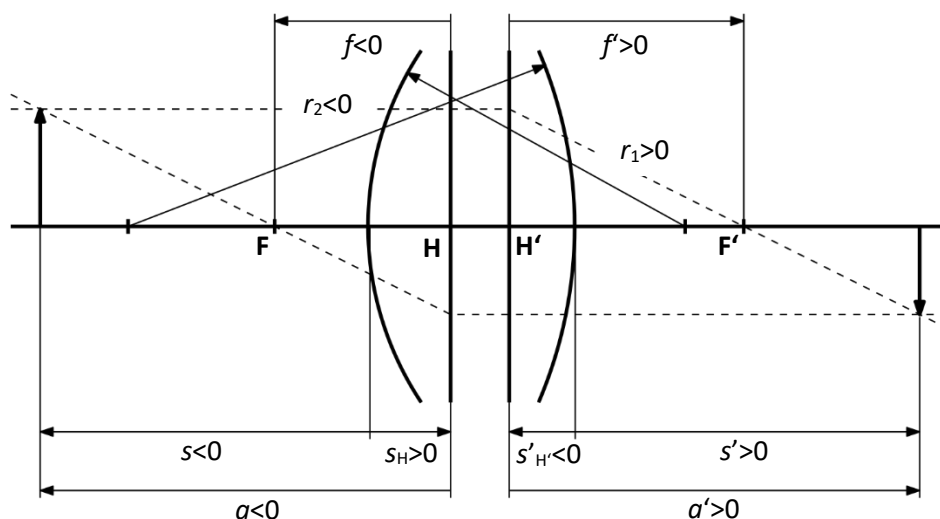


Zobrazování čočkou

Úvod:

Základními charakteristikami každé optické soustavy jsou polohy hlavních rovin a ohnisková vzdálenost soustavy. Tyto údaje můžeme buďto zjistit výpočtem z tvaru a rozložení jednotlivých lámavých ploch a indexů lomu všech materiálů a okolního prostředí, na jejichž rozhraních lom nastává, nebo výpočtem z rozmístění čoček a jejich ohniskových vzdáleností, anebo experimentálními metodami, které jsou často rychlejší a pohodovější než výpočet. Dále budeme používat znaménkovou konvenci (znázorněnou na obr. 1), kde vzdálenosti na ose bereme kladně, jestliže jsou orientovány ve směru šíření světla (zleva doprava) a poloměry křivosti zobrazující plochy jsou kladné, jestliže střed křivosti leží vpravo od této plochy.



Obrázek 1: Znaménková konvence veličin použitých v textu.

Ohniskovou vzdálenost čočky můžeme určit z měření polohy předmětu a obrazu. Tato metoda vychází ze skutečnosti, že obrazová ohnisková vzdálenost f' souvisí se vzdáleností předmětu od předmětové hlavní roviny a a vzdáleností obrazu od obrazové hlavní roviny a' zobrazovací nebo též čočkovou rovnicí

$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{f'}.$$

U tlustých čoček bohužel nemůžeme měřit přímo veličiny a a a' , můžeme ale změřit vzdálenosti předmětu od první lámavé plochy s a vzdálenost obrazu od poslední lámavé plochy s' . Z obrázku 1 je patrné, že platí

$$a = s - s_H, \quad a' = s' - s'_{H'},$$

kde s_H a $s'_{H'}$ jsou vzdálenosti předmětové a obrazové hlavní rovin od první, resp. poslední lámavé plochy (H a H' jsou předmětové a obrazové hlavní body, tj. průsečíky předmětové a obrazové hlavní rovin s optickou osou). Tyto vztahy můžeme dosadit do zobrazovací rovnice a následně vyjádřit závislost polohy obrazu s' na poloze předmětu s jako

$$s' = \frac{1}{\frac{1}{f'} + \frac{1}{s - s_H}} + s'_{H'}.$$

Při dostatečném množství naměřených dvojic s a s' pak lze experimentální výsledky proložit touto rovnicí (metodou nejmenších čtverců) a získat tak hledané parametry f' , s_H a s'_H . Toto prokládání je ovšem velmi citlivé, a proto v našem měření využijeme skutečnosti, že pro sférické (kulové) čočky s průměrem d platí, že obě hlavní roviny procházejí středem čočky. Můžeme tak zafixovat hodnoty $s_H = d/2$ a $s'_H = -d/2$ a prokládáním hledat pouze hodnotu ohniskové vzdálenosti f' .

