Optika I.

Utolsó módosítás: 2011. október 12.

Az optika tudománya a látás élményéből fejlődött ki. Bizonyos optikai alapismeretekkel együtt születünk, vagy legalábbis életünk nagyon korai szakában szert teszünk rájuk: ilyen a fénysugár fogalma és a fény egyenes vonalú terjedésének „törvénye”. A fényforrásokból, a fénylő tárgyakról fénysugarak indulnak ki, és a tárgyakat arrafelé látjuk, amely irányból a fény róluk a szemünkbe érkezik.

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. A tárgyakat azért látjuk, mert vagy fénysugarakat bocsátanak ki (fényforrások), vagy a fényforrások megvilágítják őket, és ez a fény a tárgyról visszaverődve a szemünkbe jut.

1.1. A geometriai optika törvényei

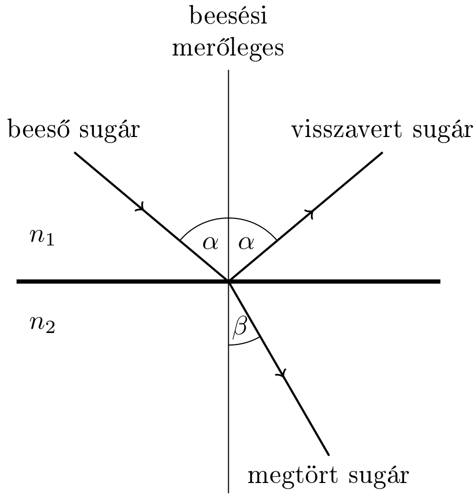
- Homogén közegben a fény egyenes vonalban terjed.
- A tér egy pontján keresztül akárhány fénysugár áthaladhat egymás zavarása nélkül.
- Ha a fénysugár a tér egyik pontjából egy bizonyos útvonalon halad a tér másik pontjába, akkor az onnan visszafelé indított fénysugár ugyanazon az úton fog haladni.
- A fény a közegtől függő, véges sebességgel terjed. Vákuumban a fény terjedési sebessége $c = 2{,}997\,924\,580\,8 \cdot 10^8\ \mathrm{m/s}$. Az abszolút (vákuumra vonatkoztatott) **törésmutató** (n) *a vákuumbeli c fénysebesség és a közegbeli v fénysebesség hányadosa:*

$$n = \frac{c}{v}. \tag{1}$$

- Két közeg közötti határfelületre érve a fény egy része a közeghatárról visszaverődik, más része behatol a második közegbe, de itt „megtörik”, terjedési iránya általában megváltozik. A határfelület normálisa és a beeső fénysugár iránya meghatározza a *beesési sík*ot. A visszavert fénysugár és a határfelületen áthaladt és megtört fénysugár 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 és n_2 a második közeg törésmutatója. Definiálhatjuk a relatív törésmutatót is. A második közeg elsőhöz viszonyított törésmutatója: $n_{21} = n_2/n_1 = v_1/v_2$.



1. ábra. Törés és visszaverődés két közeg határfelületén, $n_1 > n_2$

A törés és visszaverődés törvényei a sík és görbült felületeknél egyaránt érvényesek azzal a különbséggel, hogy a görbült határfelület különböző pontjaiba érkező fénysugarak számára a beesési merőleges különböző irányú lesz.

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:

$$\sin\beta = \frac{n_1}{n_2}\sin\alpha.$$

A beesési szöget növelve az α_h határszögnél $\sin\beta = 1$. A határszögnél nagyobb beesési szöghöz nem tartozik megtört fénysugár, a fény teljes egészében visszaverődik.

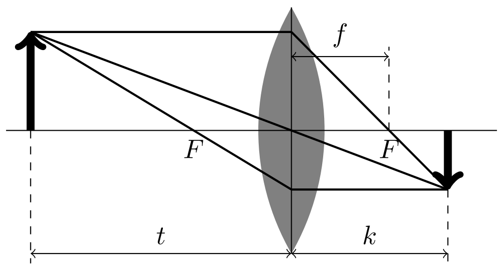
A Fermat-elv

A geometriai optika egyik alapvető tétele a Fermat-elv, amely szerint a fény egy A pontból a B pontba azon az úton jut, amelynek megtételéhez a legkisebb idő szükséges (vagy kicsit pontosabban: a különböző lehetséges utakat tekintve az optikai úthossz stacionárius; pontosan: $\delta \int_g n\, ds = 0$.)

