A domború tükrök nevezetes sugármenetei:

- A domború tükörre a tükör szimmetriatengelyével (optikai tengely) **párhuzamosan beeső** fénysugarakat a tükör úgy veri vissza, mintha azok **egy pontból** (F), a tükör mögöl indultak volna ki.
Ezt nevezzük látszólagos **fókuszpontnak**. ($OF = \frac{1}{2} \cdot R$)
- A látszólagos **fókuszpontba tartó** fénysugarakat a domború tükör az optikai tengellyel **párhuzamosan** veri vissza.
- A tükör O optikai **középpontjába érkező** sugarakat a tükör a szimmetriatengelyére **szimmetrikusan** veri vissza. ($\alpha = \alpha'$)

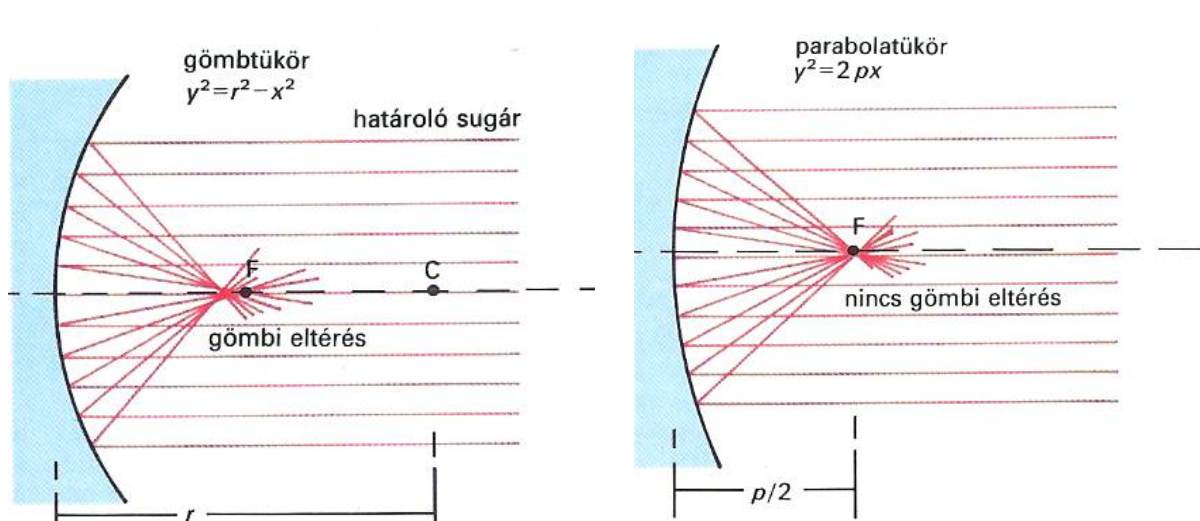


A domború tükrök nevezetes sugármenetei

Gömbi eltérés (szférikus aberráció)

Széles a főtengellyel párhuzamos sugárnyaláb beesésekor lép fel. A szélső sugarak a fókuszpont és az optikai középpont között metszik egymást, amely a kép elmosódottságához vezet. Ha a sugárnyaláb átmérője a fókusz távolsághoz képest kicsi (ezt a szélső sugarak fényreklusz történnő kizárásával érhetjük el) a gömbi eltérés elhanyagolható.

A parabolatükörnek nincs gömbi eltérésük.



Fényvetőkben használatos tükrök

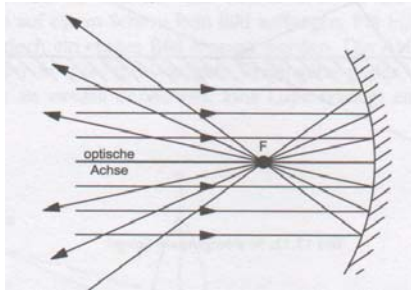
A fényvetőkben használt tükröknek meg kell felelni az alábbi követelményeknek_

- kiváló visszaverődési tényező
- reflexiós stabilitás
- hőálló képesség

A gyakorlatban nagy tisztaságú alumíniumból nyomott, felületében polírozott, vagy üvegfelületre ezüst-fémgőzöléssel felvitt, fényvisszaverő réteg kialakítású tükröket alkalmaznak.

