

Chromatická vada několika významných refraktorů 19. a 20. století

Zdeněk Rail, Daniel Jareš, David Tomka, Roman Doleček

Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. - Toptec, Sobotecká 1660, 51101 Turnov

e-mail : rail@ipp.cas.cz, jares@ipp.cas.cz, tomka@ipp.cas.cz, dolecek@ipp.cas.cz

V 19. století dominovaly v astronomii refraktory. Čočky těchto přístrojů byly vyráběny z klasických skel a proto jejich dominantní zbytkovou vadou byl sekundární chromatismus.

V této práci jsou ukázány zbytkové vady několika refraktorů, u kterých se podařilo sehnat jejich optické parametry.

Jedná se o 40, 36 a 25 palcové refraktory Alvana Clarka, Yerkesovy, Lickovy a USNO observatoře, 12 palcový refraktor hvězdárny v Greenwiche a dále 6 palcový heliometr Josefa Fraunhofera v Königsbergu, se kterým byla poprvé změřena paralaxa hvězdy.

Referát obsahuje také parametry objektivu Königova dalekohledu, petřínské hvězdárny v Praze.

Chromatic Aberration of Several Important Refractors of the 19th and 20th Century

In 19th century refractors dominated in astronomical research. Lenses of these devices were made of the classical glasses. Main optical aberration of these telescopes was residual chromatism.

In this paper residual chromatism of several important refractors is shown. We managed to get optical parameters of 40, 36, 25 inch refractors of Alvan Clark, 12 inch telescope of Greenwiche observatory and 6 inch heliometer of Joseph Fraunhofer with which paralax of star was measured for the first time.

The paper contains parameters of the dublet of König telescope of Prague's observatory.

1. Úvod

Celé 19. století lze z hlediska astronomické optiky charakterizovat jako éru čočkových dalekohledů. Jejich vývoj nebyl náhlý, předcházelo mu řada mlínků.

V 17. století nebyli astronomové spokojeni s vlastnostmi neachromatických dalekohledů. Aby redukovali barevnou vadu objektivů-singletů, bylo nutné je vyrábět s velkými ohniskovými vzdálenostmi. Přístroje byly velmi dlouhé a manipulace s nimi obtížná.

Velkým přínosem v astronomické optice byl objev Newtonova zrcadlového dalekohledu. Nebyl to první typ katoprického dalekohledu, před ním byly zkonstruovány soustavy Gregoryho a Cassegraina. Na rozdíl od nich byl Newtonův dalekohled mnohem snadněji vyrobitelný.

Když počátkem 18. století Hadley vyrobil svůj zrcadlový dalekohled o průměru 150 mm a ohniskové vzdálenosti 1500 mm s kovovým zrcadlem, bylo jasné, že zrcadlové dalekohledy zobrazují mnohem lépe než dalekohledy s neachromatickými objektivy. Navíc Hadleyův dalekohled byl jen 1500 mm dlouhý. Celé 18. století dominovaly v astronomii zrcadlové dalekohledy a jejich rozměry dosáhly průměrů zrcadel až 1200 mm.

Začátkem 18. století Chester Moore Hall a řada dalších optiků nezávisle zjistila, že vhodnou kombinací čoček z korunového a flintového skla, lze dosáhnout toho, že paprsky dvou barev mohou mít na optické ose společnou sečnou vzdálenost. První pokusy byly učiněny v Anglii a objektivy Johna Dollonda získaly velký věhlas. Zhruba v polovině 18. století byly d'Alembertem, Cauchym a Eulerem napsány práce na téma achromatických objektivů, složených ze dvou tenkých čoček, které opravovaly barevnou vadu.

Jejich teoretické práce se však nerozšířily, protože v době jejich vzniku byla v Evropě sedmiletá válka. Též znalosti ve výrobě optického skla nebyly v tehdejší době na vysoké úrovni. Celé 18. století byly činěny pokusy s výrobou objektivů, které redukovaly barevnou vadu, a na jeho konci měl největší přístroj objektiv o průměru 125 mm. Tehdejší technologie tavení skla nedovolila vyrobit větší objektiv.

Zásadní přínos ve výrobě čočkových objektivů měl Joseph Fraunhofer. Ten se podílel na vývoji výroby optického skla, opracování a měření čoček pomocí interferenčních kalibrů. Fraunhofer dále zajistil, že u svých navrhovaných a vyráběných dubletů může kromě sférochromatické vady opravovat i komu.

