

A mikroszkóp vizsgálata

Asztalos Bogdán

Hétfői csoport

mérés időpontja: 2017. 11. 06.

jegyzőkönyv leadásának időpontja: 2017. 11. 27.

A mérés célja

A mérés során mikroszkóp segítségével végzünk méréseket. A mikroszkóp elsősorban a vizsgált mintáról érkező fénysugarak látószögét nagyítja, ezzel lehetővé téve olyan kis távolságok mérését, amit szabad szemmel egyáltalán nem tudnánk megmérni. A mérés során meghatározzuk a használt mikroszkóp objektívjeinek nagyítását és fókusztávolságát, valamint a megvilágítás és felbontás szempontjából igen fontos numerikus apertúra nagyságát. Ezután megmérjük egy hajszál vastagságát, valamint domború és homorú lencséken kialakult interferenciakép vizsgálatának segítségével meghatározzuk a lencsék görbületi sugarát is.

A mérés eszközei

- Mikroszkóp, három különböző objektívvel
- Okulár-mikrométer (0,01 mm-es beosztással)
- 0,01 mm-es beosztású, mikroszkópba befogható minta
- Tubushosszabbító
- Átlátszó plexi hasáb
- Mikroszkópban vizsgálható penge
- Hajszál
- Domború (*I.* számú) lencse
- Homorú (*II.* számú) lencse
- Tolómérő
- *Na* spektráallámpa

A mérés menete

A mérés első részében a mikroszkóp objektívjeinek paramétereit vizsgáljuk. A használt mikroszkópnak 3 db különböző objektívje van, a következőkben ezek: rövid, hosszú, tükrös. A mikroszkóp tárgyasztalára befogjuk a hossz mértékkel ellátott mintát, a tubusba pedig betesszük az okulár-mikrométert. Az objektív nagyítását az alábbi módon végezzük: az okulár-mikrométerben lévő szátkeresztet beállítjuk egy olyan pozícióba, hogy azt a mintának egy adott beosztásán lássuk, ekkor feljegyezzük a pozícióját, majd áttesszük egy másik helyre, ahol szintén a mintának egy adott beosztásán látjuk, és ekkor is feljegyezzük a helyzetét. A képtávolság az a távolság, amennyit a szátkereszt elmozdult, a tárgytávolság pedig a minta két beosztásának távolsága. Ezen két szám hányadosaként megkaphatjuk az objektív nagyítását.

Ezután megmérjük a rövid és a hosszú objektívnek a fókusztávolságát. Ehhez az okulár-mikrométert nem közvetlenül a mikroszkóp tubusába tesszük, hanem előtte a tubust meghosszabbítjuk a tubushosszabbító segítségével. Az előző méréshez hasonlóan itt is meghatározzuk az eredő nagyítást, és mivel a tubushossz más, ezért más értéket fogunk kapni. Mivel a nagyítás és a tubushossz közötti kapcsolatban szerepel a tubushossz, ennek változásából kifejezhetjük az objektív fókusztávolságát.

A mérés következő részében szintén a rövid és a hosszú lencsét vizsgáljuk, ezúttal a numerikus apertúrájuk mértékét. Ehhez a tárgyasztalra helyezünk egy plexihasábot, majd rá a borotvapengét. A vizsgált objektívvel megkeressük a penge élét és ráfókuszálunk. Ezután kivesszük a penge alól a plexihasábot, ezáltal a penge éle kikerül a fókuszból, az

okulár helyére pedig lyukblendét teszünk. A lyukblendén keresztül megkeressük megint a penge szélét, de mivel ezúttal a mikroszkóp nincs ráfókuszálva, nem egyértelmű, hogy pontosan mikor látjuk a blendén keresztül a penge élét. Feljegyezzük a tárgyasztalnak azt a két szélső pozícióját, amikor még éppen nem, valamint amikor már éppen látjuk a pengét, és a kettő távolságának, valamint a plexihasáb vastagságának ismeretében ki tudjuk számolni az objektívre vonatkozó numerikus apertúrát.

Végül az objektívek tulajdonságainak ismeretében megmérhetünk konkrét dolgok nagyságát. Először egy hajszálat teszünk a mikroszkóp alá, és annak a látszólagos vastagságát mérjük meg az okulár-mikrométer segítségével. Az nagyítás ismeretében ebből kiszámítható, hogy valójában milyen vastag a vizsgált hajszál.