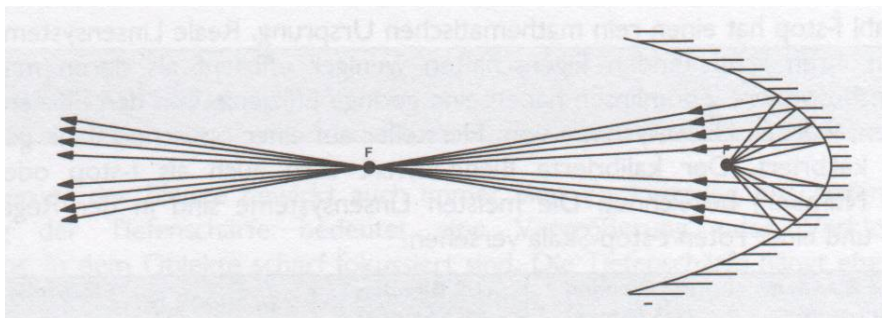
Speciális igényesség esetén az öntött tükör üvegfelületét utócsiszolással alakítják ki

Gömbtükör (spherical reflector)



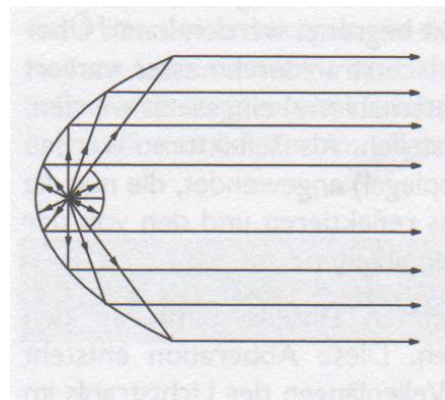
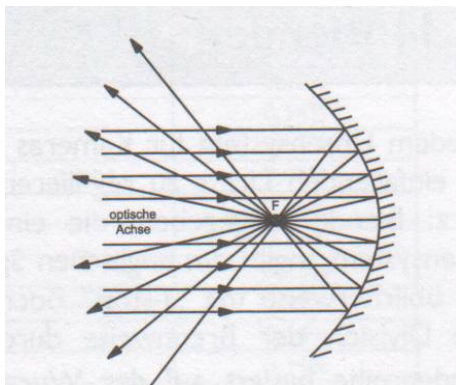
Legáltalánosabban használt tükrőfajta. Alkalmazásához lencse kiegészítés szükséges

Ellipszoid tükör (ellipsoidal reflector)



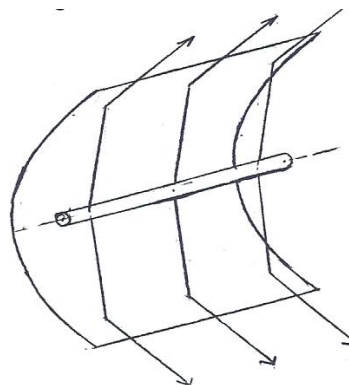
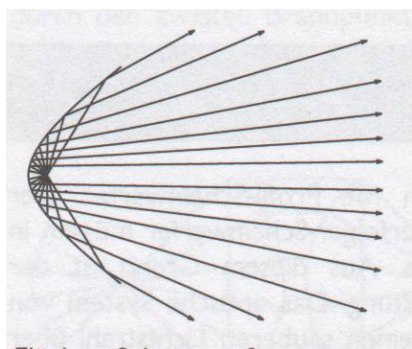
Két fókuszponttal rendelkezik. Profil fényvetőkben használatos. Hatásfoka sokkal jobb a gömbtükörnél, mivel a fényforrást akár 270° -ban körbefoghatja. Alkalmazásához lencse kiegészítés szükséges

Parabola tükör (parabolic reflector)



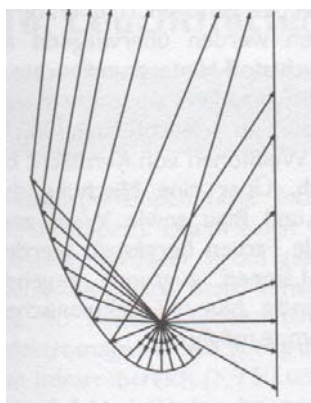
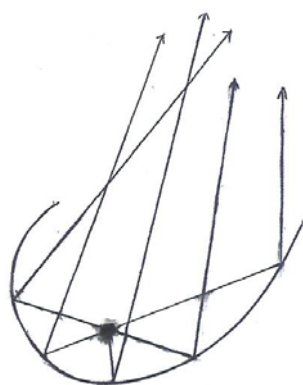
Közel párhuzamos fénysugár kibocsátású fényvetőkben használatos. Egy gömbtükörrel közömbösítjük a fényforrásból szemben kibocsátott fénysugárzás káros optikai hatását, Alkalmazásuk nem igényel lencserendszert.

