

## Teleskopie – díl druhý (Zkoušení optického systému astronomických dalekohledů)

Dalekohled je přístroj, který měl pro rozšiřování poznatků o stavbě vesmíru neobyčejný význam. Jediným zdrojem informací o kosmických tělesech byl po dlouhé staletí jejich světlo přicházející na Zemi v oblasti viditelného spektra. Dnes astronomové dokáží zachytit a analyzovat i jiné druhy elektromagnetického záření, čímž se obzory našeho poznání velmi zásadně rozšířily.

Amatérští hvězdáři se však v převážné většině případů zaměřují na pozorování vesmíru v oblasti viditelného záření a proto optické dalekohledy zůstávají věrnými pomocníky při jejich cestách za tajemstvími kosmu. Říká se, že každý dalekohled má své ale. Je však jisté, že v každém případě se musí jednat o dalekohled dobré kvality. Je tedy proto dobré vědět, zda je váš dalekohled dobrý, případně zda jeho výkon odpovídá rozměrům použité optiky. Přístroj mající závady vyplývající z nekvalitní optiky, nebo z jejího nepřesného uložení, nemůže dobře sloužit. Pokud již jste vlastníkem dalekohledu, který prokazuje známky nekvality, budete se snažit jeho slabá místa vylepšit a opravit. Cílem tohoto článku je poradit amatérským astronomům jak postupovat při základním zhodnocení dalekohledu. Nebudeme zde rozebírat složité způsoby kontroly kvality astronomických zrcadel, nebo refraktorických objektivů, které se používají v profesionální praxi. Jde nám o to, aby si na základě uvedených pokynů mohl každý amatér snadno vyzkoušet svůj přístroj přímo při pozorování vesmírných objektů.

### **Atmosférické a světelné podmínky při zkouškách**

Na přezkoušení našeho dalekohledu využijeme především hvězd. Podle obrazu hvězd v zorném poli dalekohledu lze posoudit jeho kvalita.

Pro naši zkoušku si však musíme vyhlédnout vhodné pozorovací místo. Mělo by se jednat o volné prostranství (park, zahrada, apod.). Nad těmito plochami bývá ovzduší klidné a homogenní. Klid atmosféry narušují plochy, které jsou přes den zahřívány sluncem na vyšší teplotu (střechy domů, asfaltové plochy, apod.). V noci se nad vyhřátými plochami chladný vzduch zahřívá, vytváří se vzduchové vrstvy s rozdílnými optickými vlastnostmi, ve kterých se optické paprsky rozptylují a lámou. Obrazy hvězd jsou při takovém pozorování neklidné, třesou se a zdánlivě se mění jejich barva. Okraj Měsíce a detaily na jeho povrchu se též neustále chvějí, obraz působí dojmem pozorování přes vodní hladinu. Míchání nestejnorodých vrstev vzduchu nastává též mezi vyhřátou místností a venkovním prostorem. Proto nikdy neposuzujeme výkon dalekohledu při pozorování z okna.

Někdy pozorujeme velké chvění hvězd v zorném poli dalekohledu i tehdy, kdy v blízkosti dalekohledu nejsou žádné objekty, které by vyvolávaly proudění vzduchu. Jindy je naopak při pozorování z téhož místa obraz hvězd klidný. Stav atmosféry totiž není vždy pro pozorovatele stejně příznivý. Musíme tedy uvážit, zda je situace vhodná pro uskutečnění zkoušek. Odhadnout stav atmosféry podle obrazu hvězd v dalekohledu může pomoci i obrázek č. 1.

