Jegyzőkönyv

8.
Mikroszkóp vizsgálata
Folyadék törésmutatójának mérése

Készítette:
Bozsoki Péter,
másodéves fizikushallgató

1999. február 26., péntek

1. A mérés célja

Ezen mérés célja a kettős volt: egyrészt megismerkedni a legáltalánosabb nagy hatásfokú nagyítóeszköz, a hagyományos mikroszkóp felépítésével, használatával ill. jellemzőivel (nagyítás, objektív fókusztávolsága, stb.) és az anyagokra jellemző törésmutató függésének mérése az anyag kémiai szerkezetétől, azon belül is egy adott oldat koncentrációjától.

2. A mérés elve

A mikroszkóp leképező rendszere két korrigált gyűjtőlencse-rendszerből, az objektívból és okulárból áll. A mérés során mértem az objektív nagyítását, fókusztávolságát és a mikroszkóp numerikus apertúráját.

Az objektív nagyításának mérése igen egyszerűen, mérőokulár segítségével történt. Azaz a tárgyasztalra helyezett mikrométeren leolvastam a tárgyméretet (T), majd a merőokuláron a hozzá tartozó képméretet (K), ahonnan egy egyszerű osztással származtatni tudtama nagyítást: $N_{objektív}=\frac{K}{T}$.

A fókusztávolság igen egyszerűen meghatározható, ha ismerjük a nagyítást különböző képtávolságok mellett: $\Delta_{képtávolság}= N_{objektív}\, f$. Mivel $\Delta_{képtávolság}$-t nem tudjuk közvetlenül mérni, ezért két képtávolság különbségét mérjük meg, ahonnan $f=\frac{\Delta_2-\Delta_1}{N_2-N_1}$.

A mikroszkópban két pont akkor érzékelhető külön pontnak, ha a *d* távolságuk nagyobb, mint $\lambda/(n \sin(u))$, ahol λ a megvilágító fény hullámhossza, n a tárgy és objektív közötti közeg törésmutatója, u pedig az objektívre eső fénynyaláb félnyílásszöge. A nevező neve *numerikus apertúra*, és jele A. Az egyszerűbb esetben a tárgypontból kiinduló sugarak törés nélkül jutnak el az objektívig, azaz a tárgy és objektív között levegő van. Ekkor a P tárgypontból kiinduló nyaláb nyílásszögére van szükségem. Ez ugyanaz, mintha a 2u beesési szöget mérném.

A lencse görbületi sugarának mérését a Newton-gyűrűk segítségével mértem. A síküvegre helyzett lencse és a síküveg közötti interferenciakép (Newton-gyűrűk) koncentrikus körökből áll, melyek sugarát megmérve, az $r_k^2=k\,\lambda\,R+C$ összefüggés segítségével meg tudtam határozni a görbületi sugarat (k=1,2,3,...., λ a fény hullámhossza, R a lencse görbületi sugara, C állandó, r_k pedig a k. Newton-gyűrű sugara).

A mérés második része, a törésmutató mérése: a geometriai optika törvényeinek értelmében közeghatáron a fénysugár megtörik, méghozzá az ismert $\frac{\sin\alpha}{\sin\beta}=n_{21}=\frac{n_2}{n_1}$ törési törvénynek megfelelően (α a beesési szög, β a törési szög, n_{21} a relatív törésmutató, n_1 ill. n_2 a közegek abszolút törésmutatói). A törésmutató mérésére legelterjedtebb módszer a teljes visszaverődés határszögének a vizsgálata; én is ezt a módszert használtam. A mérendő folyadékot (merthogy jelen mérés során a közeg kizárólag folyadék) két, a folyadékénál nagyobb törésmutatójú derékszögű üvegprizma közé tettem. Az alsó prizmára egy gömbtükörből konvergens fénynyaláb esett, mely az prizmában megtörve a folyadékba hatol. A fénynyalábban voltak olyan sugarak, melyek a folyadékból a felső prizmára 90° alatt estek

be. Ezen sugarak törőszöge a felső prizmában épp a teljes visszaverődés szöge volt, melyet végül is megmértem.

