

Metodika vizuálního pozorování dvojhvězd s velmi nízkými úhlovými vzdálenostmi složek

1. Úvod

Předložený článek si klade za cíl doplnit a upřesnit informace, obsažené v článku [Využití optických filtrů při vizuálním pozorování deep sky objektů](#). Uvedený dříve napsaný text se zabývá spíše kvantitativní charakteristikou chování lidského zraku ve spojení s barevným, nebo UHC filtrem. Důvodem k napsání tohoto článku byla potřeba doplnění předchozího o praktické zkušenosti z vizuálních pozorování dvojhvězd s velmi malou úhlovou vzdáleností složek, typicky od 0,8 do 2 násobku dawesova limitu mého 203mm dalekohledu, a to jak s pomocí barevných filtrů, tak i bez nich. Tento text má také vést na pravou míru hluboce zakořeněnou, ale nesprávnou představu, že seeing (chvění obrazu kvůli turbulencím v atmosféře), je-li jen průměrný, znemožňuje rozlišitelnost dvojhvězdy s úhlovou vzdáleností složek pod cca 1". Získávání zkušeností probíhalo především při pozorování kvalitním dalekohledem značky Sky Watcher typu Newton o průměru primárního zrcadla 203mm a ohniskové vzdálenosti 1000mm, bohatě vybaveného jak okuláry Sky Watcher, tak i barevnými filtry ATC, dvojicí polarizačních filtrů OMEGON a oranžovým filtrem OMEGON #21. Několik zajímavých pozorování proběhlo také Newtonem Celestron 114/900mm a achromatickým refraktorem Bresser Skylux 70/700mm. Speciálně je třeba uvést ještě nespočetné hodiny pozorování starším triedrem Tento 10×50. Triedr 10×50, mající vlastní rozlišovací schopnost kolem 5", byl díky slušnému výběru dvojhvězd o různých parametrech, na rozdíl od neozbrojeného oka, významným pomocníkem k získání představy o rozlišovací schopnosti samotného oka. Prakticky všechny dvojhvězdy na obloze, které lze rozlišit zdravým, nebo brýlemi korigovaným okem, mají příliš nízké jasnosti na to, aby mohly jakkoli vypovídat o skutečném potenciálu lidského zraku. Dá se říci, že oko při pozorování dvou dostatečně jasných, úhlově blízkých svítících bodů, dokáže mile překvapit. Jeho rozlišovací schopnost při pozorování hvězd na noční obloze, kdy je adaptováno na tmou, se sice udává kolem 200" až 300", má-li však precizně zaostřený obraz pozorované dvojhvězdy určitý rozsah jasností, zlepšuje se schopnost oka rozlišit dva svítící body, až k hranici kolem 150". Je vhodné uvést i fakt, že nejvíce pozorovacích hodin ze všech přístrojů, náleží právě ruskému binokuláru Tento BCP5 10×50.

2. Jaký volit dalekohled a jakou montáž

Pro dalekohled platí jednoduchá pravidla. Musí být perfektně zkolimovaný, popř. obecně řečeno seřízený, s čistou, kvalitní a přesně vyrobenou optikou, používáme zvětšení minimálně 1,5D až 2D. Jedná-li se o refraktor, musí mít velmi precizně korigovanou chromatickou a sférickou aberaci (i když, barevné filtry obvykle nároky na korekci barevné vady snižují). Samozřejmostí, zejména u dalekohledů větších průměrů, je co nejlepší temperace. Pozorování těžkých dvojhvězd probíhá zásadně uprostřed zorného pole dalekohledu, nebo alespoň v jeho těsné blízkosti, čemuž odpovídají i požadavky na montáž, nesoucí dalekohled. Montáž má mít dostatečnou tuhost, aby obraz při pozorování nekmital, a vzhledem k vysokým používaným zvětšením, se hodí spíše paralaktická montáž s pohonem, nebo azimutální motorizovaná montáž- obecně řečeno: montáž, která dokáže sama automaticky natáčet dalekohled tak, aby pozorovaný objekt zůstal uprostřed zorného pole.