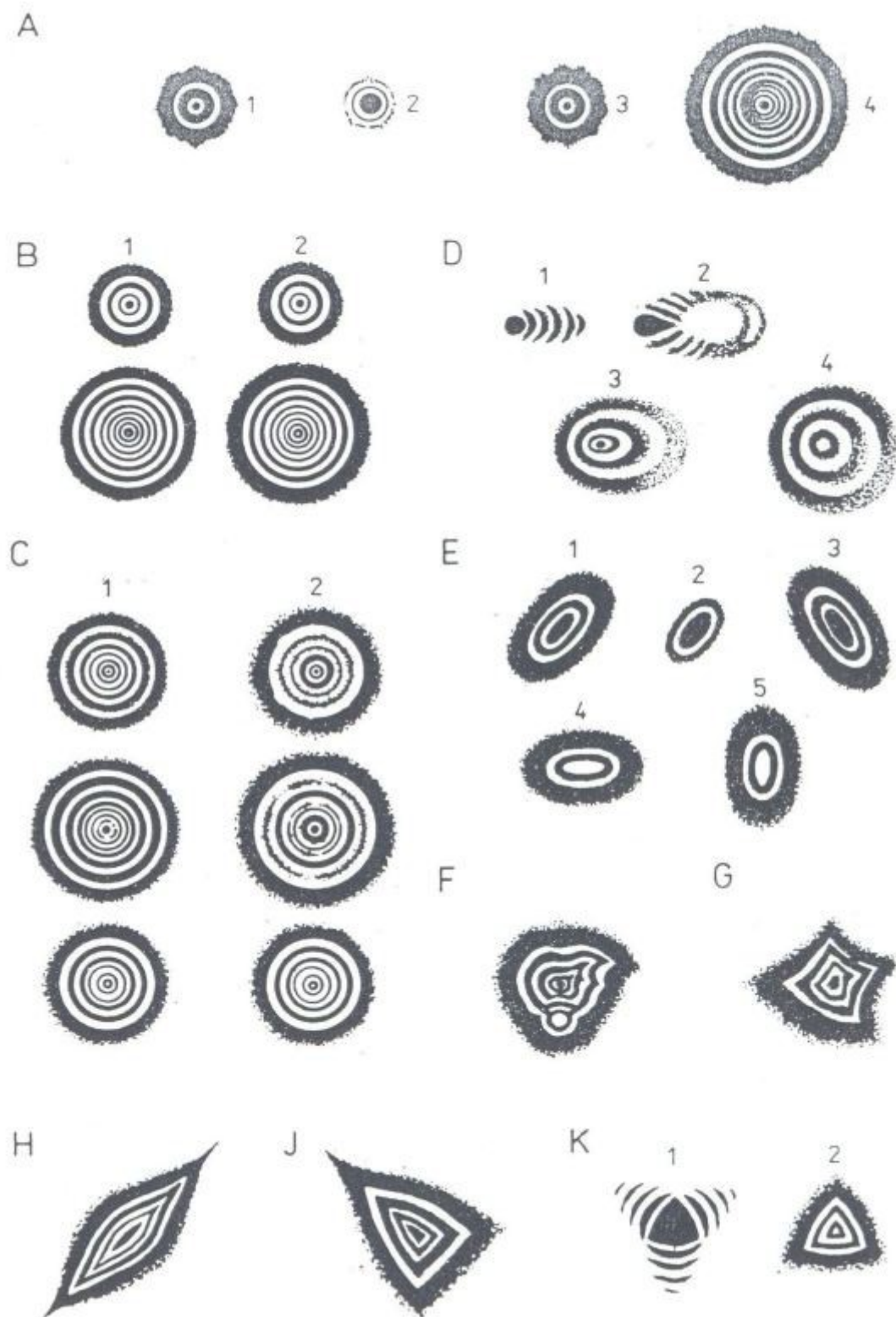


*Obr. 1: Obraz hvězdy v zorném poli dalekohledu: 1 - velmi špatná kvalita atmosféry; 5 - velmi dobrá kvalita atmosféry*

Pro naši zkoušku si vybereme hvězdu přibližně druhé magnitudy a použijeme zvětšení, které se rovná průměru objektivu v milimetrech, případně více. V případě, že při více pokusech v různých

dnech zůstává obraz hvězdy rozmazaný a nemá ani přibližně podobu malého disku obklopeného prstenci, je optika dalekohledu (především objektivu) nevalné kvality. Chyba též může být v nepřesně zhotovené mechanické části.

### Hodnocení podle ohybových jevů



Obr. 2: Ohybové jevy pozorování hvězdy v dalekohledu jako indikátor kvality objektivu  
(vysvětlení v textu)

Dobrý dalekohled zobrazuje při větším zvětšení hvězdu jako malý disk s fialovým okrajem - nejedná se však o skutečný zvětšený obraz hvězdy (obr. 2; A-2). Okolo se nachází tmavý prostor a potom následuje jemný světlý prstenec. Za dalším tmavým meziprostorem uvidíme ještě slabší prstenec a někdy se objeví ještě i třetí a čtvrtý (v případě, že jsou atmosférické podmínky příznivé).

Když posuneme okulár z polohy, kdy je zaostřený na nekonečno (fokální poloha) maličko směrem dopředu (interfokální poloha), nebo dozadu (extrafokální poloha), objevují se další koncentrické kruhy (obr. 2; A-1; A-3). Jejich jasnosti přibývá směrem od vnitřních směrem k vnějším. Poslední prstenec je nejširší a nejjasnější. Počet prstenců narůstá, když se vzdalujeme s okulárem z ohniskové roviny (obr. A-4). Když je objektiv dalekohledu dobré kvality, jsou ohybové jevy v extrafokální i interfokální poloze stejné.