Fermat elvéből következik, hogy a fény homogén közegben egyenes vonalban terjed, illetve ez alapján könnyen igazolható a visszaverődés és a törés törvénye is. Egy homogén közeg n törésmutatójának és a d geometriai úthosszának szorzata az s *optikai úthossz*: $s = nd$. Általában az optikai úthossz egyenlő azzal az úttal, amelyet a fény ugyanakkora idő alatt a vákuumban tenne meg. A Fermat-elv szerint tehát két adott pont között a fény azon úton halad, amelyen az optikai úthossz minimális.

1.3. A képalkotás

Ha egy tárgy minden egyes pontjára igaz, hogy 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 illetve megtört sugarak széttartók és hátrafelé meghosszabbítva metszik csak egymást, a kép *virtuális*.



2. ábra. Példa domború lencse képalkotására.

A tükrök és a lencsék képalkotásának törvényei a visszaverődés és törés törvényeiből vezethetők le. A kép megszerkesztéséhez néhány speciális fénysugarat használhatunk fel:

- az optikai tengellyel (szimmetriatengellyel) párhuzamos fénysugarak a visszaverődés illetve törés után a fókuszponton mennek keresztül.
- az optikai centrumba beérkező sugár a tükörnél szimmetrikusan verődik vissza, a lencsén pedig irányváltozás nélkül halad át.
- a fókuszponton át beérkező fénysugarak pedig az optikai tengellyel párhuzamosan haladnak tovább.

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

A leképező eszközök fontos jellemzője a **fókusztávolság** (f), *ami a fókuszpont és a leképező eszköz távolsága.* Tükrök esetén ez a görbületi sugár fele, homorú tükörnél pozitív, domborúnál negatív. A vékony lencsék fókusztávolságát a „lencsekészítők törvénye” adja meg:

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

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.

Tárgytávolság: (t) *a tárgy és a leképező eszköz (lencse vagy tükör) távolsága.* **Képtávolság**: (t) *a kép és a leképező eszköz távolsága.* Az ezek közti 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.

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

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

Ha a kép virtuális, a nagyítás negatív szám. Síktükörnél f végtelen, ezért $k=-t$, a kép a tükör mögött ugyanolyan távol látszik, mint amilyen távol van a tárgy a tükörtől.

2. Polarizáció

A fény transzverzális elektromágneses hullám, az $\boldsymbol{E}$ elektromos és a $\boldsymbol{H}$ mágneses térerősség a fény haladási irányára – és ugyanakkor egymásra is – merőleges síkban harmonikus rezgést végeznek. Részletesebben ezzel az Optika II. mérésnél fogunk foglalkozni.

2.1. Lineárisan, cirkulárisan és elliptikusan poláros fény

Egy fénynyalábot alkotó azonos frekvenciájú monokromatikus síkhullámok térerősség-amplitúdó vektorai lehetnek párhuzamosak, ekkor a fénynyaláb lineárisan poláros és a polarizáció iránya megegyezik az összetevők polarizáció irányával. Ha a komponensekben az amplitúdó vektorok nem párhuzamosak, akkor az eredő lehet lineárisan, cirkulárisan vagy elliptikusan poláros.

Két egymásra merőlegesen poláros síkhullám eredője

- lineárisan poláros, ha a fáziskülönbségük 0;
- cirkulárisan poláros, ha az amplitúdók nagysága azonos és a fáziskülönbség $\pi/2$;
- elliptikusan poláros különben.

2.2. Brewster-szög

A polarizáció síkjának iránya fontos szerepet játszik a fényvisszaverődésnél. Visszaverődésnél másképp viselkedik a beesési síkra merőlegesen és a beesési síkkal párhuzamosan polarizált fény: a párhuzamosan polarizált fény kisebb hányada verődik vissza az átlátszó közegekről, mint a merőlegesen polarizálté. A Brewster-törvény szerint a beesési szög változtatásával mindig lehet találni egy olyan beesési szöget, amelynél a visszavert fényből hiányzik a párhuzamosan polarizált komponens. Ez az a beesési szög, amelynél a visszavert és megtört sugár egymásra merőleges. Ekkor a beesési szög és a törésmutató kapcsolata:

$$n = \frac{\sin\alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = \frac{\sin\alpha}{\cos\alpha} = \tan\alpha \tag{6}$$

A Brewster-szögben beeső fény visszaverődés után lineárisan polarizált lesz. A polarizátorok egyik fajtája éppen ezt a jelenséget használja fel, hogy ha a fény a Brewster-szögben esik az anyagra, akkor a visszaverődött fény a beesési síkra merőlegesen polarizált. A polaroid napszemüvegekben a polarizátorok úgy vannak beállítva, hogy a vízszintes felületekről visszaverődött, nagyrészt polarizálódott fényt szűrjék ki és ezáltal csökkentsék azok csillogását.

