

Jegyzőkönyv  
a  
mikroszkóp vizsgálatáról (8)

Készítette: Tüzes Dániel

Mérés ideje: 2008-10-08, szerda 14-18 óra

Jegyzőkönyv elkészülte: 2008-10-15



## A mérés célja

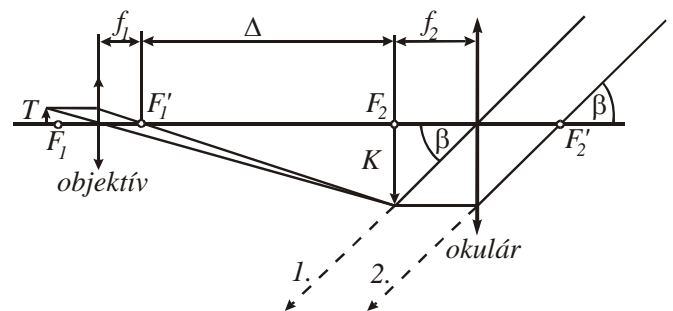
A feladat egy mikroszkópon lévő lencsék jellemzőinek meghatározása, úgymint a fókusz távolság, a numerikus apertúra és a nagyítás. Továbbá ezen adatok felhasználásával a Newton-gyűrűk vizsgálata és lencsék görbületi sugarának meghatározása.

Feladat továbbá egy Abbe-féle refraktométerrel ismeretlen összetételű glicerint oldat tömegszázalékának meghatározása.

## Elvi alapok

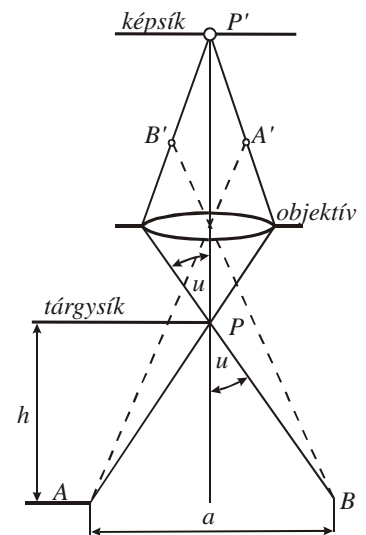
A mikroszkóp nagyításának mértékét összesen az objektív és az okulár határozza meg. Célunk csak az objektív nagyításának meghatározása. Ha az okulár és az objektív közé, valamint a tárgy helyére is teszünk egy ismert skálájú mérőeszközt a skálák arányításával pont az objektív nagyítását kapjuk meg, mert feltételezzük, hogy az okulár mindkét skálát egyenlő arányban nagyítja.

A lencse fókusz távolságát közvetlenül nem tudjuk lemérni, de elméleti megfontolásokkal az alábbi kifejezésre jutunk<sup>1</sup>:  $N_{ob} = \frac{K}{T} = \frac{\Delta}{f_1}$ , ahol  $N_{ob}$  az objektív nagyítása,  $K$  a képméret az okulár és az objektív között,  $T$  a tárgyméret,  $\Delta$  a tubushossz,  $f_1$  pedig az objektív fókusz távolsága. A tubushossz ismert megváltoztatásával lemérhető az objektív



nagyításának változása, melyekből számolások után azt kapjuk, hogy  $f_1 = \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{N_{ob2} - N_{ob1}}$ , vagyis a fókusz távolság meghatározható.

A numerikus apertúra meghatározásához tekintsük először a definíciót, hogy mikor különböztethető meg a tárgy két, egymástól  $d$  távolságra lévő részlete! A definíció szerint ennek értéke  $d = \frac{\lambda}{n \sin u}$ , ahol  $\lambda$  a fény hullámhossza,  $n$  a minta és az objektív között lévő közeg törésmutatója,  $u$  pedig az objektívre eső fénynyaláb fél-nyílásszöge, mint ahogy az 5. ábrán láthatjuk. A definícióból leolvashatjuk, hogy ebből a mikroszkópra jellemző értéke az  $A = n \sin u$ , melyet numerikus apertúrának nevezünk. Ha a tárgy a  $P$  pontban volt fókuszban,  $A$  pontban még nem látható,  $B$  pontban pedig meg már nem, akkor ezekből meghatározható az  $u$  fél-nyílásszög:  $u = \arctg \frac{a}{2h}$ , ebből pedig  $A = n \frac{a/(2h)}{\sqrt{1+(a/(2h))^2}}$ .



