

Optické návrhy několika přístrojů sluneční fyziky

Zdeněk Rail, Daniel Jareš, David Tomka, Roman Doleček

Ústav fyziky plazmatu AV ČR, v.v.i. - OD Topte. Skálova 89, 51101 Turnov

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

Tato práce popisuje optický návrh několika přístrojů, které se používají pro pozorování Slunce. Jedná se o koronograf a chromosférický dalekohled. V obou případech je kladen důraz na jednoduchost vlastního optického systému a dosažení vysoce kvalitních zobrazovacích vlastností. Koronograf je navržen pro 7 optických prvků, čímž je minimalizováno množství rozptýleného světla. Chromosférický dalekohled je navržen pro dvojlomně polarizační a Fabry-Perotovy filtry. Všechna tato řešení mohou sloužit jako výchozí návrhy pro další složitější přístroje.

Optical Designs of the Chromospheric Telescope and the Coronagraph

This paper presents optical designs of several devices which are used in solar astronomy – coronagraph and telescope for the observations of chromosphere. We insist on high quality of images and simplicity of the whole optical design. The coronagraph is composed of 7 optical parts to minimize dispersed light. The chromospheric telescope is designed both for birefringent and Fabry-Perot filters. All these designs could be used as the initial solutions for much complicated devices.

1. Úvod

Spektroskopická pozorování jsou dnes jednou z nejdůležitějších metod astronomie, s jejíž pomocí jsou získávána data o vesmírných objektech. [1, 2, 3, 4] Za zakladatele spektroskopie se dnes považuje německý optik Joseph Fraunhofer. Ten si v roce 1814 ve slunečním spektru povšiml tmavých čar, když měřil indexy lomů optických skel. Zjistil, že tyto tmavé pásy mají ve spektru své pevné vlnové délky. Uvědomil si, že k jejich vlnovým délkám může vztahovat indexy lomu skel. Záhy sestavil katalog několika stovek spektrálních čar a pomocí mřížek velice přesně určil i jejich vlnové délky. Nejvýraznější čáry označil písmeny A, B, C, D, E, ... H.

Fraunhofer nebyl první, kdo tmavé spektrální čáry pozoroval, protože již v roce 1802 je spatřil Wolaston, avšak ten jim nevěnoval tolik pozornosti.

Fraunhofer byl však první, kdo umístil hranol z flintového skla o vysoké disperzi před objektiv theodolitu a pozoroval s ním v zatemněné místnosti štěrbinu na okně, kterou procházelo sluneční světlo. Dále zkonstruoval 4,5 palcový refraktor, před jehož objektiv připevnil hranol z flintového skla s vrcholovým úhlem 37 stupňů 40 minut. Ten pak používal pro pozorování spekter hvězd.

Při nich zjistil, že spektra hvězd se mohou značně lišit. Velice ho zaujalo i zjištění, že ve žluté části spektra Slunce jsou dvě blízké tmavé čáry, které mají stejnou vlnovou délku, jako dvě jasné čáry z plamenu, obarveném sodíkovými solemi.

Později Brewster pozoroval Slunce při západu spektroskopem. Zjistil, že když sluneční světlo prochází při západu nebo východu Slunce dlouhou dráhou zemským ovzduším, v jeho spektru se objevují další temné čáry. Jejich vznik přisoudil absorpčním schopnostem plynů v zemské atmosféře.

Na konci 40. let 19. století zkoumal povahu spektrálních čar i Leon Foucault. Stejně jako Fraunhofer si všimnul, že tmavé tmavé čáry v žluté barvě ve slunečním spektru mají přesně stejnou vlnovou délku jako jasné emisní čáry, vyzařované plamenem, obarveným sodíkovými solemi. Když ale sluneční světlo, napájající jeho spektroskop, procházelo tímto plamenem, tmavé čáry ještě výrazněji potemněly.

Tento jev podrobně zkoumali němečtí fyzici Kirchhoff a Bunsen, kteří tuto souvislost mezi jasnými čarami chemických prvků z laboratorních lamp a absorpčních čar ve slunečním spektru vysvětlili. Ve svém experimentu, kdy sluneční světlo procházelo sodíkem zbarveným plamenem, mohl Kirchhoff a Bunsen měnit i teplotu plamene. Pokud byl plamen chladnější než teplota zářícího plynu na Slunci, objevovaly se ve spektru temné čáry. Ale jakmile jeho teplota převýšila teplotu slunečního povrchu, byly pozorovány čáry jasné - emisní. Experimentem potvrdili existenci sluneční atmosféry a přítomnost sodíkových iontů v ní. Každý chemický prvek pohlcuje záření těch vlnových délek, které sám vyzařuje.

