

A geometriai optika

Fizika 11.

Rezgések és hullámok

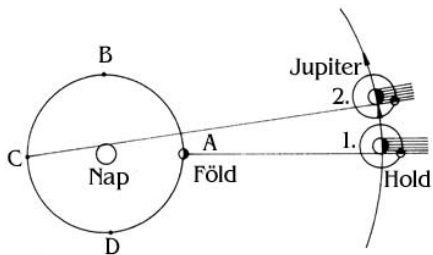
2020. november 18.

Tartalomjegyzék

- 1 A fénysebesség meghatározása
 - Olaf Römer
 - Fizeau
 - Foucault
 - Michelson
 - Einstein
- 2 Optikai alapfogalmak
 - Fényforrások típusai
 - Nap- és holdfogyatkozások
 - A fénysugár
- 3 A fényvisszaverődés
 - Síktükör
 - Homorútükör
 - Domborútükör
- 4 Fénytörés
 - Snellius-Descartes-törvény
- 5 Lencsék
 - Domború lencse
 - Homorú lencse
- 6 A látás
 - Az emberi szem
 - Szemüvegek
- 7 Optikai eszközök
 - Lupe
 - Mikroszkóp
 - Galiei-féle távcső
 - Kepler-féle távcső
 - Newton-féle távcső
 - Cassegrain távcső
 - Leképezési hibák

Olaf Römer (1644–1710)

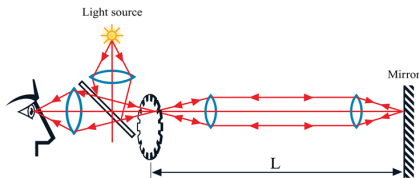
- Dán csillagász
- 1676-ban elsőként határozta meg a fénysebességet.
- Az Io nevű Jupiter hold keringési idejét mérte.
- A holdfogyatkozás 22 percet késett fél év alatt.
- 227 000 km/s-ot kapott



1. ábra. Éld át te is a mérést!

Fizeau (1819–1896)

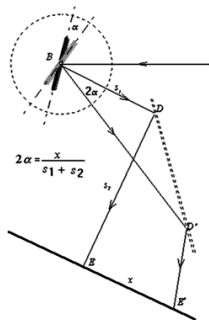
- Armand Hippolyte Louis Fizeau francia fizikus volt.
- 1849-ben határozta meg a fénysebességet 5%-os hibával.
- Kísérletében egy 720 fogszámú tárcsát forgatott.
- A fény átment a fogak között, és úgy forgott a tárcsa, hogy a fény visszafelé épp a következő lyukon át érkezzen.



2. ábra. A Fizeau-féle forgótárcsás módszer. A kísérletben a tükör a fogaskeréktől 8633 m-re volt. A forgatás időtartamából és a megtett útból a fénysebesség kiszámítható.

Léon Foucault (1819–1868)

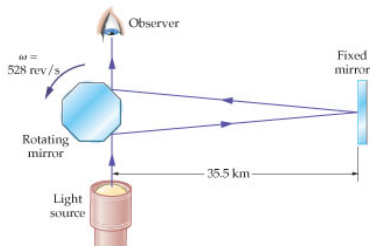
- Tükrök között halad a fény, és közben az egyik tükröt elforgatják.
- Ekkor a szögelfordulásból és a fényfolt eltérüléséből a fénysebesség meghatározható.
- 1862-ben 300 939 km/s-ot kapott.



3. ábra. A Foucault-féle forgótükrös módszer.

Albert A. Michelson (1852–1931)

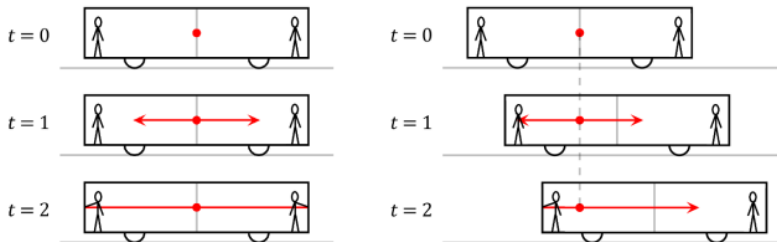
- Foucault módszerét fejlesztette tovább.
- 4, 8 és 16 oldalú forgó tükröt használt.
- $299\,864 \pm 51$ km/s-ot kapott 1879-ben.