Při svých výpočtech začal započítávat i tloušťky čoček a provádět ray-tracing tak, aby ve svých návrzích dosáhl dokonalé kompenzace optických vad. Dnes se považuje za zakladatele moderního optického návrhu. Fraunhofer začal vyrábět malé objektivy o průměrech několika centimetrů. Postupem času mu zlepšující se kvalita skla umožňovala vyrábět stále větší průměry. Jeho největší objektiv měl průměr 240 mm. Po řadu let byl největším na světě a jeho optická kvalita byla vynikající. S Fraunhoferovým objektivem o průměru 158 mm se podařilo R. Besselovi v Královci roku 1838 poprvé změřit paralaxu hvězdy.

Achromatické objektivy znamenaly velký pokrok oproti zrcadlovým dalekohledům s kovovými zrcadly. Odráživost zrcadlových ploch nepřesahovala 60-70 procent. Zkušenost pozorovatelů byla taková, že s deseticentimetrovým Fraunhoferovým objektivem bylo vidět totéž, co se třiceticentimetrovým dalekohledem s kovovým zrcadlem.

Zatímco Fraunhofer ve dvacátých letech 19. století získal sklo na výrobu 240 mm objektivu, jeho nástupce Steinheil ve třicátých letech vyrobil čočky již o průměru 380 mm.

Od konce čtyřicátých let se do výroby refraktorů zapojil v USA Alvan Clark. Ten začal ve čtyřicátých letech jako amatér brousit nejdříve kovová zrcadla. Ta jej neuspokojila a tak se začal věnovat objektivům. Trvalo dlouhých 12 let pokusů než vyvinul svoji technologii výroby objektivů do dokonalosti a získal věhlas. Průměry svých čoček neustále zvětšoval podle toho, jak se mu dařilo získat od sklářů skleněné disky. Na konci 19. století vyrobil největší funkční refraktor na světě o průměru 1024 mm a ohniskové vzdálenosti 19 300 mm.

Je nutné napsat, že řada velkých refraktorů byla vyrobena i v Anglii, Francii a Německu. Ve Francii byl učiněn pokus o výrobu 1200 mm objektivu, který nebyl v astronomii použit.

Velké refraktory 19. století byly první dalekohledy, které byly vyráběny na vědeckých základech profesionální optiky a mechaniky. Byl s nimi získán široký soubor poznatků, na kterém stojí dnešní moderní astronomie.

Rozvoj astronomie na konci 19. a začátkem 20. století změnil požadavky na dalekohledy a těm lépe vyhovovaly reflektory, zvláště díky jejich světelnosti. Expoziční doby při fotografování, nepřítomnost barevné vady, podstatně kratší stavební délka a tudíž mnohem menší náklady na mechanické díly, možnost výroby větších průměrů znamenaly konec výroby velkých refraktorů.

2. Zbytkové optické vady objektivů – dubletů, teorie

Výpočet poloměrů křivostí ploch objektivu, u kterého je tloušťka čoček zanedbatelná vůči jeho ohniskové vzdálenosti, je možné nalézt v [3] nebo [4].

U objektivu se vzdušnou mezerou jsou čtyři volné parametry, se kterými lze anulovat čtyři rovnice. První dvě jsou podmínky, aby objektiv měl pozitivní optickou mohutnost (1), druhá je podmínkou achromasie (2) v normovaném tvaru $f = 1$.

$$\varphi_1 + \varphi_2 = 1 \quad (1)$$

$$\varphi_1 / v_{e1} + \varphi_2 / v_{e2} = 0 \quad (2)$$

φ_1 , φ_2 jsou optické mohutnosti první a druhé čočky, v_{e1} a v_{e2} jsou Abbého čísla skel. Optická mohutnost čočky je rovna její převrácené hodnotě ohniskové vzdálenosti f_1 a f_2 .

$$1 / \varphi_1 = f_1 \quad (3)$$

$$1 / \varphi_2 = f_2 \quad (4)$$

Dále je nutno řešit dvě rovnice, z nichž první reprezentuje podmínku opravy sférické aberace. Ta je kvadratickou rovnicí pro parametry ρ_1 a ρ_2 , které jsou rovny

$$\rho_1 = 1 / r_1 - 1 / r_2 \quad \text{nebo} \quad \rho_2 = 1 / r_3 - 1 / r_4 \quad (5)$$

kde r_1 , r_2 jsou poloměry křivostí první čočky a r_3 , r_4 jsou poloměry křivostí druhé čočky.

