

Zvýšení rozlišovací schopnosti malých chromosférických dalekohledů.

Radek Melich, Zdeněk Rail, Zbyněk Melich

Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. - oddělení Optická diagnostika

Skálova 89, 511 01 Turnov

e-mail : vod@ipp.cas.cz

Byla navržena Mersnova předsádka k nasazení na komerční typy chromosférických dalekohledů (například typ Coronado), s cílem zvýšení rozlišovací schopnosti přístroje. Původní dalekohled s aperturou 40 mm, tj. s rozlišovací schopností 4", byl doplněn afokální soustavou průměru 120 mm. Bylo zjištěno, že rozlišení při dobrém seengu odpovídá výsledkům blízkým teoretickým, tedy 1.2".

The improvement of resolving power of small chromospheric telescopes.

The Mersen system was constructed for improvement of resolving power of commercial solar chromospheric telescopes (Coronado, Lunt). Former device of aperture of 40 mm and resolving power 4" was equipped with entral member – afocal Mersen system of 120 mm diameter. Resolving power of composed systém was increased to 1.2" which was observed during good seeing conditions.

1. Úvod

Ústav fyziky plazmatu AVČR, v.v.i.-oddělení Optická diagnostika má dlouholetou tradici ve vývoji a výrobě optických přístrojů pro pozorování Slunce. Tento referát se zabývá možností úpravy komerčního spektrografu americké firmy Coronado pro zvýšení jeho rozlišovací schopnosti.

2. Historie pozorování Slunce spektroskopem

V roce 1868 navštívil francouzský astronom Janssen indický Guntoor, aby zde pozoroval úplné sluneční zatmění. S dalekohledem, vybaveným spektroskopem, se jeho zájem soustředil především na zkoumání povahy světla, pocházející z oblastí nad slunečním diskem, které v tehdejší době bylo možné studovat jenom po krátkou dobu úplného zatmění Slunce.

V Guntooru Janssen zjistil, že světlo z útvarů nad sluneční fotosférou vykazuje emisní čáry plynu, zahřátého na vysokou teplotu. Okamžitě po zatmění se začal zabývat myšlenkou, zda by okrajové děje ve sluneční atmosféře – protuberance, nebylo možné pozorovat i mimo sluneční zatmění.

Hned druhý den zkusil zamířit dalekohled se spektroskopem na okraj Slunce a tam spatřil stopy protuberancí, pozorovaných předchozího dne během zatmění.

Tak začala éra pozorování Slunce v monochromatickém oboru. O několik týdnů později opakoval obdobná pozorování také anglický astronom Norman Lockyer.

Následující rok ukázal William Huggins, že protuberance je možné pozorovat se spektrografem se zvětšenou šířkou štěrbin a dosáhnout tak většího zorného pole přístroje. Znamenalo to, že pro pozorování protuberancí není potřebná extrémně malá pološířka propustnosti spektroskopu.

Později po zdokonalení technologie výroby mřížek Rowlandem, se začaly k pozorování využívat i mřížové spektrografy. Až do 30. let 20. století astronomové hranolové a mřížkové spektrografy používali pro svá chromosférická pozorování, přestože měly řadu nevýhod - malá zorné pole, poměrně složitou konstrukci.

Kolem roku 1930 vynalezl Bernard Lyot typ bezštěrbinového monochromátoru, který elegantně využíval k separaci pracovní spektrální čáry vlastností dvojlomných krystalů křemene a islandského vápence.

S jeho kompaktním, teplotou stabilizovaným úzkopásmovým filtrem, bylo možné pozorovat protuberance kolem celého slunečního disku najednou a navíc oproti hranolovým spektrografům bylo možné ještě více zúžit pološířku propustnosti a pozorovat chromosférické děje.

Později v 50. letech bylo nalezeno nové, ještě elegantnější řešení řetězových dvojlomně polarizačních filtrů s mnohem dokonalejšími optickými vlastnostmi.

Dvojlomně polarizační filtry jsou, s ohledem na pracovní výrobu a cennou surovinu, poměrně drahé výrobky a proto bylo jejich použití omezené převážně na velké astronomické observatoře.

Až do 70.let byla pozorování Slunce v monochromatickém oboru prakticky výsadou profesionálních astronomů, i když v ojedinělých případech někteří amatéři s nimi dosáhli pozoruhodných výsledků.

V 70-tých letech začala v USA vyrábět úzkopásmové filtry firma Day-Star. Jejich výrobky se rychle rozšířily jak mezi amatéry, tak i profesionály.