4. ábra. Michelson többoldalú tükröt tartalmazó kísérleti elrendezése.

Einstein

Speciális relativitáselmélet: 1905-ben kimondta, hogy a fény minden inerciarendszerben¹ azonos sebességgel halad.



5. ábra. Ha feltesszük, hogy a fény sebessége mindig állandó, akkor nincs abszolút tér és idő. A vonatban ülők úgy érzik egyszerre ér hozzájuk a fény, kívülről nézve mást látunk.

¹Olyan vonatkoztatási rendszer, amelyhez viszonyítva egy test mozgására érvényes Newton első törvénye.

Fényforrások típusai

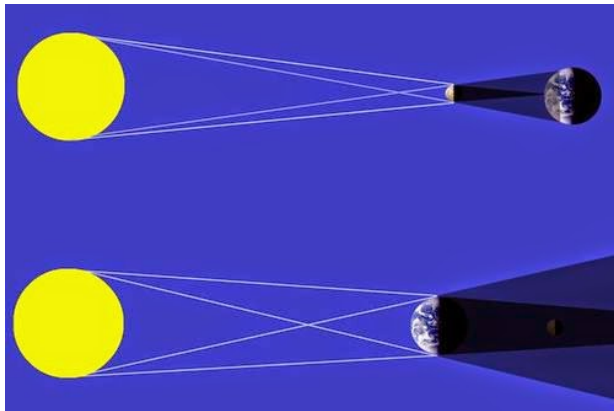
- **Elsődleges fényforrások:**
Energiaátalakulás révén bocsátanak ki fényt. Pl.: Csillagok, izzók, tűz, villám, sarki fény, kovakövek.
- **Másodlagos fényforrások:**
A rájuk eső fényt, vagy annak egy részét tükrözik vissza, vagy szórják. Pl. Tükör, papírlap, vetítövászón, Hold, hétköznapi tárgyaink.

- **Pontszerű fényforrások:** A fényforrás mérete sokkal kisebb, mint a jelenség jellemző méretei.

$$E \sim \frac{1}{R^2}$$

- **Kiterjedt fényforrások:**
Nem teljesül a pontszerűség feltétele.

Napfogyatkozás, holdfogyatkozás



6. ábra. Napfogyatkozások újholdkor következnek be, holdfogyatkozások viszont teliholdkor. Az első esetben a Hold a Napot részben vagy egészben eltakarja, a másodikban a Hold részben vagy egészben a Föld árnyékába kerül.

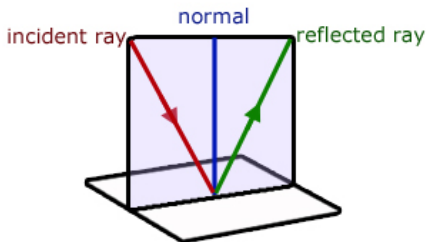
A fénysugár fogalma

- A fényforrások fénye a tér **minden irányban** terjed.
- **Fénynyaláb:** Átlátszatlan test környékén kúpban széttartó fény.
- **Fénysugár:** Minden határon túl elvékonyodott párhuzamos fénynyaláb. Ez a fénymodell a geometriai optika alapfogalma.
- Homogén közegben a fény **egyenes vonalban** terjed. Közeghatáron a beeső fény egy része általában visszaverődik, más része megtörhet, és a második közegben terjed tovább.
- Érvényes a fénysugarak megfordíthatóságának elve.

Síktükör sugármenetei

Visszaverődés foncsorozott
üveglapról:

- A beesó és a visszavert fénysugár a beesési merőleges síkjában van.
- A beesési és visszaverődési szög egyenlő.
- A diffúz (szórt) visszaverődés miatt látjuk a tárgyakat minden irányból.

