

## Určení geometrických a fyzikálních parametrů čočky

- Úkoly :**
1. Určete poloměry křivosti ploch čočky pomocí sférometru
  2. Změřte tloušťku čočky pomocí digitálního posuvného měřítka
  3. Změřte ohniskovou vzdálenost spojné čočky různými metodami
  4. Vypočtete index lomu skla čoček

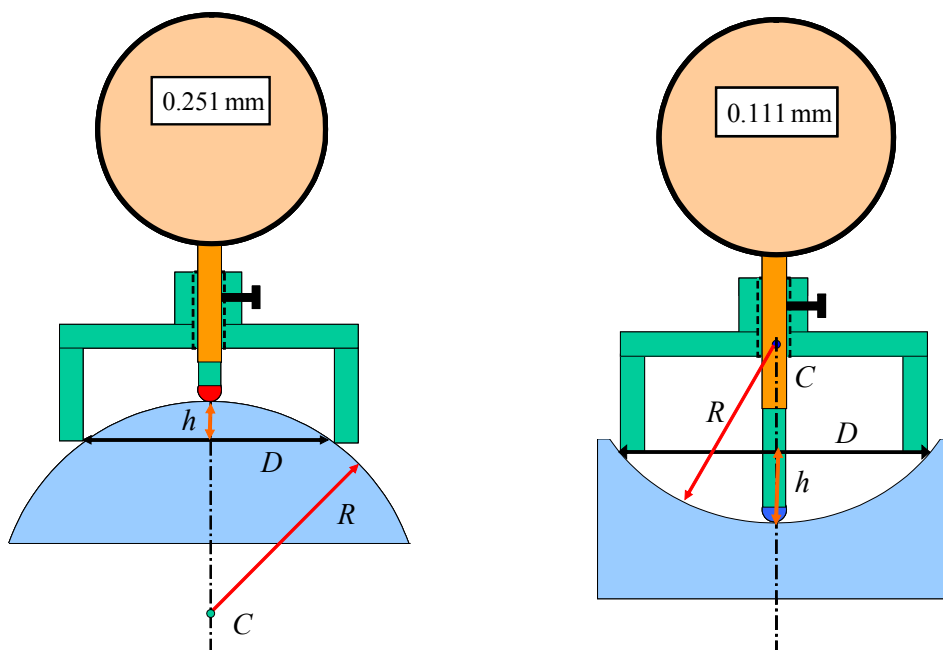
**Postup :**

**1. Měření poloměru sférické plochy pomocí sférometru**

Prostudujte si návod ke sférometru a poté proveďte měření zadaných vzorků sférických ploch. Použijte všechny průměry sondy sférometru, které jsou pro měření dané plochy vhodné a proveďte výpočet poloměru sférické plochy. Poloměru sférické plochy je dán vztahem:

$$R = \frac{(D/2)^2 + h^2}{2h}$$

kde  $h$  – je výška kulového vrchlíku (odečteme z číslicového úchylkoměru) a  $D$  je průměr sondy sférometru.



