

Úloha č. 9

Měření ohniskových vzdáleností čoček, optické soustavy

Úkoly měření:

1. Stanovte **ohniskovou vzdálenost** zadaných tenkých čoček na základě měření předmětové a obrazové vzdálenosti:
 - zvětšeného obrazu vlákna žárovky – **přímá metoda**
 - zvětšeného a zmenšeného obrazu vlákna žárovky – **Besselova metoda**
2. Pro zadanou hodnotu zvětšení (hodnotu zadá vedoucí v průběhu laboratoří), spočítejte pro čočky se známou hodnotou ohniskové vzdálenosti parametry a_1 ; a_1' ; a_2 ; a_2' . Tyto parametry udávají vzdálenost, do které je nutné nastavit čočky, aby se na stínítku ukázal obraz vlákna žárovky, zvětšený v požadovaném poměru.

Použité přístroje a pomůcky:

1. Optická lavice PHYWE se stínítkem a žárovkou, elektrický laboratorní zdroj.
2. Dvojice tenkých čoček, **spojek**, s různou ohniskovou vzdáleností.

Základní pojmy, teoretický úvod:

Čočka a její základní charakteristiky

Čočka je optické zařízení skládající se nejčastěji ze dvou kulových ploch. Rozeznáváme dva druhy čoček – **spojky a rozptylky**. Pro výrobu čoček se používá sklo a různé druhy plastů – polykarbonát, CR39, Trivex, atd.

Charakteristickými parametry čočky jsou tloušťka, poloměr křivosti kulových ploch, **ohnisková vzdálenost** a index lomu materiálu, ze kterého je vyrobena. Díky rozdílnému indexu lomu materiálu čočky, ve srovnání s okolním prostředím, dochází na čočce ke změně optické dráhy světelného paprsku (viz Snellův zákon a mechanismus lomu světla).

Čočky s tloušťkou výrazně menší, než jsou poloměry křivosti jejich kulových ploch, se označují jako **tenké čočky**. Na **obr. 1** jsou definovány některé základní parametry tenké čočky.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE

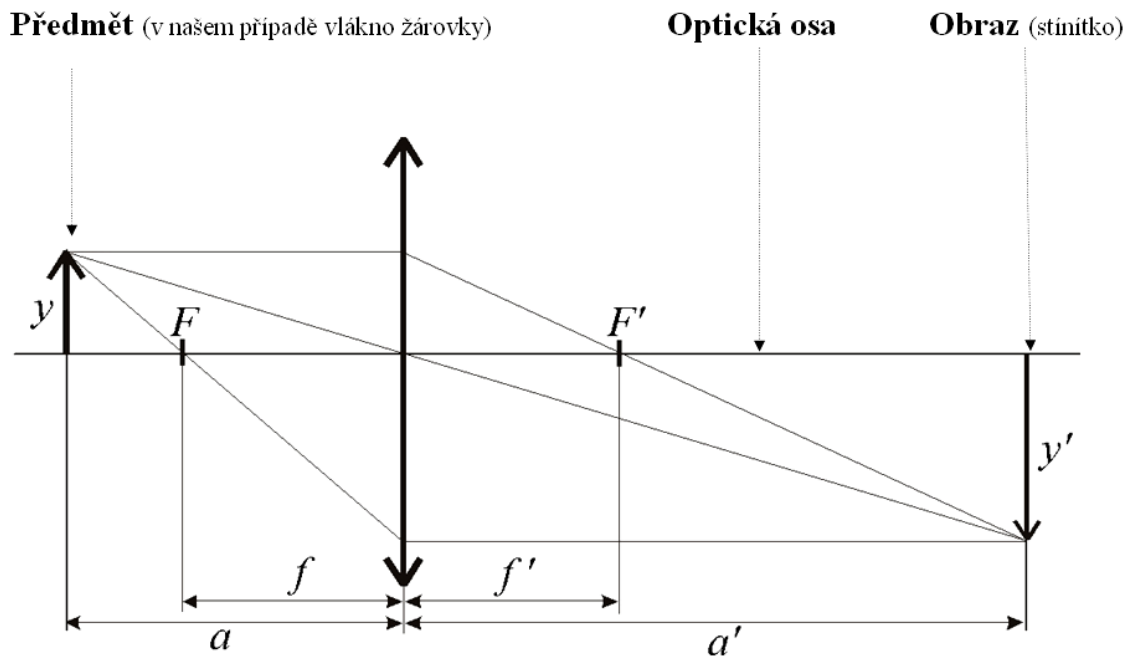


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická



Obr. 1: Zobrazování pomocí tenké čočky – základní parametry.

Na **obr. 1** jsou definovány tyto veličiny: y, y' – velikost předmětu, resp. obrazu; a, a' – předmětová, resp. obrazová vzdálenost; F, F' – předmětové, resp. obrazové ohnisko čočky; f, f' – předmětová, resp. obrazová ohnisková vzdálenost čočky.

Při vyjadřování číselných hodnot uvedených veličin se řídíme tzv. **Jenskou konvencí**. Polohu čočky bereme jako nulový bod a všechny vzdálenosti měřené od čočky nalevo píšeme se záporným znaménkem, všechny vzdálenosti od čočky napravo píšeme s kladným znaménkem. V uvedeném obrázku má obrazová ohnisková vzdálenost kladnou hodnotu, jedná se tedy o spojku. Jenskou konvenci musíme mít na paměti i při výpočtech ze zobrazovací rovnice čočky.

Z **obr. 1** tedy vyplývá:

- světelný paprsek jdoucí rovnoběžně s optickou osou se po průchodu čočkou láme do obrazového ohniska čočky.
- světelný paprsek procházející středem čočky si po průchodu čočkou zachovává svůj původní směr.

Výše zmíněné platí pro ideální čočku. U reálných čoček se projevuje široké spektrum vad, které způsobují odchylky od ideálního stavu. Vady se dělí na monochromatické (vznikají při použití světla s jednou vlnovou délkou) a barevné (projevují se u složeného světla – směsi různých vlnových délek).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Zobrazovací rovnice čočky

Poloha předmětu a obrazu při zobrazení tenkou čočkou (viz **obr. 1**) je za předpokladu, že se předmět nachází před ohniskem (tj. není v prostoru mezi ohniskem a čočkou), dána zobrazovací rovnicí čočky:

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

Pokud tedy experimentálně určíme vzdálenosti a , a' , můžeme následně z upravené rovnice (1) spočítat ohniskovou vzdálenost dané čočky:

$$f' = \frac{a a'}{a - a'} \quad (2)$$

Zvětšení čočky

Ze vztahu (1) lze dokázat, že čočka vytvoří skutečný obraz (obraz, který lze zobrazit na stínítku) když platí, že vzdálenost předmětu od stínítka je větší nebo rovna čtyřnásobku ohniskové vzdálenosti. Zvětšení obrazu je definováno vztahem:

$$z = \frac{y'}{y} \quad (3)$$

kde y je velikost předmětu a y' je velikost obrazu. Velikosti bereme kladně, je-li předmět nebo obraz vzpřímený (směřuje-li vzhůru). Je-li předmět nebo obraz převrácený (směřuje dolů), bereme velikosti záporně. Na **obr. 1** jsou vidět podobné trojúhelníky, pomocí kterých je možné upravit vztah (3) do tvaru:

$$z = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} \quad (4)$$

Je-li zvětšení záporné, znamená to, že obraz je vzhledem k předmětu převrácený. U soustavy čoček potom platí že výsledné zvětšení soustavy z je součinem zvětšení jedné čočky z_1 a zvětšení druhé čočky z_2 :

$$z = z_1 \cdot z_2 \quad (5)$$

Princip měření:

Přímá metoda

Přímá metoda vychází bezprostředně ze zobrazovací rovnice. Pro zvolenou vzdálenost předmětu (zdroje světla) a obrazu (stínítka) najdeme takovou polohu čočky, kdy na stínítku vznikne ostrý obraz zdroje (viz **obr. 1**). Ze znalosti předmětové vzdálenosti a a obrazové

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem
a státním rozpočtem České republiky.



vzdálenosti a' lze podle rovnice (1) nebo (2) vypočítat obrazovou ohniskovou vzdálenost f' , která je stejně velká jako předměťová ohnisková vzdálenost f .

Pro reálnou čočku s nenulovou tloušťkou se vzdálenosti měří od hlavních rovin čočky. Ovšem jejich polohu je obtížné určit, a proto se pro měření ohniskové vzdálenosti reálných čoček používá Besselova metoda.

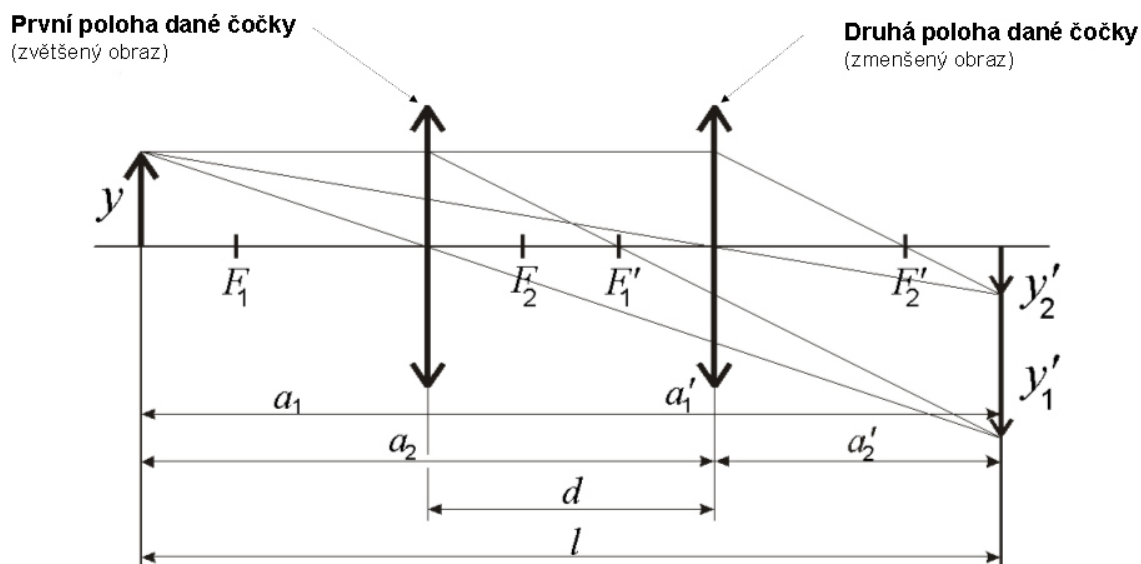
Besselova metoda

Besselova metoda využívá skutečnosti, že je možné při dostatečně velké vzdálenosti předmětové a obrazové roviny najít obecně dvě polohy čočky, při kterých lze získat zvětšený a zmenšený obraz předmětu, viz **obr. 2**, na kterém jsou zobrazeny jakoby dvě čočky.

!!! Pozor, stále se jedná o tutéž čočku v různých polohách, nezaměňujte se soustavou čoček. !!!

