

# MĚŘENÍ OHNISKOVÉ VZDÁLENOSTI TENKÝCH ČOČEK

## Pracovní úkol:

- 1) Určete ohniskovou vzdálenost tenké spojky třemi způsoby.
- 2) Určete ohniskovou vzdálenost tenké rozptylky dvěma způsoby.
- 3) Podle získaných výsledků porovnejte jednotlivé metody. Porovnejte výsledky s hodnotou udávanou výrobcem čoček.

**Pomůcky:** optická lavice se zdrojem světla, spojka, rozptylka, stínítko, zobrazovaný předmět, měřítko.

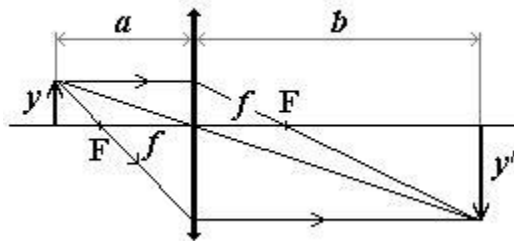
## Teorie:

Opticky průhledné prostředí omezené dvěma kulovými plochami vytváří čočku, která je základní součástí řady optických přístrojů (oko, lupa, mikroskop, dalekohled, fotoaparát ...). Důležitou charakteristikou čočky je její *ohnisková vzdálenost*  $f$ . Převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti je *optická mohutnost*  $\varphi$  čočky udávaná v dioptriích ( $\varphi = 2 \text{ D}$  odpovídá  $f = 0,5 \text{ m}$ ).

Tenká čočka je abstrakce, u které předpokládáme, že lze zanedbat vzdálenost vrcholů obou kulových ploch tvořících čočku. Pro takovéto čočky platí zobrazovací rovnice:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}, \quad (1)$$

kde  $a$  je vzdálenost předmětu a  $b$  vzdálenost obrazu od středu čočky s ohniskovou vzdáleností  $f$ .



Jestliže čočka vytváří skutečný obraz předmětu, je možné vypočítat její ohniskovou vzdálenost ze změřených vzdáleností  $a$  a  $b$ :

$$f = \frac{a \cdot b}{a + b}, \quad (2)$$

nebo ze změřené vzdálenosti  $b$ , velikosti předmětu  $y$  a velikosti obrazu  $y'$ :

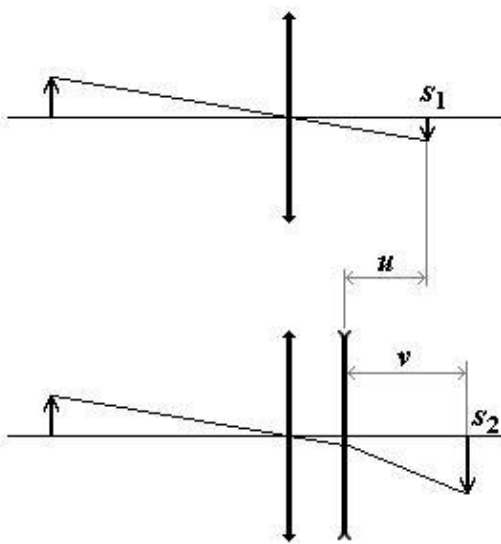
$$f = \frac{1}{\frac{1}{1 + \frac{y'}{y}}}, \quad (3)$$

Lepších výsledků lze dosáhnout při použití tzv. *Besselovy metody*. Při dostatečně velké vzdálenosti mezi předmětem a stínítkem ( $d \gg 4 \cdot f$ ) se na stínítku vytvoří ostrý obraz předmětu ve dvou různých polohách spojky. Jednou vzniká obraz zmenšená a podruhé zvětšený. Označíme-li si předmětovou vzdálenost v těchto polohách  $a_1$  a  $a_2$ , pak pro ohniskovou vzdálenost platí:

$$f = \frac{d^2 - (a_1 - a_2)^2}{4 \cdot d} \quad (4)$$

**Rozptylka** (čočka se zápornou optickou mohutností) vytváří vždy neskutečný obraz předmětu, proto nelze výše uvedené metody použít a je třeba je modifikovat. Jednou z možností je níže popsána metoda.

