Mikroszkóp vizsgálata
Lencse görbületi sugarának mérése
Folyadék törésmutatójának mérése

(Mérési jegyzőkönyv)

Hagymási Imre

2007. március 19.
(hétfő délelőtti csoport)

1. Mikroszkóp vizsgálata

1.1. A mérés elmélete

A mikroszkóp közeli tárgyak szögnagyítására alkalmas. A jólismert összefüggés alapján ez a nagyítás:

$$N = \frac{\mathrm{tg}\beta}{\mathrm{tg}\alpha} = \frac{\Delta \cdot s}{f_1 f_2}, \tag{1}$$

ahol Δ az optikai tubushossz, s a tisztán látás távolsága ($\sim$ 25 cm), f_1 az objektív, f_2 az okulár fókusztávolsága. A mikroszkóp nagyítása nem teljesen objektív fogalom, ugyanis az okulár nagyítása függ attól, hogy a virtuális kép hol keletkezik. Az objektív $N_{\mathrm{obj}} = \frac{\Delta}{f_1}$ nagyítása viszont már jóldefiniált mennyiség.

1.2. Az objektívek nagyításának mérése

Méréseimet az ablaktól távolabbi mérőhelyen végeztem.
Az objektív nagyításának méréséhez egy kicsiny osztással ellátott üveglapkát használtam. Az okulárba épített mikrométer segítségével összehasonlítottam az üvegskála „léptékét" az okulár „léptékével". A mérés során három különböző objektív nagyítását mértem. A mérési eredmények az 1. táblázatban láthatók. Az egyik objektív féligáteresztő tükörrel rendelkezett, ezt neveztük

objektív száma	K_1 (mm)	K_2 (mm)	T_1 (mm)	T_2 (mm)	N_{obj}
3.2 / 0.1	6.97	0.65	0.20	1.80	3.94 ± 0.02
6.3 / 0.16	0.305	7.60	0.60	1.40	7.29 ± 0.08
3. objektív	6.88	1.26	0.30	1.80	3.74 ± 0.02
3. objektív	0.86	6.51	1.90	0.40	3.76 ± 0.02

1. táblázat. Az objektívek nagyításának mérése.

az 1. táblázatban 3. objektívnek, melynek nagyításának értékére a Newton-gyűrűk mérésénél még szükségünk lesz.

1.3. Az objektív fókusztávolságának meghatározása

A mérés során a 3.2/0.1 jelű objektív fókusztávolságát határoztam meg. Az objektív nagyítása ismert képtávolság mellett egyszerűen kiszámolható a lencsetörvényből, azonban a tubushossz pontos megmérése nehézkes. Ezért

tubushosszabbítót alkalmazunk, melynek hossza könnyen mérhető, így két mérésből megkapjuk a fókusztávolságot:

$$f = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{N_{\mathrm{ob1}} - N_{\mathrm{ob2}}}. \tag{2}$$

A mért adatok a 2. táblázatban láthatók. A (2) egyenlet segítségével a

objektív száma	K_1 (mm)	K_2 (mm)	T_1 (mm)	T_2 (mm)	N_{obj}
3.2 / 0.1	0.055	7.21	1.70	0.30	5.11 ± 0.04

2. táblázat. Az objektív nagyításának mérése.

fókusztávolság:

$$f = (\mathbf{3.4 \pm 0.1})\mathrm{cm}. \tag{3}$$

Jól látható, hogy a különbségképzés miatt nő ilyen nagyra a hiba, annak ellenére, hogy a lencsék nagyítását megfelelő pontossággal ismerjük.

1.4. A numerikus apertúra mérése

Ebben a mérésben a 3.2/0.1 jelű lencse numerikus apertúráját mértem. A mikroszkóp Abbe-elmélete szerint a legkisebb d távolság, amit egy lencse még fel tud bontani [1]:

$$d = \frac{\lambda}{n \sin u}, \tag{4}$$

ahol λ a megvilágító fény hullámhossza, n az objektív és a tárgy közötti közeg törésmutatója, u pedig az objektívra eső nyaláb félnyílásszöge. Az $A = n \sin u$ mennyiséget nevezzük *numerikus apertúrának*. Ennek mérése a következőképpen történt: egy h magasságú plexi hasábot helyeztem a tárgyasztalra, majd erre egy üveglapot, melyre egy penge volt ragasztva. A mikroszkópot a penge élére élesre állítottam, majd kivettem a plexi hasábot és az okulár helyére lyukblendét helyeztem. Ezután mértem, hogy mennyivel kell elmozdítani az üveglapot abból a helyzetből, amikor éppen megjelent a penge éle, addig a helyzetig ameddig teljesen el nem takarja az objektívbe tartó fényt. Ezt távolságot jelöljük a-val. Ezzel az u félnyílásszög:

$$u = \mathrm{arctg}\frac{a}{2h}. \tag{5}$$

Tehát a numerikus apertúra:

$$A = \sin\left(\mathrm{arctg}\frac{a}{2h}\right) = \mathbf{0.100 \pm 0.008}. \tag{6}$$