Obr. 1 – Princip měření pomocí sférometru

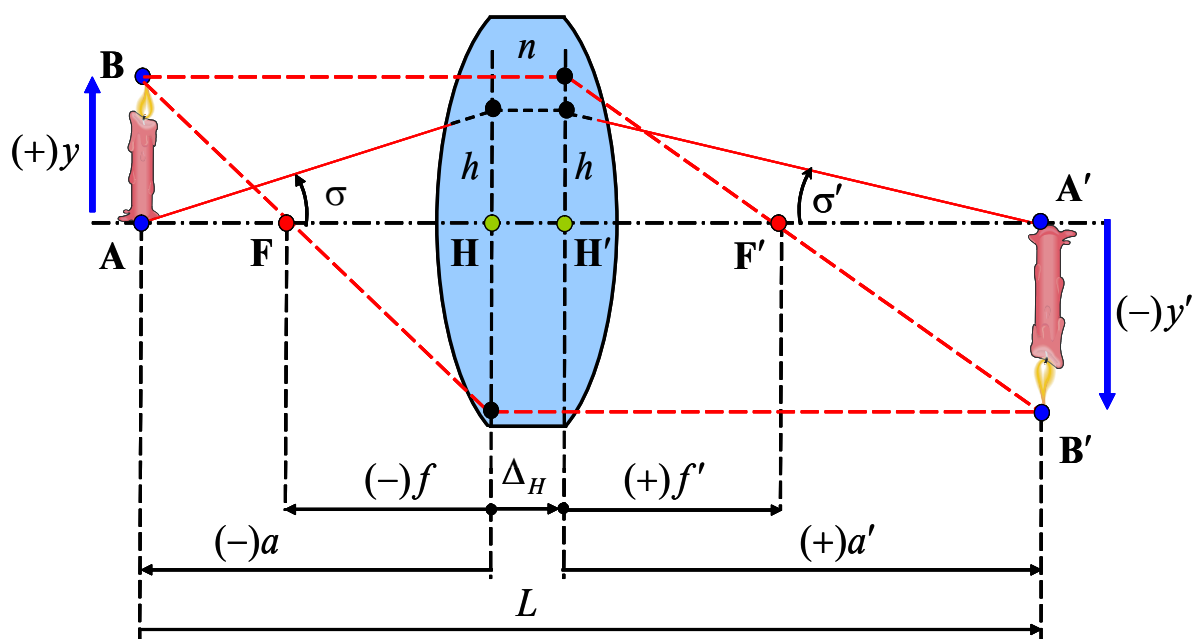
Pozor na hodnotu  $D$  – u jednotlivých sond jsou uvedeny vždy dvě hodnoty a to vnitřní a vnější průměr prstence sondy. Při měření sférické plochy vypuklé (konvexní) se uplatní vnitřní průměr a naopak při měření sférické plochy vyduté (konkávni) se uplatní vnější průměr sondy. Naměřené hodnoty zpracujte statisticky – spočítejte aritmetický průměr a proveďte výpočet 95% chyby měření poloměru sférické plochy.

## 2. Měření tloušťky čočky pomocí digitálního posuvného měřítka

Změřte tloušťku čočky pomocí digitálního posuvného měřítka. Proveďte 5 měření a uvažujte s průměrnou hodnotou a vypočtete 95% chybu měření.

## 3. Měření ohniskové vzdálenosti spojně čočky

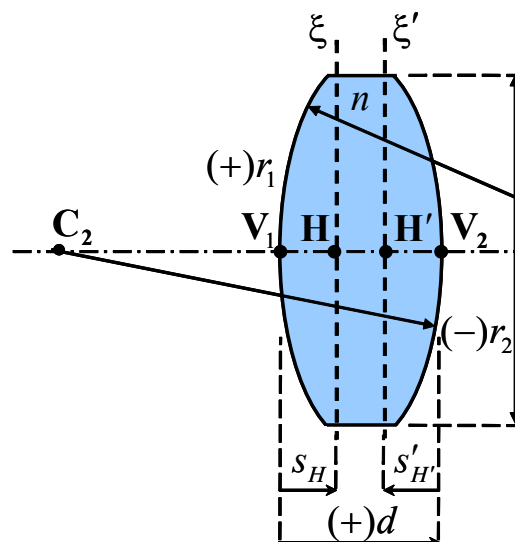
### Znaménková konvence



Obr. 2 – Znaménková konvence při geometricko-optickém zobrazování čočkou

Zobrazené veličiny na obr. 2 se měří ve směru šipek. Směr zleva doprava je kladný tzn.  $a$  je v našem případě záporné,  $a'$  je kladné.

Na obr.3 je zobrazena tlustá čočka a je patrná znaménková konvence poloměrů křivosti této čočky.



Obr.3

### Určení ohniskové vzdálenosti pomocí sečných vzdáleností

Změříme-li předmětovou vzdálenost  $a$  zobrazovaného předmětu a obrazovou vzdálenost  $a'$  ostrého obrazu, můžeme vypočítat předmětovou ohniskovou vzdálenost přímo ze zobrazovací rovnice.