Později byl absorpčním čarám ve sluneční atmosféře přiřazen i prvek, který jejich vznik způsobuje. Dalším důležitým zjištěním byl poznatek, že teplota, tlak zářícího plynu může ovlivňovat charakter spekter.

Velkého pokroku ve výzkumu Slunce bylo dosaženo v roce 1868. Řada významných astronomů odjela do Indie pozorovat úplné sluneční zatmění. Během tohoto úkazu byly na okraji Slunce pozorovány protuberance. Druhý den francouzský astronom Janssen zkusil zamířit svůj spektroskop na okraj Slunce s pootevřenou

šterbinou, orientovanou tečně ke slunečnímu okraji. V zorném poli spektroskopu se mu objevila protuberance, kterou viděl předešlého dne.

Téhož roku s Hugginsovi podařilo určit i první hodnotu radiální rychlosti hvězdy z Dopplerova efektu.

Následující rok 1869 byla během zatmění zjištěna v koroně zelená čára, kterou vytváří třináctkrát ionizované železo. Při pozdějším zatmění ve Španělsku v roce 1870 byla zjištěna také přítomnost řady jiných spektrálních čar, z nichž jedna žlutá čára, dříve označovaná jako D3, nepříslušela žádnému tehdy známému prvku. Lockyer ukázal, že patří plynu, který nazval heliem. Až v roce 1895 byl tento plyn izolován Ramseyem.

Od 70. let 19. století byla intenzivně studována spektra hvězd, mlhovin a galaxií. Ukázalo se, že ke spektrálnímu pozorování je výhodnější použít zrcadlové dalekohledy, které byly mnohem světelnější než refraktory a podstatně zkracovaly expoziční časy při fotografování spekter.

Dosud se spektroskopy stavěly jako přídavná zařízení k refraktorům nebo reflektorům.

Koncem 19. století astronomové, zvláště v USA, měli zájem o pozorování Slunce v úzkém spektrálním oboru. Velkým přínosem v tomto oboru byl spektroheliograf, který navrhl Hale. Ten začal jako astronom amatér s čtyřpalcovým Clarkovým dalekohledem. K němu později získal i spektroskop. Hale později získal přístup i k mnohem větším dalekohledům a po vystudování MIT se stal profesionálním astronomem a konstruktérem optických přístrojů.

Jako mnoho dalších astronomů jej zajímala konstrukce přístroje, který by zobrazoval Slunce jen v jedné úzké spektrální čáře. Zkoušel stavět sluneční spektroskopy, které by pracovaly v úzkém oboru kolem čáry H-Alfa, ale díky malé citlivosti fotografického materiálu nebyl úspěšný.

Mnohem lepších výsledků se svým přístrojem - spektroheliografem dosáhl, když začal pozorovat v čarách H a K v modré a fialové oblasti spektra. Svůj přístroj použil jako doplněk u Clarkova čtyřicetipalcového dalekohledu. Přestože získal vynikající fotografie Slunce, uvědomil si, že pro příští pozorování bude vhodnější jiným způsobem konstruovaný přístroj.

Hale byl i úspěšný manažer a kromě prostředků na stavbu 40 palcového refraktoru Yerkesovy observatoře, 60, 100 a 200 palcového dalekohledu se podařilo prosadit stavbu velkého slunečního dalekohledu na Mount Wilsonu.

Hale a jeho kolegové se též pokoušeli o konstrukci přístroje, který by umožnil pozorovat sluneční koronu i mimo zatmění Slunce. V této snaze úspěšní nebyli.

Z jejich neúspěchů se poučil na konci dvacátých a počátkem třicátých létech francouzský astronom a optik Bernard Lyot. Ten si uvědomil, že pro zobrazení sluneční koróny bude potřeba v přístroji odclonit jednak samotné záření Slunce a dále paprsky, které se rozptylují na okraji objektivu. Nmalým zdrojem parazitního světla jsou defekty na leštěných plochách čoček a uvnitř skel (bublinky, šlírý). Dále bylo nutné eliminovat rozptyl světla na prachových částicích ve vzduchu. Lyot umístil své přístroje na Pic du Midi v Pyrenejích do nadmořské výšky 2700 m. Po několikaletém vývoji přístroje naskonec spatřil narůžovělou část sluneční atmosféry, jejíž části ukazují i to, že záření z ní je polarizováno.

Lyot využil dvojlomně-polarizačního filtru, který sám navrhl, k pozorování Slunce v monochromatickém oboru. V padesátých letech minulého století bylo objeveno další řešení dvojlomně polarizačního filtru Dr. Šolcem z Turnova, které je podstatně jednodušší.