2.3. Polarizáció, optikai aktivitás, kettőstörés vizsgálata – bemutatók

A fényhullám elektromos térerősségének irányát tekintjük a polarizáció irányának. A polarizátorok egy irányban polarizált fényhullámot engednek át, az erre az irányra merőleges elektromos teret nem, így a polarizátor mögött a polarizátor áteresztési irányának megfelelően lineárisan polarizált fényt kapunk.

Egy lehetséges módszer polarizált fény előállítására az anizotrop anyagoknál előforduló dikroizmus jelenségét használja. A dikroikus anyagok egyes polarizációs irányban a fényt elnyelik, az erre merőlegesen polarizáltat pedig átengedik. A polaroid fóliát tartalmazó polarizátorok működnek ezen az elven. Ilyen polarizátort használunk ennél a mérésnél.

Nézzünk polarizátoron keresztül lámpa felé és forgassuk a polarizátort! Semmi változást nem észlelünk. Most nézzük a lámpa fényét két polarizátoron keresztül és forgassuk a polarizátorokat egymáshoz képest! Az áteresztett fény intenzitása erősen változik.

Vizsgáljunk meg ezután egy polarizátoron keresztül nézve sima fényes (de nem fém!) felületekről kb. 50 fokos szögben visszaverődött természetes fényt! Ha forgatjuk a polarizátort, a fény intenzitása változik. Ez azt mutatja, hogy a felületről visszavert fény (a szögtől függő mértékben) lineárisan polarizált. Ez is lehetőséget ad polarizált fény létrehozására (ld. Brewster-szög).

Eszközök

optikai sín, lovasok, lámpa, diafragma, két polarizátor szögbeosztással ellátott foglalatban, lencse, diatartó, celofánok diakeretekben, kvarckristálylapka diakeretben, műanyag vonalzó, cukoroldat, lézer

Bemutató: Optikai aktivitás vizsgálata

A két polarizátor forgatásával beállítjuk azt a helyzetet, amikor a fényforrás képe teljesen elsötétedik. Az első polarizátor után a fény lineárisan polarizált, aminek síkjára merőlegesen helyezkedik el a második polarizátor (az analizátor), így azon nem jut át fény. Ha a keresztezett polarizátorok közé kvarcréteget helyezünk, a kép kivilágosodik az ernyőn. A kvarckristálylapka elforgatja a polarizátor után kapott fény polarizáció irányát, így ebben van olyan komponens, mely párhuzamos az analizátor áteresztési irányával. Próbáljuk kioltani a fényt az ernyőn az analizátor forgatásával! Nem kapunk teljes sötétséget, ellenben a fényfolt színe az analizátor szögétől függően változik. Ezek a színek azonban mások, mint a prizma vagy rács színbontásánál kapott spektrum tiszta színei. A kvarc optikai forgatóképessége frekvenciafüggő, így az analizátor mindig csak egy színt olt ki, és a ki nem oltott színek keverékét látjuk az ernyőn. Monokromatikus fényforrást (lézer) használva viszont ki tudjuk oltani a kvarclapka által elforgatott fényt.

A kvarclapkának ez a tulajdonsága, hogy el tudja forgatni a polarizáció irányát, az optikai aktivitás. Ez a szimmetriacentrumot nem tartalmazó molekulájú anyagokra jellemző. Az elforgatás mértéke a rétegvastagságtól és az optikailag aktív anyag koncentrációjától függ. Hasonlóképpen optikailag aktív anyag a pl. glükóz is, ezen az elven működik a szachariméter.

