2. OPTIKA

Az optika tudománya a látás élményéből fejlődött ki. A tárgyakat azért látjuk, mert vagy ők maguk fénysugarakat bocsátanak ki (fényforrások), vagy a fényforrások megvilágítják őket. A tárgyakat arrafelé látjuk, amely irányból a fény róluk a szemünkbe érkezik.

Az Optika mérésben fénytöréssel és fényvisszaverődéssel kapcsolatos méréseket végzünk. Vannak olyan optikai jelenségek – mint a polarizáció, diffrakció, interferencia –, melyek megértéséhez a fényt hullámként kell értelmezni (hullámoptika, fizikai optika). A fénytörés és fényvisszaverődés leírásához azonban nem szükséges figyelembe venni a fény hullámtermészetét, a jelenségek leírhatók a fénysugarak terjedésével (geometriai optika).

1. Geometriai optika

A geometriai optika a fénysugarak terjedésével foglalkozik. A fénysugár a fényforrásból egy keskeny térszögbe kiinduló fénynyaláb határesete, amikor ez a térszög végtelenül kicsi. Matematikailag ez egy olyan görbe, amelynek egy adott pontbeli érintője megegyezik a fény adott pontbeli terjedési irányával. Gyakorlati szempontból a fényforrástól elég távol úgy tekinthetjük, hogy a fényforrás minden irányba fénysugarakat bocsát ki.

1.1. A geometriai optika törvényei:

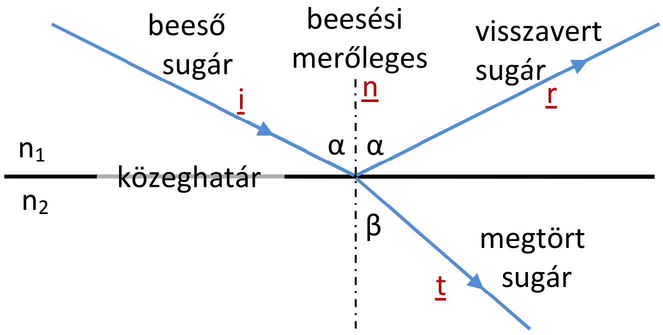
- Homogén közegben a fény egyenes vonalban terjed.

- A tér egy pontján akárhány fénysugár áthaladhat egymás zavarása nélkül.

- Ha a fénysugár a tér egyik pontjából egy bizonyos útvonalon halad a tér másik pontjába, akkor az onnan visszafelé indított fénysugár ugyanazon az úton fog haladni.

- A fény a közegtől függő, véges sebességgel terjed.
  Vákuumban a fény terjedési sebessége $c = 2{,}99792458 \cdot 10^8$ m/s, azaz $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s.
  Az abszolút – azaz vákuumra vonatkoztatott – **törésmutató**, n, *a vákuumbeli c fénysebesség és a közegbeli v fénysebesség hányadosa*:
  $$n = c / v. \tag{1}$$

- Két közeg közötti határfelületre érve a fény egy része a közeghatárról visszaverődik (reflexió), másik része behatol a második közegbe (transzmisszió), de itt megtörik, terjedési iránya általában megváltozik. A határfelület normálisa ($\underline{n}$) és a beeső fénysugár iránya ($\underline{i}$) meghatározza a *beesési síkot*. A visszavert fénysugár ($\underline{r}$) és a határfelületen áthaladt és megtört fénysugár ($\underline{t}$) a beesési síkban marad. A beeső fénysugár és a beesési merőleges szöge, a *beesési szög* (α).
  A visszavert fénysugár ugyanakkora szöget (α) zár be a beesési merőlegessel, mint a beeső fénysugár; ez a **visszaverődés törvénye**.
  A *törési szög* (β) a megtört sugár és a beesési merőleges közötti szög. α és β között a **Snellius-Descartes törvény** áll fenn:
  $$n_1 \sin\alpha = n_2 \sin\beta\,, \tag{2}$$
  ahol n_1 az első közeg törésmutatója, n_2 a másodiké.