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'} \quad \text{a tedy} \quad f' = \frac{aa'}{a - a'}$$

Měření vzdáleností  $a$  a  $a'$  je v případě tlusté čočky značně nepřesné či prakticky nerealizovatelné ( $a$  a  $a'$  se měří od hlavních rovin čočky). Proto lze tuto metodu použít pouze pro *relativně tenké čočky*, a hodnoty  $a$  a  $a'$  měřit od středu čočky.

### Stanovení ohniskové vzdálenosti spojné čočky z příčného zvětšení

Příčné zvětšení čočky je definováno jako poměr velikosti obrazu  $y'$  ku velikosti předmětu  $y$ , jenž je danou čočkou zobrazován, a jeho matematické vyjádření udávají vztahy

$$m = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} = -\frac{a' - f'}{f'} = -\frac{f}{a - f}$$

Jednoduchou úpravou z nich získáme vzorce vyjadřující ohniskovou vzdálenost čočky pomocí příčného zvětšení

$$f' = \frac{a'}{1 - m} \quad \text{resp.} \quad f' = \frac{ma}{1 - m}$$

Tato metoda je dostatečně přesná pouze pro velmi tenkou čočku vzhledem k přesnosti určení  $a$  a  $a'$  (viz. předchozí metoda).

Pokud tloušťka čočky není zanedbatelná vzhledem k ohniskové vzdálenosti je třeba k měření použít jiných metod např. Besselovy či Abbéovy metody.

### Abbeova metoda

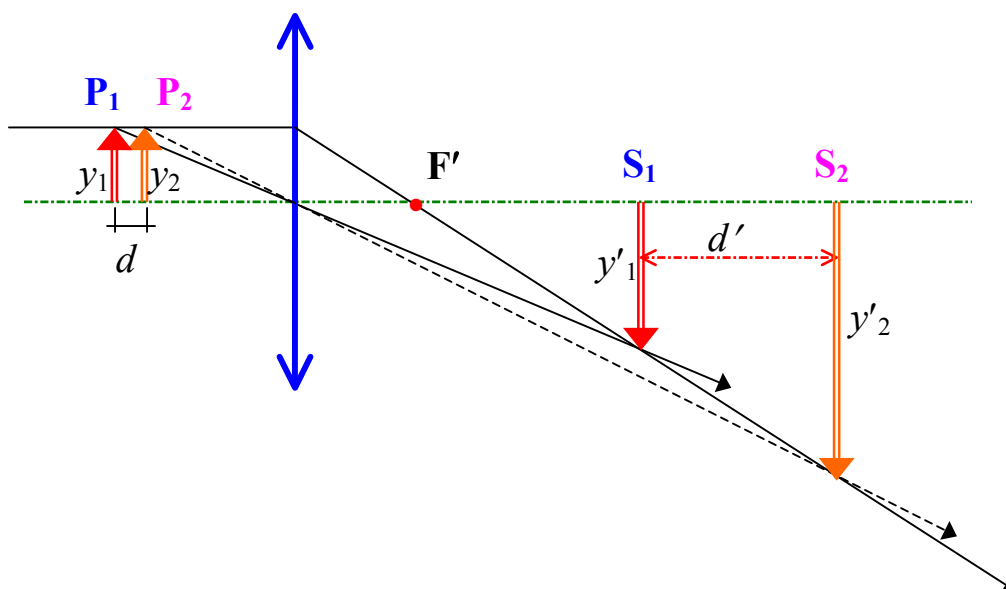
Tato metoda je také založena na měření příčného zvětšení. Na rozdíl od výše uvedené metody však nevyžaduje měření předmětové resp. obrazové vzdálenosti  $a$  a  $a'$ , jež je u silnějších čoček vždy jen přibližné (neznáme polohu hlavních rovin – měříme přibližně od středu čočky).