Szimmetrikus horizont tükör (trough reflector)



Általában derítésre használják ezért szóró (diffúz) felületi kiképzésű.

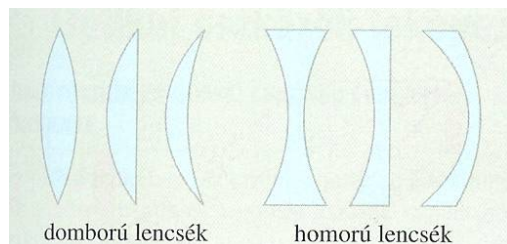
Aszimmetrikus horizont tükör (asymmetrical reflector)



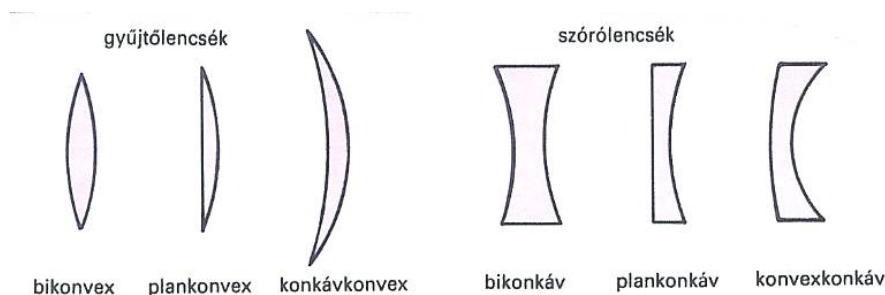
Háttér vagy horizontvilágításra használt fénycsőben alkalmazzák. Egy – szélről megvilágított - felületen közel azonos megvilágítást biztosít.

Optikai lencsék

A gyakorlatban leggyakrabban átlátszó anyagból (üveg vagy műanyag) készült gömbfelületekkel határolt lencsét (ún. gömbi lencsét) használunk egyszerű nagyítóként, szemüvegekben és összetett optikai eszközökben. A határoló felületek lehetnek domborúak (**konvex**) és homorúak (**konkáv**), az egyik közülük lehet sík felület is.



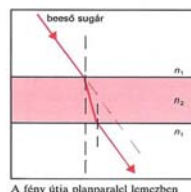
A **fénytani lencse** általában két gömbfelülettel vagy gömb- és síkfelülettel határolt, átlátszó anyagból készült test. Kétfajta típusa a gyűjtő- (konvex) és a szóró- (konkáv) lencse.



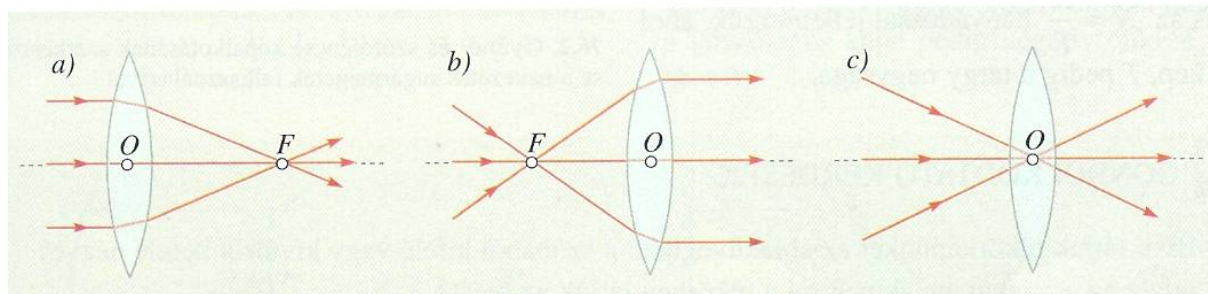
A gyűjtőlencse nevezetes sugármenetei:

- A lencse az optikai tengelyével párhuzamos fénysugarakat egy pontba gyűjti össze. Ezt a pontot **fókuszpontnak**, az $f=OF$ távolságot pedig **fókusz távolságnak** hívjuk.
- A fókuszpontból kiinduló, szét tartó fénysugarakat a gyűjtőlencse törés után az optikai tengellyel párhuzamossá teszi.
- Ha a lencse elég vékony, akkor az O optikai középpontján bármilyen irányból áthaladó fénysugarakat gyakorlatilag nem töri meg.