Lyot své přístroje zdokonaloval, aby dosáhl lepších výsledků. Později připojil ke koronografu mřížkový a hranolový spektrograf.

Pro pozorování Slunce v monochromatickém oboru jsou ve stále větší míře používány Fabry-Pérotovy filtry, jejichž technologie byla v USA vyvíjena od 60. let 20. století.

2 Konstrukce spektrálních přístrojů

A. Návrh čočkového spektrografu

Konstrukce čočkového přístroje se skládá ze čtyřech částí. Hlavní objektiv vytváří ve své ohniskové ploše skutečný obraz Slunce a je určujícím prvkem pro maximální úhlovou rozlišovací schopnost celého přístroje.

Druhým členem spektrografu je kolimační objektiv, který reálný obraz Slunce promítá do nekonečna. Hlavním důvodem je to, aby do použitého filtru vstupovaly paprsky s co nejmenšími odchylkami od paralelních paprsků.

Třetím členem je vlastní filtr, který může být dvojlomně-polarizační nebo interferenční. Jeho parametry určují spektrální rozlišení celého systému.

Posledním, čtvrtým optickým členem, je zobrazující objektiv.

Tento člen vytváří ve své ohniskové ploše reálný monochromatický obraz.

Náš návrh spektrografu umožňuje pozorování v oboru K-čáry (394,3nm) i v čáře H-Alfa (656,3) nm. Rozlišovací schopnost tohoto přístroje je 0,9'' pro čáru H-Alfa a 0,7'' pro K-čáru. Výsledná ohnisková vzdálenost systému je 873 mm pro čáru K a pro čáru H-Alfa je 1019 mm.

Hlavní objektiv má průměr 150 mm má ohniskovou vzdálenost 2230mm. Slunce je v jeho ohniskové ploše zobrazeno o průměru 19,6 mm.

Objektiv je navržen z klasických skel BK7 – F2, která jsou chemicky stálá a je možné při leštění dosáhnout vysoké kvality optického povrchu. Ta je u slunečního přístroje důležitá kvůli minimalizaci rozptýleného světla.

Kolimátorový objektiv má průměr 44 mm. Má ohniskovou vzdálenost okolo 220 mm. Průměr světelného svazku, který vstupuje do filtru, má hodnotu 15,7 mm. Též tento optický člen je též navržen ze stabilních skel F2 a BK7.

V našem návrhu uvažujeme použití úzkopásmového dvojlomně-polarizačního filtru Šolcova typu o optickém délce 220 mm a šířce propustnosti 0,07 nm.

Pro paralelní pozorování v obou oborech současně jedním spektrografem je mezi kolimačním objektivem a filtrem dostatečný optický interval pro vložení dělicí polopropustné kostky, která by umožnila odklonit 50% světla pro druhý spektrální obor.

Optický průměr křemenných filtrových destiček je 15 mm, krajní části Slunce jsou v našem návrhu mírně vinětovány. Vinětaci lze odstranit zvětšením vzdálenosti filtru od kolimačního objektivu.

Zobrazující objektiv je složen ze čtyřech čoček ze stabilních klasických skel. Je navržen tak, aby bylo možné s ním pozorovat současně v obou oborech čar K a H-Alfa. Zobrazovací vlastnosti tohoto prvku jsou velice citlivé na dodržení vzdáleností mezi jednotlivými čočkami.

Navrhovaný systém je schopen všechny geometrické paprsky soustředit v poli o průměru

0,5 stupně do difrakčního limitu v obou pracovních spektrálních oborech. Kontrolně bylo zjištěna i možnost uplatnění spektrografu pro čáry H-Beta (4861nm), d (587,6 nm), A (768,2nm), čáry 854 nm a 1083 nm. I v těchto oborech jsou splněny výše uvedené optické podmínky.

B. Návrh protuberančního dalekohledu

Navrhovaný přístroj pro pozorování protuberancí vychází koncepčně ze spektrografu. Aby bylo možné lépe zviditelnit jevy vně okraje slunečního disku, je nutné jeho záření omezit clonou, umístěnou v ohniskové ploše hlavního objektivu. Clona je připevněna v ohnisku na čočce s provrtaným středem.

V naší práci předkládáme dva návrhy protuberančních dalekohledů, jeden umožňuje pozorování v čarách H-Alfa a K. Přístroj je optimalizován především pro čáru K, v druhém oboru, v čáře H-Alfa, má horší zobrazovací vlastnosti. Abychom dosáhli i v oboru H-Alfa výborných zobrazovacích vlastností, optimalizovali jsme systém změnou poloměrů křivosti čoček zobrazujícího objektivu.

