Optikai alapmérések

Illy Judit

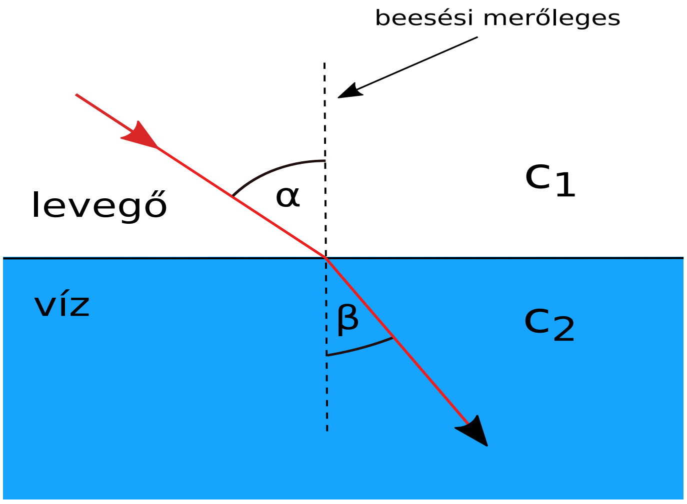
1. GEOMETRIAI OPTIKA I.

1.1. Törésmutató meghatározása a törési törvény alapján

1.1.1. Elméleti háttér

Snellius-Descartes –törvény

Az új közeg határához érkező fény egy része behatol az új közegbe, és eközben általában terjedésének iránya megváltozik, azaz megtörik. Ennek az irányváltozásnak oka az, hogy a két közegben különböző a fényterjedési sebessége. A felületre merőlegesen beérkező fénysugár nem változtatja meg a terjedés irányát.



1.1. ábra. A mérési összeállítás

Amint a fenti (1.1.) ábra mutatja, a fénysugár, a határfelület és a beesési merőleges egy síkban vannak. A beesési szög (α) a beeső fénysugár és a beesési merőleges által alkotott szög, a törési szög (β) pedig a megtört fénysugár és a beesési merőleges közötti szög. A fénysugár eltérülésének mértékét a Snellius-Descartes féle törvény írja le az alábbiak szerint:

$$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta)$$

Ahol n_1 és n_2 a közegek vákuumra vonatkoztatott törésmutatója, a vákuumbeli fénysebesség (c_0) és az adott közegre vonatkozó fénysebesség (c) hányadosa:

$$n = \frac{c_0}{c}$$

A nagyobb törésmutatójú közeget optikailag sűrűbb közegnek is nevezzük.

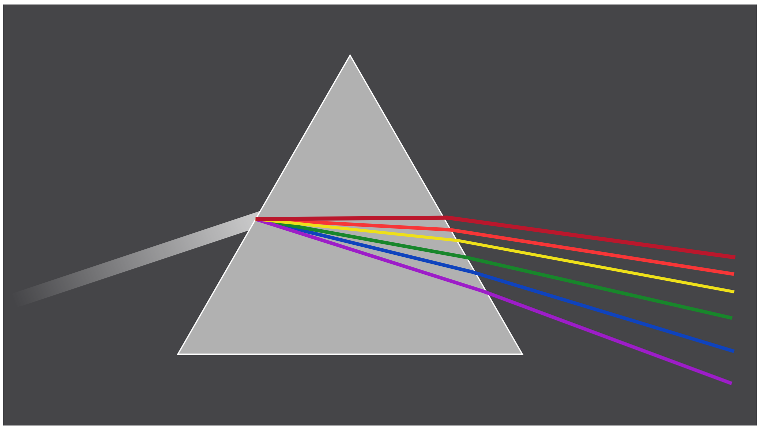
A beesési szög és a visszaverődési szög szinuszának hányadosa tehát állandó, és ez a szám a második közegnek az első közegre vonatkoztatott törésmutatója ($n_{2,1}$), és egyben a két közegben lévő terjedési sebesség hányadosa is.