3. Pozorovatel

Pozorujeme-li na hranici rozlišení dalekohledu při zvětšení „jen“ 1,5D až 2D, pozorujeme i na hranici možností oka. Mohlo by se zdát, že větší zvětšení by bylo přínosem, ale sítnice oka ve spojení s mozkem se chová při rozeznávání malých detailů lépe, spíše než při interpretaci úhlově velkých, byť stejných a poměrně stejně neostrých obrazů. Podle zkušeností je proto lepší dále zvětšení příliš nezvyšovat nad uvedenou hranici 1,5D až 2D. Dejme šanci kvalitnímu zpracování obrazového signálu na sítnici oka a v mozku. Poznamenejme také, že pozorování nepatrných svítících „bodů“, vyžaduje značnou koncentraci, která silně závisí na psychickém a fyzickém stavu pozorovatele. Zhoršení zdraví nebo únava, byť jen lehké, se negativně projeví na schopnosti zraku rozeznávat drobné detaily, a může při pozorování extrémních dvojhvězd způsobit zbytečné zklamání.

4. Vliv atmosférické refrakce a anomální refrakce- scintilace (kvality seeingu)

Vzdušný obal Země, jehož je pozorovatel součástí, se pro pozorovatele na zemském povrchu chová jako optický prvek, podmiňující vznik atmosférické refrakce- postupného lomu paprsku světla, procházejícího z vesmírného vakua stále hustšími vrstvami atmosféry[5]. Jestliže paprsek světla vchází šikmo do atmosféry, složené z vodorovných vrstev o různých, s výškou nad zemským povrchem klesajících indexech lomu, je opticky zakřívován směrem ke kolmici k těmto vrstvám, tj. k tížnici. S rostoucí zenitovou vzdáleností atmosféra odchyluje světelný paprsek z původního směru více. Vchází-li paprsek kolmo, objekt se nachází v zenitu, má nulovou zenitovou vzdálenost a jeho zdánlivá poloha na obloze se prakticky nemění. Rozdíl zdánlivé a skutečné zenitové vzdálenosti objektu se nazývá atmosférická, nebo také astronomická refrakce. Nehomogenity v zemské atmosféře, které jsou především teplotního rázu, mohou způsobovat tzv. anomální refrakci. Azimutální refrakce nastává tehdy, kdy se mění, kromě zenitové vzdálenosti objektu, také jeho azimut. Kupolovou refrakci způsobuje rozdílné optické chování vzduchu uvnitř a vně kupole observatoře, kde je umístěn dalekohled. Seeing- blikání, rozostření/rozostřování a změny polohy obrazu objektů, způsobují časově proměnlivé, nepříliš rozlehlé nehomogenity- buňky- pohybující se v zemské atmosféře.

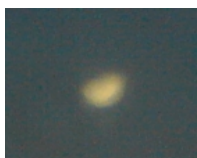
Refrakce je dána optickými vlastnostmi vzduchu- index lomu typického vesmírného prostředí v okolí Země je roven jedné, kdežto index lomu vzduchu při nulové nadmořské výšce, se pohybuje kolem hodnoty $n=1,0029$ pro vlnovou

délku 555nm. Index lomu vzduchu závisí na jeho tlaku, teplotě, a na vlnové délce světla, pro kterou index lomu vyčíslujeme. Z Gladstoneova- Daleova vztahu [2] vyplývá, že skupinové číslo indexu lomu vzduchu, tj. $10^6(1-n)$ [3] je přímo úměrné jeho tlaku, nepřímo úměrné absolutní teplotě a přímo úměrné molekulární refrakci (ta je závislá jen na vlnové délce světla). Závislost indexu lomu na vlhkosti vzduchu je ve většině případů v astronomii zanedbatelná [2]. Vliv tlaku je sice výraznější, než u vlhkosti, ale pro vizuální pozorování dvojhvězd také bezvýznamný.

