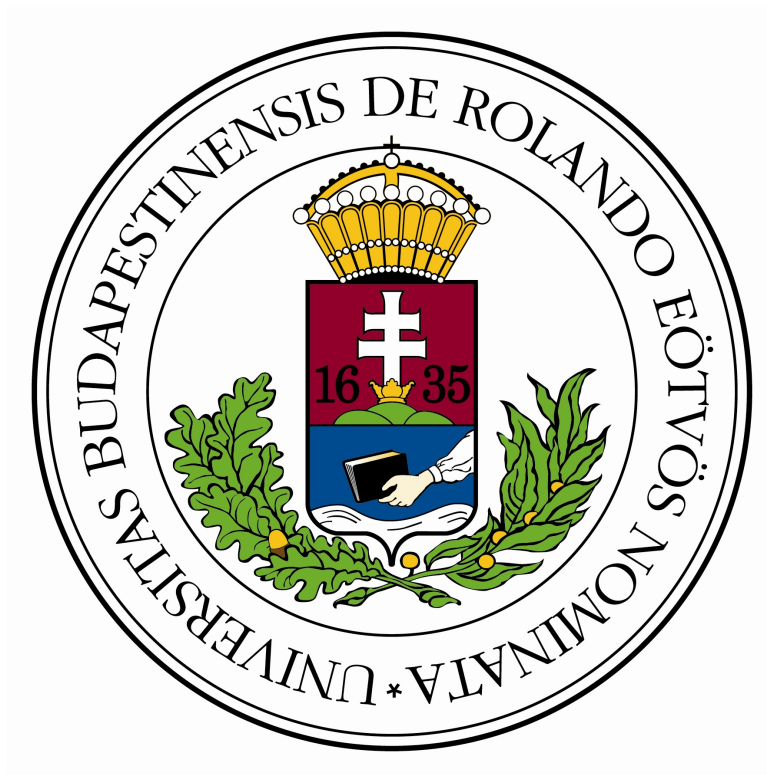


# Klasszikus fizika laboratórium

8. mérés

## Mikroszkóp vizsgálata



Bakó Bence

Kedd délelőtti csoport

Mérés dátuma: -.

Leadás dátuma: .

## 1. A mérés célja:

A mikroszkóp különböző tulajdonságainak megfigyelése, mérése, lecsé görbületének meghatározása.

## 2. Mérőeszközök:

- Mikroszkóp
- Tubushosszabbító
- Lencsék
- Penge
- Fényforrás
- Tolómérő
- Lyukblende

## 3. A mérés menete:

A mikroszkóp bállítása után a mérés 4 részre oszlik. Először az objektívek nagyítását szeretnénk meghatározni, ezért mérjük a kép és tárgytávolságokat tubushosszabbító nélkül. A fókusztaávolságok kiszámítása érdekében ugyanezt megismételjük tubushosszabbító használatával. Ezután egy átlátszó hasábra helyezünk egy pengét, beállítjuk ezzel a tárgytávolságot, majd a hasábot eltávolítva és az okulár helyére egy lyukblendét helyezve mérjük azt a távolságot, amennyivel el kell mozdítani a pengét, hogy megjelenjen a blendén keresztül nézve. Ebből meghatározható a numerikus apertúra. Végül a Newton-gyűrűk jobb- és baloldali végpontjainak értékét mérjük egy domború és egy homorú lencse esetében. Mindebből meghatározható a lencsék görbületi sugara.

## 4. A mérés elmélete:

### 4.1. Objektív nagyításának mérése

Az objektív nagyítása definíció szerint:

$$N_{ob} = \frac{K}{T} \quad (1)$$

Ahol a  $K$  és  $T$  a kép- illetve tárgyméret:

$$K = K_2 - K_1, \quad T = T_2 - T_1 \quad (2)$$

### 4.2. Objektív fókusztaávolságának mérése

Az objektív fókusztaávolsága kifejezhető a tubushossz megváltozásával:

$$f = \frac{L}{N_{ob2} - N_{ob1}} \quad (3)$$

Ahol  $L$  a tubushosszabbító hossza,  $N_{ob1}$  a tubushosszabbító nélküli,  $N_{ob2}$  pedig a tubushosszabbítóval vett nagyítás.