Náš návrh protuberančního dalekohledu má průměr hlavního objektivu 150 mm.

Rozlišovací schopnost tohoto přístroje je 0,9'' pro čáru H-Alfa a 0,7'' pro K-čáru. Výsledná ohnisková vzdálenost systému je 2516 mm pro čáru K a pro čáru H-Alfa je 2573 mm.

Průměry disku Slunce budou 22,6 mm resp. 22,1 mm pro čáry H-Alfa resp. K čáru.

Zorné pole přístroje má průměr 45 minut.

Hlavní objektiv má průměr 150 mm a ohniskovou vzdálenost 2230 mm. Je navržen ze skel BK7 – F2, což jsou chemicky odolné materiály. Tloušťky čoček jsou voleny tak, aby se při obrábění optických ploch zabránilo jejich mechanickým deformacím.

V ohniskové ploše hlavního objektivu je umístěna kruhová clona, která cloní záření slunečního disku. Její průměr je 19,6 mm a v průběhu roku je nutné clonu vyměňovat podle úhlového průměru Slunce na obloze. Clona je uchycena na polní čočku za střed. Čočka je vyrobena z taveného křemene.

Objektiv kolimátoru má průměr 44 mm a je vyroben též ze skal BK7-F2. Má ohniskovou vzdálenost 290 mm a zobrazuje reálný obraz hlavního objektivu do nekonečna.

Vzhledem k tomu, že intenzita světla protuberancí je ve srovnání s intenzitou světla slunečního disku velmi malá, jako filtr je zde použit dvojlomně-polarizační filtr o šířce propustnosti pásma 1 nm. Z tohoto důvodu je uvažována celková délka křemenného filtru 100 mm.

Pro pozorování chromosférických dějů by tento filtr byl nepoužitelný. Do filtru vstupuje svazek o průměru 26 mm, reprezentující zorné pole 45 úhlových minut.

Zobrazovací objektiv je čtyřčočkový s obecnými vzdálenostmi čoček. Změnou těchto vzdáleností lze soustavu překorigovat z oboru K-čáry do čáry H-Alfa.

Ale pro lepší zobrazovací vlastnosti protuberančního dalekohledu v oboru H-Alfa uvádíme další variantu systému s optimalizovaným zobrazujícím objektivem.

C. Optický návrh koronografu

Optický návrh koronografu je konstrukčně velice podobný výše uvedeným přístrojům. Hlavní rozdíl je v tom, že se v něm úzkostlivě dbá na potlačení rozptýleného světla. Poměr intenzit světla mezi korunou a slunečním diskem je 1/1 000 000. Aby bylo možné koronu zviditelnit, je nutné splnit řadu požadavků k minimalizaci

rozptýleného světla. V přístroji se odstraňuje světlo Slunce kruhovou clonou, umístěnou v ohniskové ploše hlavního objektivu.

Dalším zdrojem rozptýleného světla je okraj hlavního objektivu. Aby se toto rozptýlené světlo potlačilo, zobrazuje se okraj objektivu polní čočkou na clonu, umístěnou před filtrem. Tím se rozptýlené paprsky nedostanou dále až do ohniskové plochy přístroje. Tato clona se v literatuře obvykle označuje jako Lyotova clona. Dalšími zdroji rozptýleného světla jsou povrchy čoček, zvláště hlavního objektivu, dále nehomogenity skla-bubliny, prach atd.

Z tohoto důvodu se materiál na čočky koronografu pečlivě vybírá a opracovává s nejvyšší pečlivostí. Velice důležité je i samotné umístění pozorovacího místa pro pozorování koróny. V našich podmínkách sahá atmosférické znečištění prachem a pylem do výšky 2500 m.

Z tohoto důvodu jsou koronografy umísťovány na vysokohorské observatoře nad touto znečištěnou vrstvou vzduchu. Pozorování koróny je velice závislé i na úrovni seeingu.

V této práci předkládáme dvě verze přístroje s pracovními obory pro 530,3 nm (čára 13krát ionizovaného železa) a dále pro čáru H-Alfa (656,3 nm).

Naše optické návrhy koronografu mají průměry vstupní apertury 70 mm.

První varianta koronografu pro obor 530,3 nm má rozlišovací schopnost 1,9'', druhá, pracující v H-Alfa oboru 2,4''. Ohniskové vzdálenosti přístrojů jsou 1145 mm resp. 1172 mm.