A Newton-gyűrűk a fény hullámtermészetének egy bizonyítéka. A jelenség előállításához elődeink esetében megdöbbenést váltott ki, mi korunkban azonban annyira elfogadott a fény hullámtermészete, hogy ezt felhasználva a Newton-gyűrűk segítségével – beteg módon – az azt előállító eszközök tulajdonságait mérjük meg. A mellékelt irodalmon túl számos<sup>2</sup> további foglalkozik a jelenséggel. Newton-gyűrűk előállításához számos mérési elrendezés tartozhat, azonban most tekintsük az [1]-es mellékelt irodalomban szereplőt! Az elméleti levezetésből következően egy Newton-gyűrű sugara  $r_N = \sqrt{R\lambda N}$ , ahol  $R$  a lencse görbületi sugara,  $\lambda$  a megvilágító fény hullámhossza,  $N$  pedig a Newton-gyűrű sorszáma (a legkisebbtől a nagyobb felé sorszámozva). Több

kör átmérőjét meghatározva, az előbbi képletet átalakítva látható, hogy  $r(N)^2 = R\lambda N := mN$ , vagyis ábrázolva  $N$  függvényében  $r^2$ -et, annak  $m$  meredekségéből kiszámítható a görbületi  $R$  sugár:  $R = m / \lambda$ . Homorú lencsék esetében egy ismert görbületi sugarú lencsével továbbra is megmérhető a görbületi sugár, jelen esetünkben a homorú lencsénél kisebb görbületi sugarú domború lencsével. Ennek megméréséhez a homorú lencsébe helyezük a domború lencsét. Az elméleti levezetést nélkülözve elmondhatjuk, hogy ekkor a domború lencse – homorú lencse lencserendszernek az előbbi módszerrel megegyező módon történő  $R_{eff}$  görbületi sugara alapján a homorú lencse görbületi sugara

$$R_h = \left( \frac{1}{R_d} - \frac{1}{R_{eff}} \right)^{-1}, \text{ ahol } R_d \text{ az ismert domború lencse görbületi sugara.}$$

A törésmutató a mikroszkopikus jelenségek fenomenológiai, makroszkopikus megfogalmazása. Jelen esetünkben feltételezzük a törésmutató skalár voltát. Az anyagok törésmutatója a legtöbb anyagi tulajdonságnak a függvénye, így adott oldószer és oldott anyag esetében a tömegszázaléknak is. A törésmutató egyik meghatározási módja, ha azt ismert közegbe helyezve meghatározzuk a teljes visszaverődés szögét. Ha a beérkező fény a teljes visszaverődés során a prizmával  $\beta$  szöget zár be, akkor a minta  $n$  törésmutatójának értéke  $n = \sin \varphi \sqrt{n_0^2 - \sin^2 \beta} - \sin \beta \cos \varphi$ , ahol  $\varphi$  a prizma törőszöge. Feltéve továbbá a törésmutató vizsgált intervallumban való folytonosságát (sőt, a tömegszázalékkal hozzávetőleg lineáris voltát), különböző, ismert összetételű anyagok segítségével felvehetünk egy  $n\left(\frac{m}{m}\right)$  függvényt, majd az ismeretlen minta törésmutatóját megmérve meghatározhatjuk interpolálással a tömegszázalékát.

## A mérési módszer ismertetése

- A mikroszkóp nagyításának mértéke és fókusztávolsága

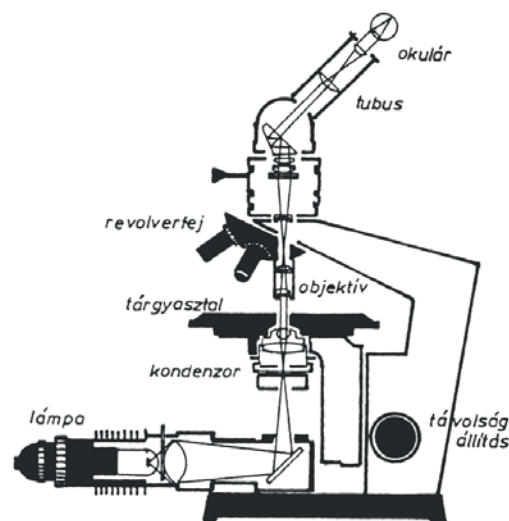
A használt mikroszkóp vázlatos képét az ábra mutatja. Egy kicsi,  $0,1\text{mm}$  léptékű, átlátszó mikrométert teszünk a tárgy helyére, és egy okulár-mikrométert az okulár helyére. Ez utóbbi egy csavarmikrométerrel mozgatható száلكeresztet tartalmaz, melynek helyzetének leolvasási pontossága  $0,01\text{mm}$ . A száلكereszt  $K_1$  helyzetét a minta egy  $T_1$  osztásához igazítjuk, majd egy  $T_2$  osztásához,  $K_2$  helyzetben.