### 4.3. Numerikus apertúra mérése

A legkisebb távolság, amit az adott objektív képes felbonatni:

$$d = \frac{\lambda}{n \sin u} \quad (4)$$

Ahol a  $\lambda$  a fény hullámhossza, a nevező pedig a törésmutató és a félnyílásszög szinuszának szorzata, másképp a numerikus apertúra:

$$A = n \sin u = n \sin \arctan \frac{a}{2h} \quad (5)$$

Ahol  $h$  a magasztólapp magassága.

### 4.4. Görbületi sugár mérése

A Newton-gyűrűk okulár skálán lement átmérőjének jobb- és baloldali végpontjaival megkapható az adott sorszámú gyűrű valódi sugarát:

$$r_k = \frac{1}{N_{obj}} \frac{x_{jobb} - x_{bal}}{2} \quad (6)$$

Ha az így kapott valódi sugár négyzetét ábrázoljuk a gyűrűk sorszámának függvényében, akkor megkapható a lencse görbületi sugara:

$$R = \frac{m}{\lambda} \quad (7)$$

Ahol  $m$  az illesztett egyenes meredeksége és  $\lambda$  a fény hullámhossza.

Egy domború és egy homorú lencséből álló lencserendszer esetében, ha ismert a domború lencse és a lencserendszer effektív görbületi sugara, akkor a homorú lencséhez tartozó kiszámítható a következőképpen:

$$R_h = \frac{R_{eff} R_d}{R_{eff} - R_d} \quad (8)$$

## 5. Mérési adatok:

### 5.1. Objektív nagyításának mérése

Kép- és tárgytávolságok tubushosszabbító nélkül mérve:

|                 | $K_1$ [mm]  | $T_1$ [mm] | $K_2$ [mm]  | $T_2$ [mm] |
|-----------------|-------------|------------|-------------|------------|
| kis objektív    | 2,41        | 5          | 6,37        | 6          |
| nagy objektív   | 0,25        | 8          | 7,56        | 9          |
| tükrös objektív | 2,27        | 8          | 5,24        | 9          |
| hiba            | $\pm 0,005$ | $\pm 0,01$ | $\pm 0,005$ | $\pm 0,01$ |

### 5.2. Objektív fókusztávolságának mérése

Kép- és tárgytávolságok  $L = (70 \pm 0,05)$  mm hosszúságú tubushosszabítóval mérve:

|                 | $K_1$ [mm]  | $T_1$ [mm] | $K_2$ [mm]  | $T_2$ [mm] |
|-----------------|-------------|------------|-------------|------------|
| kis objektív    | 1,07        | 5          | 6,25        | 6          |
| nagy objektív   | 1,25        | 5          | 5,83        | 5,5        |
| tükrös objektív | 2,48        | 2          | 6,70        | 3          |
| hiba            | $\pm 0,005$ | $\pm 0,01$ | $\pm 0,005$ | $\pm 0,01$ |

### 5.3. Numerikus apertúra mérése

- átlátszó műanyag magasztólap magassága:  $h=12,3 \text{ mm}$ ,  $\Delta h = 0,0025 \text{ mm}$
- fényhullámhossz  $\lambda = 589 \text{ nm}$
- levegő törésmutatója:  $n=1$
- kis objektív esetén az a távolság:  $a_{kicsi} = 71,5 \text{ mm} - 69,2 \text{ mm} = 2,3 \text{ mm}$
- nagy objektív esetén az a távolság:  $a_{nagy} = 72,0 \text{ mm} - 68,3 \text{ mm} = 3,7 \text{ mm}$

### 5.4. Görbületi sugár mérése

4. domború lencse

| gyűrű sorszáma  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x_{bal} [mm]$  | 4,55  | 4,18  | 3,87  | 3,65  | 3,47  | 3,29  | 3,11  | 2,94  | 2,80  | 2,66  |
| $x_{jobb} [mm]$ | 5,76  | 6,15  | 6,46  | 6,64  | 6,89  | 7,02  | 7,17  | 7,33  | 7,45  | 7,52  |
| $r_k [mm]$      | 0,204 | 0,332 | 0,436 | 0,503 | 0,576 | 0,628 | 0,684 | 0,739 | 0,783 | 0,818 |

