

# MĚŘENÍ OHNISKOVÉ VZDÁLENOSTI TENKÝCH ČOČEK

## ÚKOL MĚŘENÍ:

1. Změřte ohniskovou vzdálenost tenké spojky.
2. Změřte ohniskovou vzdálenost tenké rozptylky.
3. Pozorujte vady tenké spojky a určete chromatický, sférický a astigmatický rozdíl.

## 1. TEORETICKÝ ÚVOD

### 1.1 Zobrazování jednoduchými zobrazovacími soustavami\*

V homogenním isotropním prostředí se světlo šíří přímočaře a jeho chod lze charakterizovat přímými paprsky. Tato aproximace je používána v geometrické optice. Na rozhraní prostředí s odlišnými indexy lomu se chod paprsků řídí zákonem odrazu a lomu. Optické zobrazovací soustavy mění chod paprsků a žádaným způsobem zobrazují předmět. Svazek paprsků vycházející z předmětu se po průchodu zobrazovací soustavou protne a vytvoří obraz předmětu. Jestliže obraz můžeme zachytit na stínítku, jedná se o obraz skutečný, jestliže jsou paprsky po průchodu soustavou rozbíhavé a protínají se v předmětovém poloprostoru, jedná se o obraz zdánlivý. Paprsky rovnoběžné s optickou osou se po průchodu zobrazovací soustavou protínají v bodě na optické ose, v obrazovém ohnisku  $F'$ , paprsky vycházející z předmětového ohniska  $F$  se šíří po průchodu zobrazovací soustavou rovnoběžně s optickou osou.

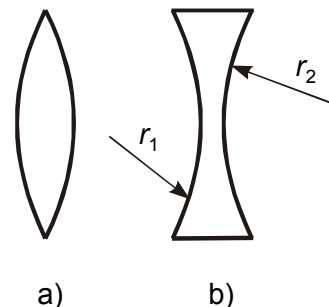
Jednoduchou zobrazovací soustavou jsou čočky, které jsou tvořeny lámavým prostředím omezeným dvěma kulovými plochami (obr. 1). Jestliže tloušťka čočky je zanedbatelná vzhledem k vzdálenosti předmětu nebo obrazu od čočky, mluvíme o tenké čočce. Vzdálenost ohniska od středu tenké čočky je ohnisková vzdálenost  $f$ .

Převrácená hodnota ohniskové vzdálenosti je optická mohutnost, její jednotka rozměru  $1/m$  se nazývá dioptrie. Ohnisková vzdálenost spojně čočky  $f > 0$ , ohnisková vzdálenost rozptylky  $f < 0$ . Chod paprsků tenkou spojkou je na obr. 2, chod paprsků tenkou rozptylkou je na obr. 3.  $F_S$  a  $F_{S'}$  jsou předmětové a obrazové ohnisko spojky,  $F_R$  a  $F_{R'}$  jsou předmětové a obrazové ohnisko rozptylky.  $S$  představuje tenkou spojkou,  $R$  je rozptylka, symbol  $P$  je použit pro předmět a  $P'$  pro obraz předmětu. Zobrazení tenkými čočkami se řídí čočkovou zobrazovací rovnicí

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

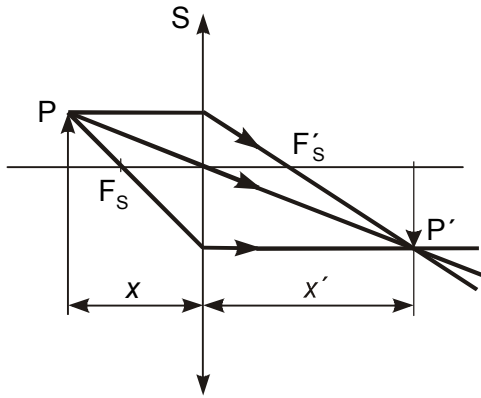
kde  $x$  a  $x'$  jsou předmětová a obrazová vzdálenost. Veličiny  $x$ ,  $x'$  a  $f$  jsou opatřeny znaménkem podle znaménkové konvence:  $x > 0$ ,  $x' > 0$  pro skutečný předmět a obraz,  $x < 0$ ,  $x' < 0$  pro neskutečný předmět a obraz,  $f > 0$  pro spojkou,  $f < 0$  pro rozptylku.

Čočky se využívají v optických přístrojích k fokusování svazků, zvětšování obrazu a vytváření rovnoběžných svazků.