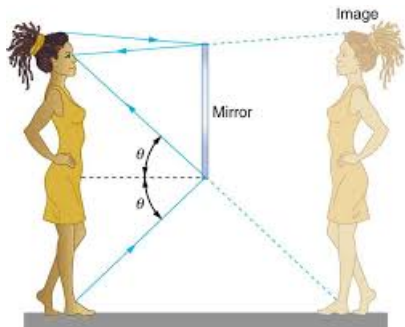


7. ábra. A nem egyenletes és a görbült felületeknél is teljesül lokálisan a visszaverődés törvénye.

Síktükör képalkotása

A síktükör által alkotott kép:

- Látszólagos (virtuális)
- Egyenes állású.
- A nagyítás aránya 1.
- A képtávolság egyenlő a tárgytávolsággal.

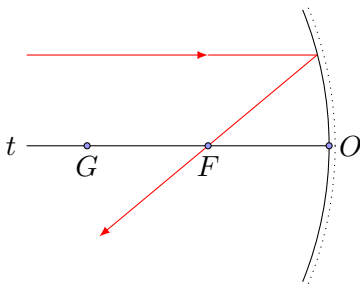


8. ábra. Hogy az ember lássa magát teljesen, feleakkora tükör kell, mint ő maga. A jobb és a bal oldal látszólag felcserélődik, de a fent és a lent nem.

Homorútükör sugármenetei

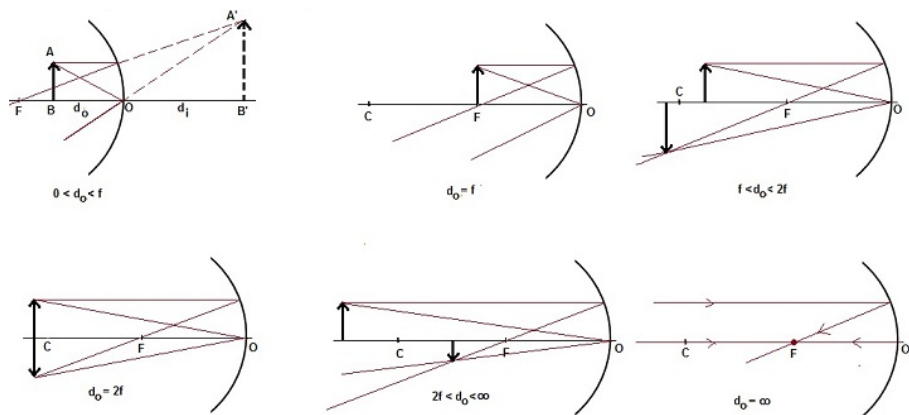
Egy G középpontú, R sugarú gömsüveg belső tükröző felülete.

- Geometriai középpont: (G)
- Optikai tengely (t)
- Optikai középpont (O)
- Fókuszpont (F)
- Fókusz távolság: $f = \frac{R}{2}$



9. ábra. A t tengellyel párhuzamos fénysugarak F -en át verődnek vissza. A fénysugarak megfordíthatóságának elve miatt ez visszafelé is igaz.

Homorútükör képképzése

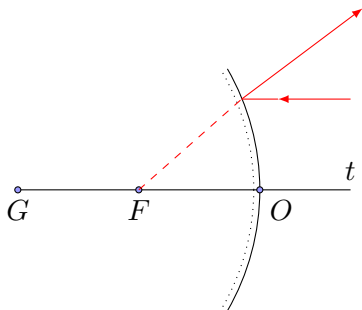


10. ábra. A kép tulajdonságai homorútükör esetén attól függenek, hogy éppen a tárgyat pontosan hova helyeztük el.

Domborútükör sugármenetei

Egy G középpontú, R sugarú gömbsüveg külső tükröző felülete.

