

2. OPTIKA

A gyakorlat célja egyrészt a képalkotás vizsgálata domború lencsék segítségével, másrészt a törésmutató frekvenciafüggésének megtapasztalása prizma alkalmazásával.

ELMÉLET

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.

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:

$$n = c / v. \quad (1)$$

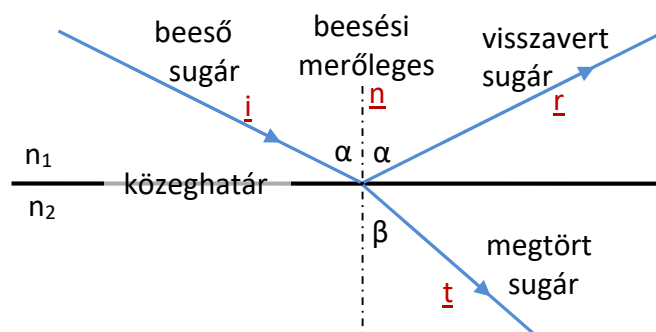
- Két közeg közötti határfelületre érve a fény egy része a közeghatárról visszaverődik (reflexió), másik része behatol a második közegbe (transzmisszió), de itt megtörik, terjedési iránya általában megváltozik. A határfelület normálisa ($\underline{n}$) és a beeső fénysugár iránya ($\underline{i}$) meghatározza 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:

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta, \quad (2)$$

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 érintő sík 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 ibolyaé 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:

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

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:

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

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.

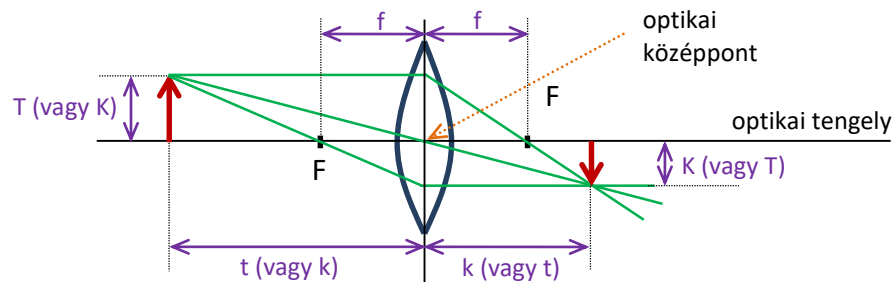
Ha a fénysugarak ténylegesen metszik egymást a képpontban, a kép *valós*, ernyővel felfogható.

Ha a visszavert ill. megtört sugarak szétartók 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 **fókusz távolság** (f), ami a *fókuszpont és az optikai középpont távolsága*. Tükrök esetében a fókusz távolság a görbületi sugár fele; homorú tükörnél pozitív, domborúnál negatív.

A vékony lencsék fókusz távolságát a "lencsekészítők törvénye" adja meg:

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

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 fókusz távolsága 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**:

$$\frac{1}{t} + \frac{1}{k} = \frac{1}{f} \quad (4)$$

Ha $k < 0$, a kép virtuális. Domború tükörnél vagy homorú lencsénél, ahol a fókusz távolság 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:

$$N = \frac{K}{T}. \quad (5a)$$

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:

$$N = \frac{K}{T} = \frac{k}{t}. \quad (5b)$$

DEMONSTRÁCIÓ

Sugármenet vizsgálata tükrök és lencsék esetén; a fókusz távolság meghatározása

Eszközök:

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

A fényforrás kimenő ablakára először a háromrészes blendét helyezzük, és különböző tükör- illetve lencseszeleteket helyezünk merőlegesen a fénysugarak útjába. Határozzuk meg a fókusz távolságot és a fókusz távolság 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.