V polovině devadesátých let 20.století se na trhu objevily chromosférické dalekohledy firmy Coronado a o něco později i z firmy Lunt Optics. Cena těchto přístrojů se postupem doby snížila, takže se tyto dalekohledy pro pozorování sluneční chromosféry staly dostupné i pro amatérská pozorování.

Před dvěma roky byl jeden přístroj z firmy Coronado získán do oddělení Optická diagnostika ÚFP AV ČR, v.v.i. Jedná se o dalekohled typ PST o průměru vstupní apertury D40 mm, s ohniskovou vzdáleností f^*400 mm, používající blokační filtr o průměru d4 mm.

Jeho teoretická rozlišovací schopnost je $\alpha=3''$. Pracovní vlnová délka je $\lambda=656,3$ nm, (čára H-alfa) a výrobce garantuje pološířku propusti filtru pod $d\lambda=0,1$ nm.

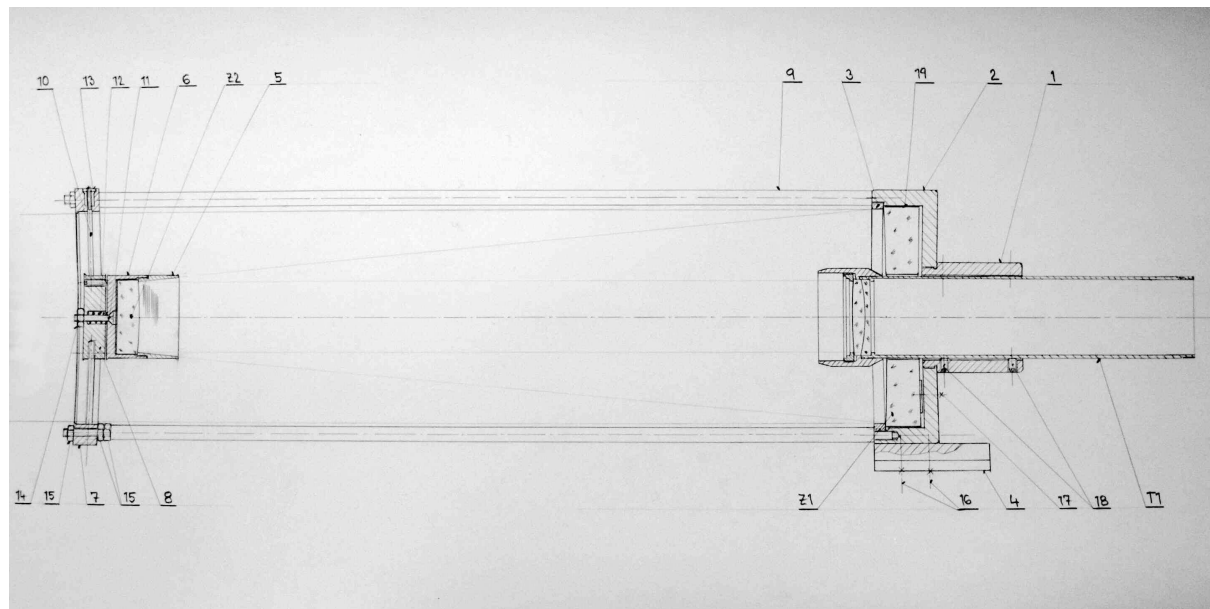
3. Předsádka Mersen

Po prohlédnutí chromosférického dalekohledu firmy Coronado byla vznesena úvaha, zda by nebylo možné zvýšit rozlišovací schopnost přístroje představením vhodné afokální teleskopické soustavy. Nejslibnější z reálných variant se jevila Mersenova zrcadlová soustava, přestože se uvažovalo i o klasickém čočkovém afokálním systému Galileova typu.

Zvolené trojnásobné zvětšení vstupní apertury dalekohledu znamená zmenšení zorného pole na jednu třetinu její původní hodnoty. Hlavní cíl upraveného přístroje je založen na tom, aby zobrazoval detaily dějů ve sluneční chromosféře s vyšším rozlišením, přičemž nebylo požadováno zobrazení celého slunečního disku.

Za tímto účelem byla navržena a vyrobena před spektroskop Mersenova dvojjzrcadlová afokální předsádka.