1. ábra: Törés és visszaverődés két közeg határfelületén

Megjegyzések:

- A törés és visszaverődés törvényei görbült felületeknél is érvényesek, ilyenkor a görbült határfelület különböző pontjaiba érkező fénysugarak számára a beesési merőleges az adott pontbeli érintősík normálisa lesz.
- n_1 és n_2 abszolút (vákuumra vonatkoztatott) törésmutatók. A gyakorlatban gyakran relatív törésmutatót használunk. A második közeg elsőhöz viszonyított relatív törésmutatója: $n_{21} = n_2 / n_1 = v_1 / v_2$.
- A levegő törésmutatója jó közelítéssel 1, jelen mérés során is 1-nek vesszük. (Pl. üveg törésmutatója levegőben $n_{\text{üveg, levegő}} = n_{\text{üveg}} / n_{\text{levegő}} = v_{\text{levegő}} / v_{\text{üveg}} \approx n_{\text{üveg}} = c / v_{\text{üveg}}$.)
- Optikailag sűrűbb (azaz nagyobb törésmutatójú) közegbe lépve a törési szög kisebb lesz a beesési szögnél, viszont ha a fénysugár az ellenkező irányba halad (optikailag ritkább közegbe lép), akkor a törési szög nagyobb lesz a beesési szögnél.
- Különböző színű, azaz különböző frekvenciájú fénysugarakra a törésmutató eltérő (*diszperzió*). Az átlátszó közegek törésmutatója kissé növekszik a frekvencia növekedésével. A látható tartományban a vörös fény frekvenciája a legkisebb, az ibolyáé a legnagyobb, így az ibolya színű fénysugár törik meg a legjobban.

1.2. A teljes visszaverődés

Ha a fény egy nagyobb törésmutatójú közegből lép át egy kisebb törésmutatójú közegbe, a törési szög nagyobb a beesési szögnél:

$$\sin\beta = \frac{n_1}{n_2}\sin\alpha\,, \quad \beta > \alpha\,, \text{ ha } n_2 < n_1.$$

A beesési szög növelésével a törési szög egyszer csak eléri a 90°-ot ($\sin\beta = 1$). Ez az α_h határszög kifejezhető a Snellius-Descartes törvényből:

$$\sin\alpha_h = (n_2/n_1)\cdot\sin 90° = n_2/n_1, \quad \text{ahol} \quad n_2/n_1 < 1.$$

A határszögnél nagyobb beesési szöghöz nem tartozik megtört fénysugár, a fény teljes egészében visszaverődik.

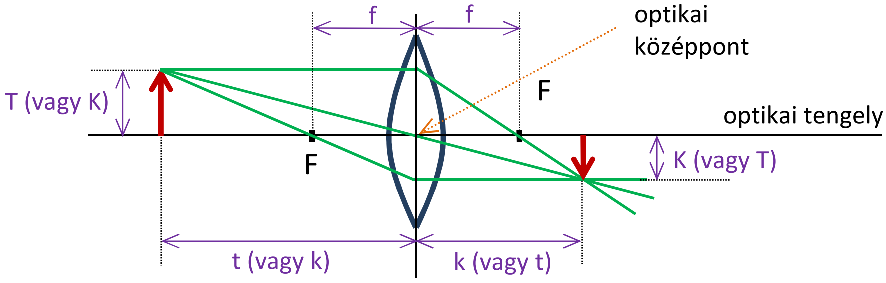
1.3. A képalkotás

Ha egy tárgy minden egyes pontjára igaz, hogy az egy-egy pontjából kiinduló minden fénysugár a visszaverődés ill. törés után újból egy pontban metszi egymást, képalkotásról beszélünk.
Ha a fénysugarak ténylegesen metszik egymást a képpontban, a kép *valós*, ernyővel felfogható.
Ha a visszavert ill. megtört sugarak széttartók és csak hátrafelé meghosszabbítva metszik egymást, a kép *virtuális*. (A virtuális kép látható, de ernyőn nem fogható fel.)

A tükrök és a lencsék képalkotásának törvényei a visszaverődés és törés törvényeiből vezethetők le. A kép megszerkesztéséhez néhány speciális fénysugarat, az úgynevezett **nevezetes sugarakat** használhatjuk fel:

- az optikai tengellyel (szimmetriatengellyel) párhuzamos fénysugár a visszaverődés illetve törés után a fókuszponton megy keresztül;
- az optikai középpontba (a lencse vagy tükör középpontjába) beérkező sugár a lencsén irányváltozás nélkül halad át, a tükörnél pedig szimmetrikusan verődik vissza;
- a fókuszponton áthaladó fénysugár az optikai tengellyel párhuzamosan halad tovább.