Ezekből megkapjuk a mikroszkóp objektívének

$$N_{ob} = \frac{K}{T} = \frac{K_2 - K_1}{T_2 - T_1} \text{ nagyítását. Ezt a mérést elvégezzük a}$$

mikroszkóphoz tartozó 3 objektív-rendszer közül a 2 nem félig-áteresztővel. Az előretékintés végett ugyanezeket megismételjük a tubushosszabbítóval is, így az elvi alapokból következően meghatározhatjuk az egyes objektívek fókusztávolságát. A tubushosszabbító az okulár elé jön. Az okulár a tubusról eltávolítható a rögzítő csavar kilazítása után, majd a tubushosszabbító megfelelő beillesztése után arra ugyanúgy felszerelhető.

A mérés során igyekeztem minél távolabbi osztások távolságát leolvasni a kisebb relatív hiba érdekében. A száلكereszt helyzete a csavarmikrométerről  $\pm 0,005\text{mm}$  pontossággal volt leolvasható, azonban a minta osztásai kiterjedt voltak miatt  $\pm 0,01\text{mm}$  pontatlanságot eredményeztek a leolvasásban.



- numerikus apertúra meghatározása

Egy magasító plexi lapra helyezünk egy éles határral rendelkező tárgyat (borotvapengét), majd élesre fókuszáljuk. Ezután kivesszük a minta alól a  $h$  magasságú plexi lapot, és az okulárt lyukblendére cseréljük. A pengét úgy mozgatjuk, hogy a blendén át egyáltalán ne lehessen látni azt, az ehhez tartozó  $T_A$  tárgyhelyzetet a tárgytartóról leolvassuk. A pengét ekkor úgy mozgatjuk, hogy a blendén át tekintve teljesen kitöltse a látómezőt (eltakarja a megvilágítást), majd az ehhez tartozó  $T_B$  tárgyhelyzetet is leolvassuk. Az így kapható  $a = |T_A - T_B|$  értékből az elméleti alapokból következően meghatározható a numerikus apertúra.

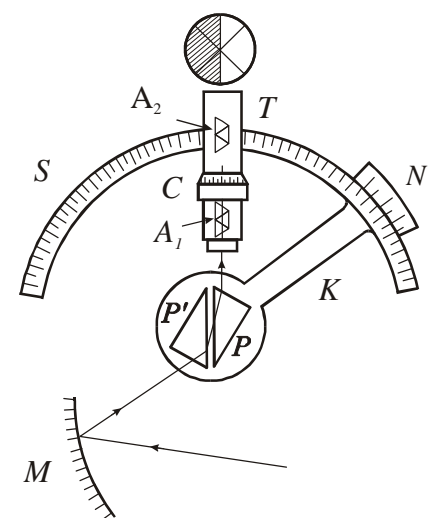
- Görbületi sugarak meghatározása

A méréshez szükséges monokromatikus fényt egy Na spektrállámpa biztosította mérésünk során (köszönet érte), melynek hullámhossza  $\lambda_{Na} = 589nm$  volt, melynek színe sárgás. A domború lencsét a tárgy helyére, annak tetejére egy plán-parallel lemezt helyezve világítottam meg a lencsét. Ehhez szükség volt a mikroszkóp félig-áteresztő objektívének használtára. A fényforrás úgy helyeztem, hogy a féligáteresztő tükrön át a fénye a vizsgált mintára essen. A mikroszkópban a képet élesre állítottam, majd megkerestem a Newton-gyűrűket. A szálkeresztet a 3. gyűrűhöz úgy igazítottam, hogy azok a gyűrű érintői legyenek, ezzel biztosítva, hogy a szálkereszt mozgatásával egy átmérő mentén fogok mozogni. A szálkereszt metszéspontját egy körvonalra mozgattam, majd az okulár-mikrométer helyzetét leolvastam. A vizsgált lencsén és üveglemezen lévő karcolások és porszemek miatt az a műszer által elérhető  $\pm 0,005mm$  leolvasási pontosság helyett ez  $\pm 0,01mm$ -re változott. Így feljegyeztem több Newton-gyűrű átmérőjének ellentétes oldalainak helyzetét, melyből megkaphatjuk az eszköz hitelesítésével a gyűrűk valódi átmérőjét. Az objektív hitelesítése a mikroszkóp 2 másik objektívének nagyításának mérésével azonos módon történt.