Bemutató: Kettőstörés vizsgálata műanyag vonalzóval

Tegyünk a keresztezett polarizátorok közé átlátszó műanyag vonalzót, és állítsuk elő egy lencsével a vonalzó éles képét az ernyőn. Ha a polarizátorok között ott van a vonalzó, megjelenik a fény az ernyőn, és a vonalzó skálájának környékén, a szélén, a töréseknél (ahol mechanikai feszültségek vannak) színes csíkokat látunk. Ennek a jelenségnek az oka a mechanikai kettőstörés. A vonalzó az előállítás körülményei miatt anizotróp, a törésmutatója irányfüggő. A kettőstörő anyagok is elforgatják a polarizáció irányát, és a forgatás mértéke itt is függ a fény frekvenciájától és az anyag vastagságától.

Bemutató: Optikai aktivitás (kettőstörés) vizsgálata celofánnal

Nyújtott szénláncú, polimerizált fóliák – mint a celofán – is kettőstörő tulajdonságúak. Tegyük az optikai sín végére a lámpát, elé egy közös lovason a diafragmát és az első polarizátort, utána a lencsét, majd a második polarizátort („analizátor”), és a sín végére az ernyőt. Állítsuk be úgy a lovasok helyét és a diafragmát, hogy az ernyőn a polarizátorokon átjutott fényt még vegye körül egy fekete gyűrű. Az analizátort állítsuk 0 fokra, és a polarizátor forgatásával keressük meg azt a helyzetet, amikor a kép a legsötétebb (vagyis amikor a két polarizátor éppen keresztezve helyezkedik el). Ezután helyezzünk egy lovast diatartóval a lencse és az analizátor közé, és tegyünk bele különböző (diakeretbe foglalt) celofánokat. Forgassuk a polarizátorokat és jegyezzük fel megfigyeléseinket!

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 leképezési törvény (4) felhasználásával számoljuk ki a lencse fókusztávolságát!
- A távolságmérés hibájából a Gauss-féle hibaterjedési törvényt felhasználva számoljuk ki a fókusztávolság meghatározásának hibáját!
- A tárgytávolság, képtávolság és képnagyság alapján számoljuk ki a nagyítást és a tárgy nagyságát!
- Szerkesszünk méretarányos vázlatot az elrendezésről, és rajzoljuk meg a nevezetes sugarakat!

Szorgalmi feladatok

I. Mitől függ az, hogy a lencse tologatásával hány helyen kapunk éles képet?

II. A mérésvezető kiindulásként megadta a tárgy- és képtávolság összegét, azonban ezek külön is megmérhetők, vagyis 3 távolságadatunk van, de ezek közül csak 2 független egymástól. Van-e jelentősége a fókusztávolság hibájának kiszámításánál annak, hogy a 3 mennyiség közül melyik kettőt használjuk fel? Ha igen, mi adja a pontosabb eredményt?

3.2. Hajszál vastagságának megbecslése

Eszközök

Optikai sín, lovasok, halogénlámpás fényforrás, diatartó, diakeretben lévő hajszál, domború lencse ($f = 50\,\mathrm{mm}$), ernyő

Feladat

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

Kiértékelés

- Számoljuk ki a nagyítást, és ez alapján
- „számoljuk ki" a hajszál vastagságát!
- Mennyire lehet pontos ez a mérés? Miért?

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

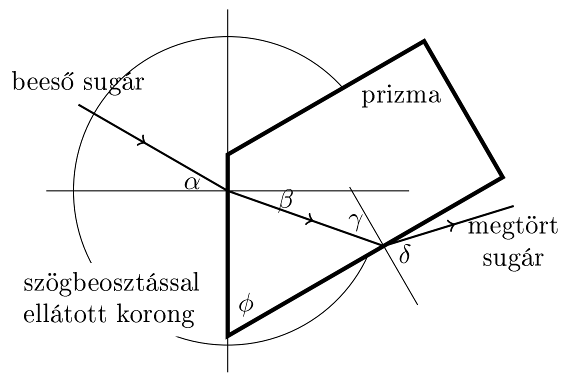
Feladat

Helyezzük az optikai sín végére a lámpát, és a lámpa elejére illesszük fel a rést. A lámpa után tegyünk fel egy lovast diatartóval, és a diatartóba fogjuk bele a diatartóban lévő rést. Ezután helyezzük el (nem túl messze) a forgatható szögbeosztásos korongot. A réseket állítsuk be úgy, hogy a fénysugár a korong középpontján haladjon át. Forgassuk a korongot úgy, hogy a 0 fok a lámpa/rések felé essen. A 3. ábra szerint helyezzük a prizmát az optikai korong közepére úgy, hogy a prizma ferde lapjának normálisa egybeessen a korong 0 szögnek megfelelő tengelyével. (Ezt ellenőrizhetjük azzal, hogy ekkor a bejövő fénysugár önmagába verődik vissza.)