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_1}{c_2}$$

Ennek a törvénynek a segítségével az átlátszó anyagok törésmutatója meghatározható.

Diszperzió

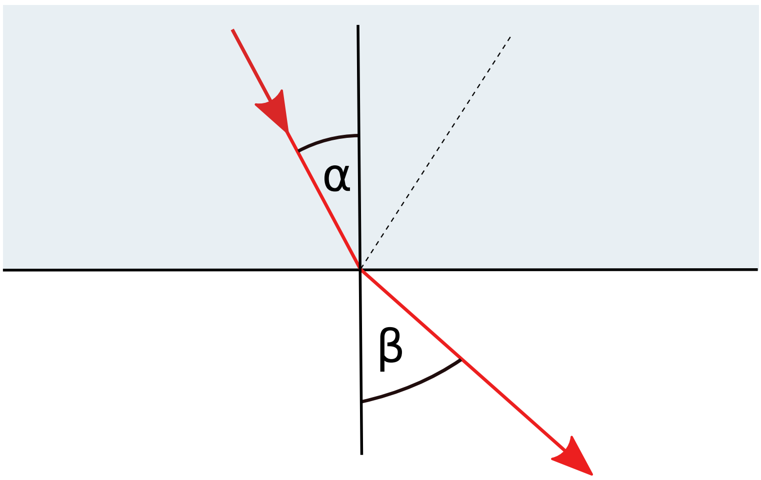
Közegben haladó fény (c) sebessége függ a hullámhosszától is, így különböző hullámhosszúságú fény vákuumra vonatkoztatott (n) törésmutatója ugyanabban a közegben különböző. A fehér fény prizmán áthaladva, kétszeri törés után színeire bomlik.



1.2. ábra. Diszperzió

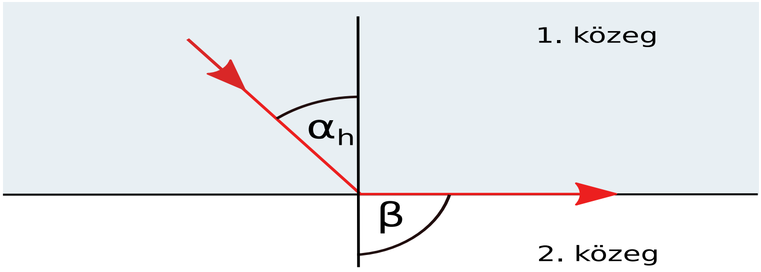
Teljes visszaverődés

Ha a fénysugár optikailag sűrűbb közegből jön, és optikailag ritkább közegben terjed tovább, a törési törvény értelmében a törési szög nagyobb lesz, mint a beesési szög.



1.3. ábra. Törés sűrűbből ritkább közegbe

A beesési szöget növelve elérünk egy olyan szögértéket, amelynél a törési szög 90 fok lesz. Ezután továbbnövelve a beesési szöget, a fénysugár teljesen visszaverődik, nem jut át az optikailag ritkább közegbe. Ezt a jelenséget nevezzük teljes visszaverődésnek. Ezt a jelenséget a technikában és az orvostudományban sok helyen alkalmazzák (optikai szálak).



1.4. ábra. Teljes visszaverődés

A Snellius – Descartes törvény alakja $\beta = 90°$ törési szög esetén:

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = \frac{\sin(\alpha)}{1} = n_{2,1}$$