Ostrý obraz vytvořený pomocí spojky na stínítku v poloze  $S_1$  se stane předmětem pro zobrazení další čočkou (rozptylkou), která vytvoří po svém vložení ostrý obraz v jiném místě (poloha stínítka se změní na  $S_2$ ).



Pro ohniskovou vzdálenost použité rozptylky  $f_R$  pak platí vztah:

$$f_R = \frac{u \cdot v}{u - v} \quad (5)$$

Druhou možností je použít opět Besselovu metodu. Vytvoříme spojnou optickou soustavu tak, že k měřené rozptylce přitiskneme spojku, která má větší optickou mohutnost  $\varphi_S$ , než je absolutní hodnota optické mohutnosti rozptylky  $|\varphi_R|$ . Výsledná optická mohutnost vzniklé soustavy  $\varphi = \varphi_S + \varphi_R$  je kladná a můžeme proto použít Besselovu metodu popsanou výše. Určíme tak ohniskovou vzdálenost soustavy čoček  $f$ . Pro hodnotu ohniskové vzdálenosti použité rozptylky  $f_R$  platí:

$$f_R = \frac{f \cdot f_S}{f_S - f} \quad (6)$$

### **Pokyny pro měření a jeho zpracování:**

- 1) Na optickou lavici umístíte: zdroj světla, zobrazovaný předmět, měřenou čočku (spojku) a stínítko. Je výhodné zvolit takovou polohu čočky, při které vzniká zvětšený obraz.
- 2) Změřte vzdálenosti  $a$  a  $b$ , velikost předmětu  $y$  a velikost obrazu  $y'$  pro 5 různých poloh čočky.
- 3) Pro 5 různých vzdáleností  $d$  mezi předmětem a stínítkem změřte vzdálenosti předmětu  $a_1$  a  $a_2$ , ve kterých vzniká na stínítku ostrý obraz.
- 4) Vypočítejte pomocí vztahů (2), (3) a (4) ohniskovou vzdálenost spojky  $f$  pro jednotlivá měření.
- 5) Určete ohniskovou vzdálenost spojky  $f$  pomocí aritmetického průměru včetně chyby měření  $\sigma_f$  (pro každou metodu zvlášť).
  
- 6) Vytvořte na stínítku v poloze  $S_1$  pomocí spojky ostrý zmenšený obraz. Do prostoru mezi spojkou a stínítko vložte do libovolného místa rozptylku a změřte vzdálenost  $u$  (vzdálenost rozptylky od stínítka v poloze  $S_1$ ).
- 7) Pouze posouváním stínítka znovu vytvořte ostrý obraz. Změřte vzdálenost  $v$  (vzdálenost rozptylky od stínítka v poloze  $S_2$ ).
- 8) Měření 5krát opakujte pro různé polohy čoček.
- 9) Vypočítejte pomocí vztahu (5) ohniskovou vzdálenost rozptylky  $f_R$  pro jednotlivá měření.
- 10) Určete ohniskovou vzdálenost rozptylky  $f_R$  pomocí aritmetického průměru včetně chyby  $\sigma_{f_R}$ .
  
- 11) Vytvořte spojnou soustavu těsným přiložením rozptylky ke spojce.
- 12) Pomocí Besselovy metody určete pro 5 různých vzdáleností  $d$  ohniskovou vzdálenost této soustavy čoček.
- 13) Vypočítejte pomocí vztahu (4) ohniskovou vzdálenost soustavy čoček  $f$  pro jednotlivá měření.
- 14) Určete ohniskovou vzdálenost soustavy čoček  $f$  pomocí aritmetického průměru včetně chyby měření  $\sigma_f$ .
- 15) Vypočítejte pomocí vztahu (6) ohniskovou vzdálenost rozptylky  $f_R$ . Za ohniskovou vzdálenost použité spojky  $f_S$  dosadte výsledky nejpřesnější z metod. Chybu  $\sigma_{f_R}$  určete jako chybu nepřímého měření.

### **Literatura:**

- Kolektiv autorů: Úvod do fyzikálních měření. TUL, Liberec, 2012. ISBN 978-80-7372-819-9.
- Kopal a j.p.: Fyzika II, Liberec: TUL, 2008. 1. vydání. ISBN 978-80-7372-311-8.
- Brož, J. a kol.: Základy fyzikálních měření I, vydání 2. SPN, Praha 1983