2. Lencse görbületi sugarának mérése

Ebben a mérésben egy domború és egy homorú lencse görbületi sugarát mérjük *Newton-gyűrűk* segítségével. A lencsére síklemezt téve a felülről érkező monokromatikus fény interferenciaképet hoz létre, melyet mikroszkópban vizsgálunk.
A mérésben Na-spektrállámpát használtunk, amelynek hullámhossza $\lambda = 589$ nm volt. Egy R görbületi sugarú lencsén létrejövő gyűrűk r_k sugara [1]:

$$r_k^2 = k\lambda R + \text{áll. } k = 1, 2, \ldots. \tag{7}$$

A mérés során az *I.* (domború) illetve a *II.* (homorú) jelű lencsék görbületi sugarát mértem, mérési adataik rendre a 3. illetve a 4. táblázatban láthatók. A *II.* lencse mérése során a lencsét az *I.* lencsére helyeztem. Ezzel az elrendezéssel a lencserendszer R_{eff} *effektív* görbületi sugarát lehetett meghatározni. Innen a homorú lencse görbületi sugara [1]:

$$R_{II} = \frac{R_I \cdot R_{eff}}{R_{eff} - R_I}. \tag{8}$$

A gyűrűk sugarait az

$$r_k = \frac{1}{N_{\text{obj}}} \frac{x_{\text{jobb}} - x_{\text{bal}}}{2}, \tag{9}$$

formulával számoltuk, ahol $N_{\text{obj}} = 3.75 \pm 0.01$, amit korábban már meghatároztunk. A gyűrűk sugarának négyzetét ábrázoltam k függvényében. majd egyenest illesztettem rájuk. Az egyenes illesztés eredménye az 1. illetve a 2. ábrán látható.
Az egyenes meredeksége az *I.* lencse esetén:

$$m_I = (0.0392 \pm 0.0001)\text{mm}^2, \tag{10}$$

(7)összefüggés segítségével a görbületi sugár:

$$\mathbf{R_I = (6.65 \pm 0.05)cm}, \tag{11}$$

k	x_{bal}(mm)	x_{jobb}(mm)	r_k(mm)
1	3.85	5.53	0.224
2	3.56	5.80	0.298
3	3.33	5.98	0.353
4	3.16	6.21	0.406
5	2.99	6.38	0.452
6	2.83	6.54	0.494
7	2.70	6.69	0.532
8	2.57	6.81	0.565
9	2.45	6.99	0.605
10	2.31	7.07	0.634
11	2.21	7.17	0.661
12	2.09	7.28	0.692
13	1.97	7.38	0.721
14	1.87	7.49	0.749

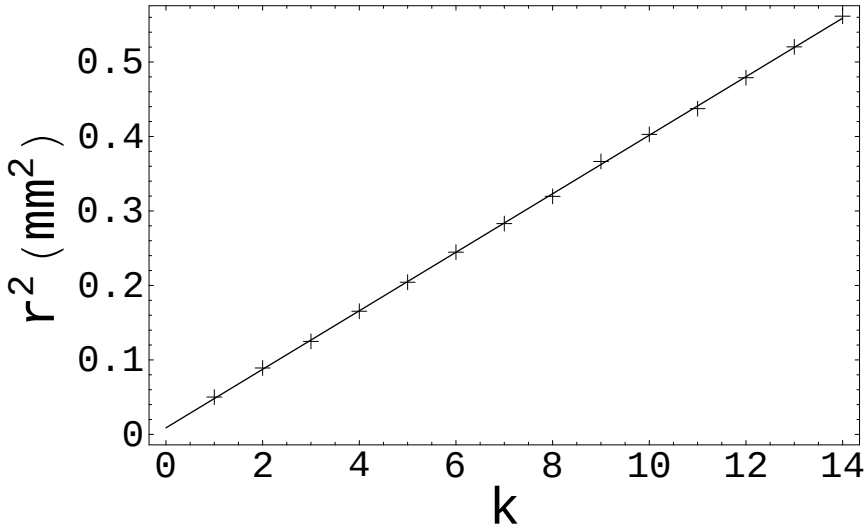
3. táblázat. Az *I.* lencse mérési adatai.

k	x_{bal}(mm)	x_{jobb}(mm)	r_k(mm)
1	3.37	5.64	0.224
2	2.96	6.04	0.298
3	2.62	6.36	0.353
4	2.33	6.62	0.406
5	2.07	6.86	0.452
6	1.87	7.09	0.494
7	1.65	7.31	0.532
8	1.44	7.50	0.565
9	1.27	7.68	0.605
10	1.11	7.87	0.634
11	0.92	8.03	0.661
12	0.75	8.17	0.692