4. domború és 5. homorú lencse

| gyűrű sorszáma  | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $x_{bal} [mm]$  | 2,51  | 2,03  | 1,63  | 1,34  | 1,12  | 0,87  | 0,62  | 0,40  | 0,21  | 0,02  |
| $x_{jobb} [mm]$ | 2,80  | 5,25  | 5,60  | 5,94  | 6,22  | 6,44  | 6,64  | 6,86  | 7,02  | 7,22  |
| $r_k [mm]$      | 0,049 | 0,542 | 0,668 | 0,774 | 0,859 | 0,938 | 1,013 | 1,088 | 1,146 | 1,212 |

## 6. Kiértékelés:

### 6.1. Objektív nagyításának mérése

A kép- és tárgyméreteket a (2)-es összefüggések alapján számoltam és az (1)-es képlet felhasználásával minden esetben meghatároztam az adott objektív nagyítását:

|                 | K [mm] | T [mm] | $N_{ob1}$ |
|-----------------|--------|--------|-----------|
| kis objektív    | 3,96   | 1      | 3,96      |
| nagy objektív   | 7,31   | 1      | 7,31      |
| tükrös objektív | 2,97   | 1      | 2,97      |

### 6.2. Objektív fókusz távolságának mérése

A fókusz távolságok meghatározásához először kiszámoltam a nagyítást az előzőhöz hasonlóan a tubushosszabbítás esetre is. Ezután pedig a (3)-as összefüggés alapján kiszámoltam a fókusz távolságokat:

|                 | K [mm] | T [mm] | $N_{ob2}$ | f [mm] |
|-----------------|--------|--------|-----------|--------|
| kis objektív    | 5,18   | 1      | 5,18      | 57,377 |
| nagy objektív   | 4,58   | 0,5    | 9,16      | 37,838 |
| tükrös objektív | 4,22   | 1      | 4,22      | 56,000 |

### 6.3. Numerikus apertúra mérése

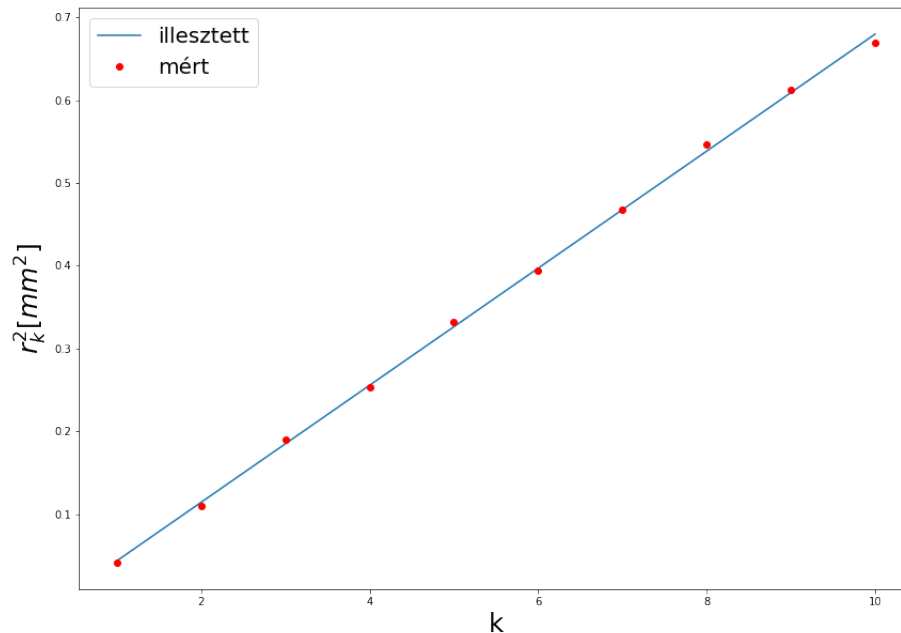
Az (5)-ös összefüggés alapján kiszámoltam a numerikus apertúrát és ezt a (4)-es képletbe helyettesítve megkaptam a legkisebb felbontható távolságot mindkét objektívre.

|               | kis objektív | nagy objektív |
|---------------|--------------|---------------|
| A             | 0,093        | 0,149         |
| d [ $\mu m$ ] | 6,327        | 3,960         |