A 90°-os törési szöghöz tartozó beesési szöget (α_h) határszögnek nevezzük, ennek a szögnek a szinusza megegyezik a ritkább közegnek a sűrűbb közegre vonatkozó törésmutatójával:

$$\sin(\alpha_h) = n_{2,1}$$

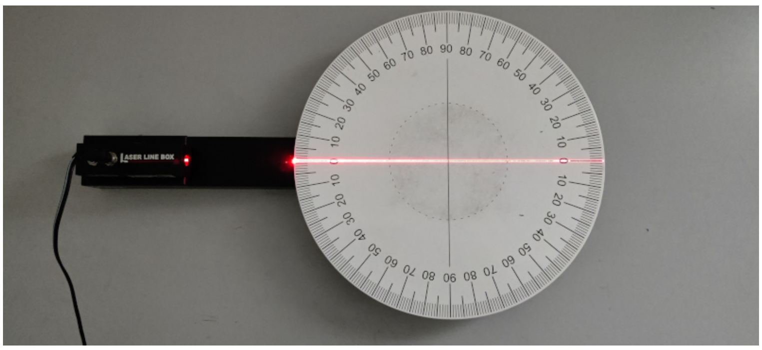
1.1.2. Mérési feladatok

1. Műanyag- levegő határfelület törésmutatójának meghatározása a törési törvény alapján
   - 1.a. A mérés során először a beesési szög és a törési szög közötti összefüggést határozzuk meg egy félkör alakú műanyag lencse segítségével abban az esetben, amikor a fény levegőből optikailag sűrűbb közegbe lép. Fénytörés csak a lencse sík felületén történik, a gömbfelületen nem, mert ott a fény mindig a beesési merőleges irányából érkezik. A mért adatok alapján kiszámítjuk a törésmutatót.
   - 1.b Második esetben megvizsgáljuk, hogy változik az összefüggés a beesési és a törési szög között, ha megfordítjuk a fénysugár útját, és optikailag sűrűbb közegből érkezik a levegőbe ugyanazon a lencsén keresztül. Kérdés: mi az összefüggés a két esetben meghatározott törésmutató között?

1.1.3. A mérés összeállítása

1. A mérőhelyen található optikai korongot tartalmazó optikai padra helyezzük rá a mágneses rögzítésű lézert.

2. A lézer óvatos pozícionálásával elérhető, hogy a fény 0 beesési szöggel érkezzen a tábla középvonalára. (1.5. ábra)



1.5. ábra. A mérési összeállítás

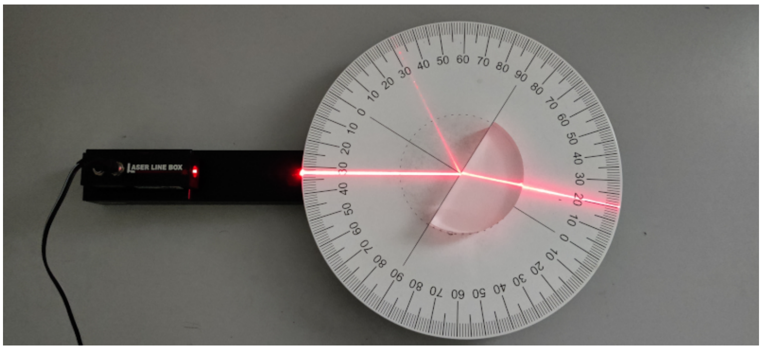
3. Fektessük rá a félkör alakú műanyag lencsét a tábla közepére!

1.1.4. A mérés menete

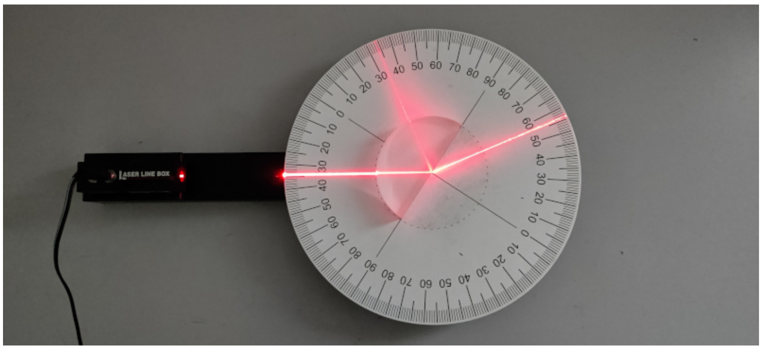
1. Állítsuk be a félkör alakú lencsét úgy, hogy a fénysugár a síkfelületen 0 fokos beesési szöggel lépjen be a lencsébe.