MÉRÉSI FELADATOK

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

2.1. Domború lencse fókusz távolságának meghatározása

Eszközök:

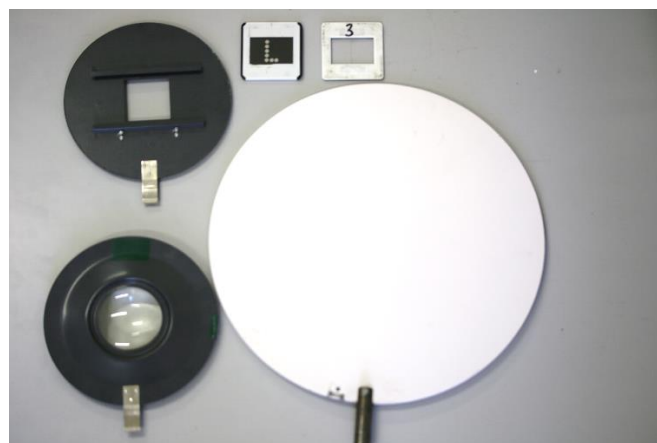
Optikai sín; lovasok; halogénlámpás fényforrás; diatartó; tárgy (diakeretben); domború lencse; ernyő.



3. ábra: Optikai sín magasság és alacsony lovasokkal.
A lovasok az alsó fém kar kioldásával csúszathatók.



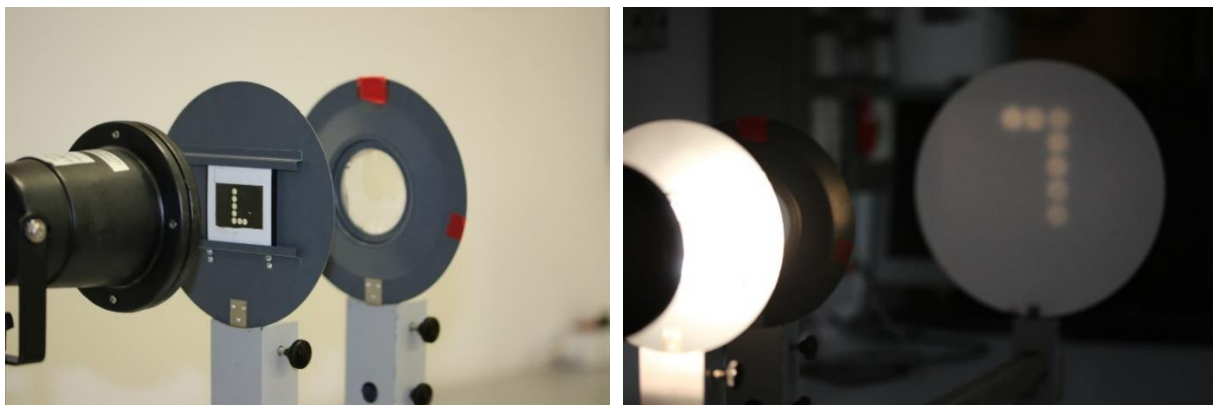
4. ábra: Halogénlámpás fényforrás.



5. ábra: Ernyő, lencse, diatartó, diakeretben levő tárgy (L betű) ill. hajszál.

Feladat:

Helyezzük az optikai sín egyik végére a lámpát, másik végére az ernyőt (mindkettőt alacsony lovasban). A tárgyat és a lencsét is helyezzük el a sínen (ezeket magas lovasokban), úgy, hogy a sorrend a következő legyen: lámpa – tárgy – lencse – ernyő. A mérésvezető kijelöli, mekkora legyen a távolság a tárgy és az ernyő között. Állítsuk be a tárgyat az adott távolságra, majd a lencse csúsztatásával keressük meg azt a pozíciót, ill. azokat a pozíciókat, amely(ek)nél a tárgyról éles képet kapunk az ernyőn.



6. ábra: A tárgy és a lencse elhelyezése, és az ernyőn létrejövő kép.

Mérjük meg a képtávolságot és a tárgytávolságot a mérőszalagot az optikai sínnel párhuzamosan vezetve, és mérjük meg a kép méretét.

Kiértékelés:

A kiértékeléshez használjuk a nagyított kép adatait!

2.1/1. A leképezési törvény (4) felhasználásával számoljuk ki a lencse fókusz távolságát!

2.1/2. A tárgytávolság, képtávolság és képnagyság alapján számoljuk ki a nagyítást, valamint a tárgy nagyságát!

2.1/3. Egy A4-es lapra szerkesszünk *méretarányos* vázlatot a képalkotásról: jelöljük a tárgy, a lencse és a kép helyét és méretét, és rajzoljuk meg a nevezetes sugarakat! A jobb ábrázolhatóság miatt lehet más léptéket használni az optikai tengellyel párhuzamosan, ill. arra merőlegesen.