A mérés során törekedtem arra, hogy mind több gyűrű méretét lemérhessem, azonban az egyre sűrűbb körök miatt ennek az emberi képességeim határt szabtak. Megemlítendő továbbá, hogy ügyelni kellett arra, hogy a mikroszkóp ne legyen rezgéseknek kitéve. A mérési elrendezésből következően ez nehéz feladat volt, mivel erre 3 mérőtársammal együtt kellett figyelniük a mérés 30-60 percén át.

- Törésmutató mérése Abbe-féle refraktométerrel

A mérési eszköz vázlata jobbra látható. Az Abbe-féle refraktométer lelke egy prizma, amelyben egy plán-parallel rétegben a vizsgálandó mintát helyezük el. A gyakorlatban ez úgy történik, hogy a két prizma közé – azok kettényitása után – néhány csepp folyadékot juttatunk. A beérkező fénysugár és a prizma helyzetét változtatva egy tekerővel elérhető a teljes visszaverődés. Az Abbe-féle refraktométerben ennek helyzetét könnyen beállíthatjuk, majd a műszer előre-kalibrálásának köszönhetően ebből egyből leolvashatjuk a minta törésmutatóját. Az eszköz igen felhasználóbarát, az eszköz megfelelő használatának ismeretében minden elméleti alapot nélkülözve, számolás nélkül meghatározható a folyékony anyagok törésmutatója.



Jelen esetünkben a feladatunk egy ismeretlen tömegszázalékú glicerín oldat vizsgálata, melyhez 5 ismert tömegszázalékú glicerín oldat áll rendelkezésünkre.

## Mérési eredmények, hibaszámítás

- A mikroszkóp nagyításának mértéke és fókusz távolsága

Az egyes objektívekhez tartozó összetartozó értékpárokat táblázatban foglalom össze.

	3.2/0.1 (mm)	6.3/0.16 (mm)	3.2/0.1 tubussal (mm)	6.3/0.16 (mm) tubussal
okulár-mikrométer	$K_1 = 8,04$ $K_2 = -0,64$	$K_1 = 0,2$ $K_2 = 8,22$	$K_1 = 0,41$ $K_2 = 8,09$	$K_1 = 7,64$ $K_2 = 0,46$
objektív-mikrométer	$T_1 = 2,2$ $T_2 = 0,0$	$T_1 = 0,5$ $T_2 = 1,6$	$T_1 = 0,5$ $T_2 = 2,0$	$T_1 = 1,4$ $T_2 = 0,6$

A táblázat adatai alapján  $N_{3.2/0.1} = 3,94$ ,  $N_{6.3/0.16} = 7,29$ , valamint felhasználva, hogy a tubushosszabbító hossza  $\Delta_2 - \Delta_1 = 40,1\text{mm}$ :  $f_{3.2/0.1} = 34,98\text{mm}$  és  $f_{6.3/0.16} = 23,80\text{mm}$ . A tubushosszabbító hosszának értékét  $\pm 0,05\text{mm}$ -es, a  $K$  értékeit  $\pm 0,01\text{mm}$  pontossággal tudtam leolvasni.

A leolvasási pontatlanság alapján a hiba  $\Delta N_{3.2/0.1} = 0,009$ ,  $\Delta N_{6.3/0.16} = 0,017$ , valamint  $\Delta f_{3.2/0.1} = 0,34\text{mm}$  és  $\Delta f_{6.3/0.16} = 0,26\text{mm}$ .

