Ohniskové vzdálenosti a vady čoček a zvětšení optických přístrojů

Pomůcky: Optická lavice s jezdci a držáky čoček, světelný zdroj pro optickou lavici, mikroskopický objektiv, Ramsdenův okulár v držáku s Abbeho kostkou, spojné čočky +50, +100, +200, rozptylka, matnice, clona s otvorem, clona se šipkou, červenomodrý filtr, pomocný světelný zdroj s milimetrovou stupnicí, křížový vodič s objektivovým mikrometrem, matnička se stupnicí 50 x 0,1 mm, pomocný mikroskop s měřícím okulárem, pomocný dalekohled, kovové měřítko,

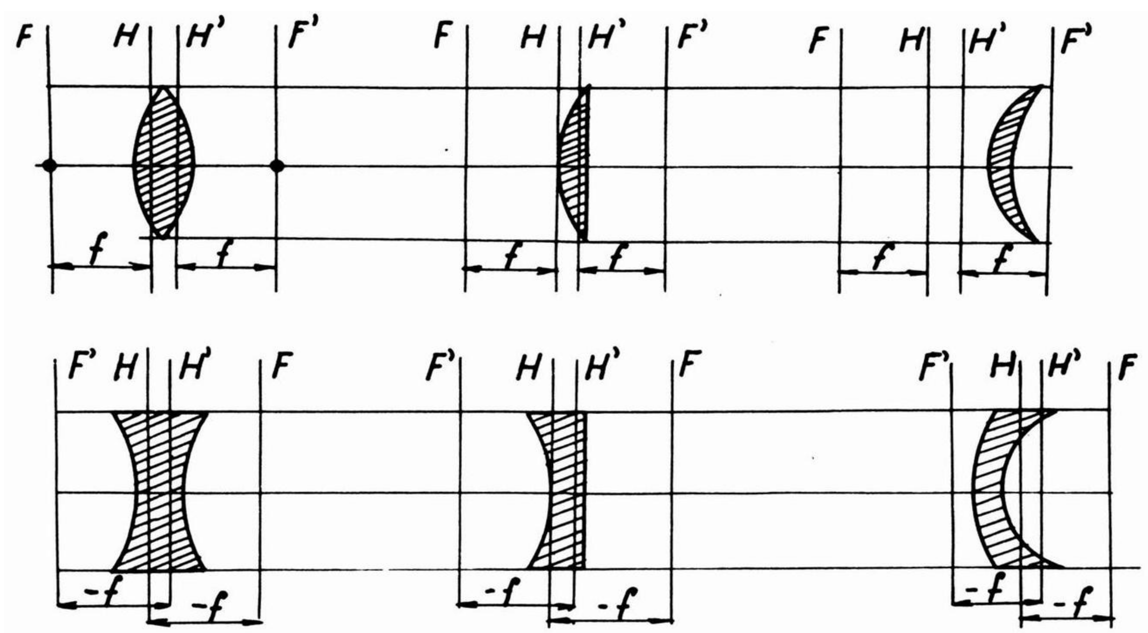
1 Základní pojmy a vztahy

Základní pojmy z geometrické optiky a principy optických přístrojů jsou podrobně popsány v knihách [1] až [5]. Zde připomeneme pouze základní fakta.

A. Zobrazování čočkami

Při zobrazování čočkou lze prostor rozdělit rovinou kolmou na její osu (tzv. optickou osu) na dvě části: předmětovou a obrazovou, mezi nimiž existuje vztah kolineace, tj. bodu, přímce a rovině nacházející se v předmětovém prostoru odpovídá v obrazovém prostoru zase bod, přímka nebo rovina. Některé z nich mají zvláštní důležitost. Předmět ležící v rovině nekonečně vzdálené (v úběžné rovině) se zobrazí do tzv. ohniskové roviny, ležící v konečné vzdálenosti od čočky. Podobně předmět ležící v ohniskové rovině se zobrazí do úběžné roviny nekonečně vzdálené.

V předmětovém prostoru lze dále nalézt dvě roviny (tzv. hlavní roviny), které mají tu vlastnost, že předmět v nich ležící se zobrazí do odpovídajících hlavních rovin v obrazovém prostoru ve stejné velikosti, a to buď vzpřímený (tzv. kladné hlavní roviny), nebo obrácený (tzv. záporné hlavní roviny). Kladné hlavní roviny leží vždy mezi příslušnou ohniskovou rovinou a čočku, záporné hlavní roviny leží vždy vně příslušných ohniskových rovin (tj. směrem od čočky). Vzdálenosti ohniskové roviny od příslušné kladné a záporné hlavní roviny jsou stejné a rovnají se ohniskové vzdálenosti f. Obě kladné hlavní roviny mohou v případě tenké čočky spolu splynout a leží v rovině čočky. U tlusté čočky mohou mít kladné hlavní roviny obecnou polohu a mohou ležet i mimo čočku (viz obrázek 1).