Pro danou polohu předmětu  $P_1$  a stínítka  $S_1$  existuje při splnění podmínky  $l > 4f$  jistá poloha čočky, při níž vznikne na stínítku ostrý zvětšený a převrácený obraz předmětu (viz obr. 4). Měřením velikosti předmětu  $y_1$  a jeho obrazu  $y'_1$ , můžeme určit příčné zvětšení

$$m_1 = \frac{y'_1}{y_1} .$$

Nyní posuneme předmět do polohy  $P_2$  tj. posuneme ho o jistou **přesně změřenou vzdálenost** vzdálenost  $d = a_2 - a_1$ . Čočku ale přitom necháme v nezměněné poloze a najdeme takovou polohu stínítka  $S_2$ , při níž opět vzniká ostrý zvětšený obraz výšky  $y'_2$  (vzdálenost  $d' = a'_2 - a'_1$ ). Pro toto druhé zvětšení platí

$$m_2 = \frac{y'_2}{y_2}$$



Obr. 4 – Princip Abbého metody měření ohniskové vzdálenosti

Podle předcházející metody musí pro obě zobrazení platit

$$f' = \frac{a'_1}{1 - m_1} \quad \text{a} \quad f' = \frac{a'_2}{1 - m_2} \quad \text{resp.} \quad f' = \frac{m_1 a_1}{1 - m_1} \quad \text{a} \quad f' = \frac{m_2 a_2}{1 - m_2}$$

Odtud dostáváme

$$d' = a'_2 - a'_1 = f'(1 - m_2) - f'(1 - m_1) = f'(m_1 - m_2)$$

$$d = a_2 - a_1 = f'\left(\frac{1}{m_2} - 1\right) - f'\left(\frac{1}{m_1} - 1\right) = f'\left(\frac{1}{m_2} - \frac{1}{m_1}\right)$$

z čehož vyplývá pro ohniskovou vzdálenost

$$f' = \frac{d'}{m_1 - m_2} \quad \text{resp.} \quad f' = \frac{d}{\frac{1}{m_2} - \frac{1}{m_1}}$$

Protože vzdálenost  $d$  resp.  $d'$  můžeme změřit dostatečně přesně na rozdíl od měření předmětové nebo obrazové vzdálenosti, lze tuto metodu používat i pro tlusté čočky resp. pro libovolnou optickou soustavu.