Hlavní objektiv má mechanický průměr 80 mm. Aperturní clona o průměru 70 mm je umístěna ve vzdálenosti 100 mm před ním. Hlavní objektiv zobrazuje Slunce do vzdálenosti 1189 resp. 1201 mm od své zadní plochy. Slunce se v ohniskové ploše přístroje zobrazuje jako kroužek o průměru 10,2 mm resp. 10,4 mm. U obou návrhů jsou konvexní plochy hlavního objektivu asférizovány. Jako materiálu by mělo být užito sklo BK7 nejvyšší kvality.

Ve vzdálenosti 100 mm před hlavním objektivem se nachází aperturní clona, omezující průměr vstupní apertury přístroje na 70 mm. Slunce se v ohniskové ploše hlavního objektivu zobrazuje na clonu o průměru 10,4 mm resp. 10,6 mm. V průběhu roku se jeho průměr díky eliptické dráze Země kolem Slunce mění.

Clona je upevněna za střed polní čočky, vyrobené z taveného křemene. Polní čočka (někdy též označována jako Lyotova čočka) zobrazuje okraj vstupní aperturní clony koronografu o průměru 70 mm na další clonu, umístěnou ve vzdálenosti 420 mm za polní čočkou. Ta by měla být realizována jako irisová clona s možností plynule měnit svůj průměr. Její maximální průměr je 24,8 mm při průměru zorného pole přístroje 0,84 stupně.

Za touto clonou (Lyotova clona) je umístěn jednočočkový kolimační objektiv z materiálu BK7.5

Dalším členem je dvojlomně polarizační filtr o optickém průměru 30 mm a délce 100 mm.

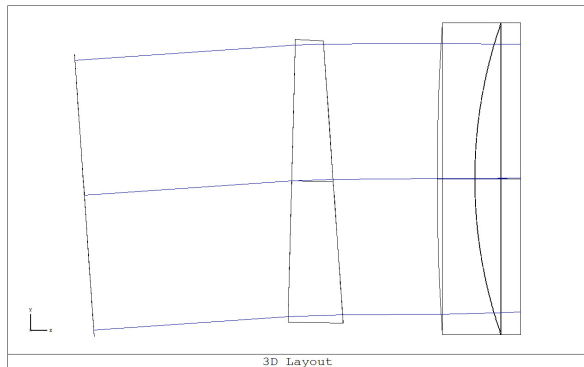
Je však možné použít i filtr interferenční nebo za výborných podmínek i skleněný o vhodné spektrální propustnosti. Změnou typu filtru se zobrazovací kvalita soustavy nezhorší.

Zobrazující objektiv, umístěný za filtrem, je obecný dublet z klasických skel BK7 a F2. Slunce se v ohniskové ploše přístroje zobrazí jako kroužek o průměru 10,2 mm resp. 10,4 mm.

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.

3. Literatura

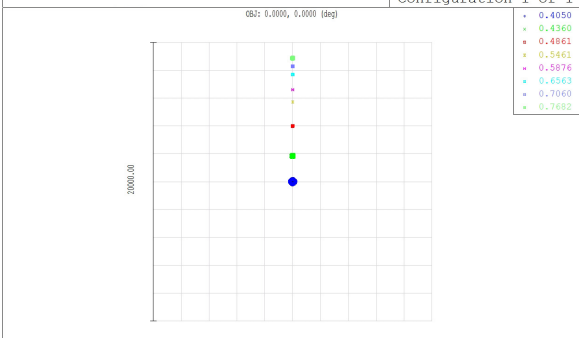
- [1] Odhalená tajemství Slunce, Rudolf Kippenhahn, Mladá Fronta, Edice Kolumbus, Praha, 1999
- [2] The History of the Telescope, Henry C. King, Dover Publications, Inc, Mineola, New York
- [3] The study of the solar corona and prominences without eclipses (George Darwin Lecture, 1939), Bernard Lyot, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 99, p.580, 06/1939, <http://adsabs.harvard.edu/abs/1939MNRAS..99..580L>
- [4] Optical Design Program Zemax, User's Guide, Version 10, Focus Software, Inc., Tuscon 2005



3D Layout

4/18/2012

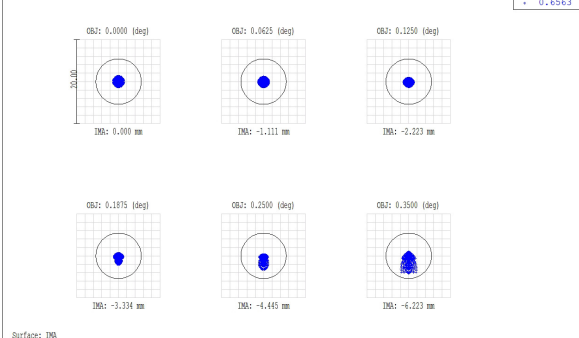
HEAVILY SPECTROGRAF PRO BESS SMI 180 150-2250 TIRRELA.ZMX
Configuration 1 of 1



