

JEGYZŐKÖNYV

08. MÉRÉS - MIKROSZKÓP VIZSGÁLATA

Klasszikus Fizika Laboratórium



- Jegyzőkönyvet írta: Rábóczki Bence
- Jegyzőkönyvet író Neptun-azonosítója: NQQDTE
- Jegyzőkönyv leadásának időpontja: 2020. január 11.

A mérés célja

A mérés során az első részben egy mikroszkóp objektívjeinek nagyításait, fókusz távolságait és numerikus apertúráját határozzuk meg, a második részben pedig a lencsék görbületi sugarait vizsgáljuk Newton-gyűrűk segítségével.

Felhasznált mérési eszközök

- Fénymikroszkóp
- 3 db objektív
- Okulár
- Tubushosszabbító
- Spektrállámpa
- Lencsék (homorú és domború)
- Plexitömb pengével
- Lyukblende

A mérés menete és elméleti háttere

Nagyítás és fókusz távolság

A mikroszkóp egy szögnagyító eszköz, melyet legjobban a nagyítása jellemez. Ahhoz, hogy ezt megadhatjuk meg kell határoznunk az objektív és az okulár nagyításait. Definíció szerint a nagyítás a K képméret és a T tárgyméret hányadosa. A tubushosszal a következő egyenlet írható fel:

$$N_{obj} = \frac{K}{T} = \frac{\Delta}{f}$$

ahol Δ a tubushossz és f az objektív fókusz távolsága. Az objektívek nagyításának mérésére a tubus végére helyezett okulár-ikrométer és a tárgyasztalon található objektív mikrométert használjuk. A szátkereszt helyzetét mindkét mikrométeren megmérve meghatározhatjuk K és T értékeket:

$$K = K_2 - K_1$$

$$T = T_2 - T_1$$

Mostmár rátérhetünk a fókusz-távolság meghatározására. A tubushosszt közvetlenül nem tudjuk mérni, ezért tubushosszabbítót kell alkalmaznunk és újra elvégezni a méréseket. Végül így a fókusz-távolság:

$$f = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{N_{obj2} - N_{obj1}}$$

Numerikus apertúra

Ezután a numerikus apertúrát, vagyis a felbontóképességet határozzuk meg. Ez az a távolság amin két pont még megkülönböztető egymástól. A számolására felhasználható az Abbe-féle leképezési törvény:

$$d = \frac{\lambda}{n \cdot \sin u} = \frac{\lambda}{A}$$

ahol d két pont távolsága, n a törésmutató, u a félnyílásszög, A pedig a keresett numerikus apertúra. A szükséges paramétereket úgy határozzuk meg, hogy h magasságú plexitömbre egy pengét helyezünk, majd ezt a tárgyasztalra helyezzük és élesre állítjuk a képet. Majd a plexi tömböt eltávolítjuk az okulárt pedig lyukblendére cseréljük, majd vizsgáljuk, hogy mekkora a távolságra kell eltolnunk a pengét, hogy az objektívbe érkező fényt eltakarja. Így felírható a következő összefüggés, amelyből már számítható lesz A :

$$u = \arctg\left(\frac{a}{2h}\right)$$

Lencsék görbületi sugarának meghatározása

A fény interferencia-tulajdonságait felhasználva a Newton-gyűrűk segítségével meghatározhatóak a lencsék görbületi sugarai. A mérés során használt spektrálámpa fényének hullámhossza $\lambda = 589$ nm. Az interferenciagyűrűk r sugara és a domború lencse R görbületi sugara közötti összefüggés a következő:

$$r^2 = k\lambda R + c$$

ahol c egy konstans, és $k = 1, 2, 3, \dots$. Egyenest illesztve az $r^2(k)$ függvényre megkaphatjuk a keresett értéket. Miután megállapítottuk a domború lencse görbületi sugarát ráhelyezhetünk egy homorú lencsét, az előző lépéseket megismételve az illesztett egyenes meredekségéből azonban egy effektív görbületi sugarat fogunk kapni, amelyből viszont meghatározható a homorú lencséé is a következő összefüggés felhasználásával:

$$\frac{1}{R_{eff}} = \frac{1}{R_{domb}} - \frac{1}{R_{hom}}$$

Mérési adatok és kiértékelés

Nagyítás és fókusz távolság

A mért tárgyméreteket és képméreteket a következő táblázatban foglaltam össze:

	3.2/0.1 objektív		6.3/0.16 objektív		Féligáteresztő tükrös o.	
	T [mm]	K [mm]	T [mm]	K [mm]	T [mm]	K [mm]
bal	5.4	0.04	3.2	0.08	4.5	0.15
jobb	7.4	8.01	4.2	7.33	6.5	7.62

Ezekből a tárgy- és képméreteket:

$$T = T_{jobb} - T_{bal}$$

3.2/0.1 objektív		6.3/0.16 objektív		Féligáteresztő tükrös o.	
T [mm]	K [mm]	T [mm]	K [mm]	T [mm]	K [mm]
2.0	7.97	1.0	7.25	2.0	7.47

És a nagyítások $N = \frac{K}{T}$ alapján:

3.2/0.1 objektív	6.3/0.16 objektív	Féligáteresztő tükrös o.
N_1	N_1	N_1
3.985 ± 0.012	7.25 ± 0.041	3.735 ± 0.012

ahol a hibát a következő képlettel számoltam (K és T hibái a leolvasási bizonytalanság, azaz 0.005 mm):

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta K}{K} + \frac{\Delta T}{T}$$

Ugyanezeket a lépéseket megismételjük a tubushosszabítóval mért adatokkal. A mért adatok:

	3.2/0.1 objektív		6.3/0.16 objektív	
	T [mm]	K [mm]	T [mm]	K [mm]
bal	1.2	0.22	3.3	0.07
jobb	2.7	7.94	4.1	7.21

Ezekből a tárgy- és képméretetek:

3.2/0.1 objektív		6.3/0.16 objektív	
T [mm]	K [mm]	T [mm]	K [mm]
1.5	7.72	0.8	7.14

És a nagyítások:

3.2/0.1 objektív	6.3/0.16 objektív
N_2	N_2
5.147 ± 0.020	8.925 ± 0.062

A tubushosszabító hossza $\Delta_2 - \Delta_1 = 40.1 \pm 0.025$ mm volt, ezek alapján az objektívekhez tartozó fókusztávolságok az $f = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{N_{obj_2} - N_{obj_1}}$ összefüggés alapján:

$$f_{3.2/0.1} = 34.42 \pm 0.22 \text{ mm}$$

$$f_{6./0.16} = 23.88 \pm 0.15 \text{ mm}$$

ahol f hibáját a következő képlettel számoltam (itt $\Delta_2 - \Delta_1 = l$):

$$\frac{\Delta f}{f} = \frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2}{N_1 + N_2}$$

Numerikus apertúra

A plexitömb magasságát több ponton is megmérjük, ezeknek a méréseknek az átlagával fogunk számolni (a hiba pedig az átlagtól való legnagyobb eltérés lesz):

Mérések [mm]	20.7	20.8	20.7	20.9
Átlag [mm]	$h = 20.0775 \pm 0.0125$			

A többi mért és számolt adat pedig az alábbi táblázatban található (itt $a = x_2 - x_1$ és $\Delta x_1 = \Delta x_2 = 0.05$, valamint $\Delta a = \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2} = 0.0707$):

	x_1 [mm]	x_2 [mm]	a [mm]	u [rad]	$A = n \cdot \sin u$
3.2/0.1 obj.	70.4	74.2	3.8	0.094 ± 0.0016	0.1422 ± 0.0002
6.3/0.16 obj.	69.1	75.5	6.4	0.158 ± 0.0026	0.2384 ± 0.0006