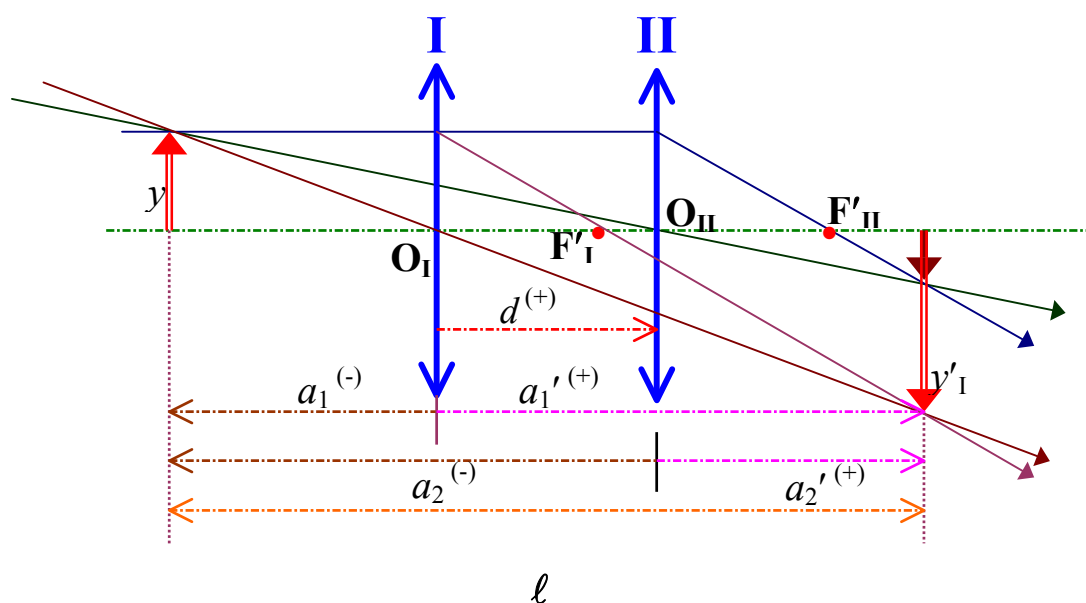
## Metoda Besselova

Tato metoda je založena na poznatku, že pro jistou pevnou vzdálenost  $l$  předmětu a stínítka, na němž se vytváří obraz, existují dvě polohy čočky **I** a **II**, při nichž vzniká ostrý skutečný obraz. Lze snadno dokázat, že takový případ může nastat jen v tom případě, kdy vzdálenost předmětu od stínítka  $l = a' - a$  splňuje triviální podmínku

$$l > |4f|$$

Je-li právě  $l = |4f|$ , vzniká jen jeden stejně velký skutečný převrácený obraz, při menších vzdálenostech  $l$ , než je čtyřnásobek ohniskové vzdálenosti dané čočky skutečný obraz na stínítku vůbec nevzniká.

Na *obr. 5* máme znázorněnu popsanou situaci. V poloze I je čočka blíže předmětu a obraz je zvětšený, v poloze II je čočka blíže obrazu, a ten je naopak zmenšený. Je patrné, že obě polohy čočky budou položeny symetricky vzhledem ke středu vzdálenosti mezi předmětem a stínítkem  $l$  a předmětová vzdálenost v první poloze čočky bude rovna záporně vzaté obrazové vzdálenosti v druhé poloze čočky a naopak. To vyplývá z tzv. **záměnnosti chodu paprsků**, podle níž lze na optické ose spojné čočky navzájem vyměnit polohy předmětu a obrazu a s tím i symetricky polohu čočky samé.



Obr. 5 – Princip Besselovy metody měření ohniskové vzdálenosti

Označíme-li vzdálenost obou poloh čočky (I a II) jako  $d$ , vidíme, že platí

$$l = a_1' - a_1, \quad d = a_1' + a_1.$$

Jednoduchou úpravou dostáváme

$$a_1 = \frac{d - \ell}{2} \quad , \quad a_1' = \frac{\ell + d}{2} \quad .$$

Po dosazení hodnot  $a_1$  a  $a_1'$  do vztahu (3) dostaneme pro hledanou ohniskovou vzdálenost

$$f' = \frac{aa'}{a - a'} = \frac{(\ell + d) \cdot (\ell - d)}{4\ell} \quad \text{a odtud}$$

$$f' = \frac{\ell^2 - d^2}{4\ell}$$

Vidíme, že k určení ohniskové vzdálenosti nám u této metody stačí při pevné vzdálenosti  $\ell$  mezi předmětem a obrazem změřit pouze jeden délkový údaj – vzdálenost  $d$  dvou poloh čočky. Tuto metodu lze tedy používat i pro tlusté čočky.

#### 4. Výpočet indexu lomu skla čočky

Na základě znalosti geometrických parametrů čočky a její ohniskové vzdálenosti vypočtete index lomu materiálu čočky. Pro výpočet vyjděte ze vztahu pro tlustou čočku