A másik mennyiség amit a mikroszkóp segítségével mérünk meg a lencsék görbületi sugara. Ehhez a tükrös objektívet fogjuk használni, amiben a fény útjába egy féligáteresztő tükör van szerelve. Ezt a Na spektrállámpával világítjuk, oldalról, így a fény a tükrőről pont a mintára esik. A minta helyén egy gömb alakú lencse lesz, amin egy átlátszó síklap, így a lencséről visszaverődő fény interferál a ráeső fényvel, és a rajta kialakuló interferenciakép a Newton-gyűrűk lesznek. A lencsén több, koncentrikusan elhelyezkedő Newton-gyűrű alakul ki, amelyek sugara ismert módon függ attól, hogy belülről sorrendben hanyadik. Ezek sugarát megmérve, szintén az okulár-mikrométerrel segítségével, megkapjuk az összefüggés konkrét alakját, amiből kiszámolható a vizsgált lencse görbületi sugara.

Kiértékelés

Objektív nagyításának és fókusz-távolságának meghatározása A nagyítás mérése során a mintán kiválasztott két beosztás látszólagos távolságát mértük meg az okulár-mikrométer segítségével. Ha a két beosztás közötti részt tekintjük a tárgynak, akkor a T tárgyméret a két kiválasztott beosztás különbsége, a K képtávolság pedig az a látszólagos méret, amit az okulár-mikrométerről leolvastunk. A kettő hányadosaként kapjuk az objektív nagyítását: $N = \frac{K}{T}$. A mért értékeket, és a számított nagyítás értékeket (hibáikkal együtt) az 1. táblázat tartalmazza.

A fókusz-távolság meghatározásakor az okulármikrométert a tubushosszabbítóba tettük, emiatt a fénysugár útja meghosszabbodott, így az éles pozíció és a nagyítás mérete megváltozott. Az előző módszerrel újból megmértük az objektív nagyítását amiből az alábbi képlettel számítható ki a fókusz-távolság: $f = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{N_2 - N_1}$, ahol $\Delta_2 - \Delta_1$ a tubushosszabbító mérete. Az új mért értékeket, és a kiszámolt f fókusz-távolságot szintén az 1. táblázat tartalmazza.

Numerikus apertúra meghatározása A tárgyasztalra helyeztük a plexihasábot, arra a pengét és ráfókuszáltunk az élére. A plexihasáb vastagságát megmértük a tolómérővel: $h = 20,05 \text{ mm} \pm 0,05 \text{ mm}$ (itt a mérési hiba a tolómérő beosztása). Miután kivettük a plexihasábot a penge alól, az okulárt pedig kicseréltük a lyukblendére, megkerestük a tárgyasztalnak azt a helyzetét, amikor még éppen nem látjuk a pengét. Eztuán eltoltuk egy kicsit, úgy, hogy teljes egészében a pengét lássuk. A tárgyasztalt ehhez a távolsággal kellett eltolni. Ez a rövid objektív esetében $a_{\text{rövid}} = 3,9 \text{ mm}$, a hosszú objektív esetében $a_{\text{hosszú}} = 6,3 \text{ mm}$ volt (a mérésének bizonytalansága mindkét esetben a tárgyasztal elmozdulását mérő mikrométer beosztása, tehát $\Delta a = 0,005 \text{ mm}$ mindkét esetben). Mivel a törőközeg

objektív	rövid	hosszú	tükrös
K_1 [mm]	7,94	7,3	7,34
T_1 [mm]	2	1	2
N_1	$3,97 \pm 0,01$	$7,30 \pm 0,04$	$3,67 \pm 0,01$
K_2 [mm]	7,70	7,16	–
T_2 [mm]	1,5	0,8	–
N_2	$5,13 \pm 0,02$	$8,95 \pm 0,06$	–
f [cm]	$3,4 \pm 0,1$	$2,4 \pm 0,2$	–

1. táblázat. A két mérésben mért kép és tárgytávolságok, valamint az ezekből számított nagyítás és fókusztávolságok. Az 1-es indexű adatok a tubushosszabbító nélkül mért adatok, a 2-es indexűek a tubushosszabbítóval mért.

törésmutatója 1, ezért a numerikus apertúra a értékéből az alábbi módon számolható:

$$A = \sin u = \sin \left(\arctg \frac{a}{2h} \right) = \frac{1}{\sqrt{\frac{4h^2}{a^2} + 1}} \quad \text{A hibája pedig} \quad \delta A = \frac{1}{1 + \frac{a^2}{4h^2}} (\delta a + \delta h)$$