3. A mérés kivitelezése

3.1. Az objektív nagyításásnak mérése

Az objektív nagyítását egy objektívmikrométerrel (tárgyméret mérése) és egy mérőokulárral (képméret) mértem.

A mérés során kétszer mértem meg az ugyanazon tárgytávolsághoz tartozó képtávolságot. A mérés eredményének a két képtávolság számtani átlagát vettem. Az 1. táblázat különböző oszlopaiban *mm* dimenziójú adatok szerepelnek, kivéve az utolsó hármat, mely az abszolút hibákat tartalmazza.

Táblázat 1

Lencse	T_1	K_{11}	K_{12}	$K_{1á}$	T_2	K_{21}	K_{22}	$K_{2á}$	N	ΔK_1	ΔK_2	ΔN
Newton[1]	0,2	0,04	0,03	0,0350	1	3,06	3,06	3,0600	3,7813	0,005	0,005	0,0125
147958[2]	0	2,36	2,345	2,3525	0,5	6,01	6,02	6,0150	7,3250	0,0075	0,005	0,0175
371241	2	7,23	7,26	7,2450	1	3,26	3,295	3,2775	3,9675	0,015	0,0175	0,0325

$K_{1á}$ és $K_{2á}$ hibájának kiszámítására a $\Delta K_{iá} = \frac{|K_{iá} - K_{i1}| + |K_{iá} - K_{i2}|}{2}$ képletet alkalmaztam, T_i hibáját 0-nal tekintettem (i=1,2). Innen N hibája a $\Delta N = \frac{\Delta K_{1á} + \Delta K_{2á}}{|T_2 - T_1|}$ összefüggés szerint adódott. Tehát a három objektív nagyítása:

- Newton-gyűrűknél használté: **N=3,7813±0,0125**
- 147958 számúé: **N=7,3250±0,0175**
- 371241 számúé: **N=3,9675±0,0325**

3.2. Az objektív fókusztávolságának mérése

Mivel a fókusztávolság mérésekor nem tudtam mérni a képtávolságot, ezért megváltoztattam azt, méghozzá a tubushossz változtatásával. Azaz egyszerűen "megtoldottam" a tubus hosszát egy ismert (mért) csővel. A nagyítást az előző bekezdésben részletezett módón mértem. Az tubushossz megváltozását Δ_{tubus}=40,2±0,1 mm-nek mértem.

Táblázat 2

Lencse	T_1	K_{11}	K_{12}	$K_{1á}$	T_2	K_{21}	K_{22}	$K_{2á}$	N	ΔK_1	ΔK_2	ΔN
371241	1	3,35	3,31	3,3300	1,5	5,89	5,84	5,8650	5,0700	0,02	0,05	0,14
147958	0,4	0,93	0,94	0,9350	1	6,32	6,33	6,3250	8,9833	0,005	0,005	0,0167

[1] Ezt az objektívet használtam a Newton-gyűrűk mérésénél, ahol is szükségem volt az objektív nagyítására. Ezért mértem meg ezen objektív nagyítást.
[2] A szám az objektív fém külsején leolvasható szám.

Az 1-es és 2-es táblázatból leolvasva a nagyításértékeket, az $f=\Delta_{tubus}/(N_2-N_1)$ összefüggésből a fókusztávolság:

- a 371241-es számú objektívé: ***f*=36,4625±0,0959**
- a 147958-as számú objektívé: ***f*=24,2417±0,0626**

A hiba mértékét a $\Delta f = \left|\frac{\Delta\Delta_{tubus}}{N_2 - N_1}\right| + \left|\frac{(\Delta_{tubus})(|\Delta N_2| + |\Delta N_1|)}{(N_2 - N_1)^2}\right|$ képletből határoztam meg.