2. Forgassuk el ezek után a táblát úgy, hogy az α beesési szöget 10 fokonként növelje 0-tól 80 fokig. Olvassuk le az egyes beesési szögekhez tartozó β törési szögeket, és az összetartozó értékeket foglaljuk táblázatba (1.6. ábra). A lézerfény csak a síkfelületen törik meg.

3. Fordítsuk meg a lencsét úgy, hogy a beeső sugár a félkörös felületen lépjen be lencsébe (1.7. ábra).



1.6. ábra: A fény a levegőből az optikailag sűrűbb közegbe törik.



1.7. ábra: A fény optikailag sűrűbb közegből a levegőbe törik

   Mérjük végig az összetartozó beesési és törési szögeket az előbbi összeállításhoz hasonlóan! A szögeket 10 foktól 5 fokonként változtassuk, legalább 6 mérési pont legyen! A szögértékeket foglaljuk táblázatba.

4. Mérjük meg a teljes visszaverődés határszögét.

1.1.5. A mérés kiértékelése

A törési törvény az alábbi alakban is írható:

$$\sin(\alpha) = n_{2,1} \sin(\beta)$$

1. Ennek ismeretében ábrázoljuk grafikonon az első mérés alapján az (α) beesési szögek szinuszát a (β) törési szögek szinuszának függvényében.

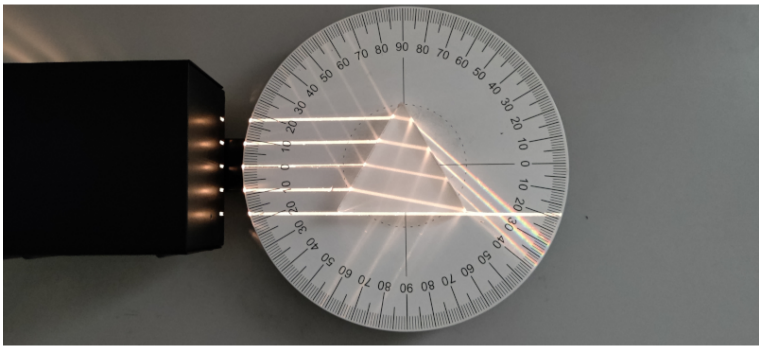
2. Illesszünk egyenest a kapott görbére, és az eredmény alapján adja meg a műanyag levegőre vonatkoztatott törésmutatóját!

3. Ismételjük meg ezt a kiértékelést a második mérésre is, és határozzuk meg a műanyag lencse törésmutatóját!

4. A törésmutató ismeretében számítsuk ki a teljes visszaverődés határszögét! Az eredményt hasonlítsuk össze a mért értékkel!

1.2. Közeghatáron történő visszaverődés és törés vizsgálata 60 fokos prizma segítségével

Közeghatárhoz érve a fénynyaláb egy része visszaverődik, másik része megtörik, a visszaverődés és törés gyakran egyidejűleg megfigyelhető.



1.8. ábra A kísérleti elrendezés

1.2.1. A mérés menete

1. Helyezzük rá a munkahelyen található optikai korongot tartalmazó optikai padra a soksugaras fényforrást! A fényforrás 12 V-os tápegységről működtethető csak, bekapcsolás előtt ellenőrizzük!

2. Fektessük rá az optikai korongra a 60 fokos prizmát úgy, hogy az egyik oldala párhuzamos legyen a beeső sugarakkal!

3. A tárcsa lassú forgatásával változtatassuk a beesési szöget! Figyeljük meg közben a fénysugarak viselkedését a különböző törőközegek határán! Megfigyeléseinket rögzítsük a jegyzőkönyvben, készítsünk ábrát a fénysugarak útjáról!

