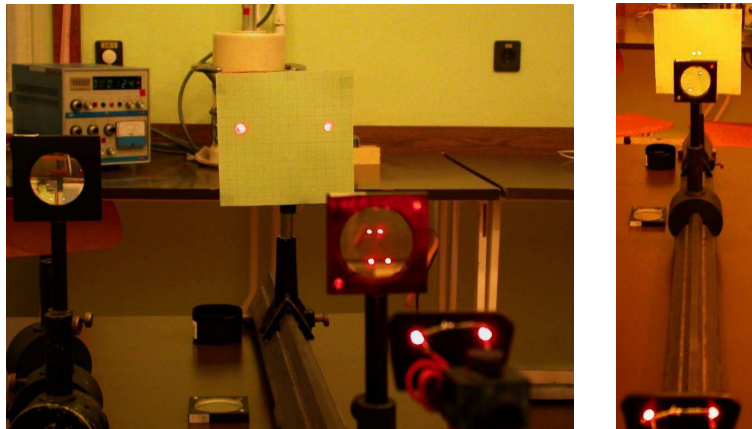


6. fejezet

Lencsék optikai erősségének meghatározása



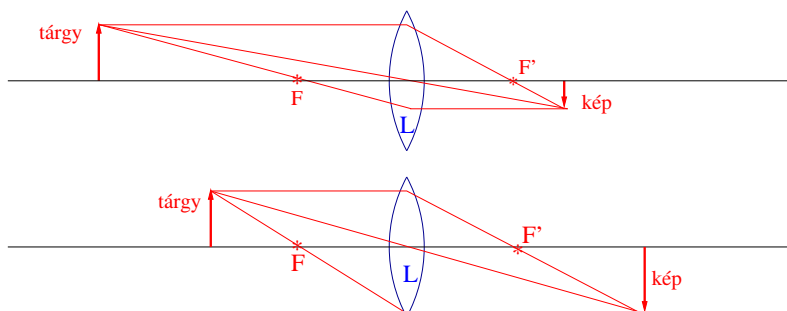
Nagyított (balra) és kicsinyített (jobbra) kép előállítás a gyűjtőlencsével

A lencséken áthaladó fény a lencse belépő és kilépő oldalán is fénytörést szenved. A két törés a geometriai egyenes vonalhoz képest azonos irányú, vagyis a lencse peremén haladó fénysugarak a lencse után összetartanak (gyűjtőlencse) vagy széttartanak (szórólencse). A gyűjtőlencsék felületeit úgy alakítják ki, hogy a lencséken áthaladó, az optikai tengellyel párhuzamos sugarak mind egyetlen pontban, a fókuszpontban egyesüljenek. Szórólencsék esetében az optikai tengellyel párhuzamosan belépő sugarak úgy haladnak tovább, mintha egy, még a lencse előtt lévő pontból indultak volna ki. Bár az utóbbi pont eltérő tulajdonságú, mint a gyűjtőlencsék fókuszpontja, az egyszerűség kedvéért a szórólencsék esetében is fókuszpontról szoktunk beszélni. A lencse és a fókuszpont távolságát a lencse fókusz távolságának nevezzük; a gyűjtőlencsék fókusz távolságát negatívnak tekintjük. A méterben mért fókusz távolság reciproka a törőerősség, más néven dioptria.

A fénytörés tulajdonságaiból következik, hogy ha a fénysugarak nem a végtelen messzi fényforrásból, párhuzamosan érkeznek, hanem egy közelebbi, a lencsétől t tárgytávolságra lévő forrásból, azok a lencsén áthaladva továbbra is egy k pontban egyesülnek, amit képnek hívunk, és ebben az esetben nem esik egybe a fókuszponttal, hanem messzebb van a lencsétől. A fénysugarak haladására a következő törvények érvényesek (vékony lencsék esetében):

- A lencse középpontján áthaladó fénysugár nem változtatja meg az irányát,
- Az F fókuszpontban áthaladó fénysugár a lencsét az optikai tengellyel párhuzamosan hagyja el,

- Az optikai tengellyel párhuzamosan érkező fénysugár a lencsét úgy hagyja el, hogy áthalad a túloldali F' fókuszponton.
- Egy pontszerű fényforrás képe ott keletkezik, ahol ez a három fénysugár metszi egymást.