3.3. A numerikus apertúra mérése

A numerikus apertúra meghatározásához szükséges 2u beesési szöget a következőképpen mértem meg: Egy zsilettpengét feltettem egy átettsző hasábra, majd élesre állítottam a képet. Ezek után eltávolítottam a hasábot és az okulárt, s az okulár helyébe a lyukblendét tettem. Ezek után megmértem azt a távolságot, amivel a pengét kellett elmozdítani, hogy a blendében nézve "átérjen" az egyik oldalról a másikra (azaz a "még pont nincs a képben" - "még pont nem lóg ki a képből" távolságot). Ha ezt a távolságot *a* jelöli, *h* pedig a hasáb magasságának a jele, akkor az félnyílásszöget az $u=\mathrm{arctg}\frac{a}{2h}$ összefüggés segítségével kaptam meg. A 3-as táblázatban feltüntettem a mért "átérési távolságokat", ezek hibáját és az ezekből számolt félnyílásszögeket. Az előzőeknek mm a mértékegységük, az uttóbinak radián. Az utolsó oszlop tartalmazza a félnyílásszög abszolút hibáját. (A mérés során egy *h*=12,2±0,1 mm magasságú plexihasábot használtam.)

Táblázat 3

Lencse	a_1	a_2	a	Δa	u	Δu
371241	2,4	2,6	2,5	0,1000	0,1021	0,0041
147958	4	4	4	0,05	0,1625	0,0021

A levegő törésmutatója n≈1, ezért az objektívek numerikus apertúrája:

- a 371241-es számú objektívé: ***A=n·sin(u)≈sin(u)=0,1019±0,0041***
- a 147958-as számú objektívé: ***A= n·sin(u)≈sin(u)=0,1618±0,002***

3.4. A görbületi sugár mérése

A görbületi sugár mérésénél a Newton-gyűrűket egy, a tárgylemezt és a rajta fekvő lencsét felülről megvilágító féligáteresztő tükör segítségével hoztam létre, ugyanis egyrészt visszavert fényre volt szükségem, másrészt a fénynek merőlegesen kellett beesenie a síküvegre. Az éles Newton-gyűrűk létrjöttének feltétele a monokrom fény, ezt egy nátrium spektrállámpa szolgáltatta, oldalról megvilágítva a féligáteresztő tükröt. A gyűrűk sugarát a mérőokulárral mértem, mely mérési eredményt elosztottam az objektív nagyításával, hisz az okulár a képméretet mérte.

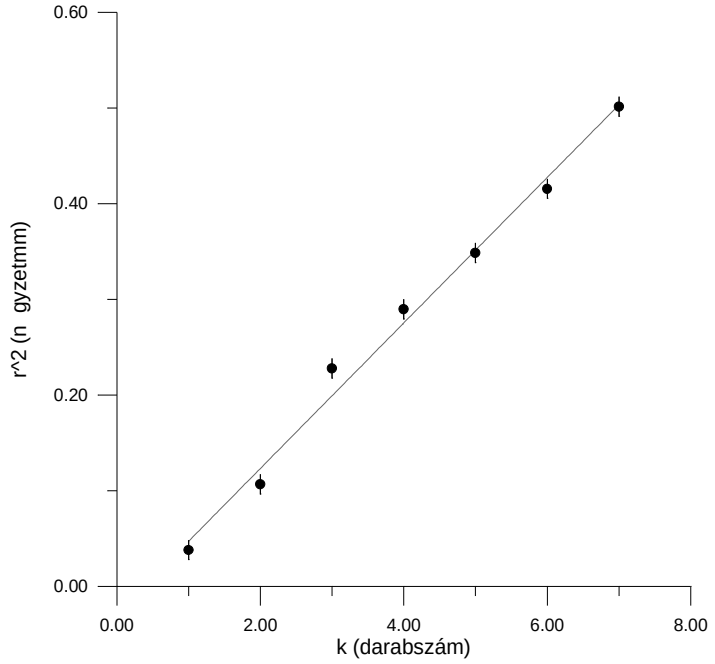
A 4. táblázat tartalmazza a laborban a IV-es sorszámú lencséhez tartozó különböző sorszámú gyűrűk baloldali ill. jobboldali szélének koordináit, az ebből számított sugarakat, ezen sugarak mérési hibáját illetve a sugarak négyzetének értéket. A hossztávolságok (r_1, r_2, $r_{átlag}$, Δr) mm-ben vannak megadva. A sugár négyzete mm^2, a koordináták (x_{bal1}, stb.) pedig dimenzió nélküli adatok.