- Előbbi fogalmak értelmesek.
- Fókusz távolság: $f = -\frac{R}{2}$
- Az fókusz felé haladó fénysugarak az optikai tengellyel párhuzamosan verődnek vissza².



11. ábra. A tengellyel párhuzamosan érkező fénysugarak úgy verődnek vissza, mintha a benti fókuszpontból indultak volna ki.³

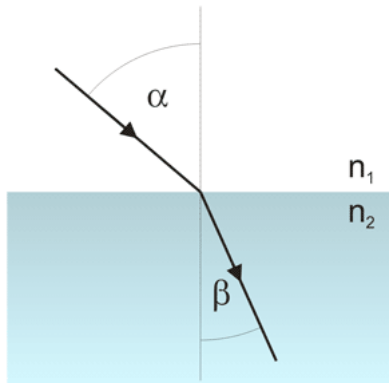
²A fénysugarak megfordíthatóságának elve itt is használható.

³A valóságban bent természetesen nincs fény.

Snellius-Descartes-törvény

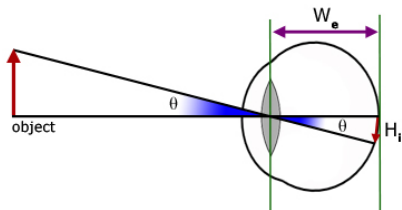
- A beesó fénysugár, a megtört fénysugár, illetve a beesési merőleges egy síkban van.
- Az α beesési szög és a β törési szög közötti összefüggés:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} = n_{2:1}$$



12. ábra. A beesési és a törési szöget a beesési merőlegetől kell felmérni.

Az emberi szem



13. ábra. Az emberi szem egyszerűsített modellje egy változtatható fókusz távolságú gyűjtőlencsét tartalmaz. Az optikai tengely és a retina távolságát W_e , a kép méretét H_i jelöli.

- Az embernél $W_e \approx 2$ cm.
- Közelre nézve: $D_{max} \approx 60 \frac{1}{m}$
- Távolba nézve: $D_{min} \approx 50 \frac{1}{m}$
- Tisztánlátás távolsága 25 cm, itt erőltetés nélkül éles a kép.
- A kép valódi, kicsinyített, fordított állású.

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{H_i}{W_e}$$

Szemüvegek

Vizsgáld meg a szem felépítését és a szemüvegeket!

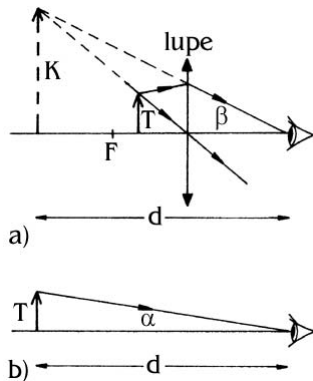
Lupe

Az egyszerű nagyító egy gyűjtőlencse, mely a fókusz távolságon belül elhelyezett tárgyról a tisztán látás távolságában ($d = 25 \text{ cm}$) egyenes állású, nagyított, látszólagos képet alkot. A szögnyagyítás:

$$N_{sz} = \frac{\beta}{\alpha}$$

Kis szögek esetén a nagyítás:

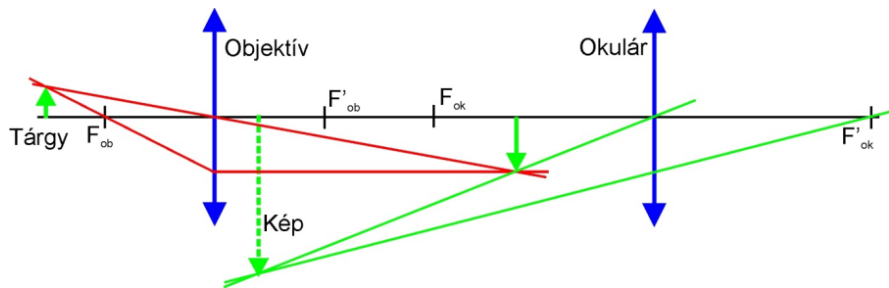
$$N_{nsz} = \frac{|d|}{f} + 1$$



14. ábra. Apró tárgyak részleteit lupe segítségével tudjuk megfigyelni.