És a felbontóképességek a $\lambda = 589 \pm 0.5$ nm fényhullámhosszú spektrálműködésre:

$$d_{3.2/0.1} = 0.004142 \pm 0.000009 \text{ mm}$$

$$d_{6.3/0.16} = 0.002471 \pm 0.000008 \text{ mm}$$

A hibákat a következő képletekkel száoltam:

$$x = \frac{a}{2h}$$

$$\frac{\Delta x}{x} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta h}{h}$$

$$\Delta u = \frac{1}{1+x^2} \Delta x$$

$$\Delta A = n \cdot \sin u \cdot \Delta u$$

$$\frac{\Delta d}{d} = \frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{\Delta A}{A}$$

Lencsék görbületi sugarának vizsgálata

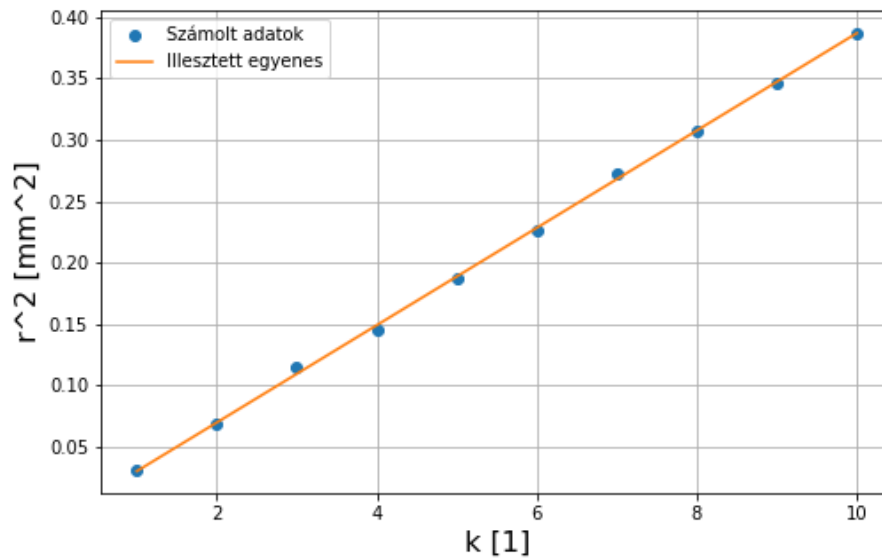
A mérés során a kiértékelés első szakaszában kiszámolt $N = 3.735 \pm 0.012$ nagyítású féláteresztő tükrös objektívet alkalmaztuk. A newton gyűrűk sugara így:

$$r = \frac{1}{N} \frac{K_{jobb} - K_{bal}}{2}$$

Domború lencse

A mért és számolt adatok, valamint az illesztett egyenes:

k	K_b [mm]	K_j [mm]	r [mm]	r^2 [mm ²]
1	3.74	5.05	0.1754	0.0308
2	3.39	5.35	0.2624	0.0688
3	3.12	5.65	0.3387	0.1147
4	2.96	5.81	0.3815	0.1456
5	2.78	6.01	0.4324	0.1870
6	2.61	6.16	0.4752	0.2258
7	2.43	6.33	0.5221	0.2726
8	2.32	6.46	0.5542	0.3072
9	2.18	6.58	0.5890	0.3469
10	2.06	6.71	0.6225	0.3875