Změna indexu lomu vzduchu s vlnovou délkou světla, která je tabelovaná v [4], je mimo jiné důsledkem zobrazení hvězd jako refrakčních spekter, která můžeme i přímo pozorovat dalekohledem jako protažení jasných hvězd blízko obzoru ve spektra- barevné čárky- viz. [NAF](#). Uvážíme- li přibližně platící přímou úměru mezi skupinovým číslem indexu lomu vzduchu a hodnotou refrakce (tuto přímou úměru lze lehce nahlédnout v odvození výpočtu refrakce [5]), dá se lehce odvodit, že délka viditelné části refrakčního spektra v úhlových vteřinách je velmi přibližně $1''tg(z)$, kde z je zenitová vzdálenost hvězdy. Právě tato skutečnost, zejména pro pozorování při větších zenitových vzdálenostech, je dalším důvodem, proč pro pozorování dvojhvězd dát přednost spíše správně zvoleným barevným filtrům, než některými pozorovateli propagovaným filtrům neutrálním, popř. polarizačním.

Co se týče teploty, její vliv na index lomu vzduchu je asi největším nepřítelem pozorovatelů nejen dvojhvězd, ale obecně všech, kdo pozorují při zvětšení 100× a větších. Přenos tepla v teplotně nehomogenní zemské atmosféře pochopitelně téměř vůbec nezprostředkovává ani radiace, ani difúzní přenos. Teplotní gradienty tedy snižuje především konvekce. Konvekce v Zemské atmosféře probíhá vzestupným pohybem vzdušných buněk (bublin) ve tvarech ne nepodobných koulím, o průměrech od jednotek milimetrů do jednotek kilometrů. Buňky jsou obvyklejše poněkud teplejší, než okolní vzduch, [1,7] a tím se opticky chovají jako velmi „slabé“ čočky. Ocitnou- li se během svého pohybu mezi objektivem dalekohledu a pozorovaným objektem, mohou určitým, většinou nežádoucím způsobem, pozměnit optické chování soustavy atmosféra- dalekohled. Kvalitu obrazu při pozorování dalekohledem nejvíc znehodnocují buňky o průměrech typicky od 100mm do 300mm, stoupající do výšek typicky jednotek až stovek metrů, než zaniknou promícháním s okolním vzduchem. Kvůli těmto buňkám se obraz v dalekohledu vlní, a dynamicky rozostřuje- jev se nazývá seeing. Vzdušné buňky teplejšího vzduchu se pohybují i v jiných výškách. Pro zajímavost uvedme, že rychlý seeing o parametru t_0 cca 10ms, zaviňují buňky ve výškách kolem 16km nad zemským povrchem [1].

Rovnoběžné paprsky světla, které jsou užitečné pro pozorování objektu dalekohledem, přicházejí od pozorovaného objektu do objektivu dalekohledu uvnitř přibližně válcové (hvězdy), nebo kuželové (planety) plochy. V druhém případě je však vrcholový úhel kuželu tak malý, že většinou lze taktéž uvažovat válcovou plochu. Průměr válce je roven průměru vstupní pupily dalekohledu. Čím je průměr použitého dalekohledu větší, tím je pravděpodobnější, že uvnitř této válcové plochy bude vzdušná buňka, ale tím je také pravděpodobnější, že nebude nežádoucím způsobem ovlivňovat celou užitečnou plochu objektivu. U větších dalekohledů, typicky o průměru kolem 200mm až 300mm, se tedy seeing při pozorování bodových, nebo obecně silně kontrastních objektů, projevuje především „duchy“- falešnými, slabými, nebo výraznějšími obrazy, posunutými vůči obrazu původnímu. Důvodem je, že část plochy objektivu, ovlivňovaná buňkou teplejšího vzduchu, se chová opticky lehce jinak, než zbylá část plochy objektivu, a vytváří tak trochu jiný obraz, než zbylá část objektivu. Pro pozorovatele dvojhvězd z toho vyplývá velmi důležitý fakt, že obraz dvojhvězdy sice ztrácí ve značné míře kontrast, ovšem neztrácí svůj tvar- kolem bodového, nebo téměř bodového obrazu se objevují časově nestabilní, rychle se měnící světelné artefakty (duchy, Airyho disků, interferenčních kroužků a podobně). Ilustrací může být obr. 1- fotografie srpku Venuše fotoaparátlem za okulárem dalekohledu o průměru 203 mm, na které je vidět rozdvojení, ne však deformace obrazu:



Obr. 1.: „Duchy“ obrazu Venuše.