### 6.4. Görbületi sugár mérése

#### 4. domború lencse

A méréshez a tükrös objektívet használtunk, amelynek korábban kiszámolt nagyítása:  $N_{ob} = 2,97$ . Így a (6)-os összefüggés alapján kiszámoltam a különböző sorszámú gyűrűk valódi sugarát és ezeket is a mérési adatok táblázatába vezettem. Ezután a valódi sugarak négyzetét ábrázoltam a gyűrűk sorszámának függvényében és egyenest illesztettem:

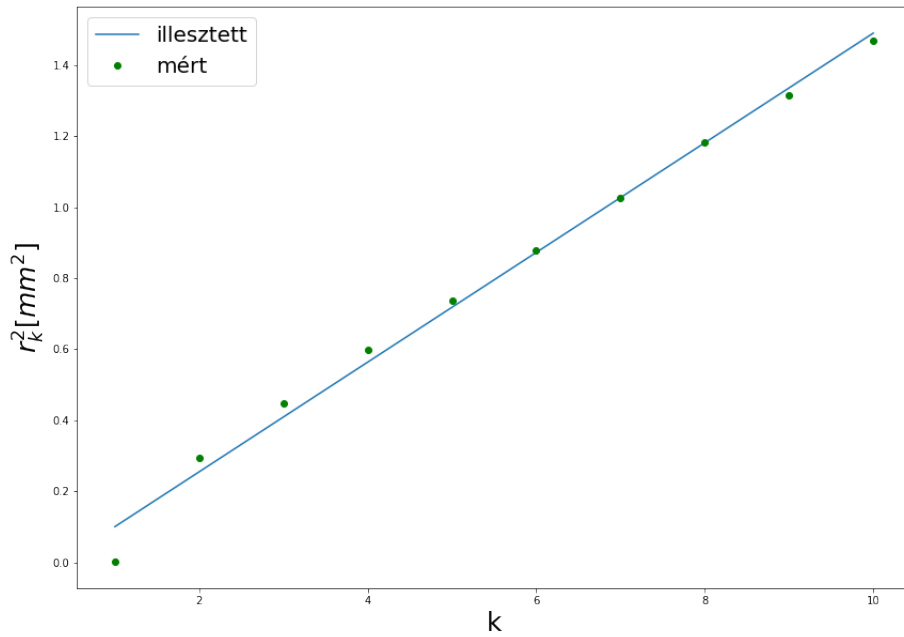


Az illesztett egyenes meredeksége  $m = (7,0641 \pm 0,0640) \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2$ . Innen a (7)-es képlet alapján a lencse görbületi sugara ( $\lambda = 589 \text{ nm}$ ):

$$R = 119,93 \text{ mm}$$

#### 4. domború és 5. domború lencse

Itt is az előzőhöz hasonlóan jártunk el:



Az illesztett egyenes meredeksége  $m = (15,4242 \pm 0,4789) \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2$  Ebből a (7)-es összefüggéssel megadható a lencserendszer effektív görbületi sugara:

$$R_{eff} = 261,87 \text{ mm}$$

Innen a (8)-as képlet alapján a homorú lencse görbületi sugara:

$$R_h = 221,26 \text{ mm}$$

## 7. Hibaszámítás:

### 7.1. Objektív nagyításának mérése

A nagyítás bizonytalansága a hibaterjedés alapján:

$$\Delta N_{ob} = N_{ob} \left( \frac{\Delta K}{K} + \frac{\Delta T}{T} \right) = N_{ob} \left( \frac{\Delta K_1 + \Delta K_2}{K_2 - K_1} + \frac{\Delta T_2 + \Delta T_1}{T_2 - T_1} \right)$$

Tehát a nagyítások hibái:

|      | kis objektív | nagy objektív | tükrös objektív |
|------|--------------|---------------|-----------------|
| Hiba | 0,089        | 0,156         | 0,069           |

### 7.2. Objektív fókusztávolságának mérése

Az előzőhöz hasonlóan számoltam ki a nagyítások hibáit a tubushosszabbítás esetre is:

|      | kis objektív | nagy objektív | tükrös objektív |
|------|--------------|---------------|-----------------|
| Hiba | 0,114        | 0,386         | 0,094           |