Táblázat 4

k	x_{bal1}	x_{jobb1}	x_{bal2}	x_{jobb2}	r_1	r_2	$r_{átlag}$	Δr	$r^2_{átlag}$
1	3,36	4,86	3,77	5,22	0,1983	0,1917	0,1950	0,0033	0,0380
2	3,33	5,68	3,11	5,7	0,3107	0,3425	0,3266	0,0159	0,1067
3	3,02	6,9	2,85	6,19	0,5131	0,4416	0,4773	0,0357	0,2279
4	2,6	6,66	2,62	6,7	0,5369	0,5395	0,5382	0,0013	0,2896
5	2,43	6,89	2,44	6,91	0,5897	0,5911	0,5904	0,0007	0,3486
6	2,22	7,11	2,25	7,11	0,6466	0,6426	0,6446	0,0020	0,4155
7	2,13	7,3	1,08	6,62	0,6836	0,7326	0,7081	0,0245	0,5014

Az 1-es ábra tartalmazza az $r^2(k)$ függvényt, melynek meredeksége: m= 0,0760 mm^2=Rλ, ahol a λ a megvilagításra használt fény hullámhossza. Jelen mérés során a nátrium spektrállámpa $\lambda=589\cdot10^{-6}$ mm hullámhosszú fényt bocsájt ki. Innen **R= 129,06±4,46 mm**

Ábra 1

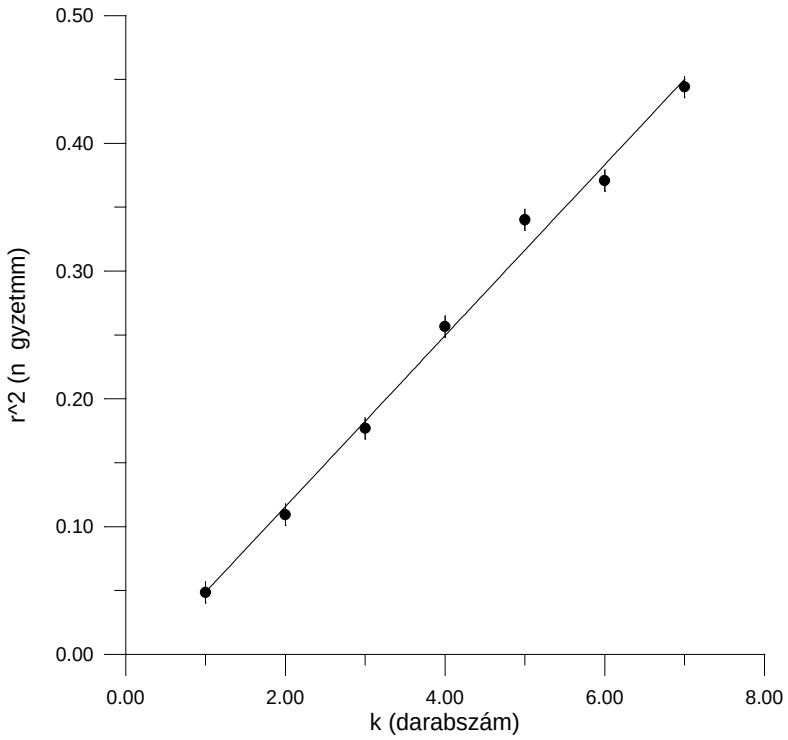


Másodszorra a III-as lencse görbületi sugarát mértem meg, mely egy homorú lencse. Ezt az előbb megmért, tehát ismert görbületi sugarú lencsével tettem meg. Az így kapott sugár az R_{eff}, melyre érvényes az $\frac{1}{R_{eff}} = \frac{1}{R_d} + \frac{1}{R_h}$ összefüggés. Az előző módón megmérve és kiszámolva (ezúttal) R_{eff}-t, a mérés eredménye az 5-ös táblázatban ill. a 2-es ábrán látható.

