

# A FÉNYMIKROSKÓP FELBONTÁSI HATÁRÁNAK ABBE FÉLE KÍSÉRLETI IGAZOLÁSA

Abbe a fénymikroszkóp felbontási határát ( $\delta$ ) az alábbi összefüggéssel írta le, melynek reciprokát felbontóképességnek ( $1/\delta$ ) nevezik.

$$\delta = 0,61 \frac{\lambda}{n \sin \omega}$$

Kísérletünkben tárgyként egy olyan tárgymikrométer lemezt használunk, amelynek  $d=10 \mu\text{m}$ -es osztásvonalai reprezentálják majd a legkisebb, még éppen felbontható tárgyrészeletet.

A vizsgáló fény hullámhossza közel monokromatikus (LED), választhatóan piros ( $\lambda_p = 618 \text{ nm}$ ), vagy kék ( $\lambda_k = 470 \text{ nm}$ ).

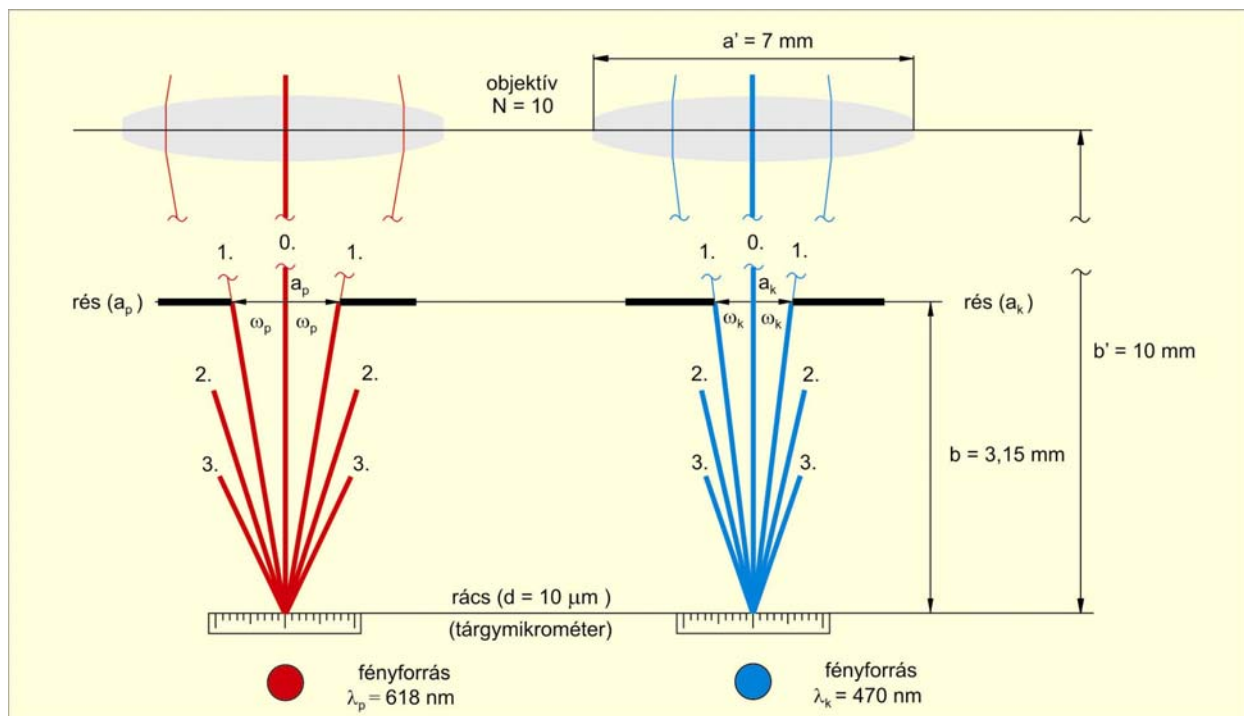
Az  $\omega$  félnyílásszöget egy a rácstól "b" távolságra elhelyezett állítható rés "a" méretének változtatásával állítjuk be (1. ábra). A rés, egyfajta íriszként az objektív effektív átmérőjét szabályozza, legalább is a réstre merőleges irányban. A tárgymikrométer skálája is értelemszerűen a réstre merőlegesen van beállítva.

A fény sebessége a tárgy és az objektív között  $\lambda/n$ , ahol  $n$  a kitöltő közeg törésmutatója. Amennyiben a közeg levegő,  $n=1$ . Immerziós olaj alkalmazásánál  $n$  az immerzió törésmutatójával lesz egyenlő.

A kísérlet alábbi vázlatja a két eltérő színű fényt alkalmazva azt a helyzetet ábrázolja, amikor a rés méretét úgy állítottuk be, hogy a rács vonalairól szóródott és interferált hullámok 1.-rendű maximumait éppen kizártuk az objektívbe jutás elől. Mivel a kísérlet során  $\omega$  igen kicsinynek bizonyult,  $\sin \omega$  helyettesíthető  $tg \omega$ -val, ami  $a/2b$ -vel egyenlő. Az átalakított Abbe formula a következőképpen alakul:

$$d = 0,61 \frac{\lambda}{a/2b}$$

A fenti képlet helyessége az alábbi mérésekkel igazolható.