A mikroszkóp

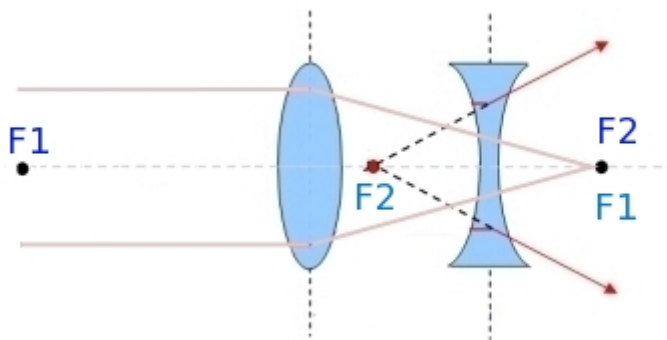
A d a tiszta látás távolsága, ℓ a tubushossz, f_1 az objektív-, f_2 pedig a szemlencse fókusz távolsága. Ekkor a szögnagyítás:
$$N_{sz} = \frac{d \cdot \ell}{f_1 \cdot f_2}$$



15. ábra. A mikroszkóp két gyűjtőlencse-rendszerből álló összetett optikai rendszer, mely a tárgyról fordított állású, látszólagos, nagyított képet ad.

Galilei-féle távcső

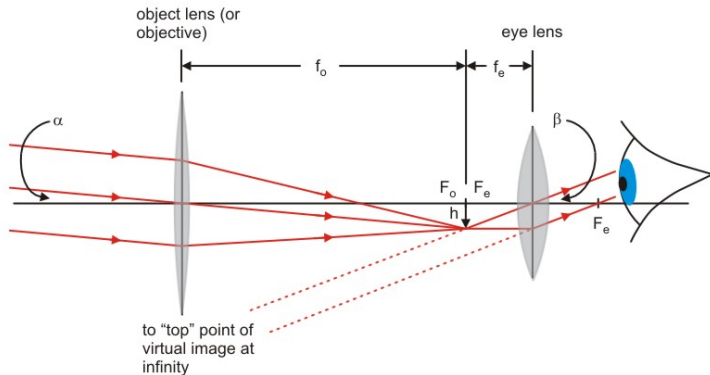
A Galilei-féle (vagy hollandi) távcső objektívje gyűjtőlencse, okulárja szórólencse, melyeknek azonos oldali fókuszai egybeesnek.



16. ábra. A színházi távcső egyenes állású képet alkot.

Kepler-féle távcső

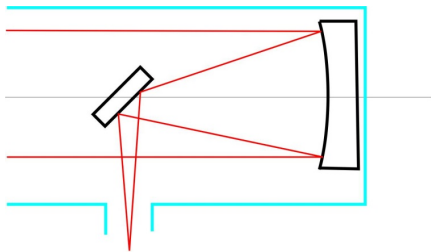
A Kepler-féle (vagy csillagászati-) távcső két gyűjtőlencséből áll, melyek optikai tengelye közös és a különböző oldali fókuszok egybeesnek.



17. ábra. A Kepler-féle távcső által alkotott kép fordított állású.

Newton-féle távcső

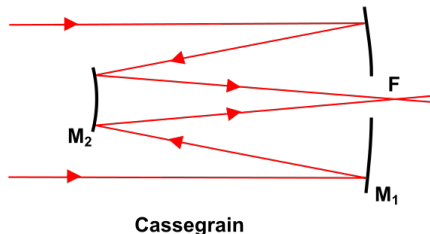
Nagy átmérőjű, hibátlan lencsék előállítása nagyon nehéz. Viszonylag könnyebb a nagy átmérőjű paraboloid tükrök csiszolása. Az objektív által alkotott képet általában egy kicsiny síktükörrel kivetítik oldalra, ahonnan az okulár segítségével megfigyelhető.