Další rovnice je podmínkou pro komu a je lineární pro parametry ρ_1 a ρ_2 . Z této rovnice se jeden parametr vyjádří pomocí druhého a pak se dosadí do podmínky pro sférickou aberaci.

Najdou se dvě řešení, z nichž je reálné pouze jedno.

Volbou materiálů na první a druhé čočce lze docílit toho, zda přední vstupní čočka bude pozitivní /Fraunhoferův typ objektivu/ nebo negativní (Steinheilův typ objektivu). Jsou-li vypočteny poloměry křivostí ploch, je nutné dále provést trigonometrický výpočet, ve kterém jsou již obsaženy i tloušťky čoček. Ten se provádí pro tři spektrální čáry a jednu hodnotu sklonu mimoosových paprsků.

Nevykazují-li zbytkové aberace správné hodnoty, musí se provést korekce výpočtů, vedoucí ke změně poloměrů křivosti ploch. Připustíme-li různou velikost zbytkové komy v dubletu, najdeme optická řešení popsaná Clairautem, d'Alembertem, Gaussem a Littrowem.

Objektiv s přední spojnou čočkou a s opravenou komou se nazývá Fraunhoferův typ. Je-li objektiv navržen s přední čočkou rozptylnou a je-li aplanatický, bez komy, jedná se o typ Steinheilův.

Achromatický objektiv z klasických skel pro vizuální obor se navrhuje tak, aby paprsky pro spektrální čáry C a F /C' a F' měly pro jednu zónu společnou sečnou vzdálenost. Nejkratší sečnou vzdálenost mají paprsky mezi spektrálními čarami e a d. Z hlediska sférické aberace platí, že objektivy mají v modré části spektra paprsky překorigovány a červené paprsky jsou nedokorigovány.

Hodnota sférické aberace pro e-čáru bývá rovna nule. Je-li objektiv vyroben z klasických skel o světelnostech 1/5 až 1/10, mohou v něm být přítomny vady vyšších řádů.

Velikost průměru chromatického obrazu lze snadno spočítat z těchto parametrů: Necht' D je průměr objektivu, f je jeho ohnisková vzdálenost, d chrom je průměr chromatického obrazu hvězdy, δf je rozdíl sečných vzdáleností mezi společnou sečnou vzdáleností C,F paprsků a e paprsků.

Z podobností trojúhelníků vyjde, že

$$D / f = d \text{ chrom} / 0,5 * \delta f \quad (6)$$

Nebo

$$d \text{ chrom} = 0,5 * D * (\delta f / f) \quad (7)$$

Řešením podmínek pro achromasii lze dále zjistit, že pro dvojčočkový objektiv hodnota zlomku $\delta f / f$ bude rovna podílu

$$A = \delta f / f = (Pe1 - Pe2) / (ve1 - ve2) \quad (8)$$

kde Pe1, Pe2 jsou relativní disperze skel a ve1, ve2 jsou jejich Abbého čísla.

Tyto konstanty relativní disperze Pe1, Pe2 a Abbého čísel ve1, ve2 jsou definovány jako

$$Pe1 = (nF1 - ne1) / (nF1 - nC1)$$

$$Pe2 = (nF2 - ne2) / (nF2 - nC2)$$

$$ve1 = (ne1 - 1) / (nF1 - nC1)$$

$$ve2 = (ne2 - 1) / (nF2 - nC2)$$

Z výše uvedených rovnic (7) a (8) vyplývá, že chromatický obraz hvězdy u dubletu o pevném průměru D závisí pouze na materiálových konstantách použitých skel a nezávisí na ohniskové vzdálenosti. Toto reprezentuje závažný závěr, ze kterého vyplývá i omezení použitelnosti dubletu jeho zbytkovou barevnou vadou.