Konkávní primární paraboloidické zrcadlo o průměru 130 mm je využíváno v optickém průměru D120 mm a má ohniskovou vzdálenost f^*600 mm. Konvexní sekundární paraboloidické zrcadlo má průměr d40 mm a jeho ohnisková vzdálenost $f^*=-300$ mm je volena tak, by soustava obou zrcadel, vzdálených od sebe 450 mm, byla afokální. Z tohoto systému vstupují paralelní svazky do dalekohledu Coronado, který je uchycen do předsádky přímo za objímku objektivu. Mechanika byla volena jednoduchá, využívající tyčové konstrukce tubusu s vetknutím do objímek zrcadel. Schéma je uvedeno na obrázku.



Obr.1 Schéma předsádky typu Mersen

Primární paraboloid má napařenou vrstvu Al+SiO₂ s odrazností 90 procent. Také odraznost sekundáru byla zvolena shodná, ač bylo uvažováno i její redukci napařením chromové vrstvy s odrazností 60 %, aby do spektroskopu Coronado vstupovalo stejné množství světelné energie jako bez předsádky. K případné úpravě jasů pozorované chromosféry je možno snadno aplikovat vhodné absorpční neutrální filtry různé hustoty.

Samotný spektroskop Coronado používá pro vytvoření monochromatické propusti kaskády několika filtrů. První filtr bývá umístěn před objektivem, (nebo je filtrová soustava tenkých vrstev na objektiv přímo napařena), další filtr bývá sestaven jako Fabry-Perotův etalon, s možností osového náklonu. Teplotní stabilita tohoto členu filtru, tedy závislost přesunutí propusti filtru na teplotě, je vysoká a je zajišťována středovou distanční rozpěrkou umístěnou v mezeře uprostřed Fabry-Perotova etalonu, která je vložena mezi polopropustná zrcadla. Tento člen určuje pološířku filtru $d\lambda$. Další hradící úzkopásmový filtr, který v soustavě bývá umístěn před její obrazovou rovinou, odřezává postranní maxima propustí vstupních členů. Celý filtrový systém je dostatečně tepelně stabilní - k ladění ve spektrální čáře a jejím okolí se využívá jemného náklonu Fabry-Perotova členu. Obdobným způsobem jsou konstruovány i dalekohledy od firmy Lunt Optics.

4. Výsledky dosažené spektroskopem s předsádkou

Po justáži vstupní soustavy, která představuje kolimaci obou použitých zrcadel Mersenovy soustavy a nastavení jejich vzdálenosti, stačí do paralelního chodu svazku v optické ose vložit originální dalekohled. Tím je soustava jako celek připravena k pozorování. K odzkoušení soustavy bylo prozatím využito pouze několika posledních slunečných dní, kdy seeng nabýval značných hodnot. Avšak hned první výsledky pozorování byly úspěšné - struktura chromosféry byla přístrojem vizuálně pozorována podstatně detailněji a snadněji, než původním dalekohledem. K tomu přispívá nejen zvětšené rozlišení použitím většího průměru zrcadlového objektivu, ale také volba centrálního clonění užití Mersenovy předsádky. Vzniklá apodizace přitom mírně zvýší kontrast plošných objektů, na úkor snížení kontrastu detailů.



Obr. 2 – Komplet dalekohledu při pozorování

Lze předpokládat, že navržené jednoduché řešení zvýšení rozlišovací schopnosti při pozorování chromosféry využijí nejen amatéři, ale i profesionálové.

Poděkování: Práce byla řešena jako dílčí část výzkumného záměru, projekt AV0Z20430508, přičemž bylo využito poznatků z projektu IQS100820502.

5. Literatura:

- [1] Kippenhahn R., Odhalená tajemství Slunce, Mladá Fronta, EdiceKolumbus, Praha, 1999.
- [2] The Sun and How to Observe It, Jamey L. Jenkins, Springer +Business media, LLC2009, New York, USA
- [3] Stránky firmy Coronado: www.coronadofilters.com
- [4] Stránky firmy Day-Star: www.daystarfilters.com
- [5] Stránky firmy Lunt: www.luntoptics.com
- [6] Early Instruments of Astronomical Spectroscopy. By Peter Abrahams.
<http://www.europa.com/~telscope/histspec.txt>
- [7] Šolc I., Velíšek J., Snížení rozlišovací schopnosti dalekohledu dvojlomnými filtry. JMO 16, (1971), s.94
- [8] Maksutov D.D., Izgotovljenije i issledovaniije astronomičeskoj optiki, Nauka, Moskva, 1984.
- [9] Optical design Program Zemax, User's Guide, Version 10, Focus Software, Inc., Tucson, 2005.