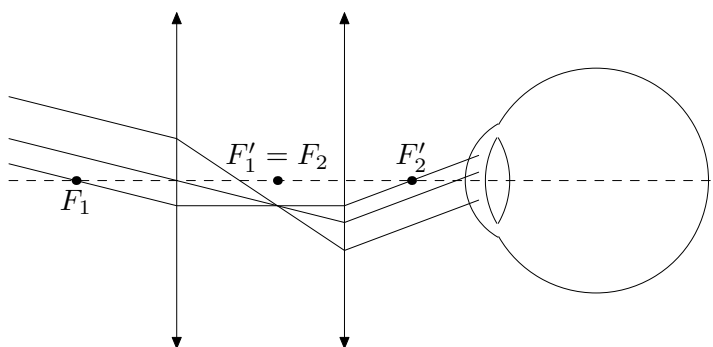


Světelný mikroskop

Jendoduchým příkladem dvoukomponentového optického systému je hvězdářský dalekohled, skládající se z objektivu a okuláru (viz Obr. 1). Jejich vzájemné postavení je přitom konstrukčně takové, že splývají příslušná předmětová a obrazová ohniska. Ze zobrazovací rovnice potom vyplývá, že alespoň v paraxiálním prostoru platí, že vstoupí-li do takového dalekohledu rovnoběžný svazek paprsků, také dalekohledu jako rovnoběžný svazek opustí. Změní se pouze průřez svazku; zvětšení přitom odpovídá poměru ohniskových vzdáleností objektivu a okuláru.

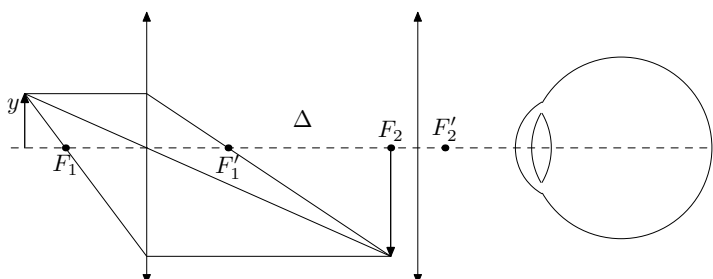


Obr. 1: Chod paprsků hvězdářským dalekohledem. Objektiv a okulár jsou spojeny svými ohnisky a paprsky nekonečně vzdáleného předmětu opouští dalekohled opět rovnoběžně.

Příkladem centrovaného dvoukomponentového optického systému je také mikroskop (viz Obr. 2). Jeho konstrukce se ovšem od hvězdářského dalekohledu liší, protože mikroskop má plnit jiné úkoly: vyvstává všude tam, kde potřebujeme zvětšit blízký předmět za účelem pozorování jemných detailů na tomto předmětu.

Teoreticky by na takový úkol měla stačit lupa s dostatečně silným zvětšením, ale v praxi se ukazuje, že při zvětšeníh kolem 20x již zobrazení lupou není použitelné (problémy se zorným polem a osvětlením pozorovaného předmětu) a do hry vstupuje mikroskop se svou sofistikovanější konstrukcí.

Přidáním druhé komponenty (objektiv mikroskopu) je dosaženo, že okulárem stále ještě pozorujeme jako lupou, ale nikoliv již předmět samotný, ale meziobraz, vytvořený objektivem, kterým již je proti samotnému předmětu zvětšený. V důsledku jsou maximální zvětšení prakticky dosažitelná mikroskopem řádově větší než při použití samotné lupy (až do hodnoty řádově 1000x).



Obr. 2: Chod paprsků mikroskopem. Obrazové ohnisko objektivu a předmětové ohnisko okuláru jsou vzdáleny o tubusovou vzdálenost Δ . V předmětové ohniskové rovině okuláru vytváří objektiv skutečný zvětšený (mezi)obraz, který pozorujeme okulárem jako lupou.

Z hlediska konstrukčního je klíčovým prvkem mikroskopu nastavení, kdy objektiv a okulár jsou vůči sobě

fixovány tak, že jejich příslušná ohniska jsou od sebe vzdálena o tzv. tubusovou vzdálenost Δ . Protože je tím znemožněno ostření systému vnitřními pochody, logicky se ostření provádí pohybem vzorku vůči mikroskopu jako celku.