18. ábra. A segédtükör méretét a látómező határozza meg, azonban annak növekedésével nagyobb a központi kitakarás, így csökken a fényhasznosítás.

Cassegrain-féle távcső

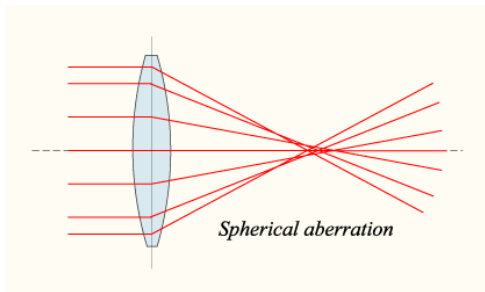
Előnye a hosszú fókusz távolság mellett a rövid tubushossz, ami elsősorban a segédtükörnek köszönhető. Alapkiépítésben a főtükörrel visszaverődő sugarak egy domború felületű segédtükörrel megnyújtva, a főtükör furatán keresztül jutnak el a megfigyelő okulárhoz.



19. ábra. A főtükör nagy fényereje miatt a segédtükör is jelentős méretű, a központi kitakarás miatt a szemlélt képre jellemző jelentős a fényveszteség.

Leképezési hibák: Szférikus aberráció

Az ideális felület nem gömbfelület lenne, hanem a Snellius–Descartes-törvényből származtatható bonyolultabban legyártható, negyedrendű felület.



20. ábra. A lencse szélén az ún. gömbi eltérés hibája egyre jelentősebb lesz.

Leképezési hibák: Kromatikus aberráció

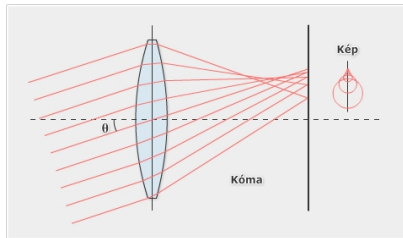
A lencsék, akár csak a prizmák, másképp törik meg a különböző hullámhosszúságú fénysugarakat. Javítása úgy történik, hogy gyűjtő- és szórólencsét tesznek egymás mögé, így az ellentétes diszperziók kijavítják a hibát. Csak 2, legfeljebb 3 színre lehetséges ez a javítás, mivel többre már megszűnne a lencserendszer törőképessége.



21. ábra. A lencse színhibája gyakori leképezési hiba.

Leképezési hibák: Kóma

A főtengelytől távoli pontból nagyon ferdén és nagy nyílásszögben érkező fénysugarak az ernyőn pontszerű kép helyett az üstökös csóvájához hasonló fényfoltot alkotnak. A kóma oka az, hogy a tárgypontról kiinduló sugarak a lencsén különböző mértékű eltérítést szenvednek.



22. ábra. A kóma elsősorban a nagy fényerejű, nagylátószögű objektíveknél figyelhető meg, leginkább a képmező széle felé.

Leképezési hibák: Asztigmatizmus

A lencse felszíne az egyik átmérő irányában domborúbb, és a másik irányban laposabb, emiatt a vízszintes síkban haladó sugarak nem azonos pontban egyesülnek, mint a függőleges síkban haladók.



23. ábra. Napjainkban szinte valamennyi eszközben kiküszöbölték a hibát. Az asztigmikus szemben a szemlencse, vagy a szaruhártya hibáját megfelelő szemüveggel vagy kontaktlencsével lehet korrigálni.

Leképezési hibák: Hordó- és tűpárna torzítás

A képmezőelhajlás során a lencse optikai tengelyére merőleges, nagy kiterjedésű sík tárgy leképezése során a fénysugarak útja meghajlik az objektív belül, a tárgyról keletkező képpontok ezáltal nem egy síkban, hanem görbe felületen keletkeznek.



24. ábra. Két jellegzetes forma, hordó (barrel) vagy tűpárna (pincushion) alakú torzítás alakulhat ki. Ezeknél a nagyítás a kép különböző részein nem egyforma.