Obrázek 1: Poloha kladných hlavních rovin H a ohniskových rovin F u základních typů čoček

B. Stanovení ohniskové vzdálenosti spojné čočky

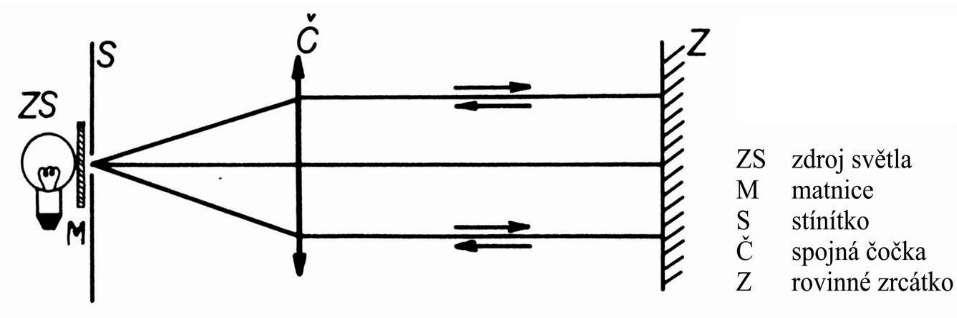
Určení ohniskových vzdáleností tenkých spojných čoček provádíme těmito způsoby: odhadem, autokolimací, z čočkové rovnice (tj. z polohy předmětu a obrazu), z bočního zvětšení a Besselovu metodou. Pro tlusté spojky lze použít metody z bočního zvětšení a Besselovy metody.

1. Určení ohniskové vzdálenosti odhadem

Tuto metodu používáme k orientačnímu odhadu ohniskové vzdálenosti. Princip metody spočívá v tom, že obraz předmětu značně vzdáleného vzniká v ohniskové rovině čočky a je skutečný. Vzdálenost čočky od stínítka změříme měřítkem a dostaneme tak přímo ohniskovou vzdálenost čočky.

2. Měření ohniskové vzdálenosti autokolimací

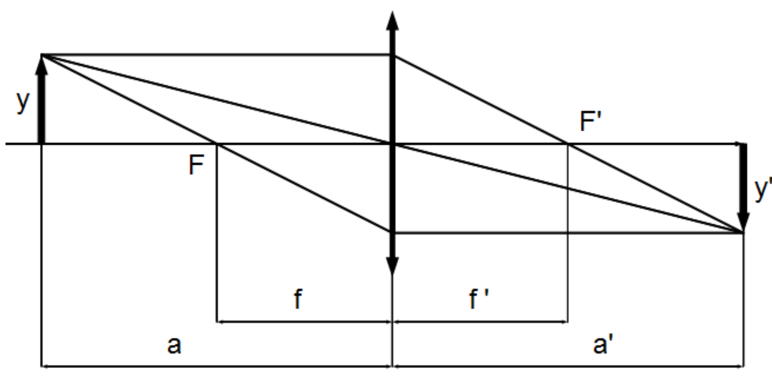
Tato metoda spočívá v tom, že paprsky vycházející z ohniska čočky jsou po lomu rovnoběžné s osou čočky a že naopak paprsky rovnoběžné s osou čočky se po lomu čočkou soustředí v jejím ohnisku. Experimentální uspořádání měření je na obrázku 2.



Obrázek 2: Měření ohniskové vzdálenosti spojky

Posunujeme-li čočkou tak, že se zobrazovaný otvor stínítka dostane do jejího ohniska, budou paprsky za čočkou rovnoběžné s osou čočky. Proto se otvor ve stínítku po odrazu paprsků na zrcadle zobrazí ostře zpět v ohnisku čočky. Nepatrným sklopením zrcátka Z dosáhneme toho, že tento ostrý obraz padne těsně vedle zobrazovaného otvoru (autokolimace). Vzdálenost čočky od stínítka pak udává ohniskovou vzdálenost čočky.

3. Měření ohniskové vzdálenosti z polohy předmětu a jeho obrazu



Obrázek 3: Zobrazení spojnou čočkou

Pro zobrazování tenkou spojnou čočkou pomocí paprsků (monochromatického světla) velmi blízkých optické ose (v tzv. Gaussově nitkovém prostoru) platí čočková rovnice (obrázek 6), viz [2]

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{a'} = \frac{1}{f}, \tag{1}$$

kde a, a' jsou vzdálenosti předmětu a obrazu od středu čočky (vzaté v absolutních hodnotách), f je ohnisková vzdálenost čočky.

Změříme-li vzdálenosti a, a' můžeme vztahu (1) použít k určení ohniskové vzdálenosti f.

Platí

$$f = \frac{aa'}{a + a'}. \tag{2}$$

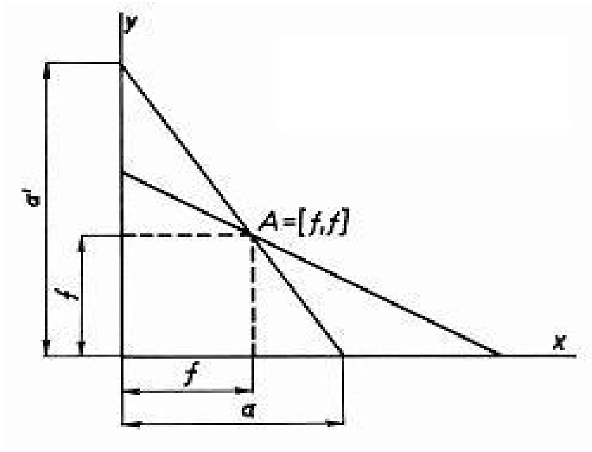
Ohniskovou vzdálenost spojky lze místo výpočtu stanovit také graficky (obrázek 4). Čočkovou rovnici (1) můžeme přepsat na tvar

$$\frac{f}{a} + \frac{f}{a'} = 1, \tag{3}$$

který je podobný úsekové rovnici přímky s úseky a, a' na souřadných osách.