Pokud chromatický obraz hvězdy je srovnatelně velký jako difrakční, barevná vada nebude při vizuálním pozorování podstatně rušit. Převyšuje-li však průměr chromatického obrazu několikanásobně průměr difrakčního kroužku, bude vada zjevně rušit při pozorování a kontrast bude nízký. Známe-li, že průměr chromatického a difrakčního kroužku jsou dány vztahy

$$d \text{ chrom} = 0,5 * D * (\delta f / f) \quad (9)$$

$$d \text{ difr} = 2 * f * 1,22 * \lambda / D \quad (10)$$

můžeme nalézt pro průměr objektivu D, vlnovou délku λ ($\lambda = 0,0005461$ mm), materiálové konstanty Pe1, Pe2, ve1, ve2, takovou hodnotu f ohniskové vzdálenosti f, pro které platí, že

$$d \text{ chrom} = d \text{ difr} \quad (11)$$

pak

$$f = A \cdot (D^2) / (4,88 \cdot \lambda) \quad (12)$$

kde konstanta A je rovna

$$A = \delta f / f = (Pe_1 - Pe_2) / (ve_1 - ve_2) \quad (13)$$

Pro dublet, vyrobený z kombinace klasických skel, kde korunové sklo má indexy lomu $n_{e1} = 1,5-1,55$ a Abbého číslo $ve_1 = 57-63$ a flintového skla $n_{e2} = 1,6-1,7$ a Abbeho číslo $ve_2 = 32-38$ bývá hodnota A okolo $1/2000$. Konstanta A je charakteristická pro každý objektiv. Znamená to, že všechny tyto objektivy mají rozdíl mezi společnou sečnou vzdáleností chromatických svazků čar C, F a čáry e stejný.

Abychom minimalizovali zbytkovou chromatickou aberaci, musí poměr $A = \delta f / f$ co nejmenší. To znamená, že se snažíme vybrat taková skla, která budou mít stejné nebo co nejbližší relativní disperze a naopak co největší rozdíl Abbého čísel. Tento úkol lze elegantně řešit graficky, pokud vyneseme do grafu na vodorovnou osu hodnoty ve a na kolmou osu Pe optických skel. Pokud v tomto grafu spojíme dva body, reprezentující jednu kombinaci korunového a flintového skla dubletu, pravá strana (13) znamená hodnotu tangenty úhlu, kterou tato úsečka svírá s vodorovnou osou. Čím menší sklon spojnice dvou bodů, tím lépe kombinace skel opravuje podélnou chromatickou vadu.

Vyneseme-li do grafu větší počet skel z katalogů, můžeme si všimnout toho, že velká část skel je soustředěna kolem jedné přímky, která má hodnotu sklonu přibližně $1/2000$. Hodnota $1/2000$ znamená, že objektiv o ohniskové vzdálenosti $f = 1000$ mm bude mít rozdíl společné sečné vzdálenosti čar C, F a e-čáry roven $0,5$ mm, což je $1/2000$ ohniskové vzdálenosti.

Technologie výroby těchto skel byla známa několik set let a proto jsou označovány v literatuře jako „stará“ nebo „klasická“ skla. Tato skla byla použita na výrobu všech větších objektivů 19. století.

Snahy optiků o redukci chromatické vady objektivů vedly k hledání technologie tavby nových skel (Schott). Zjistilo se, že přírodní fluorit (CaF_2) má velice vysoké Abbého číslo, okolo 96, a relativní disperzi takovou, že v grafu $Pe - ve$ leží značně nad přímkou, která charakterizuje polohu klasických skel. Jeho kombinace s vhodnými skly dokázala značně redukovat podélný chromatismus oproti kombinaci s klasickými skly. První objektiv pro mikroskopy z přírodního fluoritu začal vyrábět Carl Zeiss a získal s nimi velký věhlas.

Vedle používaného přírodního fluoritu začaly Schottovy závody tavit taková flintová skla, která měla nižší relativní disperze a na grafu $Pe - ve$ ležela pod přímkou klasických skel. Tyto materiály se označují kurzflinty a též v kombinaci se vhodným korunovým sklem je u nich redukována barevná vada. Stejně tak byla zahájena i výroba korunových skel s anomálně vysokými hodnotami relativní disperze Pe . Tyto materiály se vhodně kombinují s flintovými skly.