Besselova metoda měření ohniskové vzdálenosti vychází ze zobrazovací rovnice (1). Označme a_1 a a_1' předmětovou a obrazovou vzdálenost při první poloze čočky pro ostrý obraz. Předmětovou a obrazovou vzdálenost pro druhý ostrý obraz (zmenšený) pak označme jako a_2 a a_2' . Vzdálenost předmětové a obrazové roviny označme jako l a vzdálenost mezi oběma polohami čoček označme jako d (viz **obr. 2**). V případě, že je čočka tenká a obě hlavní roviny čočky můžeme považovat za totožné, platí z důvodů symetrie $a_1 = -a_2'$, $a_1' = -a_2$, $l > 0$, $d > 0$. Po dosazení do zobrazovací rovnice (1) dostaneme vztah pro f'

$$f' = \frac{l^2 - d^2}{4l} \quad (6)$$



Obr. 2: Besselova metoda.

Soustava čoček

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

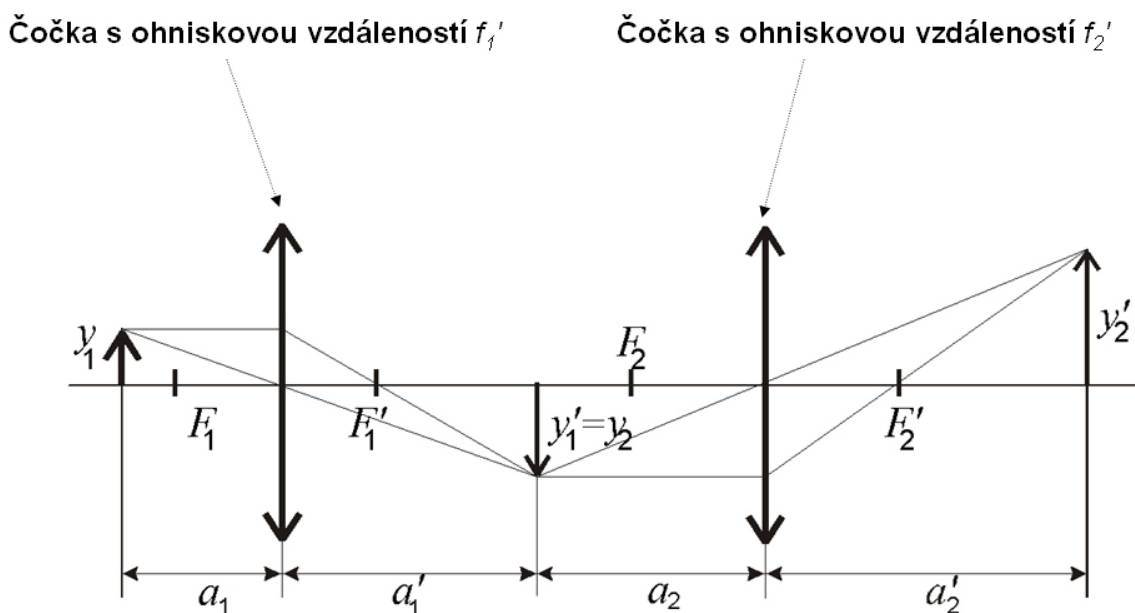


OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Prochází-li světlo soustavou čoček, můžeme problém rozdělit na průchod jednotlivými čočkami, který se řídí opět zobrazovací rovnicí (1). Předmět leží ve vzdálenosti a_1 před první čočkou (na **obr. 3** označeno číslem 1). Ta vytvoří podle (1) jeho obraz ve vzdálenosti a_1' . Tento obraz vytvořený první čočkou je předmětem pro druhou čočku a nachází se od ní ve vzdálenosti a_2 . Druhá čočka vytvoří jeho obraz opět podle (1) ve vzdálenosti a_2' (viz **obr. 3**).

Pokud chceme pro danou hodnotu celkového zvětšení z spočítat vzdálenosti, do nichž musí být nastaveny čočky, aby se na stínítku ukázal obraz s požadovaným zvětšením, musíme nejdříve podle rovnice (5) určit dílčí zvětšení každé čočky z_1 a z_2 , a pak pro každou čočku vyřešit soustavu dvou rovnic (1) a (4). Aby bylo možné soustavu rovnic vyřešit, dosazujeme za f' konkrétní hodnotu ohniskové vzdálenosti čočky. Při určování dílčích zvětšení obou čoček mějte na paměti, že se jedná o **spojky**, což znamená, že výsledný obraz je převrácený a **hodnota dílčího zvětšení má záporné znaménko**. Výsledné zvětšení bude mít ovšem kladné znaménko, protože je výsledkem součinu dvou záporných čísel, viz rovnice (5).