4. Mérjük meg, hogy hány fokkal kell elforgatni a korongot ahhoz, hogy a prizma másik oldalán már éppen ne éppen kilépjenek a sugarak! A mérés kiértékelése

5. Számolással ellenőrizzük az eredményt! A számoláshoz használjuk fel az előző mérés során meghatározott törésmutató értékeket!

6. Magyarázzuk meg az előző kísérlet során megjelenő színes nyalábok kialakulását! Melyik színű fény térül el a legjobban?

2. GEOMETRIAI OPTIKA II.

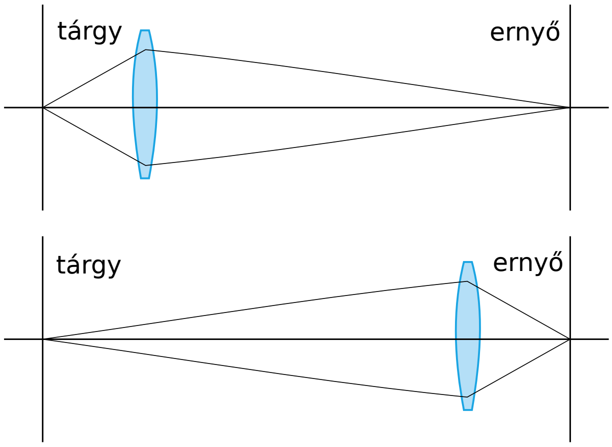
Mérési feladatok

2.1. Gyűjtőlencse fókusztávolságának meghatározása

Gyűjtőlencse fókusztávolságának meghatározása összetartozó kép és tárgytávolságok mérésével, a leképezési törvény segítségével.

2.1.1. A mérés leírása

Adott tárgy és ernyőtávolság esetén a lencse mozgatásával két helyzetben is éles képet kaphatunk. Egyik esetben a tárgy az egyszeres és a kétszeres fókusztávolság között van, ilyenkor a kép nagyított és fordított állású, ekkor a lencse a tárgyhoz közelebb van. A másik esetben a tárgy a kétszeres fókusztávolságon kívül van, ilyenkor a kép kicsinyített, és fordított állású lesz. Ebben a helyzetben a lencse az ernyőhöz lesz közelebb.



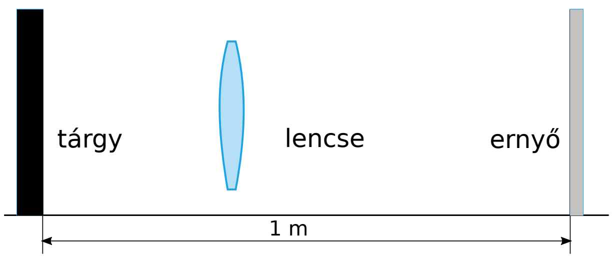
2.1. ábra. Gyűjtőlencse képalkotása

Összetartozó kép és tárgytávolságok mérésével a lencse fókusztávolsága az alábbi lencsetörvény segítségével meghatározható.

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

2.1.2. A mérés menete

1. Helyezzük a fényforrást és az ernyőt az optikai padra úgy, hogy a fényforráson lévő kereszt alakú tárgy az ernyőtől 1m távolságra legyen. Helyezzük a 10 cm fókusztávolságú lencsét a kettő közé.



2.2. ábra. A mérési összeállítás

2. Tegyük a lencsét közel az ernyőhöz, és a sínen való lassú csúsztatással keressük meg azt a pozíciót, ahol az ernyőn éles képet látunk a kereszt alakú tárgyról. Mérjük meg a (k_i) kép-, és a (t_i) tárgytávolságot.

3. Az ernyő és a tárgy mozgatása nélkül a lencse csúsztatásával keressük meg azt a másik helyzetet, ahol szintén éles képet kapunk az ernyőn. Mérjük meg ebben az esetben is a (k_i) kép- és a (t_i) tárgytávolságot!

4. Ismételjük meg a 2. és 3. lépést úgy, hogy az ernyő és tárgytávolságot fokozatosan csökkentjük 10 cm-enként egészen 50cm-ig. Mindegyik helyzetben a lencse két helyzetében kapunk éles képet.