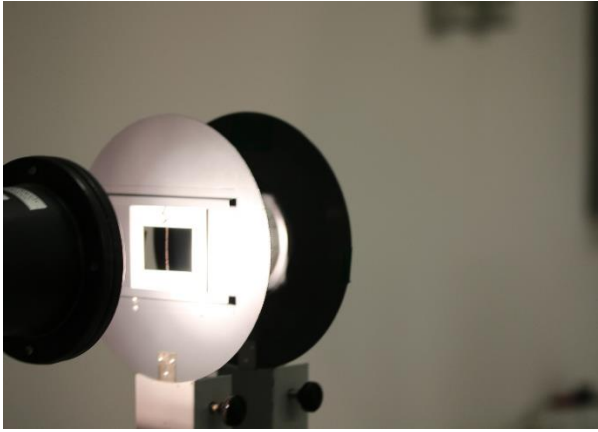
2.2. Hajszál vastagságának megbecslése

Eszközök:

Optikai sín; lovasok; halogénlámpás fényforrás; diatartó; diakeretben lévő hajszál; domború lencse ($f = 50 \text{ mm}$); 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 hajszálat tegyük a lámpához közel, majd a lencse tologatásával állítsunk elő éles képet a hajszálról.



7. ábra: A diakeretben levő hajszál és a lencse elhelyezése, és az ernyőn létrejövő kép.

Mérjük meg a tárgytávolságot és a képtávolságot az optikai sínnel párhuzamosan, valamint mérjük/becsüljük meg a kép méretét, azaz a hajszál képének vastagságát az ernyőn.

Kiértékelés:

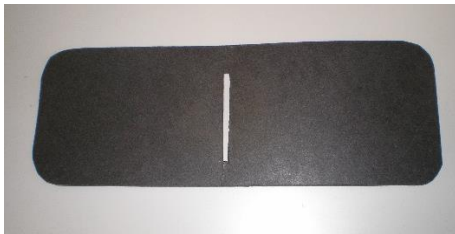
Számoljuk ki a nagyítást, és ez alapján „számoljuk ki” a hajszál vastagságát!

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

2.3. Prizma törésmutatójának meghatározása

Eszközök:

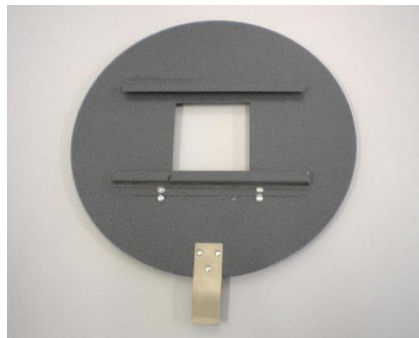
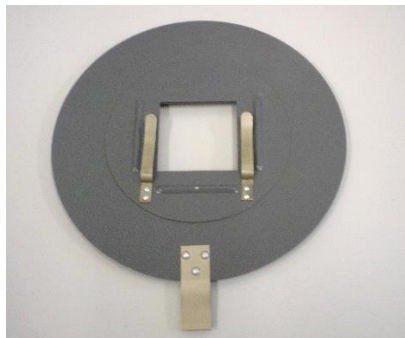
Optikai sín; lovasok; halogénlámpás fényforrás; a lámpára helyezhető rés; diatartó; diakeretben lévő rés; szögbeosztással ellátott forgatható optikai korong; prizma.



8. ábra: Papírból készült rés, amit a lámpára kell helyezni.



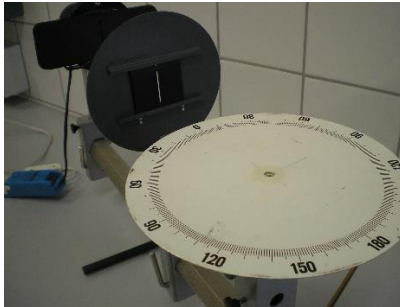
9. ábra: Rés, amit a diatartó csúsztatósínes oldalába kell helyezni.



10. ábra: A diatartó két oldala, a jobb oldalon látható a csúsztatósín.

