Dalekohled

Dalekohled představuje jeden ze základních typů dvoukomponentového optického přístroje, v tomto případě se komponenta blíže pozorované scéně nazývá objektiv, a komponenta blíže pozorovateli okulár. Obě komponenty jsou centrovány na společné optické ose ve vzájemné vzdálenosti l. V případě hvězdářského dalekohledu je tato vzdálenost zvolena tak, aby dalekohled zobrazoval rovnoběžné svazky (ze vzdálených objektů) opět na rovnoběžné svazky (pro možnost pozorování neakomodovaným okem), v případě triedrů je vzdálenost l nastavitelná, tak aby mohly být zaostřeny různě vzdálené objekty.

Z hlediska činnosti dalekohledu není podstatná vnitřní struktura objektivu ani okuláru, ale pouze jejich ohniskové vzdálenosti f_{ob} a f_{ok}. Z hlediska příslušných mohutností φ_{ob}, φ_{ok} je objektiv vždy spojka, kdežto okulár může být rozptylka (Galileův dalekohled) nebo spojka (Keplerův dalekohled).

Uvažujme tedy matice pro objektiv a okulár jako tenké čočky, oddělené vzduchovou mezerou. Celková matice dalekohledu je pak

$$\mathbf{M} = \mathbf{\Phi}_{\mathrm{ok}}\,\mathbf{T}\,\mathbf{\Phi}_{\mathrm{ob}} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\varphi_{\mathrm{ok}} & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & l \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ -\varphi_{\mathrm{ob}} & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1-\varphi_{\mathrm{ob}} l & l \\ -\varphi_{\mathrm{ok}}-\varphi_{\mathrm{ob}}+\varphi_{\mathrm{ob}}\varphi_{\mathrm{ok}} l & 1-\varphi_{\mathrm{ok}} l \end{pmatrix}$$

Při zobrazení

$$\begin{pmatrix} h' \\ n'\gamma' \end{pmatrix} = \mathbf{M} \begin{pmatrix} h \\ n\gamma \end{pmatrix}$$

požadavek transformace rovnoběžného svazku opět na svazek rovnoběžný představuje podmínku γ' nezávisí na h, v našem případě tedy

$$-\varphi_{\mathrm{ok}} - \varphi_{\mathrm{ob}} + \varphi_{\mathrm{ob}}\varphi_{\mathrm{ok}} l = 0,$$

což po úpravě vede na

$$l = \frac{1}{\varphi_{\mathrm{ob}}} + \frac{1}{\varphi_{\mathrm{ok}}} = f_{\mathrm{ob}} + f_{\mathrm{ok}}.$$

Pro hvězdářský dalekohled tedy platí, že jeho délka je rovna součtu ohniskových vzdáleností jeho komponent. Jinými slovy, v hvězdářském dalekohledu splývá obrazové ohnisko objektivu s předmětovým ohniskem okuláru. Je ovšem samozřejmě třeba pamatovat, že v případě rozptylného okuláru je $f_{\mathrm{ok}}<0$ a rozptylka má oproti spojce zaměněny předmětový a obrazový prostor (a tedy i příslušná ohniska).

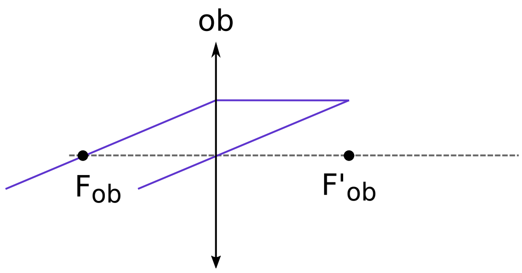
Za výše stanovené podmínky pak z druhé rovnice zůstává

$$n'\gamma' = (1 - \varphi_{\mathrm{ok}} l) n\gamma,$$

odkud lze určit zvětšení dalekohledu, v případě ponoření do vzduchu ($n'=n=1$) jako

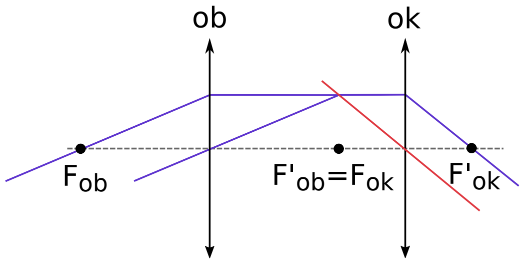
$$\frac{\gamma'}{\gamma} = 1 - \frac{l}{f_{\mathrm{ok}}} = 1 - \frac{f_{\mathrm{ob}} + f_{\mathrm{ok}}}{f_{\mathrm{ok}}} = -\frac{f_{\mathrm{ob}}}{f_{\mathrm{ok}}}.$$