Naneseme tudíž délku a na osu x, délku a' na osu y a spojíme takto získané body přímkou (obrázek 4). Sestrojíme-li několik takových přímek pro různé dvojice a a a', budou se všechny protínat v bodě A o souřadnicích $A(f,f)$.

4. Měření ohniskové vzdálenosti z bočního zvětšení



Obrázek 4: Grafická metoda pro řešení čočkové rovnice

Boční zvětšení β je definováno jako poměr velikosti obrazu y' k velikosti předmětu y. Z obrázku 3 plyne, že pro zvětšení β platí vztah

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a}. \tag{4}$$

Ze vztahů (2) a (4) dostaneme pro ohniskovou vzdálenost

$$f = \frac{a'}{1+\beta} = a\frac{\beta}{1+\beta}. \tag{5}$$

Zvětšení β určíme změřením předmětu a jeho obrazu. Prakticky se jako předmět používá osvětlované průsvitné milimetrové měřítko, které zobrazujeme na matnici opatřenou milimetrovým dělením.

Z (5) plynou pro zvětšení β vztahy

$$\beta = \frac{f}{a-f} = \frac{a'-f}{f}, \tag{6}$$

kde a a a' jsou vzdálenosti předmětu a obrazu od příslušných kladných hlavních rovin, jejichž polohu v tlusté čočce (nebo systému čoček) obecně neznáme. Vytvořme tlustou čočkou ostrý obraz ve dvou vzdálenostech její kladné hlavní roviny od předmětu a_1 a a_2. Obrazy vzniknou ve vzdálenostech a_1' a a_2' příslušné druhé kladné hlavní roviny od stínítka. Podle (6) lze pro tento případ odvodit vztah

$$f = \frac{a_1' - a_2'}{\beta_1 - \beta_2} = \frac{\Delta a'}{\Delta \beta}. \tag{7}$$

Z (7) je tedy zřejmé, že lze ohniskovou vzdálenost tlustého optického systému určit ze změny zvětšení $\Delta\beta$ při posunu čočky o Δa', který lze měřit posuvem libovolného bodu na optické soustavě.

5. Určení ohniskové vzdálenosti Besselovou metodou

Tato metoda je založena na souměrnosti vztahu (1), který zůstává v platnosti při záměně a a a'. Jestliže splňuje vzdálenost předmětu od stínítka e (obrázek 5) podmínku e > 4f, existují dvě polohy čočky I a II, ve kterých se na stínítku vytvoří ostrý obraz předmětu (v poloze I zvětšený a v poloze II zmenšený).

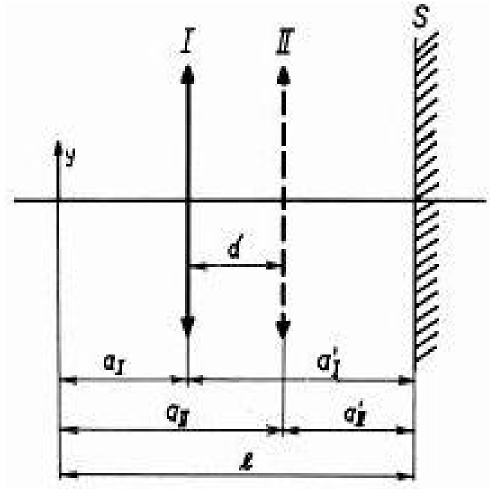
Při měření nastavíme předmět y a stínítko S na pevnou vzdálenost $e > 4f$ (f určíme odhadem). Spojnou čočkou umístěnou mezi nimi posunujeme tak, abychom na stínítku dostali ostrý obraz předmětu, což dosáhneme při dvou polohách čočky. Změřením e a d vypočítáme ohniskovou vzdálenost ze vzorce

$$f = \frac{e^2 - d^2}{4e}. \tag{8}$$

Výhodou této metody je, že při ní není třeba měřit vzdálenosti předmětu a obrazu od čočky. Přesná měření těchto vzdáleností jsou v praxi obtížná. Metoda se také hodí pro určování ohniskových vzdáleností tlustých čoček.

6. Určení poloh ohniskových rovin tlustých čoček

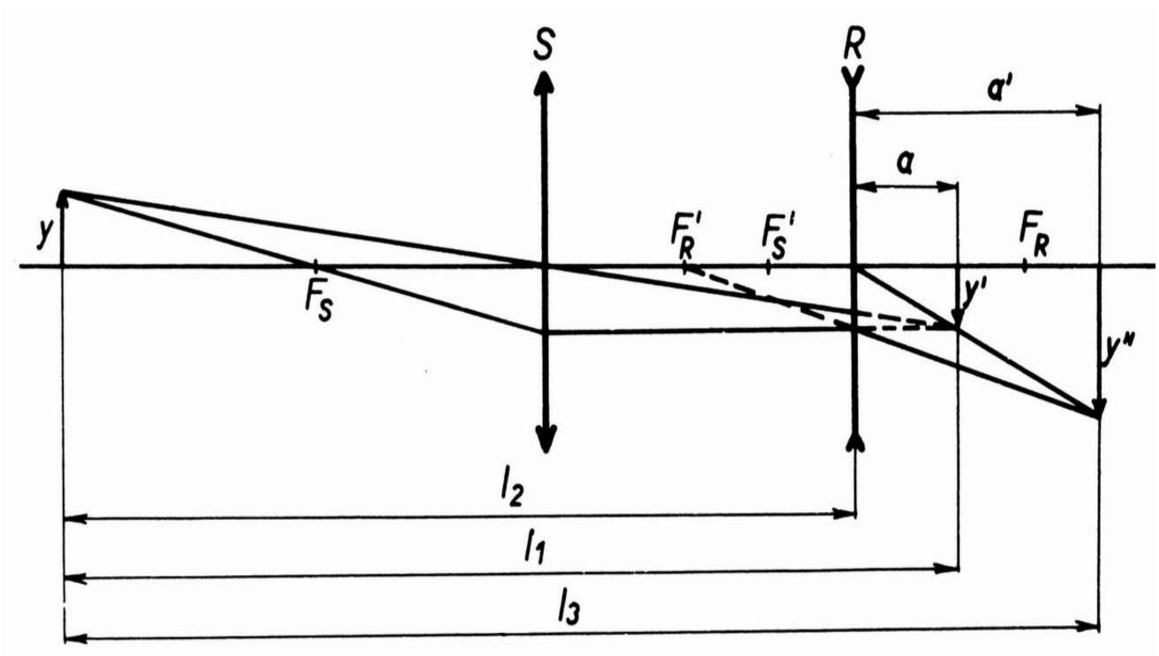
K tomuto měření využijeme poznatku, že předmět ležící v ohniskové rovině optické soustavy se zobrazí do nekonečna (tj. rovnoběžným svazkem paprsků). Budeme-li takový svazek pozorovat pomocným dalekohledem zaostřeným na nekonečno uvidíme ostrý obraz předmětu.