Lencse képképzésének szerkesztése. Fent: a T tárgy messzebb van az F fókuszpontonál, mint a LF fókusz távolság: kicsinyített, fordított állású kép keletkezik; a tárgytávolság nagyobb, mint a fókusz távolság, de kisebb, mint annak kétszerese. Lent: a T tárgy közelebb van a fókuszponthoz, mint a LF fókusz távolság: nagyított, fordított állású kép keletkezik; a képtávolság a tárgytávolság több mint kétszerese

Az f fókusz távolság, a t tárgytávolság és a k képtávolság között a jól ismert

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

alakú összefüggés áll fenn. Vastag lencsék esetén a képlet hasonló, csak a tárgy- és képtávolságot nem a lencse középvonalától, hanem két, a lencséhez rögzítettnek tekinthető, képzeletbeli törő síktól mérjük. Ennek helyzete általában ismeretlen (bár méréssel meghatározható), ezért t és k a vastag lencséknel közvetlenül nem mérhető meg. Mivel a gyakorlatban használt lencsék általában vastag lencsék, a lencsék törési törvényét közvetlenül nem lehet pontos mérésre használni.

A következő két módszer ezt a nehézséget küszöböli ki, mert t és k mérését nem teszi szükségessé. Így vastag lencsék és lencserendszerek fókusz távolságának meghatározására is alkalmas.

6.1. Abbe-féle mérésnél

a lencsét rögzítjük, és két tárgyhelyzetnél megmérjük a keletkező kép nagyságát. Ha T a tárgy nagysága és K a kép nagysága, az N nagyítás

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

Ezt a távolságtörvénybe helyettesítve, és abból t -t kifejezve kapjuk, hogy

$$t = f \left(1 + \frac{1}{N} \right).$$

Ez utóbbi összefüggést írjuk fel mindkét tárgyhelyzet esetén, majd képezzük a tárgytávolságok különbségét. Azt kapjuk, hogy:

$$d = t_1 - t_2 = f \left(\frac{1}{N_1} - \frac{1}{N_2} \right),$$

ahonnan

$$f = d \cdot \frac{N_1 N_2}{N_2 - N_1},$$

δ -val a két tárgyhelyzet távolságát jelöltük. A nagyítás mérését pontosabbá tehetjük, ha az ernyő helyére egy kis nagyítású mikroszkópot teszünk. A mikroszkóp belső skáláját élesre állítjuk, majd megkeressük a lencse által előállított képet. A skála és a tárgyról alkotott kép egymást fedi, ezért úgy mérhető meg a kép nagysága, mint ahogy a valódi tárgyat mérőszalaggal mérnénk. A nagyítás kiszámításához meg kell mérni a tárgy nagyságát is, amit a mikroszkóp elé helyezve szintén meg tudunk határozni.

6.2. Bessel módszere

Rögzítsük le a tárgyat és az ernyőt, a közöttük lévő távolságot jelöljük e -vel és legyen $e > 4f$. Ekkor a lencse mozgatásakor két éles képet kapunk: egy nagyítottat és egy kicsinyítettet. A lencse két helyzete közti távolságot jelöljük d -vel. Szerkesztéssel belátható, hogy a lencse két helyzete az e felezőpontjára nézve szimmetrikus:

$$k = \frac{e}{2} + \frac{d}{2},$$

$$t = \frac{e}{2} - \frac{d}{2};$$

t és k kifejezését a leképezési törvénybe helyettesítve, és az

$$\frac{1}{a+b} + \frac{1}{a-b} = \frac{a-b}{a^2-b^2} + \frac{a+b}{a^2-b^2} = \frac{2a}{a^2-b^2}$$

azonosság mintájára átalakítva kapjuk, hogy

$$f = \frac{1}{4} \left(e - \frac{d^2}{e} \right).$$

6.3. Szórólencse gyújtótávolságának meghatározása

A szórólencse valódi képet nem ad, így közvetlenül nem tudjuk meghatározni a gyújtótávolságát. Ezért összekapcsoljuk egy olyan (erősebb) gyűjtőlencsével, amellyel együtt gyűjtőlencsét alkot. A lencserendszer f fókusz-távolságát az előző módszerekkel megmérjük. A gyűjtőlencse f_1 fókusz-távolsága, a szórólencse f_2 fókusz-távolsága és f között – ha a két lencse közel van egymáshoz – fennáll

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2},$$

vagyis egymással érintkező vékony lencsék esetén a törőerőségek összeadódnak. Így f_2 az f és az f_1 méréseivel meghatározható.