Obr. 3: Soustava čoček.

Postupy měření a pokyny k úloze:

1. Přímá metoda

- Pod dohledem vyučujícího zapněte elektrický zdroj a nastavte proud nezbytný pro dosažení dostatečné intenzity světelného zdroje (žárovky).
- Nastavte stínítko do libovolné vzdálenosti v rozmezí 50 – 100 cm.
- Pohybujte čočkou tak, abyste na stínítku dostali ostrý obraz předmětu – vlákna žárovky.

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

- Ze stupnice optické lavice si zaznamenejte vzdálenosti nutné k výpočtu ohniskové vzdálenosti, viz **obr. 1**. Dosazením do rovnice (2) proveďte orientační výpočet. Získanou hodnotu porovnejte s údajem, který uvádí výrobce na čočce. Při dosazování do rovnice (2) se řiďte Jenskou konvencí.
- Měření proveďte pro **10 různých poloh stínítka** a pro **dvě různé čočky**.
- Zaznamenejte všechny naměřené hodnoty a výsledky do tabulek podle výše uvedeného zadání, včetně středních hodnot a chyb měření.

2. Besselova metoda

- Nastavte stínítka do vhodné vzdálenosti.
- Pohybujte čočkou tak, abyste na stínítku dostali ostrý **zvětšený obraz** předmětu – vlákna žárovky. Zaznamenejte polohu čočky a stínítka. Při stále stejné poloze stínítka přesuňte čočku do druhé polohy a zaostřete na **zmenšený obraz** na stínítku, viz **obr. 2**. Zaznamenejte polohu čočky. Dosazením do rovnice (6) proveďte orientační výpočet a získanou hodnotu porovnejte s údajem uvedeným na čočce.
- Měření proveďte pro **10 různých poloh stínítka** a pro **dvě různé čočky**.
- Zaznamenejte všechny naměřené hodnoty a výsledky do tabulek podle výše uvedeného zadání, včetně středních hodnot a chyb měření.

3. Soustava čoček

- Na základě celkového zvětšení, které vám zadá vyučující, vypočítejte dílčí zvětšení obou čoček podle vztahu (5). Je zcela na vás jaká čísla zvolíte, jedinou podmínkou je, aby obě čísla byla záporná, a jejich součin musí být shodný s celkovým zvětšením. Pokud vám vyučující zadá celkové zvětšení $z = 20$, můžete volit hodnoty z_1 a z_2 např. -2 a -10; -4 a -5; -5 a -4; -10 a -2 nebo také -1 a -20, případně -20 a -1.
- Řešením soustavy rovnic (1) a (4) určete předmětovou a obrazovou vzdálenost a_1 a a_1' pro první čočku. Za z dosadíte jedno z dílčích zvětšení, za f' dosadíte hodnotu ohniskové vzdálenosti čočky udávanou výrobcem. Stejným způsobem vypočítejte vzdálenosti a_2 a a_2' (nemělo by vás překvapit, že hodnoty a_1 a a_2 budou vycházet se záporným znaménkem, viz Jenská konvence).
- Podle **Obr. 3** nastavte na lavici čočky do požadovaných poloh a ověřte správnost vašeho výpočtu. Na stínítku by měl být obraz vlákna žárovky v požadovaném zvětšení.
- Do protokolu zaznamenejte všechny nastavené hodnoty a postup jejich výpočtu.

Seznam použité a doporučené literatury:

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: Fyzika, VUT v Brně, Nakladatelství VUTIUM, (2000).

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