Surface: IM3
Spot Diagram
IM3: 0.000, 16.306 mm

4/18/2012 Units are μm .
Field : 1
RMS radius : 0.4050
GSD radius : 0.4961
Scale bar : 200
Airy Radius: 8.576 μm
Reference : Chief Ray

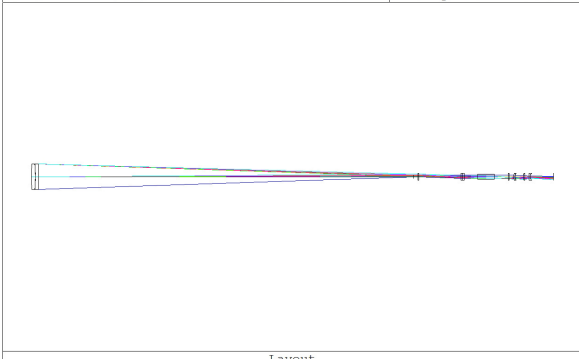
HEAVILY SPECTROGRAF PRO BESS SMI 180 150-2250 TIRRELA.ZMX
Configuration 1 of 1



Surface: IM3
Spot Diagram

4/18/2012 Units are μm .
Field : 1
RMS radius : 0.831
GSD radius : 1.216
Scale bar : 20
Airy Radius: 5.438 μm
Reference : Chief Ray

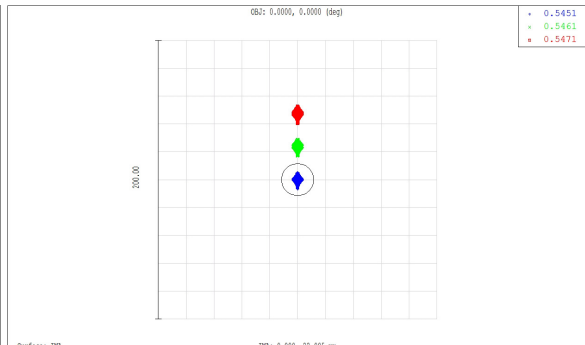
SPEKTROGRAF K A HALFA.ZMX
Configuration 1 of 1



Layout

4/19/2012
Total Axial Length: 3102.97978 mm

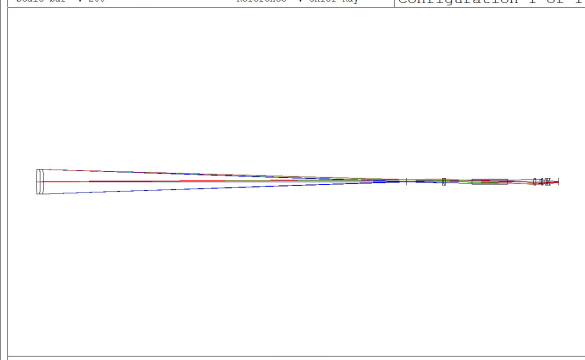
PROTUBERANCONI TELESCOPO K -CARA.ZMX
Configuration 1 of 1



Surface: IM3
Spot Diagram
IM3: 0.000, 22.005 mm

4/18/2012 Units are μm .
Field : 1
RMS radius : 0.5451
GSD radius : 0.5461
Scale bar : 200
Airy Radius: 11.5 μm
Reference : Chief Ray

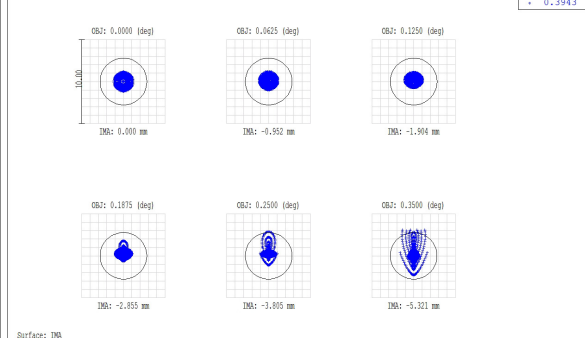
HEAVILY SPECTROGRAF PRO BESS SMI 180 150-2250 TIRRELA.ZMX
Configuration 1 of 1