Obrázek 5: Určení ohniskové vzdálenosti Besselovou metodou

C. Stanovení ohniskové vzdálenosti tenké rozptylky

Rozptylka zobrazuje skutečný předmět virtuálně, vytváří jeho neskutečný (zdánlivý) obraz, který nelze na stínítku zachytit. Naproti tomu vytváří skutečný obraz virtuálního předmětu. Abychom mohli použít předešlých metod pro tenkou rozptylku, vytvoříme nejprve spojkou S (obrázek 6) reálný obraz y' předmětu y a



Obrázek 6: Měření ohniskové vzdálenosti rozptylky

použijeme ho jako předmětu pro měřenou rozptylku R. Rozptylka vytvoří nový obraz y'', který bude na stejné straně jako předmět y' (viz obrázek 6). Čočková rovnice pro tenkou rozptylku má tvar

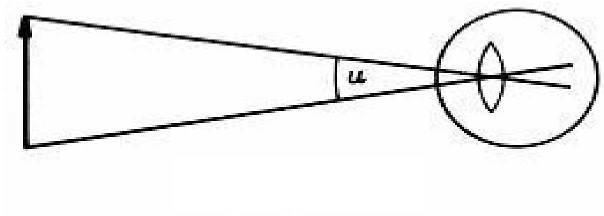
$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = -\frac{1}{f}, \tag{9}$$

kde a', a jsou vzdálenosti obrazu a předmětu (brané absolutně), f je absolutní hodnota ohniskové vzdálenosti rozptylky.

Při měření vytvoříme spojkou S reálný, poněkud zmenšený obraz y' předmětu y. Obraz y' zachytíme na stínítku a odečteme polohu stínítka l_1. Potom vsuneme mezi spojku a obraz y' měřenou rozptylku R. Stínítko pak posuneme do takové polohy, aby vznikl ostrý obraz y'' předmětu y' a opět odečteme polohu stínítka. Dostaneme tak hodnotu l_3. Změříme-li ještě vzdálenost l_2, můžeme z hodnot l_1, l_2, a l_3 vypočítat vzdálenosti obrazu (y'') a předmětu (y') od tenké rozptylky, tj. vzdálenosti a', a. Z rovnice (9) pak vypočítáme ohniskovou vzdálenost rozptylky.

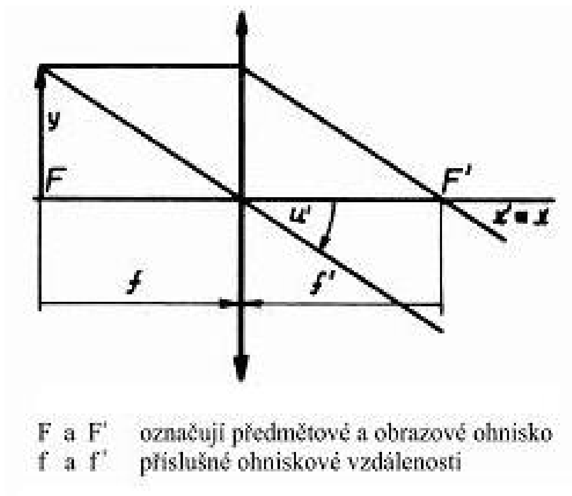
E. Optické přístroje

Optické přístroje pro vizuální pozorování slouží zpravidla k zvětšení zorného úhlu, pod nímž vidí oko pozorovaný předmět. Zorným úhlem je nazýván úhel, který svírají paprsky spojující krajní body předmětu se středem oční pupily (obrázek 7).



Obrázek 7: Zorný úhel předmětu

V mezním případě oko ještě rozliší dva body, jejichž zorný úhel je $60''$. Zorný úhel předmětu je malý buď proto, že je předmět malý, nebo proto, že je příliš vzdálený. V prvním případě používáme lupy a mikroskopu, ve druhém dalekohledu.