Volíme- li k pozorování naopak menší průměr objektivu dalekohledu, který má menší rozlišovací schopnost, má seeing relativně méně výrazný negativní vliv na kvalitu obrazu. Co je zajímavé, je pravděpodobnější, že uvažovaná vzdušná buňka, která je svými rozměry větší, než průměr objektivu dalekohledu, bude vždy ovlivňovat objektiv v celé jeho ploše přibližně stejnoměrně. A tehdy pozorovaný obraz sice v zorném poli poskakuje, ale zůstává ostrý. Dokladem této skutečnosti je fakt, že při určitých typech seeingu poskytne přístroj s menším průměrem objektivu (cca 50 - 100 mm) lepší obraz, než přístroj s větším průměrem. To dobře vědí zkušení pozorovatelé planet.

Lze tedy tvrdit, že chceme- li dalekohled o průměru nad přibližně 100mm plně využít k pozorování objektů s velmi malými úhlovými rozměry, jako jsou například dvojhvězdy, které mají vlivem seeingu ve svém okolí výrazné světelné artefakty- falešné obrazy, nezbyvá, než subjektivně zvýšit kontrast mezi pozorovaným objektem- dvojhvězdou, a tmavším nežádoucím okolím jejího obrazu. K tomu existují dva způsoby. Využíváme přitom nelinearity převodní charakteristiky oka, jakožto obrazového senzoru. Především pak zvýšení její strmosti při jasech obrazu na hranici pozorovatelnosti.

Prvním je volba vhodných jasností obrazu dvojhvězdy, podmíněnou volbou magnitud složek tak, aby pozorovaný obraz nebyl ani příliš jasný, ani příliš tmavý (jinak by klesala rozlišovací schopnost oka).

Druhým způsobem je umělé snížení jasu obrazu filtrem. Snížení jasu obrazu lze provést buď neutrálním, nebo také barevným filtrem. Výhodnější je přitom použití barevného filtru. Jednak, protože ve spojení s lidským okem tvoří barevný filtr obvyklejše soustavu s celkem úzkou spektrální odezvou na záření, a proto opravdu efektivně eliminuje

viditelnost refrakčního spektra. A za druhé, filtr se správně volenou křivkou propustnosti, potlačí skotopickým, neostrým viděním, vnímané části slabých artefaktů v okolí obrazu dvojhvězdy, které při pozorování velmi ruší. To je možné, protože křivky relativní spektrální citlivosti tyčinek a čípků jsou vůči sobě poněkud posunuté podél osy vlnové délky. Pro pozorování těch dvojhvězd, které jsou příliš jasné a nedovolují využít tvaru převodní charakteristiky zraku, jsou proto barevné filtry nesrovnatelně vhodnější, než neutrální. Mění nejen jas obrazu tak, aby lépe vyhověl převodní charakteristice oka. Při správné závislosti transmitance na vlnové délce potlačují, jak bylo naznačeno, také nežádoucí skotopické vidění, díky čemuž subjektivně **velmi silně stoupne kontrast obrazu a zmizí světelné artefakty kolem obrazu dvojhvězdy**. Poslední důležitou vlastností je snížení vlivu barevné vady dalekohledu a okulárů. O volbě magnitudy složek a barevných filtrů je pojednáno níže.