1. ábra. A mérés elvi vázlatja.

Ahol:

- $\delta$  a legkisebb még éppen megkülönböztethető tárgy pont távolsága
- $\lambda$  a fény hullámhossza vákuumban
- $\omega$  az objektív fókuszponttól mért félnyílásszöge
- $n$  a tárgy és az objektív közötti közeg törésmutatója
- $d$  a tárgymikrométer osztásvonalai alkotta optikai rács rácsállandója

- $\delta$  M.: felbontási határ  
A.: limit of resolution  
N.: Auflösungsgrenze

- $1/\delta$  M.: felbontóképesség  
A.: resolving power  
N.: Auflösungsvermögen

## A mérőberendezés beállítása:

1. Csatlakoztatjuk a fényképezőgép és fényforrás adapterét.
2. Bekapcsoljuk a fényképezőgépet (ON).
3. A távirányítóval bekapcsoljuk a TV-t és video állásba kapcsoljuk (0 csatorna).
4. A piros fényre kapcsolunk.
5. A fényképezőgép zoomját a maximumig növeljük, ekkor a kerek, piros folt kitölti a képernyőt.
6. Nyitott résnél a mikroszkóppal élesre állítjuk a rácsot (tárgymikrométer). Kb. 30-40 osztás lesz jól látható (2. ábra). Amennyiben a skála ferdén látszana, a tubus elfordításával függőlegesre állítjuk.
7. A fényképezőgép DISP (display) gombjával eltüntetjük a feliratokat a képről.
8. A mérés végén kikapcsoljuk a fényképezőgépet (OFF).

## A mérés menete:

1. A képernyő hitelesítése (2. ábra): A mikroszkóp-fényképezőgép-TV együttes nagyítása  $N=1000$ -re van beállítva, amit egy mérőszalaggal ellenőrzünk. 10 osztás az objektív mikrométeren 100  $\mu\text{m}$ , ami 100 mm-nek felel meg a TV képernyőjén. A kalibrációs tényező így:

$$100 \text{ mm} / 100 \mu\text{m} = 1000.$$

2. Óvatosan elkezdjük szűkíteni a rést. A magasabb rendű maximumok fokozatos kizárásával a vonások képe egyre életlenebbé válik. A rést pontosan addig szűkítjük, amíg az elsőrendű maximumok éppeni kizárásával a rövid osztások alkotta rács képe homogén sávvá homályosodik (3. ábra).

Érdeemes megfigyelni, hogy az 50  $\mu\text{m}$ -es nagyobb osztások nem mosódtak el! Ezek eltüntetéséhez a rést tovább kellene szűkíteni.

3. Élesre állítjuk a rést, majd megmérjük a méretét (4. ábra), (Pl. 24 cm). Kiszámítjuk a piros rés valóságos méretét:

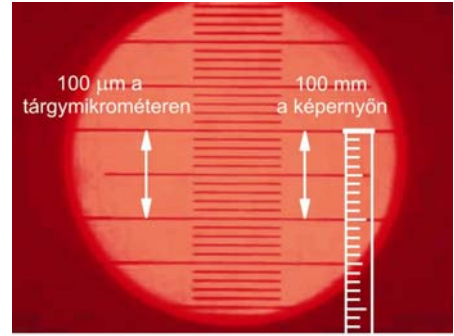
$$a_p = 240 \text{ mm} / 1000 = 240 \mu\text{m}$$

4. A módosított Abbe képlet alapján a piros fény 618 nm-es hullámhosszával, valamint  $b=3,15 \text{ mm}$ -el, de  $\mu\text{m}$ -ben számolva:

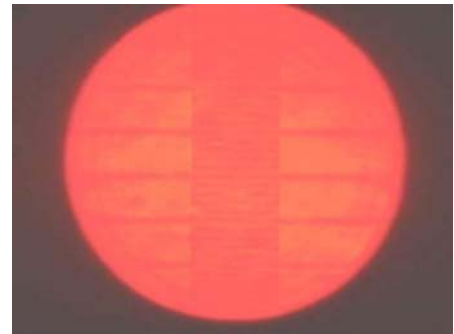
$$d = 0,61 \frac{0,618}{240 / (2 * 3150)} = 9,9 \mu\text{m}$$

ami jó közelítése a 10  $\mu\text{m}$ -es rácsosztásnak. Ezzel igazoltuk Abbe elméletének helyességét.

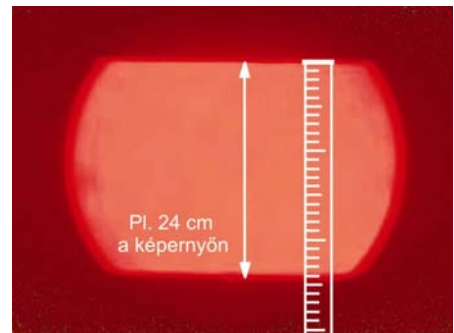
5. Ezután átkapcsolunk kék fényre, majd ismét élesre állítjuk a rácsot. Azt várjuk, hogy a rövidebb hullámhosszú kék fénynél a rács képe még felismerhető lesz (5. ábra).