Táblázat 5

k	x_{bal1}	x_{jobb1}	x_{bal2}	x_{jobb2}	r_1	r_2	$r_{átlag}$	Δr	$r^2_{átlag}$
1	2,37	4	2,4	4,1	0,2155	0,2248	0,2202	0,0046	0,0485
2	2	4,5	2	4,5	0,3306	0,3306	0,3306	0,0000	0,1093
3	1,61	4,81	1,69	4,85	0,4231	0,4178	0,4205	0,0026	0,1768
4	1,4	5,11	1,19	5,14	0,4906	0,5223	0,5064	0,0159	0,2565
5	0,95	5,54	1,1	5,33	0,6069	0,5593	0,5831	0,0238	0,3400
6	0,97	5,55	0,91	5,54	0,6056	0,6122	0,6089	0,0033	0,3708
7	0,71	5,74	0,75	5,8	0,6651	0,6678	0,6664	0,0013	0,4441

Ábra 2



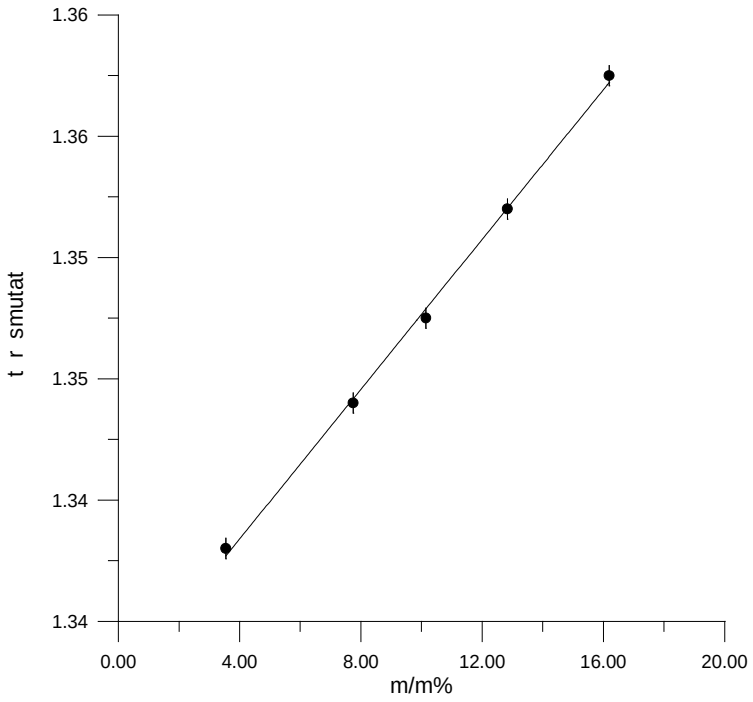
Innen m= 0.0669, tehát R_{eff}=113,58 mm ⇒ **R_h=-946.94±65,34 mm.** A negatív előjel a lencse homorúságát jelenti.

3.5. Törésmutató mérése Abbe-féle refraktométerrel

A törémutató mérését egy Abbe-féle refraktométerrel végeztem, mely "gyárilag" valósítja meg azt az elrendezést, melyet a 2. pontban leírtam, így nekem csak a folyadékot kellett a két üvegprizma közé helyeznem és az Amici-prizmák segítségével kiküszöbölni a nem monokrom fény használatából adódó színszórást, majd leolvasni az abszolút törésmutató értékét. A mérés eredményát az 6. táblázat foglalja össze. A táblázat első oszlopa az üveg laboratóriumi címkéjén lévő számot tartalmazza, a második a(z egy kivételével) megadott koncentrációkat, m/m%-ban, a harmadik oszlop pedig a mért törésmutatókat.

Táblázat 6

Üvegszám	koncent.	törésmut.
1	3,545	**1,338**
2	7,75	**1,344**
3	10,15	**1,3475**
4	12,836	**1,352**
5	16,195	**1,3575**
6	?= 14.432	1,3545

A mért törésmuatók segítségével készített koncentráció(törémutató) függvényt tartalmazza a 3. ábra. Az egyenes egyenlete Y = 0.00154375 * X + 1.33222, Y(törésmutató) helyére beírva az adott 1,3545 értéket X-re (koncentrációra) **14.432±1,154** adódik.

Ábra 3