V případě, že objektiv má velkou sférickou vadu, jeví se v extrafokální poloze okuláru jasnější vnitřní kruhy (obr. 2; B-2). Pokud je objektiv překorigovaný vzhledem na sférickou vadu, uvidíme v extrafokální poloze okuláru jasnější vnější kruhy (obr. 2; B-2). Při interfokální poloze okuláru nastane vždy zjasnění prstenců v opačné poloze.

Když se při vysouvání a zasouvání okuláru posouvá nejjasnější prstenec od středu k obvodu a zpět, svědčí to o přítomnosti zonální chyby ve výbrusu objektivu (obr. 2; C-1; C-2).

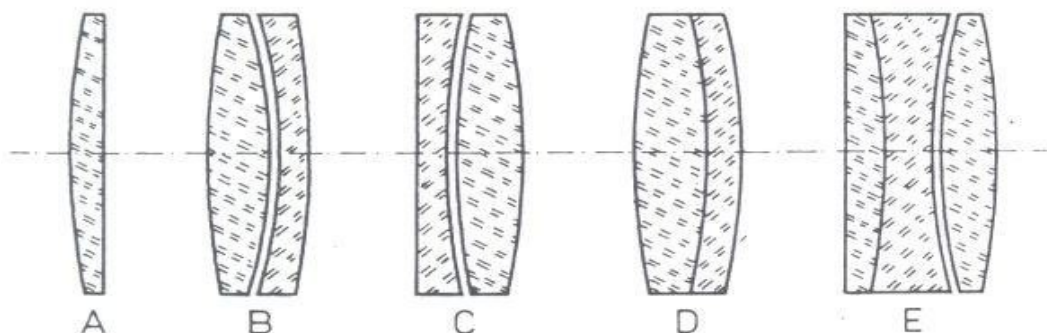
Mimo kruhových ohybových jevů se mohou vyskytovat i jiné tvary. Pokud je prstenec eliptický (obr. 2; E-1) a posouvání okuláru z intrafokální polohy přes fokální (obr. 2; E-2) do extrafokální polohy (obr. 2; E-3) se mění poloha dlouhé osy elipsy o 90°, má objektiv astigmatickou vadu (některá je poloha má místo kruhové sférického tvaru tvar eliptický).

Pokud osy okuláru a objektivu neleží na jedné přímce, vznikají různé ohybové tvary oválného a vícenásobné obrazy (obr. 2; D-1 - 4), které mohou být důsledkem nedokonalého zobrazení mimo optické osy (tzv. kóma, podle kometárního tvaru deformace ohybových prstenců).

Nepravidelné deformované ohybové útvary mohou být způsobené nerovnoměrnými vrstvami ve skle objektivu (obr. 2; F), napětím ve skle (obr. 2; G; H; J), nebo nerovnoměrným tlakem objímky objektivu (obr. 2; K) při špatném uložení optiky.

### Posouzení chromatické vady

Chromatická vada se projevuje nápadným barveným okrajem pozorovaných objektů (např. Měsíce), ve kterém mohou být zastoupené různé duhové barvy. Její příčinou je rozklad světla v čočkách objektivu. V největší míře se projevuje u jednoduchých objektivů refraktorů, které představuje jen jednoduchá spojná čočka. Kombinací vhodných druhů skla a tvaru čoček se snažíme, aby objektiv soustředil světlo různých barev do jednoho bodu ve svém ohnisku.



Obr. 3: Různé druhy refraktorických objektivů: A - jednoduchý objektiv; B - Fraunhoferův dvojitý achromát (Zeiss E); C - dvojitý poloachromát podle Sonnenfelda (AS, A); D - dvojitý tmelený achromát podle Clairota; E - trojčlenný apochromát podle Tyalora a Königa (Zeiss B)

Objektivy různých typů odstraňují tuto vadu v menší, nebo větší míře. U Fraunhoferových objektivů staršího typu zůstává měřitelná odchylka nejvíce v korekci fialového světla, následkem čehož se na pozorovaných objektech zobrazuje fialový kraj. Pokud použijeme kvalitní a moderní objektiv, barevná vada je jen nepatrná, nebo dokonce vůbec nepozorovatelná. Když použijeme ke konstrukci dalekohledu objektiv z fotoaparátu, nebo jiného optického přístroje se speciální postavením, často se projeví jejich zvláštní barevná korekce tím, že se objeví rušivé žluté, zelené, či červené okraje na pozorovaných objektech.