   A mérési eredményeinket foglaljuk táblázatba.

2.1.3. A mérés kiértékelése

1. Számítsuk ki a kép és tárgytávolságok reciprok értékeit, ($\frac{1}{k_i}$ és $\frac{1}{t_i}$) és a nagyításokat.

2. Ábrázoljuk grafikonon az $\frac{1}{k_i}$ adatokat az $\frac{1}{t_i}$ értékek függvényében. Az összes adatot egy grafikonra gyűjtsük össze! Az eredmény egyenes olyan egyenes lesz, amelynek x illetve y tengelymetszete egyaránt $\frac{1}{f}$ lesz.

3. Illesszünk egyenest a mért értékekre, és ennek segítségével állapítsuk meg a két tengelymetszet értékét!

4. Mind a két tengelymetszet esetén számítsuk ki a lencse fókusztávolságát!

2.2. Szórólencse képalkotása

2.2.1. Elméleti háttér

A szórólencse ernyővel fel nem fogható virtuális képet alkot a tárgyról. Virtuális a kép akkor, ha a lencse a ráeső fénysugarakat szórja, így ezeknek csak a lencse mögötti „meghosszabbításai” metszik egymást. A virtuális képet akkor látjuk, ha a lencsén keresztül nézzük a tárgyat. A virtuális kép helye, a virtuális képtávolság azonban így nem állapítható meg. Egy a szórólencse és az ernyő közé helyezett gyűjtőlencse erről a virtuális képről, mint tárgyról valódi képet tud alkotni. Ennek segítségével a virtuális kép helye meghatározható.

2.2.2. A mérés leírása

1. Helyezzük a -15cm fókusztávolságú szórólencsét az optikai padra a 30cm-es jelhez!

2. Helyezzük a fényforrást, és vele együtt a kereszt alakú tárgyat a 10cm-es jelhez. Jegyezzük fel a tárgytávolságot!

3. Nézzünk keresztül a lencsén a tárgy felé. Jegyezzük fel, milyen képet látunk, (egyenes, vagy fordított állású, kicsinyített, vagy nagyított).

4. Helyezzük a +20cm-es gyűjtőlencsét az optikai padra a szórólencse és az ernyő közé, valahol 50 és 80cm közé. Jegyezzük fel a pontos helyét!

5. Helyezzük az ernyőt az optikai padra a szórólencse elé, és csúsztatásával keressük meg azt a pozíciót, ahol az ernyőn éles képet látunk. Ezt az éles képet a gyűjtőlencse állítja elő a szórólencse által készített virtuális képről, amely most a gyűjtőlencse számára tárgyként szerepel.

6. Távolítsuk el a szórólencsét az optikai padról. Mi történik az ernyőn látható képpel?

7. Csúsztassuk el a fényforrást abba a helyzetbe, ahol az ernyőn újra éles képet kapunk. A gyűjtőlencse és az ernyő maradjon helyén! Jegyezzük fel a fényforrás, és egyben a tárgy helyét! (Ez lesz a virtuális kép pozíciója.)

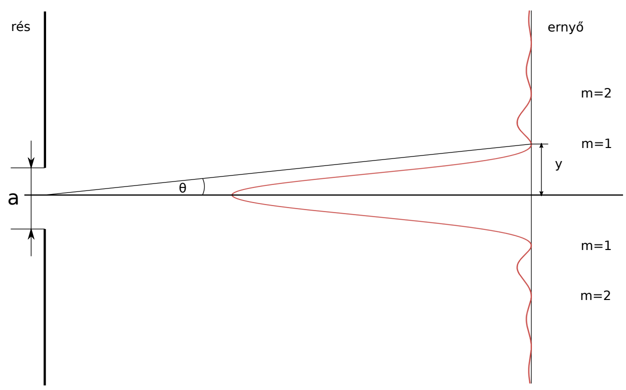
8. Határozzuk meg a virtuális képtávolságot, ami a szórólencse és a virtuális kép helyzete közötti távolság.