Az illesztett egyenes meredeksége (ahol $\lambda = 589 \pm 0.5$ nm):

$$m = \lambda R = 0.0396 \pm 0.0003 \text{ mm}^2$$

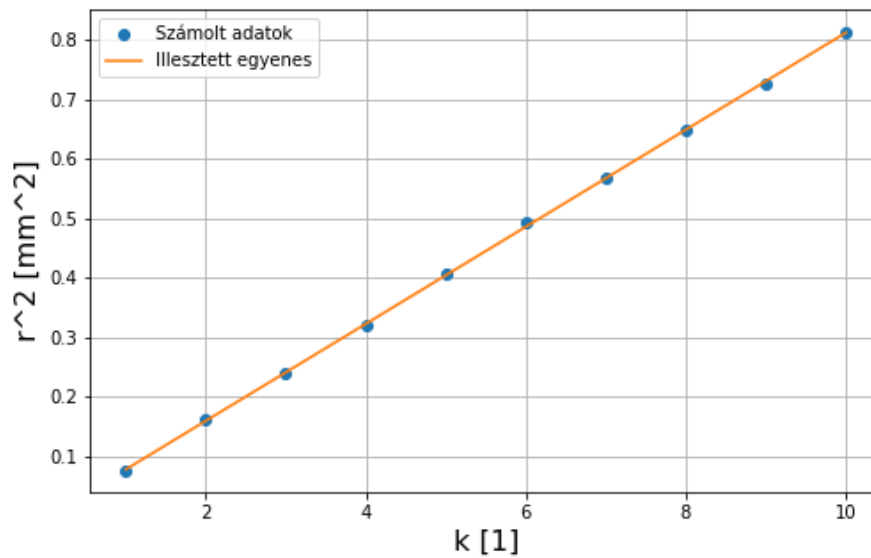
A meredekség hibáját az illesztőprogram adta meg, Pythont használtam erre a célra. Ez alapján a lencse görbületi sugara, ahol $\Delta R_d = R_d \cdot \left(\frac{\Delta \lambda}{\lambda} + \frac{\Delta m}{m} \right)$:

$$R_{domb} = \frac{m}{\lambda} = 67.23 \pm 0.57 \text{ mm}$$

Homorú lencse

A mért és számolt adatok, és az illesztett egyenes:

k	K_b [mm]	K_j [mm]	r [mm]	r^2 [mm ²]
1	3.5	5.57	0.2771	0.0768
2	3.06	6.06	0.4016	0.1613
3	2.72	6.38	0.4900	0.2401
4	2.43	6.65	0.5649	0.3191
5	2.18	6.94	0.6372	0.4060
6	1.95	7.19	0.7015	0.4921
7	1.73	7.36	0.7537	0.5680
8	1.54	7.56	0.8059	0.6495
9	1.36	7.72	0.8514	0.7249
10	1.18	7.92	0.9023	0.8141



Az illesztett egyenes meredeksége:

$$m = \lambda R = 0.0816 \pm 0.0004 \text{ mm}^2$$

Ebből már kiszámolható az effektív görbületi sugár:

$$R_{eff} = \frac{m}{\lambda} = 138.54 \pm 0.80 \text{ mm}^2$$

A következő egyenletből pedig a homorú lencse görbületi sugara is megkapható (R_{domb} -ot az előző feladatrészen meghatároztam):

$$\frac{1}{R_{eff}} = \frac{1}{R_{domb}} - \frac{1}{R_{hom}}$$

$$R_{hom} = \frac{R_{eff} \cdot R_{domb}}{R_{eff} - R_{domb}}$$

$$R_{hom} = 130.61 \pm 1.86 \text{ mm}$$

ahol ΔR_{hom} -ot szisztematikus hibaszámítási módszerrel határoztam meg.

Diszkusszió

A mérést a járványhelyzet miatt sajnos nem tudtam személyesen elvégezni, azonban az elektronikusan kapott adatokat igyekeztem a legjobb tudásom szerint feldolgozni. A arányában kicsi hibák miatt a méréseket pontosnak mondanám. A spektrállampa fényének hullámhosszát, a Newton-gyűrűs mérésnél alkalmazott törésmutatót, valamint a számolásokhoz szükséges képleteket a forrásként megjelölt könyv 9. fejezete tartalmazza.

Felhasznált irodalom

- Böhönyey - Havancsák - Huhn: Mérések a klasszikus fizika laboratóriumban, szerkesztette: Havancsák Károly, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2003.