

# MĚŘENÍ OHNISKOVÝCH VZDÁLENOSTÍ TENKÝCH ČOČEK

## Teorie:

Opticky průhledné prostředí (zpravidla sklo) omezené dvěma kulovými plochami (z nichž jedna může být rovinou) vytváří čočku, která je základní součástí optických přístrojů a zařízení (dalekohled, mikroskop, fotografický aparát, brýle, oko). Důležitou charakteristikou čočky, která předurčuje její použití, je **ohnisková vzdálenost**.

## Základní vztahy:

Čočka vytváří skutečný nebo zdánlivý obraz předmětu. V případě tenké čočky, což je abstrakce předpokládající, že vzdálenost vrcholů obou kulových ploch, které čočku tvoří, lze zanedbat, souvisí vzdálenost  $a$  předmětu a vzdálenost  $b$  obrazu od středu čočky s ohniskovou vzdáleností  $f$  zobrazovací rovnicí [1]

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

Ohnisková vzdálenost čočky se v tomto případě zavádí jako vzdálenost ohnisek čočky od středu čočky a udává se v metrech, případně centimetrech [2]. Převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti je optická mohutnost  $\varphi$  čočky udávaná v dioptriích ( $1 \text{ D} = 1 \text{ m}^{-1}$ )

$$\varphi = 1/f \quad (2)$$

V případě, že čočka (soustava čoček) vytváří skutečný obraz předmětu, je možné vypočítat její ohniskovou vzdálenost ze změřených vzdáleností  $a$  a  $b$  předmětu a jeho obrazu od čočky

$$f = \frac{a \cdot b}{a + b} \quad (3)$$

či ze změřených velikostí  $y$  a  $y'$  předmětu a obrazu, jejichž poměr  $y'/y < 0$  se nazývá příčné zvětšení

$$f = \frac{b}{1 + \frac{y'}{y}} \quad (4)$$

O něco přesnější výsledky poskytuje postup měření nazývaný Besselova metoda. Je-li vzdálenost  $d$  mezi předmětem a zobrazovacím stínítkem větší než čtyřnásobek ohniskové vzdálenosti čočky ( $d \gg 4f$ ), existují dvě polohy čočky, při nichž se na stínítku vytvoří ostrý obraz předmětu (v jenom případě zvětšený, ve druhém zmenšený). Označíme-li  $\delta$  vzdálenost těchto dvou poloh – viz *obr. 1*, můžeme ohniskovou vzdálenost vypočítat podle vztahu

$$f = \frac{d^2 - \delta^2}{4d} \quad (5)$$

Vzhledem k tomu, že samotná **rozptylka** (čočka se zápornou optickou mohutností) není schopna vytvořit skutečný obraz předmětu, je třeba svrchu uvedené metody modifikovat.

Pro měření Besselovou metodou vytvoříme **spojnou optickou soustavu** tak, že k měřené rozptylce těsně přitiskneme spojku o větší absolutní velikosti optické mohutnosti než má rozptylka. Celková optická mohutnost  $\varphi$  soustavy bude pak rovna součtu optických mohutností  $\varphi_S$  spojky a  $\varphi_R$  rozptylky:  $\varphi = \varphi_S + \varphi_R$ , a bude kladná. Besselovou metodou změříme ohniskovou vzdálenost  $f$  soustavy spojka-rozptylka a známe-li současně ohniskovou vzdálenost  $f_S$  použité spojky, vypočteme neznámou ohniskovou vzdálenost  $f_R$  rozptylky

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

Při druhém postupu měření se obraz vytvořený spojkou stane předmětem pro rozptylku, po jejímž vložení se vytvoří ostrý obraz v jiném místě (v jiné poloze stínítka - viz obr. 2)