Layout

4/18/2012
Total Axial Length: 3204.34510 mm

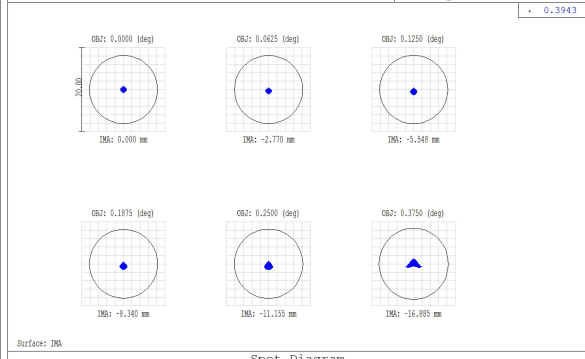
SPEKTROGRAF K A HALFA.ZMX
Configuration 1 of 1



Surface: IM3
Spot Diagram

4/18/2012 Units are μm .
Field : 1
RMS radius : 0.807
GSD radius : 1.144
Scale bar : 10
Airy Radius: 2.799 μm
Reference : Chief Ray

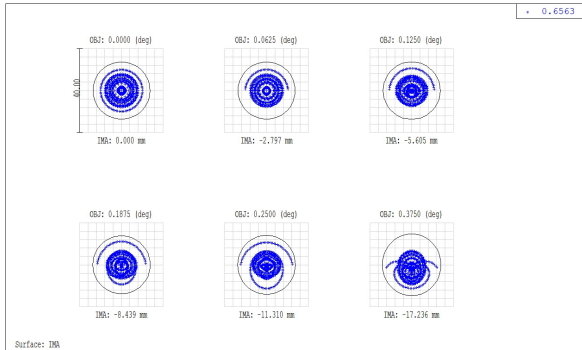
SPEKTROGRAF K A HALFA.ZMX
Configuration 1 of 1



Surface: IM3
Spot Diagram

4/19/2012 Units are μm .
Field : 2
RMS radius : 0.205
GSD radius : 0.443
Scale bar : 20
Airy Radius: 8.142 μm
Reference : Chief Ray

PROTUBERANCONI TELESCOPO K -CARA.ZMX
Configuration 1 of 1

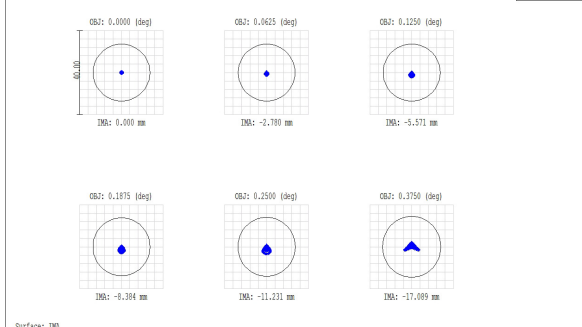


Surface: DIA

Spot Diagram

4/19/2012	Units are μm .	Airy Radius: 13.65 μm
Field :	1 2 3 4 5 6	
RMS radius :	6.270 5.872 5.790 5.776 5.810 6.014	
GSD radius :	9.597 10.190 10.763 11.567 12.345 12.187	
Scale bar :	40	Reference : Chief Ray

PROTUBERANCI TELESKOP H-ALFA.ZMX Configuration 1 of 1

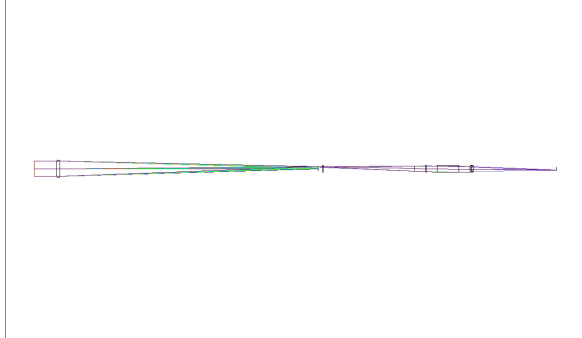


Surface: DIA

Spot Diagram

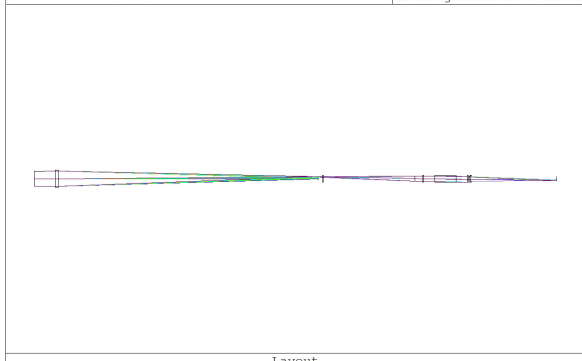
4/19/2012	Units are μm .	Airy Radius: 13.59 μm
Field :	1 2 3 4 5 6	
RMS radius :	0.278 0.363 0.555 0.813 1.021 1.290	
GSD radius :	0.489 1.325 2.115 2.820 3.354 3.775	
Scale bar :	40	Reference : Chief Ray