Forgassuk a prizmát a szögbeosztásos koronggal együtt. Figyeljük meg, hogy a 0 beesési szögnél teljes visszaverődés történik. Figyeljük meg a prizma színbontását! Milyen színű fény törik meg (változtat irányt) a legjobban?

A fénytörés mértékét a prizma törésmutatója határozza meg. Minél nagyobb a törésmutató (minél inkább különbözik a környezetétől), annál erősebben törik a fény. 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.

A korong forgatásával határozzuk meg azt az α beesési szöget, melynél a szomszédos lapra érkező fénysugár éppen nem lép ki a prizmából (ahol $\delta = 90°$), külön a vörös és külön az ibolya szélén a spektrumnak (α_v ill. α_i).



3. ábra. Prizma törésmutatójának mérése.

Kiértékelés

ϕ a prizma törőszöge az α, β, γ, δ beesési ill. törési szögeket a felület normálisától (a beesési merőlegestől) mérjük. Az ábráról látható, hogy $\phi = \beta + \gamma$. A Snellius-Descartes törvényt felírva mindkét határfelületre:

$$\sin\alpha = n\sin\beta \qquad \text{ill.} \qquad n\sin\gamma = \sin\delta.$$

Mivel azt az α szöget olvassuk le, ahol $\delta = 90°$, vagyis $\sin\delta = 1$, ezért $n\sin\gamma = 1$. γ-t kifejezve ϕ-vel és β-val:

$$\begin{aligned} n\sin(\phi-\beta) &= n(\sin\phi\cos\beta - \cos\phi\sin\beta) = \\ &= n\sin\phi\cos\beta - \cos\phi\sin\alpha = 1, \end{aligned}$$

átrendezve: $n\cos\beta = (1+\cos\phi\sin\alpha)/\sin\phi$. Ezt és az $n\sin\beta = \sin\alpha$ egyenletet négyzetre emelve és összeadva kapjuk:

$$n^2 = \frac{1+2\cos\phi\sin\alpha+\cos^2\phi\sin^2\alpha}{\sin^2\phi}+\sin^2\alpha = \\ = \frac{1+2\cos\phi\sin\alpha+\sin^2\alpha}{\sin^2\phi},$$

amiből

$$n = \sqrt{\frac{1+2\cos\phi\sin\alpha+\sin^2\alpha}{\sin^2\phi}}. \qquad (7)$$

– Az α_v (vagy α_i) értéket és a ϕ értékét behelyettesítve számoljuk ki a prizma törésmutatóját vörösre (vagy ibolyára). A mérésnél használt prizma törőszöge $\phi = 60°$.
– Tegyük fel, hogy a ϕ törőszög hibája elhanyagolható. A kritikus α szög hibája legyen 1°. Határozzuk meg a törésmutató-mérés hibáját a Gauss-féle hibaterjedési törvényt használva a (7) képlet alapján!

3.4. Törésmutató meghatározása Brewster-szög mérésével

Eszközök

optikai sín, lovasok, lámpa réssel, diatartó réssel, forgatható polarizátor, forgatható szögmérős korong, prizma, ismeretlen törésmutatójú anyag, ernyő

Feladat

A mérési elrendezés megegyezik az előző pontban leírt mérésnél alkalmazottal, de itt még polarizátorra is szükség lesz: az optikai sínre helyezzük fel a lámpát a réssel, a diatartót a réssel, majd egy polarizátort, és utána a szögmérős korongot. A rések állításával hozzunk létre keskeny, de intenzív fénysugarat úgy, hogy az a korong középpontján menjen át, és forgassuk a korong 0 jelzését a fénysugárhoz. Az előző mérésnél meghatározott törésmutató alapján számoljuk ki a prizma anyagának Brewster-szögét. Tegyük a prizmát a korong közepéhez, és forgassuk el a korongot a kiszámolt szögnek megfelelő helyzetbe. Állítsuk úgy a polarizátort, hogy a visszavert sugár intenzitása minimális legyen. Forgassuk ide-oda a korongot, és figyeljük meg a visszavert fénysugár intenzitásának változását! Ezután tegyük az ismeretlen törésmutatójú anyagot a korong közepére, és a korong forgatásával keressük meg a Brewster-szöget.