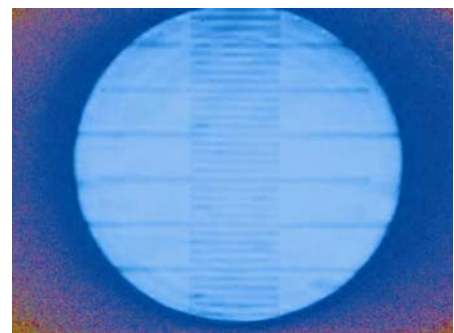
2. ábra. A képernyő hitelesítése mérőszalaggal.



3. ábra. A rés szűkítésével a rövid osztások képét éppeni elhomályosítjuk.



4. ábra. Megmérjük a rés szélességét.



5. ábra. Változatlan résnél ( $a_p$ ), kék fényre kapcsolva a rövid osztások még felismerhetők!

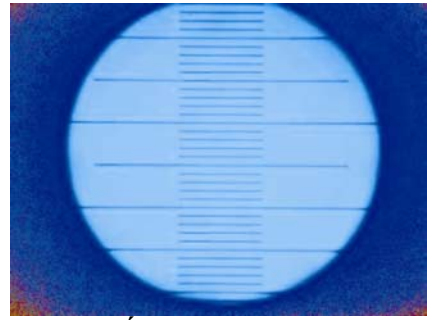
6. A kék fényre kapcsolva a kísérletet akár fordított sorrendben is elvégezhetjük. Kinyitjuk a rést és ismét élesre állítjuk az immár kék rács képét (6. ábra).

7. A kék fény hullámhosszából ( $\lambda_k=470 \text{ nm}$ ) és az ismert rácsméretből ( $d=10 \mu\text{m}$ ) kiszámíthatjuk, mekkora résméretnél zárjuk ki éppen az elsőrendű maximumokat:

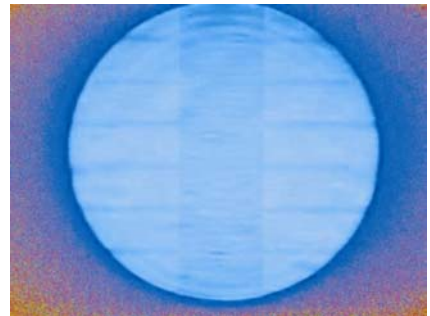
$$a_k = 0,61 \frac{\lambda_k}{d/2b} = 0,61 \frac{0,47}{10/(2*3150)} = 180 \mu\text{m}$$

Azaz a TV képernyőjén  $180 \mu\text{m} * 1000 = 180 \text{ mm}$ -es résszélességet kell majd mérnünk.

8. Addig szűkítjük a rést, amíg a rövid osztások alkotta rács képe elmosódik. (7. ábra).



6. ábra. Élesre állítjuk a kék rács képét.



7. ábra. A rés szűkítésével a rövid osztások képét éppen elhomályosítjuk.

9. Végül ismét a résre élesítve, mérőszalaggal megmérjük a kék rés szélességét ( $a_k$ ), amelynek közelítőleg a kiszámítottal ( $18 \text{ cm}$ ) kell meg egyeznie (8. ábra).

Ezzel kék fényre is igazoltuk az Abbe elmélet helyességét.

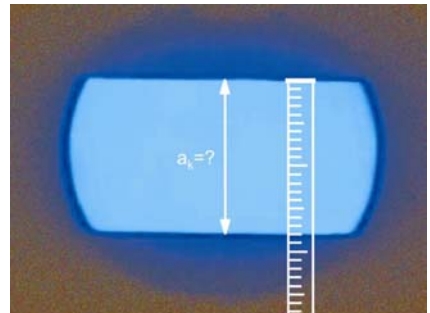
Észrevehető még, hogy a piros és a kék rés szélessége úgy aránylik egymáshoz, mint a hullámhosszaik:

$$\frac{a_p}{a_k} = \frac{\lambda_p}{\lambda_k}$$

10. Végül kiszámíthatjuk, hogy a rés korlátozása nélkül az  $a'=7 \text{ mm}$  objektívátmérőt és a  $b'=10 \text{ mm}$  (1. ábra) tárgy távolságot figyelembe véve mekkora a mikroszkóp valóságos felbontási határa kék fényre:

$$\delta = 0,61 \frac{\lambda_k}{a'/2b'} = 0,61 \frac{0,47}{7/(2*10)} = 0,82 \mu\text{m}$$

ami jobb, mint  $1000 \text{ vonal} / \text{mm}$ -es felbontóképességnek felel meg.



8. ábra. Vajon egyezik-e a rés szélessége a kiszámítottal?