Chceme-li nyní odvodit konkrétní vztahy, popisující chování mikroskopu, nezbyvá než naplnit definice uvedené výše. Předpokládáme objektiv s ohniskovou vzdáleností f_{ob} . Potřebujeme nyní, aby se obraz předmětu vytvořil v místě předmětové roviny okuláru, a tedy ve vzdálenosti $a' = f_{ob} + \Delta$ za objektivem. Do jaké vzdálenosti a pro to před objektiv umístít vzorek, určuje zobrazovací rovnice:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{f_{ob} + \Delta} = \frac{1}{f_{ob}},$$

(pro jednoduchost používáme znaménkovou konvenci, ve které jsou všechny veličiny kladné). Ponechme zatím hodnotu a číselně neurčenou a věnujme se velikosti obrazu, který takto vznikne. Podle definice zvětšení β pro naši zobrazovací soustavu platí

$$\beta_{ob} = \frac{y'}{y} = \frac{a'}{a} = \frac{f_{ob} + \Delta}{a}.$$

Dosadíme-li nyní z připravené zobrazovací rovnice, můžeme psát

$$\beta_{ob} = (f_{ob} + \Delta) \left(\frac{1}{f_{ob}} - \frac{1}{f_{ob} + \Delta} \right) = \frac{f_{ob} + \Delta}{f_{ob}} - 1 = \frac{\Delta}{f_{ob}}.$$

Vidíme, že především musíme volit $f_{ob} < \Delta$, aby došlo ke vzniku meziobrazu zvětšeného. Jak ukazujeme v rozboru lupy, při pozorování neakomodovaným okem (první metoda - za lupou vystupují rovnoběžné svazky) je tento obraz okulárem dále ještě d/f_{ok} krát zvětšen. Pro celkové zvětšení mikroskopu tedy můžeme napsat

$$\beta_{mik} = \beta_{ob}\beta_{ok} = \frac{\Delta}{f_{ob}} \frac{d}{f_{ok}}.$$

Fakt, že celkové zvětšení mikroskopu se vypočte jako součin zvětšení objektivu a okuláru umožňuje pohodlně konstruovat mikroskopy s výměnnými objektivy i okuláry - požadovaného zvětšení dosáhneme výběrem vhodného páru.

Údaj zvětšení (spolu s dalšími informacemi) bývá na objektivě (obvykle 20x, 50x, až 100x) a okulárech (obvykle 5x, 10x, 15x) vyznačen. U okulárů se jedná o poměrně bezpečnou informaci (konvenční zraková vzdálenost je jen jedna), u objektivů je vhodné vědět, jakou tubusovou vzdálenost výrobce k výpočtu zvětšení použil (bývá 150 mm až 250 mm).

Hodnoty zvětšení okulárů uvedené v předchozím odstavci diktuje skutečnost, že se stále jedná o lupy, takže jejich zvětšení musí být v rozmezí 4x až asi 20x. Uvedené hodnoty zvětšení objektivů odpovídají praxi, kdy pořizovat celková zvětšení vyšší než asi 1000x již nepřináší novou informaci (do hry silně vstupuje difrakce). Mírného zlepšení je možné dosáhnout aplikací vhodně uzpůsobeného kondenzoru.

Na závěr se z uvedeného můžeme vrátit k odhadu potřebné vzdálenosti a předmětu od objektivu. Pro mikroskop s $\Delta = 190$ mm má objektiv se zvětšením 50x ohniskovou vzdálenost $f_{ob} = 3.80$ mm (což odpovídá mohutnosti asi 263 dpt, a značně tedy převyšuje lomivou sílu lidského oka). Úpravou zobrazovací rovnice dostáváme

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{f_{ob}} - \frac{1}{f_{ob} + \Delta},$$

a pro naše hodnoty tedy

$$\frac{1}{a[\text{mm}]} = \frac{1}{3.80} - \frac{1}{3.80 + 190} = \frac{1}{3.87}.$$

To znamená, že obraz leží vně předmětového ohniska objektivu (pochopitelně, jinak by se nemohl vytvořit skutečný obraz v mezirovině pro okulár), ale v jeho těsné blízkosti - pouhých 70 μm před ním.

Co se týká praktického nastavení pozorovacího místa, mozek ve spojení s okem vše zařizuje sám od sebe: zkoušíme posouvat vzorek blíž a dále k objektivu tak dlouho, dokud se nevytvoří ostrý obraz, který se nám pohodlně pozoruje. V pohodlnosti pozorování ostrého obrazu je skryt požadavek na neakomodované oko, který vyžaduje rovnoběžné svazky vystupující z okuláru, a to zpětně vyžaduje námi vypočtenou polohu vzorku vůči objektivu, která je tímto automaticky správně nastavena.