Kiértékelés

A jegyzőkönyvben beadandó a mért Brewster-szög és az ismeretlen törésmutató. (Mi lehet ez az anyag?)

4. Kérdések, gyakorló feladatok

Az alábbi feladatokra ill. hasonlóakra lehet számítani a mérés elején a beugró kérdések során.

I. Mit mérünk? Hogyan és mivel (fontosabb eszközök és elvi mérési elrendezés vázlata)?

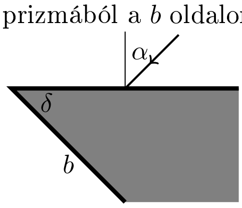
II. A 3. ábra egy lehetséges, prizmán átmenő sugármenetetet ábrázol. Milyen sugármenetek lehetségesek még az ábrázolt prizma esetében, ha változtatjuk az α szöget? Ne csak a törést, hanem a visszaverődést is vegyük figyelembe! (Nem kérünk ehhez számolást.) Az ábrán lévő sugármenetet is egészítsük ki a visszavert sugarakkal.

III. Igaz-e (indoklásssal), hogy

1. domború tükörnél mindig virtuális kép keletkezik?
2. homorú tükörnél mindig virtuális kép keletkezik?
3. domború lencsénél mindig virtuális kép keletkezik?
4. homorú lencsénél mindig virtuális kép keletkezik?
5. a beeső ill. a visszavert fénysugárnak a beesési merőlegessel bezárt szögére érvényes a Snellius-Descartes törvény?
6. ha a fény egy nagyobb törésmutatójú közegből lép át egy kisebb törésmutatójú közegbe, a beesési szöget növelve elérhetjük, hogy a fény ne jusson át a kisebb törésmutatójú közegbe?
7. homorú tükör optikai tengelyével párhuzamos sugarak önmagukba verődnek vissza?
8. a fény terjedési sebessége üvegben nagyobb, mint vákuumban?
9. a fény mindig egyenes vonalban terjed?
10. ha a fény egy nagyobb törésmutatójú közegből lép át egy kisebb törésmutatójú közegbe, a törési szög nagyobb a beesési szögnél?

IV. Számolási feladatok

1. Mennyivel tolódik el a lézersugár, amíg átjut egy gyémántdarabkán, ha annak két, egymástól 3 mm-re lévő párhuzamos lapja között hatol át? A belépő lézersugár a lappal 60°-os szöget zár be. A gyémánt levegőre vonatkoztatott törésmutatója 2,413.
2. Mekkora az 1,33 törésmutatójú prizma δ törőszöge, ha 36°-nál kisebb α beesési szög esetén már nem lép ki fénysugár a prizmából a b oldalon?



3. A gyémánt levegőre vonatkoztatott törésmutatója piros fényre 2,42, kék fényre 2,45. Mekkora törési szöggel lép ki a gyémántból a piros ill. a kék fény, ha a beesési szög 24,2°?
4. Egy optikai sínen elhelyezünk egy tárgyat és egy ernyőt egymástól $d = 64$ cm-re, közéjük teszünk egy $f = 15$ cm fókusztávolságú domború lencsét. Milyen tárgytávolság esetén kapunk éles képet az ernyőn?
5. A tárgy és az ernyő távolsága 54 cm. Egy domború lencse tologatásával próbálunk éles képet előállítani az ernyőn, de sehogy se sikerül. Mi ennek az oka? Mit mondhatunk ennek alapján a lencse fókusztávolságáról?
6. Egy kocka alakú üvegedény aljának közepére kis fehér pöttyöt festünk. Az edény éleinek hossza $a = 20$ cm. A kocka testátlója irányából fénysugár esik a kocka aljára. Meddig kell a kockát folyadékkal feltölteni, hogy a fénysugár megvilágítsa a pöttyöt?

A folyadék törésmutatója a levegőre vonatkoztatva $n = 1{,}6$.

7. Gyújtólencsével egy izzólámpa izzószálának $K_1 = 9\,\mathrm{cm}$ nagyságú éles képét állítjuk elő egy ernyőn. A lencsével az ernyőhöz közelítve ismét éles képet kapunk, de a kép most $K_2 = 1\,\mathrm{cm}$ nagyságú. Milyen hosszú az izzószál?
8. A víz levegőre vonatkoztatott törésmutatója 4/3. $h = 2\,\mathrm{m}$ mélységű úszómedence fenekén lámpa világít. Mekkora átmérőjű a víz felszínén látható kör alakú folt? (A lámpát pontszerűnek tekinthetjük.)