Ennyi adattal már kiszámolható a fókusztávolság hibája:

$$\Delta f = f \left( \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta N_{ob1} + \Delta N_{ob2}}{N_{ob2} - N_{ob1}} \right)$$

Ahol  $\frac{\Delta L}{L} = 7,1 \cdot 10^{-4}$  a tubushosszabbító méretének relatív hibája. Tehát a fókusztávolságok hibái:

|                 | kis objektív | nagy objektív | tükrös objektív |
|-----------------|--------------|---------------|-----------------|
| $\Delta f$ [mm] | 9,588        | 11,112        | 7,342           |

### 7.3. Numerikus apertúra mérése

Jelöljük a  $x = \frac{a}{2h}$ . Ennek hibája a hibaterjedés szerint:

$$\Delta x = x \left( \frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta a}{a} \right)$$

Az a távolság hibájának 0,05 mm-t tekintek, mert 0,1 mm pontossággal mértük. Innen a félnyílásszög hibája:

$$\Delta u = \frac{d \arctan(x)}{dx} \Delta x = \frac{1}{1+x^2} \Delta x$$

Végül pedig a numerikus apertúra hibája:

$$\Delta A = \frac{dA}{du} \Delta u = n \cdot \cos u \cdot \Delta u$$

Ebből pedig egyszerűen megadható a d távolság hibája is:

$$\Delta d = d \cdot \frac{\Delta A}{A}$$

**A kis objektívre:**

- $\Delta x = 2,051 \cdot 10^{-3}$
- $\Delta u = 2,033 \cdot 10^{-3}$
- $\Delta A = 2,024 \cdot 10^{-3}$
- $\Delta d = 0,138 \mu m$

**A nagy objektívre:**

- $\Delta x = 2,062 \cdot 10^{-3}$
- $\Delta u = 2,016 \cdot 10^{-3}$
- $\Delta A = 1,994 \cdot 10^{-3}$
- $\Delta d = 0,053 \mu m$

### 7.4. Görbületi sugár mérése

A domború lencse görbületi sugarának hibája az egyenes illesztés hibájából származik:

$$\Delta R_d = R_d \frac{\Delta m_1}{m_1} = 1,09 mm$$

A lencserendszer effektív görbületi sugarának hibája is hasonlóan:

$$\Delta R_{eff} = R_{eff} \frac{\Delta m_2}{m_2} = 8,13 mm$$

Innen a homorú lencse görbületi sugarának hibája:

$$\Delta R_h = R_h \left( \frac{\Delta R_{eff}}{R_{eff}} + \frac{\Delta R_d}{R_d} + \frac{\Delta R_{eff} - \Delta R_d}{R_{eff} - R_d} \right)$$
$$\Delta R_h = 19,85 mm$$

## 8. Diszkusszió:

Az objektívek nagyítása, fókusztávolsága, numerikus apertúrája és felbontóképessége:

|                 | $N_{ob}$        | $f$ [mm]           | A                 | $d$ [ $\mu m$ ]   |
|-----------------|-----------------|--------------------|-------------------|-------------------|
| kis objektív    | $3,96 \pm 0,09$ | $57,377 \pm 0,114$ | $0,093 \pm 0,002$ | $6,327 \pm 0,138$ |
| nagy objektív   | $7,31 \pm 0,16$ | $37,838 \pm 0,386$ | $0,149 \pm 0,002$ | $3,960 \pm 0,053$ |
| tükrös objektív | $2,97 \pm 0,07$ | $56,000 \pm 0,094$ |                   |                   |

A lencsék görbületi sugara:

|                      | 4. domború lencse | 5. homorú lencse   |
|----------------------|-------------------|--------------------|
| Görbületi sugár [mm] | $119,93 \pm 1,09$ | $221,26 \pm 19,85$ |

Az utolsó eredményhez valószínűleg azért tartozik ilyen nagy hiba, mert a mért értékek közül az első nagyon kilógó volt, ezért az illesztésnek viszonylag nagy a bizonytalansága.

## Hivatkozások

- Az ELTE Természettudományi Kar Oktatói: Fizikai Mérések (Összevont Laboratóriumi Tananyag I.) Szerkesztette: Havancsák Károly, Lektorálta: Kemény Tamás, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 2013.