3. FIZIKAI OPTIKA

3.1. Résen való elhajlás vizsgálata

3.1.1. Elméleti háttér

Ha a fény keskeny résen halad keresztül, elhajlik, más szóval diffrakció jön létre. Az ernyőn sötét és világos foltok láthatók.



2.3. ábra Elhajlás résen

A diffrakciós képen a diffrakciós minimumokra a következő összefüggés teljesül:

$$a \cdot \sin(\Theta) = n \cdot \lambda \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

Ahol (a) a rés szélessége, Θ a az n-ik minimumhely és a diffrakciós kép középpontja közti szög, λ pedig a hullámhossz. Az n szám az elhajlás rendje, (az első minimum esetén 1, a második minimum esetén 2 stb). Mivel a szögek rendszerint nagyon kicsik, ezért a következő elhanyagolást tehetjük:

$$\sin(\Theta) \approx tan(\Theta)$$

Így az ábrán látható trigonometriai hasonlóság alapján:

$$\tan(\Theta) = \frac{y}{D}$$

Ahol (y) az ernyőn az n-ik minimum és a diffrakciós kép középpontjának távolsága, (D) pedig a rés és az ernyő távolsága. Az elhajlásra vonatkozó egyenletből ennek alapján a rés (a) szélessége meghatározható:

$$a = \frac{n\lambda D}{y}$$

3.1.2. Mérési feladat

Vizsgáljuk meg a résen áthaladó lézersugár elhajlása során létrejövő diffrakciós kép jellemzőit! Az elhajlásra vonatkozó elméleti ismereteink alapján határozzuk meg a diffrakciós kép segítségével a rés szélességét!

3.1.3. A mérés összeállítása

1. Helyezzük a dióda lézert az optikai pad végére, és helyezzük elé a réseket tartalmazó, tartóban lévő lemezt körülbelül 3 cm-re!
2. Helyezzük el az ernyőn az optikai pad másik végére, körülbelül a 110 cm-es beosztásig!
3. A réseket tartalmazó lemez forgatásával állítsuk be a 0,04 mm-es rést a lézer útjába. Centráljuk be a lézernyalábot úgy, hogy a rés közepére essen! A réstartón lévő tárcsa segítségével állítsuk be a rést úgy, hogy a kapott elhajlási kép függőleges legyen.

2.4. ábra A mérési elrendezés

3.1.4. A mérés menete

1. Mérjük meg pontosan a rés-ernyő távolságot. Figyeljünk arra, hogy a rés kijjebb van a tartó közép tengelyénél!
2. Mérjük meg az elhajlási képen a két első minimum egymástól való távolságát! Ismételjük meg ezt a két második minimum esetében is. Jegyezzük fel az értékeket!
3. Készítsünk vázlatos rajzot a kapott elhajlási képről!
4. Ismételjük meg az 1. 2. 3. pontban leírt lépéseket két másik rés esetében is! (0,08 mm és 0,16 mm)
5. A lemez forgatásával nemcsak keskeny vonal alakú, hanem négyzet, hatszög, kör alakú rést is beállíthatunk a lézerfény útjába.

3.1.5. A mérés kiértékelése

1. Határozzuk meg az első és második elhajlási rendekhez tartozó minimumok helyének távolságát a középponttól!
2. A lézer átlagos hullámhosszának (670nm) ismeretében határozzuk meg a rések méretét az első illetve a második elhajlási rendekre vonatkozó adatok segítségével!
3. A kapott eredményeket foglaljuk táblázatba, és adjuk meg a mérésünk relatív hibáját!
4. Válaszoljunk a következő kérdésekre:

   a A rés szélességének növelésével a minimumok távolsága nő, vagy csökken?

   b Hogyan változik az elhajlási kép, ha négyzet, hatszög, illetve kör alakú rést helyezünk a fény útjába?