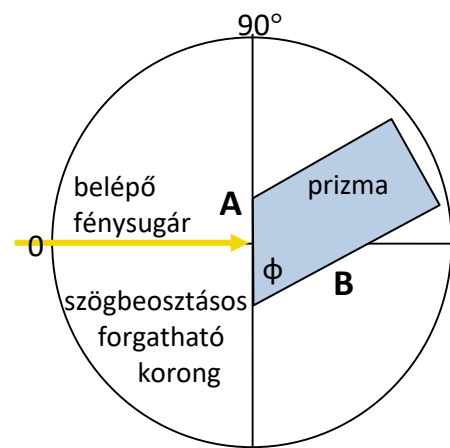
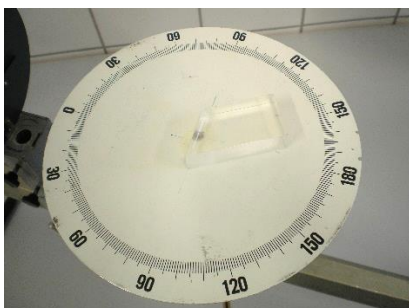
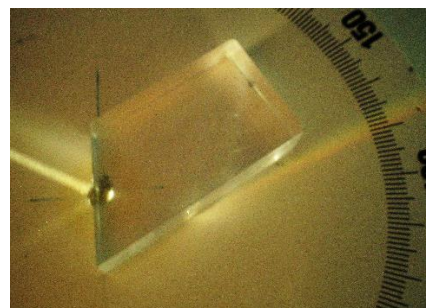
Feladat:

Helyezzük az optikai sín végére a lámpát, és a lámpa elejére illesszük fel a rést. A lámpa után 40-50 cm-re tegyük fel egy lovast diatartóval, és a diatartó csúsztatósínes oldalára csúsztassuk be a diatartóban lévő rést. Ezután helyezzük el az optikai sínen (a diatartótól néhány cm-re) a forgatható szögbeosztásos korongot. A rések vízszintes csúsztatásával állítsuk be a fénysugarat úgy, hogy átmenjen a korong közepén. (Ha a fénysugár intenzitása nem megfelelő, akkor a diatartóban levő rést és a korongot közelebb csúszthatjuk a lámpához, ill. távolíthatjuk tőle.) Forgassuk a korongot úgy, hogy a 0 fok a lámpa felé essen.

**11. ábra:** A rések elhelyezése.**12. ábra:** A forgatható korong elhelyezése.**13. ábra:** A fénysugár beállítása a résekkel.

Ezek után a 14. ábra szerint helyezzük a prizmat az optikai korong közepére úgy, hogy a prizma ferde lapjának normálisa egybeessen a korong 0 foknak megfelelő tengelyével. (Ezt ellenőrizhetjük azzal, hogy ekkor a bejövő fénysugár önmagába verődik vissza.)

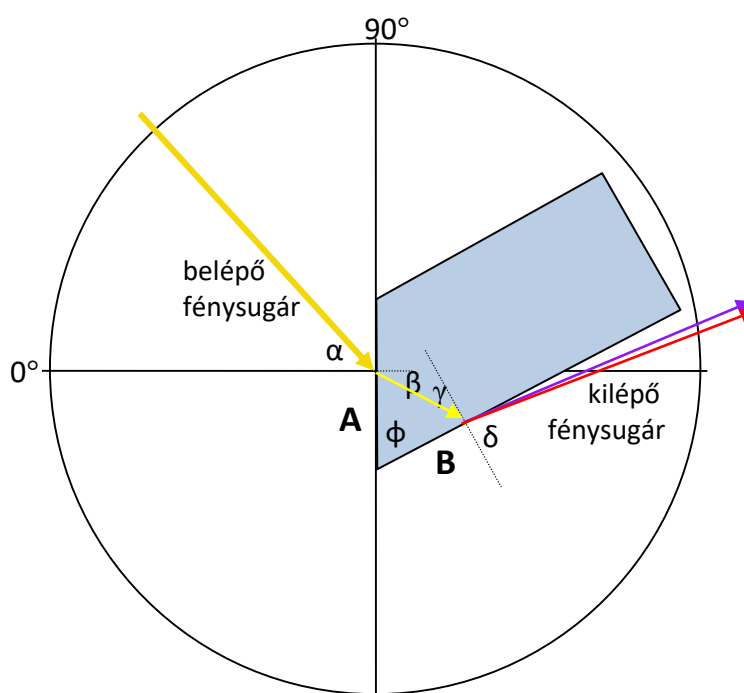
A fénysugár ebben a helyzetben nem lép ki a prizmából a B élen, mivel azon a közegethatáron teljes visszaverődést szenved.