Obrázek 8: Zobrazení lupou při oku akomodovaném na ∞

a) Lupa

Každá spojná čočka může být použita jako lupa. Předmět musíme umístit mezi lupu a její ohnisko. Vytvoří se zvětšený, vzpřímený a zdánlivý obraz. Zvětšením lupy se nazývá poměr tangenty zorného úhlu u', pod nímž vidíme předmět lupou, k tangentě zorného úhlu u, pod nímž se oku jeví v konvenční vzdálenosti $l = 25$ cm, tj.

$$Z = \frac{tgu'}{tgu}. \tag{10}$$

Takto definované zvětšení závisí na akomodaci oka, kterým pozorujeme předmět pomocí lupy. Pod zvětšením lupy se obvykle rozumí zvětšení při oku akomodovaném na nekonečno.

Použitím obrázku 8 dostaneme

$$Z = \frac{y}{f} : \frac{y}{l} = \frac{l}{f}, \tag{11}$$

kde y označuje lineární velikost předmětu, f předmětovou ohniskovou vzdálenost lupy, l konvenční zrakovou vzdálenost (orientovanou kladně).

Orientace vzdáleností, os a úhlů je popsána v poznámce č. 1 na konci úlohy, podrobně pak např. v [1], str. 38 - 46.

Pozorujeme-li okem akomodovaným na konečnou vzdálenost, je zvětšení lupy větší než l/f. Zobrazení lupou při akomodaci oka na normální zrakovou vzdálenost ($l' = l$) je na obrázku 9. Dosadíme-li za $tg\ u$' do vztahu (10) podle obrázku 9, zřejmě dostaneme

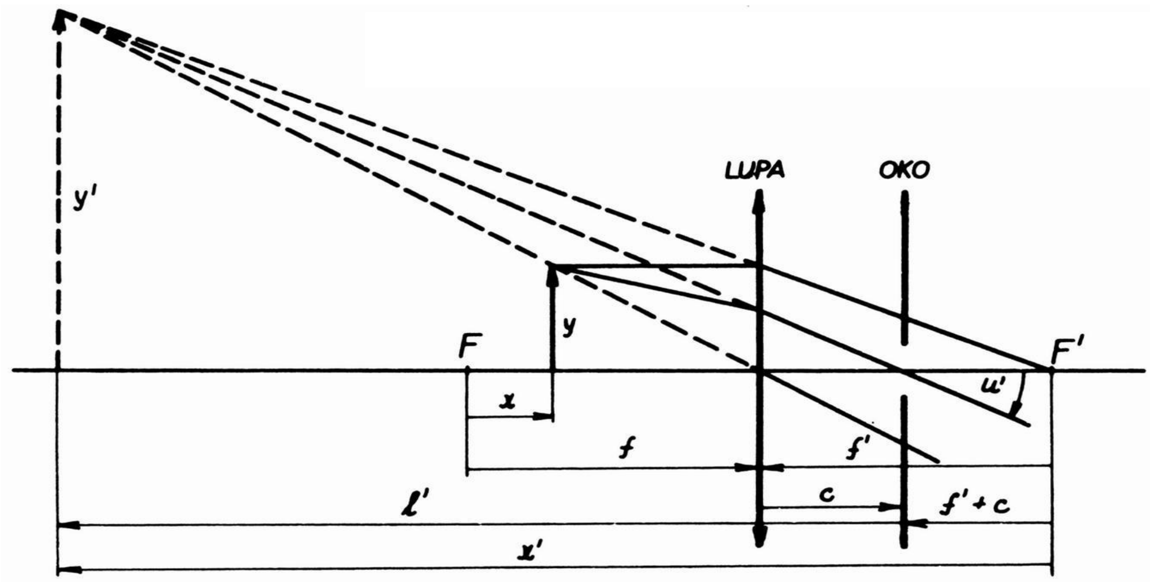
$$Z_l = \frac{y'}{l'} : \frac{y}{l} = \frac{y'}{y}. \tag{12}$$

Ze zobrazovacích rovnic vztažených k ohniskům (Newtonovy zobrazovací rovnice; [1], str. 43)

$$x.x' = f.f', y' = \frac{f}{x}y, y = \frac{f'}{x'}y' \tag{13}$$

pro příčné (boční) zvětšení β plyne:

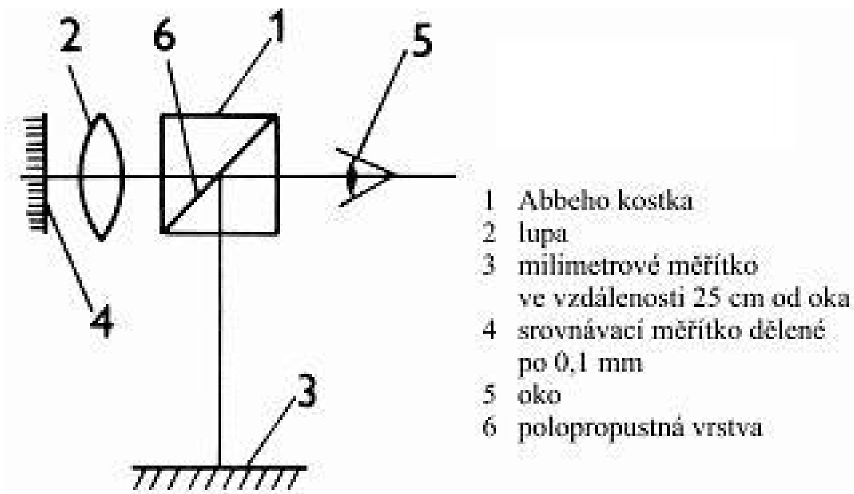
$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{x'}{f'}, \tag{14}$$