Mindez akkor érvényes, ha a lencse vagy tükör átmérője sokkal kisebb, mint a görbületi sugara.



2. ábra: Példa domború lencse képalkotására

A leképező eszközök fontos jellemzője a **fókusztávolság** (f), ami *a fókuszpont és az optikai középpont távolsága*. Tükrök esetében a fókusztávolság a görbületi sugár fele; homorú tükörnél pozitív, domborúnál negatív.
A vékony lencsék fókusztávolságát a "lencsekészítők törvénye" adja meg:

$$\frac{1}{f} = (n-1) \cdot \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \tag{3}$$

ahol n a lencse törésmutatója a környezethez viszonyítva, R_1 és R_2 a lencsefelületek görbületi sugara (a kívülről nézve domború felület görbületi sugara pozitív, a homorúé negatív). Domború lencse fókusztávolsága pozitív, homorúé negatív.

Tárgytávolság (t): *a tárgy és az optikai középpont távolsága*. **Képtávolság** (k): *a kép és az optikai középpont távolsága*. Az ezek közötti összefüggést adja meg a **leképezési törvény**:

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f} \tag{4}$$

Ha $k < 0$, a kép virtuális. Domború tükörnél vagy homorú lencsénél, ahol a fókusztávolság negatív, mindig virtuális kép keletkezik.
Síktükörnél f végtelen, ezért $k = -t$, a kép a tükör mögött ugyanolyan távol látszik, mint amilyen távol van a tárgy a tükörtől.

A **nagyítás** (N) a képnagyság (K) és a tárgynagyság (T) hányadosa:

$$N = \frac{K}{T}. \tag{5a}$$

Ha a kép virtuális, a nagyítás negatív szám.
A 2. ábra szerkesztésén látható, hogy a háromszögek hasonlóságából következően a nagyítás a tárgy- ill. képtávolság hányadosaként is felírható:

$$N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t}. \tag{5b}$$

2. Demonstráció: Sugármenet vizsgálata tükrök és lencsék esetén; a fókusztávolság meghatározása

Eszközök:

Halogénlámpás kísérleti fényforrás tápegységgel, blendékkel; rugalmas tükör, homorú és domború tükrök, konvex és konkáv lencse-szeletek.

A fényforrás kimenő ablakára először a háromréses blendét helyezzük, és különböző tükör- illetve lencseszeleteket helyezünk merőlegesen a fénysugarak útjába. Határozzuk meg a fókusztávolságot és a fókusztávolság előjelét! Ezek után a blendét megfordítjuk, hogy 5 fénysugarunk legyen. Figyeljük meg, egy pontban metszi-e egymást az összes fénysugár! Állítsuk a tükröt ill. a lencsét úgy is, hogy ferdén essenek rá a fénysugarak.

3. Mérési feladatok

Figyelem! A méréseknél használt halogénlámpás fényforrás használat közben nagyon felforrósodik, nem szabad a lámpatestet megérinteni!

3.1. Domború lencse fókusztávolságának meghatározása

Eszközök:

Optikai sín; lovasok; halogénlámpás fényforrás; diatartó; tárgy (diakeretben); domború lencse; ernyő.

Feladat:

Helyezzük az optikai sín egyik végére a lámpát, másik végére az ernyőt. A mérésvezető kijelöli, mekkora legyen a távolság a tárgy és az ernyő között. A tárgyat – azaz a diát a diatartóban – helyezzük el az adott távolságra a lámpa és az ernyő közé. Végül a lencsét helyezzük el a tárgy és az ernyő között. Ezután a lencse csúsztatásával keressük meg azt a pozíciót, ill. azokat a pozíciókat, amely(ek)nél a tárgyról éles képet kapunk az ernyőn. Mérjük meg a képtávolságot ill. tárgytávolságot, és mérjük (ill. becsüljük) meg a kép méretét.

Kiértékelés:

A kiértékeléshez használjuk a nagyított kép adatait!

3.1./1. A leképezési törvény (4) felhasználásával számoljuk ki a lencse fókusztávolságát!

3.1./2. A tárgytávolság, képtávolság és képnagyság alapján számoljuk ki a nagyítást, valamint a tárgy nagyságát!

3.1./3. Szerkesszünk *méretarányos* vázlatot a képalkotásról, és rajzoljuk meg a nevezetes sugarakat!