3. Zbytkové optické vady známých refraktorů

A. Čtyřicetipalcový Clarkův refraktor Yerkesovy observatoře

Tento přístroj je největším čočkovým dalekohledem, který byl vyroben a použit. Přestože je takto vyjímečný, chybí k němu přesné optické parametry k vyjádření jeho zbytkových vad. V této práci jsme použili parametry z práce Johna Churcha [2]. Tyto parametry byly převzaty z článku F.E.Rosse [1], který na konci dvacátých let minulého století měl pro tento dalekohled navrhnout fotografický korektor barevné vady. Pro tyto účely měl znát přesné parametry tohoto přístroje. Na Yerkesově observatoři získal hranoly z francouzských skel, ze kterých je objektiv vyroben. Indexy lomů těchto hranolů nechal změřit v National Bureau of Standards. Poté získal přibližné parametry tlouštěk čoček a mezery mezi nimi, které ve své práci publikoval Hale v roce 1897. Jejich hodnoty se lišily od těch, které sám změřil na dalekohledu. Poloměry křivostí našel v dopise výpočtáře objektivu C.R. Lundina E.B.Frostovi.

Když z těchto parametrů zkusil Ross vypočítat chromatickou křivku, vyšly mu sečné vzdálenosti o 2650 mm kratší než ty, které si pro jednotlivé spektrální čáry změřil přímo u dalekohledu. F.E.Ross byl nucen spočítat poloměry křivostí ploch čoček tak, aby splnil tyto podmínky: Bikonvexní spojka má mít stejné konvexní poloměry křivostí, ohnisková vzdálenost objektivu pro žlutozelené paprsky má být 19354 mm a celá chromatická křivka by měla odpovídat hodnotám, které naměřil přímo u dalekohledu P. Fox. Hartmanovým testem bylo změřeno, že objektiv je překorigovaný, krajní paprsky mají delší sečné vzdálenosti o 4 až 8 milimetrů než středové. Byl naměřen i 2 milimetrový astigmatismus. Rossovi vyšlo řešení, které přesně odpovídalo jak ohniskové vzdálenosti, tak i chromatické křivce, ale otvorová vada v jednotlivých spektrálních

čárách byla 50 mm. Pokud by byla některá z ploch asférizována, muselo by se leštěním odebrat velké množství materiálu a tento proces by byl velmi obtížný. Clark, který měl s retusemi ploch velké zkušenosti, by sotva připustil takovou komplikaci. Chyba spočívá především v nepřesném určení poloměrů křivostí ploch. Ve své práci John E. Church [2] navrhuje změnit rádiusy ploch tak, aby se výsledný návrh objektivu co nejvíce přiblížil chromatické křivce i otvorové vadě.

Jeho hodnoty jsme vložily do programu Zemax. Zbytkové vady objektivu s jeho parametry mají stejné hodnoty, jaké naměřil Ross a Fox v minulém století s maximální chybou 4 mm v sečných vzdálenostech pro jednotlivé spektrální čáry. Tuto chybu lze opravit malými změnami poloměrů popřípadě profilem disperzních křivek skel.

Objektiv je korigován pro čáry B – F, a pro e-čáru má otvorovou vadu 6 mm. Pro vlnovou délku 560 nm má ohniskovou vzdálenost 19354 mm. Dalekohled byl využíván po celou svoji historii pro měření paralax a vlastních pohybů hvězd, pozorování planet a jejich měsíců, spektroskopii, pozorování dvojhvězd.

B. Třicetišesti palcový dalekohled Lickovy observatoře.

Tento objektiv byl vyroben Alvanem Clarkem a mechanické části vyráběla firma Warner and Swasey Company. V roce 1888 byl umístěn na hoře Mount Hamilton poblíž města San José v Kalifornii. Jeho čočky byly vyrobeny z francouzského skla, přičemž kvalitní materiál na spojku se povedl odlít až na dvacátý pokus. Čočky byly několikrát přešťovány, naposledy počátkem 80. let dvacátého století, kdy dostaly definitivní tvar.

U objektivu jsou známy velice přesně změřené indexy lomů skel čoček, avšak jejich poloměry křivostí a velikost tlouštěk chybí.

Parametry pro vyčíslení jeho zbytkových vad byly vzaty z článku Johna E. Churcha [2]. Jako základ pro výpočty optických parametrů u tohoto objektivu byl vzat čtyřicetipalcový dalekohled Yerkesovy hvězdárny. Tyto parametry byly pro Lickův dalekohled zmenšeny koeficientem 0,9. Poté byly napočítány poloměry křivostí čoček tak, aby bikonvexní spojka měla na obou plochách stejné konvexní poloměry a společně s rozptylkou měl dublet ohniskovou vzdálenost 17630 mm. Ta byla naměřena J.H. Moorem.