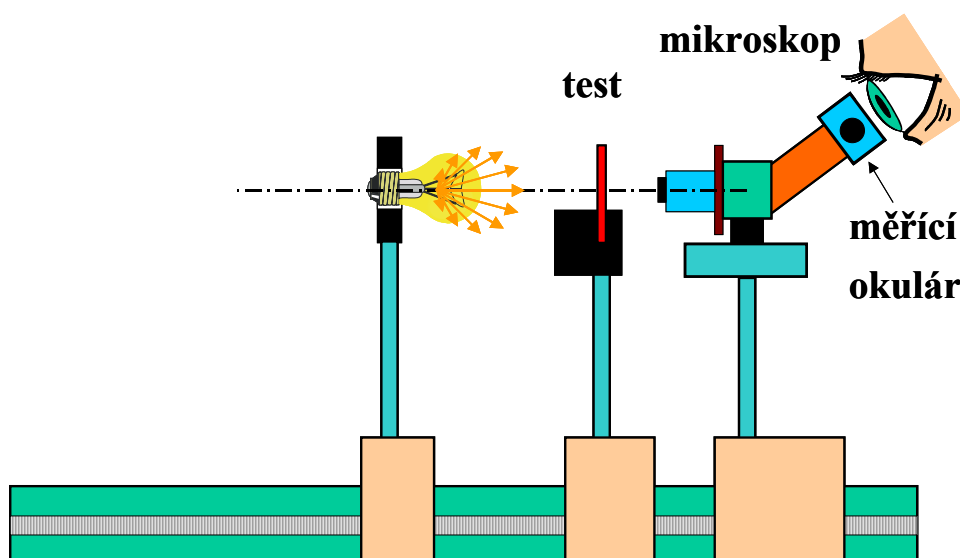
$$\varphi = \frac{1}{f'} = (n - 1) \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) + \frac{(n - 1)^2}{n r_1 r_2} d$$

kde  $\varphi$  je výsledná lámavost tlusté čočky,  $f'$  je obrazová ohnisková vzdálenost čočky,  $r_1, r_2$  jsou poloměry křivosti jednotlivých ploch čočky,  $d$  je centrální tloušťka čočky (na optické ose) a  $n$  je index lomu materiálu čočky. Určete pravděpodobnou chybu vypočteného indexu lomu skla čočky.

### ***Měření zvětšení pomocí měřícího okuláru***

Při měření pomocí měřícího okuláru je nejprve třeba zkalibrovat si stupnici měřícího okuláru.

Umístěte zobrazovaný čárový test do předměťové roviny objektivu pozorovacího mikroskopu (v této vzdálenosti bude obraz testu bude ostrý – *obr.6*).