3.2. Hajszál vastagságának megbecslése

Eszközök:

Optikai sín; lovasok; halogénlámpás fényforrás; diatartó; diakeretben lévő hajszál; domború lencse (f = 50 mm); ernyő.

Feladat:

Helyezzük az optikai sín egyik végére a lámpát, másik végére az ernyőt, közéjük a diatartót a hajszállal, majd a lencsét a diatartó és az ernyő közé. A lencse tologatásával állítsunk elő minél nagyobb éles képet a hajszálról. Mérjük meg a tárgytávolságot és a képtávolságot, valamint mérjük/becsüljük meg a kép méretét, azaz a hajszál képének vastagságát az ernyőn.

Kiértékelés:

3.2/1. Számoljuk ki a nagyítást, és ez alapján „számoljuk ki” a hajszál vastagságát!

Szorgalmi feladat: Mekkora lehet a mérés hibája? Mik okoznak hibát?

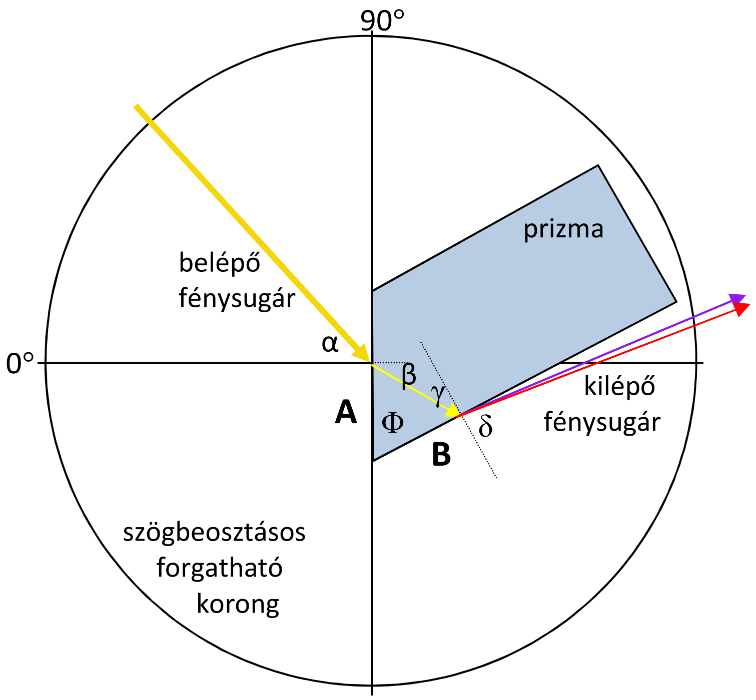
3.3. Prizma törésmutatójának meghatározása

Eszközök:

Optikai sín; lovasok; halogénlámpás fényforrás; a lámpára helyezhető rés; diatartó; diakeretben lévő rés; szögbeosztással ellátott forgatható optikai korong; prizma.

Feladat:

Helyezzük az optikai sín végére a lámpát, és a lámpa elejére illesszük fel a rést. A lámpa után 40-50 cm-re tegyünk fel egy lovast diatartóval, és a diatartó csúsztatósínes oldalára csúsztassuk be a diatartóban lévő rést. A szögbeosztással ellátott korongra ragasszuk rá a mérésvezető által kiosztott előre nyomtatott sablont, úgy, hogy a korongon és papíron levő jelölések pontosan illeszkedjenek, majd helyezzük el az optikai sínen (a diatartótól néhány cm-re) a korongot. A réseket állítsuk be úgy, hogy egy párhuzamos, intenzív fénysugarat kapjunk, ami a korong középpontján halad át. Forgassuk a korongot úgy, hogy a 0 fok a lámpa felé essen. Ezek után helyezzük a prizmát az optikai korongra a papíron jelölt helyzetben, ahogy a 3. ábrán is látható. Ebben a helyzetben a prizma ferde lapja pontosan merőleges kell legyen a korong 0 foknak megfelelő tengelyével, amit ellenőrizhetünk azzal, hogy ekkor a bejövő fénysugár önmagába verődik vissza. A fénysugár ebben a helyzetben nem lép ki a prizmából a B élen, mivel azon a közeghatáron teljes visszaverődést szenved.