PROTUBERANCI TELESKOP H-ALFA OPTIMALIZOWANA.ZMX Configuration 1 of 1



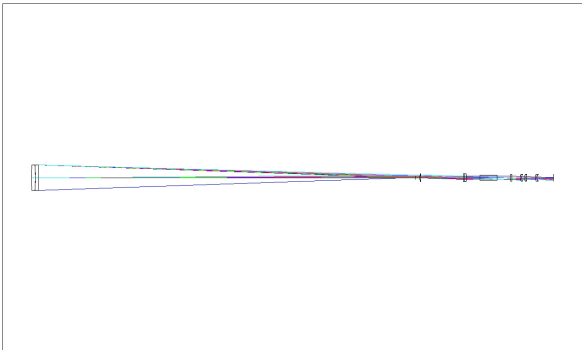
Layout

4/19/2012	Total Axial Length: 2405.62139 mm
KORONOGRAF PRO LAMBDA 5303 NM.ZMX Configuration 1 of 1	



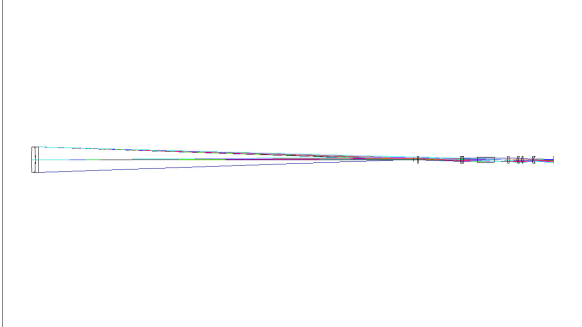
Layout

4/19/2012	Total Axial Length: 2416.86541 mm
KORONOGRAF PRO H-ALFA.ZMX Configuration 1 of 1	



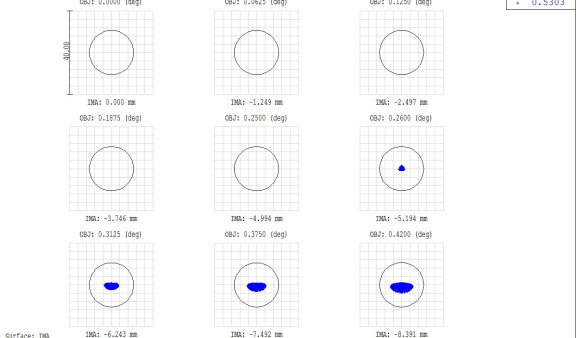
Layout

4/19/2012	Total Axial Length: 3086.40496 mm
PROTUBERANCI TELESKOP H-ALFA.ZMX Configuration 1 of 1	



Layout

4/19/2012	Total Axial Length: 3105.77978 mm
PROTUBERANCI TELESKOP H-ALFA OPTIMALIZOWANA.ZMX Configuration 1 of 1	

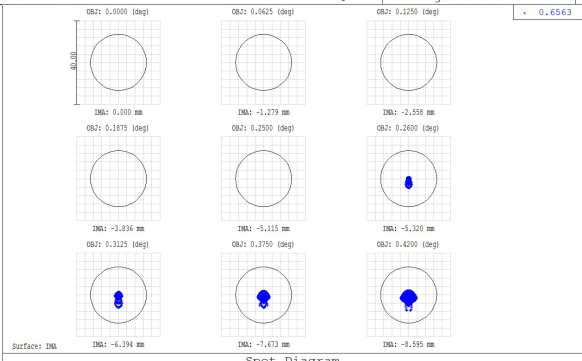


Surface: DIA

Spot Diagram

4/19/2012	Units are μm .	Airy Radius: 10.58 μm
Field :	1 2 3 4 5 6 7 8 9	
RMS radius :	0.100 0.000 0.000 0.000 0.000 0.710 1.038 1.524 2.094	
GSD radius :	0.100 0.000 0.000 0.000 0.000 1.253 1.859 2.694 3.931	
Scale bar :	40	Reference : Chief Ray

KORONOGRAF PRO LAMBDA 5303 NM.ZMX Configuration 1 of 1



Surface: DIA

Spot Diagram

4/19/2012	Units are μm .	Airy Radius: 13.41 μm
Field :	1 2 3 4 5 6	
RMS radius :	0.100 0.000 0.000 0.000 0.000 1.003 1.481 2.155 2.835	
GSD radius :	0.100 0.000 0.000 0.000 0.000 1.627 2.304 3.252 4.234	
Scale bar :	40	Reference : Chief Ray

KORONOGRAF PRO H-ALFA.ZMX Configuration 1 of 1