Obrázek 9: Zobrazení lupou při akomodaci oka na normální zrakovou vzdálenost

kde x' označuje vzdálenost obrazu od obrazové ohniskové roviny a x vzdálenost předmětu od předmětové ohniskové roviny. Dosadíme-li do této rovnice $x' = l' + f' + e$ (viz obrázek 8), dostaneme

$$Z_l = \frac{l' + e}{f} + 1. \tag{15}$$



Obrázek 10: Měření zvětšení lupy

Měření zvětšení provedeme přímou metodou. Ve vzdálenosti $l = 25$ cm od pupily oka umístíme milimetrové měřítko. Pozorovaný předmět (srovnávací měřítko) dáme do takové vzdálenosti od lupy, abychom jeho obraz viděli ostře současně se srovnávacím měřítkem. Mezi oko a lupu umístíme Abbeho kostku (obrázek 10), která nám umožní současně pozorovat zvětšený obraz srovnávacího měřítka i milimetrové měřítko.

Zvětšení lupy při akomodaci oka na normální zrakovou vzdálenost je potom dáno poměrem velikostí obou stupnic.

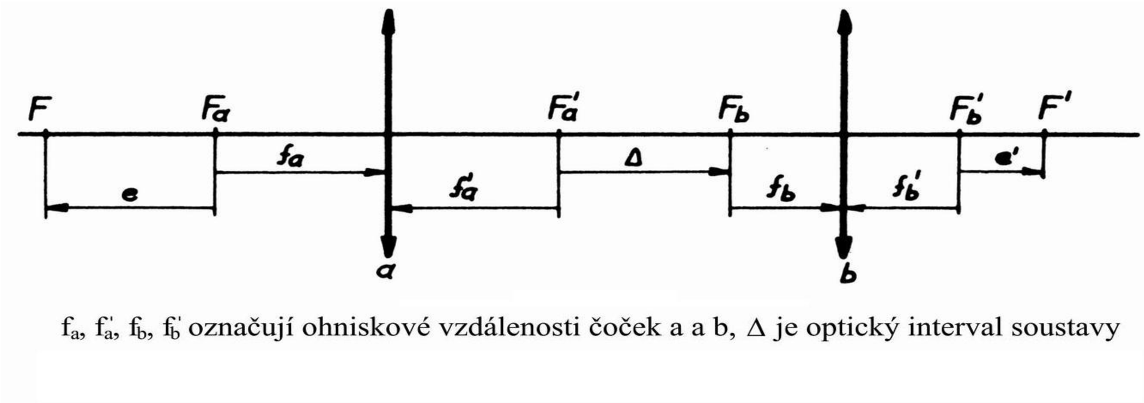
Můžeme-li zanedbat vzdálenost oka od středu čočky, můžeme z rovnice (15) vypočítat obrazovou ohniskovou vzdálenost lupy.

b) Mikroskop

Mikroskop se skládá ze dvou spojných soustav - objektivu a okuláru. Objektiv vytvoří skutečný, zvětšený a převrácený obraz, který pozorujeme okulárem jako lupou. Předmět klademe do větší vzdálenosti od objektivu, než je jeho ohnisková vzdálenost. Okulár bývá sestaven ze dvou čoček, z nichž bližší k oku se nazývá oční, vzdálenější pak polní (nebo kolektiv). V našem případě je to okulár Ramsdenův. V dalším budeme okulár považovat za centrovanou soustavu dvou tenkých čoček.

Centrovaná soustava dvou čoček má výsledná ohniska, jejichž poloha je určena vzdálenostmi e a e' (viz obrázek 11).

$$e' = \frac{f_b f_b'}{-\Delta} = \frac{f_b^2}{\Delta}, \tag{16}$$



Obrázek 11: Soustava dvou tenkých čoček f_a, f'_a, f_b, f'_b označují ohniskové vzdálenosti čoček a a b, Δ je optický interval soustavy

$$e = \frac{f_a f'_a}{\Delta} = -\frac{f_a^2}{\Delta}. \tag{17}$$

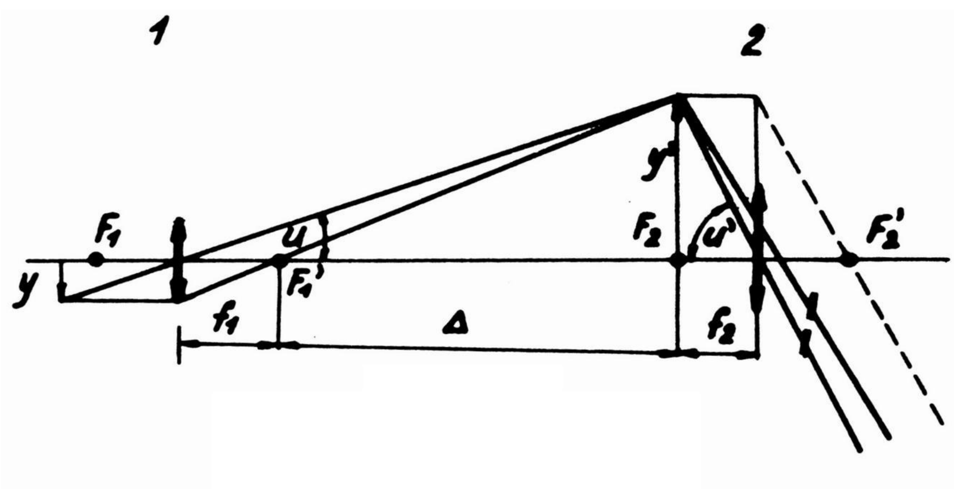
Výsledné ohniskové vzdálenosti f a f' jsou

$$f = -\frac{f_a f_b}{\Delta}, f' = -f. \tag{18}$$

Vztahy (16), (17) a (18) jsou odvozeny např. v [1], str. 47 až 49.