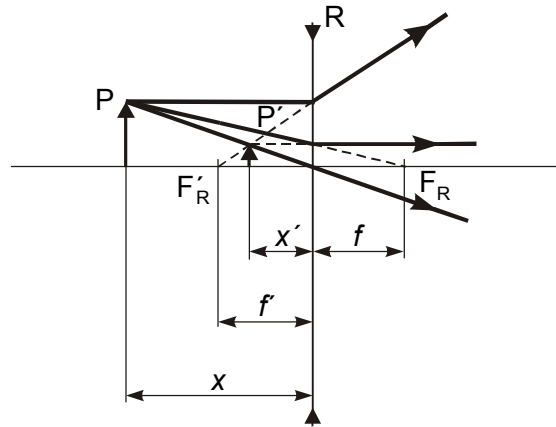


Obr. 1 Spojka a) a rozptylka b)

\* Hofmann J., Urbanová M.: Fyzika I, Vydavatelství VŠCHT, Praha 1998, odd. 7.2.3



Obr. 2 Zobrazení tenkou spojkou



Obr. 3 Zobrazení tenkou rozptylkou

## 2. PRINCIP METODY

### 2.1 Měření ohniskové vzdálenosti tenké spojky z polohy předmětu a obrazu

Provádí se na základě čočkové zobrazovací rovnice (1). Aby vznikl reálný, na stínítku zachytitelný obraz, musí být  $x' > 0$ . Pro spojkou je  $f > 0$  a předmět je nutno umístit do vzdálenosti  $x > f$ .

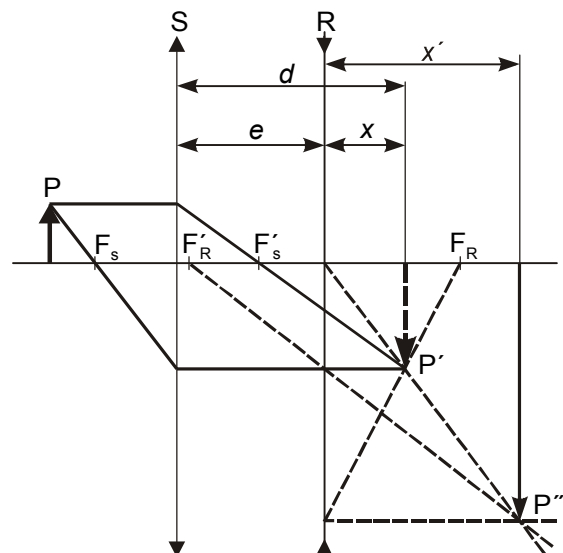
Předmět je realizován štěrbinou tvaru šipky vyřezanou do tenkého plechu, který se vkládá do drážky na konci reflektoru lampy. Lampa je uchycena na posuvném stojanu na optickou lavici, na níž jsou další stojany pro čočku a stínítko.

### 2.2 Měření ohniskové vzdálenosti tenké rozptylky

Protože ohnisková vzdálenost rozptylky je záporná, leží obraz skutečného předmětu na stejné straně čočky jako předmět a nelze ho zachytit na stínítku.

Při měření ohniskové vzdálenosti rozptylky volíme následující postup: Vytvoříme nejdřív spojkou reálný obraz  $P'$  předmětu  $P$  a použijeme ho jako zdánlivého předmětu ( $f < x < 0$ ) při zobrazení rozptylkou, která ho zobrazí na skutečný, na stínítku zachytitelný obraz  $P''$  (obr. 4). Při měření musíme změřit vzdálenost  $d$  (spojka - ostrý obraz na stínítku). Pak vložíme mezi spojkou a stínítko rozptylku a pohybem rozptylky i stínítka (spojka musí zůstat v klidu) nalezneme ostrý obraz a změříme  $e$  a  $x'$ . Ohniskovou vzdálenost vypočteme ze vztahu (1), do kterého za  $x$  dosadíme :

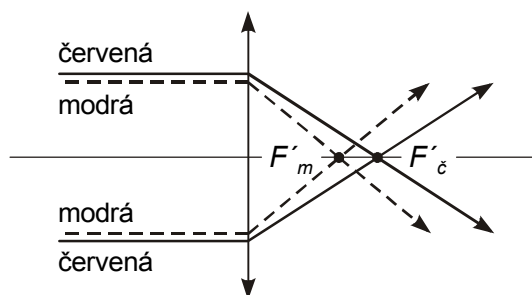
$$x = e - d \quad (x < 0). \quad (2)$$



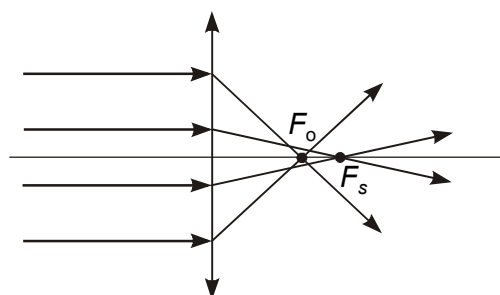
Obr. 4 Měření ohniskové vzdálenosti rozptylky