4.1. Feladatokhoz segítség ill. megoldás

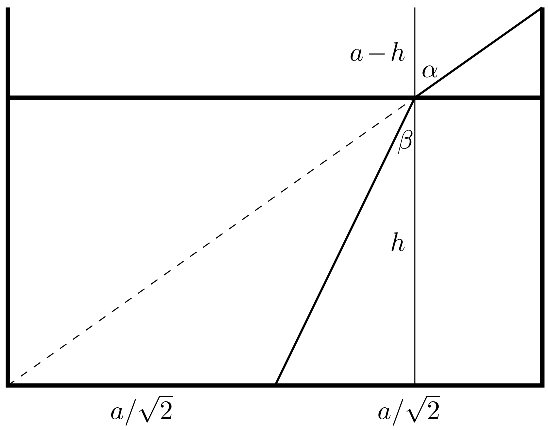
IV/4

A képtávolságot írjuk fel d és t segítségével, majd használjuk a (4) leképezési törvényt, és oldjuk meg t-re.

IV/5

Induljunk ki abból, hogy van éles kép, amihez „kiszámíthatjuk" a tárgytávolságot a IV/4 feladat megoldását követve. Abból a feltételből, hogy nem kapunk megoldást, következtethetünk a fókusztávolságra.

IV/6



Az ábrán az edénynek az alaplap átlóján átmenő keresztmetszetét látjuk (vagyis amelyik síkban a fénysugár halad). A beesési szög α, a törési szög β. A levegő törésmutatója 1. Mivel a fény az átlósíkban halad, a testátló irányában, $\operatorname{tg}\alpha = \sqrt{2}$, $\alpha = 54{,}7^\circ$. A Snellius–Descartes törvényből $\sin\beta = \sin\alpha/n$, így $\beta = 30{,}7^\circ$ és $\operatorname{tg}\beta = 0{,}5934$. A rajz alapján $h\operatorname{tg}\beta + (a-h)\operatorname{tg}\alpha = a/\sqrt{2}$, tehát $h = 0{,}8614a = 17{,}2\,\mathrm{cm}$.

IV/7

A tárgytávolság t_1 ill. t_2, a képtávolság k_1 ill. k_2, az izzószál hossza T, a képnagyság K_1 ill. K_2. A tárgy és az ernyő távolsága $d = t_1 + k_1 = t_2 + k_2$.

A nagyítás $k/t = K/T$, tehát az első esetben $k_1 = 9t_1/T$, a másodikban pedig $k_2 = t_2/T$. A (4) leképezési törvényből $kt = fd$ (f a fókusztávolság), tehát $k_1t_1 = k_2t_2$. Ebbe behelyettesítve k_1-et és k_2-t kapjuk, hogy $9t_1^2 = t_2^2$, amiből $t_2 = 3t_1$, vagyis $k_2 = 3t_1/T$.

A $t_1 + k_1 = t_2 + k_2$ formulában mindent t_1-gyel kifejezve: $9t_1/T + t_1 = 3t_1/T + 3t_1$, ezt megoldva $T = 3\,\mathrm{cm}$.

Egyszerűbb megoldás Kihasználhatjuk, hogy a sugarak megfordíthatóak, vagyis a tárgy és a kép felcserélhető egymással. Ebből következik, hogy $k_2 = t_1$ és $t_2 = k_1$, amit felhasználva:

$$\frac{k_1}{t_1} = \frac{K_1}{T} \qquad \text{és} \qquad \frac{k_2}{t_2} = \frac{t_1}{k_1} = \frac{K_2}{T}.$$

Tehát $K_2/T = T/K_1$, amiből $T^2 = K_1K_2$.

IV/8

A kör alakú foltot azok a lámpából kiinduló fénysugarak hozzák létre, melyek a víz felszínére a határszögnél kisebb szögben érkeznek. A többi sugár teljesen visszaverődik. A határszög α_h szinusza $1/n = 3/4$, tehát $\alpha_h = 48{,}6^\circ$. A folt sugara $h\operatorname{tg}\alpha_h = 2{,}27\,\mathrm{m}$, az átmérője $4{,}54\,\mathrm{m}$.