A valóságban ezek a sugarak önmagukkal párhuzamosan egy kicsit eltolódnak, mivel a lencse középső része plánpáralel lemeznek tekinthető



A fény útja plánpáralel lemezben

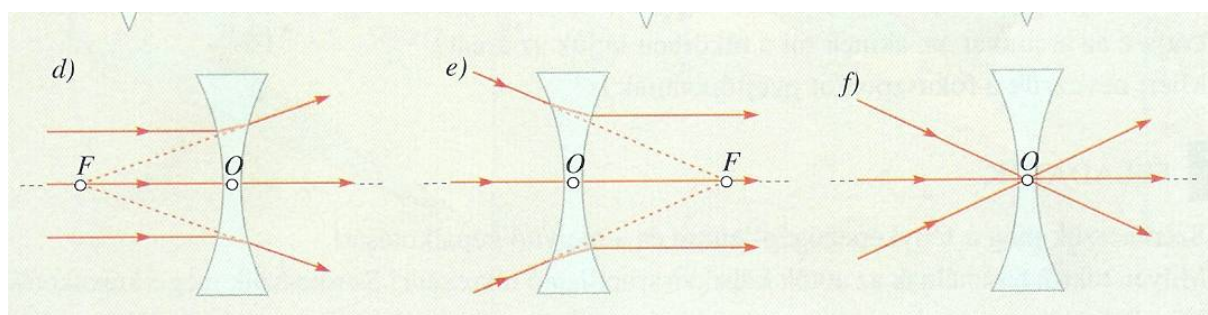


A gyűjtőlencse nevezetes sugármenetei

A szórólencse nevezetes sugármenetei:

- d, A lencse az optikai tengelyével párhuzamos fénysugarakat a töréssel úgy teszi széttartóvá, mintha azok a fény beérkezésének oldaláról egy F pontból indultak volna ki. Ezt látszólagos **fókuszpontnak** nevezzük. Az $f=OF$ távolságot pedig **látszólagos fókusztávolságnak** hívjuk, amelyet a számításoknál negatív előjelűnek veszünk.
- e, A látszólagos fókuszpontba összetartó fénysugarakat a szórólencse a törés után az optikai tengellyel párhuzamossá teszi.
- f, Ha a lencse elég vékony, akkor az O optikai középpontjába bármilyen irányból érkező fénysugarak lényegében irányváltoztatás nélkül haladnak tovább.

Általában a domború lencse gyűjtő-, a homorú szórólencseként viselkedik. Ha viszont a lencse anyagának törésmutatója kisebb, mint az azt körülvevő közeg törésmutatója, akkor a domború lencse szóró-, a homorú pedig gyűjtőlencse lesz.



A szórólencse nevezetes sugármenetei

A lencsék képalkotása

Mivel a képet a lencsén áthaladó és azon megtörő fénysugarak alkotják, ezért a valódi kép – a tükrökkel ellentétben – mindig a lencsének a tárgy átellenes oldalán keletkezik, a látszólagos kép és a tárgy pedig a lencse azonos oldalán található.

A **gyűjtőlencse** képalkotása hasonló a **homorú tüköréhez**. A tárgy és a lencse távolságától függően a keletkezett kép lehet valódi nagyított vagy kicsinyített, valamint nagyított látszólagos. A valódi képek mindig fordított, a látszólagosak pedig egyenes állásúak.

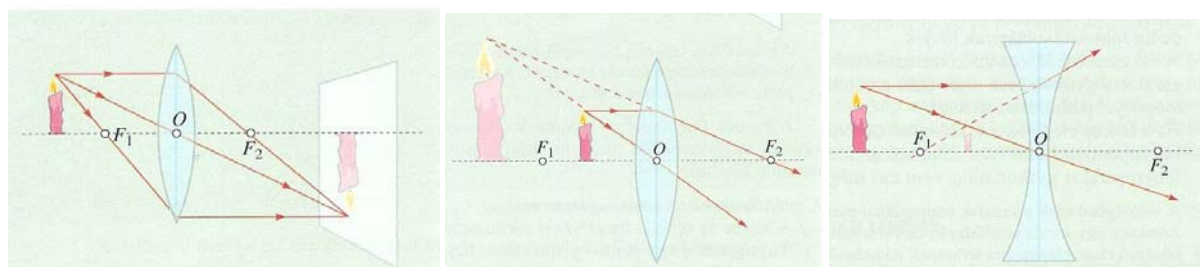
A **szórólencse**, akárcsak a **domború tükör**, mindig egyenes állású, kicsinyített, látszólagos képet alkot.