3. ábra: Prizma törésmutatójának mérése

Forgassuk a prizmát a szögbeosztásos koronggal együtt olyan irányba, hogy a B élen a beesési szög csökkenjen!

3.3/1. Keressük meg azt a helyzetet, amikor a fénysugár már éppen kilép a prizmából a B élen! Figyeljük meg a prizma színbontását: milyen színű fény lép ki először a prizmából? Olvassuk le, hány fokkal van ekkor elforgatva a korong az induló 0°-hoz képest, külön a vörös és külön az ibolya színre! Ez az α_v ill. α_i határszög, vagyis az a beesési szög az A élen, amikor a B élen éppen δ = 90°-kal lép ki a fény.

3.3/2. Forgassuk tovább a korongot, állítsuk be úgy, hogy a korong a kezdeti helyzethez képest 35°, 45°, 55°, 65°, 75°-kal legyen elforgatva (ezen a jelölésen át lépjen be a lámpából érkező fénysugár a korongra). Jelöljük be a korongra ragasztott papíron az egyes pozíciókhoz tartozó B élen kilépő fénysugarat!

Kiértékelés:
A mérésnél használt prizma törőszöge $\Phi = 60°$.

3.3/1. Fejezzük ki a prizma törésmutatóját az α_h határszöggel:
Az első felületen α a beesési és β a törési szög, a második felületen γ a beesési és δ a törési szög. ϕ a prizma törőszöge. Az ábráról látható, hogy $\Phi = \beta + \gamma$.
A Snellius-Descartes törvényt felírva mindkét határfelületre:

$\sin\alpha = n\cdot\sin\beta$ ill. $n\cdot\sin\gamma = \sin\delta$

γ-t kifejezve Φ-vel és β-val, és felhasználva az első felületre felírt egyenletet
$n\cdot\sin(\Phi-\beta) = n\cdot(\sin\Phi\cdot\cos\beta-\cos\Phi\cdot\sin\beta) = n\cdot\sin\Phi\cdot\cos\beta-\cos\Phi\cdot(n\cdot\sin\beta) = n\cdot\sin\Phi\cdot\cos\beta-\cos\Phi\cdot\sin\alpha$
Mivel azt az α_h szöget olvassuk le, ahol $\delta = 90°$, vagyis $\sin\delta = 1$, ezért $n\cdot\sin\gamma = 1$, tehát

$n\cdot\sin\Phi\cdot\cos\beta-\cos\Phi\cdot\sin\alpha = 1 \quad \rightarrow \quad n\cdot\cos\beta = (1+\cos\Phi\cdot\sin\alpha) / \sin\Phi$.

Ezt, és az $n\cdot\sin\beta = \sin\alpha$ egyenletet négyzetre emelve, majd azokat összeadva:

$n^2 = (1 + 2\cos\Phi\cdot\sin\alpha + \cos^2\Phi\cdot\sin^2\alpha) / \sin^2\Phi + \sin^2\alpha = (1 + 2\cos\Phi\cdot\sin\alpha + \sin^2\alpha) / \sin^2\Phi$,

amiből a törésmutató

$$n = \sqrt{\frac{1 + 2\cos\Phi\,\sin\alpha + \sin^2\alpha}{\sin^2\Phi}}\,. \qquad (6)$$

A (6) képletbe helyettesítsük be a mért α_v ill. α_i értékeket, és számoljuk ki a prizma törésmutatójának értéket vörösre ill. ibolyára!

3.3/2. A fenti gondolatmenethez hasonlóan levezethető, hogy $\delta < 90°$ esetén a törésmutató a következő képlettel számolható az α és δ szögek függvényében:

$$n = \sqrt{\frac{\sin^2\delta + 2\cos\Phi\,\sin\alpha\,\sin\delta + \sin^2\alpha}{\sin^2\Phi}}\,. \qquad (7)$$

A papírról szögmérő segítségével olvassuk le az egyes beesési szögekhez tartozó δ szögeket, és számoljuk ki a törésmutató értékét a (7) képletbe való behelyettesítéssel!

A jegyzőkönyvben beadandó:
A mérési elrendezés vázlata.
3.3/1. A törésmutató α_v ill. α_i határszögből számított értéke vörös és ibolya fényre.
3.3/2. A papírról leolvasott δ értékek, valamint az azokból számított törésmutató átlagos értéke a 90%-os hiba intervallummal együtt.