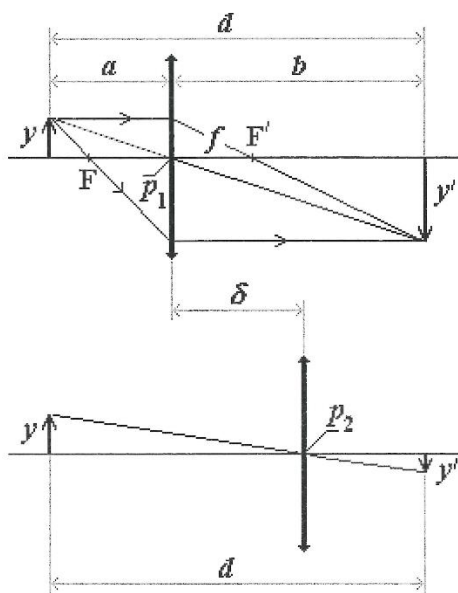
Označíme-li  $u$  vzdálenost rozptylka-první poloha stínítka (poloha, kdy na stínítku vznikl obraz vytvořený samotnou spojkou) a  $v$  vzdálenost rozptylka - druhá poloha stínítka (po vložení rozptylky a novém zaostření), vypočteme ohniskovou vzdálenost  $f_R$  rozptylky podle vztahu

$$f_R = \frac{u \cdot v}{u - v} \quad (7)$$

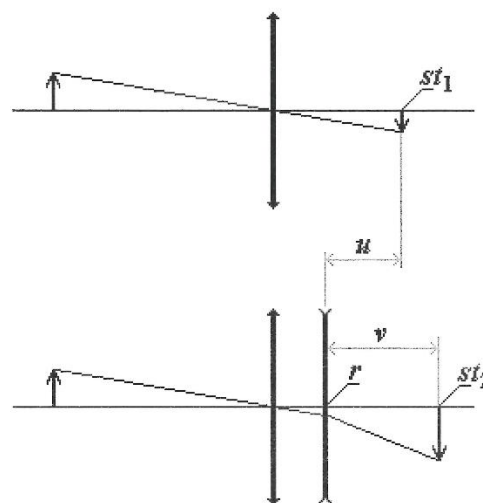
### Pracovní úkol:

1. Stanovte ohniskovou vzdálenost tenké spojky dvěma způsoby.
2. Dvěma postupy změřte ohniskovou vzdálenost tenké rozptylky.
3. Dosažené výsledky porovnejte (včetně chyb měření).

**Potřeby:** optická lavice se zdrojem světla, měřítko, tenké čočky, stínítko, stativy, milimetrový papír.



Obr. 1 – Besselova metoda



Obr. 2 – Měření rozptylky

### Pokyny k měření a jeho zpracování:

- 1) Na optickou lavici umístíme zleva: osvětlený předmět, stativ(y) s měřenou čočkou a stínítko. Obraz na stínítku zaostřujeme posouváním čočky. Při měření zvětšení je výhodnější tu polohu čočky, při které se vytváří zvětšený obraz.

- 2) Při měření Besselovou metodou si poznamenejme vzdálenost  $d$  předmět-stínítko a obě polohy  $p_1$  a  $p_2$  spojky či soustavy spojka-rozptylka, při kterých vzniká na stínítku ostrý obraz předmětu (potom vzdálenost  $\delta = |p_1 - p_2|$  - viz obr. 1).
- 3) Při druhém postupu měření na rozptylce si poznamenejme polohu  $r$  rozptylky a obě polohy  $st_1$  a  $st_2$  stínítko. Potom  $u = |r - st_1|$  a  $v = |r - st_2|$  (viz obr. 2).
- 4) Všechna měření alespoň 5x opakujeme.
- 5) Pro všechny způsoby měření vypočteme hledané ohniskové vzdálenosti jako aritmetické průměry hodnot zjištěných při jednotlivých měřeních, včetně chyb.

### Kontrolní otázky:

- 📖 Vysvětlete, co to jsou ohniska čočky, ohnisková vzdálenost a optická mohutnost.
- 📖 Proved'te grafickou konstrukci obrazu předmětu při zobrazování spojnou (rozptylnou) čočkou.
- 📖 Proč potřebujeme spojku při měření ohniskové vzdálenosti rozptylky?  
Při Besselově metodě máte k dispozici sadu spojných čoček o ohniskových vzdálenostech 5, 10 a 20 cm.  
Kterou z nich použijete při měření ohniskové vzdálenosti rozptylky s optickou mohutností  $-10 \text{ m}^{-1}$ ?

### Literatura:

- [1] WAGNER, J., KOPAL, A. *Fyzika II*. Vydání 2. Liberec: TUL, 1995.
- [2] ŠINDELÁŘ, V., SMRŽ, L. *Nová soustava jednotek*. Vyd. 4. Praha: SPN, 1989.

**Autoři:** Mgr. Lubor Machonský, CSc.