Két nevezetes sugármenet segítségével a lencsék által a tárgyról alkotott képet megszerkeszthetjük. Hasonlóan

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

a tükrökhöz, a lencse nagyítását is az nagysága.

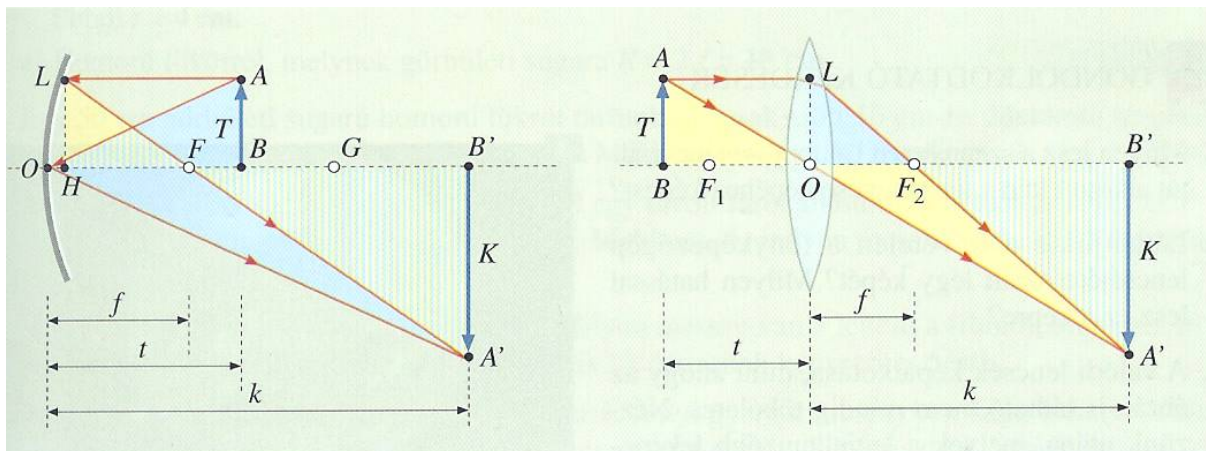
hányadossal jellemezzük, ahol K a kép, T pedig a tárgy



Gyűjtő és szórólencse képalkotásának szerkesztése a nevezetes sugármenetek felhasználásával

Gömbtükrök és gömbi lencsék leképezési törvénye

Keressük meg, hogy milyen összefüggés írható fel a t tárgytávolság, a keletkezett kép k képtávolsága és az optikai eszközre jellemző f fókusz távolság között.



1. Homorú tükör és domború lencse képalkotásának vázlata a leképezési törvény levezetéséhez

A homorú tükör képszerkesztése alapján látható, hogy az $OA'B'\Delta$ hasonló $OBA\Delta$ (a megfelelő szögek egyenlők) Ebből következik, hogy $N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t}$. Továbbá $FLH\Delta$ és az $FA'B'\Delta$ három szögek hasonlósága

alapján – figyelembe véve, hogy $LH=T$ és $HF \approx FO = f$ – felírhatjuk, hogy $\frac{f}{T} = \frac{k-f}{K}$.