Indexy lomů byly vzaty z literatury [5].

V roce 1890 byla publikována práce J.E. Keelera, který u tohoto objektivu proměřil chromatickou křivku. Zjistil, že objektiv je korigován pro B-F čáry a má nejkratší sečnou vzdálenost pro paprsky o vlnové délce 565 nm.

Z těchto parametrů vycházel i John E. Church [2], který spočítal poloměry křivostí ploch tak, aby výsledek simulací co nejlépe odpovídal naměřeným hodnotám. Chromatická křivka na tomto dalekohledu byla měřena brzy po jeho uvedení do provozu a lze ji nalézt v [6].

V roce 1892 Barnard s tímto dalekohledem objevil pátý Jupiterův měsíc s názvem Amaltheia. Objev byl proveden vizuálně. Další měsíce planet sluneční soustavy byly objeveny již pouze fotograficky. S dalekohledem byla prováděna spektroskopická pozorování, měření drah dvojhvězd, planetární astronomie, astrometrie.

C. Dalekohled USNO

Tento dvacetišestipalcový dalekohled byl vyroben v roce 1873. Jeho objektiv vyrobil Alvan Clark a mechanickou montáž Warner and Swasey Company.

Objektiv má průměr 660 mm a ohniskovou vzdálenost d paprsků 9873 mm. Jedná se o dublet s B – F korekcí s otvorovou vadou 1,8 mm. Je to nedokorigovaný objektiv. Na tyto parametry byly napočítány v [2] poloměry křivostí tak, aby výsledky chromatických křivek by se co nejlépe podobaly naměřeným. USNO observatoř je ve Washingtonu a dosud dalekohled využívá k měření dvojhvězd a ve speckle interferometrii. V roce 1877 s ním Asaph Hall objevil Marsovy měsíce Phobos a Deimos.

D. Dalekohled z hvězdárny Greenwich

Přístroj má průměr 325 mm a ohniskovou vzdálenost 5400 mm. Velký dalekohled byl získán Airym pro hvězdárnu v Greenwichu koncem padesátých let 19. století. Hlavním důvodem pro jeho zakoupení bylo zlepšení přístrojového vybavení hvězdárny, které bylo po objevu Neptuna v roce 1846 Gallem často kritizováno.

Airy se v roce 1855 obrátil v Německu na firmu Merz, aby získal velký dalekohled pro hvězdárnu v Greenwichu. Merz mu nabídl refraktor o průměru 325 mm a s ohniskovou vzdáleností 5395 mm. Airy si dalekohled odzkoušel a prohlásil jej za výborně zobrazující a od roku 1860 se s ním začal pozorovat.

Po celou svou existenci se s přístrojem měřily zákryty hvězd Měsícem, pozice komet, pozorování planet a dvojhvězd, měření pohybů měsíců planet. Později byl přístroj vybaven spektroskopem a měřilo se s ním i tepelné záření hvězd.

Dalekohled byl umístěn na společné montáži s 26 palcovým Thompsonovým fotografickým refraktorem, kde sloužil jako pointer. Objektiv byl v 80. letech proměřován a byly publikovány jeho parametry v [10].

Z těchto dat jsme vycházeli ve výpočtech zbytkových vad.

Samotný objektiv na optické ose vykazuje zonální vady a osový astigmatismus. Jeho návrh je vzdálený od aplanatického řešení. Vstupní plocha je silně poškozena škrábami z nevhodného čištění. Velikost optických vad je taková, že jsou pozorovatelné pouze za vynikajících podmínek. S přístrojem byly měřeny dvojhvězdy až do úhlové vzdálenosti 0,5".

E. Fraunhoferův heliometr

Nejstarším přístrojem našeho příspěvku je Fraunhoferův heliometr s objektivem 158/2560. Dalekohled byl spočten Fraunhoferem 1822 a dokončen po jeho smrti v roce 1826. V roce 1838 s ním F.W. Bessel změřil paralaxu hvězdy 61 Cygni.