Zvětšení mikroskopu. Chod paprsků v mikroskopu je zřejmý z obrázeku 12, z něhož plyne pro zvětšení předmětu y objektivem

$$Z_l = \frac{y'}{y} = \frac{\Delta + f_1}{f_1}. \tag{19}$$



Obrázek 12: Chod paprsku v mikroskopu (1 - objektiv, 2 - okulár)

Protože $\Delta \quad >> f_1$, lze psát

$$Z_1 = \frac{\Delta}{f_1}. \tag{20}$$

Zvětšení okuláru je pak podle (11) rovno

$$Z_2 = \frac{l}{f_2}. \tag{21}$$

Výsledné zvětšení mikroskopu je

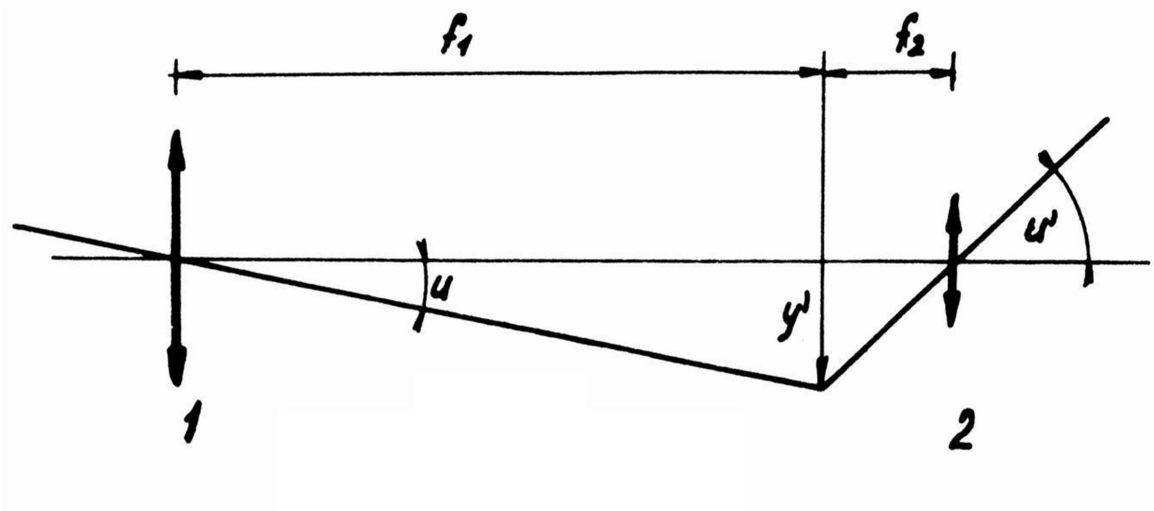
$$Z = Z_1 Z_2 = \frac{\Delta l}{f_1 f_2}. \tag{22}$$

Zvětšení mikroskopu lze určit buď výpočtem, známe-li ohniskové vzdálenost objektivu, okuláru a velikost optického intervalu Δ, nebo je možno zvětšení změřit podobně jako u lupy. Jako předmět použijeme jemně dělenou stupnici, tzv. objektivový mikrometr (dělení po 0,01 mm) a mezi oko a okulár umístíme Abbeho kostku (nebo skloněné polopropustné zrcátko), která nám umožní současně pozorovat zvětšený obraz objektivového mikrometru a milimetrového měřítka, umístěného ve vzdálenosti 25 cm od oka. Zvětšení plyne opět z poměru velikostí obou stupnic.

c) Dalekohled

Dalekohled slouží k zvětšení zorného úhlu, pod nímž vidíme vzdálené předměty. Sestává nejčastěji ze dvou spojných soustav, objektivu a okuláru. Objektiv vytvoří ve své ohniskové rovině obraz vzdáleného předmětu, který pozorujeme okulárem jako lupou.

Uvažujeme-li dalekohled jako centrovanou soustavu dvou čoček, je její optický interval $\Delta = 0$, následkem čehož $e' \to \infty$; $e \to \infty$; $f \to \infty$. Paprsky vstupující do takové soustavy rovnoběžně z ní vystupují zase rovnoběžně.



Obrázek 13: Chod paprsků v dalekohledu (1 - objektiv, 2 - okulár)

Zvětšení dalekohledu lze nejjednodušeji vyjádřit na základě poměru zorných úhlů. Z obrázku 13 plyne

$$u \approx tgu = \frac{y'}{f_1} \quad ; \quad u' = \frac{y'}{f_2} \quad ; \tag{23}$$

$$Z = \frac{u'}{u} = \frac{f_1}{f_2}. \tag{24}$$

Pozorujeme-li dalekohledem blízký předmět, ležící ve vzdálenosti a od objektivu, vznikne jeho obraz ve vzdálenosti a' od objektivu, která je větší než ohnisková vzdálenost.