Az előző $\frac{K}{T} = \frac{k}{t}$ arányt felhasználva a képalkotásnál szereplő f , t , k távolságokra a következő törtes

egyenlőséget kapjuk: $\frac{k-f}{f} = \frac{k}{t}$. $/:ft$

Ahonnán átrendezés után

$$K \cdot t = f \cdot k + f \cdot t, \quad /:ftk$$

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

A gyűjtőlencse képszerkesztésénél kapott hasonló háromszögeknél a megfelelő oldalak arányait felírva szintén könnyen eljuthatunk a képalkotás fenti összefüggéséhez. ($OBA\Delta$ hasonló $OA'B'\Delta$ és $F_2LO\Delta$ hasonló $F_2A'B'\Delta$)

A leképezési törvény szerint a **fókusz távolság reciproka egyenlő a tárgytávolság és a képtávolság reciprokainak összegével.**

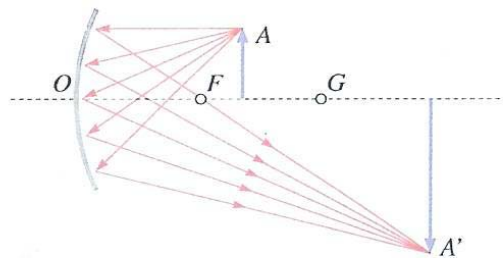
Az N nagyításra pedig adódik, hogy $N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t}$

A **leképezési törvény általánosítható** a gömbtükrök és lencsék valamennyi képalkotására, ha a képletben szereplő távolságokat előjellel látjuk el.

- Valódi tárgyaknál a t tárgytávolságot **mindig pozitív előjelűnek** tekintjük.
- a **gyűjtőlencsénél** és a **homorú tükörnél** a fókusz távolságot pozitívnak ($f > 0$), a **szórólencsénél** és **domború tükörnél** pedig negatívnak ($f < 0$) kell tekinteni.
- A leképezési törvényből adódik, hogy ekkor a valódi kép képtávolsága pozitív előjelű ($k > 0$), a **látszólagos képé pedig negatív előjelű lesz.** ($k < 0$).

MEGJEGYZÉSEK

1. A lencsék és tükrök képalkotásakor természetesen nemcsak a képszerkesztéseknél használt nevezetes sugarak találkoznak a képpontban, hanem a tárgypontból kiinduló összes fénysugár úgy verődik vissza a tükrore (vagy törik meg a lencsén), hogy az A' képponton halad keresztül. Ezért ha a lencse vagy a tükör egy részét letakarjuk, akkor a fennmaradó rész is alkot a tárgyról képet, csak az halványabb lesz, mivel ekkor kevesebb fénysugár találkozik a képpontban.



Az A pontból kiinduló összes fénysugár A' -ben találkozik

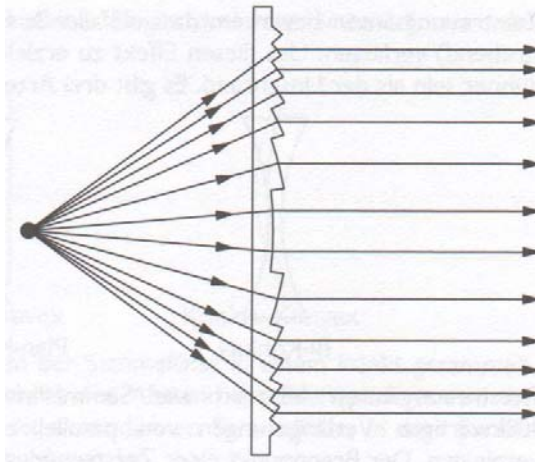
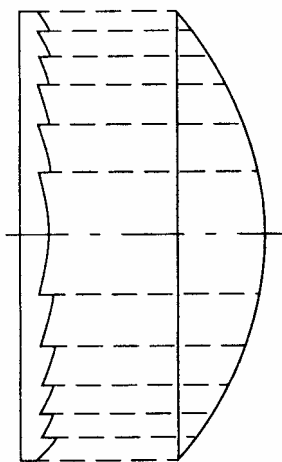
2. A leképezési törvény nagy pontossággal csak azokra a lencsékre teljesül, amelyeknek az optikai tengelynél mért d vastagsága jóval kisebb, mint a lencse D átmérője ($d \ll D$). Ezeket **vékony lencséknek** nevezzük. A képszerkesztéseknél a vékony lencsét a lencse szimmetriavonalával azonosítjuk, és a nevezetes sugarakat a vonalnál törjük meg a megfelelő módon. A gyűjtőlencsének akkor nagyobb a törőképessége, ha az O középponthoz minél közelebbi F_2 fókuszpontba gyűjti össze a ráeső párhuzamos fénysugarakat, azaz minél kisebb az f fókusz távolság. A szórólencse törőképessége pedig akkor nagy, ha a ráeső párhuzamos fénysugarakat minél jobban szét tartóvá teszi, azaz a látszólagos F_1 fókuszpont minél közelebb van a lencse O középpontjához.