Ez alapján a rövid objektívre vonatkozó numerikus apertúra értéke $A_{\text{rövid}} = 0,0968 \pm 0,0004$, a hosszúra vonatkozó pedig $A_{\text{hosszú}} = 0,1552 \pm 0,0005$

Hajszál vastagságának mérése Ebben a mérésben egy hajszálat tettünk a tárgyasztalra, a hosszú objektív alá. Miután ráfókuszáltunk, a okulár-mikrométer szátkeresztjét odaigazítottuk az egyik szélére, majd a másik szélére, és leolvastuk, hogy mennyit kellett elmozgatni. Ez a képnagyság $K_{\text{haj}} = 0,54$ mm-nek adódott (a bizonytalanság $\Delta K_{\text{haj}} = 0,005$ mm). Mivel az objektív nagyítása $N = 7,30 \pm 0,04$ volt, a tárgynagyság, azaz a hajszál vastagsága $T = \frac{K}{N} = 73,0 \mu\text{m} \pm 1,1 \mu\text{m}$.

Lencsék görbületi sugarának meghatározása Newton-gyűrűkkel A mérésnek ebben a szakaszában a tárgyasztalt a Na spektrállámpával világítottuk meg, hogy a vizsgálathoz használt fény hullámhossza adott legyen. Először a domború I -es számú, domború lencsén kialakuló Newton-gyűrűket, majd ezután rátettük a II -es számú, homorú lencsét, és az így kialakuló Newton-gyűrűket vizsgáltuk. Mind a két esetben úgy mértük a gyűrűk sugarát, hogy az okulár-mikrométer szátkeresztjét ráállítottuk egy adott gyűrű legbaloldali pontjára, leolvastuk a pozícióját (x_{min}), majd átvittük a gyűrű legjobboldali pontjára, amikor szintén leolvastuk a pozícióját (x_{max}). A kettő különbsége az adott, k . rendű Newton-gyűrű átmérőjének nagyított képe. Ennek a felét leosztva a tükrös objektív $N = 3,67 \pm 0,01$ nagyításával megkapjuk az r_k sugarat. Mind a két esetben az első 10 rendbe tartozó gyűrű sugarát mértük meg, a mért adatokat, és a kiszámolt r_k sugarak négyzetét a 2. táblázat tartalmazza.

A lencsén kialakuló Newton-gyűrűkre igaz az az összefüggés, miszerint a k . rendű gyűrű sugara: $r_k^2 = k\lambda R + R_0$, ahol λ a megvilágító fény hullámhossza, R a lencse görbületi sugara, R_0 pedig egy konstans. Domború lencse esetében a lencse R_D sugara adja a képletben szereplő R -t, de amikor a két lencse egymáson van, akkor az r_k^2 értékek számításához egy R_{eff} effektív görbületi sugárral kell számolni, ahol $\frac{1}{R_{\text{eff}}} = \frac{1}{R_D} - \frac{1}{R_H}$. Ha grafikonon ábrázoljuk a mérésben kapott r_k^2 értékeket a k rend függvényében, akkor egy egyenest kell

k	I. lencse			I. és II. lencse		
	$x_{\min}[mm]$	$x_{\max}[mm]$	$r_k^2[mm^2]$	$x_{\min}[mm]$	$x_{\max}[mm]$	$r_k^2[mm^2]$
1	3,66	5,28	0,0487	3,06	5,35	0,0973
2	3,39	5,52	0,0842	2,67	5,67	0,167
3	3,14	5,78	0,129	2,33	6,04	0,255
4	2,97	5,97	0,167	2,06	6,31	0,335
5	2,78	6,12	0,207	1,79	6,50	0,412
6	2,64	6,29	0,247	1,59	6,78	0,500
7	2,49	6,49	0,297	1,33	6,98	0,593
8	2,36	6,54	0,324	1,18	7,12	0,655
9	2,24	6,68	0,366	0,99	7,36	0,753
10	2,12	6,81	0,408	0,85	7,54	0,831

2. táblázat. A Newton-gyűrűk széleinek pozíciói, valamint az ezekből kiszámolt sugarak négyzetei