Parametry k tomuto dubletu byly objeveny ve Fraunhoferových zápiscích až v roce 1898 a zkoumány Merzem. Z optického návrhu vyplývá, že objektiv byl optimalizován pomocí ray tracingové metody, která umožňuje dosažení dokonalé eliminace zbytkových vad. Objektiv byl achromatizován pro paprsky oborů B a F, narozdíl od dnešních objektivů, u kterých se užívá korekce C-F. To u jeho objektivu způsobuje modré, indigové zbarvení okrajů pozorovaných objektů. Tato korekce byla v 19. století preferována, protože hlavním zájmem bylo pozorování planet, které svítí odraženým světlem ze Slunce. Toto světlo má největší intenzitu ve žluté barvě a právě korekce B-F byla považována pro tato pozorování za vhodnější než typ korekce C-F. Metody návrhu, výroby, zkoušení objektivu, které vyvinul J. Fraunhofer, byly po něm široce užívány v celém optickém průmyslu.

F. Koenigův objektiv 180/3430

Tento dalekohled byl vyroben Zeissem na zakázku vídeňského astronoma Koeniga v letech okolo 1905-1907. Do Prahy se tento přístroj dostal po jeho smrti, kdy byl zakoupen pro nově vznikající petřínskou hvězdárnu.

Na masívní montáži byly umístěny dva dalekohledy, větší, fotografický o průměru 200 mm a ohniskové vzdálenosti 3000 mm a menší, pro vizuální pozorování i jako pointer. Ten má průměr 180 mm a ohniskovou vzdálenost 3430 mm.

V roce 2005 byl přivezen do Turnova do bývalé VOD AVČR, aby byl očištěn a opatřen antireflexními vrstvami. Během demontáže byl důkladně proměřen.

Ukázalo se, že je vyroben z klasických skel s indexy a disperzemi blízkými kombinaci BK7 – F1 jen s malými várkovými odchylkami v 5. řádu indexu lomu. Spojka byla důkladně přešetřována a u objektivu došlo k prodloužení ohniskové vzdálenosti o 6 mm. Tato čočka vykazuje na polariskopu uprostřed kříž, způsobený vnitřním pnutím

Dalekohled je určen hlavně pro popularizaci astronomie.

4. Parametry objektivů, pro které byly počítány zbytkové vady

Optické parametry objektivů Alvana Clarka a Fraunhoferova heliometru byly publikovány v práci Johna Churcha ve Sky and Telescope, March, 1982. [2]

Parametry pro 325 mm refraktor observatoře v Greenwich vyšly v práci [10]

Optické parametry objektivu 180/3430 Koenigova dalekohledu hvězdárny na Petříně byly změřeny ve Vývojové optické dílně AV ČR v Turnově během jeho opravy a napaření antireflexními vrstvami.

Tento článek vznikl v rámci projektu č. CZ.1.05/2.1.00/03.0079 Regionální centrum speciální optiky a optoelektronických systémů TOPTEC, který je realizován za podpory Evropského fondu pro regionální rozvoj v programu OP VaVPI a Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

5. Literatura

- [1] Correcting Lenses for Refractors, Ross, Frank E. Astrophysical Journal, vol.76, Publication Date 10/32
http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1932ApJ....76..184R&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINT&filetype=.pdf
- [2] Optical Design of Some Famous Refractors, John.A.Church, Sky and Telescope, March, 1982
- [3] Geometrická optika, Havelka,
- [4] Optičeskije teleskopy Michelson, Moskva,
- [5] E.S.Holden, Publications of Lick Observatory, 1, 61, 1887, a 3, 1, 1894
- [6] http://articles.adsabs.harvard.edu/cgi-bin/nph-iarticle_query?1890PASP....2..160K&data_type=PDF_HIGH&whole_paper=YES&type=PRINT&filetype=.pdf
- [7] Optical Design Program Zemax, User's Guide, Version 10, Focus Software, Inc., Tuscon 2005.
- [8] Rutten, van Venrooij, Telescope Optics, Willmann- Bell, Inc., Richmond, Virginia, 2002
- [9] Apenko M., I., Dubovik A., S., Prikladnaja optika, Nauka, Moskva, 1982
- [10] The Object-Glass of the Greenwich "Great Equatorial Telescope", C.M.Lowne, Royal Greenwich Observatory, Journal for the History of Astronomy, Vol.19, No.3/Aug., p.169, 1988, Publ. Date 08 /1988
- [11] The history of the Telescope, Henry C.King, Dover Publications, Inc, Mineola, New York, 1955