A lencsék törőképességét mennyiségileg a $D = \frac{1}{f}$ **dioptriával** jellemezhetjük, ahol megállapodás szerint a fókusz távolságot méter egységben számítjuk. A fókusz távolságok előjelének megfelelően a **gyűjtőlencse pozitív**, a **szórólencse pedig negatív dioptriájú**.

A lencsék f fókusz távolsága függ a lencsét határoló gömbfelületek R_1, R_2 sugaraitól és a lencse anyagának a külső közegre vonatkoztatott n törésmutatójától. Vékony lencsékre levezethető az

$$\frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \text{ összefüggés, ahol domború felület esetén } \frac{1}{R} > 0, \text{ homorúnál } \frac{1}{R} < 0, \text{ síklap esetén pedig } \frac{1}{R} = 0 \text{ veendő.}$$

A színháztechnikában gyakran használnak úgynevezett **Fresnel lencsét**, mely egy gyűjtőlencse speciális kialakítású változata. Jellemzője, hogy a koncentrikusan elhelyezkedő lencsemetszetek gyűjtőtávolságai a lencse fénytani középpontjától azonos távolságra vannak. Tömege és vastagsága a vele egyenértékű (azonos gyűjtőtávolságú és átmérőjű) gyűjtőlencsénél lényegesen kisebb lehet.



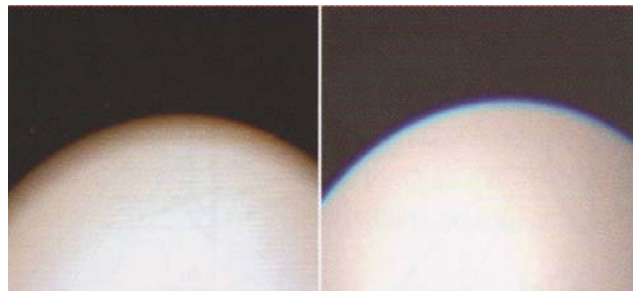
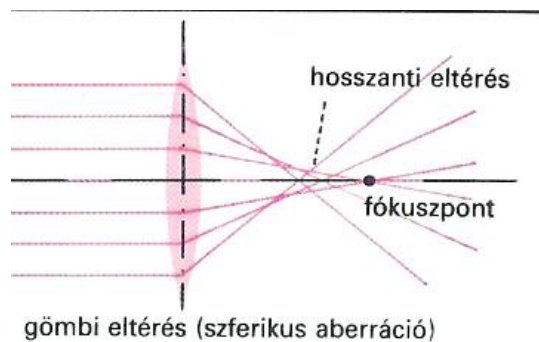
Lencse és leképezési hibák

Nagy nyílású és vastag lencsék esetén a főtengellyel párhuzamos sugarak nem futnak össze egy pontba. Ezt a lencsehibát **gömbi eltérésnek** (**szferikus aberrációnak**) nevezzük. A gömbi eltérés speciális alakú (nem gömbszelet domborulatú), úgynevezett **aszférikus lencsékkel** mérsékelhető. A hiba azzal is csökkenthető, ha a lencse mögé fényrekeszt (blende) helyezünk. Minél kisebb a nyílás, annál élesebb, de annál fénysegeyebb is a kép.

A fénytörés következtében **színszóródás** is fellép (**színi eltérés**). Ez a hiba több, különböző törésmutatójú lencséből összetett lencserendszerrel küszöbölhető ki. (gyűjtő és szórólencse együttes alkalmazása)

Ez a **színi eltérés** (**kromatikus aberráció**)

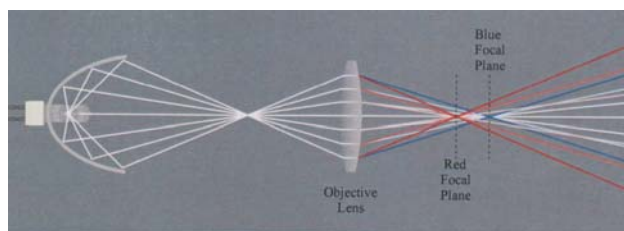
Kék fénysugarak fókusztávolsága rövidebb, a vörös sugaraké hosszabb. Fehér fénnel történő leképezéskor a kép körül színes szegély látható.