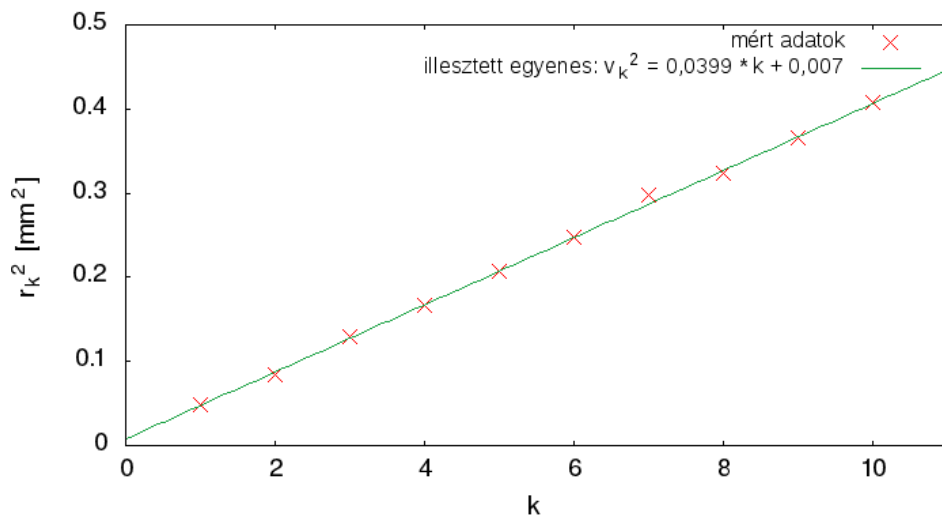
kapni, aminek meredeksége a λR szorzat. A két mérés eredményét grafikonon az 1. és a 2. ábra ábrázolja.

Mivel a Na spektrállámpa által adott fény hullámhossza $\lambda_{Na} = 589 \text{ nm}$, ezért ezzel kell elosztani a kapott meredekségeket a görbületi sugár megkapásáért. Az első esetben, az 1. ábrán illesztett egyenes meredeksége $m_1 = 0,0399 \text{ mm}^2 \pm 0,0002 \text{ mm}^2$, így az *I.* számú, domború lencse görbületi sugara $R_D = 67,7 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm}$.

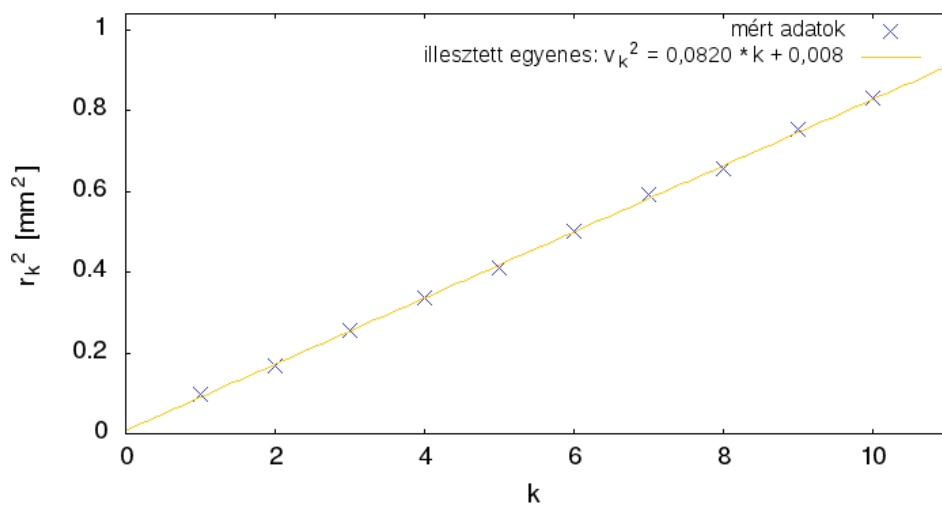
A második esetben, a 2. ábrán, az illesztett egyenes meredeksége $m_2 = 0,0820 \text{ mm}^2 \pm 0,0007 \text{ mm}^2$ volt, így az effektív sugár értékére $R_{\text{eff}} = 139 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ adódik. A fentiek szerint ebből a homorú lencse sugara az alábbi módon számolható:

$$R_H = \frac{R_{\text{eff}} R_D}{R_{\text{eff}} - R_D} \quad \text{a hiba pedig} \quad \delta R_H = \delta R_{\text{eff}} + \delta R_D + \frac{\Delta R_{\text{eff}} - \Delta R_D}{R_{\text{eff}} - R_D}$$

Ez alapján, a *II.* számú, homorú lencse sugara $R_H = 132 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$.



1. ábra. A Newton-gyűrűk sugarának négyzete a rendjük függvényében, amikor csak a domború lencsét vizsgáljuk.



2. ábra. A Newton-gyűrűk sugarának négyzete a rendjük függvényében, amikor a domború lencsén rajta van a homorú.