**14. ábra:** A prizma elhelyezése a korongon.**15. ábra:** A prizma elhelyezése a korongon.**16. ábra:** A fénysugár a kiindulási helyzetben.**17. ábra:** Elforgatva a fénysugár kilép a B élen.

Forgassuk a prizmát a szögbeosztásos koronggal együtt olyan irányba, hogy a B élen a beesési szög (γ) csökkenjen! (Ilyen elrendezésnél ez a pozitív forgásirány.) Amikor a B élen a beesési szög a teljes visszaverődés határszöge alá csökken, akkor a fény kilép a prizmából. Mivel a törésmutató frekvenciafüggő, ezért a lámpa által kibocsátott kevert fehér fény kilépéskor a színeire bomlik. Figyeljük meg a prizma színbontását: milyen színű fény lép ki először a prizmából?

2.3.1. Olvassuk le, hogy hány fokkal kellett elforgatni a korongot ahhoz, hogy a fénysugár már éppen kilépjen a prizmából! Ez az α_h határszög, ami éppen a beesési szög a prizma A élén. Az α_h határszöget olvassuk le külön a vörös és külön az ibolya színre ($\alpha_{h,v}$ ill. $\alpha_{h,i}$)!

2.3.2. Forgassuk tovább a korongot, állítsuk be úgy, hogy a korong a kezdeti helyzetéhez 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! (Minden fénysugárnak két pontját jelöljük be.)



18. ábra: Prizma törésmutatójának meghatározása

Kiértékelés: A képletek levezetése:

Jelölések: 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.

Fel tudjuk írni a Snellius-Descartes törvényt mindkét határfelületre:

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

A 18. ábráról látható, hogy $\phi = \beta + \gamma$.

γ -t kifejezzük ϕ -vel és β -val, és átalakítjuk a kifejezést:

$$n \sin \gamma = n \sin(\phi - \beta) = n (\sin \phi \cos \beta - \cos \phi \sin \beta) = n \sin \phi \cos \beta - \cos \phi (n \sin \beta),$$

majd felhasználjuk az első felületre felírt egyenletet:

$$n \sin \gamma = n \sin \phi \cos \beta - \cos \phi \sin \alpha.$$

Mivel azt az α_h szöget olvassuk le, ahol $\delta = 90^\circ$, vagyis $\sin \delta = 1$, ezért $n \cdot \sin \gamma = 1$, tehát

$$n \sin \phi \cos \beta - \cos \phi \sin \alpha_h = 1 \quad \rightarrow \quad n \cos \beta = (1 + \cos \phi \sin \alpha_h) / \sin \phi.$$

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

$$n^2 = (1 + 2 \cos \phi \sin \alpha_h + \cos^2 \phi \sin^2 \alpha_h) / \sin^2 \phi + \sin^2 \alpha_h = (1 + 2 \cos \phi \sin \alpha_h + \sin^2 \alpha_h) / \sin^2 \phi,$$

amiből a törésmutató

$$n = \sqrt{\frac{1 + 2 \cos\phi \sin\alpha_h + \sin^2\alpha_h}{\sin^2\phi}}. \quad (6)$$

2.3.1. A (6) képletbe helyettesítsük be a mért $\alpha_{h,v}$ ill. $\alpha_{h,i}$ értékeket, és számoljuk ki a prizma törésmutatójának értéket vörösre ill. ibolyára!

2.3.2. A fenti gondolatmenethez hasonlóan levezethető, hogy $\delta < 90^\circ$ esetén a törésmutató a következő képlettel számolható az α és δ szögek függvényében:

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

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:

2.3.1. A törésmutató $\alpha_{h,v}$ ill. $\alpha_{h,i}$ határszögből számított értéke vörös és ibolya fényre.

2.3.2. A papírról leolvasott δ értékek, valamint az azokból számított törésmutató átlagos értéke a 90%-os hibaintervallummal együtt.