Protože negativní vliv atmosféry na kvalitu obrazu v dalekohledu roste se zenitovou vzdáleností, dodejme, že air mass index- relativní tloušťka zemské atmosféry, přes kterou dvojhvězdu pozorujeme- nesmí překračovat hodnotu 1,5. Vypočte se jako převrácená hodnota kosinu zenitové vzdálenosti dvojhvězdy. Ta má tedy být výše, než 40° nad obzorem. V pozorovatelské praxi existují noci, kdy je vzduch klidný, bez tepelné konvekce- dobrý seeing, stejně, jako noci, kdy je obraz v dalekohledu neostrý a silně se chvěje- špatný seeing. K pozorování těžkých dvojhvězd volme noci, kdy není v ČR podprůměrný seeing.

5. Magnitudy složek dvojhvězdy, využití barevných a neutrálních filtrů

Známe- li separaci složek dvojhvězdy, záleží její případná rozlišitelnost, popřípadě rozeznatelnost od samostatné hvězdy, jak na rozdíl magnitud složek a na magnitudě jasnější složky, tak na magnitudě slabší složky. Má- li dvojhvězda separaci složek blízko Dawesova limitu dalekohledu, je pro úspěšné pozorování nezbytným dodržení rozdílu magnitud složek do 0,3m (podle spektrální třídy složek a použitého barevného filtru, lze tento limit ještě lehce zvýšit). U dvojhvězd o úhlových vzdálenostech složek kolem dvojnásobku Dawesova limitu, již vyhoví i rozdíl něco přes jednu magnitudu- ovšem při takovém rozdílu je rozpoznání podvojnosti opět velmi obtížné- jasnější složka přezářuje slabší složku.

Rozlišitelnost, popřípadě rozpoznatelnost dvojhvězdy, podmiňuje také magnituda její hlavní, jasnější složky. Nejmenší magnitudou pro 203mm Newton, je hodnota kolem 7,5m. Tehdy je ještě obraz dostatečně kontrastní a neruší artefakty, způsobené seeingem, pozorovatelné především prostřednictvím skotopického vidění. Pokusíme- li se tuto magnitudu vyjádřit i pro menší dalekohledy a extrapolovat získanou zkušenost i na větší přístroj, o průměru řekněme do 300mm, bude minimální magnituda rovna 5log(D)-4, kde D je průměr vstupní pupily dalekohledu v milimetrech. Přebytné světlo dvojhvězd s jasnější hlavní složkou, než je uvedená mez, potlačíme správně zvoleným barevným, popřípadě v nouzi neutrálním filtrem. Správný filtr lze najít buď zkusmo, nebo podle tabulky 1, která vychází z výpočtu a poté potvrzujících zkušeností autora článku s konkrétními filtry.

Nutnou podmínkou k rozpoznání podvojnosti dvojhvězdy je také magnituda slabší složky, která musí svým světlem dostatečně podráždit čípků na sítnici oka tak, aby podávaly zřetelnou informaci o obrazu. Horní mezí 203mm Newtonova dalekohledu je dle zkušenosti 9,5m. Hodnota se, mimochodem, dobře shoduje s udávanou Purkyňovou mezí [1]. Má- li slabší složka dvojhvězdy 9,5m, obraz je již nezřetelný, vjem je z nezanedbatelné části zprostředkovan skotopickým viděním- je vnímán mezopicky. Na druhé straně, viditelný světelný bod ještě dostatečně dráždí čípků v oku, aby bylo možné soustředěným pohledem rozeznat nejjemnější detaily. Pro jiný průměr dalekohledu vychází maximální magnituda slabší složky dvojhvězdy na 5log(D)-2. Nejvyšší možná magnituda slabší složky dvojhvězdy ovlivňuje také volbu barevných filtrů, informace jsou opět v tabulce 1.