Pro ohniskovou vzdálenost tlusté čočky vyrobené pouze z jednoho materiálu s indexem lomu $n_{\text{čočka}}$ ve vzduchu ($n_{\text{vzduch}} = 1$) platí teoretický vztah

$$f' = \frac{n_{\text{čočka}} r_1 r_2}{n_{\text{čočka}}(n_{\text{čočka}} - 1)(r_2 - r_1) + (n_{\text{čočka}} - 1)^2 \Delta},$$

kde Δ je vzdálenost lámavých ploch. Pro sférickou čočku, pro kterou platí, že $\Delta = d$, $r_1 = d/2$ a $r_2 = -d/2$, se vztah zjednoduší na

$$f' = \frac{n_{\text{čočka}} d}{4(n_{\text{čočka}} - 1)}.$$

Zadání experimentální úlohy:

1. Pro několik různých vzdáleností předmětu od čočky změřte opakovaně polohu obrazu a závislost vyneste do grafu včetně chybových úseček.
2. Metodou nejmenších čtverců proložte střední hodnoty naměřených dat teoretickou závislostí ze zobrazovací rovnice a nalezněte hodnotu ohniskové vzdálenosti, kterou porovnejte s hodnotou vypočtenou ze vztahu pro sférickou čočku. Proloženou teoretickou závislost vyneste do grafu společně s naměřenými hodnotami.

Poznámky k experimentu:

Čočku si vyrobíme z válcové sklenice (zavařovací sklenice, průhledná skleněná láhev) naplněné vodou. Jelikož se jedná o válec a ne o kouli, bude sklenice fungovat jako čočka pouze ve vodorovném směru (pro který nicméně platí stejné vlastnosti jako pro sférickou čočku), proto se bodový předmět zobrazí jako svislá úsečka. Na sklenici nalepíme papír s otvorem o velikosti přibližně 1 cm x 1 cm, přes který bude procházet světlo, abychom omezili vliv sférické vady. Jako bodový předmět můžeme použít např. diodu mobilního telefonu (pokud má telefon dvě diody vedle sebe, získáte po zobrazení dva obrazy vedle sebe – jeden pro každou diodu). Otvor v papíru na sklenici by měl být ve stejné výšce jako předmět. Obraz budeme hledat posouváním stínítka (papíru, obalu knihy). Je vhodné si pod celou soustavu položit např. skládací metr, anebo dvě pravítka (jedno v každém směru) pro snazší odečítání hodnot s (v naší konvenci se záporným znaménkem!) a s' (s kladným znaménkem).

V prvním úkolu změříme pro alespoň 5 různých hodnot s opakovaně (tj. alespoň 5krát) hodnotu s' . Pro s' následně provedeme určení střední hodnoty a nejistoty. Nejistotu typu B zvolíme jako $\Delta_B s' = 0,1$ cm.

Ve druhém úkolu zvolte pro čočku index lomu $n_{\text{čočka}} = 1,33$, což je index lomu vody.

Uvedené vztahy pro výpočet ohniskové vzdálenosti obecné tlusté čočky a sférické čočky platí pouze pro čočky z jednoho materiálu; v našem experimentu používáme složitější čočku sklo-

voda-sklo, vypočtená hodnota tudíž není úplně přesná. Nicméně skleněné stěny sklenice mají zanedbatelný vliv, proto můžeme tuto hodnotu použít v porovnání.

Návody na postup k určení nejistot, prokládání metodou nejmenších čtverců v Matlabu a Excelu a vykreslování chybových úseček v Matlabu najdete v e-learningu.