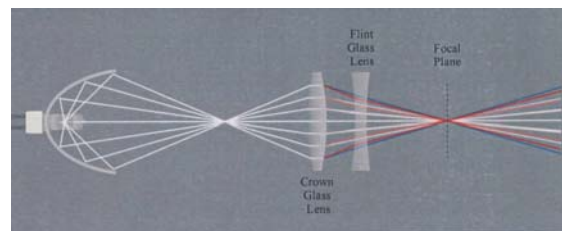
Kromatikus aberráció



29 Colour defect in a plano-convex lens



Kromatikus aberráció



Kromatikus aberráció korrekciója akromatikus lencsével

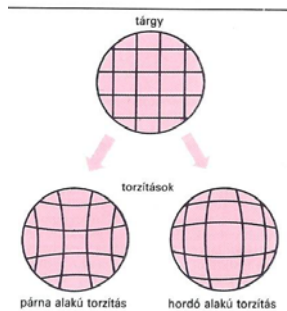
Asztigmatizmus

Ha a sugárnyaláb ferdén esik a lencse közepére, a sugarak nem a gyújtópontban találkoznak. Ezt nevezzük asztigmatizmusnak. Csökkentésére speciális görbületű, úgynevezett anasztigmát lencsét alkalmaznak.

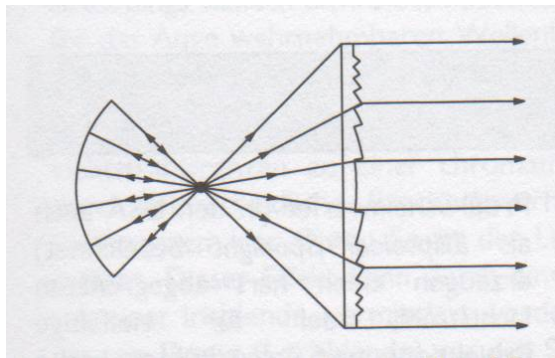
Torzítás

A laterális (oldalirányú) nagyítás változik az optikai tengelytől mért távolsággal. Egy négyzet alakú tárgy képe hordó vagy párna alakú torzítást mutat.

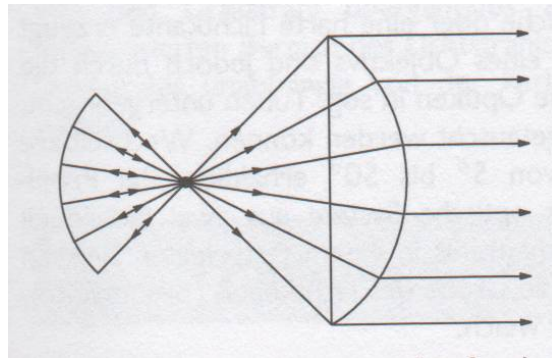
Ennek a leképezési hibának a javítása a lencsefelület megfelelő kialakításával csökkenthető.



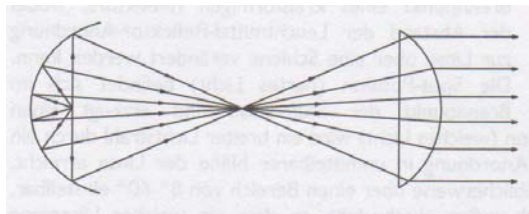
Fényvetőkben használatos lencse rendszerek



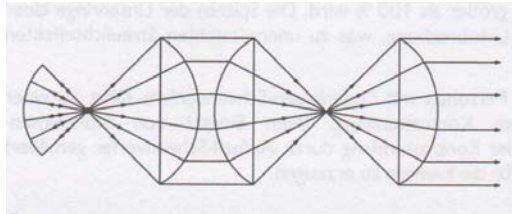
Gömbtükör - Fresnel lencse -



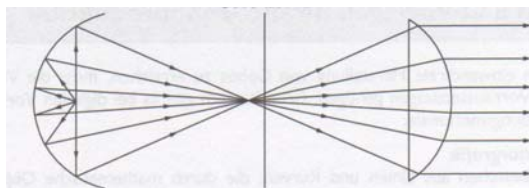
Gömbtükör - Plan-konvex (PC) lencse



Ellipszoid tükör - vetítő lencse



Gömbtükör – kondenzor lencsék – vetítő lencse



Iris - gobó és fényvágó kés elhelyezése az optikai rendszerben