- numerikus apertúra meghatározása

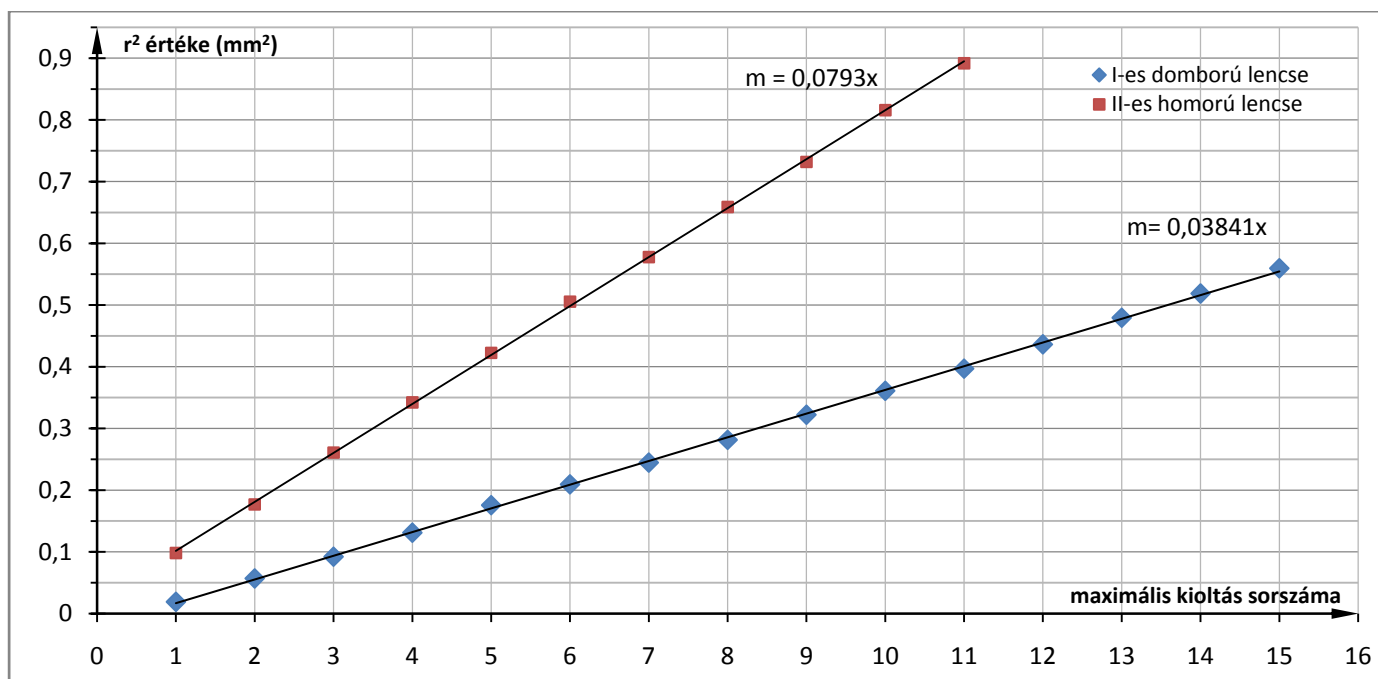
A magasító plexilemez vastagsága  $h = (20,1 \pm 0,05)\text{mm}$  volt. A 3.2/0.1 jelzésű objektív esetén  $T_A = 68,6\text{mm}$  és  $T_B = 64,7\text{mm}$  volt, a 6.3/0.16 jelzésű objektív esetén  $T_A = 68,5\text{mm}$  és  $T_B = 64,6\text{mm}$  volt. Ezen adatok alapján  $A_{3.2/0.1} = 0,097$  és  $A_{6.3/0.16} = 0,162$ . A leolvasási pontatlanság meglehetősen nagy volt, mert a lencsehibák ill. fényelhajlás miatt nem volt egyértelműen meghatározható a nyitás és zárás helyzete, a leolvasási pontosság így az elérhető  $\pm 0,05\text{mm}$  helyett  $\pm 0,1\text{mm}$  volt. Ezek alapján a hiba  $\Delta A_{3.2/0.1} = 0,005$  és  $\Delta A_{6.3/0.16} = 0,0055$ .