Dalekohled plní při svém používání tři hlavní úlohy:

1. Soustřeďuje mnohem víc světla než lidské oko; zvyšuje tak jasnost pozorovaných objektů, případně nám ukáže zdroje světla, které bychom pouhým okem nespatriili.
2. Zvětšuje pozorované předměty; tj. ukazuje nám je pod větším zorným úhlem.
3. Rozliší od sebe dva nepatrně vzdálené body, které volnému oku splývají.

### Zisk na hvězdných velikostech

Při další zkoušce dalekohledu se zaměříme na zjištění, jaké nejslabší hvězdy nám přístroj ještě ukáže. Pokud máme v dalekohledu spatřit ty nejslabší hvězdy, musíme pozorovat v tmavém prostředí, tedy v místě, kde nás neruší umělé světlo. Před vlastní zkouškou bychom měli vyčkat asi 30 minut ve tmě (aby se naše oči stačily přizpůsobit změněným světelným podmínkám a aby byly schopné vnímat i slabé světelné změny). V průběhu pozorování nerozsvěcujeme žádné světlo. Adaptace na tmu by se porušila a naše oči by ztratily potřebnou citlivost. Pro orientaci na mapě a v podobných případech zásadně používáme pouze slabý červený světelný zdroj.

V následující tabulce jsou zaznamenány údaje o tzv. zisku na hvězdných velikostech pro dalekohledy s různým průměrem objektivu.

<b>průměr objektivu (mm)</b>	10	20	30	50	60	80	100	200	300
<b>zisk na hvězdné velikosti (m)</b>	0,5	2,0	2,8	4,0	4,7	5,0	5,5	7,0	7,8

Při zkoušce si nejprve zjistíme, jaká je hvězdná velikost (m) nejslabší hvězdy, kterou ještě vidíme volným okem. K tomuto číslu připočteme příslušný údaj z výše uvedené tabulky, který vyhledáme podle průměru objektivu našeho dalekohledu. Tak dostaneme hvězdnou velikost nejslabších hvězd, které bychom měli ještě vidět našim přístrojem.

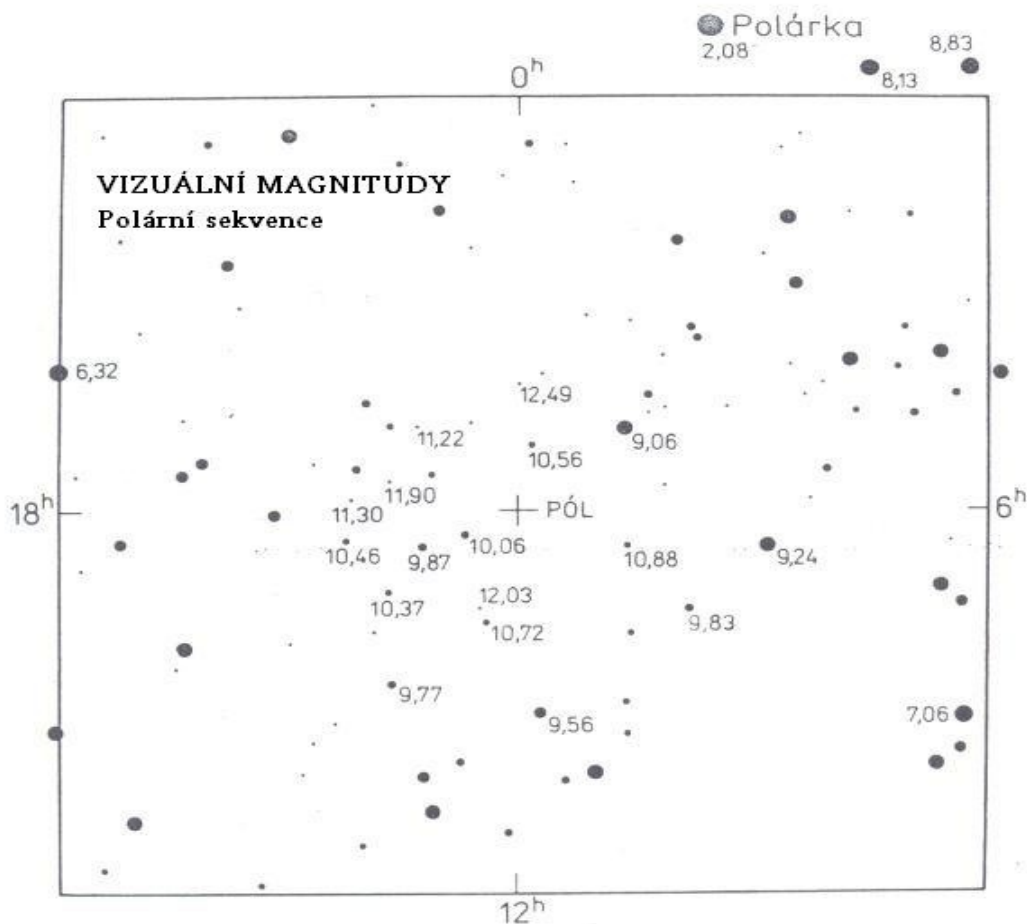
Hvězdnou velikost nejslabších hvězd, které jsou ještě za optimálních podmínek viditelné dalekohledem s objektivem o průměru D (cm) můžeme též vypočítat podle následující rovnice:

$$m = 2,5 + 5 \log D$$

*m* - hvězdná velikost (v magnitudách); *D* - průměr objektivu (v cm)

Rovnice bere v úvahu i ztráty světla, které nastávají v dalekohledu. Na každé skleněné ploše ztrácí světelný paprsek až 4% za své intenzity; při osmi plochách běžného refraktoru představuje výsledná intenzita přibližně 40% z původní intenzity. Pokud je optika pokryta tzv. antireflexní vrstvou, snižuje se ztráta o 1/2 až o 2/3. Moderní výrobci dnes však již vyvíjejí vrstvy i mnohem efektivnější. Dalekohledy s takovými vrstvami mají potom zisk na hvězdných velikostech větší.

Při zjišťování viditelnosti slabých hvězd bude nejlepší, když dalekohled namíříte na severní pól oblohy, na oblast kolem Polárky. Tato část nebe je zachycena na následující mapce:



Obr. 4: Okolí Polárky - severní polární sekvence; s údaji o hvězdných velikostech (mag.) jednotlivých hvězd

Můžeme však použít také jiná hvězdná pole se slabými hvězdami (Plejády, Hyády, Jesličky, apod.). Při těchto pozorováních používáme raději většího zvětšení, pozadí je tmavší a slabé hvězdy lépe vyniknou.

Pokud má dalekohled chromatickou, nebo geometrickou vadu, obraz hvězdy není bodový, rozptyluje se na větší (nebo menší) plochu. Intenzita je pak nižší, než intenzita bodového obrazu té samé hvězdy, a proto slabší objekty vůbec neuvidíme. Dalekohled pak tedy má horší zisk na hvězdných velikostech, než jaký vyplývá z jeho průměru objektivu.

### Zvětšení dalekohledu

Významnou schopností dalekohledu je přibližování pozorovaného objektu. Zvětšení, které dalekohledem dosáhneme je možné vypočítat jako poměr ohniskové vzdálenosti objektivu a okuláru:

$$Z = f_{ob} : f_{ok}$$

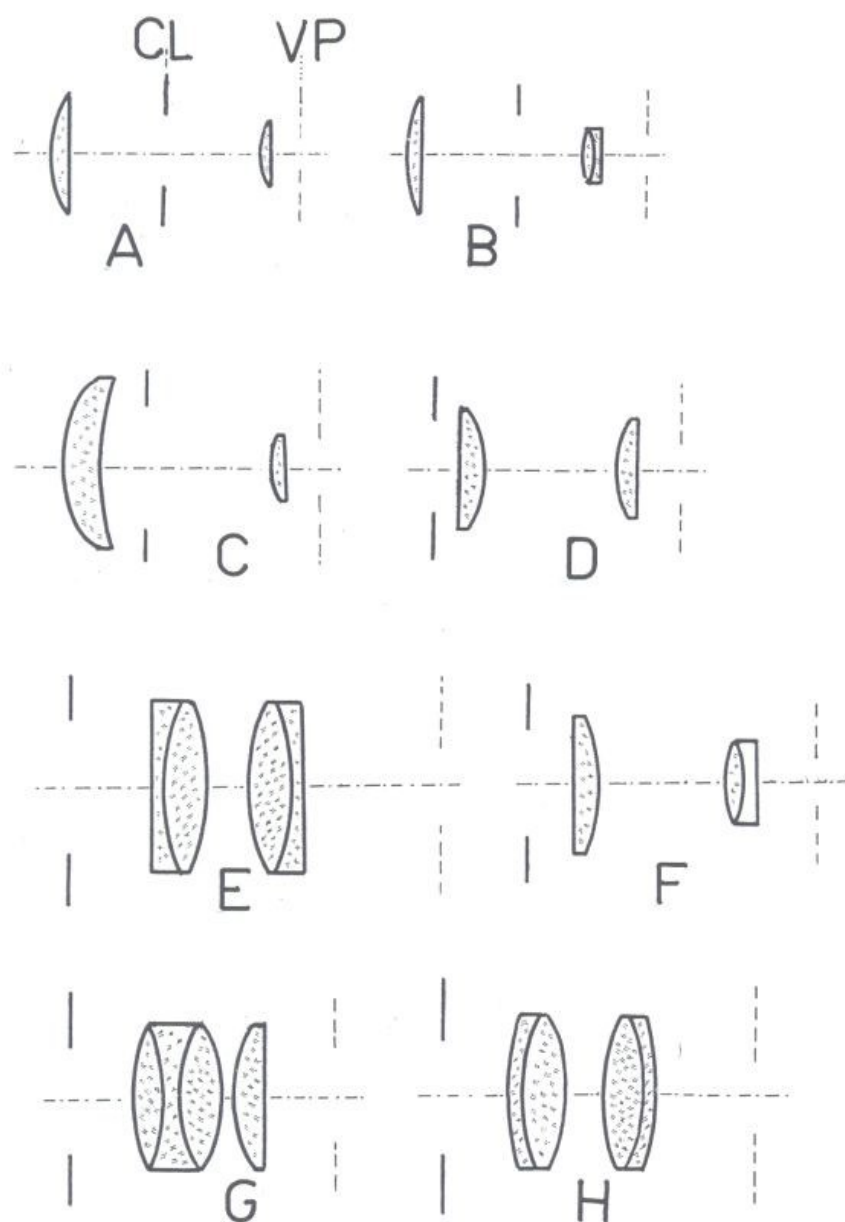
$Z$  - zvětšení;  $f_{ob}$  - ohnisková vzdálenost objektivu;  $f_{ok}$  - ohnisková vzdálenost okuláru

Jiná možnost určení zvětšení vyplývá z porovnání průměru objektivu a průměru výstupní pupily:

$$Z = D : d$$

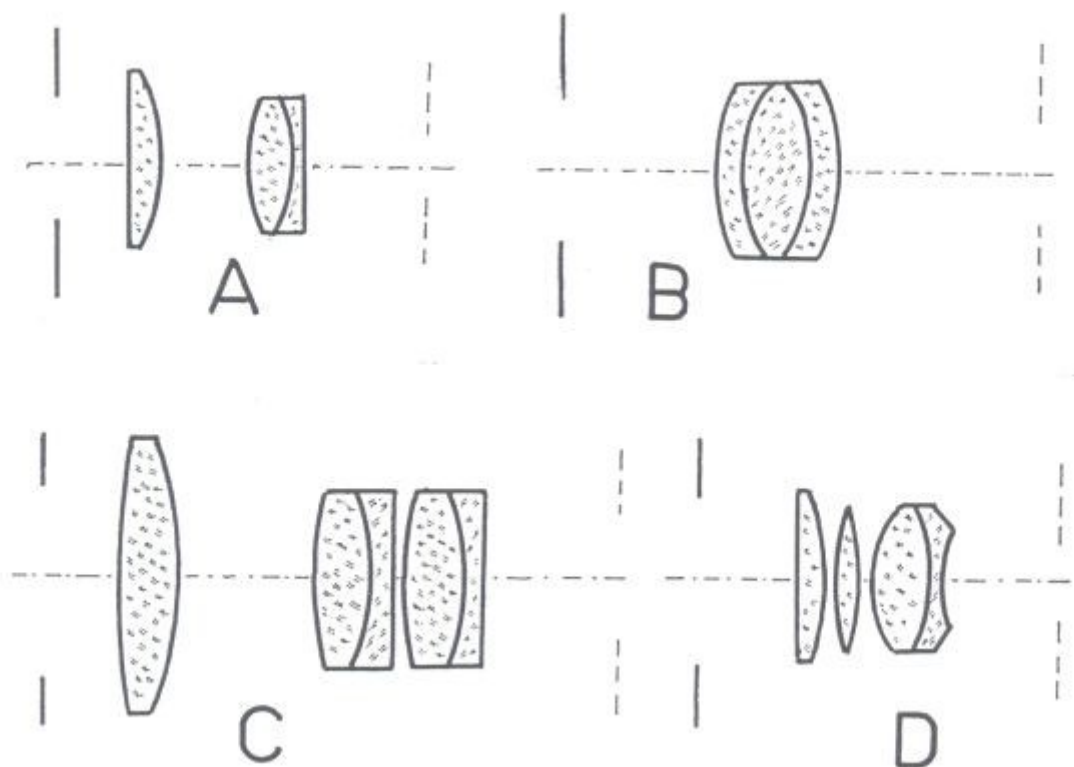
$Z$  - zvětšení;  $D$  - průměr objektivu;  $d$  - průměr výstupní pupily