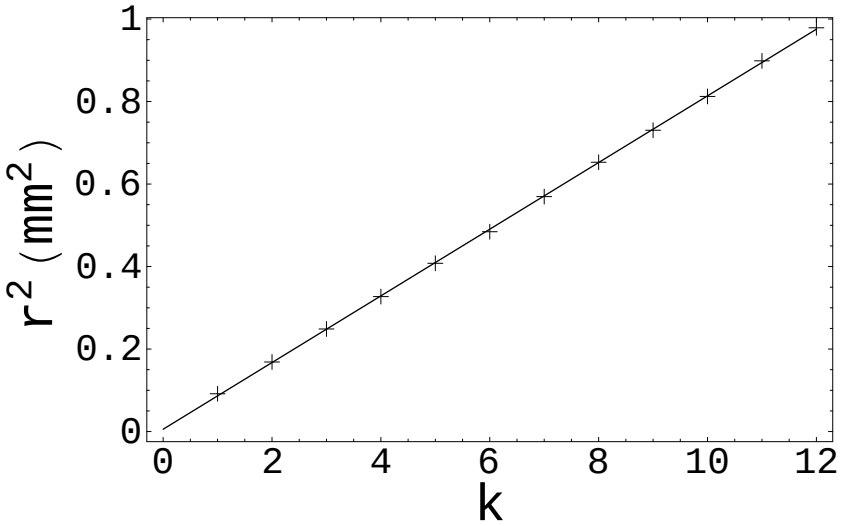
4. táblázat. A *II.* lencse mérési adatai.

ahol már figyelembe vettük a nagyításból származó szisztematikus hibát is. Hasonlóan a *II.* lencse esetében a meredekség:

$$m_{II} = (0.0808 \pm 0.0002)\text{mm}^2, \tag{12}$$



1. ábra. Az *I.* lencse illesztési egyenese, görbületi sugarának meghatározásához.



2. ábra. A *II.* lencse illesztési egyenese, görbületi sugarának meghatározásához.

innen az *effektív* görbületi sugár:

$$R_{eff} = (13.7 \pm 0.1)cm, \tag{13}$$

és a *II.* lencse görbületi sugara (8) alapján:

$$\mathbf{R_{II}} = (\mathbf{12.92 \pm 0.3})\text{cm}. \tag{14}$$

3. Folyadék törésmutatójának mérése

A különböző töménységű oldatok törésmutatójának mérését *Abbe-féle refraktométerrel* végeztem, melynek működése a teljes visszaverődés határszögének mérésén alapul [1]. A refraktométer kimosása után desztillált vizet helyeztem a prizmák közé, majd leolvastam a törésmutató értékét, amely $n_{\text{víz}} = 1.3320$ volt. Ezek után mértem a különböző töménységű $C_3H_8O_3$ oldatok törésmutatóját. A mérési adatok az 5. táblázatban láthatók. Az illesztés eredményét a 3. ábrán láthatjuk, az illesztett $n = m \cdot c + n_0$ egyenes paraméterei:

V/V%	n
0	1.3320
2.07	1.3350
11.00	1.3455
14.46	1.3495
25.78	1.3640
28.60	1.3670
c_x	1.3435

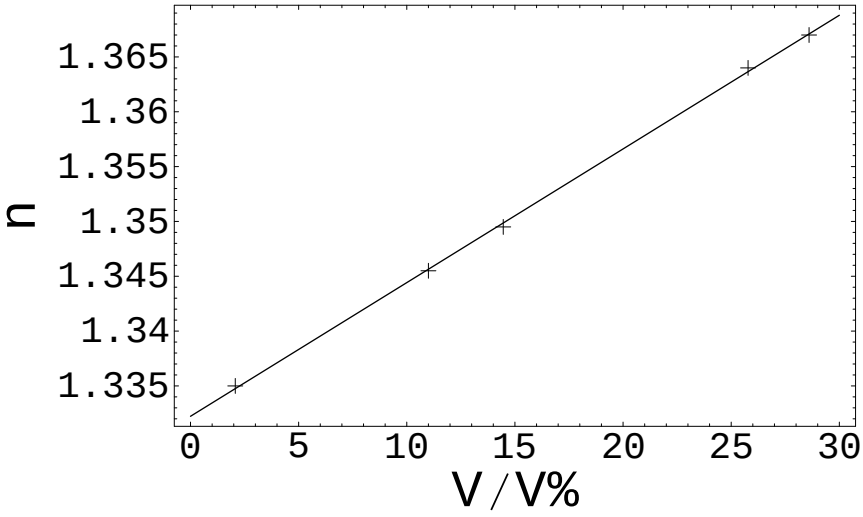
5. táblázat. A különböző térfogatszázalékú oldatok törésmutatója.

$$m = 0.00121 \pm 0.00001, \tag{15}$$

$$n_0 = 1.3322 \pm 0.0002. \tag{16}$$

Az ismeretlen töménységű oldat koncentrációját (térfogatszázalékos összetételét) megkaphatjuk, ha az n_x törésmutatójának értékét behelyettesítjük az egyenes átrendezett egyenletébe:

$$c_x = \frac{n_x - n_0}{m} = (9.33 \pm 0.2)\%. \tag{17}$$



3. ábra. A törésmutató függése az oldat koncentrációjától (az abszcissza tengelyen a térfogatszázalék látható).

Hivatkozások

[1] Havancsák Károly: *Mérések a klasszikus fizika laboratóriumban*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2003.