Helyezzük az optikai pad sínjére a pontszerű fényforrást és a lámpaházhoz tartozó kondenzorlencse segítségével állítsunk elő párhuzamos fénynyalábot. Ezután a többi eszközt is elhelyezzük a sínen, ún. lovasokba befogva.

6.4. Mikroszkóp modelljének elkészítése

A mikroszkóp a látászög nagyítására alkalmas eszköz. Működési elve rendkívül egyszerű: a tubus tárgy felőli oldalán lévő rövid fókusz-távolságú tárgylencse(rendszer) nagyított, valódi képet vetít a tubus belsejébe, amelyet egy második nagyító-lencse, az okulár segítségével tovább nagyítva figyelünk meg. A mikroszkóp modelljét optikai padon egyszerűen megépíthetjük: a 100 mm fókusz-távolságú lencsét használjuk objektívnek, a 28 mm fókusz-távolságú lesz az okulár. A 28 mm-es lencse egyik oldala erősen domború, ez nézzen az objektív felé, és a sík felületen tekintünk bele. A két lencsét helyezzük el egymástól kb. 30 cm-re, ez a távolság lesz a tubushossz. A szórt fényeket kizárandó, a tubust érdemes három oldalról

letakarni. A tárgyat az objektívtól kb. 15 cm-re helyezzük el. Az okulárban a tárgy életlen képét látjuk; a tárgy távolságának változtatásával éles képet tudunk előállítani. Ha a tubushosszt növeljük vagy csökkentjük, ezzel arányban változik a nagyítás is. (Mi ennek az oka?)

Az így készített mikroszkóp képe értékelhető, bár a kép minősége hagy némi kívánnivalót. Ennek oka, hogy két egyszerű lencsét használtunk, amelyeknek mindenféle leképezési hibája megjelenik. Ezeket valódi mikroszkópok készítésekor úgy korrigálják, hogy több (2–16) tagból álló lencserendszereket használunk mind az objektív, mind az okulár helyén.

6.5. Egyszerű távcső készítése

A Kepler-távcső is két gyűjtőlencséből áll, amelyeknek egyik fókuszpontja egybeesik. A hosszabb gyűjtőtávolságú objektív a távoli tárgyakról kicsinyített, fordított állású képet alkot, amelyet egy rövidebb gyűjtőtávolságú objektívvel szemlélünk. A távcső nagyítása az objektív és az okulár fókusz távolságának hányadosa, $N = f_{\text{obj}}/f_{\text{ok}}$. 3,5-szörös nagyítású távcsövet készíthetünk az előbb használt lencsék felhasználásával: a 100 mm fókuszú lencsétől kb. 128 mm-re helyezzük és a tubust lezárjuk. Az okulárba tekintve a távoli tárgyak életlen képe tűnik fel, a képet az okulár mozgatásával állíthatjuk élesre. A kapott kép fordított állású.

6.6. Feladatok

Eszközök: 1 db optikai sín, 1 db nagyítólencse állványon, 1 db ehhez erősíthető kicsinyítőlencse, 1 db további nagyítólencse, 1 db tárgyobjektum (két LED állványon), 1 db 4,5V-os elem, 1 db ernyő milliméterpapírral

1. Kösse össze a LED vezetékét az elemmel, és vetítse a fényforrások képét az ernyőre! (Használaton kívül azonban szakítsa meg az áramkört, ne üzemeltesse fölöslegesen a fényforrásokat!)
2. Mérje meg a gyűjtőlencse fókusz távolságát Abbe-módszerrel! A nagyítást a LED fényforrások képének mérésével állapítsa meg, a panelen a fényforrások távolsága 30 mm.
3. Ismételje meg a mérést Bessel-módszerrel is! Átlagolja a két kapott értéket!
4. Illessze a szórólencsét a gyűjtőlencséhez, és mérje meg a lencserendszer fókusz távolságát mindkét fenti módszerrel! Átlagolja a kapott értékeket!
5. A két átlagérték felhasználásával számítsa ki a szórólencse fókusz távolságát!
6. Készítse el a mikroszkóp és a távcső modelljét az optikai padon, és mutassa be a gyakorlatvezetőnek! Mind a mikroszkóp, mind a távcső fordított állású képet alkot az elé helyezett tárgyakról. Miért?