Dobrý dalekohled by měl dávat ostré a jasné obrazy planet a Měsíce až do zvětšení, které se rovná přibližně dvojnásobku průměru objektivu v milimetrech (2D) - samozřejmě za velmi dobrých atmosférických podmínek. U méně kvalitních objektivů se při větších zvětšeních silně projevuje chromatická vada i vady geometrické, protože je okulár zvětšuje spolu se zvětšeným objektem. Objektivy s velkou světelností (u kterých se ohnisková vzdálenost rovná 4 - 5 násobku průměru objektivu; např. triedr) jsou většinou určeny pro malé zvětšení a nemůžeme od nich při větším zvětšení očekávat kvalitní obraz jako od přístroje stejného průměru se světelností 1:10 až 1:17. Světelné objektivy používáme např. u hledačů komet, kde je vhodné zvětšení odpovídající 1:6 průměru objektivu v milimetrech, nebo jen o málo větší. Toto tzv. normální zvětšení je vhodné při pozorování plochých objektů jako jsou komety, mlhoviny, hvězdokupy, apod. Velká zvětšení (až 2,5 D) se používají pro pozorování planet, detailů na povrchu Měsíce, nebo pro sledování dvojhvězd.



Obr. 5: Základní typy astronomických okulárů; A - Huygensův (CL - clona, VP - vstupní pupila); B - periplanatický okulár; C - Mittenzwyyův okulár; D - Ramsdenův okulár; E - symetrický okulár; F - Kellnerův okulár; G - Abbeho ortoskopický okulár; H - Plösslův ortoskopický okulár

Kvalita obrazu záleží i na kvalitě použitého okuláru. Pro malá zvětšení vystačíme s Huyhensovým nebo Ramsdenovým okulárem (obr. 5). Tyto okuláry se však nehodí pro krátkoohniskové světelné objektivy reflektorů. Zde dáváme přednost ortoskopickému okuláru, který lze též doporučit pro větší zvětšení u všech druhů přístrojů. Pro pozorovatele jemných detailů planet a Měsíce je vhodný monocentrický okulár, který nemá reflexy mezi čočkami. Pro pozorování rozsáhlých hvězdných polí (ale i komet, mlhovin, apod.) se používají širokoúhlé okuláry (Plössl, Erflov, apod.). Dalekohled by měl být podle svého speciálního určení vybaven i příslušným typem okuláru. I u menších přístrojů je dobré mít nejméně tři okuláry (D/6 - pro normální zvětšení; D - D/2 - pro střední zvětšení; 2D - pro velké zvětšení).



Obr. 6: Typy okulárů; A - Taylorův okulár; B - monocentrický okulár; C - širokoúhlý Erfleho okulár; D - širokoúhlý Brethelého okulár

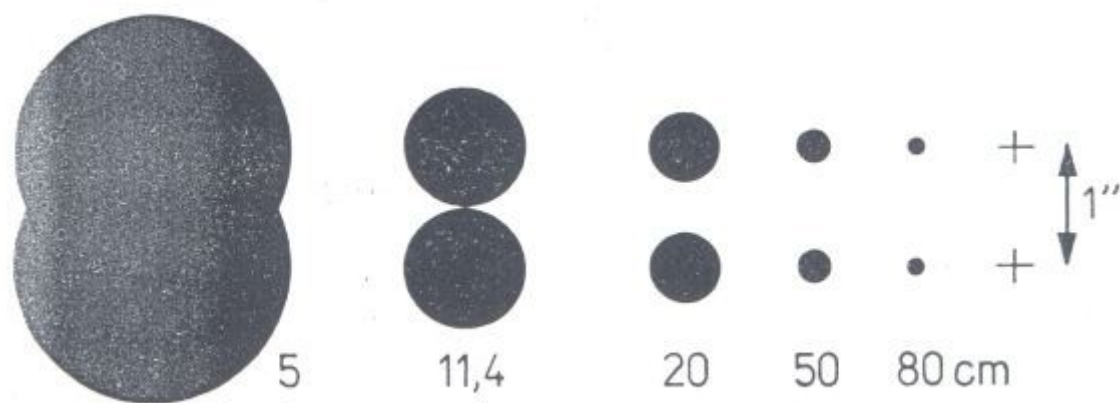
### Rozlišovací schopnost

Dalekohled nám dává možnost rozlišit od sebe dva body (např. blízké body), které neozbrojenému oku splývají. Proto můžeme dalekohledem též rozeznat různé podrobnosti na planetách, na Měsíci, apod.