Z čočkové rovnice plyne

$$a' = \frac{af_1}{a - f_1} \tag{25}$$

a zvětšení

$$Z' = \frac{a'}{f_2} = \frac{f_1}{f_2}\frac{a}{a - f_1} = Z\frac{a}{a - f_1}. \tag{26}$$

Zvětšení dalekohledu lze vyjádřit i poměrem průměrů jeho vstupní a výstupní pupily. Vstupní pupilou rozumíme průměr otvoru, jímž vstupuje světlo do dalekohledu. Obvykle je průměr vstupní pupily roven průměru objektivu. Optická soustava dalekohledu zobrazí vstupní pupilu D_1 tak, že z okuláru vystupuje svazek paprsků, jehož průměr D_2 určuje průměr výstupní pupily.

Pro zvětšení dalekohledu platí

$$Z = \frac{D_1}{D_2}. \tag{27}$$

Průměr výstupní pupily lze změřit tak, že celou plochu objektivu osvětlíme rovnoběžným svazkem paprsků, za okulárem zachytíme vystupující svazek na stínítko a změříme jeho průměr.

2 Pracovní úkoly

1. Určete ohniskovou vzdálenost spojné čočky +200 Besselovou metodou a ze znalosti polohy předmětu a jeho obrazu (minimálně pro 5 různých konfigurací; provést též graficky). V přípravě odvoďte rovnici č. 8, načrtněte chod paprsků pro obě metody a zdůvodněte nutnost podmínky e > 4f.

2. Změřte ohniskovou vzdálenost mikroskopického objektivu a Ramsdenova okuláru Besselovou metodou. V přípravě vysvětlete rozdíl mezi Ramsdenovým a Huygensovým okulárem.

3. Změřte zvětšení lupy při akomodaci oka na konvenční zrakovou vzdálenost. Stanovte z ohniskové vzdálenosti lupy zvětšení při oku akomodovaném na nekonečno.

4. Určete polohy ohniskových rovin tlustých čoček (mikroskopický objektiv a Ramsdenův okulár) nutných pro výpočet zvětšení mikroskopu.

5. Z mikroskopického objektivu a Ramsdenova okuláru sestavte na optické lavici mikroskop a změřte jeho zvětšení.

6. Ze spojky +200 a Ramsdenova okuláru sestavte na optické lavici dalekohled. Změřte jeho zvětšení přímou metodou a z průměru pupil. V přípravě vysvětlete rozdíl mezi Galileovým a Keplorovým dalekohledem.

7. Výsledky měření zvětšení mikroskopu a dalekohledu porovnejte s hodnotami vypočítanými z ohniskových vzdáleností.

3 Poznámky

1. Měření ohniskové vzdálenosti tenké spojky proveďte na čočce označené +200, kterou použijete k sestrojení dalekohledu. Jako předmětu použijte clonu s průřezem ve tvaru šipky. Obraz vytvořený čočkou zachycujte na matnici obrácenou matnou stranou k čočce.

2. Ohnisková vzdálenost závisí na indexu lomu, který je závislý na barvě světla (jeho vlnové délce). Proto při zobrazování složeným bílým světlem vzniká odchylka, které říkáme barevná vada, projevující se na zabarvení okrajů obrazu. Vidíte?

3. V pracovních úkolech č. 2 a 3 použijte jako předmětu stupnici o velikosti 5 mm dělenou po 0,1 mm (na čtvercové skleněné destičce).

4. V pracovním úkolu č. 2 použijte místo matnice pomocný mikroskop s malým zvětšením. Před jeho použitím musíte určit, v jaké vzdálenosti leží jeho předmětová rovina, tedy v jaké vzdálenosti od mikroskopu lze vidět předmět ostře. Tato vzájemná poloha matnice a předmětu odpovídá v podstatě $e = 0$.

5. V pracovním úkolu č. 4 vložíme předmět do ohniskové roviny, čímž se zobrazí do nekonečna, tj. rovnoběžným svazkem paprsků. Pozorujeme-li jej pomocným dalekohledem zaostřeným na nekonečno, uvidíme ostrý obraz předmětu. Poloha je vždy relativní veličina, tedy je třeba určit referenční rovinu, od níž budeme měřit vzdálenost ohniskové roviny.

6. V pracovním úkolu č. 3 použijeme jako lupu Ramsdenův okulár. Abbeho kostku umístíme mezi oko a okulár, což umožní současně pozorovat nezvětšené milimetrové měřítko umístěné v konveční zrakové vzdálenosti od oka a zvětšený obraz stupnice dělené po 0,1 mm. Uvědomte si, že zvětšení při akomodaci oka na konvenční zrakovou vzdálenost je jiná veličina než zvětšení při akomodaci oka na nekonečno.

7. V pracovním úkolu č. 5 změříme zvětšení obdobně jako pro lupu. Jako předmět použijeme jemně dělenou stupnici, tzv. objektivový mikrometr (stupnice o velikosti 1 mm dělená po 0,01 mm), jako srovnávací stupnici použijeme milimetrové měřítko.

8. K sestavení dalekohledu použijte krátké pomocné optické lavice a trojnožky. Jako předmětu použijte stupnici dělenou po 1 cm umístěnou svisle na stěně ve vedlejší místnosti.

Reference

[1] Klier: Úvod do fyziky, IV. Část, Optika (skriptum), SPN, Praha, 1954.

[2] Fuka, Havelka: Optika, SPN, Praha, 1961, str. 139 až 144, 154 až 177 a 254 až 320.

[3] Horák: Praktická fysika, SNTL, Praha, 1958, str. 515 až 521.

[4] Brož: Základy fyzikálních měření I, SPN, Praha, 1983, str. 496 až 528.

[5] Friš, Timoreva: Kurs fyziky III, NČSAV, Praha, str. 245 a 249 až 255.