## 2.3 Vady čoček

- a) **Chromatická (barevná) vada** vzniká při průchodu bílého světla čočkou tím, že index lomu je funkcí vlnové délky. Modré paprsky se lámou víc než červené, a tak se svazek paprsků rovnoběžný s optickou osou láme do řady ohnisek. Blíže čočce je ohnisko  $F_m$  pro modrou barvu, na vzdálenější okraji je ohnisko  $F_č$  pro červenou barvu (obr. 5). Barevnou vadu stanovíme jako rozdíl ohniskových vzdáleností při zobrazení monochromatickým světlem různých vlnových délek, např. červeným a modrým. K získávání světla určité barvy se používají barevné filtry.
- b) **Sférická (kulová) vada** vzniká v důsledku toho, že okrajové paprsky rovnoběžné s optickou osou se lámou víc než paprsky středové. Ohnisko  $F_o$  okrajových paprsků je blíže čočce než ohnisko  $F_s$  středových paprsků (obr. 6). Paprsky celého svazku vytvoří na ose světelnou úsečku zvanou kaustická čára. Sférickou vadu určíme jako rozdíl ohniskových vzdáleností při zobrazení předmětu středovými a okrajovými paprsky, které vymezujeme na čočce vhodnou clonkou.
- c) **Astigmatická vada (koma)** vzniká při šikmém dopadu rovnoběžných paprsků na čočku a projeví se tím, že obrazem bodu není bod, ale krátké úsečky zvané fokály, jež jsou vzájemně kolmé. Jejich vzdálenost na optické ose se nazývá astigmatický rozdíl. Astigmatický rozdíl určíme tak, že natočíme čočku ve stojanu pod úhlem asi  $30^\circ$ , aby paprsky na ni dopadaly šikmo. Zobrazením bodového předmětu dostaneme na stínítku při jeho dvou různých polohách fokálu. Astigmatický rozdíl je roven vzdálenosti obou poloh stínítka.



Obr. 5 Barevná vada spojky



Obr. 6 Sférická vada spojky

## 3. Postup a zpracování měření

1. Při měření ohniskové vzdálenosti spojky zvolíte pevně polohu spojky, kterou v průběhu měření neměníte, a 10 krát nastavíte polohu stínítka tak, abyste získali ostrý obraz předmětu. Výsledky zapisujte do tabulky č. 1.

Tabulka č. 1

čočka č. : - spojka

číslo měření	$x$ (cm)	$x'$ (cm)	$\Delta x'$ (cm)	$(\Delta x')^2$ (cm <sup>2</sup> )	$f$ (cm)

2. Ohniskovou vzdálenost rozptylky určete jedním pečlivým měřením.

Tabulka č. 2

čočka č. : - rozptylka

$d$ (cm)	$e$ (cm)	$x'$ (cm)	$x$ (cm)	$f$ (cm)

3. Vady čočky charakterizujte na základě jednoho informativního měření pro každou vadu.

#### 4. PŘESNOST VÝSLEDKŮ

a) Určení nejistoty ohniskové vzdálenosti spojky

Nejistotu  $u_x$  veličiny  $x$  stanovte jako nejistotu typu B podle vztahu (13), kap. IV., (chyba čtení  $\Delta z_{\max} = 1 \text{ mm}$ ,  $\Theta = \sqrt{3}$ ). Nejistotu  $u_{x'} = \sqrt{u_{Ax'}^2 + u_{Bx'}^2}$ : nejistota typu B  $u_{Bx'}$  je dána chybou čtení  $\Delta z_{\max} = 1 \text{ mm}$ ,  $\Theta = \sqrt{3}$ , nejistota typu A  $u_{Ax'}$  je dána směrodatnou odchylkou  $\bar{s}$  aritmetického průměru 10 opakovaných měření. Ohnisková vzdálenost  $f$  je výsledkem nepřímého měření, je určena z veličin  $x$  a  $x'$ . Nejistota  $u_f$  ohniskové vzdálenosti je dána vztahem:

$$u_f = \sqrt{\left(\frac{\bar{x}'}{\bar{x} + \bar{x}'}\right)^4 u_x^2 + \left(\frac{\bar{x}}{\bar{x} + \bar{x}'}\right)^4 u_{x'}^2} = \frac{1}{(\bar{x} + \bar{x}')^2} \sqrt{\bar{x}'^4 u_x^2 + \bar{x}^4 u_{x'}^2}.$$

b) Určení nejistoty ohniskové vzdálenosti rozptylky

Nejistoty veličin  $d$ ,  $e$  a  $x'$  jsou standardními nejistotami typu B, které určíte z maximálních chyb čtení  $\Delta z_{\max} = 1 \text{ mm}$ ,  $\Theta = \sqrt{3}$ . Nejistotu ohniskové vzdálenosti  $f$  rozptylky stanovíme jako nejistotu nepřímého měření z nejistot veličin  $d$ ,  $e$  a  $x'$ :

$$\begin{aligned} u_f &= \sqrt{A_e^2 u_e^2 + A_d^2 u_d^2 + A_{x'}^2 u_{x'}^2} = \\ &= \sqrt{\left(\frac{\bar{x}'}{\bar{e} - \bar{d} + \bar{x}'}\right)^4 u_e^2 + \left(\frac{-\bar{x}'}{\bar{e} - \bar{d} + \bar{x}'}\right)^4 u_d^2 + \left(\frac{(\bar{e} - \bar{d})}{\bar{e} - \bar{d} + \bar{x}'}\right)^4 u_{x'}^2} = \\ &= \frac{1}{(\bar{e} - \bar{d} + \bar{x}')^2} \sqrt{\bar{x}'^4 u_e^2 + \bar{x}'^4 u_d^2 + (\bar{e} - \bar{d})^4 u_{x'}^2}. \end{aligned}$$