Obrazy dvou stejně jasných hvězd můžeme od sebe rozlišit tehdy, když se v zorném poli dalekohledu ohybové disky jejich obrazu jen dotýkají. Potom je vzájemná vzdálenost středů disků stejná jako jsou jejich průměry. Nakolik však jasnosti disků k jejich okrajům ubývá, skutečností je možné je rozlišit už při menší vzdálenosti středů od sebe, než je průměr disků. Tuto nejmenší vzdálenost označujeme jako rozlišovací schopnost dalekohledu. Platí vzorec, podle kterého se rozlišovací schopnost se rovná podílu čísla 138 a průměru objektivu dalekohledu:

$$d = 138 : D$$

*d* - rozlišovací schopnost dalekohledu ('' - v obloukových vteřinách); *D* - průměr dalekohledu (v mm)



Obr. 7: Postupné oddělení ohybových disků dvou hvězd v dalekohledu - rostoucí průměr dalekohledu (úhlová vzdálenost 1"; průměr objektivu 50 - 800 mm)

Zda má náš dalekohled i v této oblasti vyhovující výkon si můžeme ověřit na pozorování dvojhvězd uvedených v následující tabulce. Přirozeně si můžete vyhledat i jiné vhodné dvojhvězdy.

dvojhvězda	vzdálenost složek (")
gama And	10
gama Ari	8
ksí CrB	6
gama Vir	5
gama Leo	4
epsílon Boo	3
tau Oph; mí Dra	2
alfa Psc; éta Cyg	1,8
ksí Her; éta Ori	1,6
pí Aql; epsílon Ari	1,4
mí Cyg; ksí Boo	1,2
53 Eri; 37 Peg	1,0
éta CrB	0,8
beta Del	0,5

Podmínkou je však použití dostatečného zvětšení (2 - 2,5 D) a dobré atmosférické podmínky. Z výše uvedeného vzorce vyplývá, že rozlišovací schopnost narůstá s průměrem objektivu. S rozměrem objektivu se úměrně zmenšuje rozměr ohybového disku a dva body (dvě hvězdy) se postupně od sebe oddělují (viz. obr. 6).



V případě, že veškeré zkoušky dalekohledu ukázaly, že přístroj dosahuje výkonu, který odpovídá typu objektivu a jeho průměru, můžeme být spokojeni, protože máme opravdu dobrý přístroj.

Pokud se vyskytly nějaké závady, je třeba zamyslet se, zda je možné nedostatky odstranit (např. lépe vycentrovat objektiv, apod.). Pokud se ukázalo, že má dalekohled zřetelnou chromatickou vadu nebo geometrickou chybu, můžeme se pokusit o její omezení. Zde nám může výrazně pomoci zaclonění objektivu na menší průměr (např. přiložením na objektiv papírový disk s kruhovým otvorem uprostřed). V takovém případě je dobré utvořit několik takových clon s různými průměry otvorů. Při zakrývání jednotlivými clonami pak vybereme clonku, která byla při pozorování nejlepší. Mějme na paměti, že snížení průměru objektivu snižuje i veškeré jeho schopnosti (soustředění světla a rozlišovací schopnost). Snažíme se tedy, abychom z průměru neubrali zbytečně moc. Přestože nepoužíváme vždy stejné zvětšení, tedy ani chyby se vždy stejně neprojevují, můžeme si pro každý okulár najít nejvhodnější zaclonění. Je též možné vmontovat do trubice okulárového výtahu tzv. irisovou clonu, která může průběžně měnit průměr vstupní pupily před okulárem (tato clona je v objektivěch fotoaparátů a zvětšovacích přístrojů). Při malých zvětšeních lze clonku otevřít, při větších naopak zavřít taky, abychom vždy dostali obraz dobré kvality.

Chromatickou vadu můžeme částečně odstranit i používáním barevných filtrů (žlutého, zeleného, oranžového), které umístíme za okulár, nebo před objektiv. Projevy barevné vady často zmizí, pokud použijeme zenitový hranol.