Úhlové zvětšení hvězdářského dalekohledu je tedy dáno poměrem ohniskových vzdáleností objektivu a okuláru; přitom Galileův dalekohled ($f_{\mathrm{ok}}<0$) nebude převracet, kdežto Keplerův ($f_{\mathrm{ok}}>0$) ano.

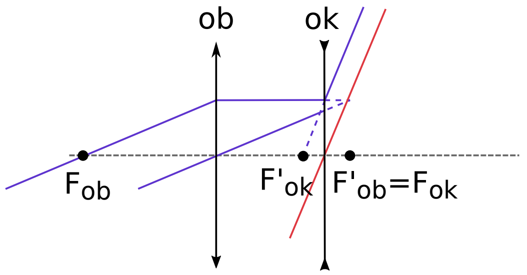


Z hlediska chodu paprsků objektiv obou typů hvězdářského dalekohledu vytvoří z dopadajícího rovnoběžného svazku ostrý obraz ve své obrazové ohniskové rovině, jak se můžeme snadno přesvědčit paprskovou konstrukcí. Rovnoběžný svazek samozřejmě neznamená přímo svazek osový a musíme tedy konstrukci provést pro svazek obecně nakloněný. V takovém případě se využijí paprsky jdoucí předmětovým ohniskem a středem čočky, paprsek rovnoběžný s optickou osou není k dispozici.

Další konstrukce se liší podle toho, zda se jedná o dalekohled Galileův, či Keplerův.



V konstrukčně jednodušším případě Keplerova dalekohledu tvoří vzniklý meziobraz vytvořený objektivem skutečný předmět pro okulár. Ani v tomto případě však nemáme dostatek paprsků, abychom mohli konstrukci provést přímo: pro průchod okulárem můžeme využít pouze paprsek rovnoběžný s osou, paprsek jdoucí středem objektivu není použitelný. Abychom konstrukci dokončili, musíme vytvořit paprsek, procházející středem okuláru. Protože víme, že jistě bude procházet obrazem vytvořeným objektivem, je jeho pozice jednoznačná (i když jeho chod objektivem nedokážeme zkonstruovat). Oba paprsky jsou za okulárem rovnoběžné, jak se očekávalo, a obraz je převrácený.



V případě Galileova dalekohledu slouží skutečný obraz vytvořený objektivem jako virtuální předmět pro okulár. Pro konstrukci můžeme přímo využít opět pouze parsek přicházející k okuláru rovnoběžně s optickou osou, vzhledem k poloze obrazového ohniska rozptylky ovšem lomený paprsek zdánlivě vychází z bodu před ní a skutečný je až za okulárem. Podobně jako v předchozím případě si dále v konstrukci musíme pomoci tvorbou paprsku procházejícího vrcholem čočky. Jeho poloha je opět jednoznačně dána, protože musí projít místem, kde objektiv vytváří svůj obraz. I v tomto případě jsou oba paprsky za okulárem rovnoběžné, obraz však není převrácený.

Na závěr můžeme oba hlavní designy dalekohledů porovnat:

> Předně, při dodržení znaménkových konvencí jsou výše odvozené vztahy platné současně pro oba typy dalekohledu.
>
> Galileův dalekohled: vývojově starší, kratší design, nepřevrací
> Keplerův dalekohled: vývojově mladší, delší design, převrací

Zdálo by se, že všechny výhody jsou na straně Galileova dalekohledu, přesto tomu tak není: kvalitou obrazu jej Keplerův design předčí a z hlediska výroby čoček je snazší brousit spojky než rozptylky (i když toto hledisko je dnes spíše historického rázu), zvláště pokud požadujeme vyšší zvětšení dalekohledu.

V reálu se tak Galileův design dnes využívá pouze u divadelních kukátek, kdežto triedry se konstruují v Keplerově designu, přičemž potřebného převrácení obrazu je dosaženo pomocí převracecích hranolů, často zároveň se zkrácením délky tubusu dalekohledu.