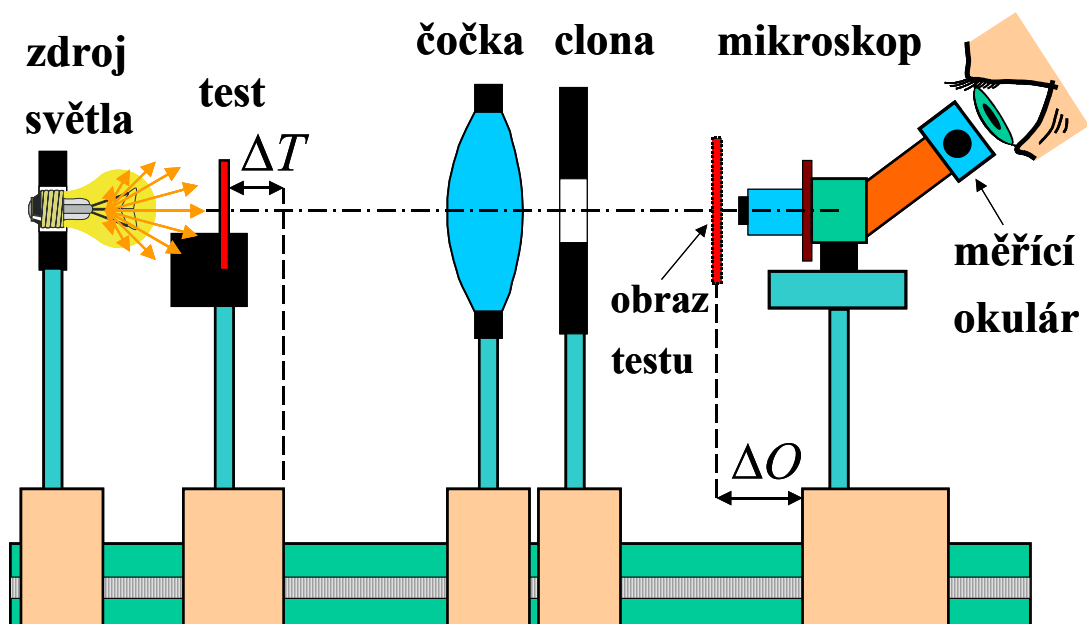
*Obr. 6 – Kalibrace měřícího okuláru*

Pomocí mikrometrického šroubu měřícího okuláru provedte měření mikrometrické hodnoty. Nastavte rysku měřícího okuláru rovnoběžně s čárovým rastrem. Zjistěte kolik dílků na mikrometrickém šroubu měřícího okuláru odpovídá určitému počtu páru čára-mezera na testu. Tuto hodnotu si zapište! (měření provádějte metodou postupných měření 10 párů čára-mezera).

Po kalibraci stupnice měřícího okuláru můžete přistoupit k měření zvětšení obrazu.

Umístěte test na optickou lavici s měřenou čočkou (*obr. 7*) a posunováním pozorovacího mikroskopu najděte obraz testu (zobrazený měřenou čočkou). Dále postupujte stejně jako při kalibraci. Změřenou hodnotu odpovídající šířce čára-mezera obrazu vydělte mikrometrickou hodnotou získanou při kalibraci a získáte zvětšení obrazu – **pozor obraz je převrácený** (spojná čočka) – proto má zvětšení **záporné znaménko**.





Obr. 7 – Sestava při měření ohniskové vzdálenosti čočky

Pro správné odměřování vzdáleností na optické lavici je nutno znát následující vzdálenosti  $\Delta T = 8,3 \text{ mm}$ ,  $\Delta O = 28,6 \text{ mm}$  pro objektiv 4x a  $\Delta O = 29,3 \text{ mm}$  pro objektiv 10x.

---

**Pomůcky :** optická lavice s jezdcí, pozorovací mikroskop, měřicí okulár, test, vzorky čoček, digitální posuvné měřítko, osvětlovač

## Kroky postupu:

1. Proved'te měření poloměru křivosti zadaných sférických ploch pomocí sférometru. Měřte pomocí všech vhodných sond, každou plochu změřte 10krát a vypočtete hodnotu poloměru ze vztahu

$$R = \frac{(D/2)^2 + h^2}{2h}$$

Získané výsledky zpracujte statisticky tj. určete průměrnou hodnotu poloměru a proved'te výpočet 95% chyby měření.

2. Proved'te kalibraci měřícího okuláru.
3. Na optické lavici umístěte sestavu dle *obr. 7* a zcentrujte ji. Vzdálenost mezi předmětem a obrazem zvolte od 24 do 30 cm.
4. Proved'te 1x měření pomocí Besselovy metody. Při tomto měření zároveň odměřte velikosti sečných vzdáleností (předmětová a obrazová) a zvětšení.
5. Abbého metodou 2 x změřte a vypočítejte ohniskovou vzdálenost. Při tomto měření rovněž odměřte velikosti sečných vzdáleností a zvětšení. Ze získaných hodnot určete průměr.
6. Použitím sečných vzdáleností a zvětšení naměřených při předchozích metodách vypočítejte ohniskovou vzdálenost čočky pomocí jednoduché metody zvětšení a pomocí metody sečných vzdáleností (tj. ze zobrazovací rovnice). Z výsledků vypočtete aritmetický průměr.
7. Pomocí rovnice tlusté čočky proved'te výpočet indexu lomu materiálu čočky (uvažujte ohniskovou vzdálenost získanou Besselovou a Abbéovou metodou – přesná i pro tlustou čočku) .

**PŘI MĚŘENÍ NEMANIPULUJTE S VÝŠKOVÝM NASTAVENÍM  
JEDNOTLIVÝCH JEZDCŮ !!!**

**PŘI MĚŘENÍ SE SFÉROMETREM NEVYNDAVEJTE ČOČKY Z  
DRŽÁKŮ !!!**