Průměr vstupní pupily dalekohledu (mm)	Bez filtrů		Neutrální filtr 25%		Žlutý filtr ATC Y		Oranžový filtr ATC O		Oranžový filtr OMEGON #21		Světle červený filtr ATC R1		Červený filtr ATC R	
	Minimální magnituda složky A	Maximální magnituda složky B	Minimální magnituda složky A	Maximální magnituda složky B	Minimální magnituda složky A	Maximální magnituda složky B	Minimální magnituda složky A	Maximální magnituda složky B	Minimální magnituda složky A	Maximální magnituda složky B	Minimální magnituda složky A	Maximální magnituda složky B	Minimální magnituda složky A	Maximální magnituda složky B
50	4,5	6,5	3,0	5,0	4,2	6,2	3,8	5,8	3,4	5,4	2,5	4,5	1,6	3,6
60	4,9	6,9	3,4	5,4	4,6	6,6	4,2	6,2	3,8	5,8	2,9	4,9	2,0	4,0
70	5,2	7,2	3,7	5,7	4,9	6,9	4,5	6,5	4,1	6,1	3,2	5,2	2,3	4,3
80	5,5	7,5	4,0	6,0	5,2	7,2	4,8	6,8	4,4	6,4	3,5	5,5	2,6	4,6
90	5,8	7,8	4,3	6,3	5,5	7,5	5,1	7,1	4,7	6,7	3,8	5,8	2,9	4,9
100	6,0	8,0	4,5	6,5	5,7	7,7	5,3	7,3	4,9	6,9	4,0	6,0	3,1	5,1
114	6,3	8,3	4,8	6,8	6,0	8,0	5,6	7,6	5,2	7,2	4,3	6,3	3,4	5,4
120	6,4	8,4	4,9	6,9	6,1	8,1	5,7	7,7	5,3	7,3	4,4	6,4	3,5	5,5
130	6,6	8,6	5,1	7,1	6,3	8,3	5,9	7,9	5,5	7,5	4,6	6,6	3,7	5,7
150	6,9	8,9	5,4	7,4	6,6	8,6	6,2	8,2	5,8	7,8	4,9	6,9	4,0	6,0
170	7,2	9,2	5,6	7,6	6,9	8,9	6,5	8,5	6,1	8,1	5,2	7,2	4,3	6,3
203	7,5	9,5	6,0	8,0	7,2	9,2	6,8	8,8	6,4	8,4	5,5	7,5	4,6	6,6
254	8,0	10,0	6,5	8,5	7,7	9,7	7,3	9,3	6,9	8,9	6,0	8,0	5,1	7,1
305	8,4	10,4	6,9	8,9	8,1	10,1	7,7	9,7	7,3	9,3	6,4	8,4	5,5	7,5

Tabulka 1: Rozsah magnitud složek dvojhvězd pro vizuální pozorování dalekohledy různých průměrů.

6. Závěr

Článek měl rozbít mezi amatérskými astronomy zakořeněnou představu, že kvůli běžnému seeingu nelze rozeznávat, popřípadě dokonce rozlišovat dvojhvězdy s úhlovými vzdálenostmi složek pod asi 1". Při dodržení zde uvedených zásad není průměrný seeing překážkou, a je-li o něco lepší, tím lépe. Pokud splnil tento účel, a někdo jej vydržel dočíst až do konce, pak měl také poskytnout jakési vodítko k volbě správného barevného filtru, popřípadě v nouzi i neutrálního filtru, a u slabých dvojhvězd samozřejmě i pomoci při volbě magnitud složek.

7. Poděkování

Náleží kocourovi Mikroobludovi za občasnou asistenci při psaní, Dagmar Jarošové za projev přání o dokončení článku a kolegovi Vláďimíru Kocourovi za odbornou konzultaci.

8. Reference (výběr)

- [1] [Souvislost fyziologické optiky s amatérskou astronomií](#)
- [2] [Index lomu prostředí](#)
- [3] [Matematická a fyzikální redukce délek](#)
- [4] [Index lomu vzduchu vs. vlnová délka, Snellův zákon](#)
- [5] [Bohumil Hačar: Úvod do obecné astronomie](#)
- [6] [ASTRONOMICKÁ REFRAKCE - TEORIE A PRAXE](#)
- [7] [Termická konvekce](#)

Boskovice, červenec 2009 (20. července 2010 jsem článek upravil a pokusil se opravit některé chyby).

JG