- görbületi sugarak meghatározása

A mért eredményeket táblázatban foglalom össze.

	kör átmérőinek átellenes pontjainak látszólagos helyzete (mm)														
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
I-es domború lencse	3,68	3,34	3,09	2,86	2,79	2,51	2,37	2,23	2,09	1,96	1,84	1,73	1,62	1,51	1,41
II-es homorú lencse	4,34	5,05	5,46	5,79	6,08	6,33	6,55	6,74	6,93	7,09	7,27	7,43			
	3,34	2,69	2,29	1,94	1,67	1,43	1,19	1,01	0,81	0,64	0,46	0,31			

A látszólagos átmérőből hogy valódit kapjunk, meg kell határozni a féligáteresztő objektív nagyításának mértékét. A korábbiakkal megegyező módon tettem ezt, a kapott eredmények:  $T_1 = 6,7\text{mm}$ ,  $T_2 = 8,8\text{mm}$ , valamint  $K_1 = 0,06\text{mm}$  és  $K_2 = 7,96\text{mm}$ . Ezek alapján a nagyítás mértéke:  $N_{1/2} = 3,77$ . A hiba nagyságát a leolvasási hibából kaphatjuk,  $\Delta N_{1/2} = 0,009$ . A következő grafikon tartalmazza a kioltási maximumok függvényében a Newton-gyűrűk sugarainak négyzetét. Ezt a fenti adattömbből úgy nyerhetem, ha az egymáshoz tartozó értékpárok különbségét elosztom a nagyítás mértékével, négyzetre emelem, majd ezt ábrázolom rendre a pozitív egész számok függvényében.



Ezek alapján az I-es domború lencse görbületi sugara  $R_I = 6,52cm$ , a homorú lencsée pedig (felhasználva az effektív görbületi sugárra vonatkozó képletet),  $R_{II} = 12,64cm$ .

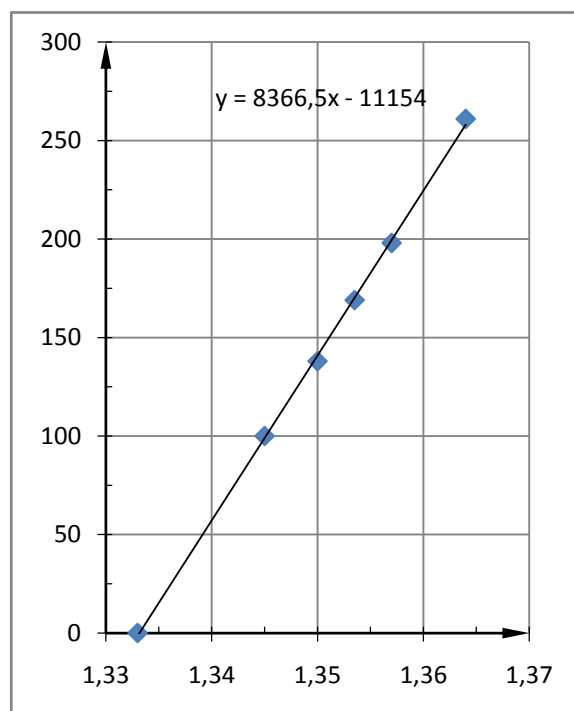
A hibát az egyenes illesztés hibájából és az objektív nagyításának mértékéből becsülhetjük. A standard hibájából az illesztéseknek  $\Delta m_I / m_I = \pm 0,003 \Rightarrow \Delta R_I = 0,02cm$ , a nagyítás mértékéből pedig  $\Delta m_I / m_I = \pm 0,002 \Rightarrow \Delta R_I = \pm 0,02cm$ . A két mennyiség egymással összevethető, így az eredő hiba (további számjegyek figyelembe vételével)  $\Delta R_I = \pm 0,04cm$ . Gyors elméleti megfontolásokkal láthatjuk, hogy a homorú lencse valódi sugarának kiszámításakor már pontatlan adattal számoltunk, és további, még 1x ekkora hiba jön be a mérés során, így a homorú lencse görbületi sugarának hibája  $\Delta R_{II} = 0,08cm$ .

- Törésmutató mérése Abbe-féle refraktométerrel

A mért értékpárokat az alábbi táblázatban és a grafikonon láthatjuk:

tömeg %	0	100	138	169	n/a	198	261
törésmutató	1,333	1,345	1,35	1,3535	1,356	1,357	1,364

A törésmutató leolvasásának pontossága  $\pm 0,0005$ . Az egyenesillesztés standard hibájából, a megadott tömeg%-ok pontosságából, valamint az egyenes meredekségéből a vizsgált anyag tömeg%-a  $(19,1 \pm 0,3) \frac{m}{m} \%$ .



## Mellékletek

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

[2]: [http://www.citycollegiate.com/newtons\\_rings.htm](http://www.citycollegiate.com/newtons_rings.htm)